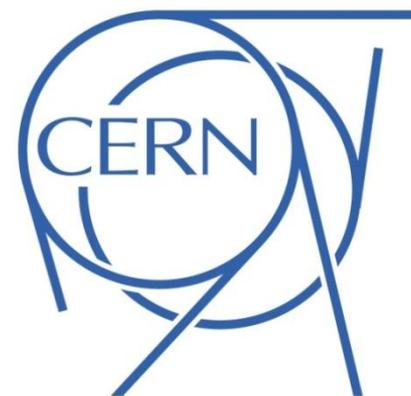


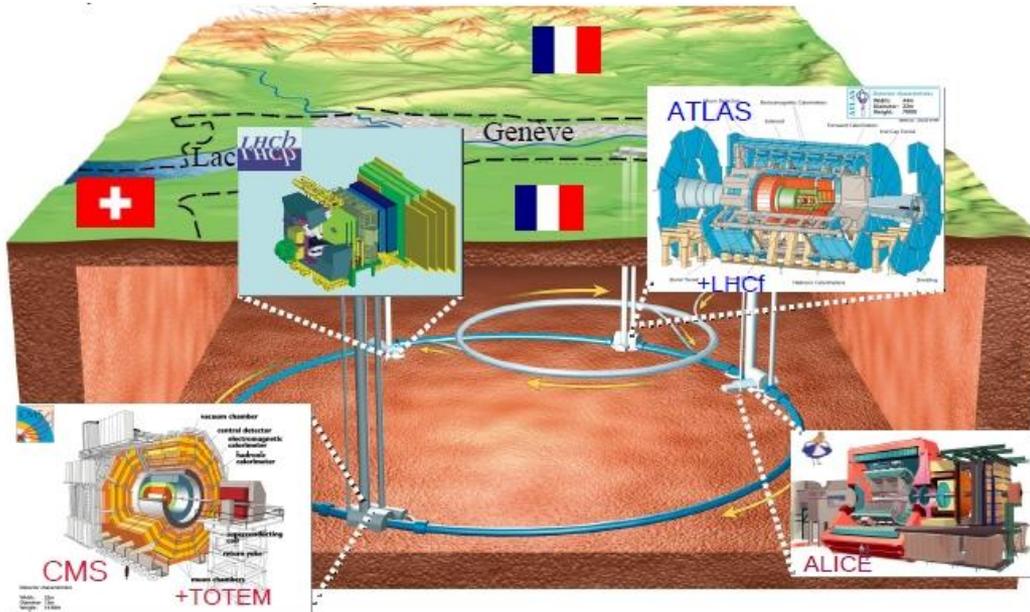
*ЛНсб эксперимент:
последние результаты
по изучению В-физики*

Виктор Егорычев



Москва, Апрель 2013

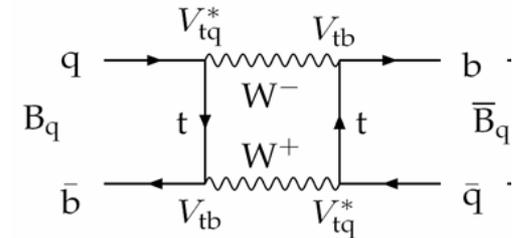
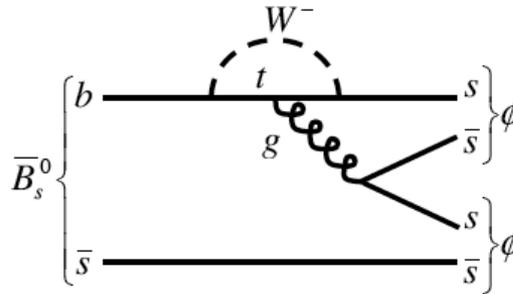
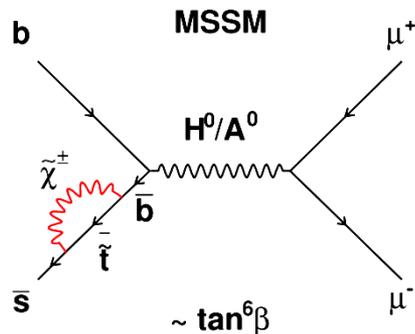
LHCb эксперимент



Поиск Новой Физики (НФ) в
изучении:

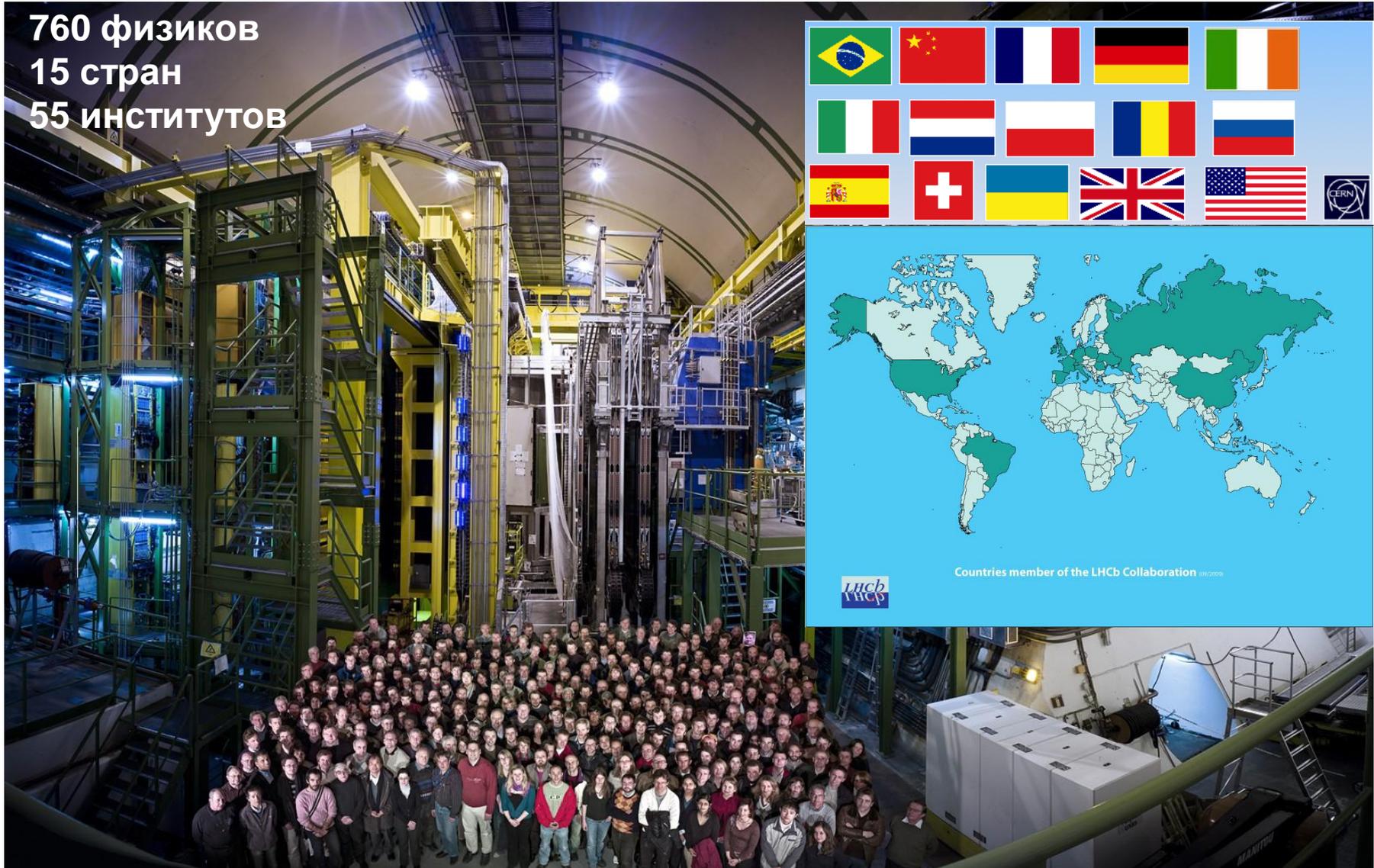
-нарушения CP-симметрии
- редких распадов

частиц, содержащие с- и b-
кварки



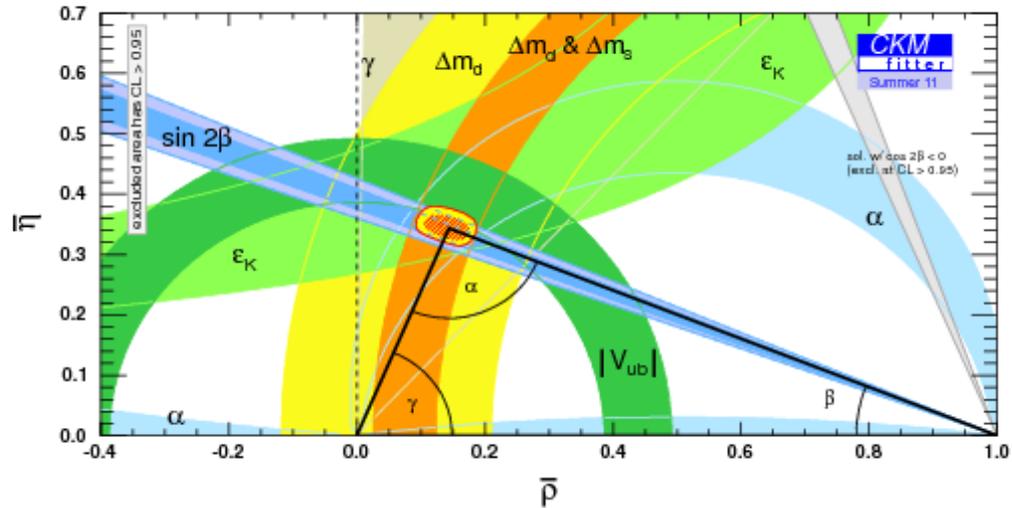
LHCb эксперимент

760 физиков
15 стран
55 институтов



ЛНСb: поиск Новой Физики

- СМ дает хорошее описание экспериментальных результатов
- Наиболее точные проверки СМ сделаны с помощью изучения системы В-мезонов



• Новая Физика?

1. Изучение CP-симметрии

➤ любое несоответствие в описании Треугольника Унитарности могло бы указать на существование Новой Физики

2. Редкие распады

➤ прямое обнаружение – новые частицы могут быть непосредственно открыты на новых коллайдерах (ATLAS, CMS)

➤ косвенное наблюдение – виртуальные новые частицы (в петлевых процессах) могут изменить вероятности распадов, параметры CP-симметрии, кинематические распределения...

Косвенные измерения/предсказания

1973

- чувствительны к проявлениям Новой Физики
- открытие третьего поколения кварков

1973 г. – предсказано существование 3-го поколения (Kobayashi, Masawa) для описания CP-нарушения в системе нейтральных K-мезонов (1964 г.)

1977 г. – открытие b-кварка

1995 г. – открытие t-кварка

1983

- Открытие нейтральных слабых токов (Z-бозона)

1973 г. (ЦЕРН, п.к. “Гаргамель”) – $\nu + N \rightarrow \nu + N$

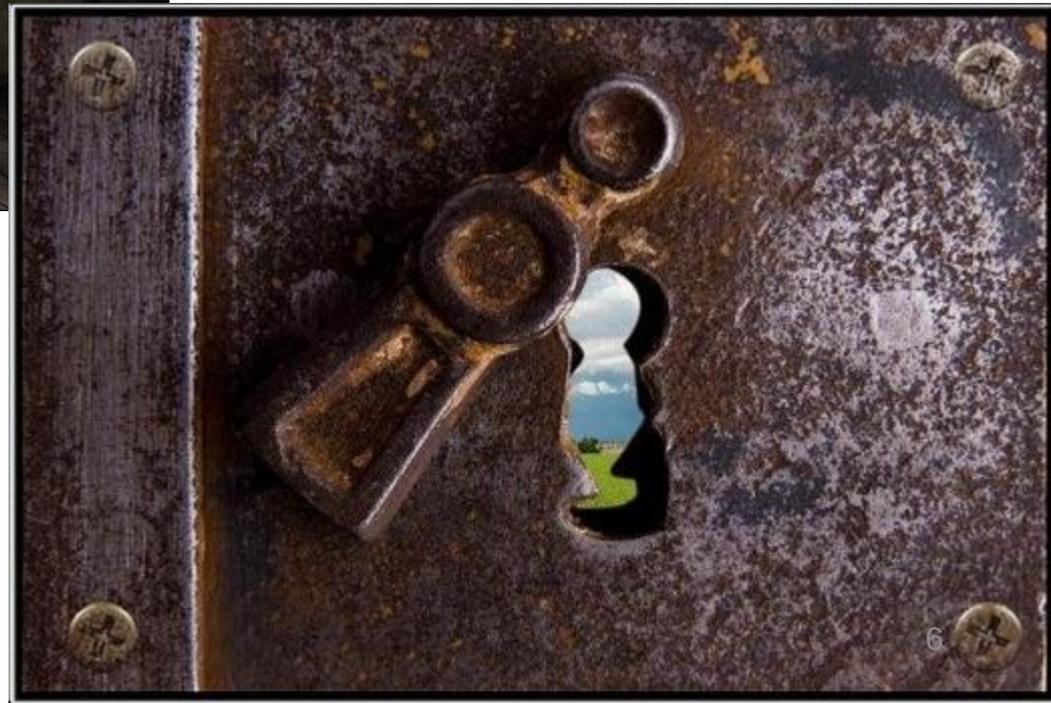
1983 г. – измерение массы Z-бозона

Наблюдение Новой Физики (шутка)



← открытая дверь

замочная скважина →



LHCb эксперимент

- преимущества изучения b -физики на адронных коллайдерах
 - большое сечение рождения b -кварков при энергиях LHC

$$\sigma_{bb} \sim 500 (280) \mu\text{b} @ \sqrt{s}=14 (7) \text{ ТэВ}$$

(на $e^+ e^-$ машинах в $Y(4S)$ $\sigma_{bb} \sim 1 \text{ nb}$)

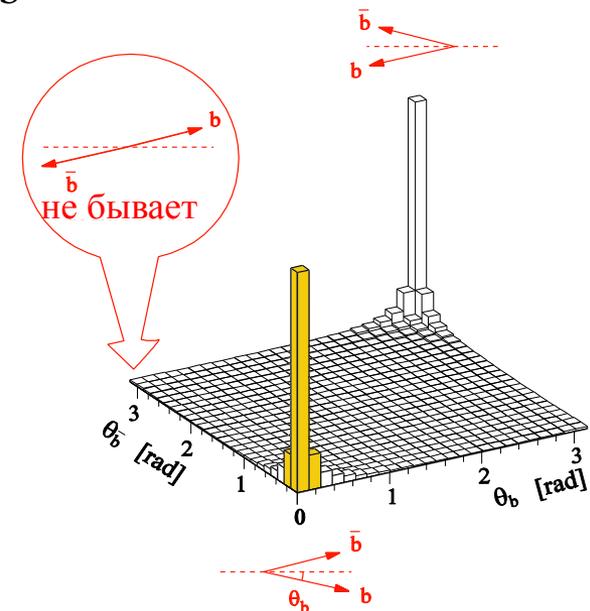
- возможность изучения: $V^\pm, V^0, V_s, V_c, \Lambda_b, \dots$
- трудности
 - высокая множественность заряженных частиц (>50 треков в акцептансе)
 - большие сечения неупругих процессов $\sigma_{inel} \sim 100 \text{ mb}$

- особенности

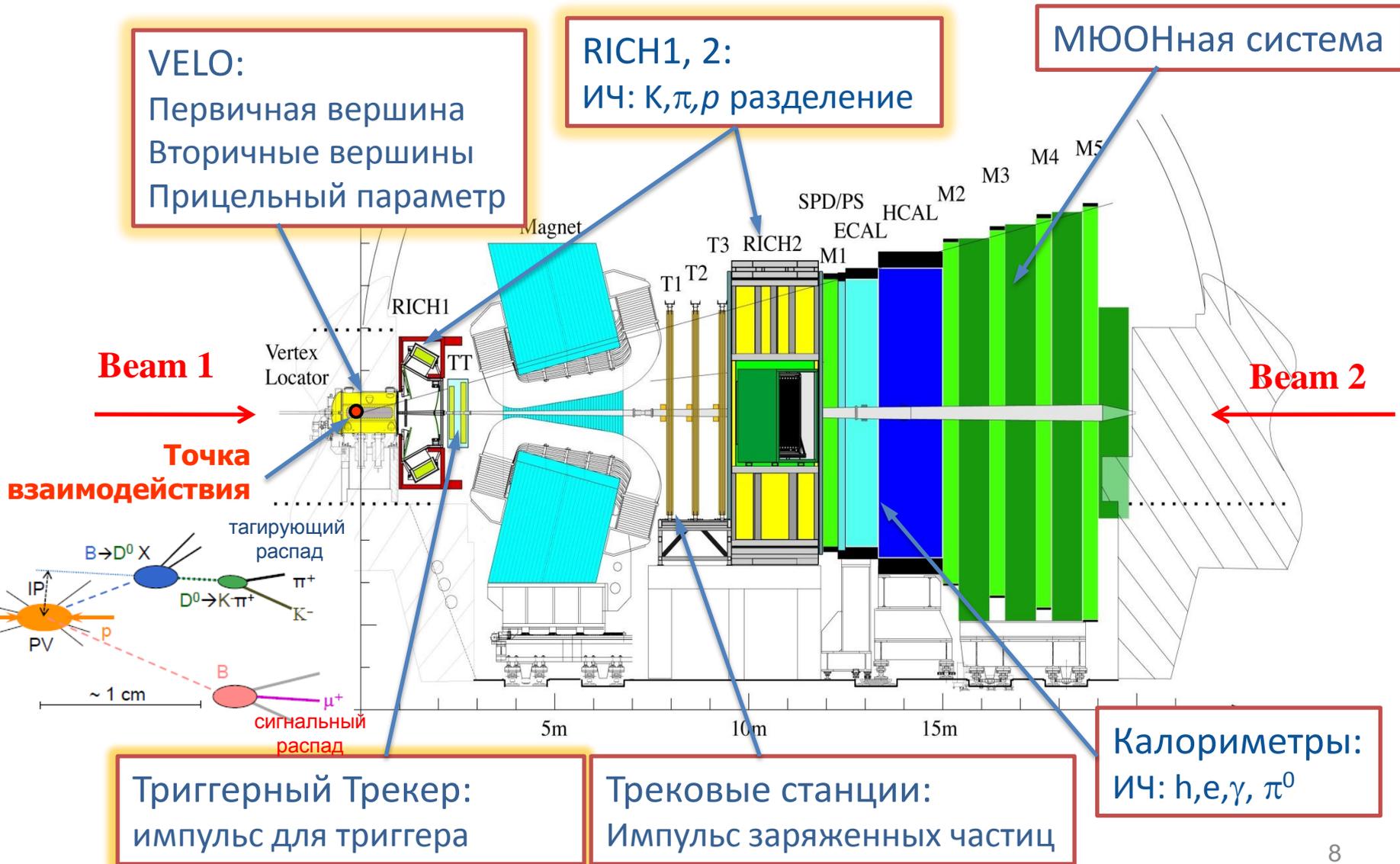
- $L \sim 3\text{-}4 \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$

- акцептанс

- одноплечевой передний спектрометр:
 - $2 < \eta < 5 \rightarrow |\eta| < 2.5 @ \text{ATLAS/CMS}$
 - 10-300 мрад
 - bb пара рождается в одну и ту же полусферу



ЛHCb спектрометр



VELO:
Первичная вершина
Вторичные вершины
Прицельный параметр

RICH1, 2:
ИЧ: К, π, ρ разделение

МЮОНная система

Beam 1

Beam 2

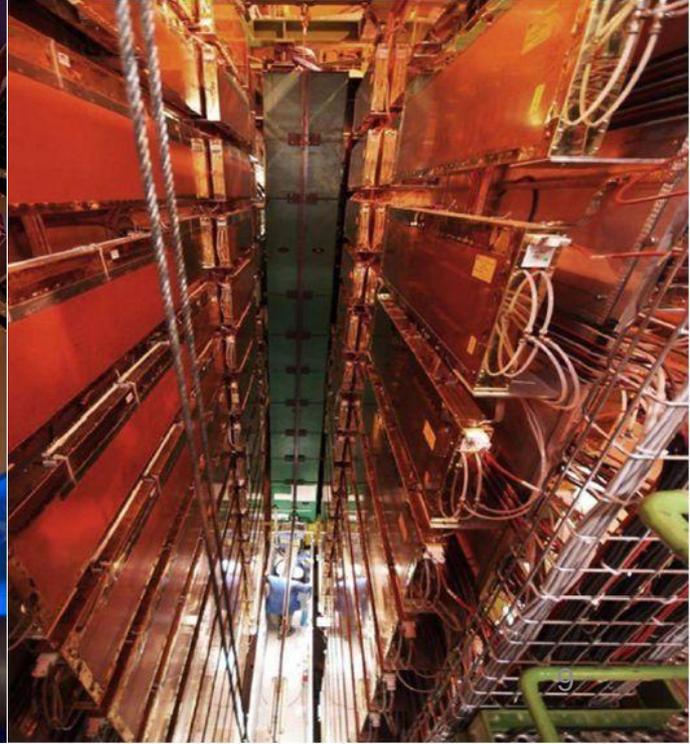
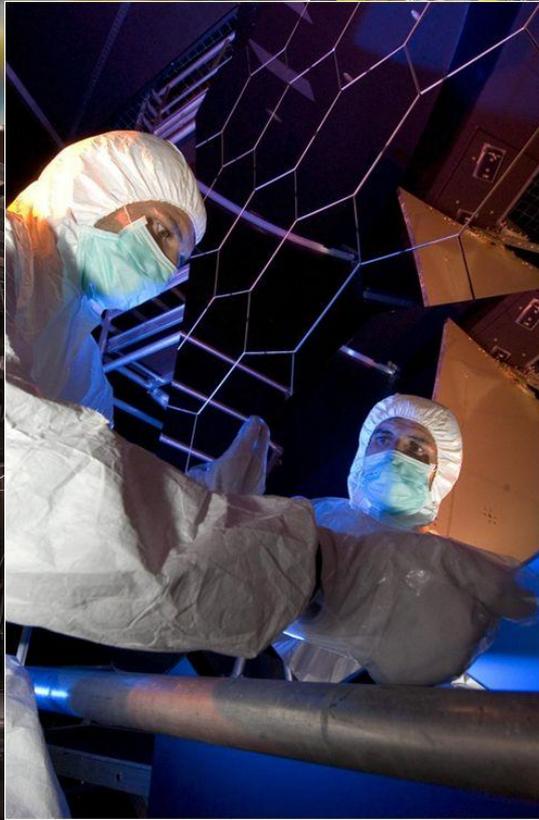
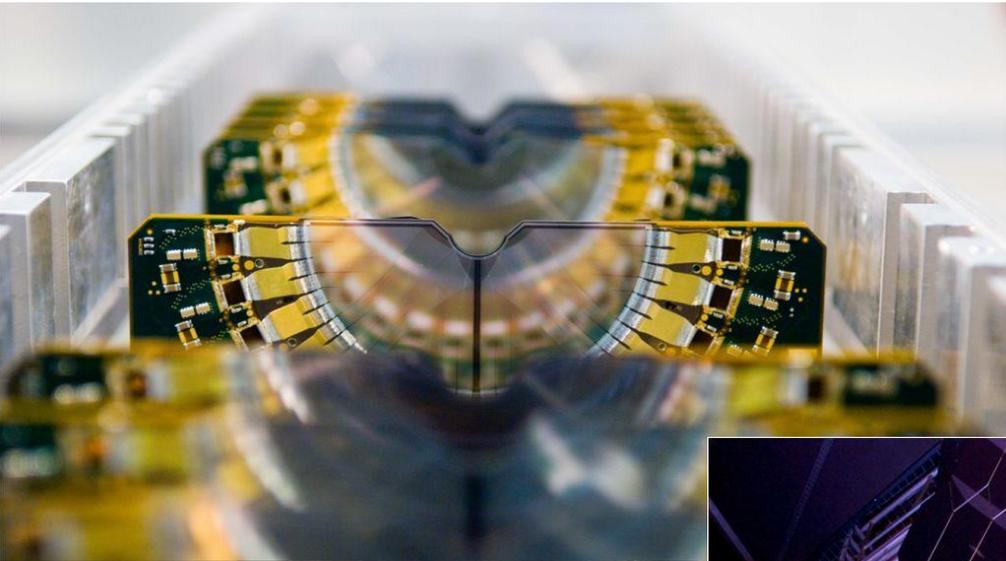
Точка взаимодействия

Триггерный Трекер:
импульс для триггера

Трековые станции:
Импульс заряженных частиц

Калориметры:
ИЧ: h, e, γ, π⁰

LHCb спектрометр

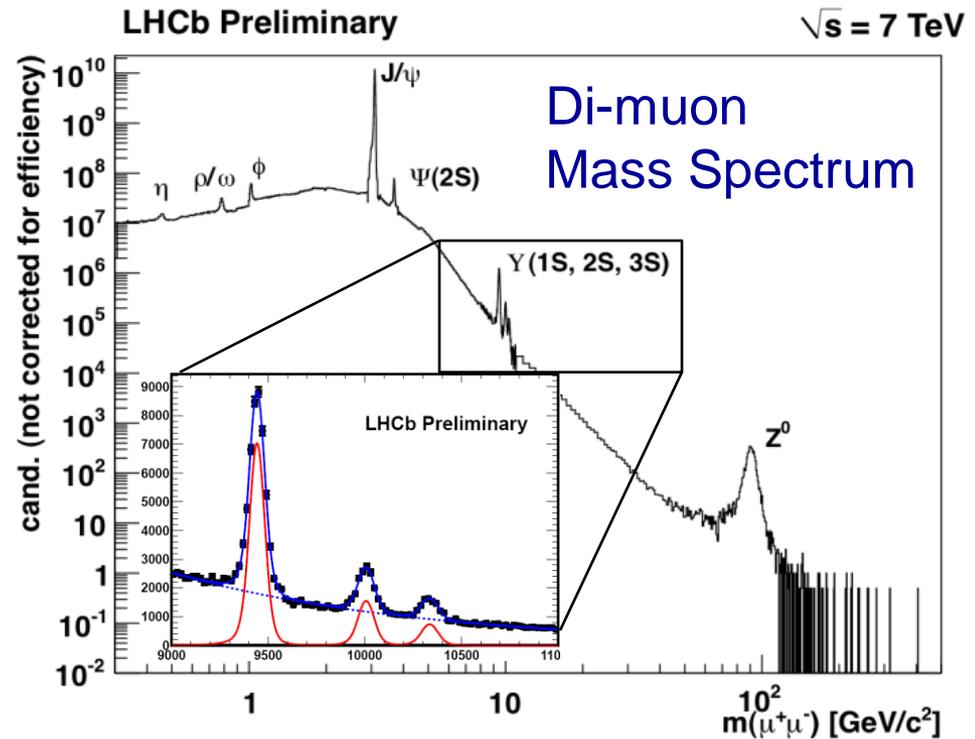


Эксплуатационные характеристики спектрометра

- Импульсное разрешение 0.35-0.55%
- Массовое разрешение в диапазоне 7-20 MeV/c²
- Наиболее точные измерения только на данных 2010 (35 pb⁻¹):

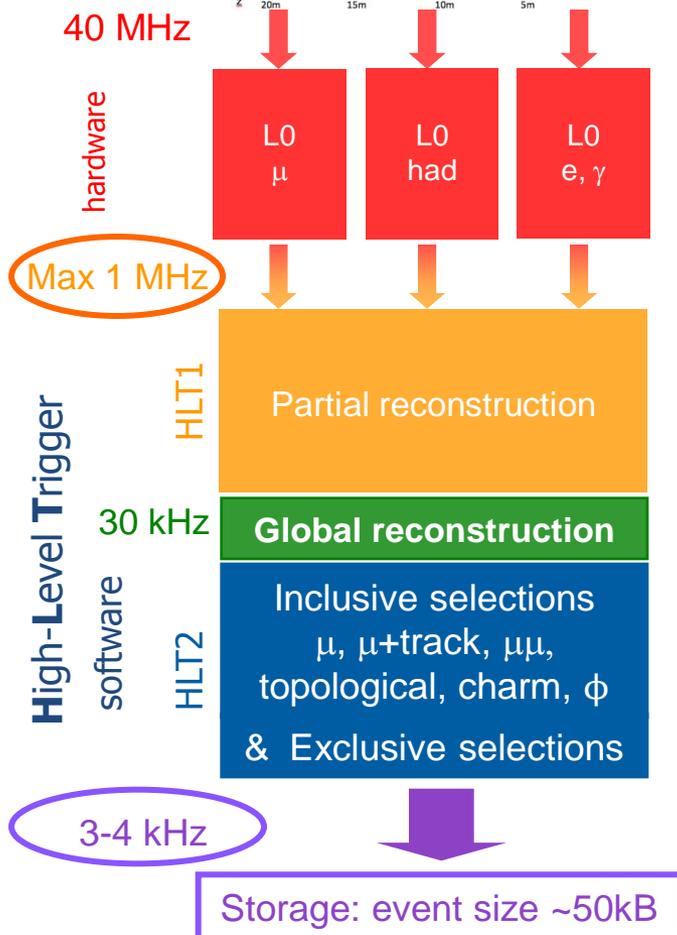
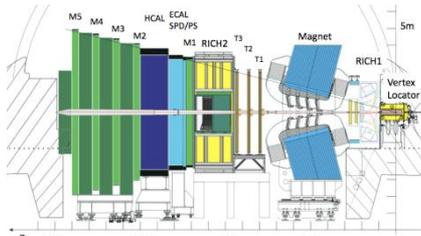
Измерение массы

$M(B^+ \rightarrow J/\psi K^+)$	$= 5279.27 \pm 0.11$ (stat) ± 0.20 (syst) MeV/c ²	5279.17 \pm 0.29
$M(B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0})$	$= 5279.54 \pm 0.15$ (stat) ± 0.16 (syst) MeV/c ²	5279.50 \pm 0.30
$M(B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)$	$= 5279.61 \pm 0.29$ (stat) ± 0.20 (syst) MeV/c ²	5279.50 \pm 0.30
$M(B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi)$	$= 5366.60 \pm 0.28$ (stat) ± 0.21 (syst) MeV/c ²	5366.30 \pm 0.60
$M(\Lambda_b \rightarrow J/\psi \Lambda)$	$= 5619.49 \pm 0.70$ (stat) ± 0.19 (syst) MeV/c ²	5620.2 \pm 1.6
$M(B_c^+ \rightarrow J/\psi \pi^+)$	$= 6268.0 \pm 4.0$ (stat) ± 0.6 (syst) MeV/c ²	6277 \pm 6



PDG-values:

ЛНСb спектрометр



- Level-0 уровень:

- Поиск кандидатов с большим поперечным импульсом (μ , h , e , γ)

Trigger	had	μ	$\mu\mu$	e^\pm	γ	π^0
$p_T > (\text{GeV})$	3.5	1.4	$\Sigma > 1.5$	2.6	2.3	4.5

- Триггер высшего уровня (HLT1, HLT2):

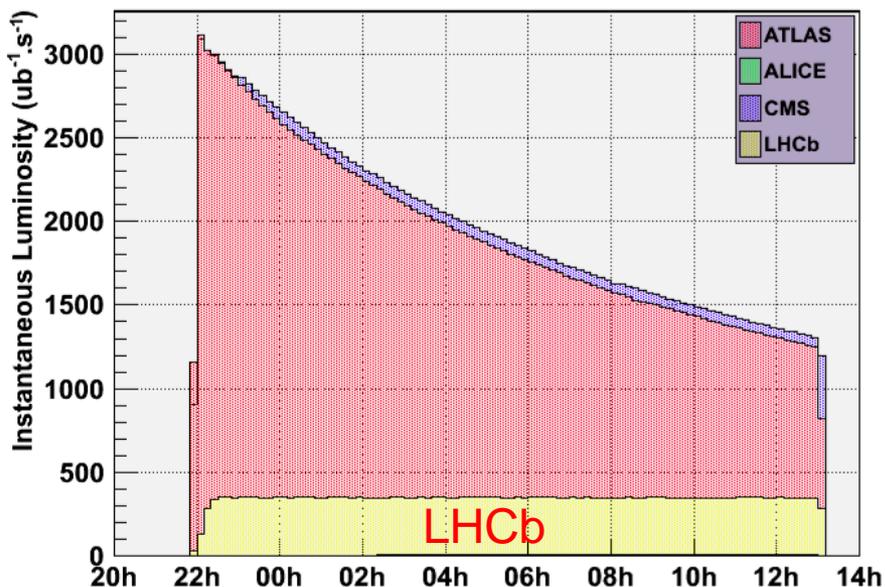
- ПК ферма ~1500 ПК (16-ядерные)
- HLT1: трековая информация, прицельный параметр
- HLT2: полная реконструкция и отбор
- Изменяющаяся конфигурация

Trigger Configuration Key (ТСК)

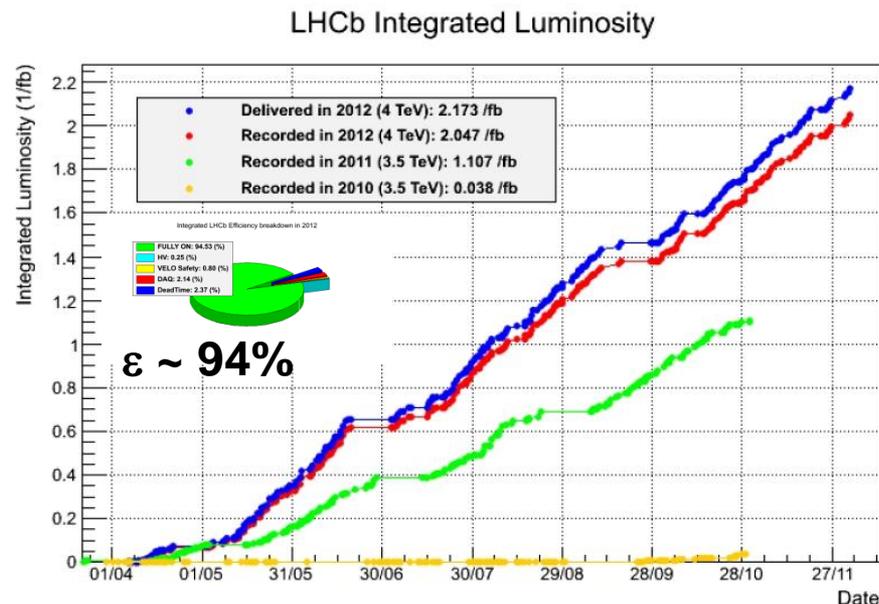
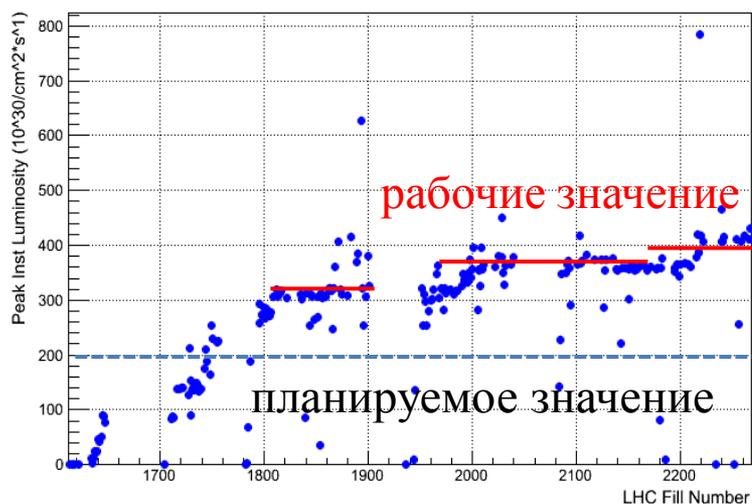
- Характерная эффективность:

- ~30% адронных событий
- ~90% димьюонных событий
- ~90% радиационных распадов В-мезонов

Набор данных (особенности)



LHCb Peak Instantaneous Lumi at 3.5 TeV in 2011



постоянная светимость во время набора данных

- “развод” сталкивающихся пучков во время сеанса
- нетривиальное и прекрасно работающее решение

$\mathcal{L} \sim 3\text{-}4 \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ значительно выше планируемого значения

Физическая программа LHCb

- **В распады в чармониум**
 - Измерение фаз B_s и B_d осцилляций
 - $B \rightarrow J/\psi X$ и др.
- **В распады в открытый чарм**
 - СКМ угол γ из $B \rightarrow D K$ распадов
- **Редкие распады**
 - лептонные, полу-лептонные и радиационные распады
 - Запрещенные распады в СМ
- **Очарованная физика**
 - Параметры смешивания и CP-нарушения
 - Рождение открытого чарма и спектроскопия
 - Редкие распады чарма
- **Распады В без образования чарма**
 - изучение $B \rightarrow h h^{(\prime)}$ и $B \rightarrow h h^{(\prime)} h^{(\prime)}$
- **Полулептонные распады В**
 - Изучение CP в смешивании
- **В адроны & кварконий**
 - Рождение и спектроскопия В адронов и кваркония
- **КХД, электрослабое вз-вие & экзотика**
 - Рождение электрослабых бозонов, PDFs
 - Новые долгоживущие частицы

Физическая программа ЛНСб



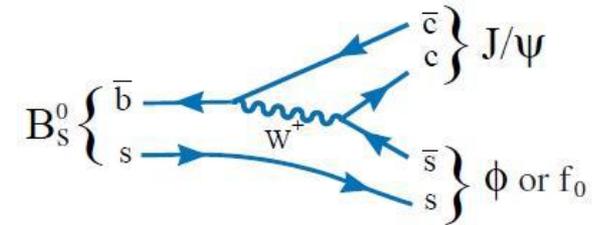
открытая/закрытая прелесть

открытый/закрытый чарм

Нарушение CP-симметрии в

$$B_s \rightarrow J/\psi \phi$$

$B_s \rightarrow J/\psi \phi$ аналог $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$:

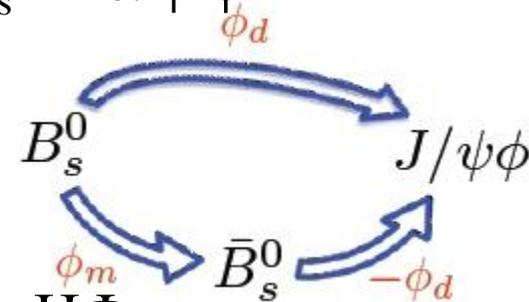


✓ “золотая” мода для измерения ϕ_s

- $\phi_s = \phi_m - 2\phi_d$ разница фаз за счет распадов $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ через смешивание и без него

- ϕ_s аналог фазы 2β в распаде $B^0 \rightarrow J/\psi K_s$

✓ ϕ_s мала в СМ и чувствительная к проявлению НФ



$$\phi_s = \phi_s^{\text{SM}} + \phi_s^{\text{НФ}}, \text{ где } \phi_s^{\text{SM}} \cong -2\beta_s \equiv -2 \arg \left(\underbrace{\frac{V_{ts} V_{tb}^*}{V_{cs} V_{cb}^*}}_{\text{смеш}} \right) = -0.036 \pm 0.002$$

J. Charles et al.
PRD 84 (2011) 033005

Нарушение CP-симметрии в

$$B_s \rightarrow J/\psi \phi$$

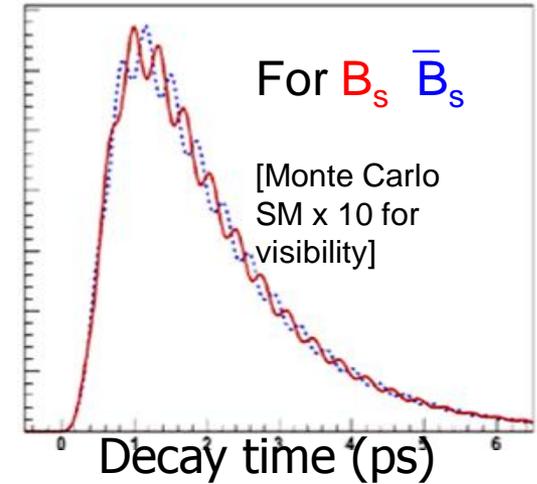
$B_s \rightarrow J/\psi \phi$ различия $B^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$:

- ✓ разность масс $\Delta m_s \gg \Delta m_d$ – необходимо очень хорошее временное разрешение для разделения осцилляций
- ✓ разность ширин $\Delta \Gamma_s \gg \Delta \Gamma_d$

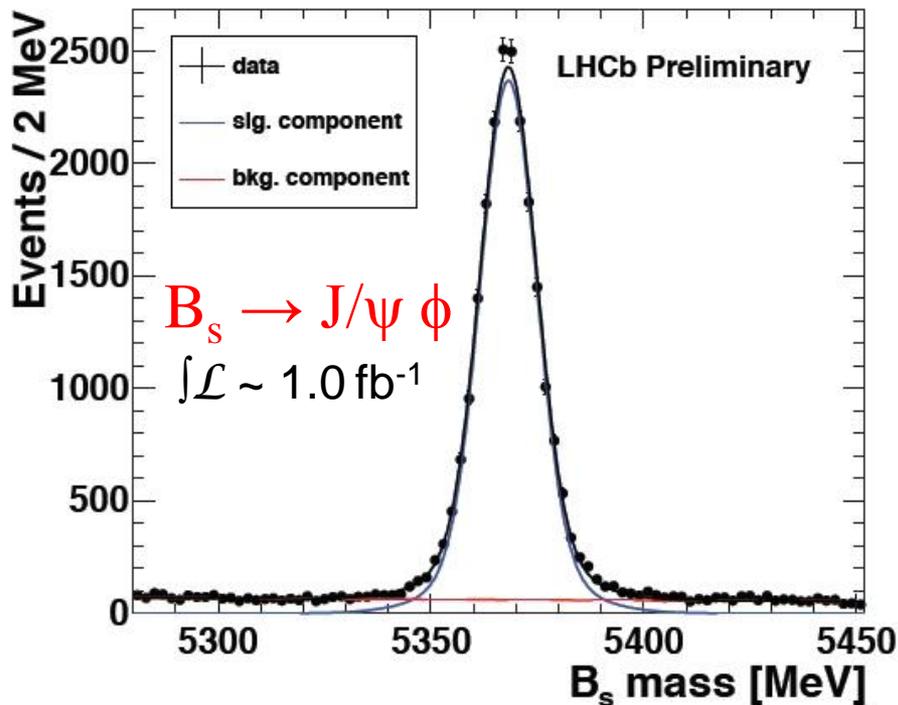
✓ конечное состояние $B_s \rightarrow J/\psi K^+ K^-$ системы – сумма собственных состояний CP-четных и CP-нечетных с вкладом 4 поперечных амплитуд ($P \rightarrow VV$) → угловой анализ

$K^+ K^-$ в P волне : амплитуды $A_{\perp}(t)$, $A_{\parallel}(t)$, $A_0(t)$ → конечное состояние CP-четное и CP-нечетное

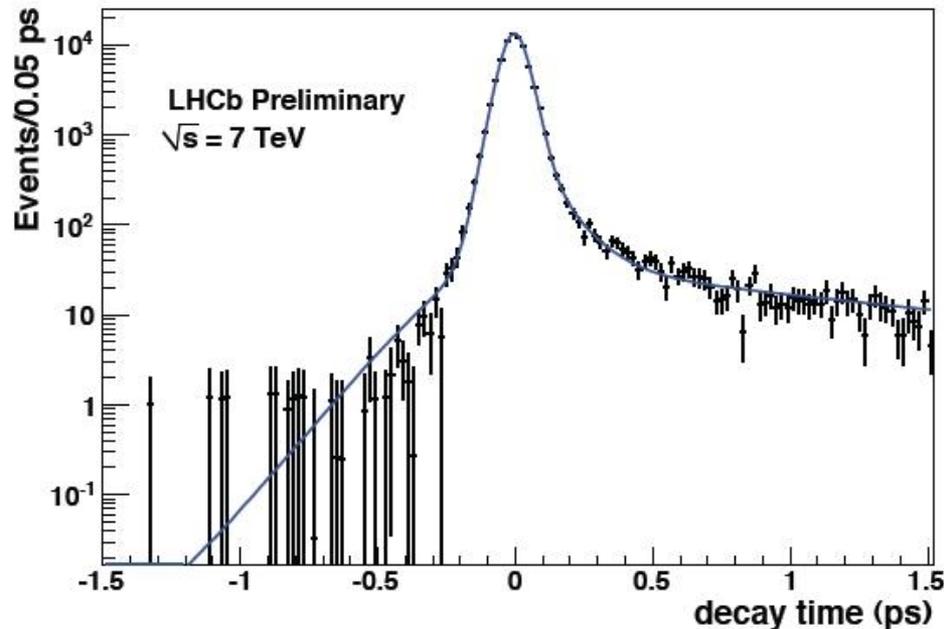
$K^+ K^-$ в S волне : амплитуда $A_s(t)$ → конечное состояние CP-нечетное



Изучение $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ (разрешение)



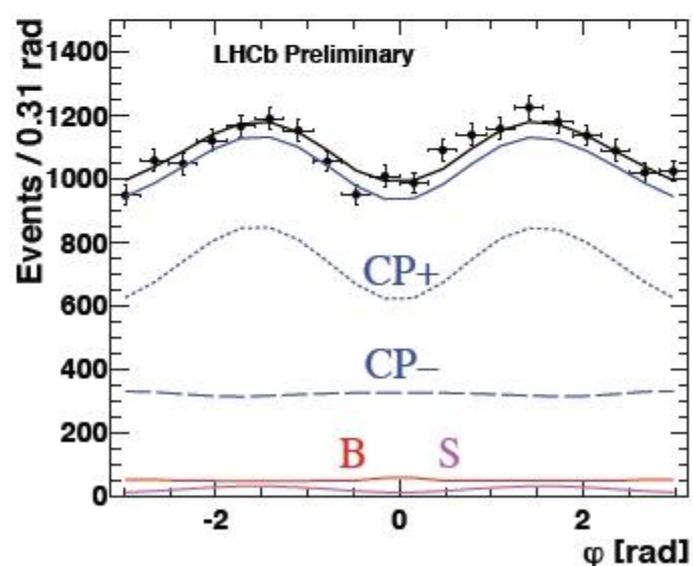
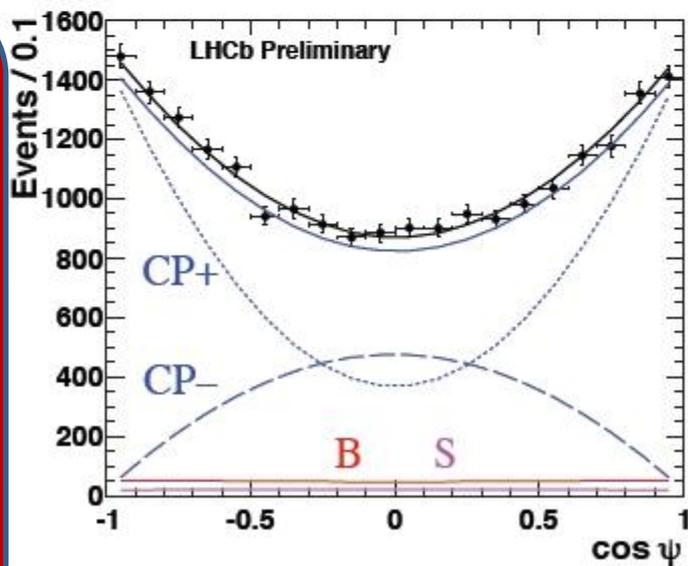
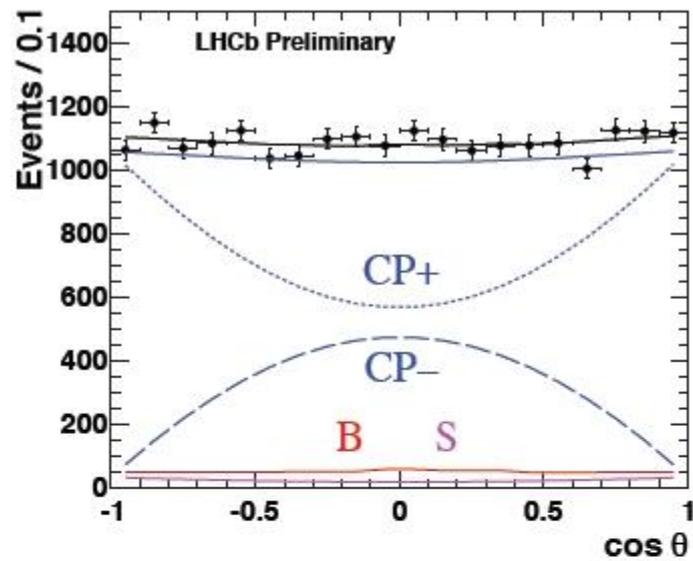
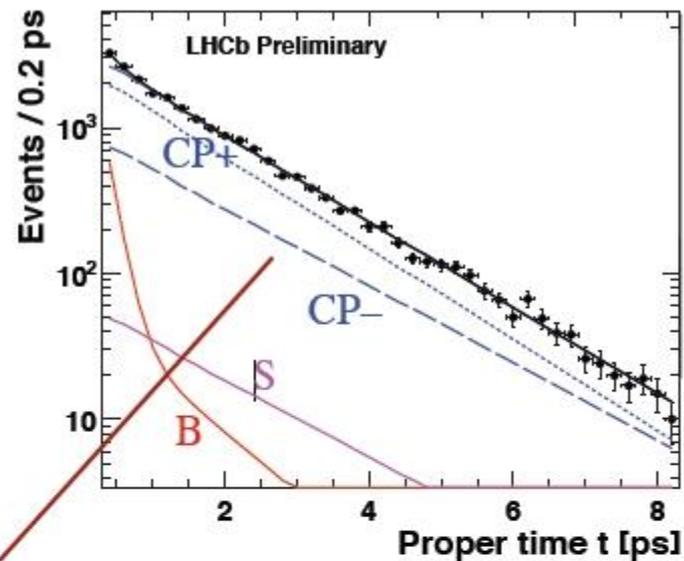
- $t > 0.3 \text{ ps}$
- $N \sim 21200$ событий
- $\sigma_m \sim 8 \text{ MeV}/c^2$
- практически без фона



- отбор без ограничений на время жизни и прицельный параметр
- $\sigma_\tau \sim 45 \text{ ps}$

Изучение $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ (ϕ фит)

CP+ : $B_s \rightarrow J/\psi \phi$
 сигнал с CP четным
 конечным состоянием
CP- : $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ сигнал
 с CP нечетным
 конечным состоянием
S : $B_s \rightarrow J/\psi KK$ с
 $J_{KK}=0$ (S волна, CP-
 нечетное)
B : фон

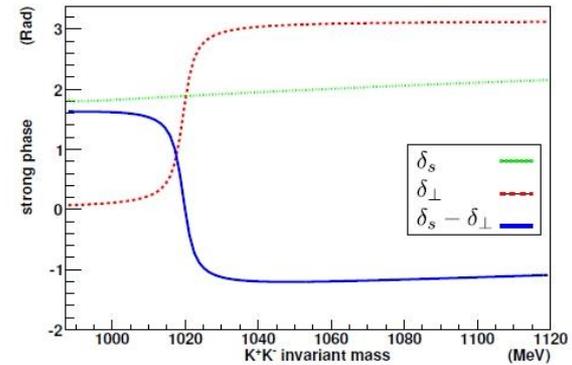


Первое
 наблюдение
 $> 5 \sigma$ $\Delta\Gamma \neq 0$

Состояние
 CP- живет
 дольше, чем
 CP+

$\Delta\Gamma \neq 0$, а какой знак?!

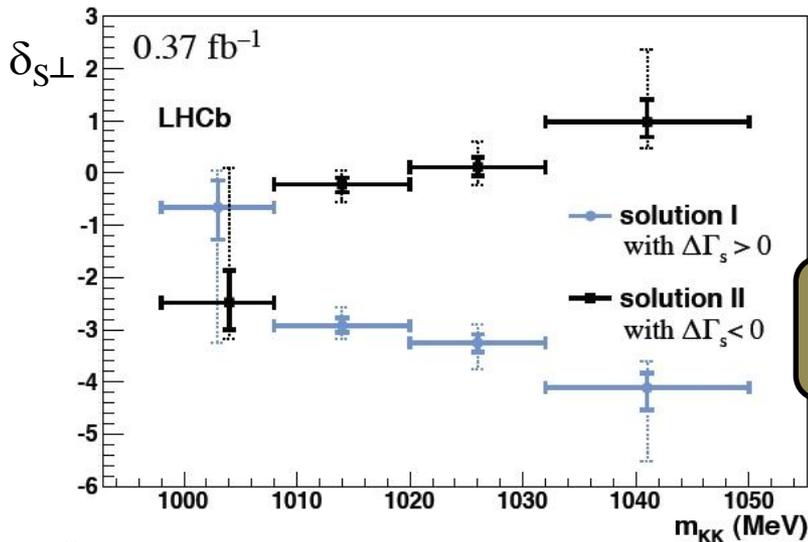
Изучение $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ (знак)



- неопределенность: $(\Delta \Gamma_s, \phi_s, \delta_{\perp}, \delta_{\parallel}, \delta_s) \Leftrightarrow (-\Delta \Gamma_s, \pi - \phi_s, -\delta_{\perp}, \pi - \delta_{\parallel}, -\delta_s)$
- повторить анализ в широком массовом интервале $M(K^+K^-)$, не только вокруг $\phi(1020)$
- 4 интервала в диапазоне $988 < M(K^+K^-) < 1050 \text{ MeV}/c^2$
- ожидается

- ✓ полная амплитуда распада – сумма вкладов P- и S-волн
- ✓ фазы P волны увеличивается с ростом $M(K^+K^-)$ – вклад $\phi(1020)$
- ✓ фаза S волны слабо изменяется (вклад $f_0(980)$ и нерезон. распад)
- ✓ $\Rightarrow \delta_{S\perp} = \delta_s - \delta_{\perp}$ убывает

- наблюдается решение с $\Delta \Gamma_s > 0$ ведет себя как и ожидалось



LHCb,
PRL 108 (2012) 241801

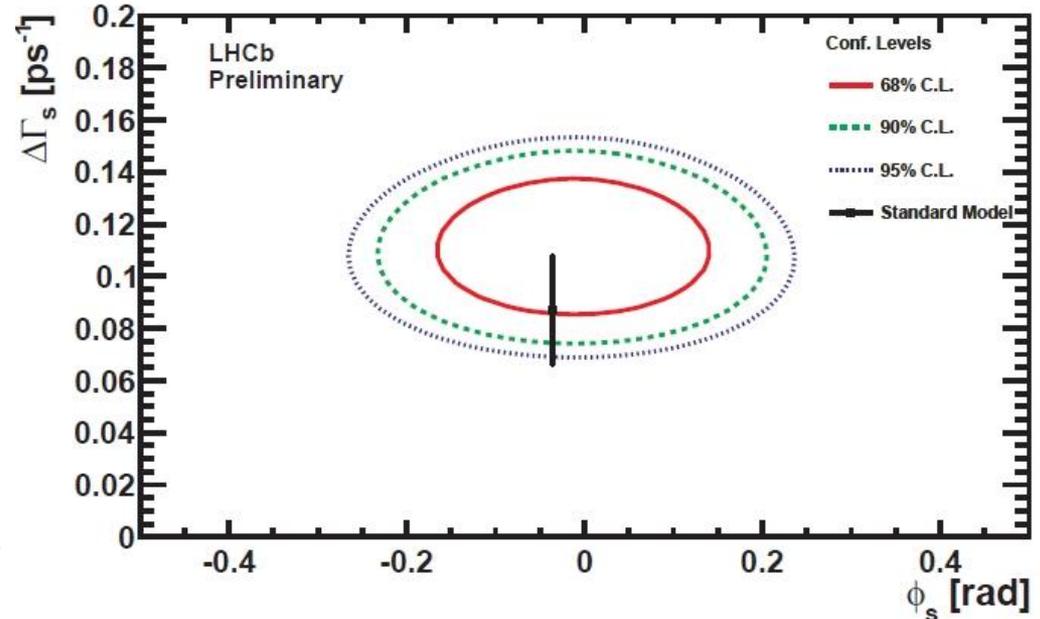
$> 4.7 \sigma$
 $\Delta \Gamma = \Gamma_L - \Gamma_H > 0$
 Тяжелое
 состояние (CP-)
 живет дольше,
 чем легкое
 (CP+)

Нарушение CP-симметрии в

$$B_s \rightarrow J/\psi \phi$$

LHCb-CONF-2012-002

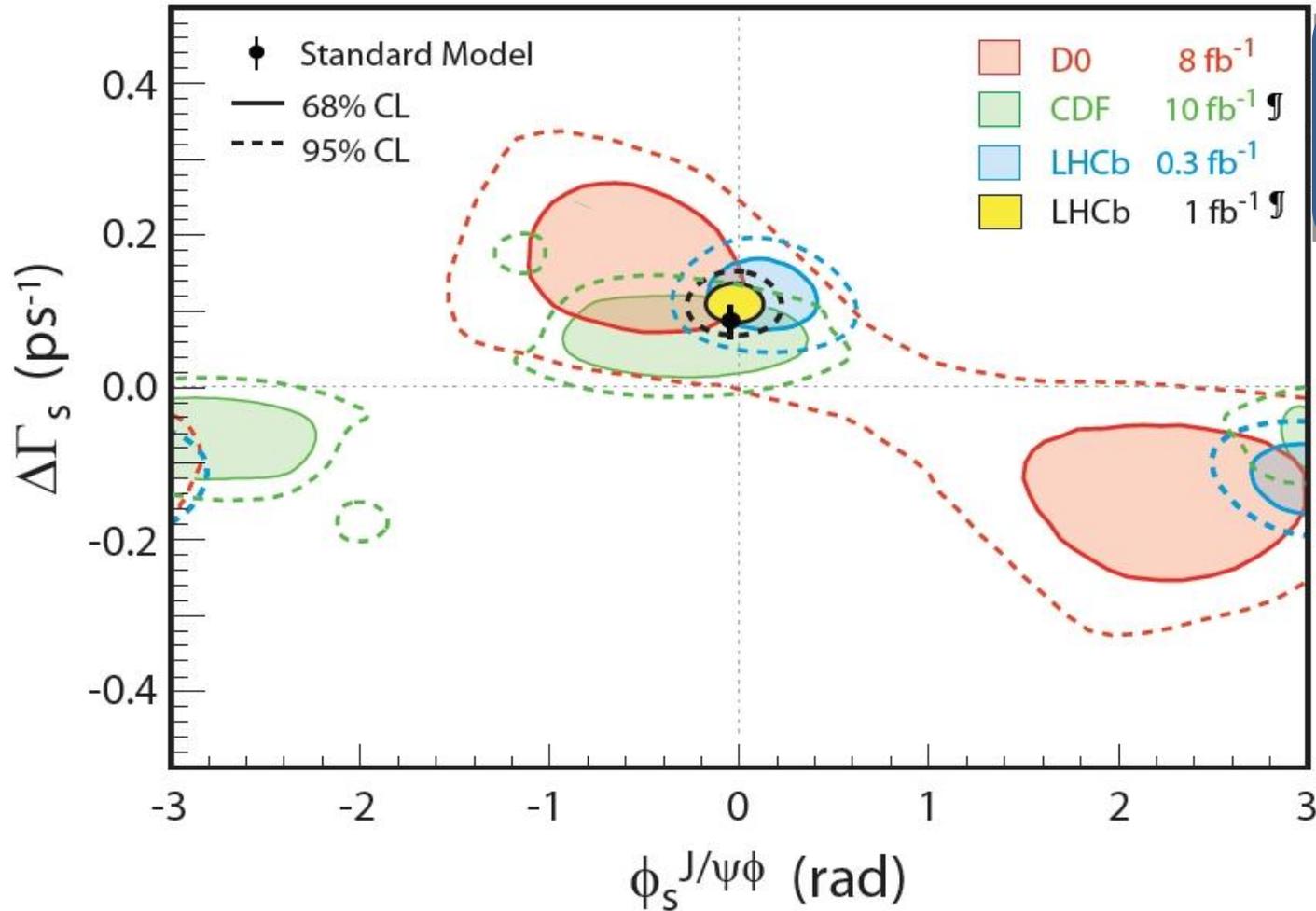
Parameter	Value	Stat.	Syst.
Γ_s [ps ⁻¹]	0.6580	0.0054	0.0066
$\Delta\Gamma_s$ [ps ⁻¹]	0.116	0.018	0.006
$ A_\perp(0) ^2$	0.246	0.010	0.013
$ A_0(0) ^2$	0.523	0.007	0.024
F_S	0.022	0.012	0.007
δ_\perp [rad]	2.90	0.36	0.07
δ_\parallel [rad]	[2.81, 3.47]		0.13
δ_s [rad]	2.90	0.36	0.08
ϕ_s [rad]	-0.001	0.101	0.027



Значения $\Delta\Gamma_s$ и ϕ_s сравнимы с предсказаниями СМ

Только 1(!) год набора данных - **лучшая** точность определения ϕ_s

Нарушение CP-симметрии в $B_s \rightarrow J/\psi \phi$



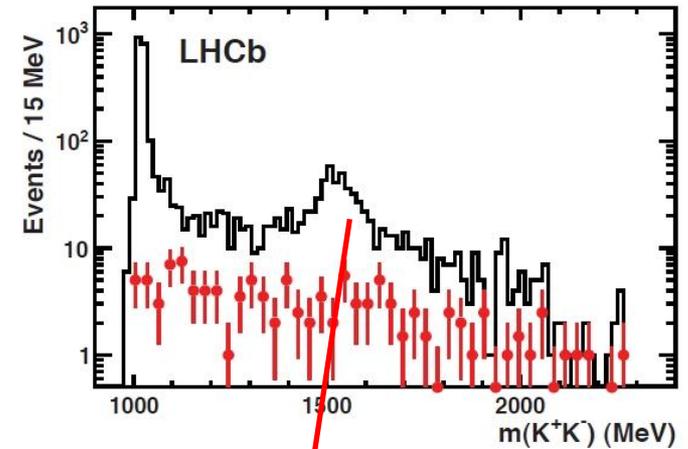
PRD 85 (2012) 032006
 CDF note 10778
 arXiv: 1112.3138
 LHCb-CONF-2012-002

неопределенность
 решена

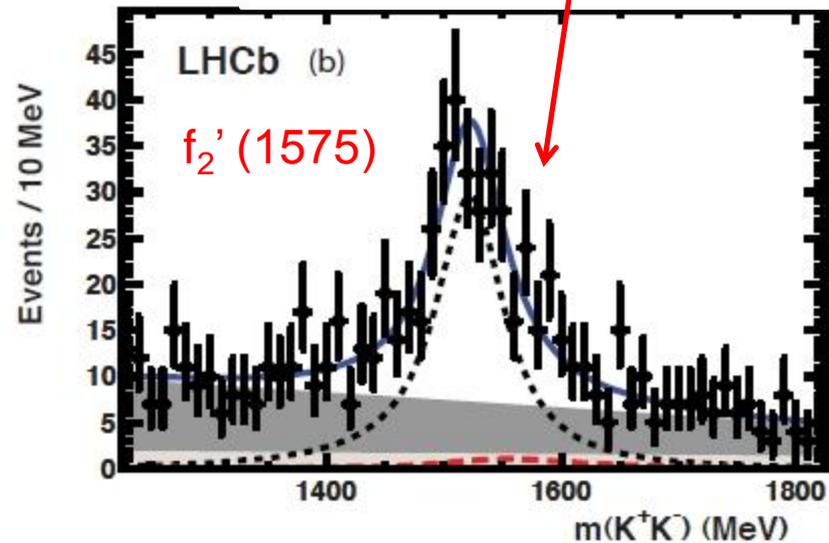
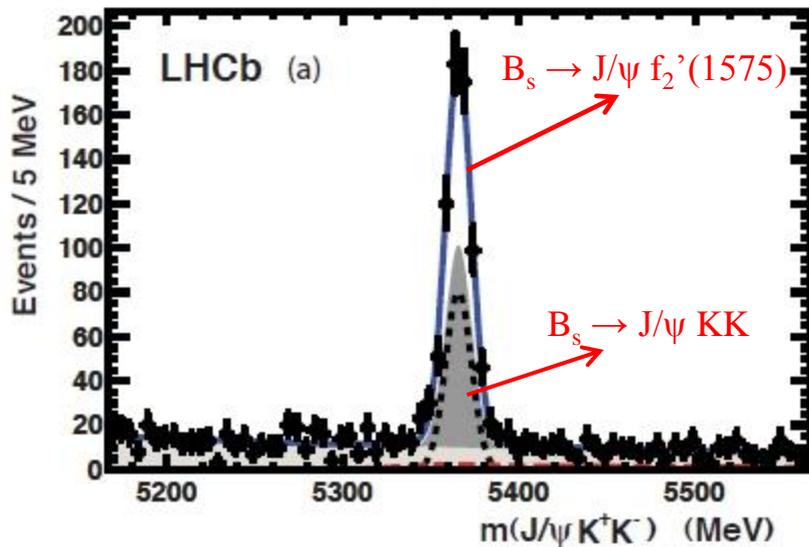
CP-нарушение в $B_s \rightarrow J/\psi f_J$

Поиск резонансов в $K^+ K^-$ системе ($B_s \rightarrow J/\psi K^+ K^-$)

- ✓ доминирующий вклад ϕ (1020)
- ✓ первое наблюдение $B_s \rightarrow J/\psi f_2'(1575)$
- ✓ нерезонансная компонента



LHCb,
arXiv: 1112.4695



$B_s \rightarrow J/\psi f_0(980), f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^-$

- ✓ чистое CP-нечетное состояние
- ✓ ϕ_s измеряется без углового анализа

LHCb,
PLB 707 (2012) 49722

CP-нарушение в $B_s \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

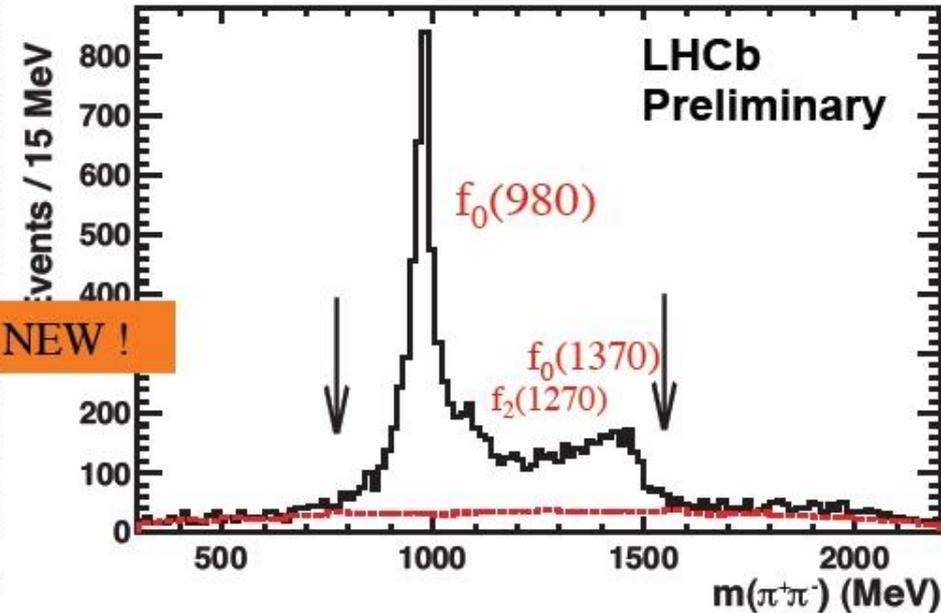
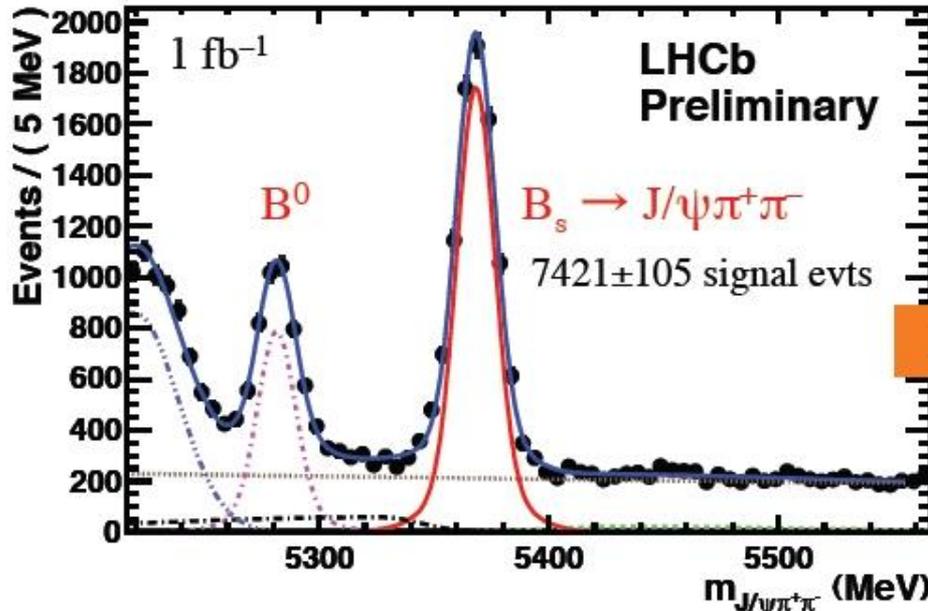
$B_s \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

✓ $775 < M(\pi^+ \pi^-) < 1550 \text{ MeV}/c^2$

✓ Угловой анализ позволяет сделать заключение, что это CP-нечетная система ($>97.7\%$ @ 95% CL)

✓ измеренное значение $\phi_s = -0.02 \pm 0.17 \pm 0.02$

LHCb-PAPER-2012-005,
LHCb-PAPER-2012-006



LHCb: $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ и $B_s \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ (1 fb⁻¹):

$$\phi_s = -0.002 \pm 0.083 \pm 0.027$$

$$\phi_s^{\text{SM}} = -0.036 \pm 0.002$$

Изучение редких распадов



Радиационные распады $b \rightarrow s \gamma$

НФ в переходах $b \rightarrow s \gamma$

наблюдаемые: BR, A_{CP} , спиральность фотона

распады, доступные в LHCb

$B \rightarrow K^* \gamma$, $B^+ \rightarrow K^{*0} \pi^+ \gamma$, $B^+ \rightarrow \phi K^+ \gamma$

$B_s \rightarrow \phi \gamma$, $\Lambda_b \rightarrow \Lambda^* (pK^-) \gamma$

Разрешение по массе $\sim 100 \text{ MeV}/c^2$

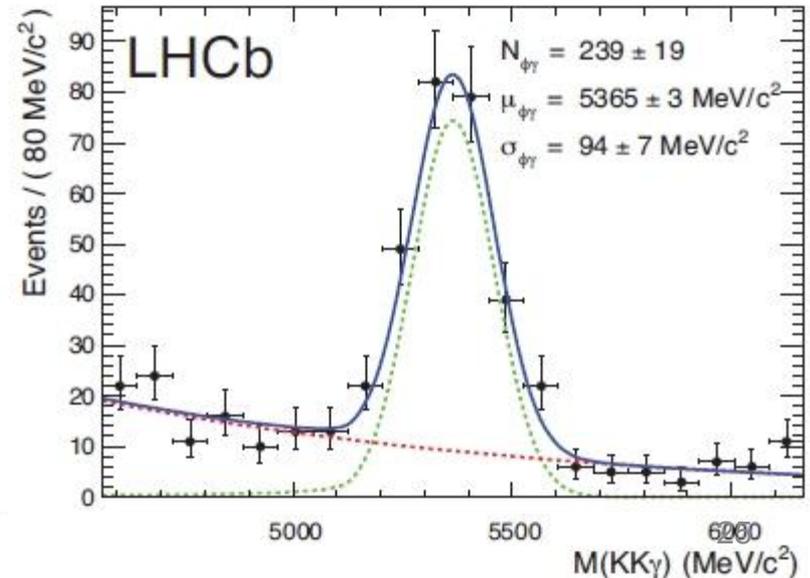
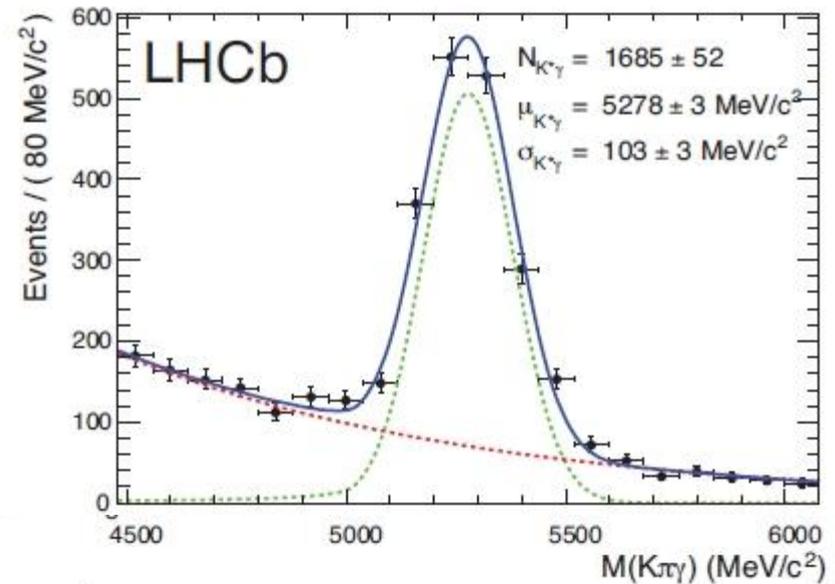
$B_s \rightarrow \phi \gamma$

LHCb
arXiv:1202.6267

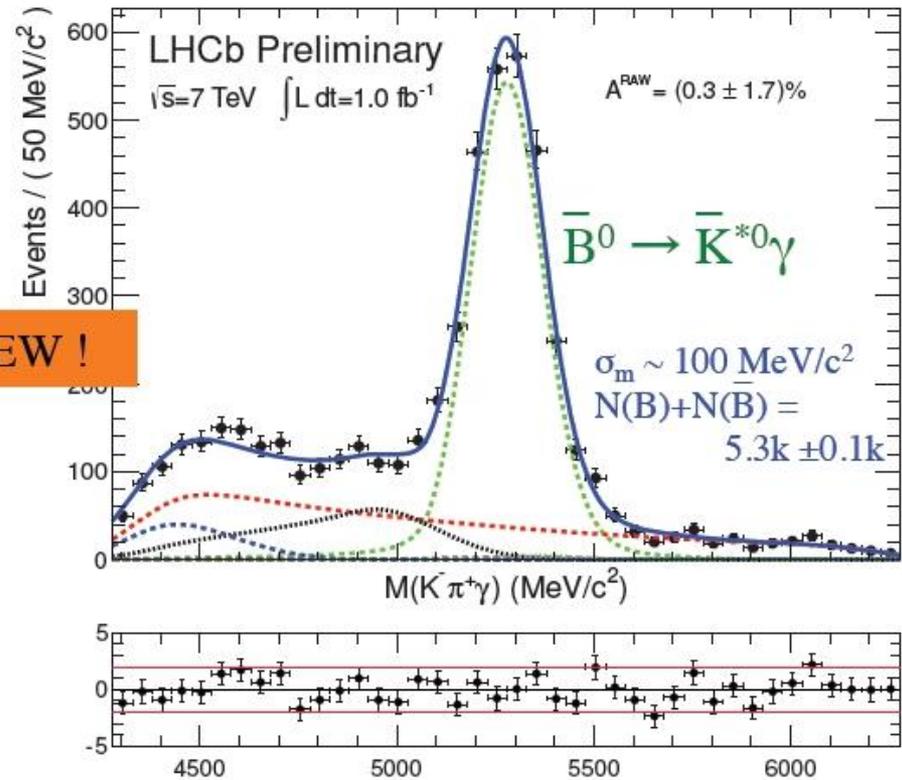
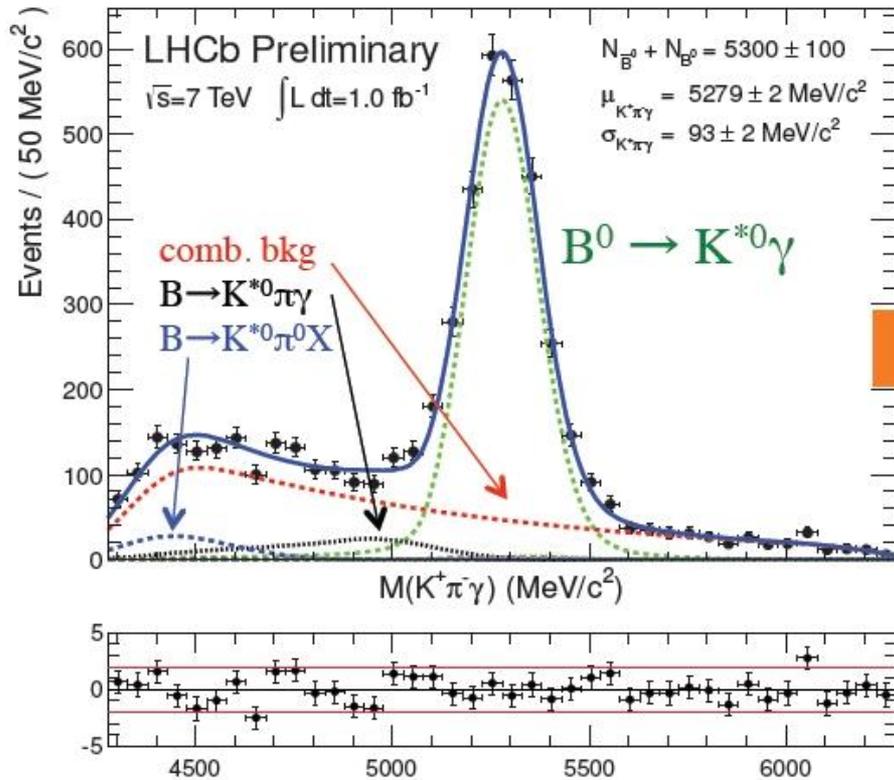
LHCb: $BR(B \rightarrow K^* \gamma) / BR(B_s \rightarrow \phi \gamma)$

$$= 1.12 \pm 0.08 \begin{matrix} +0.06 & +0.09 \\ -0.04 & -0.08 \text{ fs/fd} \end{matrix}$$

В согласии с SM: 1.0 ± 0.2



Прямое CP-нарушение $B^0 \rightarrow K^* \gamma$



LHCb:
 $A_{CP}(B^0 \rightarrow K^* \gamma) = 0.008 \pm 0.017 \pm 0.009$

В согласии с SM: -0.0061 ± 0.0043

LHCb-CONF-2012-004

Keum, Matsumori, Sanda
 PRD 72 (2005) 014013



Редкий распад $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Один из наиболее чувствительных каналов для поиска НФ

Стандартная Модель – очень редкий распад (FCNC, подавление по спиральности)

$$\text{BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3.2 \pm 0.2) \times 10^{-9}$$

MSSM: $\text{BR} \propto \tan^6 \beta / M_A^4$ – несколько порядков \uparrow

Ситуация на конец октября 2012 г. (95% CL)

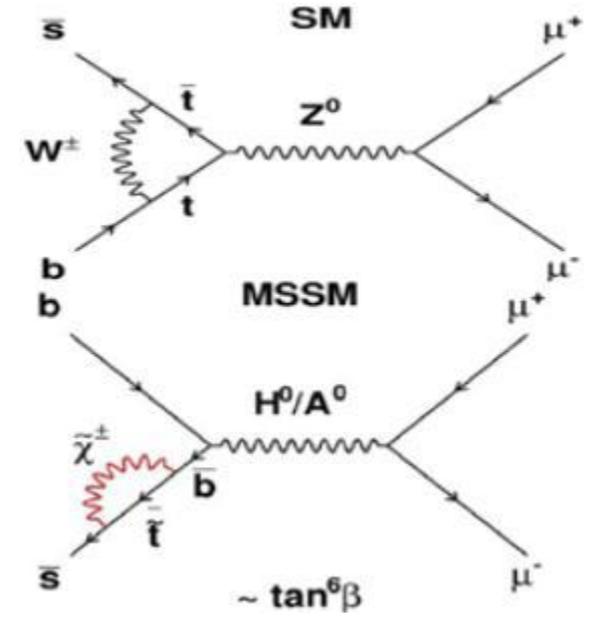
$$\text{ATLAS: BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 22 \times 10^{-9}$$

$$\text{CMS : BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 7.7 \times 10^{-9}$$

$$\text{LHCb : BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 4.5 \times 10^{-9}$$

LHC объединенные данные

$$\text{BR}(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 4.2 \times 10^{-9}$$



ARGUS – 25 лет назад

DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON **DESY**

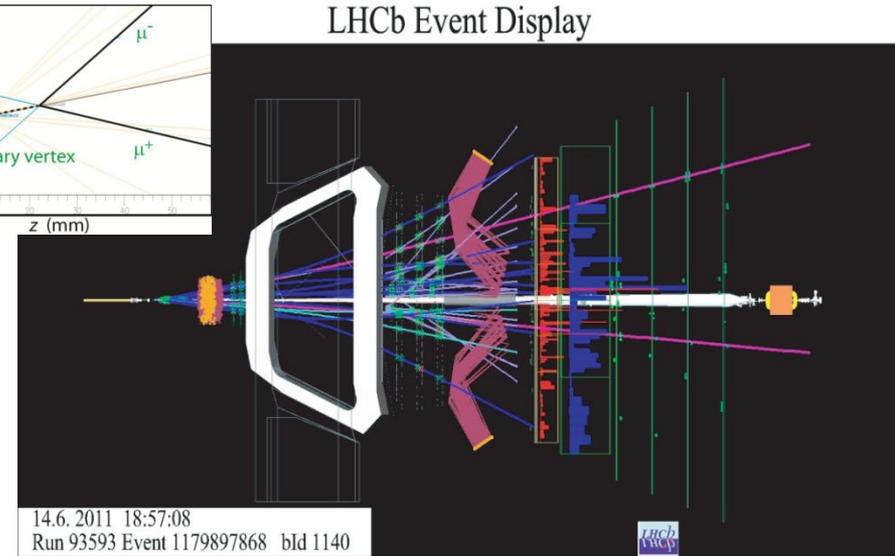
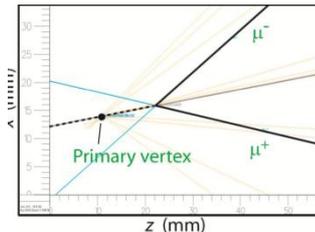
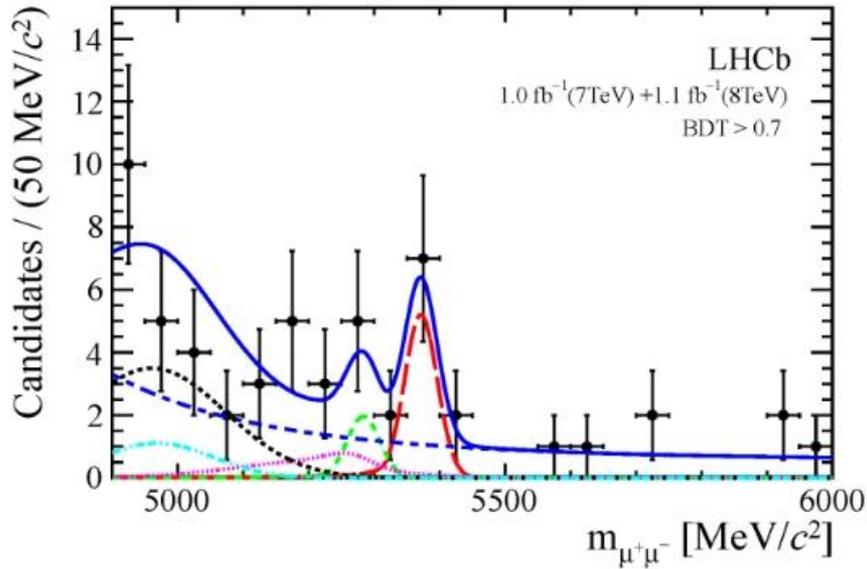
DESY 87-111
September 1987

受入
87-12-46
高工研図書室

B MESON DECAYS INTO CHARMONIUM STATES

ABSTRACT. Using the ARGUS detector at the e^+e^- storage ring DORIS II, we have studied the colour-suppressed decays $B \rightarrow J/\psi X$ and $B \rightarrow \psi' X$. We find the inclusive branching ratios for these two channels to be $(1.07 \pm 0.16 \pm 0.19)\%$ and $(0.46 \pm 0.17 \pm 0.11)\%$ respectively. From a sample of reconstructed exclusive events the masses of the B^0 and B^+ mesons are determined to be $(5279.5 \pm 1.6 \pm 3.0) \text{ MeV}/c^2$ and $(5278.5 \pm 1.8 \pm 3.0) \text{ MeV}/c^2$ respectively. Branching ratios are determined from five events of the type $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ and three of $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$. In the same data sample a search for $B^0 \rightarrow e^+e^-$, $\mu^+\mu^-$ and $\mu^\pm e^\mp$ leads to upper limits for such decays.

Редкий распад $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

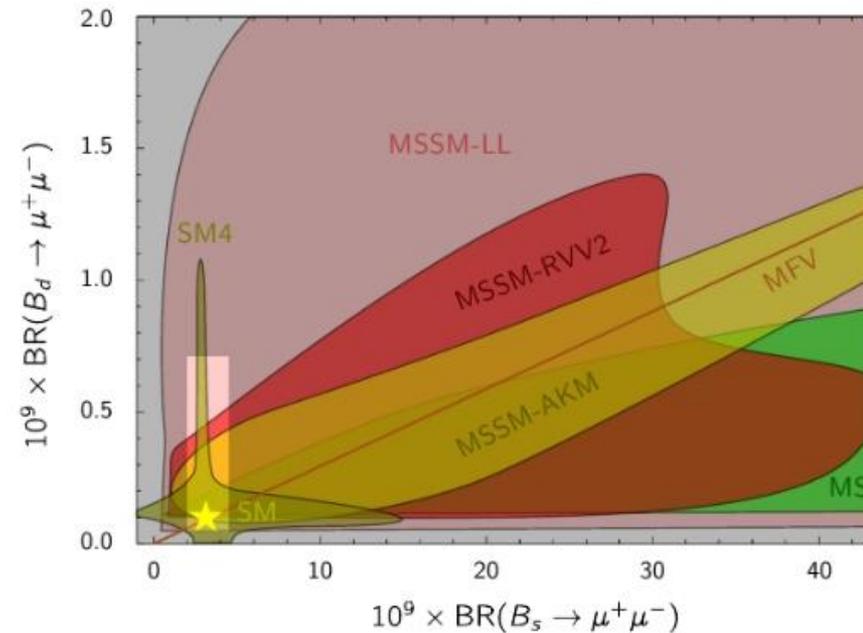


LHCb-PAPER-2012-007

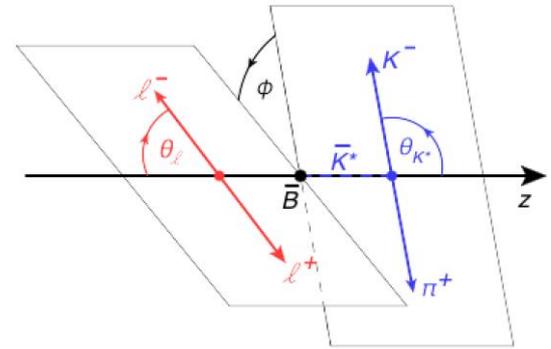
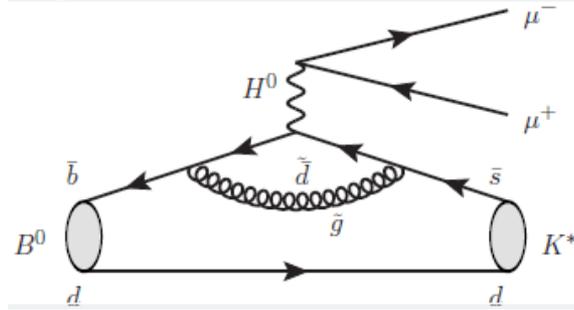
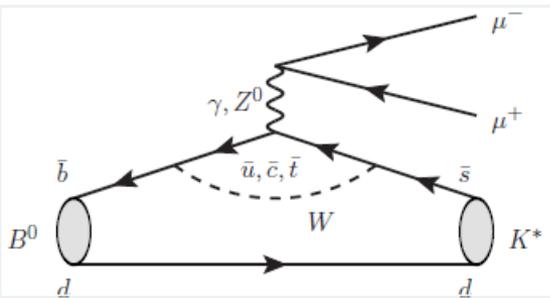
$$\text{BR}(B_s \rightarrow \mu\mu) = (3.2 \pm_{-1.2}^{+1.4} \text{ (stat)} \pm_{-0.3}^{+0.5} \text{ (syst)}) \times 10^{-9}$$

$$\text{BR}(B_d \rightarrow \mu\mu) < 9.4 \times 10^{-10}$$

Результат сравним с предсказаниями СМ
Сильное ограничение на существование НФ



Редкий распад $B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$



FCNC процесс, чувствителен к НФ

Измерение угловых распределений, как функции $q^2 = M^2(\mu\mu)$

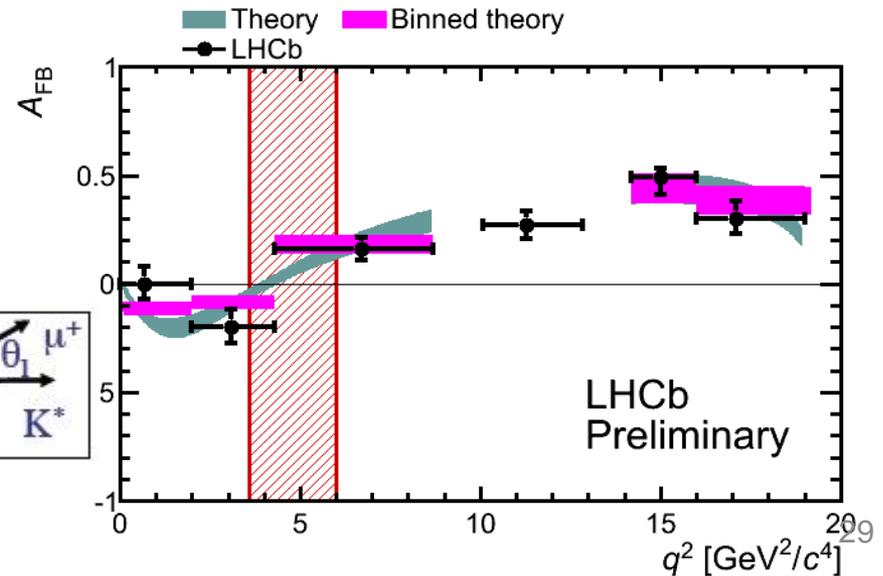
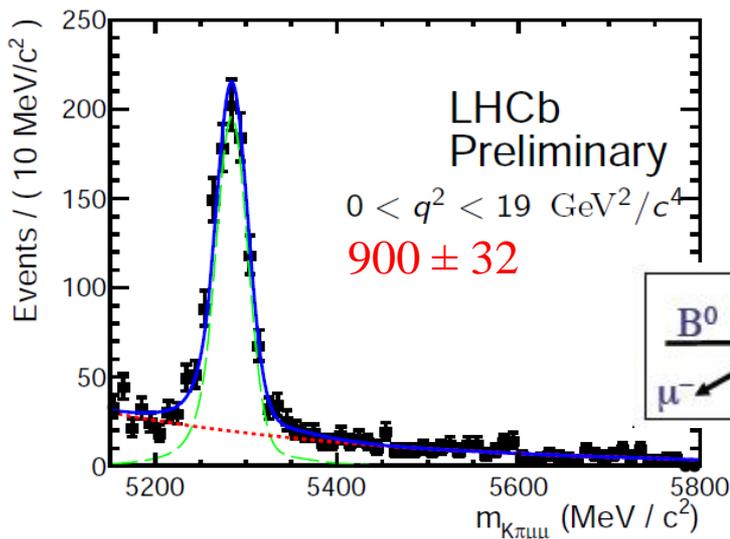
K^* поляризация, асимметрия вперед-назад A_{FB}

q^2 где $A_{FB} = 0$ предсказана СМ

$q^2 (A_{FB} = 0) = (4-4.3) \text{ GeV}^2/c^4$

LHCb-CONF-2012-006

LHCb : первое измерение
 $q^2 (A_{FB} = 0) = 4.9^{+1.1}_{-1.3} \text{ GeV}^2/c^4$



Редчайший распад $B^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$

$b \rightarrow d$ ll переход

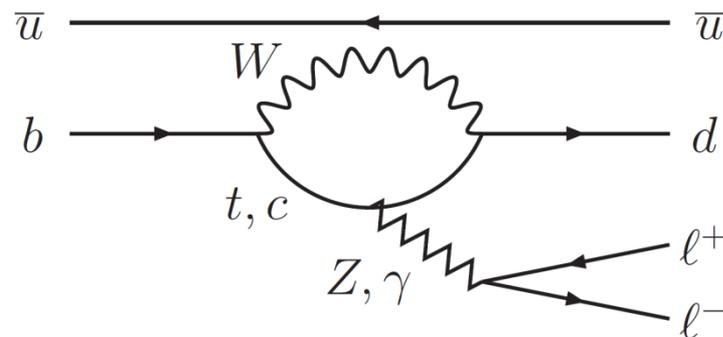
SM $BR(B^+ \rightarrow \pi^+ \mu\mu) = (2 \pm 0.2) \times 10^{-8}$
(Hai-Zhen et al, Commun. Theor. Phys 50)

в 25 раз меньше $B^+ \rightarrow K^+ \mu\mu$

особенность - прекрасная идентификация

предыдущее измерение Belle

$BR(B^+ \rightarrow \pi^+ \mu\mu) < 6.9 \times 10^{-8}$ @ 90% CL

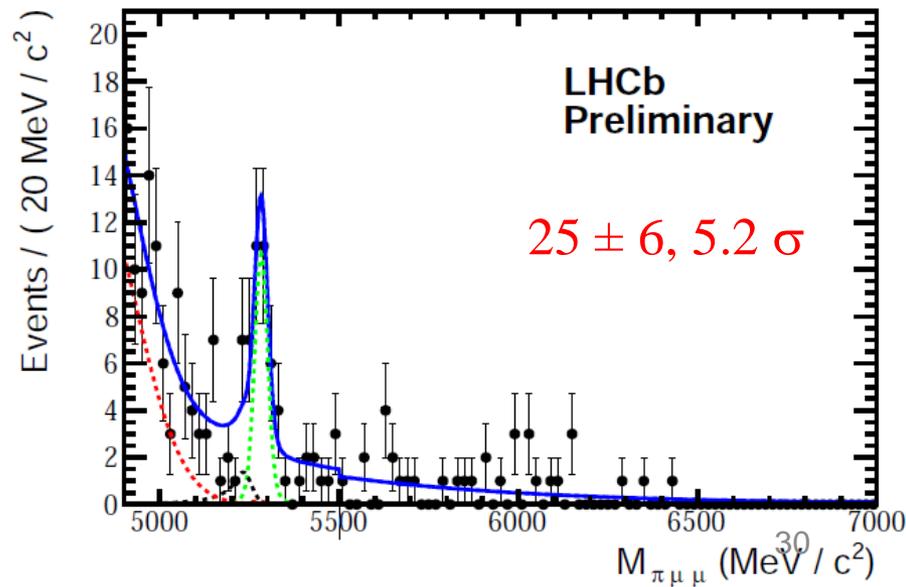


LHCb-PAPER-2012-020

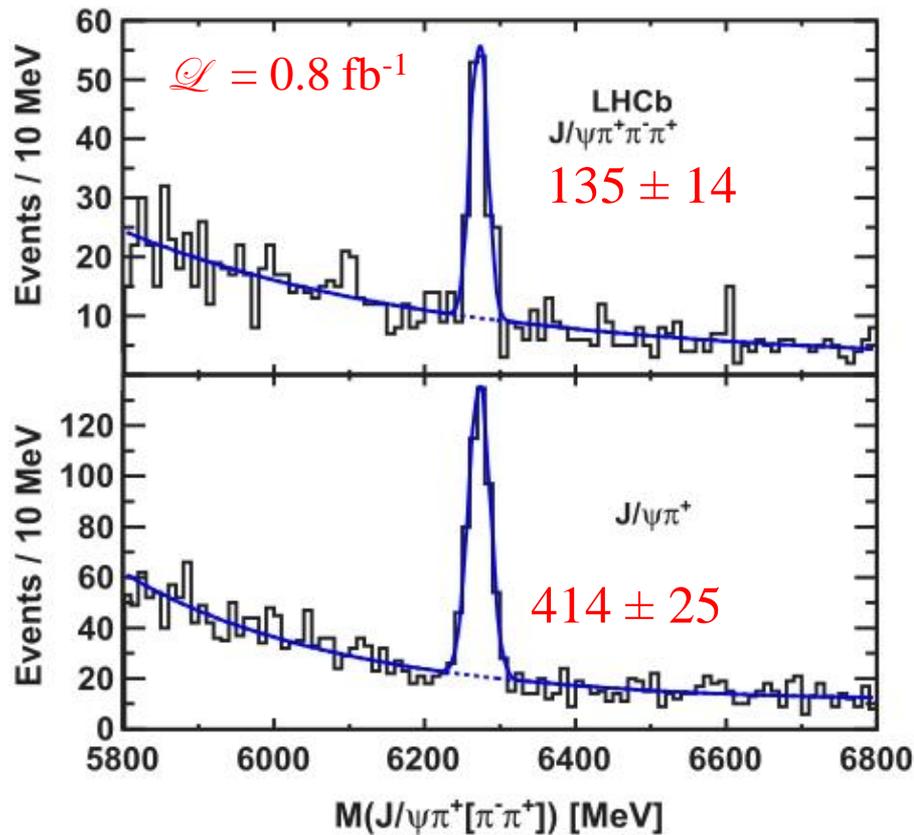
LHCb :

$BR(B^+ \rightarrow \pi^+ \mu\mu) = (2.4 \pm 0.6 \pm 0.2) \times 10^{-8}$

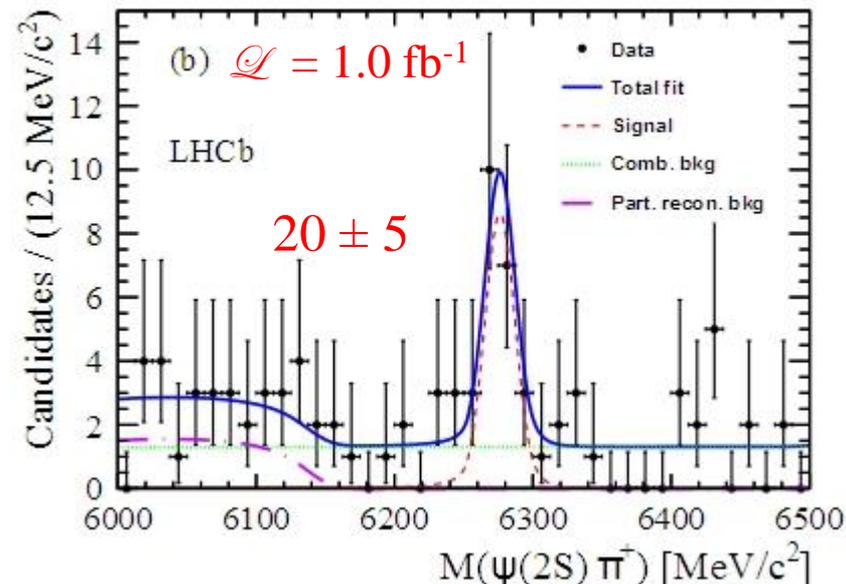
*Один из самых редких распадов
В мезонов из когда-либо
наблюденных!
(1 год набора данных)*



Новые распады B_c^+



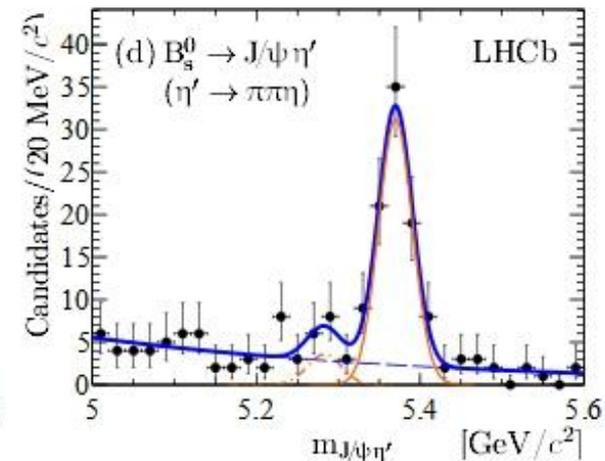
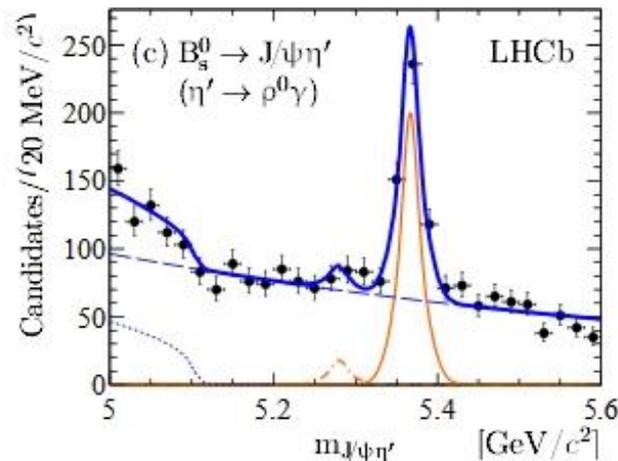
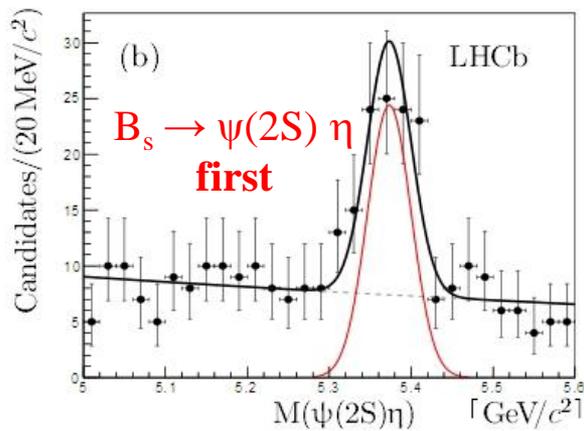
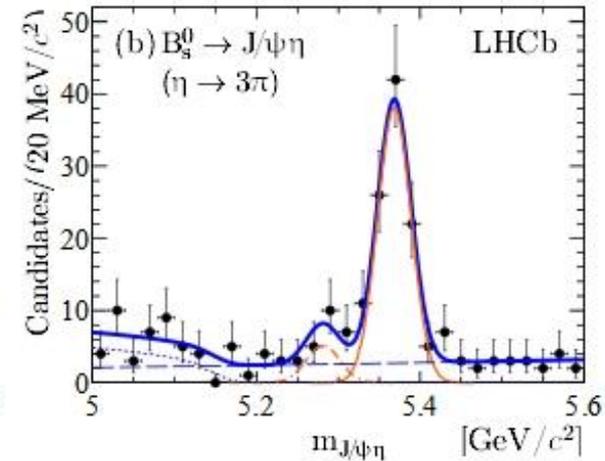
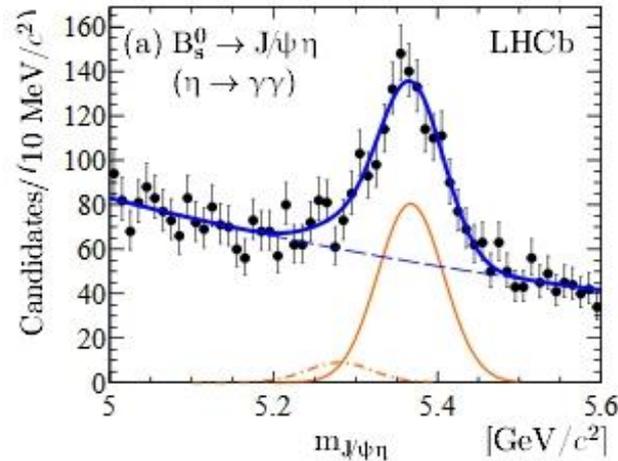
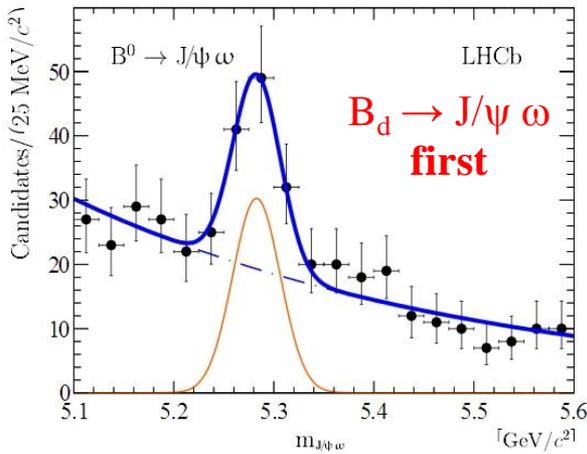
LHCb :
 $\text{BR}(B_c \rightarrow J/\psi\pi\pi\pi)/\text{BR}(B_c \rightarrow J/\psi\pi)$
 $2.41 \pm 0.30 \pm 0.33$



LHCb :
 $\text{BR}(B_c \rightarrow \psi(2S)\pi)/\text{BR}(B_c \rightarrow J/\psi\pi)$
 $0.250 \pm 0.068 \pm 0.014 \pm 0.006(B)$

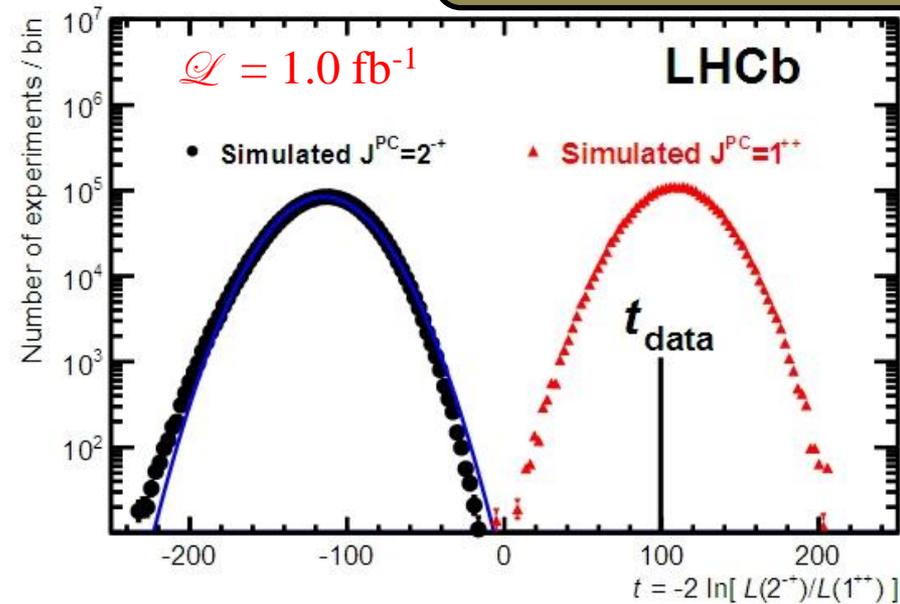
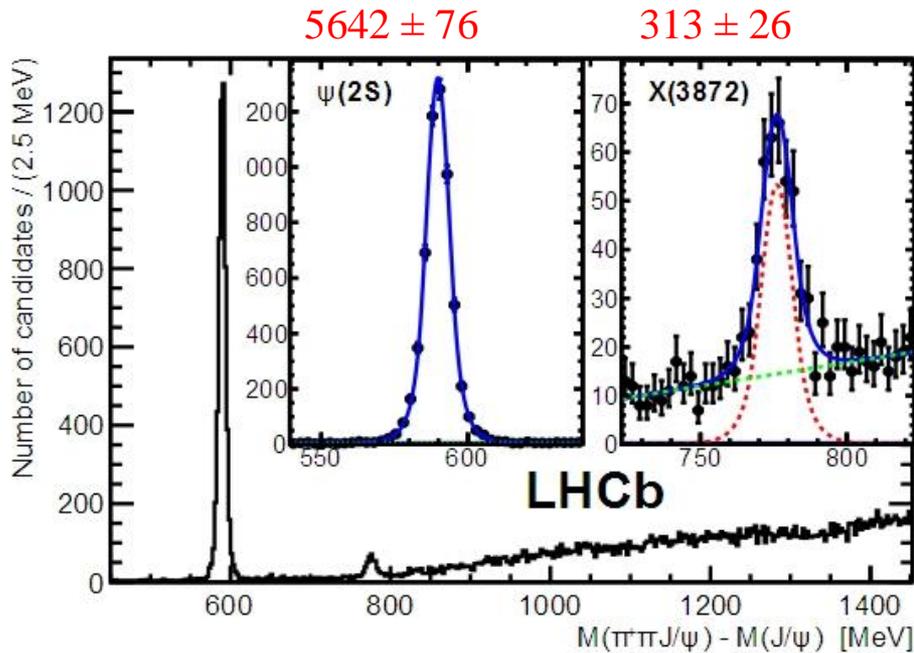
Распады B с чармонием в КОНЕЧНОМ СОСТОЯНИИ

$B_s \rightarrow J/\psi \eta^{(*)}$



Распады B с чармонием в конечном состоянии

arXiv: 1302.6269

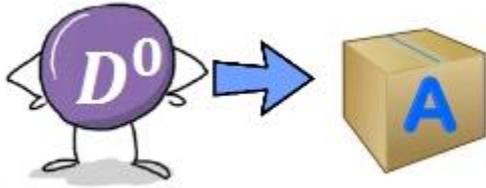


Квантовые числа X(3872) - $J^{PC} = 1^{++}$

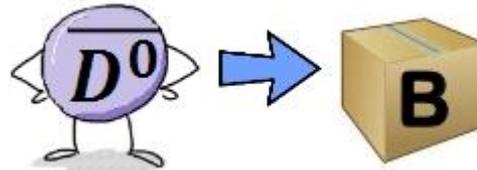
$J^{PC} = 2^{-+}$ исключено со стат.точностью $> 8.4\sigma$

D^0 -смешивание

частица



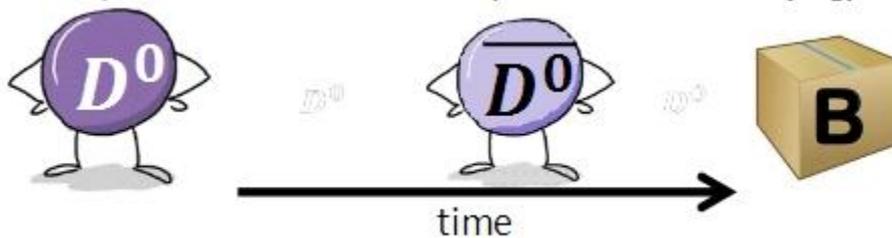
анти-частица



D^0 осцилляции очень медленные:

полный период не может
быть измерен

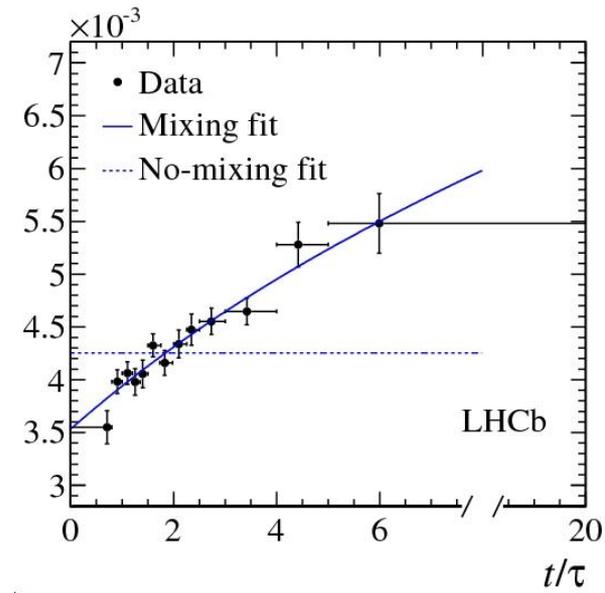
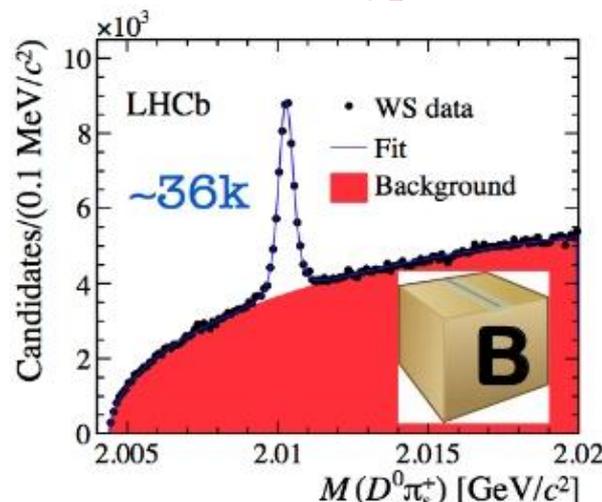
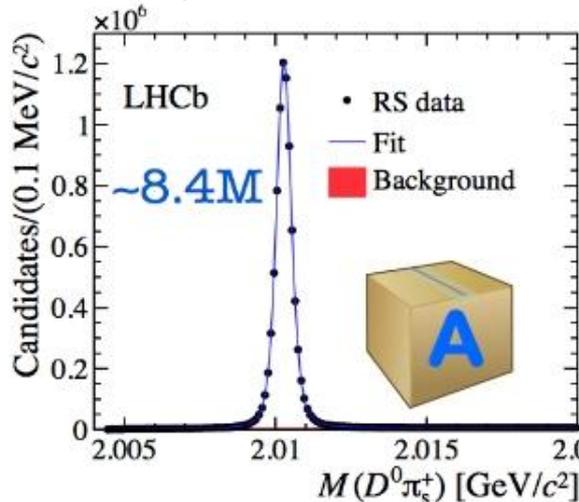
Частица переходит в анти-частицу без распада



необходимо измерить
отношение B/A

нет смешивания – B/A
constant
есть смешивание: B/A
парабола

Отсутствие смешивания исключено на уровне 9.1 σ



Участие российских групп

detector	sub-system	countries involved
VELO	modules & infrastructure	BR, CERN, ES, IE, NL, RU, UK, US
	electronics & readout	BR, ES, CERN, CN, NL, PL, UK, US
Tracker	modules & infrastructure	CERN, CH, DE, NL, RU, UK, US
	electronics & readout	BR, CERN, CH, CN, DE, ES, FR, NL, PL, US
RICH	mechanics & infrastructure	CERN, IT, UK
	electronics & readout	CERN, IT, RO, UK
Calo	electronics & readout	ES, FR, RU
Muon	chambers	IT, RU
	electronics & readout	IT
Trigger	electronics & readout	BR, CN, FR, IT

RU группы глубоко вовлечены в модернизацию трековой системы

ITEP, IHEP, INR RAS, PNPI

Традиционное участие в системе идентификации

CALO: ITEP, IHEP, INR RAS, Novosibirsk

MUON: PNPI

Модернизация VELO : MSU

Модернизация трекера

- Большие загрузки для действующего ОТ -> увеличить область, перекрываемую IT

Две опции трекера (чтобы сохранить загрузки в ОТ на разумном уровне):

- ✓ “IT большой площади на основе кремн. микроstriпов” (ОТ с короткими ЦПДК)
- ✓ “Ценр.трекер на основе оптич. фибров ($\varnothing = 250$ мкм)” (уменьшение материала)



Swiss cross style IT detector
Доля треков, перекрываемая IT
увеличится с 33% до 54%



Замена центральной части на
SciFi модули, покрывающие
весь детектор

→ Обе опции работают со светимостью $>2 \times 10^{33}$

Модернизация LHCb

Type	Observable	Current precision	LHCb (5 fb ⁻¹)	Upgrade (50 fb ⁻¹)	Theory uncertainty
Gluonic penguin	$S(B_s \rightarrow \phi\phi)$	-	0.08	0.02	0.02
	$S(B_s \rightarrow K^{*0}K^{*-0})$	-	0.07	0.02	< 0.02
	$S(B^0 \rightarrow \phi K_S^0)$	0.17	0.15	0.03	0.02
B_s mixing	$2\beta_s (B_s \rightarrow J/\psi\phi)$	0.35	0.019	0.006	~ 0.003
Right-handed currents	$S(B_s \rightarrow \phi\gamma)$	-	0.07	0.02	< 0.01
	$\mathcal{A}^{\Delta\Gamma_s}(B_s \rightarrow \phi\gamma)$	-	0.14	0.03	0.02
E/W penguin	$A_T^{(2)}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	-	0.14	0.04	0.05
	$s_0 A_{\text{FB}}(B^0 \rightarrow K^{*0}\mu^+\mu^-)$	-	4%	1%	7%
Higgs penguin	$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+\mu^-)$	-	30%	8%	< 10%
	$\frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)}{\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu^+\mu^-)}$	-	-	~ 35%	~ 5%
Unitarity triangle angles	$\gamma (B \rightarrow D^{(*)}K^{(*)})$	~ 20°	~ 4°	0.9°	negligible
	$\gamma (B_s \rightarrow D_s K)$	-	~ 7°	1.5°	negligible
	$\beta (B^0 \rightarrow J/\psi K^0)$	1°	0.5°	0.2°	negligible
Charm CPV	A_Γ	2.5×10^{-3}	2×10^{-4}	4×10^{-5}	-
	$A_{CP}^{dir}(KK) - A_{CP}^{dir}(\pi\pi)$	4.3×10^{-3}	4×10^{-4}	8×10^{-5}	-

<http://cdsweb.cern.ch/record/1333091/files/LHCC-I-018.pdf>

Заключение

ЛНСб эксперимент в прекрасной форме

За 1 (!) год набора данных:

лучшие результаты в измерениях

$$B_s \rightarrow J/\psi \phi, B_s \rightarrow \mu\mu, B_d \rightarrow K^* \mu\mu, B_d \rightarrow K^* \gamma$$

обнаружены новые каналы распадов B , B_s , B_c

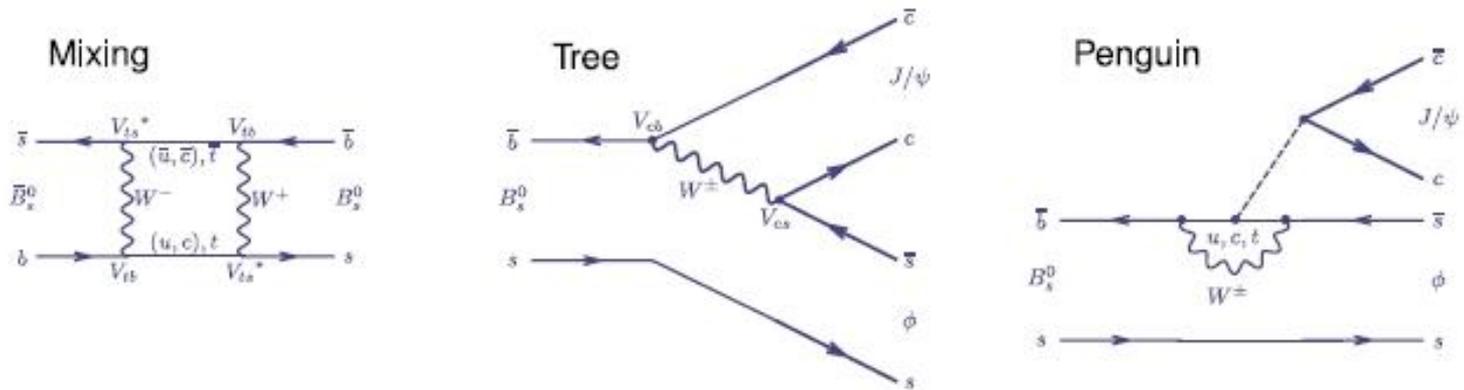
прекрасные перспективы для изучения угла γ и редких распадов

СМ “выживает”, но место для НФ еще есть

ЛНСб дополняет поиск новых тяжелых частиц в CMS и ATLAS

Обширные дальнейшие перспективы

Theory



- ▶ Mixing phase: $\phi_M = \arg(V_{ts} V_{tb}^*)^2$
- ▶ $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ is a $b \rightarrow c\bar{c}s$ transition, Tree (T) and Penguin (P_q) terms:

$$\begin{aligned} A_{c\bar{c}s} &= V_{cs} V_{cb}^* (T + P_c) + V_{us} V_{ub}^* P_u + V_{ts} V_{tb}^* P_t \\ &= V_{cs} V_{cb}^* (T + P_c - P_t) + V_{us} V_{ub}^* (P_u - P_t) \end{aligned}$$

- ▶ $V_{us} V_{ub}^*$ suppressed by $O(\lambda^2)$ WRT $V_{cs} V_{cb}^*$ so $(P_u - P_t)$ penguin pollution (δP) small
- ▶ This leaves $\phi_D = \arg(V_{cs} V_{cb}^*)$

$$\begin{aligned} \phi_s &= \phi_M - 2\phi_D = \arg(V_{ts} V_{tb}^*)^2 - 2\arg(V_{cs} V_{cb}^*) + \delta P \\ &= 2\arg\left[\frac{V_{ts} V_{tb}^*}{V_{cs} V_{cb}^*}\right] = -2\beta_s = -2\eta\lambda^2 - \eta\lambda^4 - O(\lambda^6) \end{aligned}$$

Theory

$B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ Decay Rates

► Signs in blue are tag dependent and change for \bar{B}_s^0

$$\begin{aligned}
 A_1 &= |A_0|^2 e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) - \cos\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \text{+} \sin\phi_s \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 A_2 &= |A_{\parallel}|^2 e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) - \cos\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \text{+} \sin\phi_s \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 A_3 &= |A_{\perp}|^2 e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) + \cos\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \text{+} \sin\phi_s \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 A_4 &= |A_{\parallel}| |A_{\perp}| e^{-\Gamma_s t} \left[-\cos(\delta_{\perp} - \delta_{\parallel}) \sin\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \right. \\
 &\quad \text{+} \cos(\delta_{\perp} - \delta_{\parallel}) \cos\phi_s \sin(\Delta m_s t) \text{+} \sin(\delta_{\perp} - \delta_{\parallel}) \cos(\Delta m_s t) \left. \right] \\
 A_5 &= |A_0| |A_{\parallel}| e^{-\Gamma_s t} \cos(\delta_{\parallel} - \delta_0) \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) - \cos\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \right. \\
 &\quad \text{+} \sin\phi_s \sin(\Delta m_s t) \left. \right] \\
 A_6 &= |A_0| |A_{\perp}| e^{-\Gamma_s t} \left[-\cos(\delta_{\perp} - \delta_0) \sin\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \right. \\
 &\quad \text{+} \cos(\delta_{\perp} - \delta_0) \cos\phi_s \sin(\Delta m_s t) \text{+} \sin(\delta_{\perp} - \delta_0) \cos(\Delta m_s t) \left. \right] \\
 A_7 &= |A_s|^2 e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) + \cos\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \text{+} \sin\phi_s \sin(\Delta m_s t) \right] \\
 A_8 &= |A_s| |A_{\parallel}| e^{-\Gamma_s t} \left[-\sin(\delta_{\parallel} - \delta_s) \sin\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \right. \\
 &\quad \text{+} \sin(\delta_{\parallel} - \delta_s) \cos\phi_s \sin(\Delta m_s t) \text{+} \cos(\delta_{\parallel} - \delta_s) \cos(\Delta m_s t) \left. \right] \\
 A_9 &= |A_s| |A_{\perp}| e^{-\Gamma_s t} \sin(\delta_{\perp} - \delta_s) \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) + \cos\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \right. \\
 &\quad \text{+} \sin\phi_s \sin(\Delta m_s t) \left. \right] \\
 A_{10} &= |A_s| |A_0| e^{-\Gamma_s t} \left[-\sin(\delta_0 - \delta_s) \sin\phi_s \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2} t\right) \right. \\
 &\quad \text{+} \sin(\delta_0 - \delta_s) \cos\phi_s \sin(\Delta m_s t) \text{+} \cos(\delta_0 - \delta_s) \cos(\Delta m_s t) \left. \right]
 \end{aligned}$$

Theory

ϕ_S in $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

- ▶ $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ has been used to measure ϕ_S at LHCb before
[PLB 707 5 (2012)]
- ▶ Pure \mathcal{CP} -odd final state means decay rate used to fit for ϕ_S is relatively straightforward:

$$\Gamma(B_s^0 \rightarrow J/\psi f_{\text{odd}}) = \frac{\mathcal{N}}{2} e^{-\Gamma_S t} \left\{ e^{\Delta\Gamma_S t/2} (1 + \cos \phi_S) + e^{-\Delta\Gamma_S t/2} (1 - \cos \phi_S) - \sin \phi_S \sin(\Delta m_S t) \right\}$$

$$\Gamma(\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi f_{\text{odd}}) = \frac{\mathcal{N}}{2} e^{-\Gamma_S t} \left\{ e^{\Delta\Gamma_S t/2} (1 + \cos \phi_S) + e^{-\Delta\Gamma_S t/2} (1 - \cos \phi_S) + \sin \phi_S \sin(\Delta m_S t) \right\}$$