

# "Violazione di CP nei mesoni $B_s^0$ "

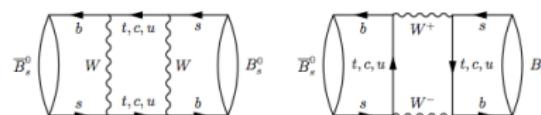
S.Vecchi, Alessandro Cerri, Mario Galanti



VI workshop LHC~~pp~~, Acquario di Genova, 8-10 Maggio 2013

## Fenomenologia del sistema $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ : mixing

Il Modello Standard ammette l'oscillazione  $B_s^0 - \bar{B}_s^0$  attraverso i diagrammi a box:



$$i\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} |B_s^0(t)\rangle \\ |\bar{B}_s^0(t)\rangle \end{pmatrix} = (\mathbf{M} - i\frac{\Gamma}{2}) \begin{pmatrix} |B_s^0(t)\rangle \\ |\bar{B}_s^0(t)\rangle \end{pmatrix}$$

I mesoni  $B_s^0$  evolvono nel tempo secondo una sovrapposizione di autostati di sapore:  
 $|B_{s,H/L}^0\rangle = p|B_s^0\rangle \pm q|\bar{B}_s^0\rangle$

$B_{s,H}^0$  e  $B_{s,L}^0$  autostati di massa:  $\Delta m_s = M_H - M_L$ ,  $\Delta\Gamma_s = \Gamma_L - \Gamma_H$

# Fenomenologia del sistema $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ : fase di mixing $\phi_s$

Interferenza fra mixing e decadimento:  $\phi_s = \Phi_M - 2\Phi_D$

“Golden Mode” :  $b \rightarrow c\bar{c}s$  ( $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ ).

- Nel Modello Standard:  $\phi_s^{SM} = -2\beta_s + \delta_{penguin}^{SM}$

- $-2\beta_s = \arg(-V_{ts} V_{tb}^*/V_{cs} V_{cb}^*)$
- contributi secondari di diagrammi a pinguino “trascutibili” ( $\mathcal{O}(10^{-3})$ ) → slide 33)

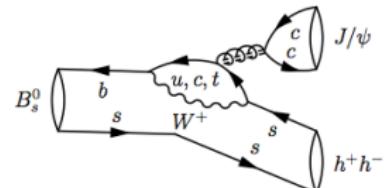
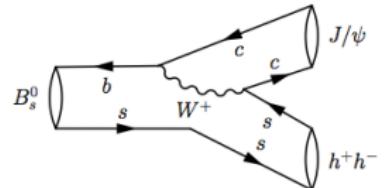
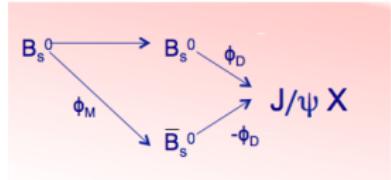
$$\rightarrow \phi_s = (-0.0364 \pm 0.0016) \text{rad} \quad \text{http://cmkfitter.in2p3.fr}$$

- $\phi_s$  può cambiare in presenza di contributi di Nuova Fisica al diagramma a box:

$$\text{■ } \phi_s = \phi_s^{SM} + \phi_s^{NP}$$

→ importante misurare  $\phi_s$  con grande precisione

Canali:  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ ,  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ ,  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\eta$ ,  
 $B_s^0 \rightarrow J/\psi\eta'$ ,  $B_s^0 \rightarrow D_s^+D_s^-$ , ...



# Misurare $\phi_s$ : requisiti

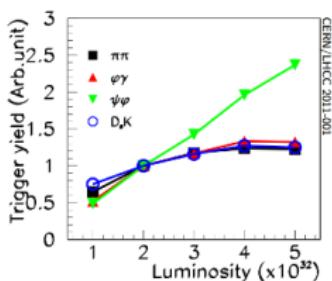
In generale, come per le altre misure di violazione di CP “time-dependent” vogliamo determinare:

$$\mathcal{A}(t) = \frac{\Gamma(B_s^0(t) \rightarrow f) - \Gamma(\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f)}{\Gamma(B_s^0(t) \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f)} = \frac{A_{dir}^{CP} \cos(\Delta m t) + A_{mix}^{CP} \sin(\Delta m t)}{\cosh(\Delta \Gamma t/2) - A_\Delta \sinh(\Delta \Gamma t)} \rightarrow \sin \phi_s \sin(\Delta m_s t)$$

$$\mathcal{A}^m(t) = \frac{N(t) - \bar{N}(t)}{N(t) + \bar{N}(t)} \quad \text{dove } N = S + B \quad \sigma_{\mathcal{A}} \propto 1/\sqrt{\frac{S^2}{B+S} \varepsilon_{tag} D_{tag}^2 D_t}$$

- Statistiche significative di segnale  $\rightarrow \mathcal{L}$ , trigger e selezione efficienti

- $\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi) = \mathcal{O}(10^{-3})$ ,  $\sigma_{pp}^{\bar{b}b}/\sigma_{pp}^{inel} \sim \mathcal{O}(10^{-3})$ ,  $b \rightarrow B_s \sim 10\%$



Luminosità integrata:

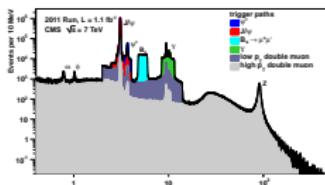
- LHCb  $\sim 3 \text{ fb}^{-1} \rightarrow 1 \text{ fb}^{-1}$  (2011) “luminosity leveling”:  $\mathcal{L} = 4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}$
- ATLAS&CMS:  $\sim 30 \text{ fb}^{-1} \rightarrow 5 \text{ fb}^{-1}$  (2011)

Trigger:

- LHCb: singolo o di- $\mu$  (L0), HLT ( $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ , lifetime unbiased o biased)
- ATLAS&CMS:  $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ , ATLAS: .OR. di diversi trigger  $\mu$

Selezione:

- Ricostruzione completa del decadimento (vincoli geometrici e cinematici) e tagli
- ATLAS&CMS: no PID per i K, LHCb: PID (RICH)
  - LHCb, CMS: soppressione fondo “prompt” con tagli sul tempo
  - ATLAS: nessun taglio sul tempo di decadimento

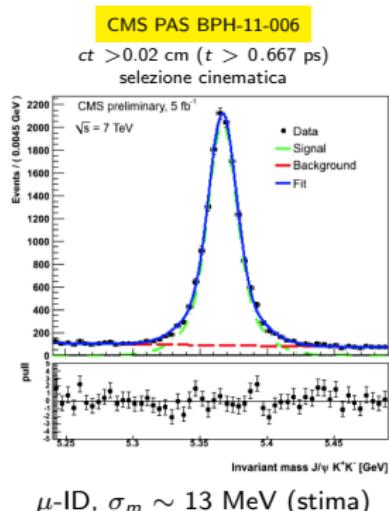
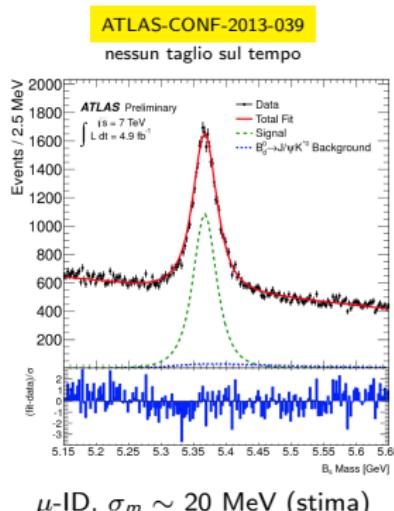
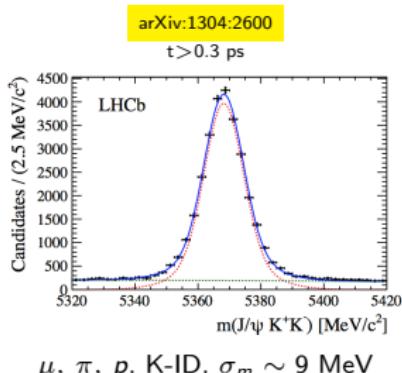


# Misurare $\phi_s$ : requisiti

$$\mathcal{A}(t) = \frac{\Gamma(B_s^0(t) \rightarrow f) - \Gamma(\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f)}{\Gamma(B_s^0(t) \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f)}$$

$$\sigma_{\mathcal{A}} \propto 1/\sqrt{\frac{S^2}{B+S} \varepsilon_{tag} \mathcal{D}_{tag}^2 \mathcal{D}_t}$$

- Bassa contaminazione di fondi **B/S** → **PID, risoluzione in massa, vertice/IP**

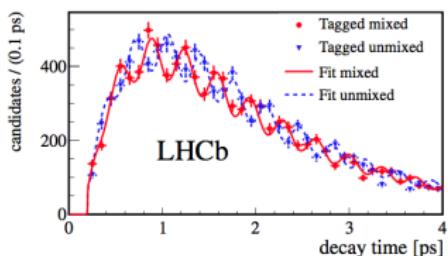


# Misurare $\phi_s$ : requisiti

$$\mathcal{A}(t) = \frac{\Gamma(B_s^0(t) \rightarrow f) - \Gamma(\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f)}{\Gamma(B_s^0(t) \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f)}$$

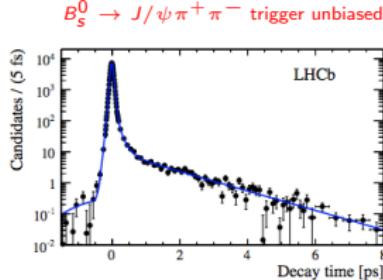
$$\sigma_{\mathcal{A}} \propto 1/\sqrt{\frac{S^2}{B+S} \varepsilon_{tag} \mathcal{D}_{tag}^2 \mathcal{D}_t}$$

- Risoluzione temporale  $\sigma_t \rightarrow$  risoluzione vertice:  $\mathcal{D}_t = \exp(-(\Delta m_s \sigma_t)^2/2)$



$$\Delta m_s = 17.768 \pm 0.023 \pm 0.006 \text{ ps}^{-1}$$

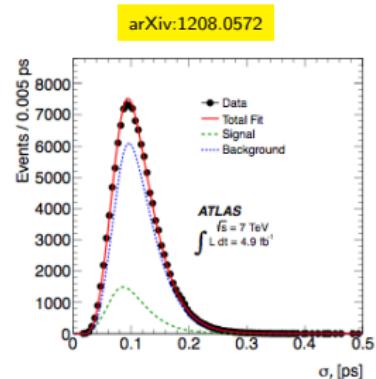
LHCb-PAPER-2013-006



$$^{1^a} \text{osservazione CDF:} \\ \Delta m_s = 17.77 \pm 0.10 \pm 0.07 \text{ ps}^{-1}$$

Phys. Rev. Lett. 97, 242003 (2006)

LHCb:  
 $\langle \sigma_t \rangle \sim 45 \text{ fs} \rightarrow \mathcal{D}_t \sim 0.73$   
 ATLAS:  
 $\langle \sigma_t \rangle \sim 100 \text{ fs} \rightarrow \mathcal{D}_t \sim 0.20$   
 CMS:  
 $\langle \sigma_t \rangle \sim 70 \text{ fs} \rightarrow \mathcal{D}_t \sim 0.46$



Guadagno usando un modello di risoluzione  
 evento-per-evento:

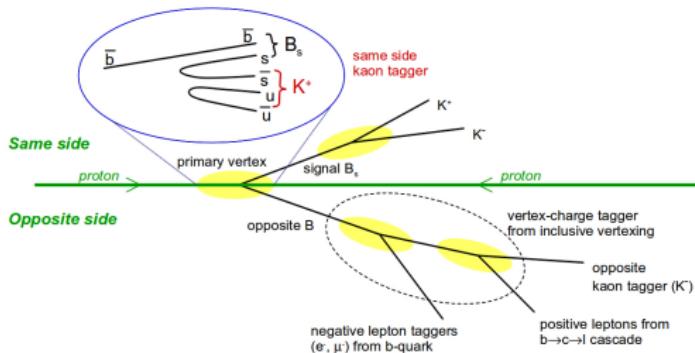
$$\mathcal{R}(t - \tau | \sigma_t) \propto e^{-\frac{(t - \tau - \mu_t)^2}{2(S_t \cdot \sigma_t)^2}}$$

# Misurare $\phi_s$ : requisiti

$$\mathcal{A}(t) = \frac{\Gamma(B_s^0(t) \rightarrow f) - \Gamma(\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f)}{\Gamma(B_s^0(t) \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f)}$$

$$\sigma_{\mathcal{A}} \propto 1/\sqrt{\frac{S^2}{B+S} \varepsilon_{tag} \mathcal{D}_{tag}^2 \mathcal{D}_t}$$

- Identificazione del flavour iniziale del  $B$  di segnale:  $\varepsilon_{tag} \mathcal{D}^2 = \varepsilon_{tag} (1 - 2\omega)^2 \rightarrow \text{PID, risoluzione IP, b-jet}$



**OS tagging:** studia i decadimenti di  $H_b$  opposto al  $B$  di segnale

- $\mu, e$  ( $b \rightarrow cl^- \bar{\nu}_l$ ),  $K$   
 $(b \rightarrow c \rightarrow s)$ ,  $Q_{vtx}$   
 (ricostruzione inclusiva del vertice / b-jet )

**SS tagging:** sfrutta l'adronizzazione del  $B$  di segnale, o il decadimenti di stati risonanti eccitati  $B^{**}$

- $SS\pi$  (tag  $B_d$  e  $B^+$  ),
- $SSK$  (tag  $B_s$  )

# Misurare $\phi_s$ : requisiti - TAGGING

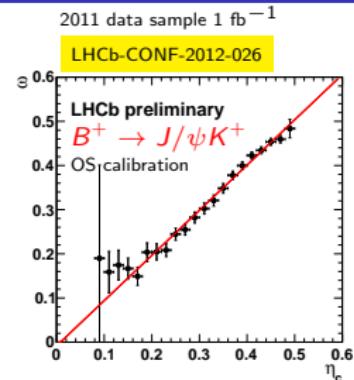
## LHCb: diversi algoritmi di tagging (OS e SS)

- decisione di tag:  $q = \pm 1, 0$  dalla carica della particella di tagging
- probabilità di mistag:  $\eta$  basata su una *rete neurale* definita su eventi MC e calibrata sui canali di controllo  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  (OS) e  $B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$  (SSK)
  - Utilizzata evento-per-evento nei fit di CP (migliora  $\varepsilon_{tag} \mathcal{D}^2$  )
- **Potere di Tagging** in  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ : SSK&OS  
 $\varepsilon_{tag} \mathcal{D}^2 = (3.13 \pm 0.12 \pm 0.20)\%$  ( $\varepsilon_{tag} = 39.4\%$ )  
 prospettive di miglioramento in un prossimo futuro

## ATLAS: due algoritmi di tagging OS: "muon-cone", "b-jet"

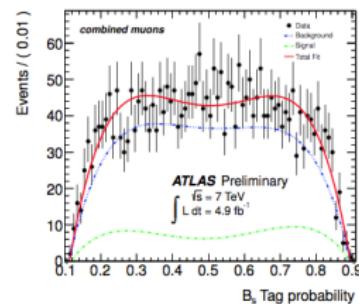
- $\mathcal{Q}_{\mu/b\text{-jet}} = \sum_i q^i \cdot (p_T^i)^{\mathcal{K}} / \sum_i (p_T^i)^{\mathcal{K}}$   $i = 1, \dots N$  tracce nel cono attorno OS/ $\mu$ /nel b-jet
- probabilità di  $B$ -tagging:  $P(B|\mathcal{Q}_n)$  definito nel canale di controllo  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$ , usata nei fit di CP (binnata)
- **Potere di Tagging** in  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  :  
 $\varepsilon_{tag} \mathcal{D}^2 = (1.45 \pm 0.05)\%$  ( $\varepsilon_{tag} = 32.1\%$ )

## CMS: work in progress (tagging OS- $\mu$ in fase di ottimizzazione, altri tagger a venire)



"combined muons"

ATLAS-CONF-2013-039



# Analisi del canale $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$

$B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi(\rightarrow K^+K^-)$  "Golden mode" per la misura di  $\phi_s$ :

- $PS \rightarrow VV$ : sovrapposizione di autostati  $CP$ -pari e  $CP$ -dispari
- contributo di  $K^+K^-$  in onda S:  $f_0(980) +$  "non-risonante" ( $CP$ -dispari):  $(1.1 \pm 0.1^{+0.2}_{-0.1})\%$  in  $m_\phi \pm 12\text{MeV}$ : [arXiv:1302.1213](#)
- separazione dei contributi tramite l'analisi angolare (diversi approcci: elicità, trasversità)

$$\frac{d^4\Gamma(B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi)}{dt d\Omega} \stackrel{(-)}{\propto} \sum_{k=1}^{10} h_k(t) f_k(\Omega)$$

$$h_k(t) = N_k e^{-\Gamma_s t} [a_k \cosh(\Delta\Gamma_s t/2) + b_k \sinh(\Delta\Gamma_s t/2) \pm c_k \cos(\Delta m_s t) \pm d_k \sin(\Delta m_s t)]$$

$a_k$ ,  $b_k$ ,  $c_k$  e  $d_k$  dipendono dalle fasi relative e da  $\phi_s$  (→slide 24)

Analisi multidimensionale per separare segnale e fondo:

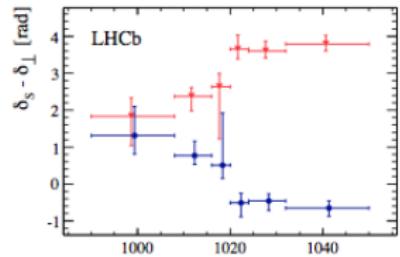
- **LHCb analisi "taggata":**
  - "c-Fit": fit completo alle distribuzioni di  $(m, t, \Omega, \sigma_t, q, \eta)$  (segnale e fondo)
  - "s-Fit" in 2 step:
    - a) fit della distribuzione di massa (segnale e fondo) → s-Weight,
    - b) fit di  $(t, \Omega, \sigma_t, q, \eta)$  pesato con s-Weight (solo segnale)
- **ATLAS analisi "taggata":**
  - fit completo alle distribuzioni di  $(m, t, \Omega, \sigma_m, \sigma_t, P(B|\mathcal{Q}))$  (segnale e fondo)
- **CMS analisi "non-taggata"** (hp:  $\phi_s = 0$ , no onda S): misura di  $\Delta\Gamma_s$ ,  $\tau_{B_s}$ , ampiezze angolari
  - fit completo alle distribuzioni di  $(m, t, \Omega, \sigma_t)$  (segnale e fondo)

Risultati:  $\phi_s$  in  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$

**ambiguità nei valori di  $\phi_s$  e  $\Delta\Gamma_s$ :** invarianza delle ampiezze per  $(\phi_s, \Delta\Gamma_s, \delta_{||}, \delta_{\perp}) \rightarrow (\pi - \phi_s, -\Delta\Gamma_s, -\delta_{||}, \pi - \delta_{\perp})$

- LHCb: sfrutta l'interferenza fra onde S e P nel canale  $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^+ K^-$ : studio  $\delta_S - \delta_{\perp}$  vs  $m_{KK}$  in un range esteso  
→ **soluzione fisica  $\Delta\Gamma_s > 0$ :**  $\delta_S - \delta_{\perp}$  decrescita attorno  $m_\phi$  (significanza  $> 4\sigma$ )
- Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 241801

arXiv:1304.2600



	LHCb arXiv:1304.2600	ATLAS ATLAS-CONF-2013-039	CMS CMS PAS BPH-11-006	Modello Standard CKM-fitter
segnale [k ev.]	27.6	22.7	14.4	
$\phi_s$ [rad]	$0.07 \pm 0.09 \pm 0.01$	$0.12 \pm 0.23 \pm 0.11$	0 fix (*)	$-0.0364 \pm 0.0016$
$\Gamma_s$ [ $\text{ps}^{-1}$ ]	$0.663 \pm 0.005 \pm 0.006$	$0.677 \pm 0.007 \pm 0.003$	$0.655 \pm 0.008 \pm 0.003$	
$\Delta\Gamma_s$ [ $\text{ps}^{-1}$ ]	$0.100 \pm 0.016 \pm 0.003$	$0.053 \pm 0.021 \pm 0.009$	$0.048 \pm 0.024 \pm 0.003$	$0.087 \pm 0.021$

Risultati sulle ampiezze in ottimo accordo fra loro

(\*) CMS: studi di sensibilità sull'analisi taggata: precisione attesa competitiva con quella di LHCb

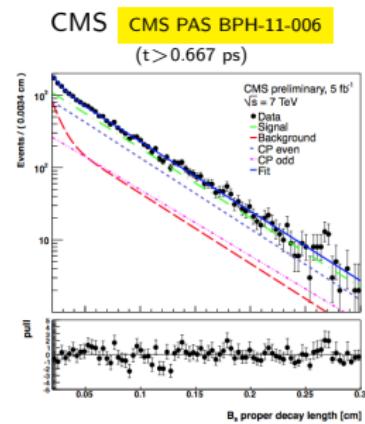
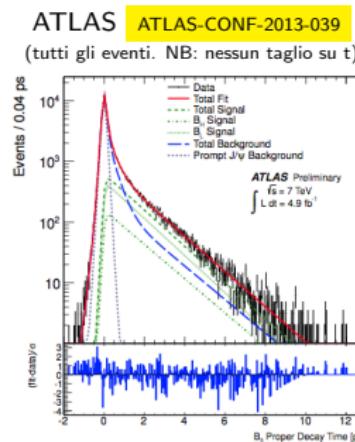
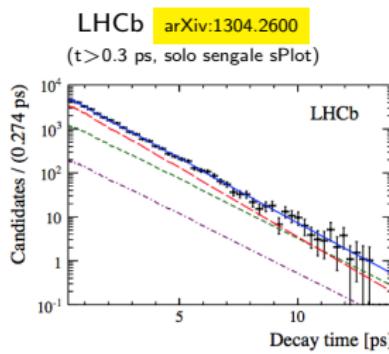
Incertezze sistematiche principali (→ slide 28):

su  $\phi_s$  accettanza angolare (statistica MC) LHCb / tagging ATLAS

su  $\Gamma_s$  descrizione/sottrazione del fondo, accettanza temporale

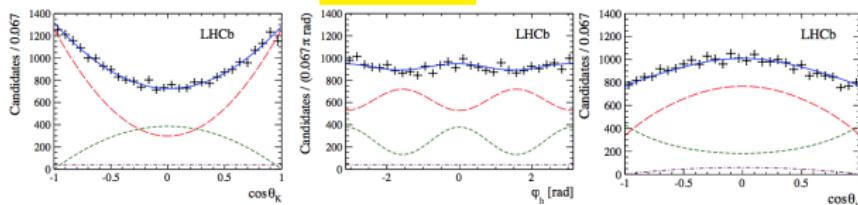
su  $\Delta\Gamma_s$  parametrizzazione del fondo (angolare) ATLAS&CMS, accettanza temporale, risoluzione temporale (CMS)

# Risultati: plot della distribuzione temporale

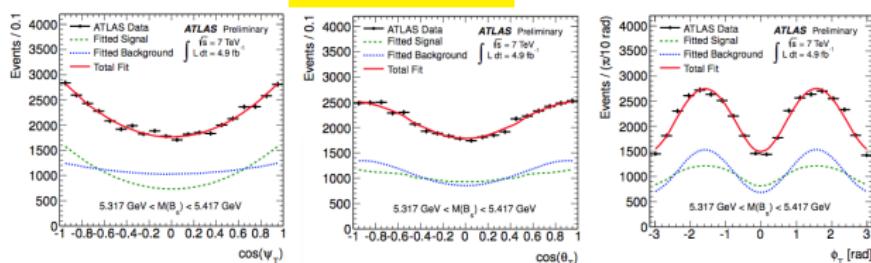


# Risultati: plot delle distribuzioni angolari

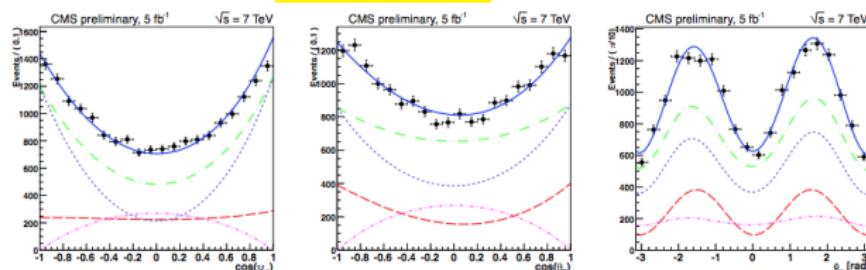
LHCb arXiv:1304.2600 formalismo Elicità



ATLAS ATLAS-CONF-2013-039 formalismo Trasversità



CMS CMS PAS BPH-11-006 formalismo Trasversità



# Misurare $\phi_s$ : analisi di $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

$B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$  è un canale promettente per la misura di  $\phi_s$ :  $\mathcal{B}$  è  $19.79 \pm 0.70\%$  di  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$

- il sistema  $\pi^+ \pi^-$  è dominato dall'onda S:

>97.7% @95% C.L Phys. Rev. D 86, 052006 (2012)

- contributo dominante:  $f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^-$ :

$$\mathcal{R}_{f_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-} = 0.252^{+0.053}_{-0.046} \quad \text{Phys. Lett. B 698 (2011) 115-122}$$

- $PS \rightarrow VS$ : puro autostato  $CP$ -dispari

→ misura di  $\phi_s$  richiede "solo" un'analisi "taggata&time-dependent" (→slide 29)

## Analisi di LHCb:

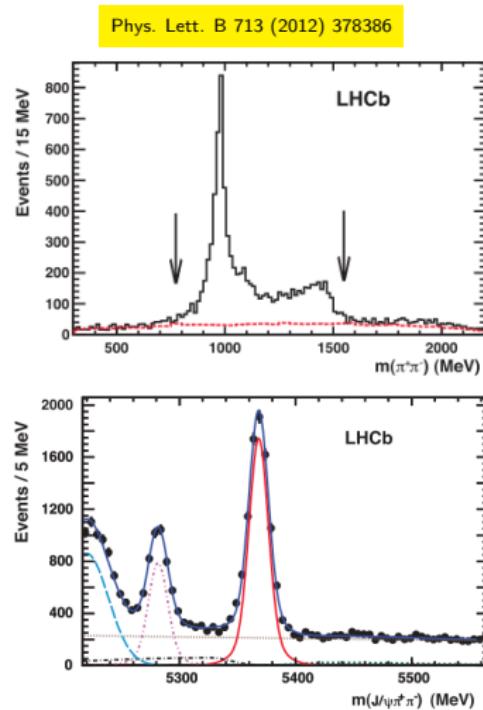
- selezione multivariata (BTD),  $S \sim 7400$  eventi
- $\varepsilon_{tag} \mathcal{D}^2 = 3.37 \pm 0.12 \pm 0.27\%$  ( $\varepsilon_{tag} = 39.5\%$ ),  $\langle \sigma_t \rangle = 40$  fs.

$$\phi_s = -0.14^{+0.17}_{-0.16} \pm 0.01 \text{ rad}$$

Oltre a ciò si misura la vita media effettiva:

$$\Gamma_{B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-}^{eff} = 0.605 \pm 0.009 \pm 0.009 \text{ ps}^{-1}$$

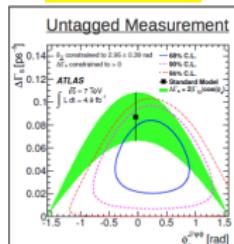
ATLAS&CMS: analisi del canale in corso.



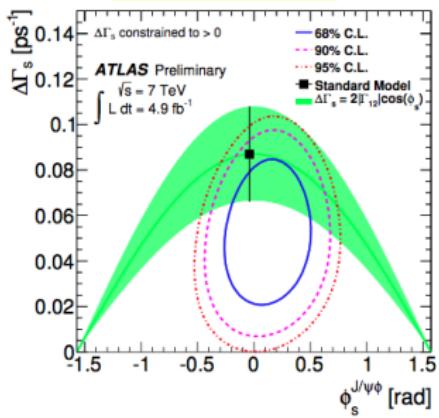
# Misurare $\phi_s$ : combinazione dei risultati

ATLAS

arXiv:1208.0572



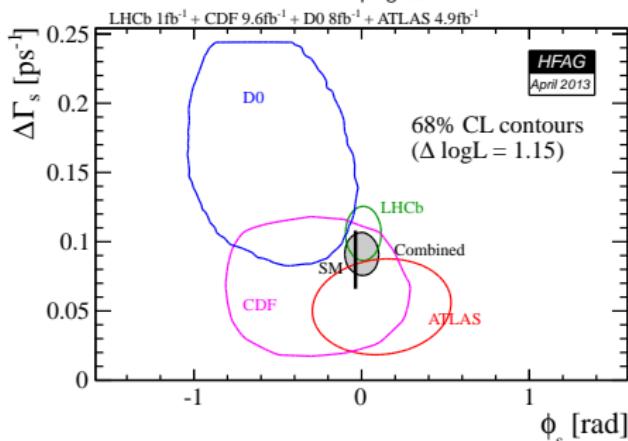
ATLAS-CONF-2013-039



LHCb risultati combinati: arXiv:1304.2600

$$\begin{aligned}\phi_s &= 0.01 \pm 0.07 \pm 0.01 \text{ rad} \\ \Gamma_s &= 0.661 \pm 0.004 \pm 0.006 \text{ ps}^{-1} \\ \Delta\Gamma_s &= 0.106 \pm 0.011 \pm 0.007 \text{ ps}^{-1}\end{aligned}$$

HFAG work in progress



Risultati in ottimo accordo con le previsioni del Modello Standard

## Vincoli ulteriori a $\phi_s$ e $\Delta\Gamma_s$ : misura della vita media effettiva

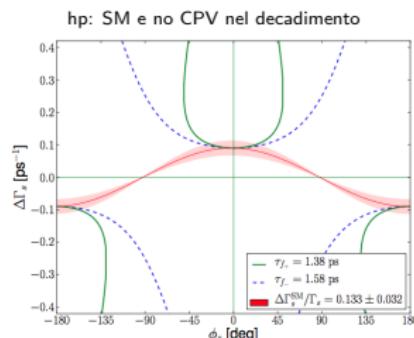
Da un'idea di Fleischer&Knegjens [arXiv:1109.511](https://arxiv.org/abs/1109.511):

- La misura delle vita media del  $B_s^0$  in una coppia di decadimenti in stati finali puri  $CP$ -pari e  $CP$ -dispari è sufficiente per determinare  $\phi_s$  e  $\Delta\Gamma_s$ <sup>a</sup>: si sfrutta l'andamento non lineare con  $\Delta\Gamma_s$

$$\langle \Gamma(B_s(t) \rightarrow f) \rangle \propto e^{-\Gamma_s t} \left[ \cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) + A_{\Delta\Gamma_s}^f \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) \right]$$

$$\frac{\tau_f}{\tau_{B_s}} = 1 + A_{\Delta\Gamma_s}^f \left( \frac{\Delta\Gamma_s}{2\Gamma_s} \right) + [2 - (A_{\Delta\Gamma_s}^f)^2] \cdot \left( \frac{\Delta\Gamma_s}{2\Gamma_s} \right)^2 + \mathcal{O}\left(\frac{\Delta\Gamma_s}{2\Gamma_s}\right)^3$$

- vantaggio: analisi semplificata ("non-taggata", solo "time dependent")




---

<sup>a</sup> $\Gamma_s = (\Gamma_s^L + \Gamma_s^H)/2 = \tau_{B_s}^{-1}$  and  $\Delta\Gamma_s = \Gamma_s^L - \Gamma_s^H$ ,

$A_{\Delta\Gamma_s}^f = \frac{\Gamma(B_{s,H} \rightarrow f) - \Gamma(B_{s,L} \rightarrow f)}{\Gamma(B_{s,H} \rightarrow f) + \Gamma(B_{s,L} \rightarrow f)} = -\frac{2\eta_f \cos(\phi_s + \Delta\phi_f)}{1 + |\lambda|^2}$

# Vincoli ulteriori a $\phi_s$ e $\Delta\Gamma_s$ : misura della vita media effettiva del $B_s^0$

Vincoli introdotti dalle misure di vita media effettiva: misure di (CDF) e LHCb

- $CP$ -pari  $B_s^0 \rightarrow K^+K^-$  :  $\tau_{KK} = 1.455 \pm 0.046 \pm 0.006$  ps [arXiv:1207.0878](#)

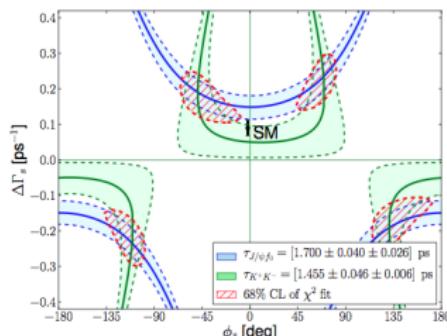
- $CP$ -dispari  $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$   $\tau_{J/\psi f_0(980)} = 1.700 \pm 0.040 \pm 0.026$  ps [arXiv:1207.0878](#)

**ATLAS:** analisi in corso

$$B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- \quad \tau_{J/\psi \pi\pi} = 1.652 \pm 0.024 \pm 0.024 \text{ ps} \quad (\rightarrow \text{slide 13}) \quad \text{arXiv:1304.2600}$$

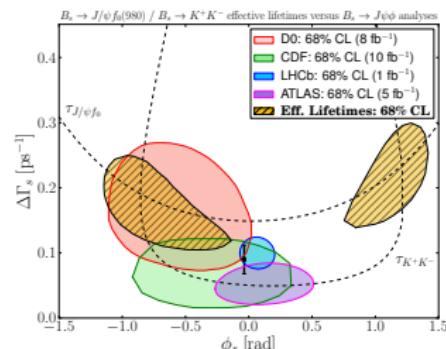
- $CP$ -pari  $B_s^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$   $\tau_{J/\psi K_s^0} = 1.75 \pm 0.12 \pm 0.07$  ps

R.Knugjens: [arXiv:1209.3206](#)



si tiene conto dei contributi di CPV nei decadimenti

R.Knugjens, private communication



# Analisi del canale $B_s^0 \rightarrow \phi\phi$

Il decadimento  $B_s^0 \rightarrow \phi\phi$ :

- transizione  $b \rightarrow s\bar{s}s$ , procede solo attraverso diagrammi “pinguino-gluonici”
- predizioni dello SM:  $|\phi_s^{\phi\phi}| < 0.02$  rad (cancellazione delle fasi di mixing e decadimento)
- canale eccellente per “test” di contributi di NP nel loop  $b \rightarrow s$

Analisi di LHCb:

- Trigger (HLT): BDT vertice secondario di “B” a 2,3,4 tracce di alto  $p_T$ ,  $\phi$ -ID
- Decadimento  $PS \rightarrow VV$ : misura di  $CP$  richiede un’analisi completa: angolare, taggata time-dependent come per  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$   
+ contributi di (KK) in onda S (risonante r non  $\sim 2\%$ , compatibile con 0)
- nel 2012: Phys. Lett. B 713 (2012) 369-377  
misura dell’asimmetria dei prodotti tripli (hp:  $\phi_s^{\phi\phi} = 0$ ) Chiara indicazione di NP se diverse da zero.

$$A_U = -0.055 \pm 0.036 \pm 0.018 \quad A_V = 0.010 \pm 0.036 \pm 0.018$$

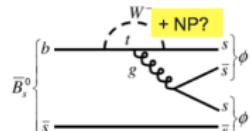
- nel 2013 analisi  $CP$  completa: arXiv:1303.7125

“s-Fit” in 2 step (come per  $\phi_s$  vedi slide 9)

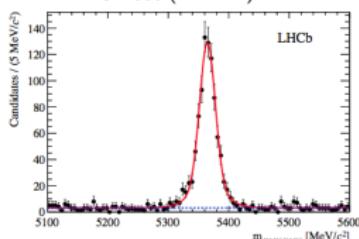
$$\varepsilon_{tag} D^2 = 3.29 \pm 0.48\% \quad (\varepsilon_{tag} = 49.7\%), \langle \sigma_t \rangle \sim 40 \text{ fs}$$

$$\phi_s^{\phi\phi} = [-2.46, -0.76] \text{ rad @68\% CL}, \text{ p-value SM} = 16\%$$

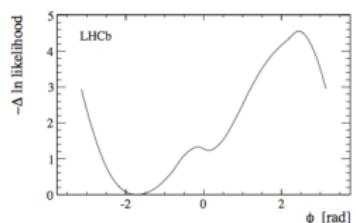
contributo dell’incertezza sistematica =  $\pm 0.22$  rad (dominato da contributo di onda S)



$S \sim 880$  (PID - K)



solo errore statistico



ATLAS&CMS: difficilmente potranno contribuire (richiede trigger e identificazione di adroni)

# Misura dell'asimmetria nei decadimenti semi-leptonici del $B_s$

Decadimenti flavour-specific del  $B_s$  permettono di misurare la CPV nel mixing  $B_s^0 - \bar{B}_s^0$

$$a_{sl} = \frac{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{f}) - \Gamma(B^0 \rightarrow f)}{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow \bar{f}) + \Gamma(B^0 \rightarrow f)} = \frac{1 - |q/p|^2}{1 + |q/p|^2}$$

Previsioni SM: arXiv:1102.4274

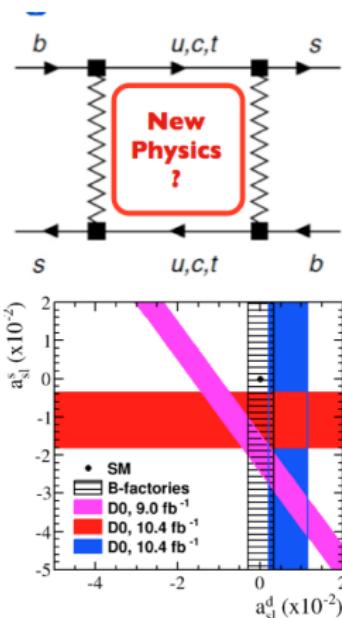
- $a_{sl}^s = (1.9 \pm 0.3) \times 10^{-5}$
- $a_{sl}^d = (4.1 \pm 0.6) \times 10^{-4}$

B-factories:

- $a_{sl}^d = +0.02 \pm 0.3\%$  (HFAG, Autunno 2012)
- Babar:  $a_{sl}^d = 0.06 \pm 0.17^{+0.36}_{-0.32}\%$  (analisi taggata)

DØ ha misurato:

- $a_{sl}^b = C^d a_{sl}^d + C^s a_{sl}^s = -0.787 \pm 0.172 \pm 0.093\%$  ( $3.9\sigma$  fuori dal SM) Phys. Rev. D 84, 052007 (2011)
- $a_{sl}^s = -1.12 \pm 0.74 \pm 0.17\%$  PRL 110, 011801 (2013)
- $a_{sl}^d = 0.68 \pm 0.45 \pm 0.14\%$



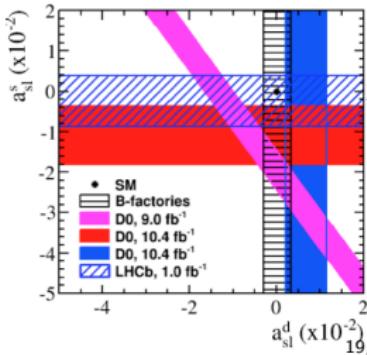
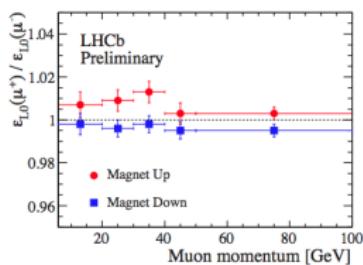
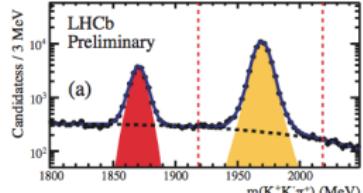
# Misura dell'asimmetria nei decadimenti semi-leptonici del $B_s$

Misura di LHCb **LHCb-CONF-2012-022**

- canale:  $B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ X$  ( $D_s^- \rightarrow \phi \pi^-$ ,  $\phi \rightarrow K^+ K^-$ )
- $$A_{\text{raw}} \equiv \frac{N(D_s^- \mu^+) - N(D_s^+ \mu^-)}{N(D_s^- \mu^+) + N(D_s^+ \mu^-)} = \frac{a_{sl}^s}{2} + \left[ a_p - \frac{a_{sl}^s}{2} \right] \frac{\int e^{-\Gamma_s t} \cos(\Delta M_s t) \epsilon(t) dt}{\int e^{-\Gamma_s t} \cosh(\Delta \Gamma_s t / 2) \epsilon(t) dt}$$
- $a_p \sim \mathcal{O}(\%)$ , integrale  $\mathcal{O}(0.2\%)$
- misura integrata nel tempo:  $S \sim D_s^- \mu^+$  e  $D_s^+ \mu^-$  per Bup e Bdown ( $\sim 40k$  e  $\sim 55k$  ciascuno)
- minimizzazione delle potenziali asimmetrie di rivelazione&trigger& $\mu$ -ID
- Risultato:  $a_{sl}^s = -0.24 \pm 0.54 \pm 0.33 \%$ 
  - sistematica dominante: errore statistico nel rapporto delle efficienze, asimmetria di trigger, asimmetria  $\mu$ -ID ( $\rightarrow$  slide 31)

**CMS:** misura dell'asimmetria di-leptonica  $a_{sl}^b$  (taggata) con i dati 2012 (trigger dedicato) analoga a D $\emptyset$ , con possibile separazione di  $B_d^0$  e  $B_s$

- prospettive: **errore statistico 0.1%** (come D $\emptyset$ ), sistematico dominato dalla correzione delle efficienze  
possibile limitazione: polarità del campo magnetico fissa
- step intermedio: misura della probabilità di mixing integrata



## Prospettive di misura

**Run1 di LHC:**  $\sqrt{s} = 7 - 8 \text{ TeV}$  si e' concluso con  $\int \mathcal{L} \cdot dt \sim 3 \text{ fb}^{-1}$  (LHCb) e  $\sim 30 \text{ fb}^{-1}$  (ATLAS&CMS)

- LHCb: condizioni di run stabili  $\rightarrow +$  fattore 2 in statistica dai dati del 2012 ( $\mathcal{L} \sim 4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , 50ns )
- ATLAS&CMS: trigger in evoluzione ( $\mathcal{L} \sim 1 - 7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , 50ns)  $\rightarrow +$  fattore 4 in statistica dai dati del 2012

**Run2 di LHC: 2015 → 2018**  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$        $\sigma_{14 \text{ TeV}}^{\bar{b}b} \sim \times 2 \sigma_{7 \text{ TeV}}^{\bar{b}b}$

- LHCb: condizioni di run stabili ( $\mathcal{L} \sim 4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , 25s )  $\rightarrow \int \mathcal{L} \cdot dt \sim 5 - 7 \text{ fb}^{-1}$
- ATLAS&CMS: ( $\mathcal{L} \sim 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , 25ns )  $\rightarrow \int \mathcal{L} \cdot dt \sim 100 \text{ fb}^{-1}$

chiaro vantaggio rispetto a LHCb in termini di luminosità:  $\times 10$   $\rightarrow$  per rimanere competitivi occorre mantenere alte le efficienze di trigger

- bandwidth dedicata ai trigger per B-physics potrebbe essere abbassata nel futuro (di-muoni di basso  $p_T$  saturano L1)
- per non alzare troppo le soglie su  $p_T$  occorre rendere "più intelligente" il trigger L1:
  - ATLAS: trigger topologico (angolo fra i 2 muoni),
    - ricostruzione dell'evento più completa al L2
    - aggiunta di eventi con trigger a 3 muoni per flavour tag.
  - CMS: studi in corso (soglie/bandwidth L1). HLT: il trigger "di-muone" poco sensibile al pile-up.

## Prospettive di misura

### Run3 di LHC: 2019→2022 $\sqrt{s} = 14\text{TeV}$

- LHCb Upgrade: ( $\mathcal{L} \sim 1 - 2 \times 10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 25s)  $\rightarrow \int \mathcal{L} \cdot dt \sim 50\text{fb}^{-1}$ 
  - mantenere alte le efficienze del trigger di muoni
  - incrementare le efficienze di trigger di adroni (fattore 2)
- readout 1→40MHz (L0→LLT), HLT
- ATLAS&CMS Upgrade: ( $\mathcal{L} \sim 2 \times 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 25ns)  $\rightarrow \int \mathcal{L} \cdot dt \sim 350\text{fb}^{-1}$ 
  - Trigger di B-physics ancora possibile ?
  - CMS: previsto upgrade del trigger L1 che potrebbe permettere selezioni “più intelligenti” per B-physics e/o abbassare le soglie in  $p_T$

# Prospettive di misura dopo il Run 2

LHCb: basandosi sulle attuali prestazioni (risoluzioni, efficienze di selezione, ecc.)

Tabella aggiornata a Maggio 2012 EPJ C 73 (2013) 2373

Type	Observable	Current precision	LHCb	Upgrade ( $50\text{ fb}^{-1}$ )	Theory uncertainty
$B_s^0$ mixing	$2\beta_s (B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi)$	0.10 [137]	0.025	0.008	$\sim 0.003$
	$2\beta_s (B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980))$	0.17 [213]	0.045	0.014	$\sim 0.01$
	$a_{\beta_s}^0$	$6.4 \times 10^{-3}$ [43]	$0.6 \times 10^{-3}$	$0.2 \times 10^{-3}$	$0.03 \times 10^{-3}$
Gluonic penguins	$2\beta_s^{\text{eff}} (B_s^0 \rightarrow \phi \phi)$	—	0.17	0.03	0.02
	$2\beta_s^{\text{eff}} (B_s^0 \rightarrow K^{*0} \bar{K}^{*0})$	—	0.13	0.02	$< 0.02$
	$2\beta_s^{\text{eff}} (B_s^0 \rightarrow \phi K_S^0)$	0.17 [43]	0.30	0.05	0.02

- in vista: miglioramenti nel tagging (20-30%), nella selezione (10-20%)
- in più: analisi di canali aggiuntivi:  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta'$ ,  $B_s^0 \rightarrow D_s^+ D_s^-$ , ...

ATLAS&CMS: sulle analisi qui presentate le prospettive per il futuro dipendono da quanta bandwidth sarà destinata alla "B-physics".

- ATLAS: stime sull'analisi di  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ 
  - perdita  $\varepsilon^{\text{Trigger}}$  di un 50% (i dati triggerati avranno risoluzioni migliori  $\langle \sigma_t \rangle$ )
  - $\varepsilon^{\text{tag}} \mathcal{D}^2$  non ci si aspettano grossi miglioramenti (1/2 di LHCb) né peggioramenti (maggiore PU)
  - luminosità "effettiva" integrata  $\times 1.5\text{-}2$  LHCb
  - estrapolando: errori statistici  $\sim 1/5$  quelli attuali (per LHCb si avrà  $\sim 1/4$  di quelli attuali).
- In più: analisi di  $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$  e/o  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi\pi$
- CMS: flavour tagging  $\rightarrow$  analisi taggate ( $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  e  $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$ )
- possibili misure di vita media effettiva:  $B_s^0 \rightarrow J/\psi f_0(980)$  (ATLAS&CMS)
- possibili misure di altri canali di CPV del  $B_s$  ? (per esempio  $B_s^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ )

## Backup slides

# Ampiezze di decadimento per $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$

$B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  è una somma coerente di state  $CP$ -pari e  $CP$ -dispari  $\rightarrow$  richiede un'analisi angolare&time-dependent:

$$\frac{d^4 \Gamma(B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi)}{dt d\Omega} \stackrel{(-)}{\propto} \sum_{k=1}^{10} h_k(t) f_k(\Omega)$$

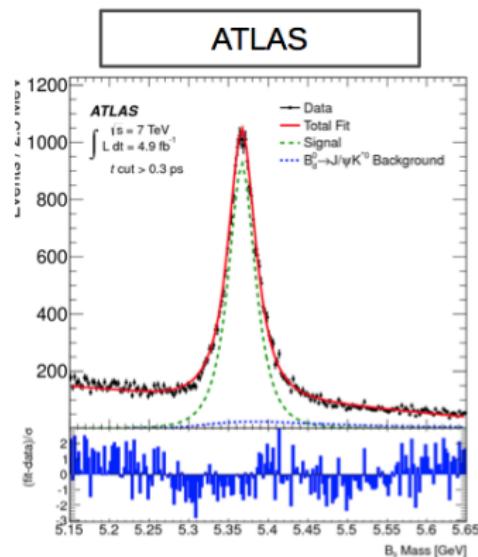
10 termini = 3 ampiezze per le once P, 1 per l'onda S + interferenze

$$h_k(t) = N_k e^{-\Gamma_s t} [a_k \cosh(\Delta\Gamma_s t/2) + b_k \sinh(\Delta\Gamma_s t/2) \pm c_k \cos(\Delta m_s t) \pm d_k \sin(\Delta m_s t)]$$

$k$	$f_k(\theta, \psi, \varphi)$	$N_k$	$a_k$	$b_k$	$c_k$	$d_k$
1	$2 \cos^2 \psi (1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi)$	$ A_0(0) ^2$	1	$-\cos \phi_s$	0	$\sin \phi_s$
2	$\sin^2 \psi (1 - \sin^2 \theta \sin^2 \phi)$	$ A_{  }(0) ^2$	1	$-\cos \phi_s$	0	$\sin \phi_s$
3	$\sin^2 \psi \sin^2 \theta$	$ A_{\perp}(0) ^2$	1	$\cos \phi_s$	0	$-\sin \phi_s$
4	$-\sin^2 \psi \sin 2\theta \sin \phi$	$ A_{  }(0)A_{\perp}(0) $	0	$-\cos(\delta_{\perp} - \delta_{  }) \sin \phi_s$	$\sin(\delta_{\perp} - \delta_{  })$	$-\cos(\delta_{\perp} - \delta_{  }) \cos \phi_s$
5	$\frac{1}{2}\sqrt{2} \sin 2\psi \sin^2 \theta \sin 2\phi$	$ A_0(0)A_{  }(0) $	$\cos(\delta_{  } - \delta_0)$	$-\cos(\delta_{  } - \delta_0) \cos \phi_s$	0	$\cos(\delta_{  } - \delta_0) \sin \phi_s$
6	$\frac{1}{2}\sqrt{2} \sin 2\psi \sin 2\theta \cos \phi$	$ A_0(0)A_{\perp}(0) $	0	$-\cos(\delta_{\perp} - \delta_0) \sin \phi_s$	$\sin(\delta_{\perp} - \delta_0)$	$-\cos(\delta_{\perp} - \delta_0) \cos \phi_s$
7	$\frac{2}{3}(1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi)$	$ A_S(0) ^2$	1	$\cos \phi_s$	0	$-\sin \phi_s$
8	$\frac{1}{3}\sqrt{6} \sin \psi \sin^2 \theta \sin 2\phi$	$ A_S(0)A_{  }(0) $	0	$-\sin(\delta_{  } - \delta_S) \sin \phi_s$	$\cos(\delta_{  } - \delta_S)$	$-\sin(\delta_{  } - \delta_S) \cos \phi_s$
9	$\frac{1}{3}\sqrt{6} \sin \psi \sin 2\theta \cos \phi$	$ A_S(0)A_{\perp}(0) $	$\sin(\delta_{\perp} - \delta_S)$	$\sin(\delta_{\perp} - \delta_S) \cos \phi_s$	0	$-\sin(\delta_{\perp} - \delta_S) \sin \phi_s$
10	$\frac{4}{3}\sqrt{3} \cos \psi (1 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi)$	$ A_S(0)A_0(0) $	0	$-\sin(\delta_0 - \delta_S) \sin \phi_s$	$\cos(\delta_0 - \delta_S)$	$-\sin(\delta_0 - \delta_S) \cos \phi_s$

sensibilità a  $\phi_s$  anche dal campione non taggato.

JHEP12(2012) 072

 $\tau > 0.3 \text{ ps}$

# Tagging ATLAS

ATLAS-CONF-2013-039

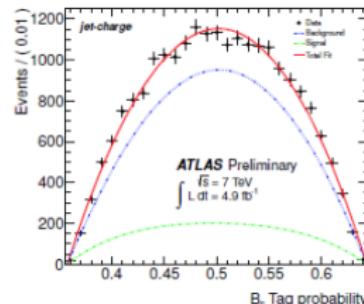
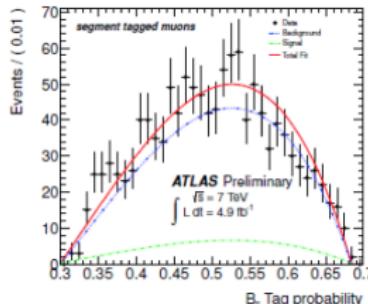
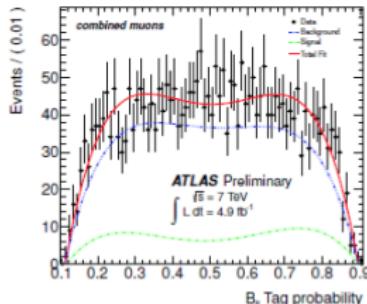
## Flavor Tagging



Tagger	Efficiency [%]	Dilution [%]	Tagging Power [%]
Segment Tagged muon	$1.08 \pm 0.02$	$36.7 \pm 0.7$	$0.15 \pm 0.02$
Combined muon	$3.37 \pm 0.04$	$50.6 \pm 0.5$	$0.86 \pm 0.04$
Jet charge	$27.7 \pm 0.1$	$12.68 \pm 0.06$	$0.45 \pm 0.03$
Total	$32.1 \pm 0.1$	$21.3 \pm 0.08$	$1.45 \pm 0.05$

- Combined muon: combination of Inner Detector track and Muon spectrometer track
- Segment Tagged muon: full Inner Detector track matched to track segment in the muon spectrometer

### Tag probabilities

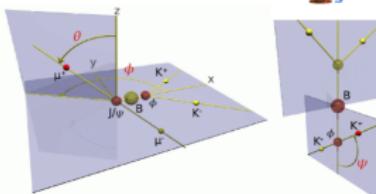


# Angular analysis: transversity vs helicity frame

dalle slide di C.Heller a Beauty 2013

## Coordinate system in the transversity basis

The x-axis is determined by the direction of the  $\Phi$  meson in the  $J/\psi$  rest frame. The  $K^+K^-$ -plane defines the  $xy$ -plane, where  $p_y(K^+) > 0$ .



arXiv:1304.2600

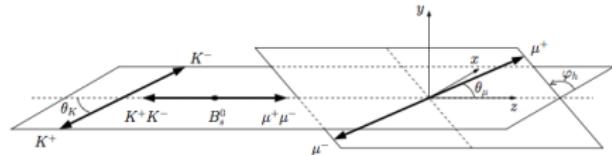


Figure 3: Definition of helicity angles as discussed in the text.

- $\theta$  is the angle between  $p(\mu^*)$  and the  $xy$  plane in the  $J/\psi$  meson rest frame
- $\phi$  is the angle between the  $x$ -axis and  $p_\eta(\mu^*)$ , the projection of the  $\mu^+$  momentum in the  $xy$  plane, in the  $J/\psi$  meson rest frame
- $\psi$  is the angle between  $p(K^*)$  and  $-p(J/\psi)$  in the  $\Phi$  meson rest frame

Fig. 3. The polar angle  $\theta_K$  ( $\theta_\mu$ ) is the angle between the  $K^+$  ( $\mu^+$ ) momentum and the direction opposite to the  $B_s^0$  momentum in the  $K^+K^-$  ( $\mu^+\mu^-$ ) centre-of-mass system. The azimuthal angle between the  $K^+K^-$  and  $\mu^+\mu^-$  decay planes is  $\varphi_h$ . This angle is defined by a rotation from the  $K^-$  side of the  $K^+K^-$  plane to the  $\mu^+$  side of the  $\mu^+\mu^-$  plane. The rotation is positive in the  $\mu^+\mu^-$  direction in the  $B_s^0$  rest frame. A definition of the angles in terms of the particle momenta is given in Appendix A.

# Incertezze sistematiche nell'analisi di $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$

LHCb	arXiv:1304:2600			ATLAS	ATLAS-CONF-2013-039			CMS	CMS PAS BPH-11-006		
Source	$\Gamma_s$ [ps $^{-1}$ ]	$\Delta\Gamma_s$ [ps $^{-1}$ ]	$\phi_s$ [rad]		$\phi_s$ (rad)	$\Delta\Gamma_s$ (ps $^{-1}$ )	$\Gamma_s$ (ps $^{-1}$ )		$\Delta\Gamma_s$ [ps $^{-1}$ ]	$\sigma$ [cm]	
Stat. uncertainty	0.0048	0.016	0.091								
Background subtraction	0.0041	0.002	0.003	ID alignment	$<10^{-2}$	$<10^{-3}$	$<10^{-3}$				
$B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ background	—	0.001	0.004	Trigger efficiency	$<10^{-2}$	$<10^{-3}$	0.002				
Ang. acc. reweighting	0.0007	—	0.003	$B_d^0$ contribution	0.03	0.001	$<10^{-3}$				
Ang. acc. statistical	0.0002	—	0.007	Tagging	0.10	0.001	$<10^{-3}$				
Lower decay time acc. model	0.0023	0.002	—	Models:							
Upper decay time acc. model	0.0040	—	—	default fit	$<10^{-2}$	0.002	$<10^{-3}$				
Length and mom. scales	0.0002	—	—	signal mass	$<10^{-2}$	0.001	$<10^{-3}$				
Fit bias	—	—	—	background mass	$<10^{-2}$	0.001	0.001				
Quadratic sum of syst.	0.0063	0.003	0.009	resolution	0.02	$<10^{-3}$	0.001				
Total uncertainties	0.0079	0.016	0.091	background time	0.01	0.001	$<10^{-3}$				
				background angles	0.02	0.008	0.002				
				<b>Total</b>	0.11	0.009	0.003				

back to slide 10

## Amplitudes for $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

$B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$  is a pure CP-odd final state ( $\pi\pi$  in s-wave)  $\rightarrow$  simple differential decay rates:

$$\Gamma(B_s^0 \rightarrow J/\psi(\pi\pi)_s) \propto e^{-\Gamma_s t} \{ e^{\Delta\Gamma_s t/2} (1 + \cos \phi_s) + e^{-\Delta\Gamma_s t/2} (1 - \cos \phi_s) - \sin \phi_s \sin(\Delta m_s t) \}$$

$$\Gamma(\bar{B}_s^0 \rightarrow J/\psi(\pi\pi)_s) \propto e^{-\Gamma_s t} \{ e^{\Delta\Gamma_s t/2} (1 + \cos \phi_s) + e^{-\Delta\Gamma_s t/2} (1 - \cos \phi_s) + \sin \phi_s \sin(\Delta m_s t) \}$$

**Time dependent asymmetry**  $\mathcal{A}(t)$  is a sinusoidal function of the time:

- amplitude  $\propto \sin \phi_s$
- initial **flavour tagging** is required
- measured amplitude is diluted by the **probability of mistag** ( $\omega$ ) and by limited **time resolution** ( $\sigma_t$ )

$$\mathcal{A}(t) \simeq \sin \phi_s \times (1 - 2\omega) \times e^{-(\Delta m_s \sigma_t)^2/2} \times \sin(\Delta m_s t) = \sin \phi_s \times \mathcal{D}_{tag} \times \mathcal{D}_t \times \sin(\Delta m_s t)$$

If  $\Delta\Gamma_s \neq 0$  also the untagged sample is sensitive to  $\phi_s$

$$\Gamma((B_s^0 + \bar{B}_s^0) \rightarrow J/\psi(\pi\pi)_s) \propto e^{-\Gamma_s t} \{ e^{\Delta\Gamma_s t/2} (1 + \cos \phi_s) + e^{-\Delta\Gamma_s t/2} (1 - \cos \phi_s) \}$$

# $B_s^0 \rightarrow \phi\phi$ : results

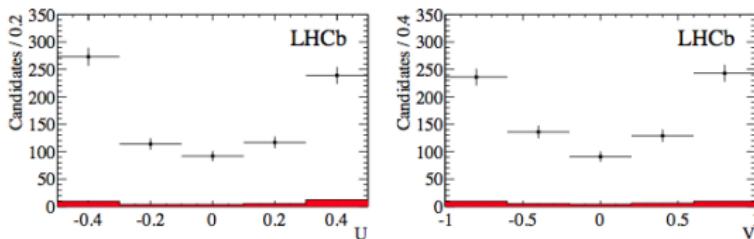
- triple products asymmetry probe CPV:

$$A_U = \frac{N^{U>0} - N^{U<0}}{N^{U>0} + N^{U<0}} \quad U = \sin(2\Phi)/2$$

$$A_V = \frac{N^{V>0} - N^{V<0}}{N^{V>0} + N^{V<0}} \quad V = \pm \sin \Phi \text{ (depending on the sign of } \cos \theta_1 \cos \theta_2 \text{ )}$$

- previous measurement by CDF: Phys. Rev. Lett. 107 (2011) 261802
  - $A_U = -0.007 \pm 0.064 \pm 0.018 \quad A_V = -0.120 \pm 0.064 \pm 0.016$

Phys. Lett. B 713 (2012) 369-377



$$A_U = -0.055 \pm 0.036 \pm 0.018 \quad A_V = 0.010 \pm 0.036 \pm 0.018$$

consistent with the hypothesis of CP conservation

---

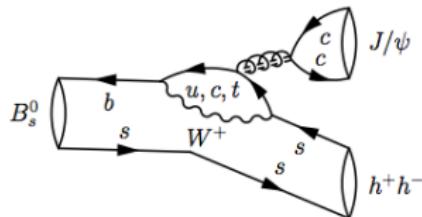
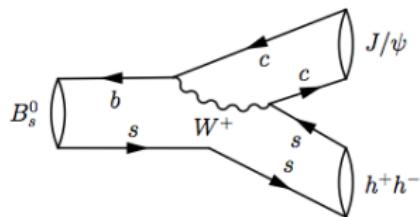
<sup>a</sup>angles defined in the helicity frame

## Sistematiche nella misura di LHCb $a_{sl}^s$

Source	$\delta a_{sl}$ (%)
Signal model in $D_s$ mass fit	0.12
Background from other b hadrons	0.10
Kinematic difference between $\pi$ and $\mu$	0.12
Kaon asymmetries	0.04
Varying run conditions between field-up and field-down	0.02
Muon corrections	0.10
Muon related software trigger biases	0.10
Statistical uncertainty on efficiency ratios	0.20
<b>Total</b>	<b>0.33</b>

# Contributi di processi a pinguino nelle transizioni $b \rightarrow c\bar{c}s$

Nel modello standard, il decadimento  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  è dominato da una singola fase debole  $V_{cs} V_{cb}^*$   
 Diagramma ad albero      Diagramma Pinguino



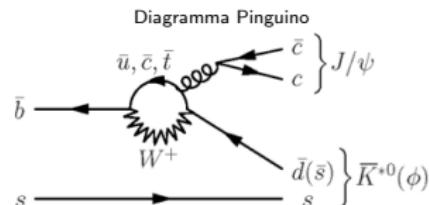
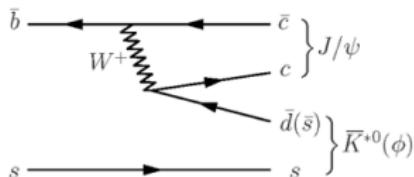
$$\begin{aligned}
 A(\bar{b} \rightarrow \bar{c}c\bar{s}) &= V_{cs} V_{cb}^*(A_T + P_c) + V_{us} V_{ub}^* P_u + V_{ts} V_{tb}^* P_t \\
 &= V_{cs} V_{cb}^*(A_T + P_c - P_t) + V_{us} V_{ub}^*(P_u - P_t) \\
 &\sim A\lambda^2(1 - \lambda^2/2)(A_T + P_c - P_t) + A\lambda^4(\rho + i\eta)(P_u - P_t)
 \end{aligned}$$

I contributi pinguino sono soppressi di un fattore  $\lambda^2$  ( $\sim 5\%$ ) rispetto quelli ad albero

# Contributi di processi a pinguino nelle transizioni $b \rightarrow c\bar{c}s$

Il decadimento  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}$  invece i due tipi di diagrammi contribuiscono con lo stesso peso  
 $(b \rightarrow c\bar{c}d, \text{U-spin } s \rightarrow d)$

Diagramma ad albero



$$\begin{aligned} A(\bar{b} \rightarrow \bar{c}c\bar{d}) &= V_{cd} V_{cb}^*(A_T + P_c) + V_{ud} V_{ub}^* P_u + V_{td} V_{tb}^* P_t \\ &= V_{cd} V_{cb}^*(A_T + P_c - P_t) + V_{ud} V_{ub}^*(P_u - P_t) \\ &\sim A\lambda^3(A_T + P_c - P_t) + A\lambda^3(\rho - i\eta)(P_u - P_t) \end{aligned}$$

L'effetto dei contributi dei diagrammi pinguino richiede calcoli di QCD. Possibile valutazione attraverso la misura delle ampiezze di polarizzazione, analisi time dependent (+assunzioni SU(3))

S.Faller, R.Fleischer, T.Manner, PRD 79, 014005 (2009).

■ prime misure LHCb:  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, 0.37 \text{ fb}^{-1}$ , PRD 86, 071102 (2012)

■  $\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}) = (4.4^{+0.5}_{-0.4} \pm 0.8) \times 10^{-5}$

■  $f_L = 0.50 \pm 0.08 \pm 0.02, f_{||} = 0.19 \pm 0.09 \pm 0.02$

$114 \pm 11$  eventi di segnale  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}$

