

Проверка лептонной универсальности в редких распадах прелестных кварков: $b \rightarrow sl^+l^-$

Dmitriy Zubov

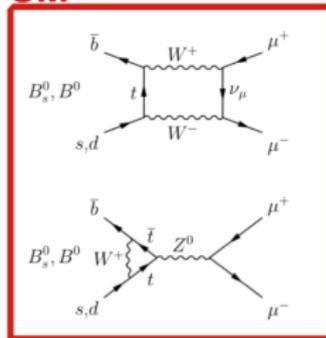
National Research Nuclear University «MEPhI»

17.11.2021

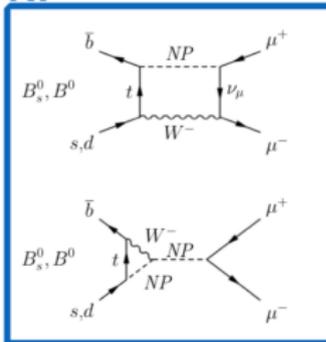
Почему редкие распады В-мезонов

- ▶ Распады мезонов, для которых вероятность \mathcal{B} подавлена в СМ, позволяют заметить эффекты Новой физики даже без прямого рождения новых тяжелых частиц.
- ▶ Неизвестные частицы, слишком тяжелые для рождения на БАКе, могут оказывать значительное влияние на частоту процесса в петлях.
- ▶ Большая масса b-кварка открывает широкое поле для косвенных поисков новой физики.
- ▶ Пример: подавленный распад B^0 и B_s^0 мезонов.

SM



NP

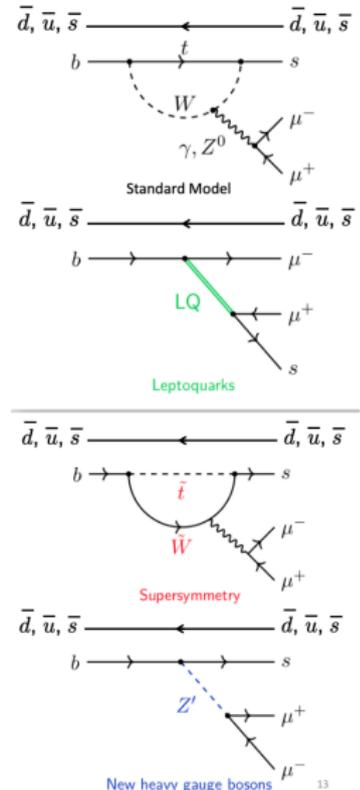


Переход $b \rightarrow sl^+l^-$

В СМ процессы изменения аромата кварка без изменения заряда, ($u \leftrightarrow c \leftrightarrow t$) и ($d \leftrightarrow s \leftrightarrow b$), запрещены на древесном уровне.

Возможные измерения:

- ▶ Измерение вероятности распада \mathcal{B}
- ▶ Измерение угловых распределений
- ▶ Проверка лептонной универсальности



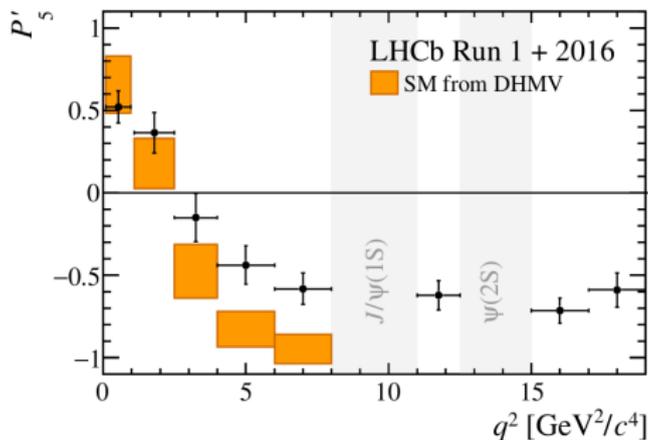
Аномалии

Отклонения в вероятности распада \mathcal{B} :

- ▶ $B \rightarrow K^{(*)}\mu^+\mu^-$
- ▶ $B \rightarrow \phi\mu^+\mu^-$
- ▶ $\Lambda_b \rightarrow \Lambda\mu^+\mu^-$

Отклонения в угловых распределениях:

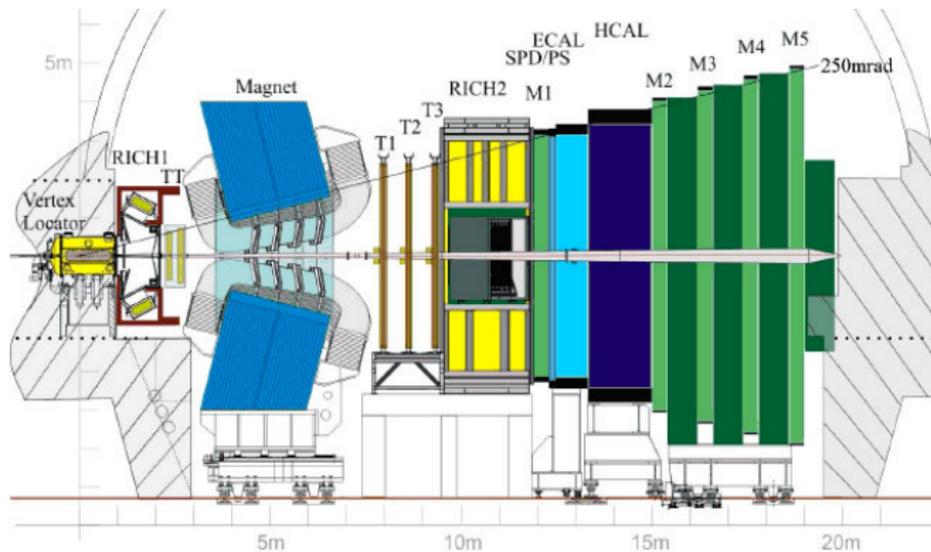
- ▶ $B \rightarrow K^{(*)}\mu^+\mu^-$
- ▶ $\Lambda_b \rightarrow \Lambda\mu^+\mu^-$



Проверка лептонной универсальности

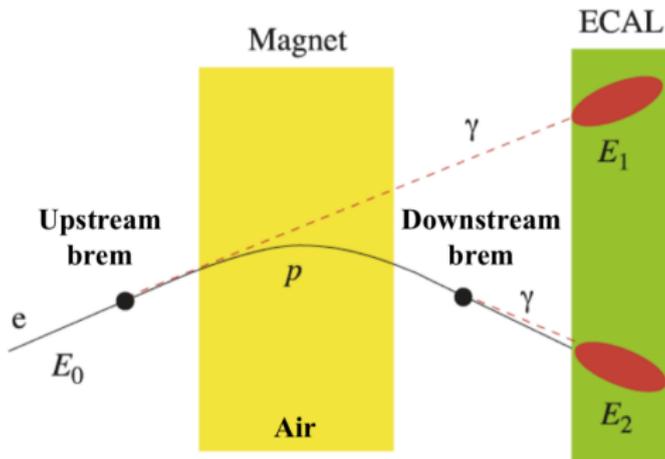
- ▶ В СМ взаимодействие лептонов с калибровочными бозонами не зависит от сорта лептонов.
- ▶ Отличия в вероятности распада \mathcal{B} возникают из-за разницы в фазовых пространствах и эффектов спиральности.
- ▶ $R_M = \frac{B \rightarrow M \mu^+ \mu^-}{B \rightarrow M e^+ e^-} \simeq 1$
- ▶ Экспериментально наблюдались нарушения лептонной универсальности для некоторых процессов со значимостью 2-3 σ :
 - ▶ $B^0 \rightarrow K^{*0} l^+ l^-$, $B^0 \rightarrow K_s^0 l^+ l^-$ и $B^+ \rightarrow K^{*+} l^+ l^-$
[arXiv:2110.09501], $B^+ \rightarrow K^+ l^+ l^-$ [arXiv:2103.11769]

Детектор LHCb



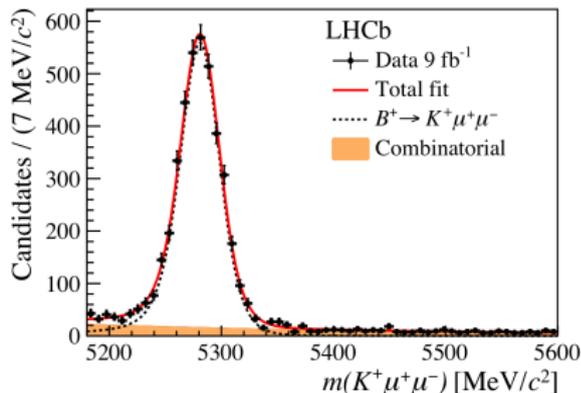
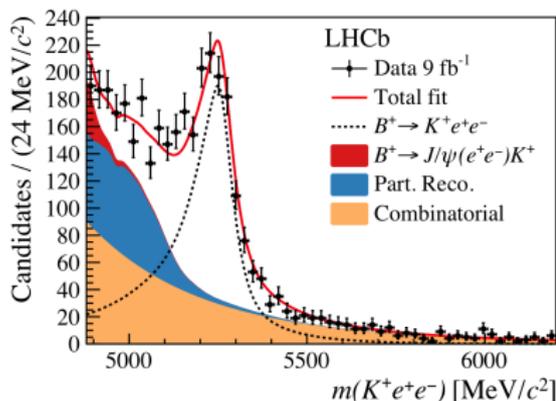
Электроны и мюоны

- ▶ При прохождении через вещество детектора электроны с большой вероятностью излучают жесткий тормозной фотон.



- ▶ Такой фотон, как правило, излучается до магнита.
- ▶ Для восстановления энергии электрона ищут фотон ($E_T > 75$ МэВ), направление которого совпадает с начальным направлением электрона.

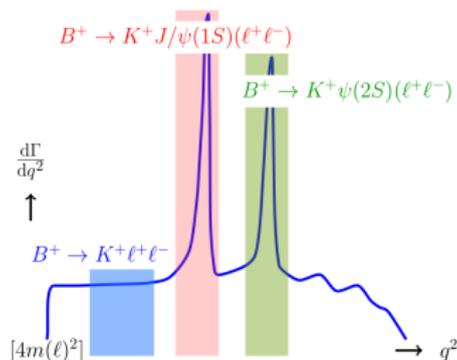
Электроны и мюоны



- ▶ Даже после восстановления энергии тормозным фотоном разрешение инвариантных масс с электронами хуже чем с мюонами.
- ▶ Контроль разницы между эффективностью электронов и мюонов лежит в основе стратегии анализа.

Стратегия анализа

- ▶ Измерялось двойное отношение R_K
- ▶ Многие систематики сокращаются при измерении двойного отношения
- ▶ Число событий каждого процесса определялось фитом инвариантной массы частиц конечного состояния
- ▶ Эффективности вычислялись с использованием симуляции



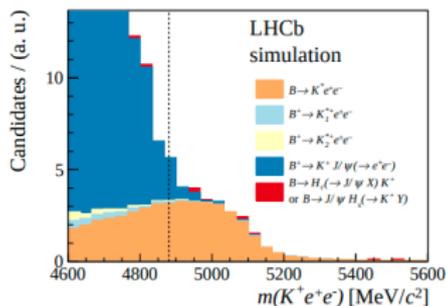
$$\begin{aligned}
 R_K &= \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow J/\psi[\rightarrow \mu^+ \mu^-] K^+)} \bigg/ \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow J/\psi[\rightarrow e^+ e^-] K^+)} = \\
 &= \frac{N(B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-)}{\varepsilon(B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-)} \cdot \frac{\varepsilon(B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-)}{N(B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-)} \times \\
 &\times \frac{\varepsilon(B^+ \rightarrow J/\psi[\rightarrow \mu^+ \mu^-] K^+)}{N(B^+ \rightarrow J/\psi[\rightarrow \mu^+ \mu^-] K^+)} \cdot \frac{N(B^+ \rightarrow J/\psi[\rightarrow e^+ e^-] K^+)}{\varepsilon(B^+ \rightarrow J/\psi[\rightarrow e^+ e^-] K^+)}
 \end{aligned}$$

Отбор событий и фоновые процессы

- ▶ Условия соответствия PID и ограничения на инвариантные массы позволяют снизить фон от других распадов B -мезонов до пренебрежимого уровня:
 - ▶ Условие отбора $m_{K^+e^-} > m_{D^0}$ подавляет фоновый процесс $B^+ \rightarrow \bar{D}^0(+e^{\nu})e^+\bar{\nu}$;
 - ▶ Отбор по PID подавляет процесс $B \rightarrow K\pi_{(\rightarrow e^+)}^+\pi_{(\rightarrow e^-)}^-$
- ▶ Многомерная селекция (BDT) снижает вклад комбинаторного фона и увеличивает сигнальную значимость

Остаточные фон отсекается ограничением на $m(K^+l^+l^-)$:

- ▶ $B^+ \rightarrow K^+J/\psi(\rightarrow e^+e^-)$
- ▶ Частично восстановленный распад $B \rightarrow K^+\pi^-e^+e^-$



Измерение $R_{J/\psi}$

- ▶ Чтобы убедиться, что эффективности оцениваются правильно проверялось

$$R_K = \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow J/\psi [\rightarrow \mu^+ \mu^-] K^+)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow J/\psi [\rightarrow e^+ e^-] K^+)} = 1$$

- ▶ Результат проверки:

$$R_{J/\psi} = 0.981 \pm 0.020(\text{stat} + \text{syst})$$

- ▶ Сопласуется с предсказанием СМ и результатами предыдущих измерений.

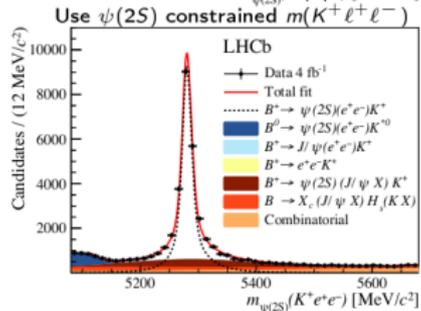
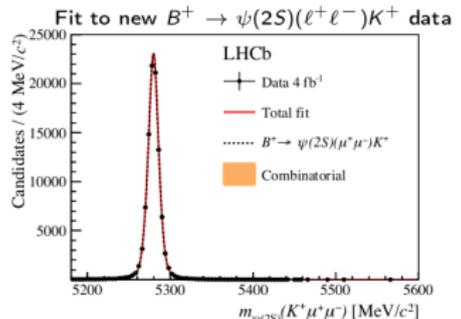
Измерение $R_{\psi(2S)}$

$$R_{\psi(2S)} = \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \psi(2S)[\rightarrow \mu^+\mu^-]K^+)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow J/\psi[\rightarrow \mu^+\mu^-]K^+)} \bigg/ \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \psi(2S)[\rightarrow e^+e^-]K^+)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow J/\psi[\rightarrow e^+e^-]K^+)}$$

- ▶ Независимая проверка метода двойного отношения за пиком J/ψ
- ▶ Результат хорошо согласуется с СМ:

$$R_{J/\psi} = 0.997 \pm 0.011(\text{stat} + \text{syst})$$

- ▶ Результат может быть интерпретирован как самая точная проверка лептонной инвариантности в распаде $\psi(2S) \rightarrow l^+l^-$

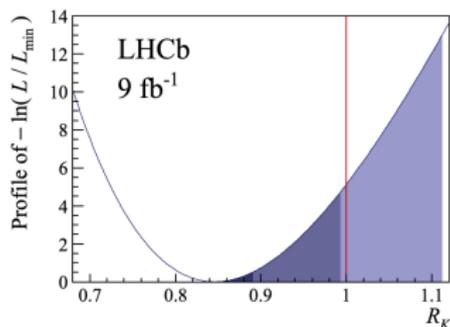
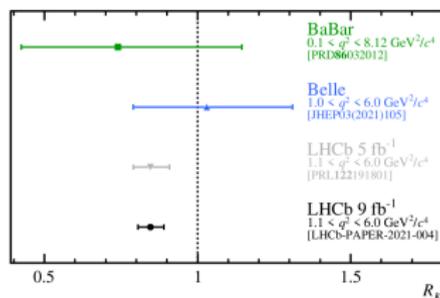


Результаты измерения R_K на данных 1-ого и 2-ого раунда

$$R_K = 0.846^{+0.042}_{-0.039}(\text{stat})^{+0.013}_{-0.012}(\text{syst})$$

- ▶ Доказательство нарушения лептонной универсальности на уровне 3.1σ
- ▶ На основе полученного R_K и ранее полученного $\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-)$ [JHEP06(2014)133] было вычислено $\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-)$:

$$\frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-)}{dq^2} = (28.6^{+1.5}_{-1.4}(\text{stat}) \pm 1.4(\text{syst})) \times 10^{-9} \frac{c^4}{\text{GeV}^2}$$



Заключение

- ▶ Все эти отклонения не производят впечатления чего-то беспорядочного. Измеренные величины отклоняются не куда попало, а в одном общем направлении.
- ▶ Похоже, что аномалии наблюдаются именно для мюонов, и все они дают предпочтение одному вполне конкретному варианту их взаимодействия с кварками.
- ▶ Накопленный теоретиками опыт показывает, что именно так должна проступить Новая физика: мы сразу несколькими способами нащупываем в законах микромира какой-то неожиданный сбой.

На подходе ряд других измерений LHCb:

- ▶ R_K^* , R_{pK} , R_ϕ и др.
- ▶ R_K и R_K^* для высоких q^2
- ▶ Угловые анализы $B^+ \rightarrow K^* e^+ e^-$ и $B^+ \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$ распадов
- ▶ $b \rightarrow s \tau^+ \tau^-$ и проверки лептонной универсальности с τ -лептонами