

Редкие распады D-мезонов

Алексей Гармаш, ИЯФ

Классификация редких распадов



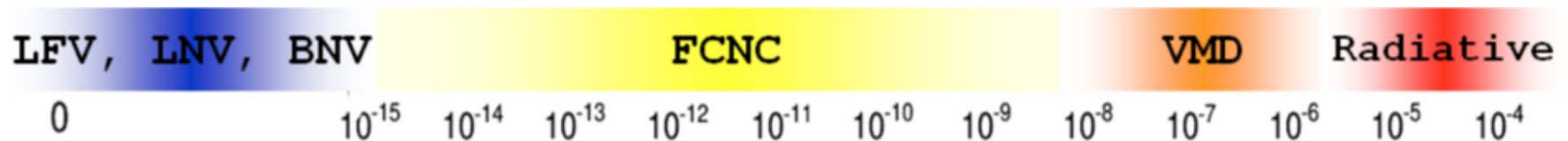
⊕ Распады, запрещенные в СМ:

- ⊗ нарушение лептонного числа
- ⊗ нарушение лептонного аромата

⊕ Распады запрещенные на древесном уровне

- ⊗ FCNC

⊕ Радиационные распады



Запрещенные распады

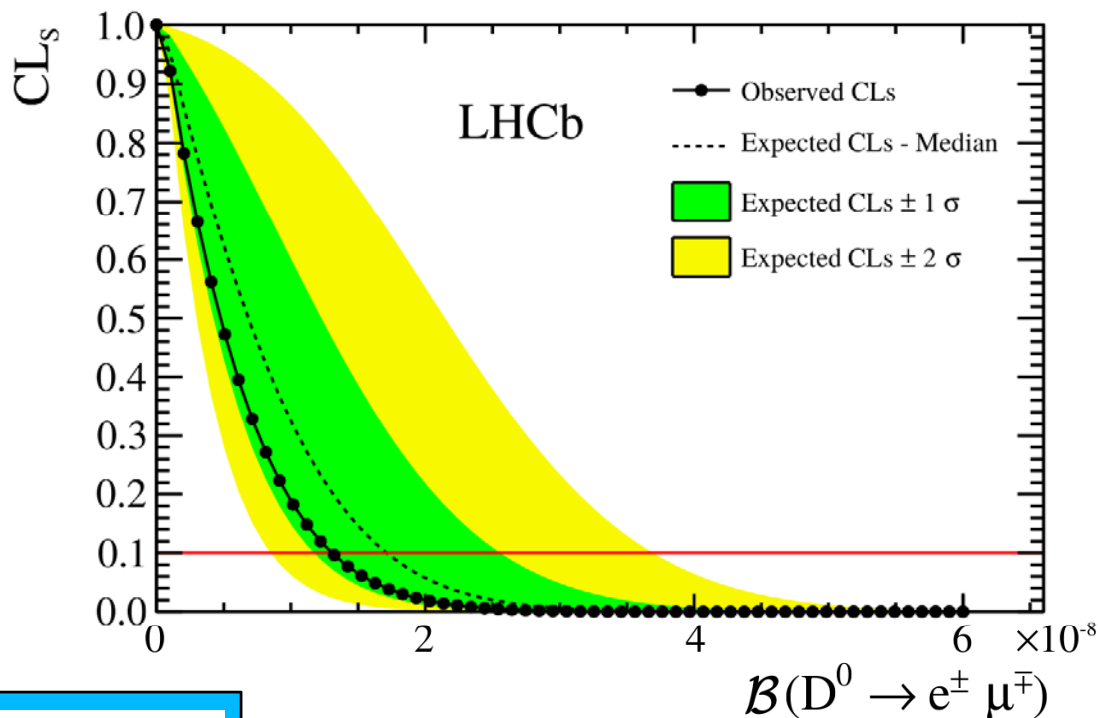


LHCb analysis details

- full Run1 dataset (3/fb)
- D^0 from $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$ decays

В различных расширениях СМ
вероятность может достигать
величин $10^{-14} - 10^{-6}$

PRD66, 014009(2002)



$$\mathcal{B}(D^0 \rightarrow e^\pm \mu^\mp) < 2.6 \times 10^{-6} \text{ at 90\% CL}$$

Belle: [PRD 81(2010) 091102(R)]



$$\mathcal{B}(D^0 \rightarrow e^\pm \mu^\mp) < 1.3 \times 10^{-8} \text{ at 90\% CL}$$

[PLB 754 (2016) 167]

PLB 724, 203-212 (2013)

$$\mathcal{B}(D^+ \rightarrow \pi^- \mu^+ \mu^+) < 2.2 (2.5) \times 10^{-8}$$

$$\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow \pi^- \mu^+ \mu^+) < 1.2 (1.4) \times 10^{-7}$$

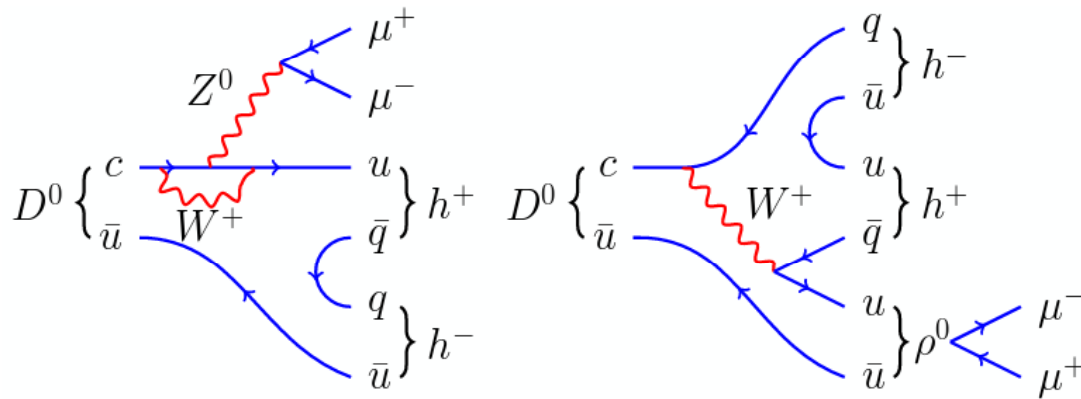
FCNC Распады: $D \rightarrow hh|^{+}|^{-}$



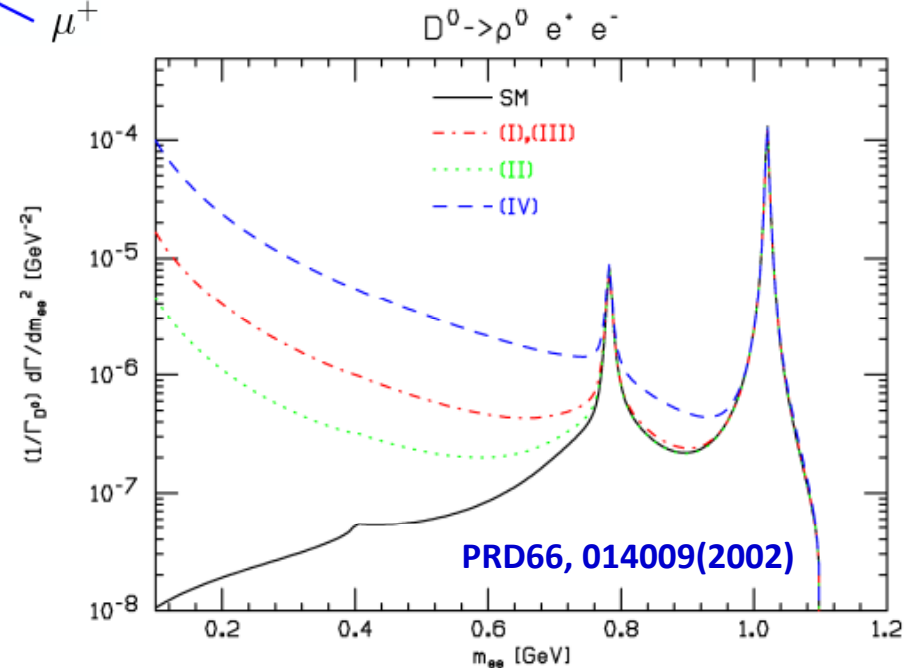
Short-distance

Long-distance

Ожидаемая вероятность
нерезонансного вклада в эти
процессы – на уровне 10^{-9}



Однако доминирующий вклад в СМ ожидается через рождение промежуточных резонансов $\rho/\omega/\phi$ с их последующим распадом в лептонную пару (e^+e^- или $\mu^+\mu^-$). Вероятности этих вкладов могут достигать 10^{-6}



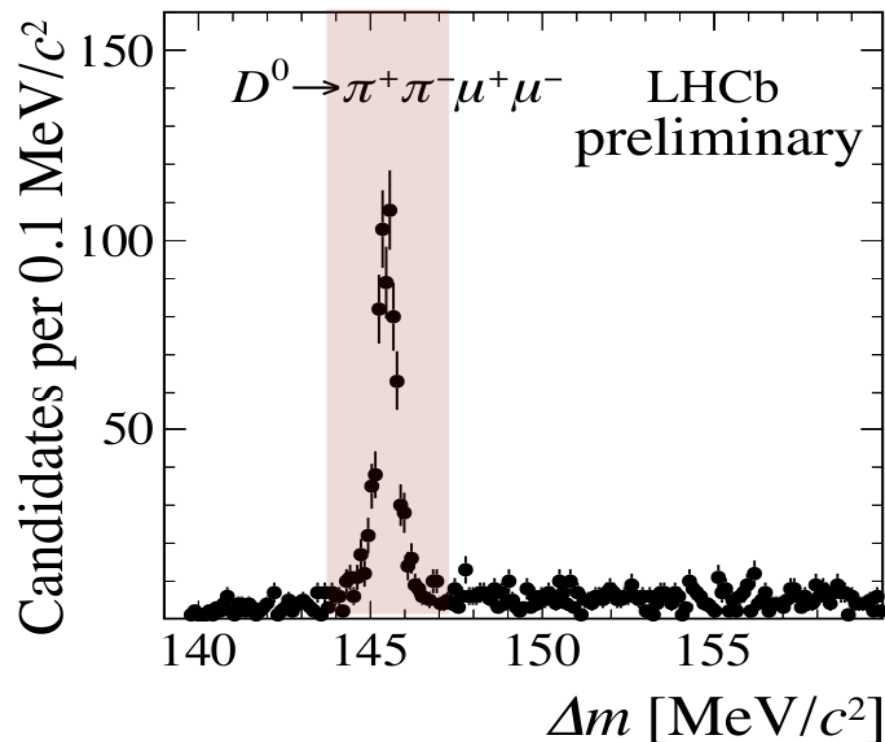
FCNC Распады: $D \rightarrow hh\mu^+\mu^-$



1707.08377

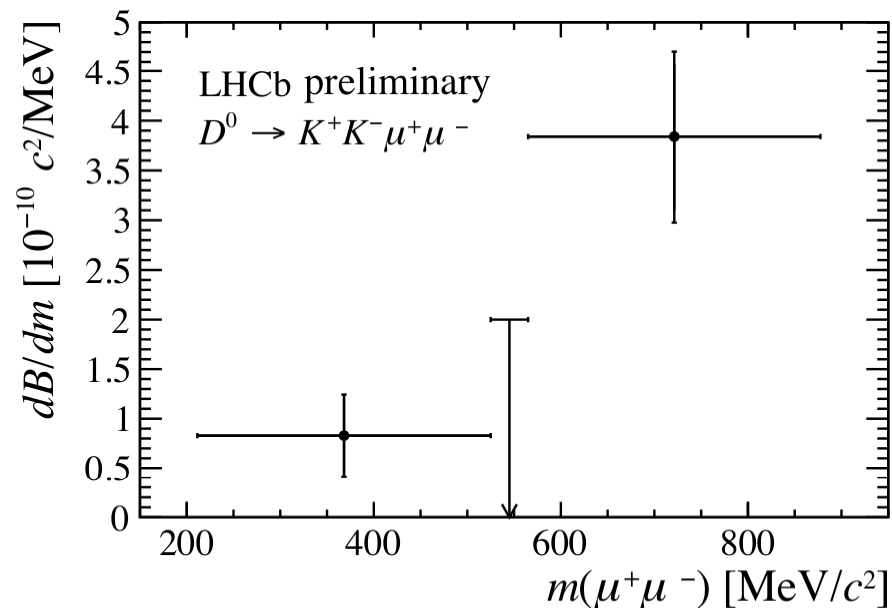
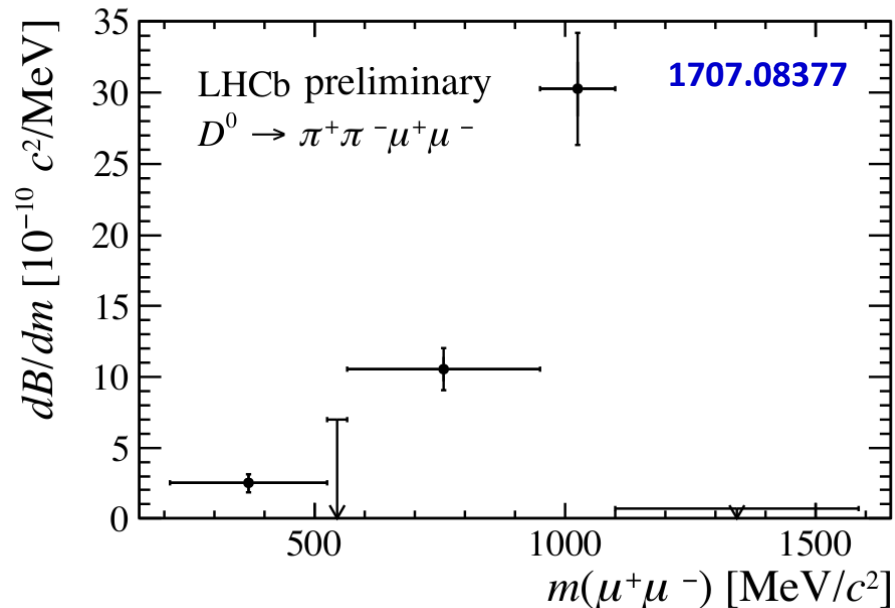
Experimental details

- data: 2/fb from 2012
- $D^0 \rightarrow K^-\pi^+\mu^+\mu^-$ normalization channel
- D^0 from $D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+$ decays



$$\mathcal{B}(D^0 \rightarrow \pi^-\pi^+\mu^+\mu^-) = (9.64 \pm 0.48 \pm 0.51 \pm 0.97) \times 10^{-7}$$
$$\mathcal{B}(D^0 \rightarrow K^-K^+\mu^+\mu^-) = (1.54 \pm 0.27 \pm 0.09 \pm 0.16) \times 10^{-7}$$

FCNC Распады: $D \rightarrow hh\mu^+\mu^-$



$D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\mu^+\mu^-$

$D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\mu^+\mu^-$		Preliminary
$\mu^+\mu^-$ region	[MeV/ c^2]	$\mathcal{B}$ [10^{-8}]
Low mass	< 525	$7.8 \pm 1.9 \pm 0.5 \pm 0.8$
η	525–565	< 2.4 (2.8) at 90%(95%) CL
ρ^0/ω^0	565–950	$40.6 \pm 3.3 \pm 2.1 \pm 4.1$
ϕ	950–1100	$45.4 \pm 2.9 \pm 2.5 \pm 4.5$
High mass	> 1100	< 2.8 (3.3) at 90%(95%) CL

$D^0 \rightarrow K^+K^-\mu^+\mu^-$

$D^0 \rightarrow K^+K^-\mu^+\mu^-$		Preliminary
$\mu^+\mu^-$ region	[MeV/ c^2]	$\mathcal{B}$ [10^{-8}]
Low mass	< 525	$2.6 \pm 1.2 \pm 0.2 \pm 0.3$
η	525–565	< 0.7 (0.8) at 90%(95%) CL
ρ^0/ω^0	> 565	$12.0 \pm 2.3 \pm 0.7 \pm 1.2$

These numbers indicate that there is little reason for celebration regarding achievements on both the theoretical and experimental sides of this research field. Future data may provide us with lessons about non-perturbative QCD. To be realistic, rates cannot indicate the existence of ND. We must measure *regional* asymmetries such as forward-backward and/or CP asymmetries. This is the only opportunity to probe the impact of ND, since long-distance dynamics cannot produce these results [15]. Therefore, we require extremely large data sets of $D_q \rightarrow l^+l^- K^*/\rho/\omega/\phi$ or $\Lambda_c^+ \rightarrow l^+l^- p$, etc.

FCNC Распады: $c \rightarrow ul^+l^-$



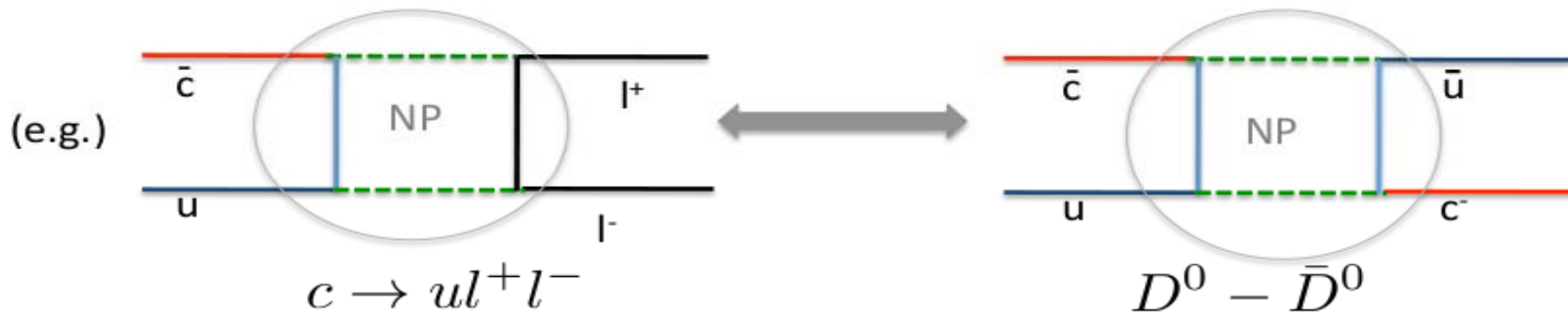
Распады, запрещенные в СМ на древесном уровне происходят с очень малыми вероятностями. Оценки учета GIM подавления и подавления по спиральности дают величину:

Новая физика, дающая вклад в процесс $c \rightarrow ul^+l^-$ практически автоматически вносит вклад и в D^0 – анти- D^0 смешивание:

Tree level FCNC



Loop level



Редкие распады



В СМ распады $D^0 \rightarrow \gamma\gamma$ и $D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ происходят с очень малыми вероятностями. Оценки учета GIM подавления и подавления по спиральности дают величину:

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-) \sim \mathcal{O}\left(\text{BR}(D^+ \rightarrow \mu^+\nu) \cdot \frac{\alpha_S}{\pi} \cdot \frac{m_s^2}{M_W^2}\right) \sim \mathcal{O}(10^{-12})$$

Более детальный анализ приводит к близкой величине:

$$\begin{aligned}\text{BR}(D^0 \rightarrow 2\gamma) &\sim (1 - 3.5) \cdot 10^{-8}, \\ \text{BR}(D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-) &\sim 2.7 \cdot 10^{-5} \cdot \text{BR}(D^0 \rightarrow 2\gamma) \sim (0.3 - 1) \cdot 10^{-12}\end{aligned}$$

Что находится вне досягаемости эксперимента. Тем не менее, эти распады позволяют вести поиск широкого спектра расширений СМ:

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)|_{\text{ND}} \sim 10^{-11}/10^{-10}/8 \cdot 10^{-8}/3.5 \cdot 10^{-6}$$

Extra dims. **SUSY R-vltn.**

heavy b' **multy Higgs**

$\text{BR}(D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-)|_{\text{exp}} \leq 6.2 \cdot 10^{-9}$

Редкие распады



В некоторых расширениях СМ вероятность распада $D^0 \rightarrow \gamma\gamma$ может достигать 6×10^{-6} :

Phys. Rev. D 64, 074008 (2001), Phys. Rev. D 66, 014009 (2002); Phys. Lett. B 500, 304 (2001)

Предыдущие измерения:

CLEO : $B.F.(D^0 \rightarrow \gamma\gamma) < 2.9 \times 10^{-5}$ (13.8 fb^{-1})

BABAR : $B.F.(D^0 \rightarrow \gamma\gamma) < 2.2 \times 10^{-6}$ (470.5 fb^{-1})

BES III : $B.F.(D^0 \rightarrow \gamma\gamma) < 3.8 \times 10^{-6}$ (2.92 fb^{-1})

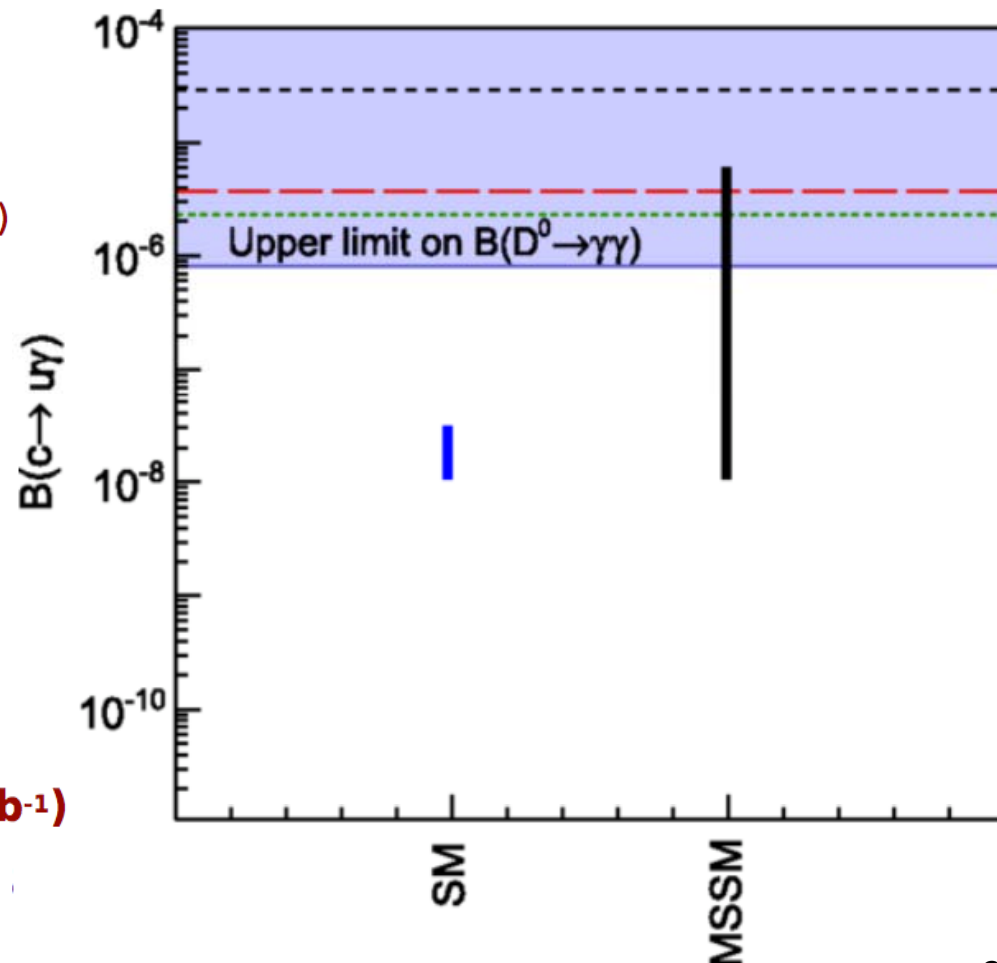
Phys. Rev. Lett. 90, 101801 (2003)

Phys. Rev. D 85, 091107(R) (2012)

Phys. Rev. D 91, 112015 (2015)

Belle: $B.F.(D^0 \rightarrow \gamma\gamma) < 8.5 \times 10^{-7}$ (832 fb^{-1})

PRD93, 051102(R) (2016)



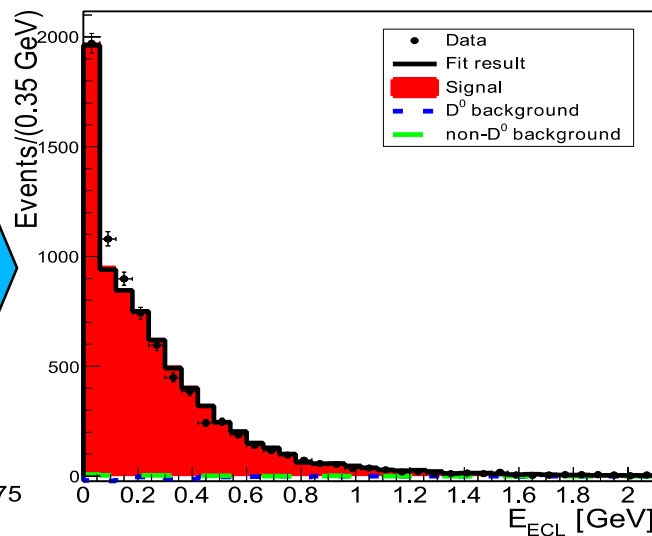
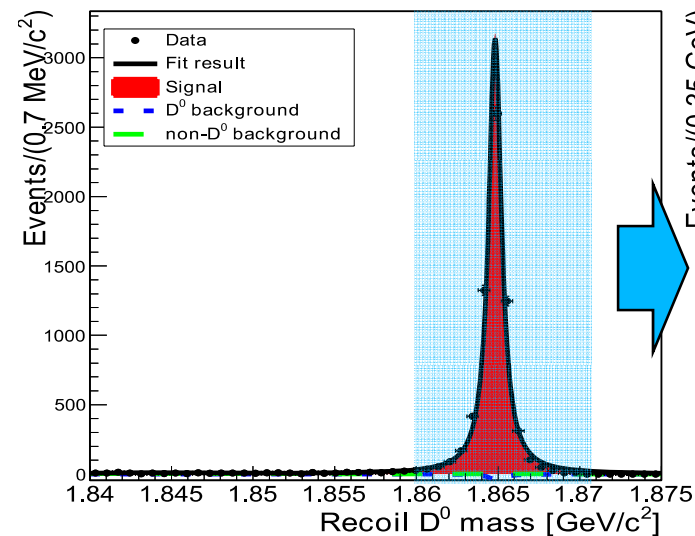
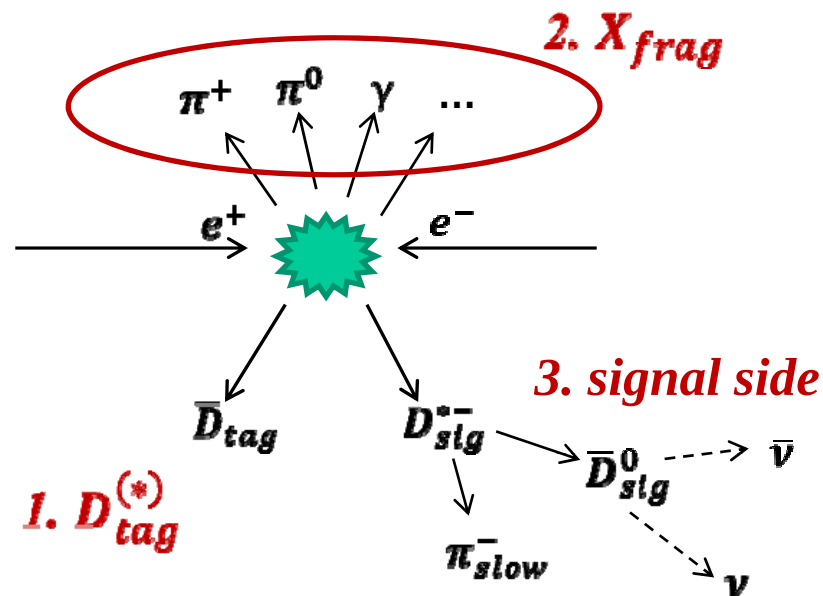
Распады в невидимые состояния

BELLE (924 fb⁻¹) PRD95, 011102(R) (2017)

Полностью восстанавливается один D мезон (D_{tag}) и частицы фрагментации (X_{frag}) после чего вычисляется масса отдачи к ним

Остаточная энергия в калориметре служит для выделения сигнала

Тест с $D_{\text{sig}} \rightarrow K\pi$ в качестве “невидимого” распада:



Измерено:
(3.89 ± 0.06(stat))%

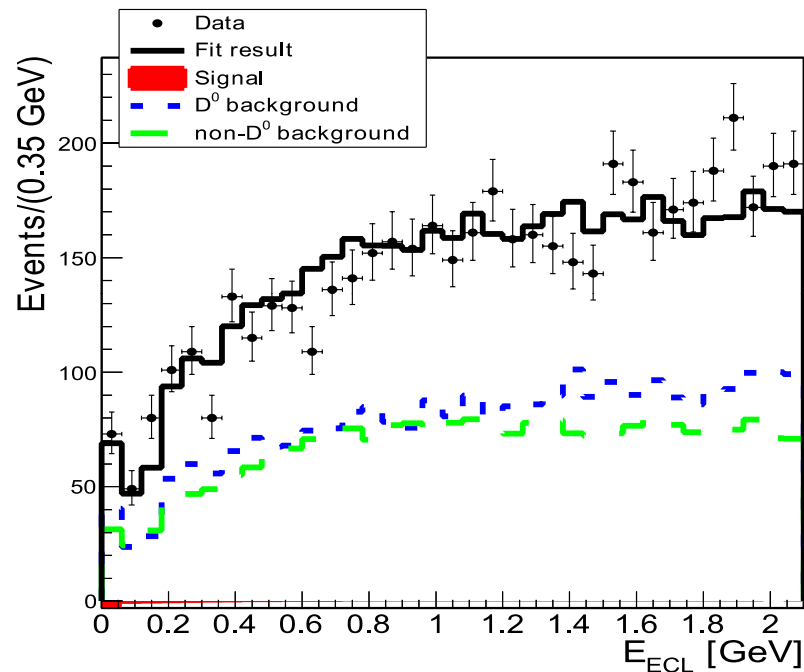
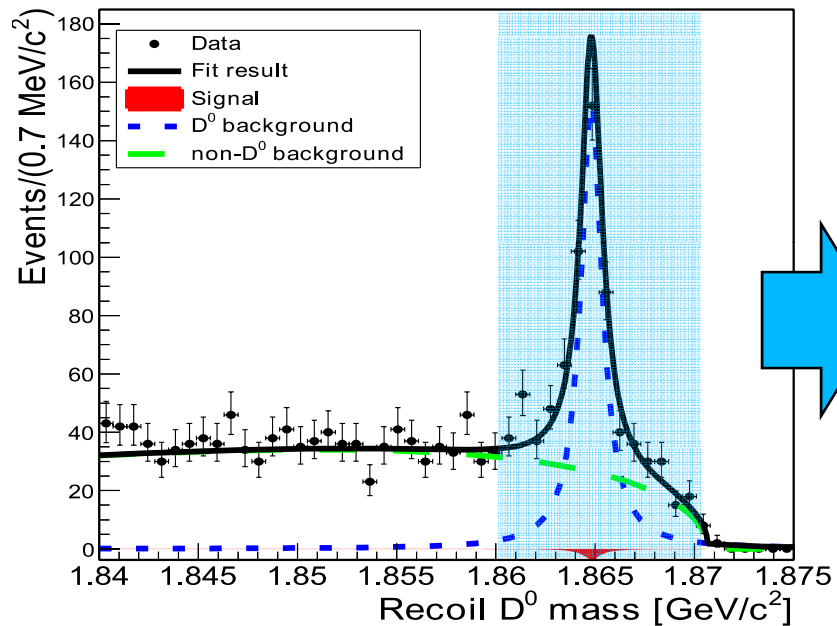
PDG:
(3.93 ± 0.04)%

Распады в невидимые состояния



PRD95, 011102(R) (2017)

Поиск $D_{\text{sig}} \rightarrow \text{invisible}$:



UL: 9.4×10^{-5} at 90% C.L.

Радиационные распады



Предсказания СМ

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \gamma \bar{K}^{*0}) = (6 - 36) \cdot 10^{-5}$$

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \gamma \omega) = (0.1 - 0.9) \cdot 10^{-5}$$

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \gamma \rho^0) = (0.1 - 1) \cdot 10^{-5},$$

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \gamma \phi) = (0.1 - 3.4) \cdot 10^{-5}.$$

Эксперимент

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \gamma \bar{K}^{*0}) = (3.27 \pm 0.34) \cdot 10^{-4}$$

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \gamma \omega) \leq 2.4 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \gamma \rho^0) \leq 2.4 \cdot 10^{-4},$$

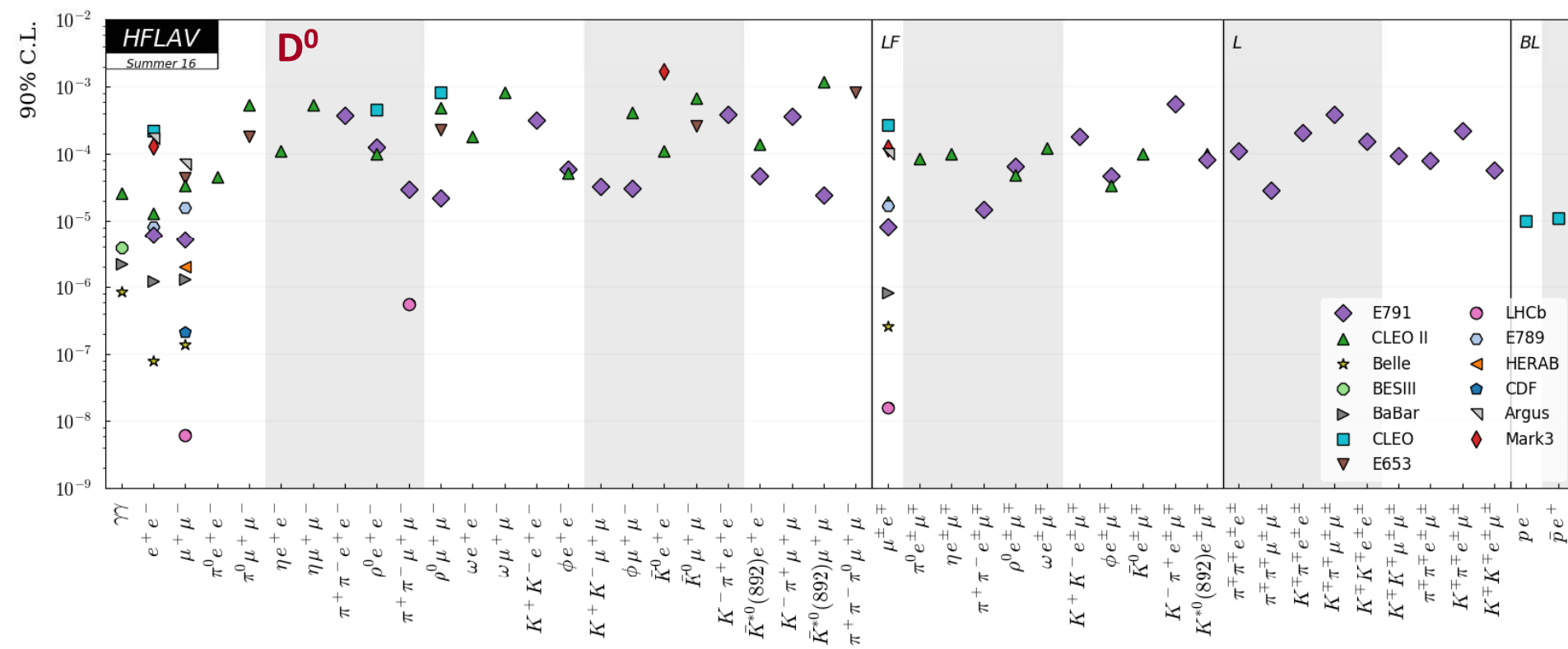
$$\text{BR}(D^0 \rightarrow \gamma \phi) = (2.70 \pm 0.35) \cdot 10^{-5}$$

Основная проблема заключается в том, что невычисляемые «мягкие» вклады могут быть того же порядка, что и вычисляемые пертурбативные, таким образом предсказания СМ стоит рассматривать лишь как оценку порядка величины.



Заключение

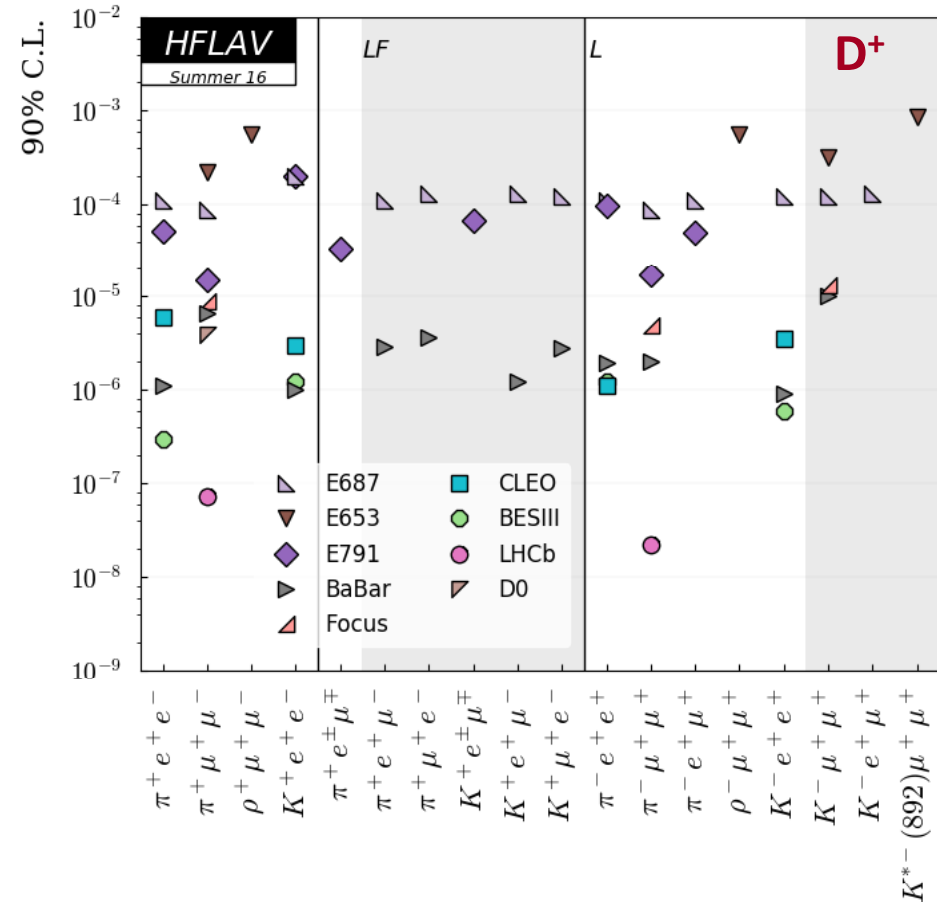
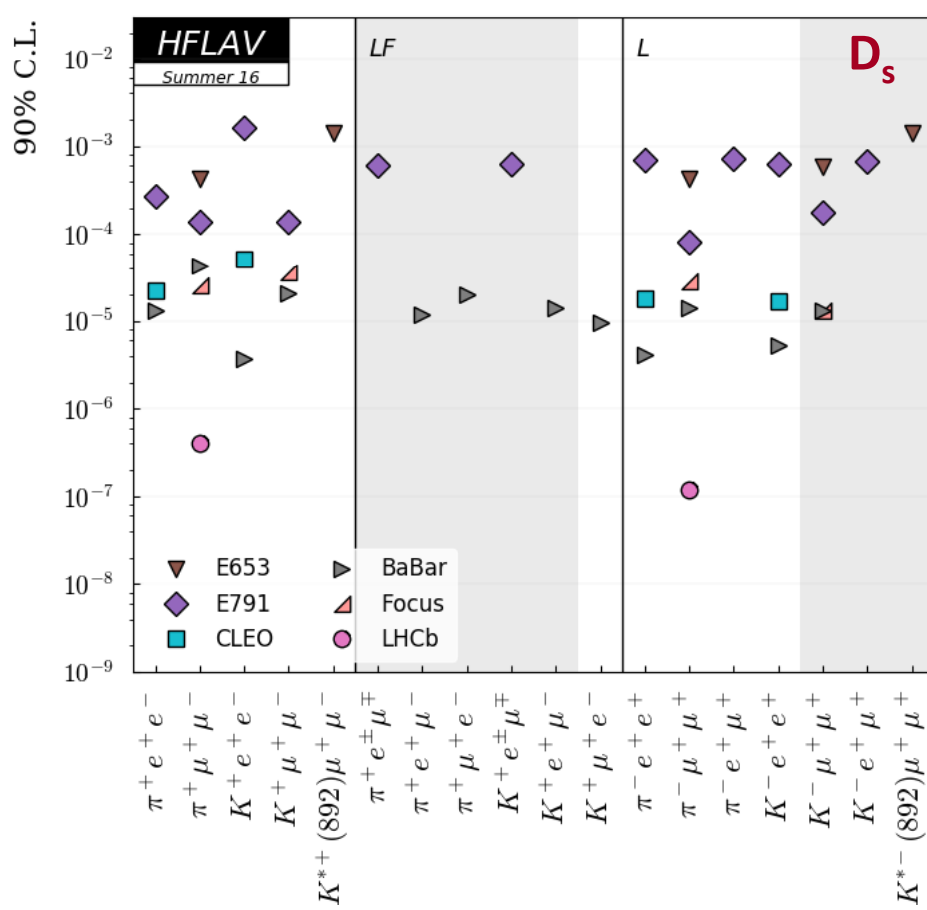
Редкие и запрещенные распады





Заключение

Редкие и запрещенные распады



Заключение



Очень сложно (невозможно?) конкурировать с LHCb при анализе/поиске редких распадов в конечные состояния состоящие только из заряженных частиц:

✗ $D^0 \rightarrow l^+ l^-$

✗ $D^0 \rightarrow h^+ h^- l^+ l^-$

✗ $D^+ \rightarrow h^- l^+ l^+$

Изучение конечных состояниях с нейтральными частицами представляется более перспективным, однако ожидаемый уровень фона (существенно?) выше

✗ $D^0 \rightarrow \gamma \gamma$

✗ $D^0 \rightarrow (\rho/\omega/\phi/K^*) \gamma \gamma$

Поиск распадов в невидимые конечные состояния – с-т фабрика может быть наиболее подходящим местом

Однако для количественных утверждений необходимо моделирование с учетом (более-менее) правдоподобного уровня фона и отклика детектора.

FCNC Распады: $D \rightarrow hh\mu^+\mu^-$



1707.08377

