

# Основные результаты ЛНСб в 2021 году

Дзюба Алексей, ЛБФ ОФВЭ

**Группа ПИЯФ:** Воробьев А. Бондарь Н., Бурдейная М., Граник А., Дзюба А.,  
Котряхова С., Маев О., Сагидова Н., Чубыкин А., Чуликов В.

Опубликовано в 2021 году:	38 работ
Ожидают публикации (направлены в печать):	28 работ

# LHCb: Find \ Identify \ Measure

Excellent vertexing allows efficient heavy quark hadrons selection / gives access to decay time distribution / prompt-secondary separation for charm

Protons collision point

Excellent PID allows to suppress background dramatically and explore many decay modes

Excellent tracking

Muon system – nice tagging & great potential to search for rare decays with di-muons

$$\epsilon_{PID}(K) \approx 95\%$$

$$MisID(K \rightarrow \pi) \approx 5\%$$

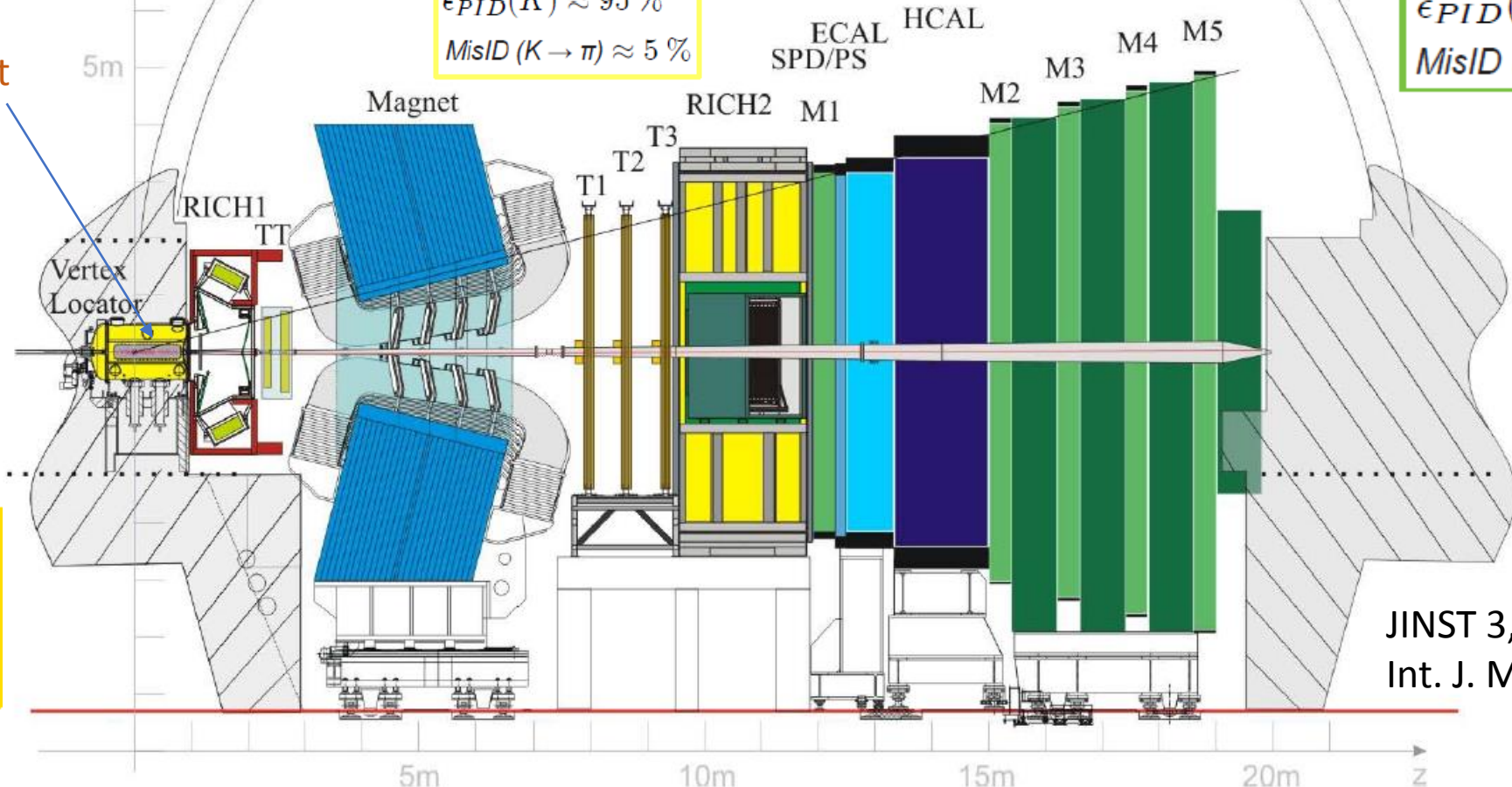
$$\epsilon_{PID}(\mu) \approx 97\%$$

$$MisID(\pi \rightarrow \mu) \approx 3\%$$

$$\sigma(IP) \approx 20\mu m$$

$$\delta p/p = 0.4 - 0.6\%$$

$$\epsilon_{track} > 96\%$$



JINST 3, (2008) S08005;  
Int. J. Mod. Phys. A 30,  
(2015) 153022

# LHCb MUON

Ведутся работы по подготовке Мюонной системы LHCb к экспериментальному сеансу 2022



В настоящее время в НИЦ КИ – ПИЯФ продолжается производство новых многопроводочных пропорциональных камер высокой гранулярности для Мюонной системы детектора LHCb, рассчитанных на работу в условиях высокой загрузки.



# Lords of the LHC Ring

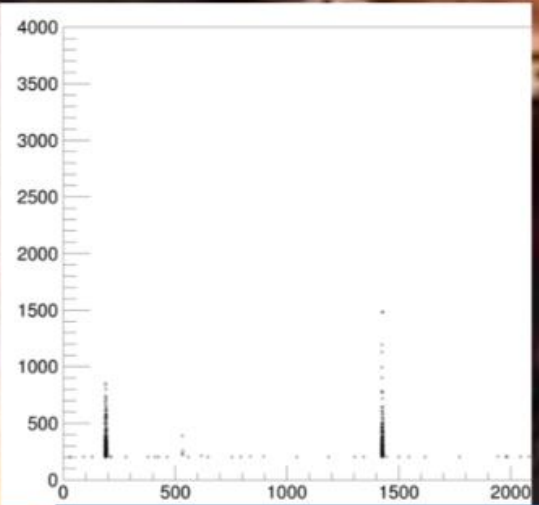
Доклад К.Паркса  
на митинге LHCb



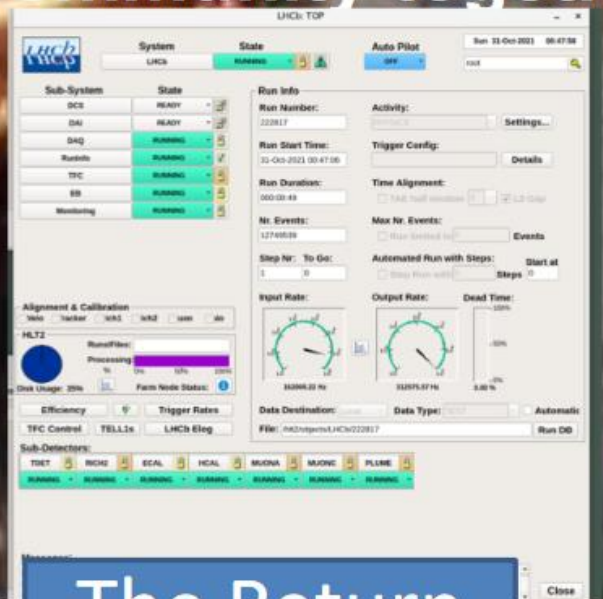
- Online system, RTA (also FEST weeks)
- ECAL, HCAL, Muons, RICH2
- Plume, BCM, RMS
- Successful LHC beam test
- My huge thanks to everyone !  
Tremendous achievements – technically,  
but also in bringing community together



Fellowship  
of the Rings



The Two  
Towers

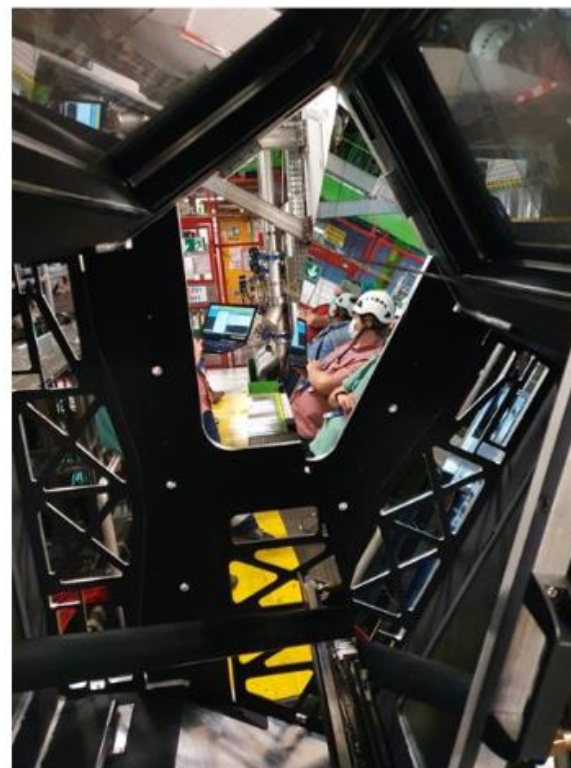


The Return  
of the King



# Upgrade I Selected Installation Progress

Доклад К.Паркса  
на митинге LHCb



- VELO:  
Modules completed  
First-half assembled

- UT:  
Staves for first half completed  
Pig-tails mounted

- RICH1:  
Optical system  
Column installation underway

- SciFi  
8 of 12 C-frames installed  
Modules mounted on all C-frames

## $\Sigma_c^{++,0}$ and $\Lambda_{c1,2}^{*+}$ production at 8 TeV

**Какова вероятность фрагментации очарованного кварка в возбужденные барионные состояния?**

- Измерена величина  $R_{yc}$
- Работа в стадии рецензирования

$$R_{Y_c} = \frac{d^2\sigma_{Y_c}/(dp_T dy)}{d^2\sigma_{\Lambda_c^+}/(dp_T dy)}$$

Кинематические  
переменные  $\Lambda_c^+$   
(сокращение влияния  
триггера)

## $\Lambda_c^+$ production asymmetry at 7 and 8 TeV

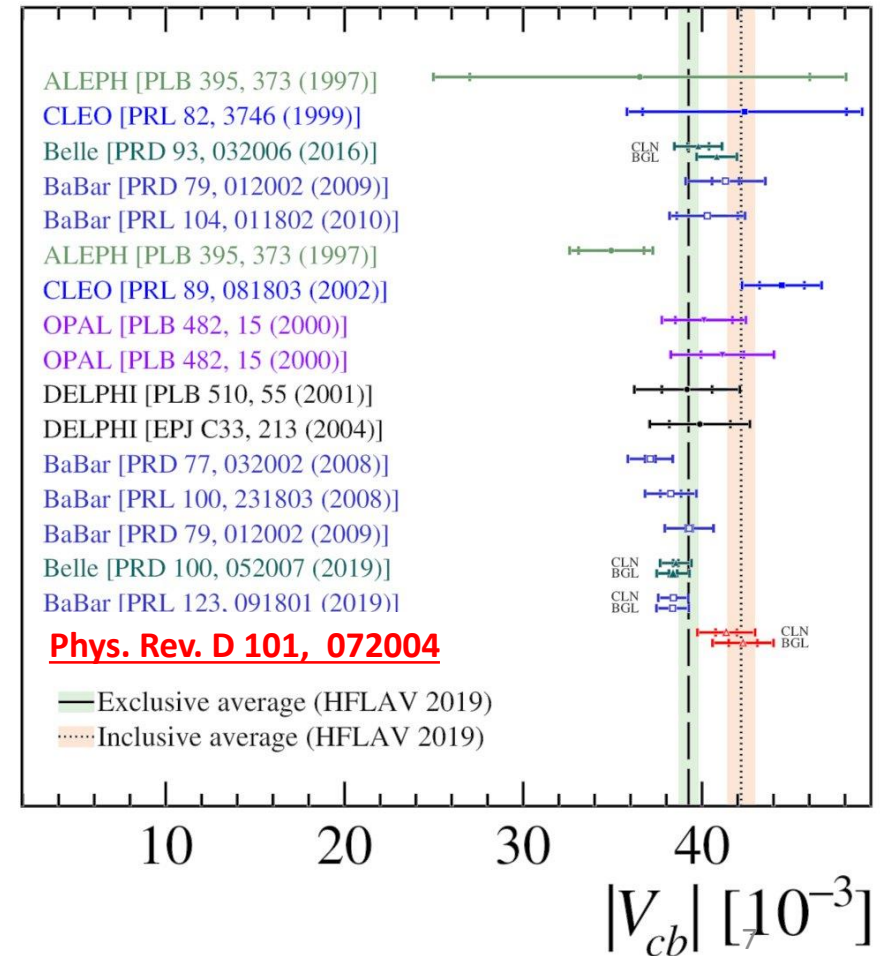
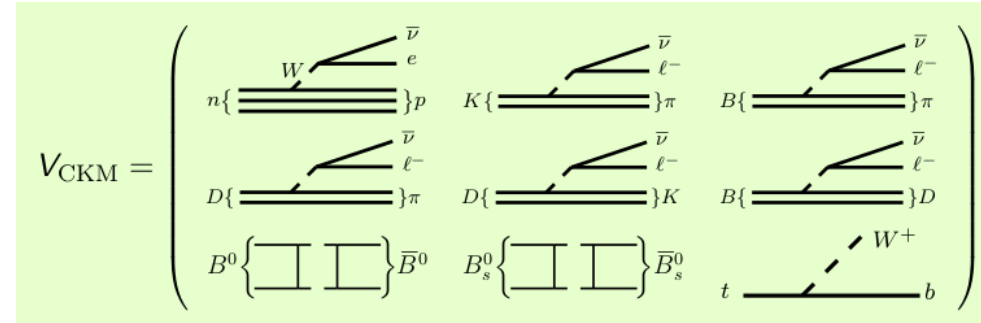
- **Существует ли асимметрия рождения очарованных барионов и антибарионов в протон-протонных взаимодействиях?**
- Утверждена процедура поправки на асимметрию детектирования протонов и антипротонов
- **Observation of a  $\Lambda_b^0$ - $\Lambda_b^0$ -bar production asymmetry in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=7$  and 8 TeV / arXiv:2107.09593 \ JHEP 10 (2021) 060**
- Анализ готов к началу процедуры рецензирования



# Измерение $|V_{cb}|$

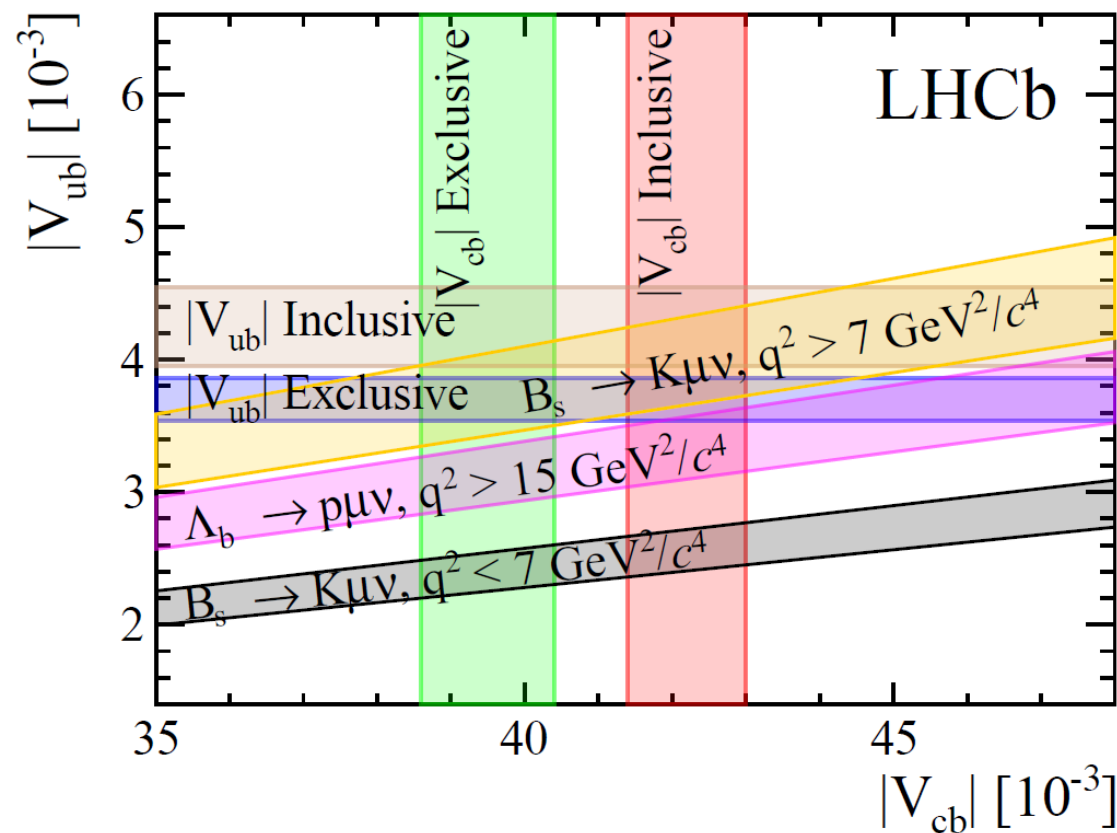
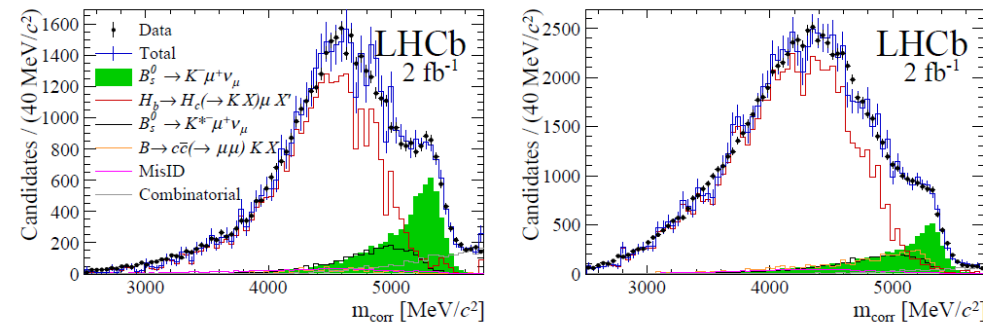
- LHCb измерил абсолютное значение коэффициента  $V_{cb}$  матрицы кваркового смешивания (матрица Кабиббо-Кобаяши-Маскавы, КKM-матрица).
- Измерение проводилось с помощью нового метода, используя полулептонные распады  $B_s^0$  мезонов:  $B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ \nu_\mu$  и  $B_s^0 \rightarrow D_s^{*-} \mu^+ \nu_\mu$
- Использовались две схемы теоретических расчетов, учитывающих влияние кварк-глюонного окружения процесса распада, протекающего под действием слабого взаимодействия.
- Конечный результат на уровне  $1\sigma_{\text{stat}}$  зависит от выбора теоретической модели.
- Центральные значения, полученные новым («эксклюзивным») методом, оказываются ближе к среднему результатов «инклюзивных» измерений

## Методы измерения элементов КKM-матрицы



# Измерение $|V_{ub}| / |V_{cb}|$

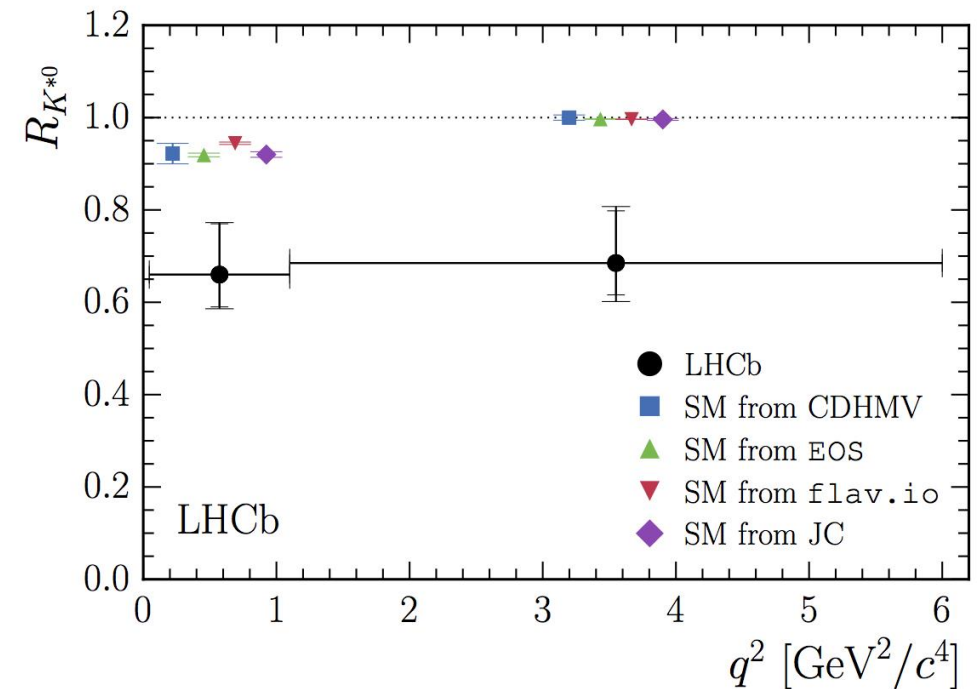
- LHCb измерил отношение абсолютных значений коэффициента  $V_{ub}$  и  $V_{cb}$  матрицы кваркового смешивания (матрица Кабиббо-Кобаяши-Маскавы, КKM-матрица).
- Обнаружены распады  $B_s^0 \rightarrow K^- \mu^+ \nu_\mu$ , которые могут быть использованы для получения ограничений на величину отношения
- На верхнем рисунке слева события, у которых квадрат массы системы лептонов ( $q^2$ ) меньше  $7 \text{ ГэВ}^2/c^4$ , а справа больше. Зеленая гистограмма демонстрирует вклад от исследуемого распада.
- **Можно говорить о новой экспериментальной загадке!**





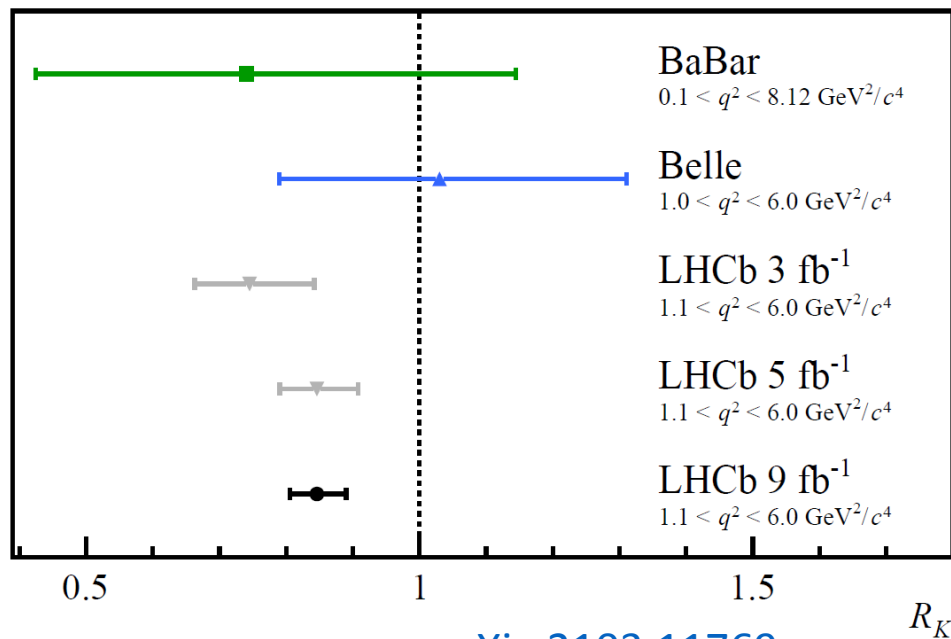
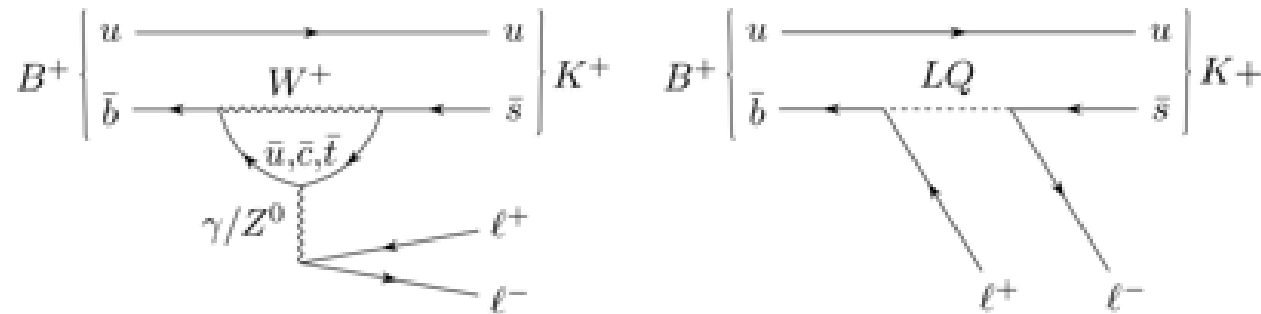
# Поиск нарушения лептонной универсальности в распадах $b$ -адронов

$$R_H = \frac{\int_{q_{\min}^2}^{q_{\max}^2} \frac{d\Gamma[B \rightarrow H\mu^+\mu^-]}{dq^2} dq^2}{\int_{q_{\min}^2}^{q_{\max}^2} \frac{d\Gamma[B \rightarrow He^+e^-]}{dq^2} dq^2}$$

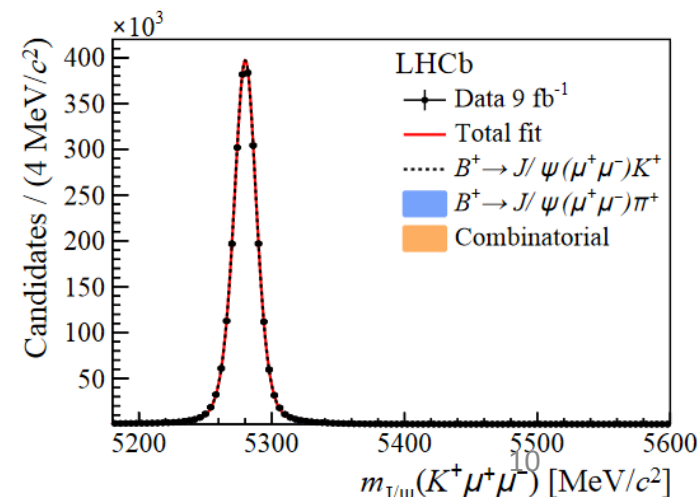
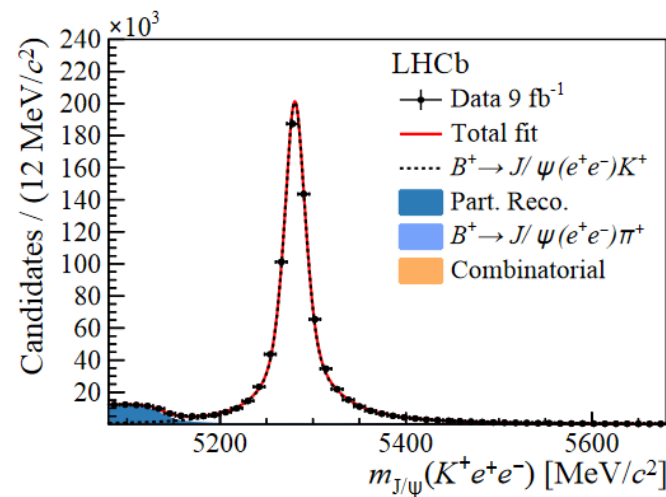
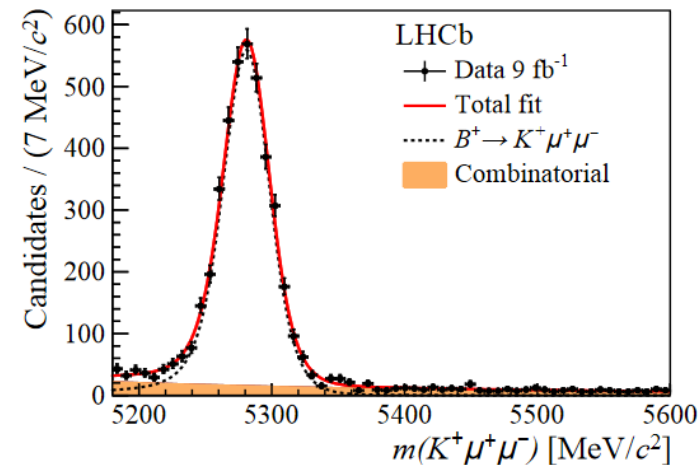
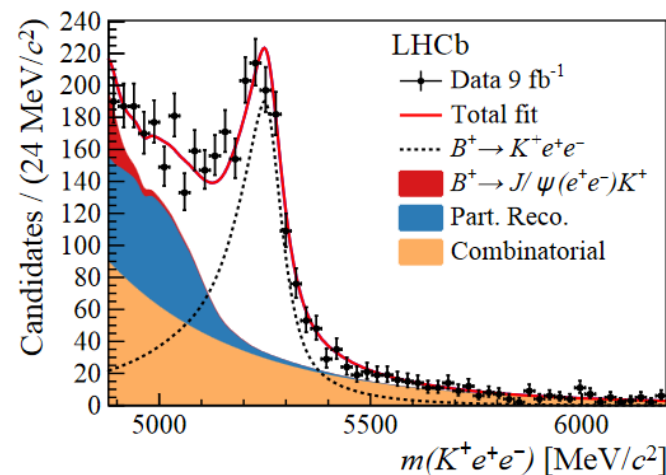


# Измерение $R_{K^+}$

- Сигнал выделяется для диапазона  $1.1 < q^2 < 6.0$   $\text{GeV}^2$ .
- $R(K^+)$  составило  $0.846^{+0.044}_{-0.041}$ ,
- Результаты, включающие новые данные, расходятся с предсказаниями СМ на  $3,1\sigma$ , что впервые обнаружено для индивидуального канала распада прелестной частицы.



[arXiv:2103.11769](https://arxiv.org/abs/2103.11769)

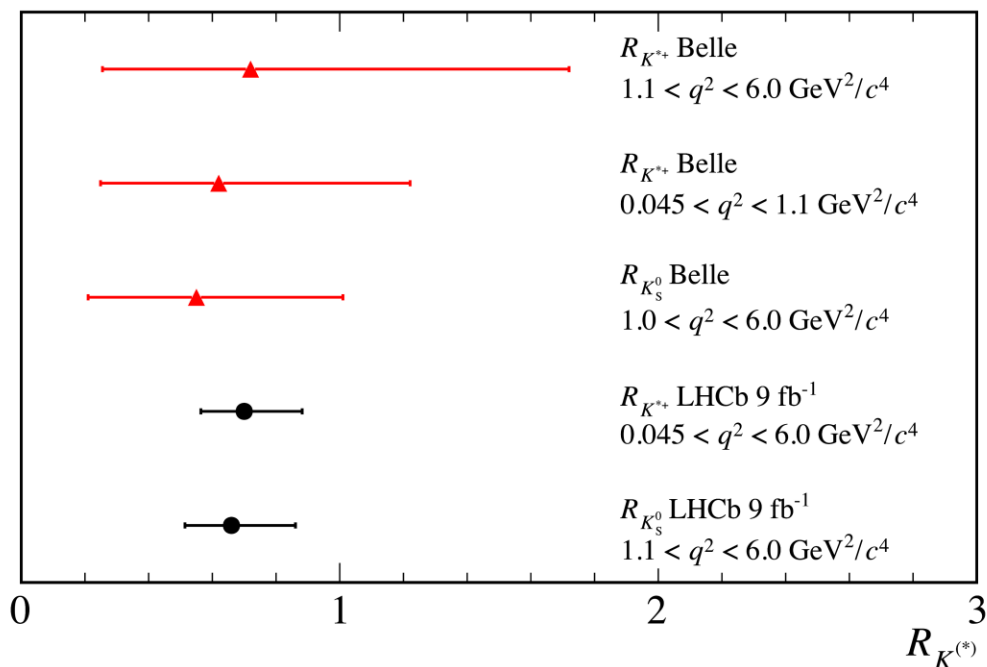




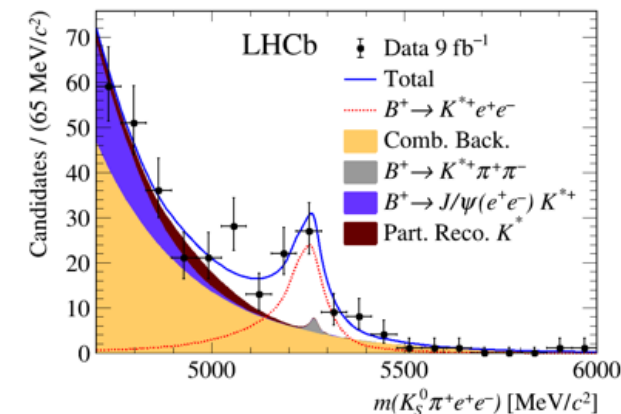
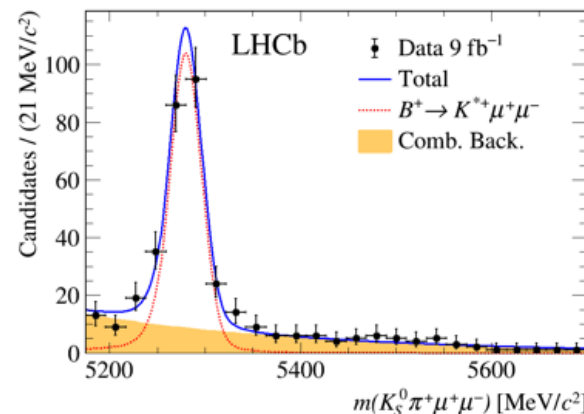
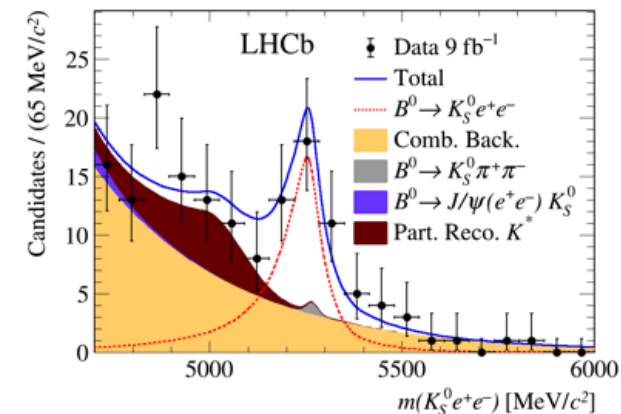
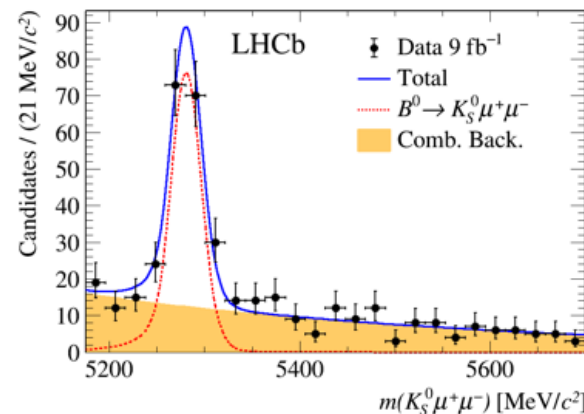
# Измерение $R_{K_{S0}}$ и $R_{K^{*+}}$

$$R_{K^{*+}} = \text{BR}(B^+ \rightarrow K^{*+} \mu^+ \mu^-) / \text{BR}(B^+ \rightarrow K^{*+} e^+ e^-),$$

$$R_{K_{S0}} = \text{BR}(B^+ \rightarrow K_S^0 \mu^+ \mu^-) / \text{BR}(B^+ \rightarrow K_S^0 e^+ e^-).$$



[arXiv:2110.09501](https://arxiv.org/abs/2110.09501)



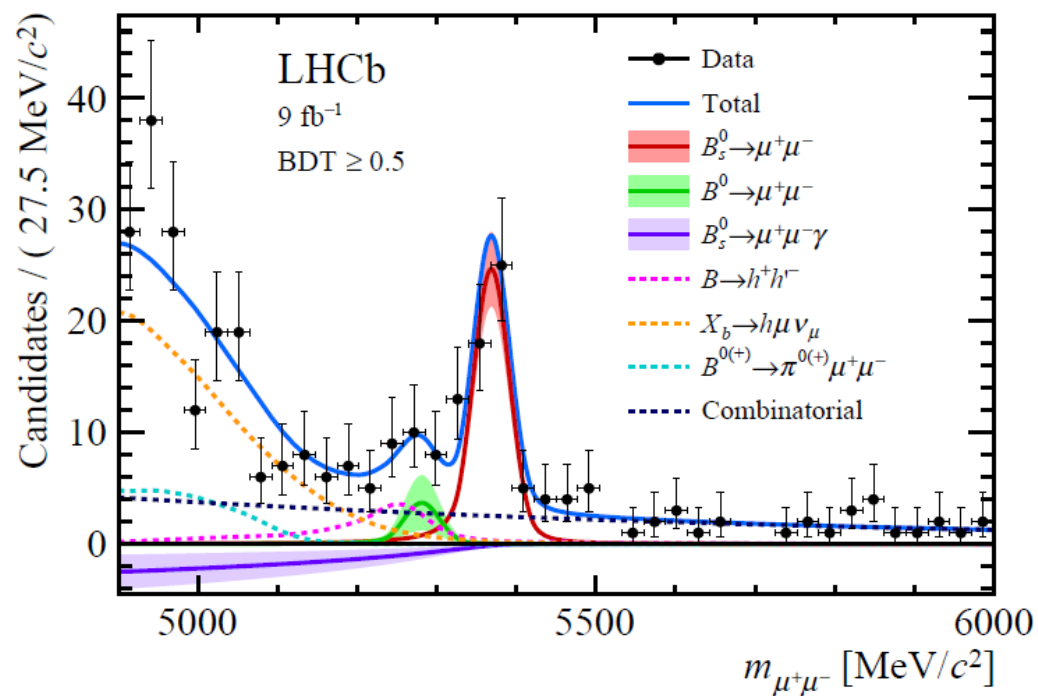
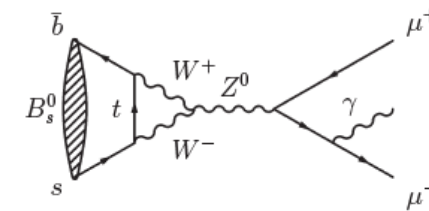
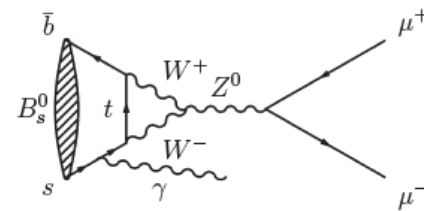
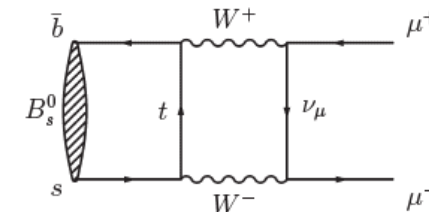
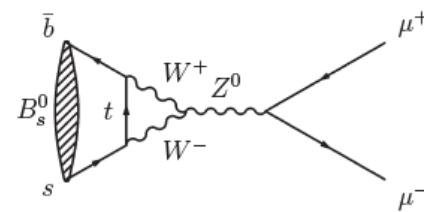
- Индивидуально, отношения  $R_{K_{S0}}$  и  $R_{K^{*+}}$  находятся в согласии с предсказаниями СМ. Статистическая значимость отклонений составляет всего 1.4 и 1.5 $\sigma$ .
- На сегодняшний день существует уже шесть отклонений уровня 1.5 – 3.5  $\sigma$  в сторону малых значений  $R$  для наблюдаемых подобного рода.

# Редкие распады: $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Интегральная светимость 9 фб<sup>-1</sup>, 2011-18

Большая статистика позволит исследовать новые явления:

$$\mathcal{R}_{\mu^+\mu^-} \equiv \frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)}{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)} = \frac{\tau_{B^0}}{1/\Gamma_H^s} \left( \frac{f_{B^0}}{f_{B_s^0}} \right)^2 \left| \frac{V_{td}}{V_{ts}} \right|^2 \frac{\sqrt{M_{B^0}^2 - 4m_\mu^2}}{\sqrt{M_{B_s^0}^2 - 4m_\mu^2}}$$



$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3.09^{+0.46+0.15}_{-0.43-0.11}) \times 10^{-9},$$

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 2.6 \times 10^{-10}$$

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma) < 2.0 \times 10^{-9} \quad m_{\mu\mu} > 4.9 \text{ GeV}/c^2,$$

Измерения находятся в согласии с предсказаниями Стандартной Модели

arXiv 2108.09283

arXiv 2108.09284

(см. следующий слайд)

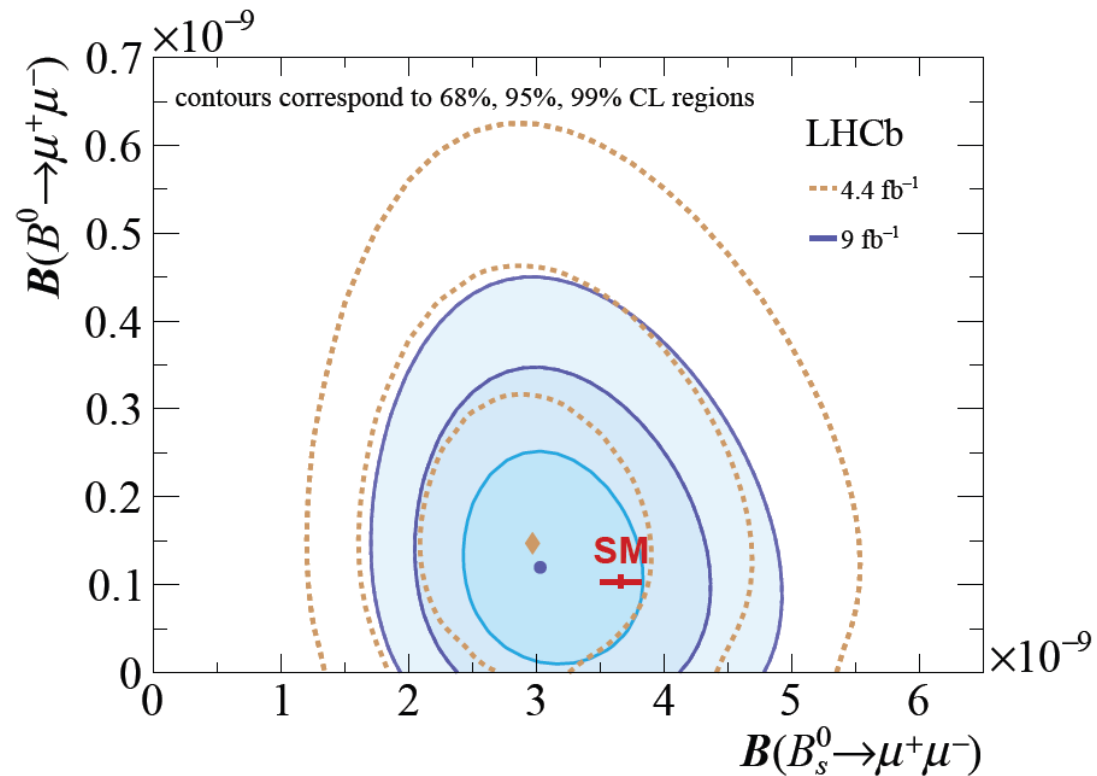


# Редкие распады: $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$

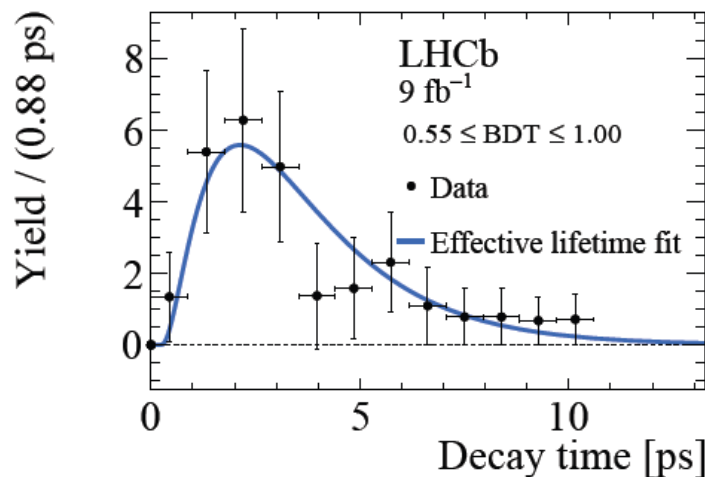
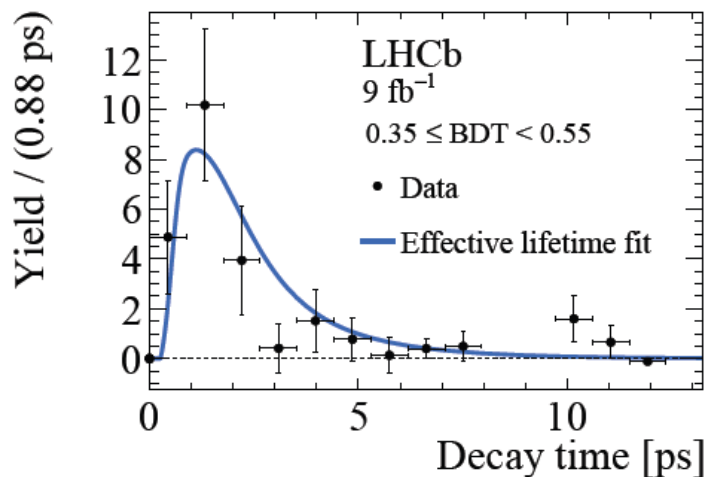
От открытия к измерениям  
(эффективное время жизни)

$A_{\Delta\Gamma}^{\mu^+\mu^-} = 1$  в СМ

$$\tau_{\mu^+\mu^-} = \frac{\tau_{B_s^0}}{1 - y_s^2} \left( \frac{1 + 2A_{\Delta\Gamma}^{\mu^+\mu^-} y_s + y_s^2}{1 + A_{\Delta\Gamma}^{\mu^+\mu^-} y_s} \right)$$



Существенно различный акцептанс для отклика классификатора (BDT)



$$\tau_{\mu^+\mu^-} = 2.07 \pm 0.29 \pm 0.03 \text{ ps,}$$

Согласуется с предсказаниями СМ

arXiv 2108.09283

arXiv 2108.09284

# Редкие распады

Проведен угловой анализ распадов:

$$B^{*-} \rightarrow K^{*+} \mu^+ \mu^- \text{ и } B_s^0 \rightarrow \phi \mu^+ \mu^-.$$

Получено указание на отклонение от предсказаний СМ.

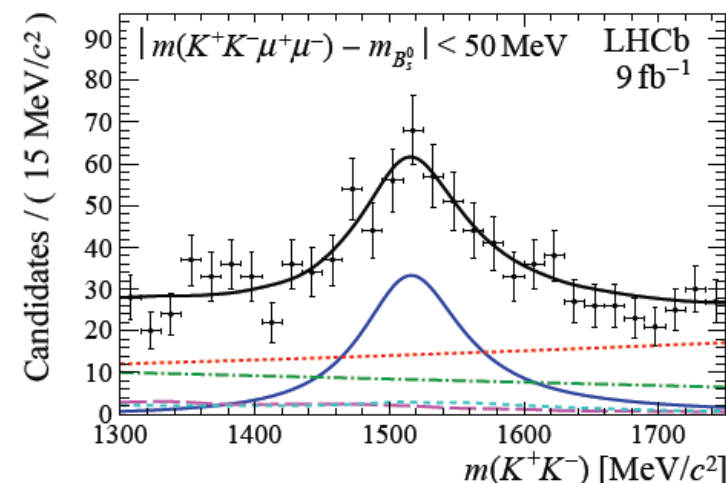
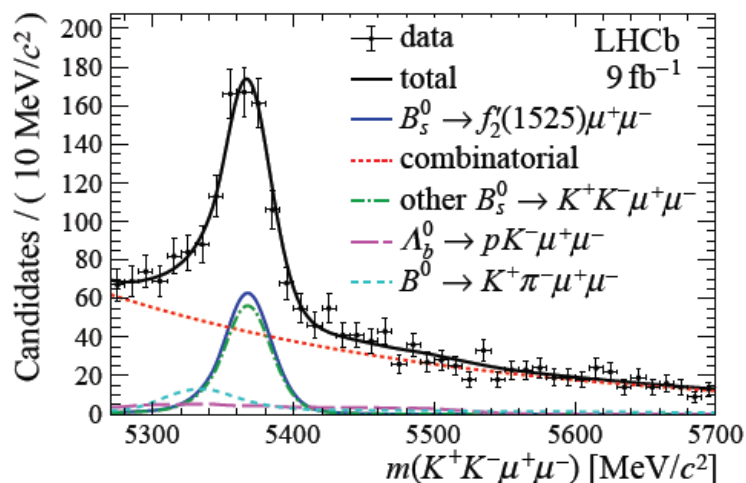
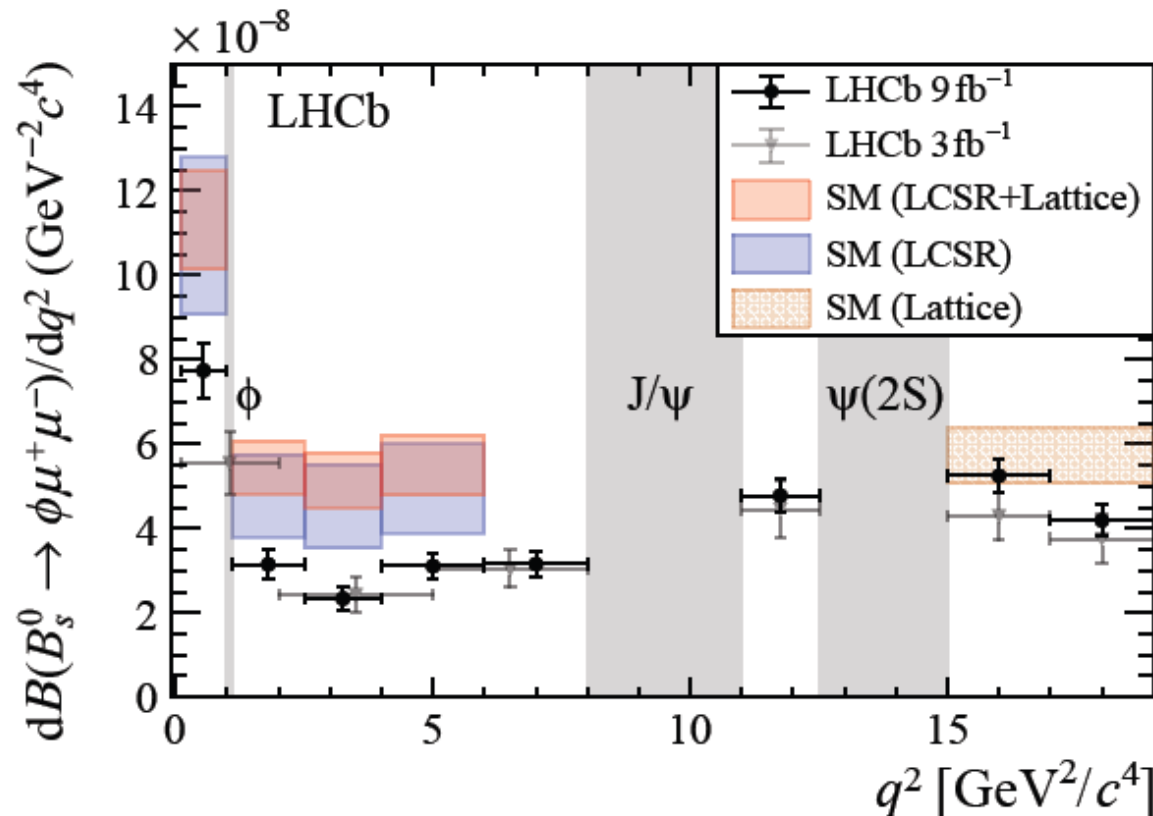
Работы

1. Phys. Rev. Lett. 126 (2021) 161802
2. Phys. Rev. Lett. 127 (2021) 151801
3. JHEP 11 (2021) 043

Обнаружен новый редкий распад:

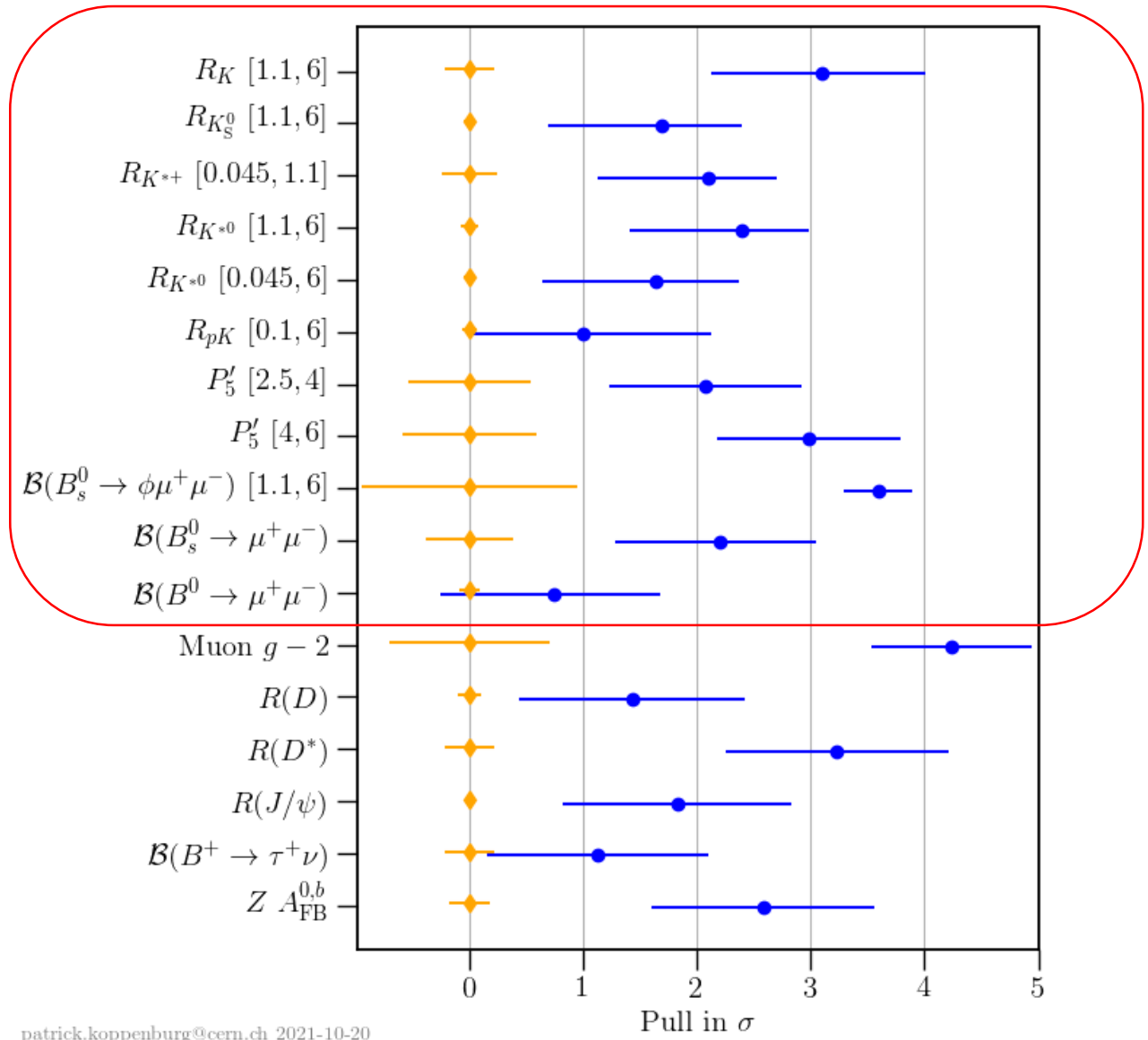
$$\frac{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow f_2' \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi)} = (1.55 \pm 0.19 \pm 0.06 \pm 0.06) \times 10^{-4},$$

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow f_2' \mu^+ \mu^-) = (1.57 \pm 0.19 \pm 0.06 \pm 0.06 \pm 0.08) \times 10^{-7},$$



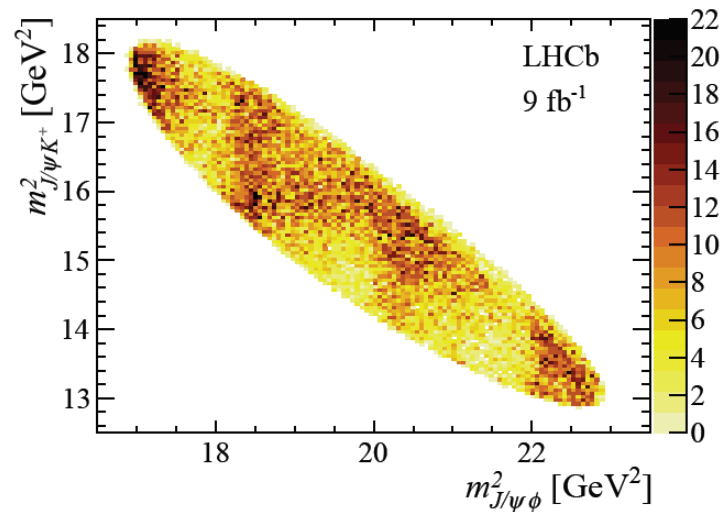


# Flavour anomalies

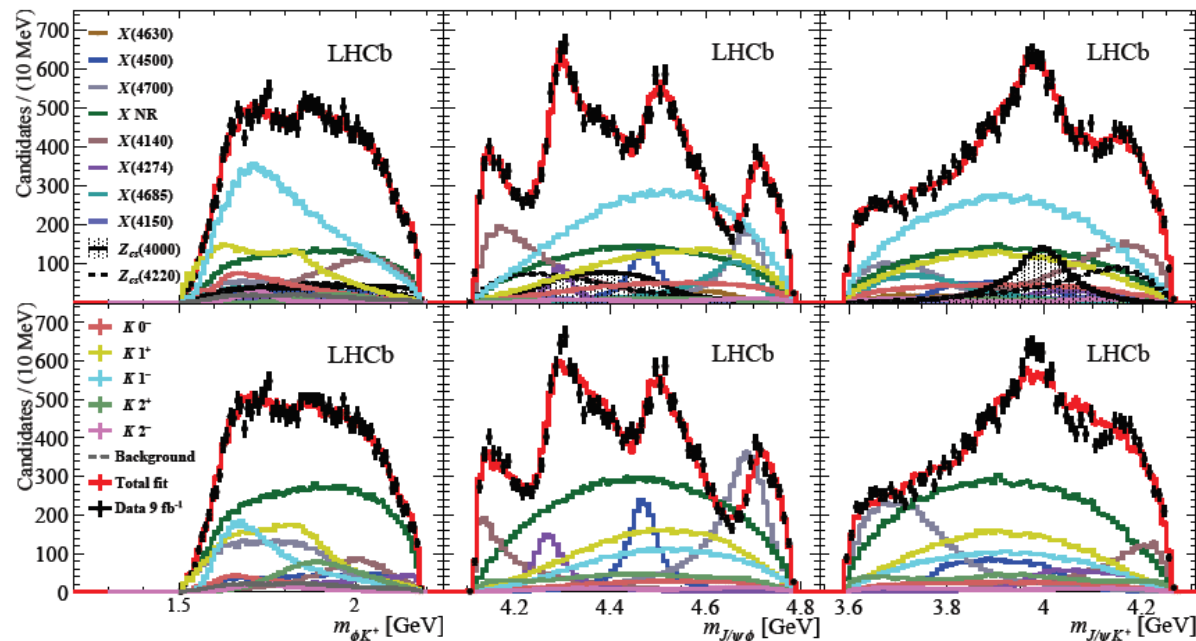


patrick.koppenburg@cern.ch 2021-10-20

# Тетракварки в распадах прелестных адронов




- Исследованию цепочки распадов:  $B^+ \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu^+ \mu^-) \phi(\rightarrow K^+ K^-) K^+$ .
- Резонансная структура распада хорошо проявляется на диаграмме Далитца

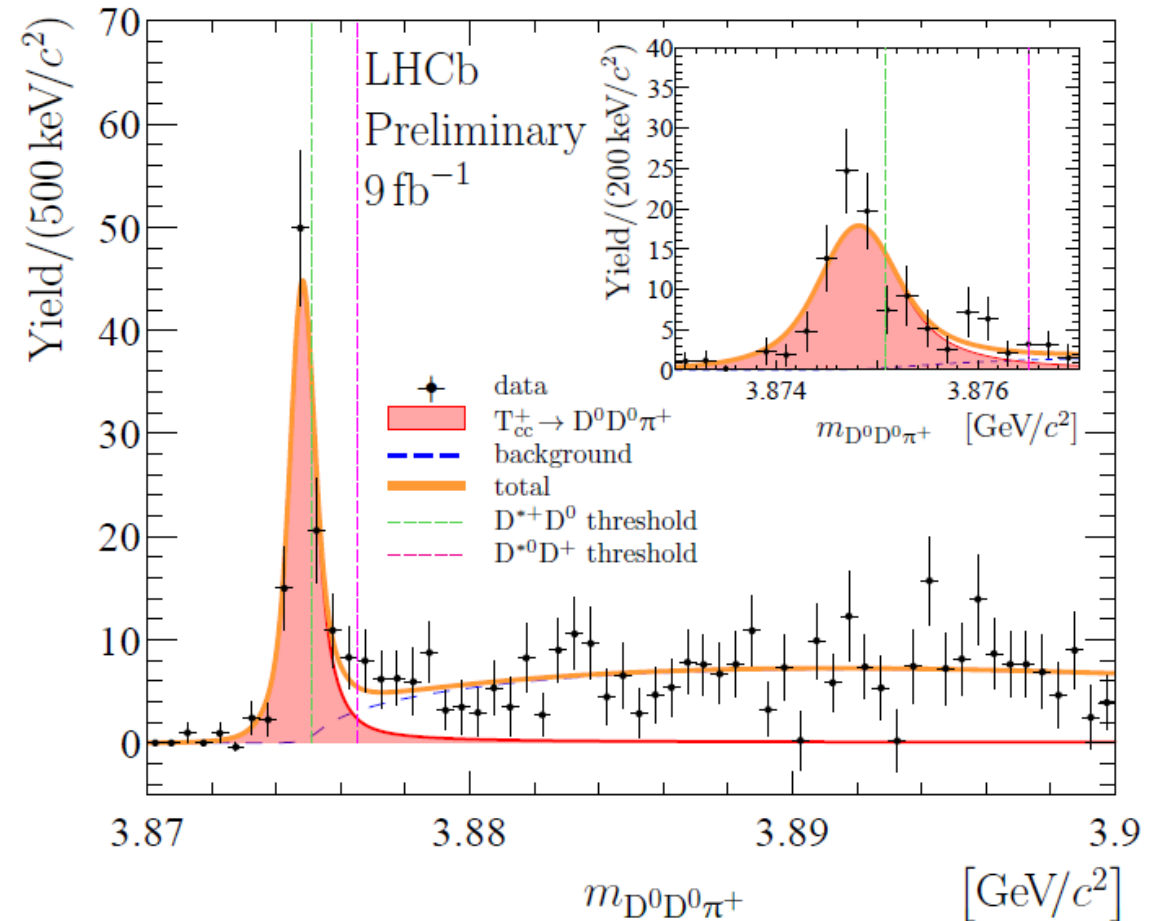


- Амплитудный анализ
- Верхние спектры – уточненная амплитудная модель, нижние – модель, полученная на данных Run-I.
- тетракварки типов  $scsc$  и  $scuc$ .
- $Z_{cs}(4000)^+$ ,  $Z_{cs}(4220)^+$ ,  $X(4685)$  и  $X(4630)$ .
- [arXiv:2108.04720](https://arxiv.org/abs/2108.04720)

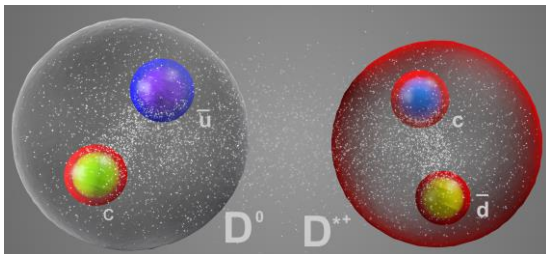


# Тетракварк с двойным очарованием

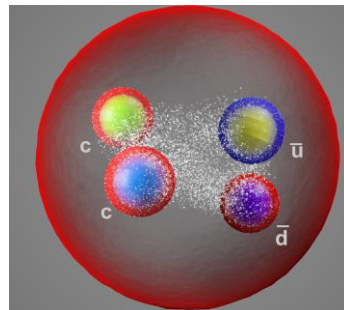
- Узкий резонанс обнаружен в системе  $D^0 D^0 \pi^+$  мезонов.
- Экзотический резонанс с двойным очарованием имеет массу чуть ниже порога  $D^{*+} D^0$  масс и минимальный кварковый состав  $cc\bar{u}\bar{d}$ .
- [arXiv:2109.01056](https://arxiv.org/abs/2109.01056)
- Подробнее:
  - Семинар И. Беляев ([видео](#))
  - Семинар В. Бару ([видео](#))
  - [Заметка на Сайте ПИЯФ](#) 



Адронная молекула



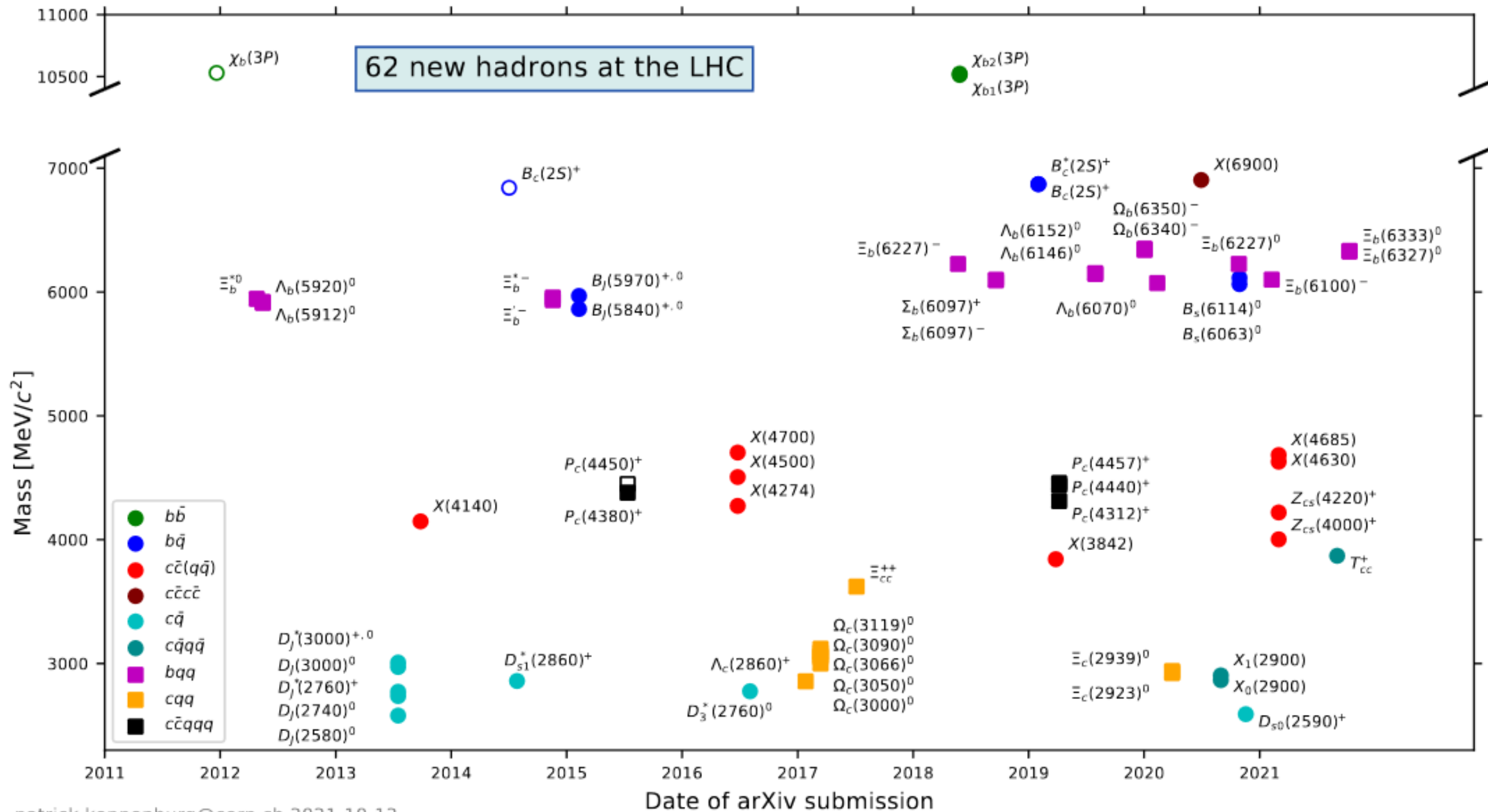
Компактный адрочармоний



или



Спектр масс системы  $D^0 D^0 \pi^+$  и его аппроксимация. На врезке показана область сигнала от распадов  $T_{cc}^+$ . Вертикальные линии обозначают кинематические пороги для пар  $D^+ D^{*0}$  и  $D^0 D^{*+}$



patrick.koppenburg@cern.ch 2021-10-12

<https://www.nikhef.nl/~pkoppenb/particles.html>

# Заключение

- Эксперимент LHCb на БАК нацелен на:
  - Поиск указаний на существование Новой физики в редких распадах прелестных адронов,
  - Уточнение параметров СМ, ответственных за нарушение  $CP$ -четности, а также поиск новых источников  $CP$ -нарушение за пределами СМ.
  - Спектроскопию тяжелых адронов (в том числе экзотических)
- В настоящее время в НИЦ КИ – ПИЯФ продолжается производство новых многопроволочных пропорциональных камер высокой гранулярности для Мюонной системы детектора LHCb, рассчитанных на работу в условиях высокой загрузки.
- Группа ОФВЭ участвует в работах по подготовке Мюонной системы детектора LHCb к следующему экспериментальному сеансу:
  - Подготовка инфраструктуры в детекторе для их установки
  - Ввод в эксплуатацию новой электроники для систем контроля и сбора данных.
- Основные результаты LHCb, представленные в 2021 году:
  - Проверка принципа лептонной универсальности в распадах прелестных адронов
  - Исследования редких распадов  $B$  мезонов
  - Обнаружение новых экзотических адронов

