

Anomalie nei decadimenti rari di adroni *b* a LHCb IFAE 2019 - 09/04 Napoli

Martino Borsato University of Heidelberg <u>martino.borsato@cern.ch</u>

Decadimenti rari a LHCb



Transizioni $b \rightarrow s$ e nuova fisica

courtesy of D.Straub



Misure di BR $b \rightarrow s \mu \mu$

Misure di d B/dq^2 in processi esclusivi di tipo $b \rightarrow s\mu\mu$

- grande precisione, moltitudine di canali (B⁺, B⁰, B_s, Λ_b)
- Ampie incertezze teoriche (~20-30%) dovute ai fattori di forma adronici
- Il pattern è coerente, ma le predizioni sono correlate



Analisi angolari $b \rightarrow s \mu \mu$

- I decadimenti $B \rightarrow K^* \mu \mu$ costituiscono un eccellente laboratorio:
 - Struttura angolare complessa: θ_{ℓ} , θ_{K} , $\phi e q^2 = m^2(\mu\mu)$ permette di separare i diversi contributi al processo $b \rightarrow s\mu\mu$ (coefficienti di Wilson C_i)





Analisi angolare in breve: $\frac{\mathrm{d}^4\Gamma[\overline{B}{}^0\to\overline{K}^{*0}\mu^+\mu^-]}{\mathrm{d}q^2\,\mathrm{d}\vec{\Omega}} = \frac{9}{32\pi}\sum_i I_i(q^2)f_i(\vec{\Omega})$ larghezza di decadimento armoniche osservabili differenziale sferiche angolari Osservabili CP-averaged $S_i = (I_i + \bar{I}_i) / \left(\frac{\mathrm{d}\Gamma}{\mathrm{d}g^2} + \frac{\mathrm{d}\Gamma}{\mathrm{d}g^2}\right)$ $\begin{array}{l} \text{Corrispondono} \\ \text{ad ampiezze} \end{array} S_{1c} = \frac{|\mathcal{A}_0^{\text{L}}|^2 + |\mathcal{A}_0^{\text{R}}|^2}{|\mathcal{A}_0^{\text{L}}|^2 + |\mathcal{A}_0^{\text{R}}|^2 + |\mathcal{A}_{\parallel}^{\text{L}}|^2 + |\mathcal{A}_{\parallel}^{\text{R}}|^2 + |\mathcal{A}_{\perp}^{\text{L}}|^2 + |\mathcal{A}_{\parallel}^{\text{R}}|^2} \end{array}$ Osservabili con dipendenza ridotta da incertezze adroniche $P'_{4,5,8} = \frac{S'_{4,5,8}}{\sqrt{F_{\rm L}(1-F_{\rm L})}}$ [JHEP 1204 (2012) 104

Martino Borsato - University of Heidelberg



Fit globali $b \rightarrow s \mu \mu$

- Fit globali dei coefficienti di Wilson (C_i) a tutti gli osservabili $b \rightarrow s \mu \mu$
 - I coefficienti di maggior impatto per questi decadimenti sono C_9 e C_{10}
- Il fit dei dati è molto migliore se si accettano contributi di NP in C_9 e C_{10}
 - Un segno di nuova fisica o un problema nelle predizioni teoriche?
 - Contributi di loop $c\overline{c}$ sono difficili da stimare Beneke et al. Nucl.Phys.B612:25-58,2001

Beylich et al. Eur. Phys. J. C (2011) 71: 1635 M.Ciuchini et al, PoS BEAUTY2018 (2018) 044 [...]

- LHCb può fare chiarezza:
 - Misure in altri sistemi adronici (B+, Bs, Λb) LHCb, JHEP 09 (2015) 179
 - Inclusione nell'analisi di $K^*J/\psi \in K^*\psi(2S)$ possono migliorare le predizioni T.Blake, U.Egede et al EPJC (2018) 78: 453



1.0

J.Aebischera et al. arXiv:1903.10434

Martino Borsato - University of Heidelberg

 $B_s \rightarrow \mu \mu$

- Molto più raro per "soppressione di elicità"
 - Sensibile a operatori (pseudo-)scalari C_{S,P} dovuti a Higgs addizionali
- Puramente leptonico \rightarrow ridotte incertezze delle predizioni: BR($B_s \rightarrow \mu \mu$) ~ 6%
- **LHCb**: $B_s \rightarrow \mu \mu$ osservato con 7.8 σ (limite superiore su $B^0 \rightarrow \mu \mu$)
 - BR($B_s \rightarrow \mu \mu$) misurata con incertezza 20% (!!)
- Ultima combinazione LHCb + ATLAS + CMS $BR(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (2.71 \pm 0.4) \times 10^{-9}$ 2σ sotto il MS!
- Misura estremamente preziosa nella comprensione delle anomalie (C₁₀)

Decay	$C_{7}^{(\prime)}$	$C_{9}^{(\prime)}$	$C_{10}^{(\prime)}$	$C_{S,P}^{(\prime)}$
$B_{s} ightarrow \mu^{+}\mu^{-}$			Х	Х





- $b \rightarrow s\ell\ell$ può essere usato per studiare l'universalità leptonica del MS e delle sue estensioni
 - Nuove particelle virtuali in $b \rightarrow s\ell\ell$ potrebbero introdurre differenze tra $\ell = e, \mu, \tau$
- LHCb testa $b \rightarrow s \mu \mu$ contro $b \rightarrow see$. Grande vantaggio:

$$R_{K^{(*)}} = \frac{\mathcal{B}(B \to K^{(*)} \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B \to K^{(*)} e^+ e^-)} \stackrel{\text{SM}}{=} 1.0$$

- Le incertezze adroniche si cancellano perfettamente
- 1% incertezza residua per correzioni radiative M.Bordone et al, Eur. Phys. J. C76 (2016)
- LHCb ha misurato $R_{K(*)} < 1$ con i dati di Run 1 (troppi elettroni / troppo pochi muoni)
- Nuovo R_K con (parte dei) dati Run 2: \clubsuit



- Analisi dati 2011-2016 (statistica raddoppiata)
 - Possibile raddoppiare di nuovo con tutti i dati Run 2
- L'analisi si concentra sul canale elettronico perché più complesso a LHCb:
 - Trigger con calorimetro meno efficiente ($p_T > 3 \text{ GeV}$)
 - Grande emissione di bremsstrahlung $E_e \sim 10-100 \text{ GeV}$
 - → alcuni e^{\pm} perdono energia ed escono dall'accettanza
 - → misura del momento con lo spettrometro è più difficile



$$R_{K} = \frac{\mathcal{B}(B^{+} \to K^{+}\mu\mu)}{\mathcal{B}(B^{+} \to K^{+}ee)}$$
Rapporto con il canale di controllo

$$B^{+} \to K^{+}J/\psi(\ell\ell) \text{ semplifica la misura}$$

$$= \frac{\mathcal{B}(B^{+} \to K^{+}\mu\mu)}{\mathcal{B}(B^{+} \to K^{+}ee)} / \frac{\mathcal{B}(B^{+} \to K^{+}J/\psi(\mu\mu))}{\mathcal{B}(B^{+} \to K^{+}J/\psi(ee))}$$

$$= \frac{N(K^{+}\mu\mu)}{N(K^{+}J/\psi(\mu\mu))} \cdot \frac{N(K^{+}J/\psi(ee))}{N(K^{+}ee)} \cdot \frac{\varepsilon(K^{+}J/\psi(\mu\mu))}{\varepsilon(K^{+}\mu\mu)} \cdot \frac{\varepsilon(K^{+}ee)}{\varepsilon(K^{+}J/\psi(ee))}$$
Fit di massa simile Fit di massa simile Accettanza simile Accettanza simile

- Calibrazioni usando con canali di controllo: efficienze tracking, PID, trigger e risoluzione di massa invariante
- Test rigoroso delle accettanze con canale di controllo:

$$r_{J/\psi} = rac{\mathcal{B}(B o K^+ J/\psi(\mu\mu))}{\mathcal{B}(B o K^+ J/\psi(ee))} = 1.0$$

$$= 1.014 \pm 0.035$$
 (stat. + syst.)

- Ma $K^*J/\psi(\ell \ell)$ ha q^2 diverso da $K^*\ell \ell$:
 - **Test differenziale** nelle variabili divers nel sist.di rif. del laboratorio
 - Nessuna tendenza (bias $R_K \sim 0.1\%$)
- Ri-analisi dei dati Run 1 $\rightarrow R_{\rm K}$ perfettamente compatibile





40

20

0

5000

- Dovuto a Run 2 più simile al MS (ma compatibile con Run 1 a 1.9σ)
- BR($B^+ \rightarrow K^+ \mu \mu$) Run 2 compatible con Run 1 (< 1 σ)

Combinatorial

 $m(K^+e^+e^-)$ [MeV/ c^2]

5500

6000

Altri test di universalità leptonica



Conclusioni

- LHCb ha aperto nuova frontiera in $b \rightarrow s\ell\ell$ \rightarrow alcuni risultati inaspettati
- Scenario coerente? Fit globali preferiscono un contributo di nuova fisica a C_9 e C_{10}
- Ruolo di $B_s \rightarrow \mu \mu$ fondamentale a questo punto
- Test di universalità leptonica
 - Sembrano coerenti con effetti in $b \rightarrow s\mu\mu$ se causati da NP che preferisce $\mu\mu$ a *ee*
 - Nuova misura di *R_K* si avvicina al MS ma non cambia la situazione
 - Più precisione necessaria
- LHCb sta preparando molte altre misure (e un upgrade dell'esperimento)
- Anche Belle II, ATLAS e CMS hanno il potenziale di contribuire



J.Aebischera et al. arXiv:1903.10434

BACKUP



Charm loops in $B o K^* \mu^+ \mu^-$







Decay Mode	Event Yield	
$B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-$	766 ± 48	
$B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-$	1943 ± 49	
$B^+ \to J/\psi (\to e^+ e^-) K^+$	$344100\pm~610$	
$B^+ \to J/\psi (\to \mu^+ \mu^-) K^+$	1161800 ± 1100	

$$R_{K}^{7 \text{ and } 8 \text{ TeV}} = 0.717_{-0.071}^{+0.083}_{-0.071}^{+0.083}_{-0.016}^{+0.017},$$

$$R_{K}^{13 \text{ TeV}} = 0.928_{-0.076}^{+0.089}_{-0.017}^{+0.020},$$

LHCb, arXiv:1903.09252

• If fitting *R_K* separately in Run1 and Run2:

$$R_K^{\text{old Run1}} = 0.745 \stackrel{+0.090}{_{-0.074}} \pm 0.036 ,$$

$$R_K^{\text{new Run1}} = 0.717 \stackrel{+0.083}{_{-0.071}} \stackrel{+0.017}{_{-0.071}} ,$$

$$R_K^{2015 + 2016} = 0.928 \stackrel{+0.089}{_{-0.076}} \stackrel{+0.020}{_{-0.017}} .$$

- Compatibility (with correlations):
 - Previous Run1 with new Run1: $< 1\sigma$
 - Run1 vs Run2: 1.9σ





Figure 7: Efficiency corrected (left) $B^+ \to J/\psi (\to e^+e^-)K^+$ and (right) $B^+ \to J/\psi (\to \mu^+\mu^-)K^+$ yields in the Run 1 sample as a function of the B^+ transverse momentum. The values are shown both before and after the calibration of the simulation used to determine the efficiencies.



LHCb, arXiv:1903.09252



Figure S3: Simulated K^+e^- mass distributions for signal and various cascade background samples. The distributions are all normalised to unity. (Left) the bremsstrahlung correction to the momentum of the electron is taken into account, resulting in a tail to the right. (Right) the mass is computed only from the track information (m^{track}) . The notation $\pi_{[\to e]}$ $(e_{[\to \pi]})$ is used to denote an electron (pion) that is misidentified as a pion (electron).



LHCb, arXiv:1903.09252



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

 $R_{\psi(2S)} = 0.986 \pm 0.013 \text{ (stat + syst)}$