

# Физические результаты LHCb

*Г.Алхазов, Н.Бондарь, А.Воробьев, А. Дзюба,  
С.Котряхова, О.Маев, Н.Сагидова, А.Чубыкин,  
Ю.Щеглов*



Сессия Ученого совета ОФВЭ / 27 декабря 2016

- Наиболее значимые результаты LHCb 2016
  - Спектроскопия экзотических адронов:  
пентакварки; тетракварки.
  - Изучение эффектов нарушения CP инвариантности:  
измерение  $\gamma$ ; CPV в барионном секторе.
- Результаты группы анализа данных ПИЯФ
  - Распад  $\Xi_c^+ \rightarrow p\varphi$
  - Асимметрия рождения  $\Lambda_c^+$  в  $pp$ -соударениях

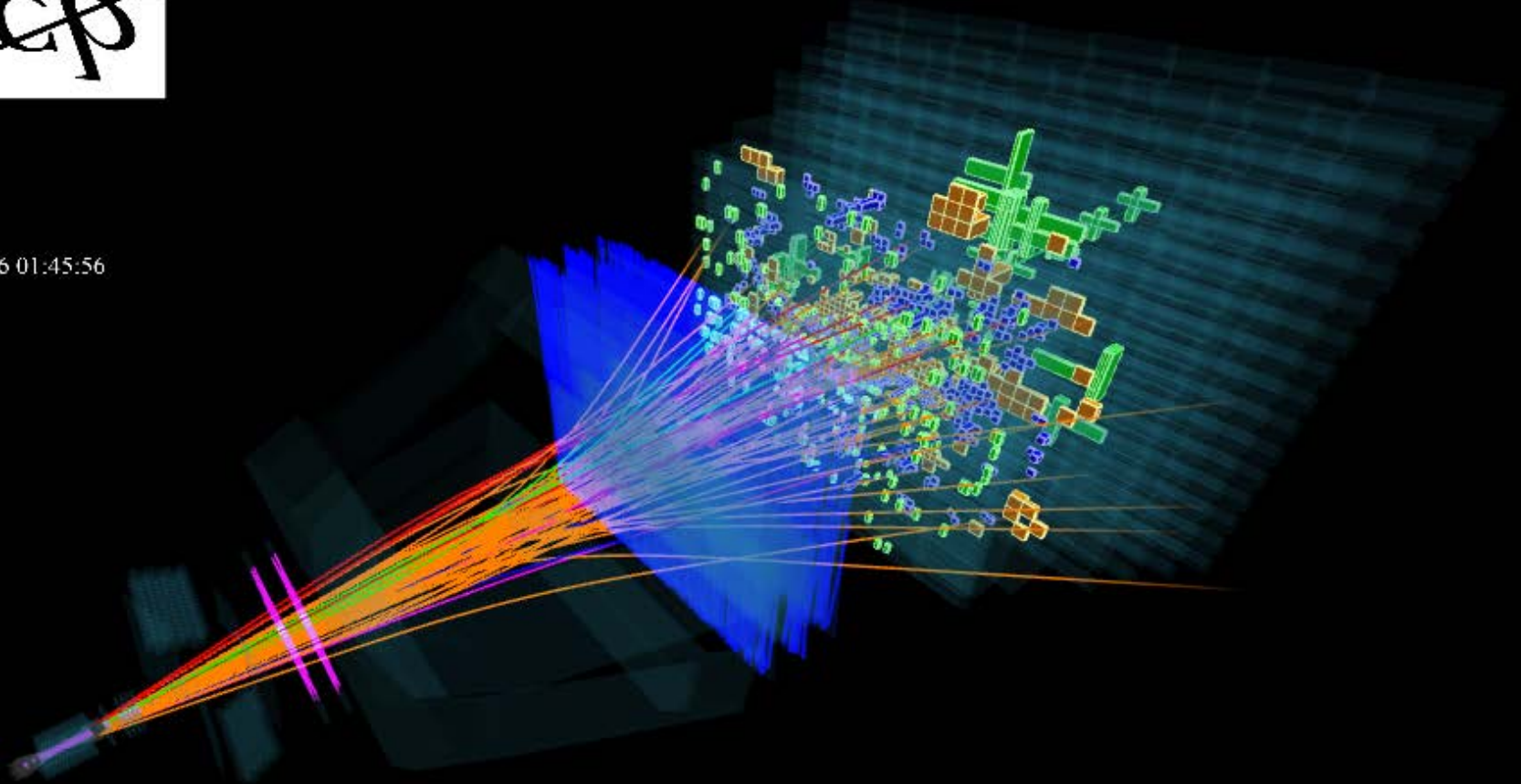
# Эксперимент LHCb



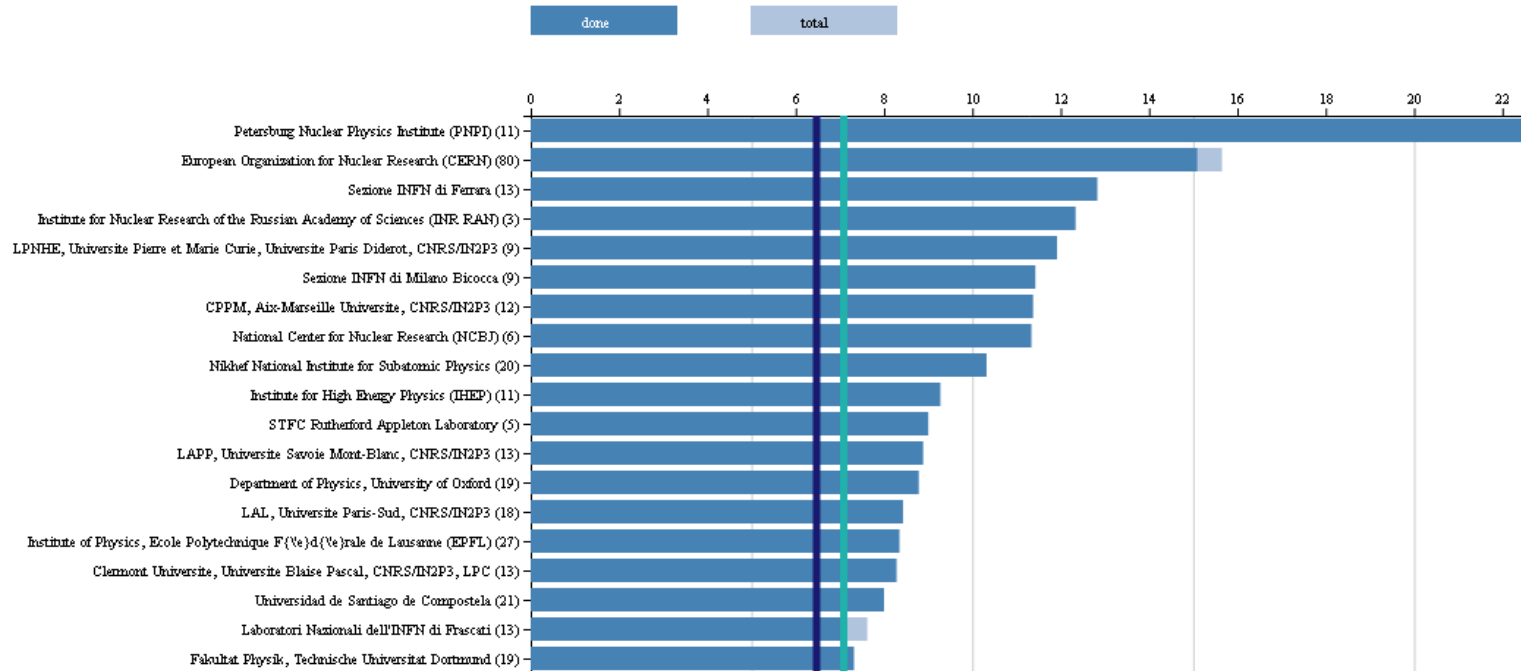
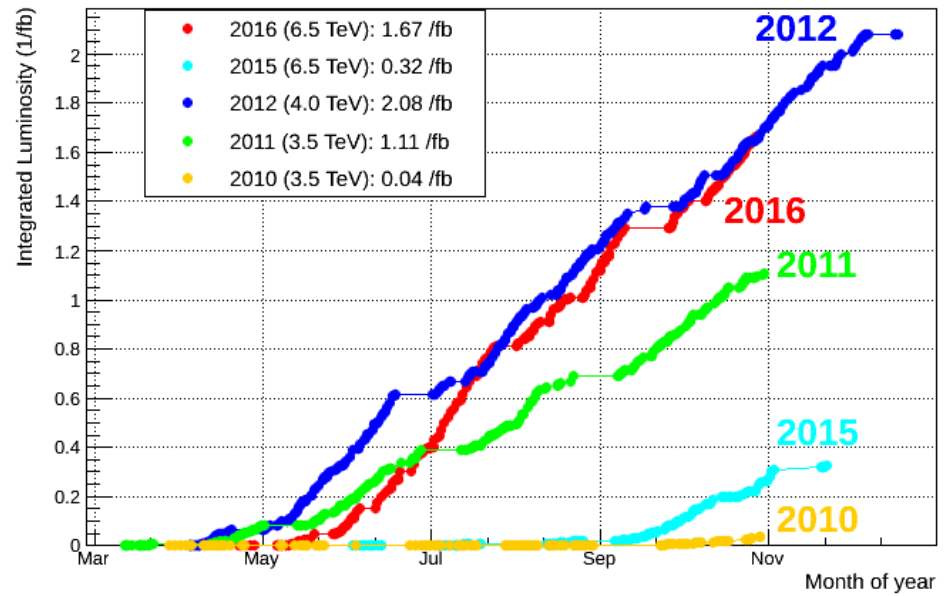
Event 74374790

Run 173768

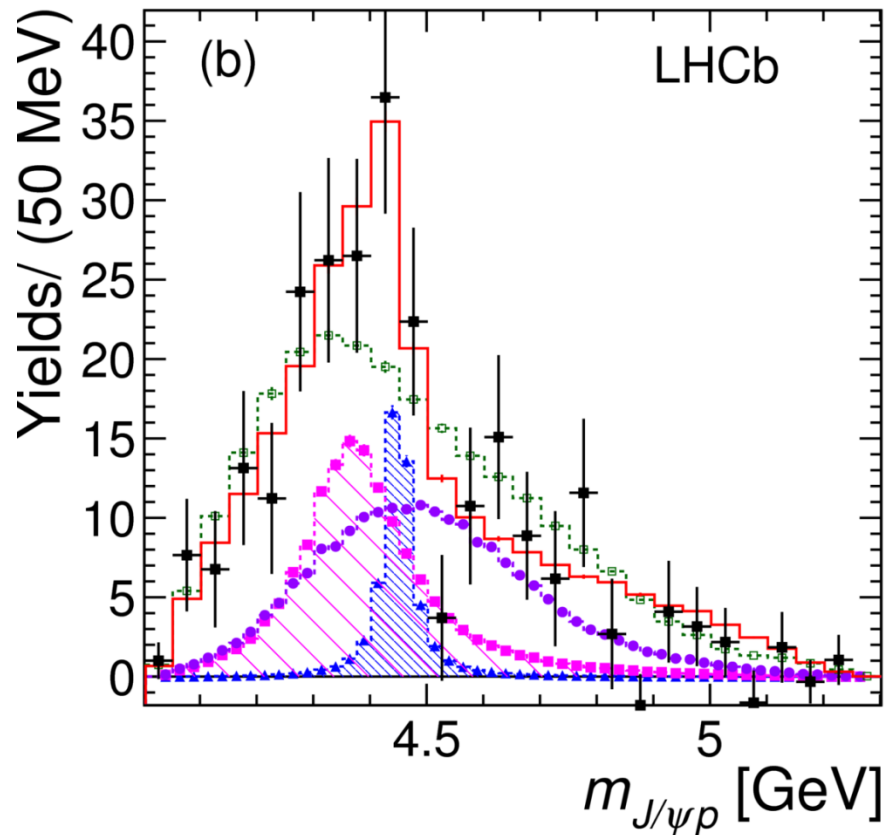
Mon, 09 May 2016 01:45:56



# Сеанс 2016



# Экзотические адроны / пентакварки



Спектр построен при условии  $m(p\pi^-) > 1.8 \text{ GeV}/c^2$ , т.е. выше основных нуклонных резонансов

Открыты в 2015 году в распаде  $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p K^-$

В 2016 году выполнен модельно-независимый анализ данного канала распада, подтвердивший необходимость «включения» экзотической компоненты

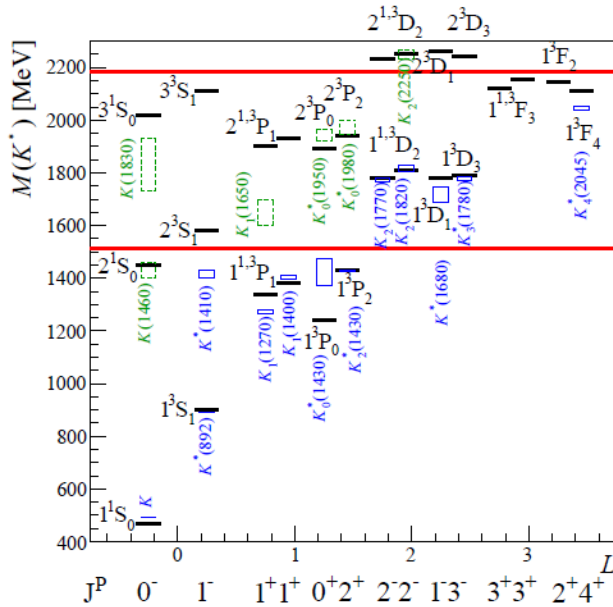
***Phys. Rev. Lett. 117 (2016) 082002***

Поиск пентакварков в Кабиббо-подавленном канале распада  $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p \pi^-$ .

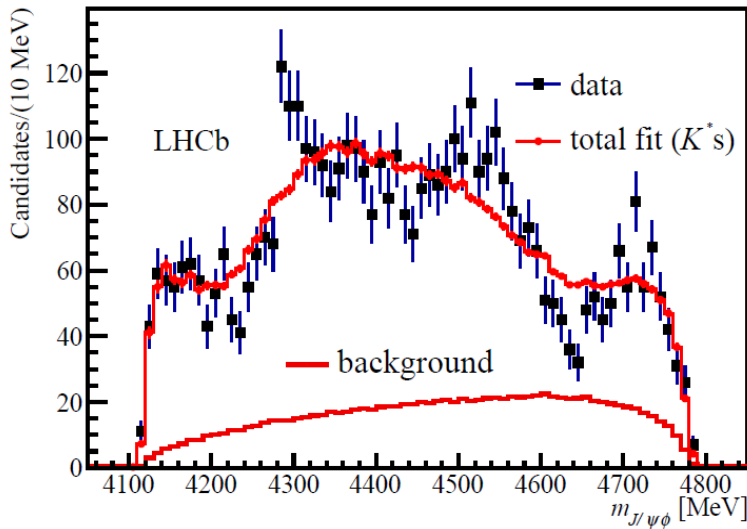
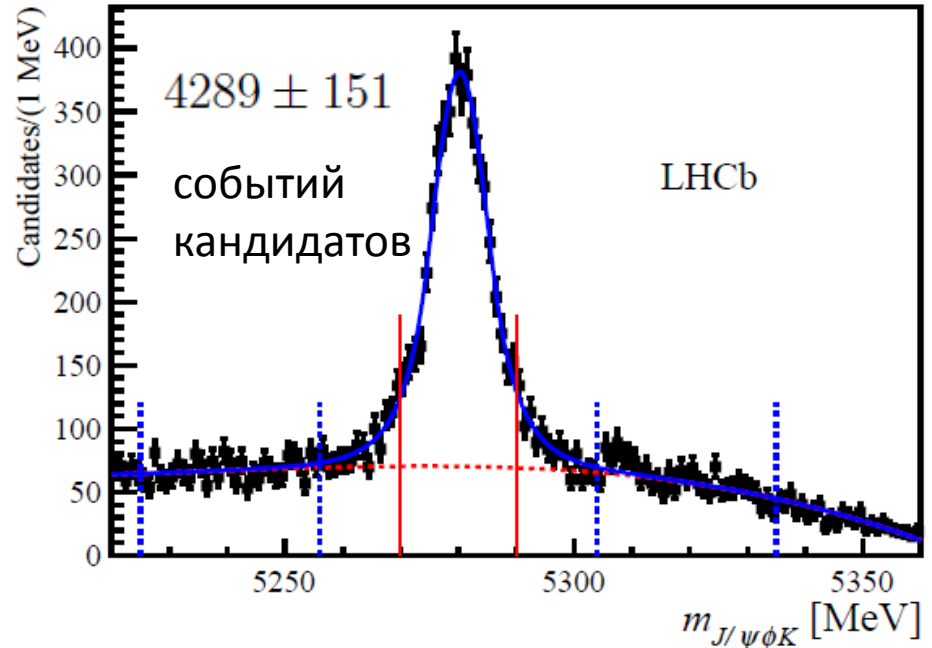
Получено указание на существование промежуточного экзотического состояния для этого канала распада  $\Lambda_b^0$  (уровень статистической значимости более  $3\sigma$ )

***Phys. Rev. Lett. 117 (2016) 082003***

# Экзотические адроны / тетракварки



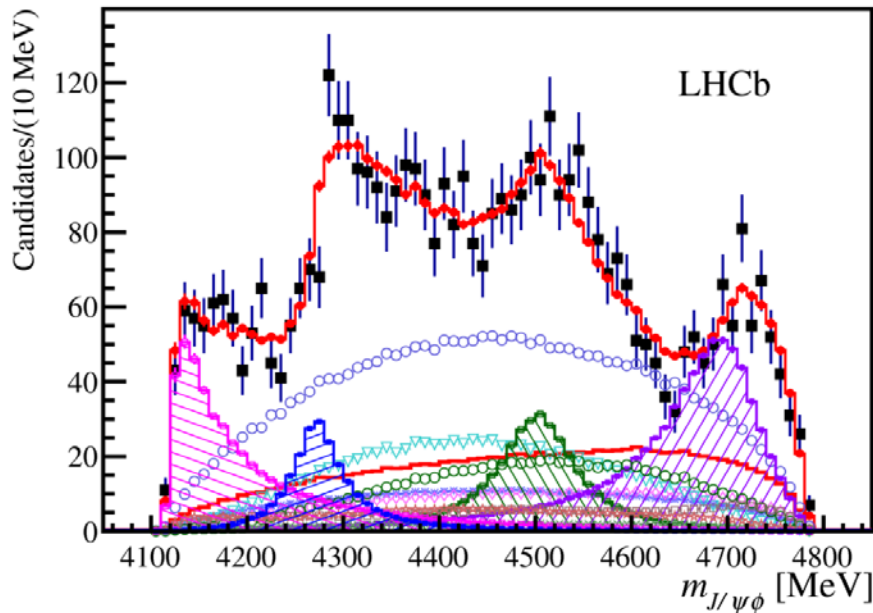
Исследование распада  $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$



Полный (шестимерный) амплитудный анализ с учетом только каонных резонансов в  $\phi K^+$ -канале не описывает экспериментальные данные.

Необходимы включение дополнительных резонансов.

# Экзотические адроны / тетракварки



Исследование распада  $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$

**Квантовые числа:**

$X(4140) \quad 1^{++}$

(возможная интерпретация:  $D_s D_s^*$   
пороговый эффект)

$X(4274) \quad 1^{++}$

(не укладывается в «молекулярную» и  
«пороговую» интерпретацию  
данного состояния)

Contri- bution	Sign. or Ref.	Fit results		
		$M_0$ [MeV]	$\Gamma_0$ [MeV]	FF %
All $X(1^+)$				$16 \pm 3 \quad +6_{-2}$
$X(4140)$	$8.4\sigma$	$4146.5 \pm 4.5 \quad +4.6_{-2.8}$	$83 \pm 21 \quad +21_{-14}$	$13 \pm 3.2 \quad +4.7_{-2.0}$
ave.	Table 1	$4143.4 \pm 1.9$	$15.7 \pm 6.3$	
$X(4274)$	$6.0\sigma$	$4273.3 \pm 8.3 \quad +17.2_{-3.6}$	$56 \pm 11 \quad +8_{-11}$	$7.1 \pm 2.5 \quad +3.5_{-2.4}$
CDF	[26]	$4274.4 \quad +8.4_{-6.7} \pm 1.9$	$32 \quad +22_{-15} \pm 8$	
CMS	[23]	$4313.8 \pm 5.3 \pm 7.3$	$38 \quad +30_{-15} \pm 16$	
All $X(0^+)$				$28 \pm 5 \pm 7$
$NR_{J/\psi \phi}$	$6.4\sigma$			$46 \pm 11 \quad +11_{-21}$
$X(4500)$	$6.1\sigma$	$4506 \pm 11 \quad +12_{-15}$	$92 \pm 21 \quad +21_{-20}$	$6.6 \pm 2.4 \quad +3.5_{-2.3}$
$X(4700)$	$5.6\sigma$	$4704 \pm 10 \quad +14_{-24}$	$120 \pm 31 \quad +42_{-33}$	$12 \pm 5 \quad +9_{-5}$

Состояния  $X(4500)$  и  $X(4700)$  хорошо описываются квантовыми числами  $0^{++}$

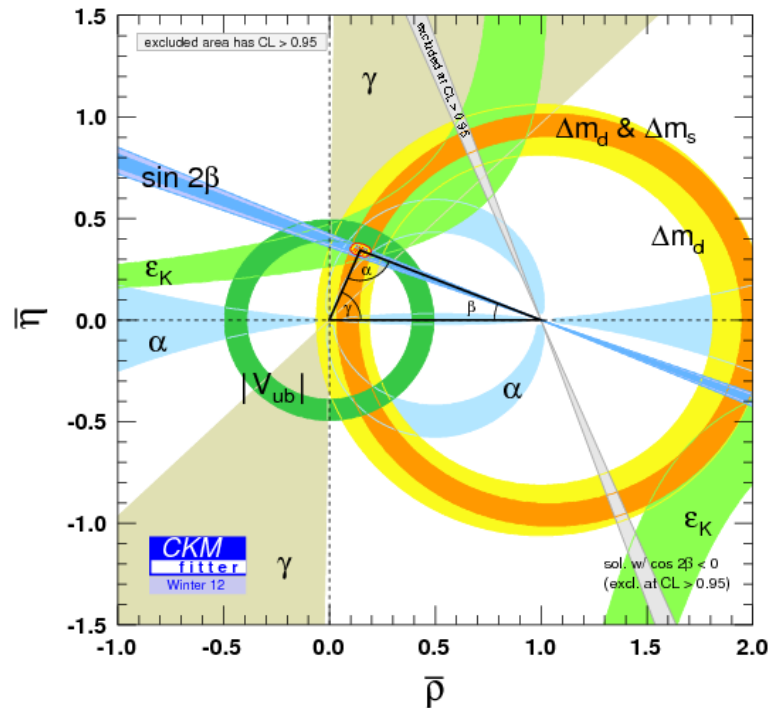
Статьи направлена в печать:

**[arXiv:1606.07895](https://arxiv.org/abs/1606.07895)**

**[arXiv:1606.07898](https://arxiv.org/abs/1606.07898)**

# Нарушение $CP$ инвариантности

- Для объяснения барионной асимметрии Вселенной необходимы новые источники нарушения  $CP$ -четности
- В СМ эффекты  $CPV$  обнаружены при распадах прелестных мезонов.
- Описываются матрицей кваркового смешивания (Кабиббо-Кобаяши-Маскава). Комплексные коэффициенты.
- Унитарность ККМ-матрицы – определенное соотношение между элементами (треугольники унитарности).
- Параметры треугольника могут быть измерены независимо в различных распадах



**Эффекты Новой физики в кварковом секторе могут «нарушить» соотношения унитарности. Положение вершины треугольника измеренное разными способами, м.б. различно**



# CPV / измерение $\gamma$

$$\gamma = \arg[-V_{ud}V_{ub}^*/V_{cd}V_{cb}^*]$$

Неопределенность предсказаний СМ  
 $\delta\gamma \lesssim 10^{-7}$ .

Определение  $\gamma$  - измерение соотношений разрешенной ( $b \rightarrow cW$ ) и подавленной ( $b \rightarrow uW$ ) амплитуд в распадах заряженных и нейтральных  $B$ -мезонов.

$$\gamma = (72,2^{+6,8}_{-7,3})^\circ$$

**Индивидуальные каналы:**

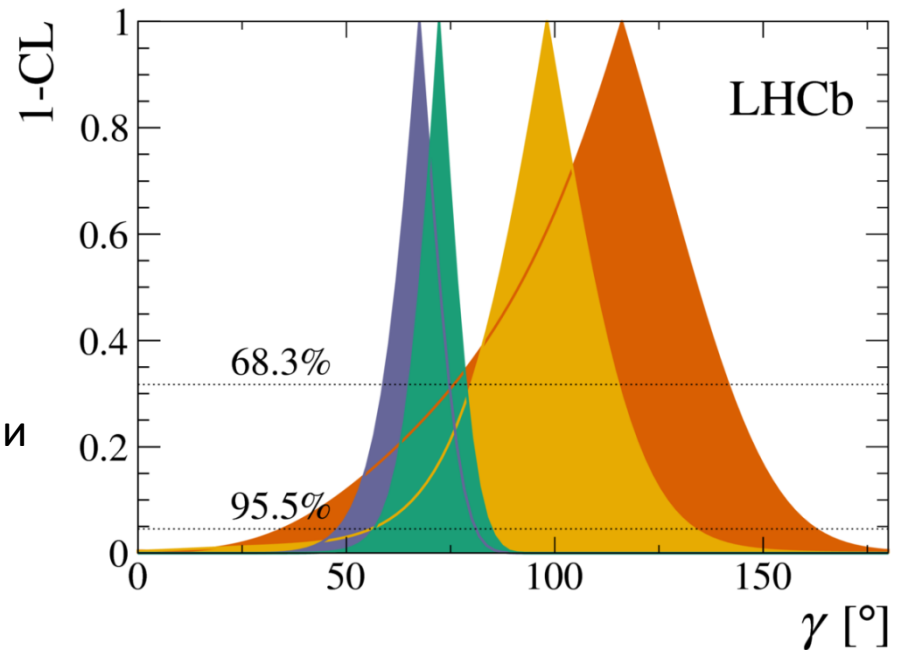
*Phys. Rev. D 93 (2016) 112018*

*JHEP 06 (2016) 131*

*JHEP 08 (2016) 137*

**Комбинированные измерения**

*arXiv:1611.03076*

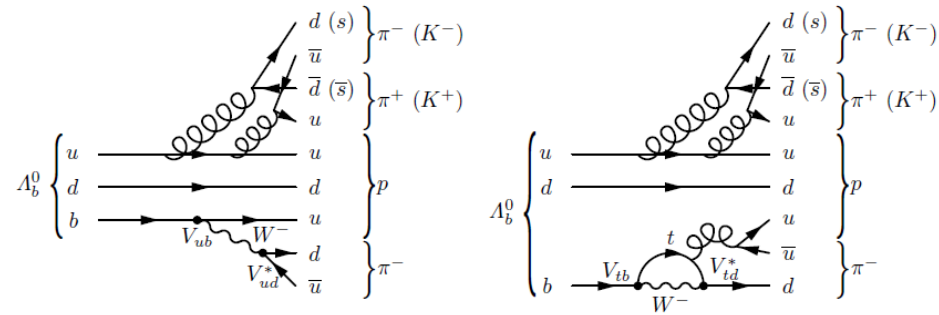


Различными цветами на рисунке показаны вклады в измерение  $\gamma$ , полученные для различных начальных состояний:  $B_s^0$ ,  $B^0$  и  $B^+$ -мезонов. Зеленым цветом **результаты комбинированного анализа.**



# CPV / барионный сектор

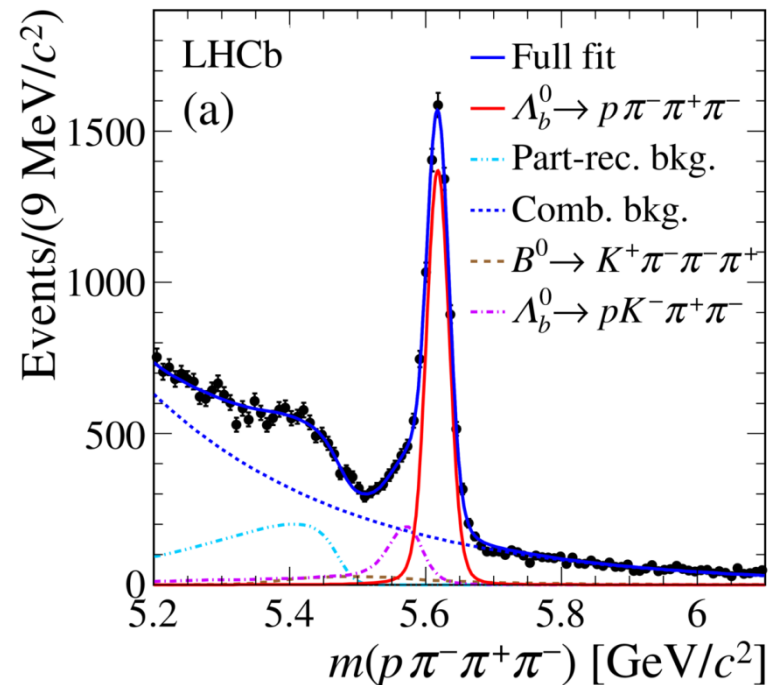
- Распад  $\Lambda_b^0 \rightarrow p \pi^- \pi^+ \pi^-$  сильно подавлен (по элементу  $V_{ub}$  или за счет петлевых диаграмм, см. рис.)
- Эффекты CPV могут проявляться лишь в некоторой области фазового объема
- $6645 \pm 105$  событий кандидатов



$$C_{\hat{T}} = \vec{p}_p \cdot (\vec{p}_{h_1^-} \times \vec{p}_{h_2^+}) \text{ for } \Lambda_b^0 \text{ and } \bar{C}_{\hat{T}} = \vec{p}_{\bar{p}} \cdot (\vec{p}_{h_1^+} \times \vec{p}_{h_2^-}) \text{ for } \bar{\Lambda}_b^0,$$

$$A_{\hat{T}}(C_{\hat{T}}) = \frac{N(C_{\hat{T}} > 0) - N(C_{\hat{T}} < 0)}{N(C_{\hat{T}} > 0) + N(C_{\hat{T}} < 0)},$$

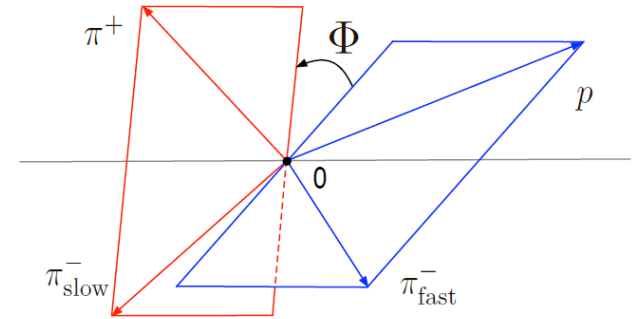
$$\bar{A}_{\hat{T}}(\bar{C}_{\hat{T}}) = \frac{\bar{N}(-\bar{C}_{\hat{T}} > 0) - \bar{N}(-\bar{C}_{\hat{T}} < 0)}{\bar{N}(-\bar{C}_{\hat{T}} > 0) + \bar{N}(-\bar{C}_{\hat{T}} < 0)},$$



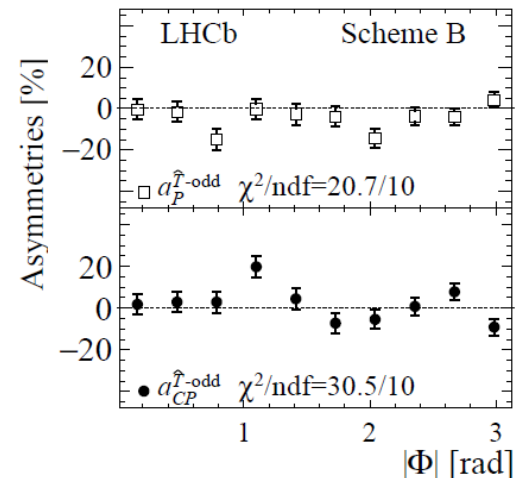
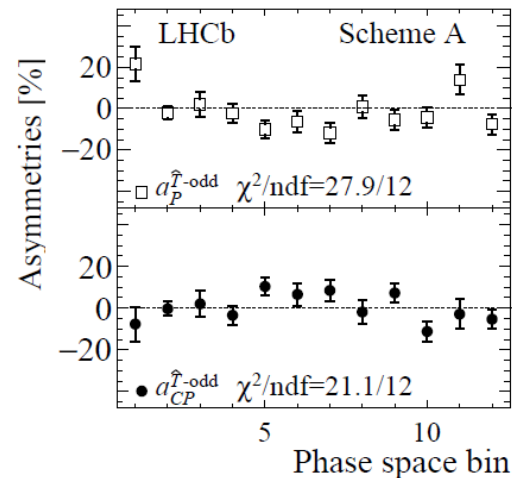
# CPV / барионный сектор

- Наблюдаемые, в которых могут наблюдаться эффекты CP-нарушения (наблюдаемая существенно отличается от нуля)

$$a_P^{\hat{T}\text{-odd}} = \frac{1}{2} (A_{\hat{T}} + \bar{A}_{\hat{T}}), \quad a_{CP}^{\hat{T}\text{-odd}} = \frac{1}{2} (A_{\hat{T}} - \bar{A}_{\hat{T}}),$$

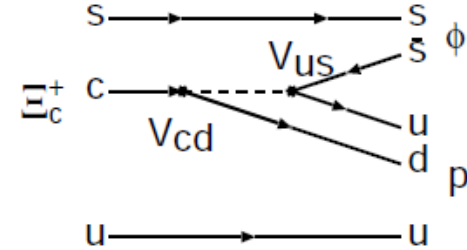
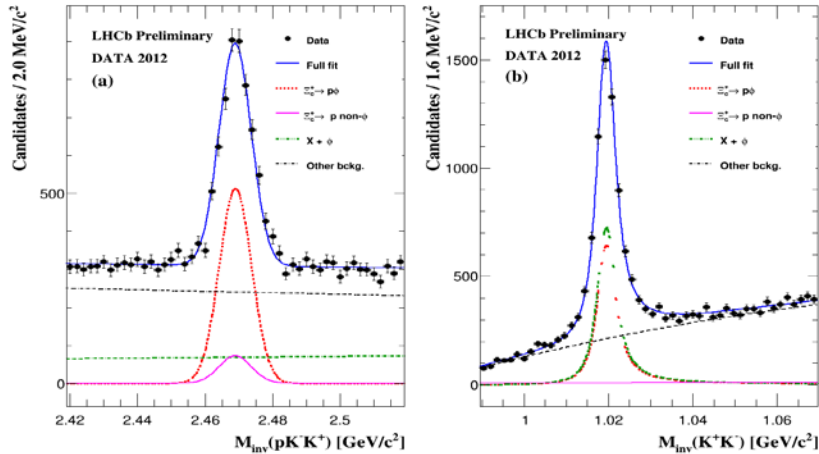


- Отличие от нуля в некоторых элементах ФО распада (исследовались две схемы: разбиение инвариантным массам, распределение по углу  $\phi$ )



- Статистическая значимость **3.3 $\sigma$**
- Работа направлена в Nature
- [arXiv:1609.05216](https://arxiv.org/abs/1609.05216)

# Изучение распада $\Xi_c^+ \rightarrow p\phi$



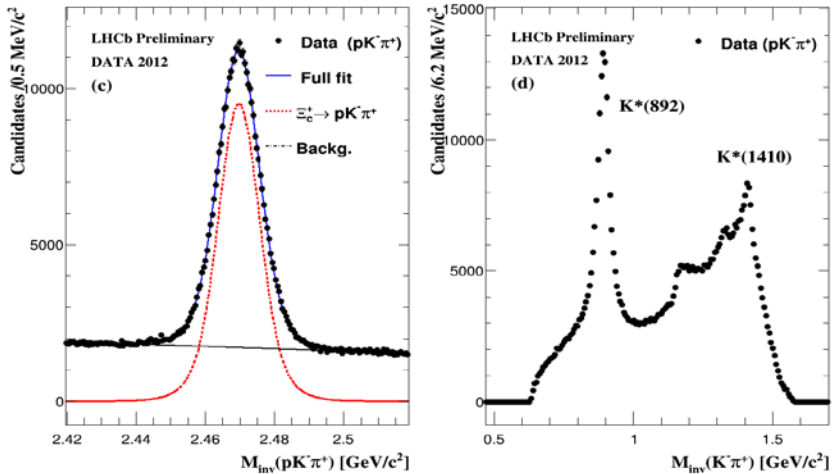
2016 год: Новый нормировочный канал

Измерение:  $\Xi_c^+ \rightarrow (p\phi/pK^-\pi^+)$

Результаты:

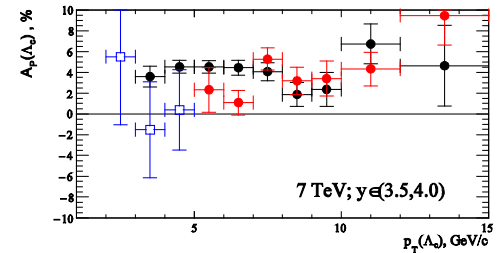
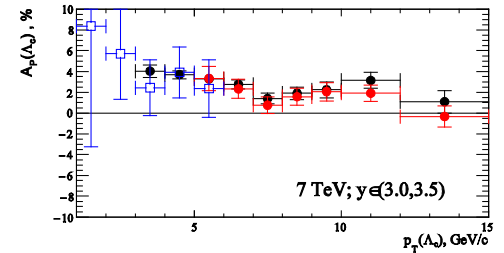
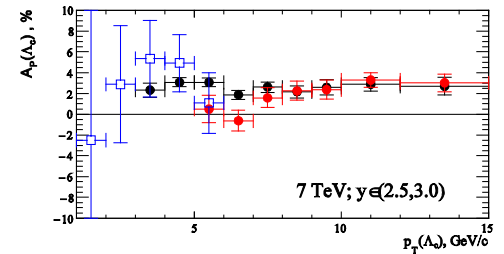
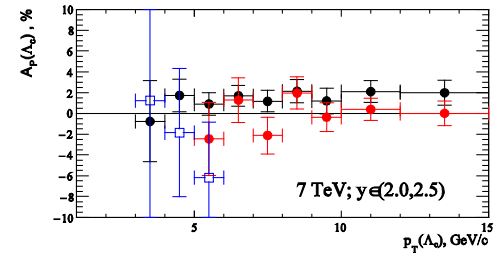
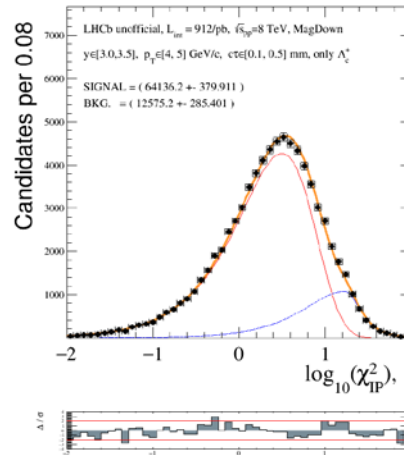
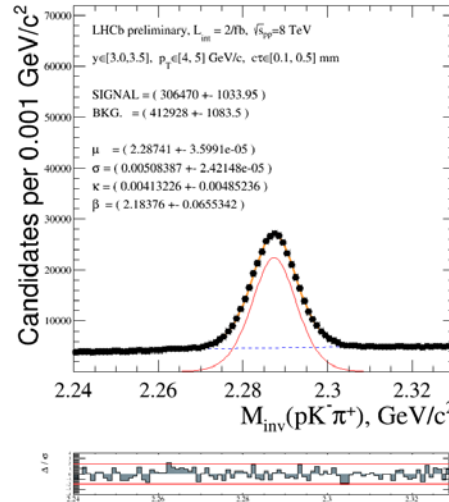
$$\frac{\mathcal{B}(p\phi (K^+K^-))}{\mathcal{B}(pK^-\pi^+)} = 0.009 \pm 0.0003 (\text{stat.}) \pm 0.0006 (\text{syst.})$$

$$\mathcal{B}(p\phi) / \mathcal{B}(pK^-\pi^+) = 0.0184 \pm 0.0006 (\text{stat.}) \pm 0.0013 (\text{syst.})$$



# Асимметрия рождения $\Lambda_c^+$ .

- Мотивация: влияние валентных кварков на процесс адронизации, передача барионного числа, ограничение на  $\beta$ , контроль при измерении эффектов CPV
- $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ , отбор первичных  $\Lambda_c^+$  по прицельному параметру
- Несколько триггерных конфигураций (показаны разными цветами на спектре)
- Положительная асимметрия, растет с ростом быстроты
- Анализ в стадии внутренней рецензии коллаборации.



# Выводы

- За 2016 год опубликовано или направлено в печать более научных работ 70 работ
- **Highlights:**
  - экзотические адроны
  - измерение параметров унитарного треугольника
  - указание на CPV в распадах барионов
- Группа анализа данных ПИЯФ (очарованные барионы) две работы на стадии внутреннего рецензирования LHCb

**Спасибо за внимание, С Новым Годом!**