



# Najnowsze wyniki fabryk B

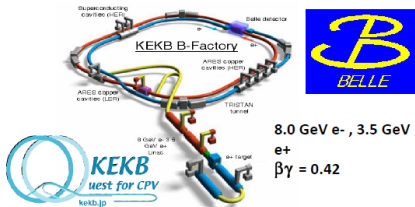
A. Bożek IFJ Kraków

Rozpady leptonowe i półleptonowe  $B$  na lepton  $\tau$

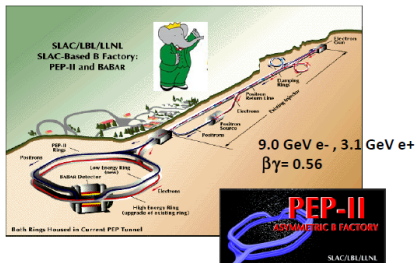
- 1 Fabryki B
- 2 Metodyka rekonstrukcji mezonów  $B$  z brakującą energią
- 3 Leptonowe rozpady  $B \rightarrow \tau \nu$
- 4 Półleptonowe rozpady  $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$

*Outline*

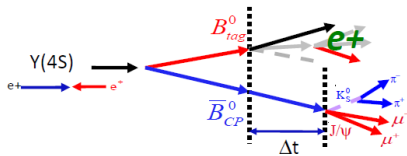
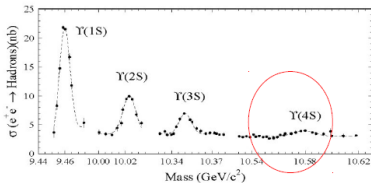
# Fabryki B: Belle i BABAR



8.0 GeV  $e^-$ , 3.5 GeV  $e^+$   
 $\beta\gamma = 0.42$

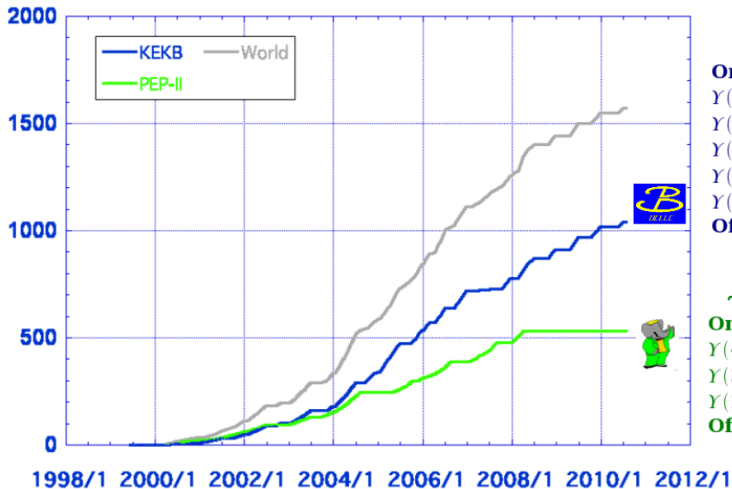


9.0 GeV  $e^-$ , 3.1 GeV  $e^+$   
 $\beta\gamma = 0.56$



# Zebrana światłość

(fb<sup>-1</sup>)



**> 1 ab<sup>-1</sup>**

**On resonance:**

Y(5S): 121 fb<sup>-1</sup>

Y(4S): 711 fb<sup>-1</sup>

Y(3S): 3 fb<sup>-1</sup>

Y(2S): 24 fb<sup>-1</sup>

Y(1S): 6 fb<sup>-1</sup>

**Off reson./scan:**

~ 100 fb<sup>-1</sup>

**~ 550 fb<sup>-1</sup>**

**On resonance:**

Y(4S): 433 fb<sup>-1</sup>

Y(3S): 30 fb<sup>-1</sup>

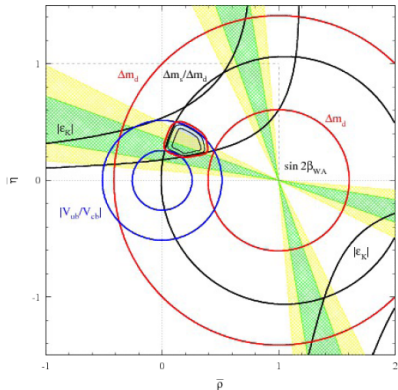
Y(2S): 14 fb<sup>-1</sup>

**Off resonance:**

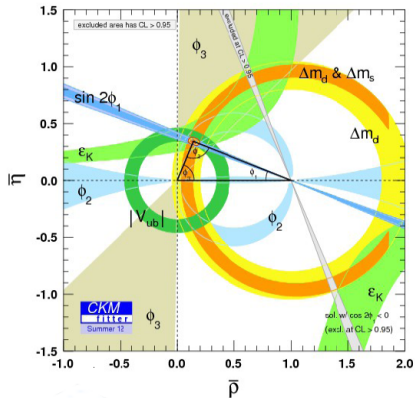
~ 54 fb<sup>-1</sup>

# Wynaczenie trójkąta unitarności

2001 May  
(few  $10 \text{ fb}^{-1}$  @ Belle&BaBar)

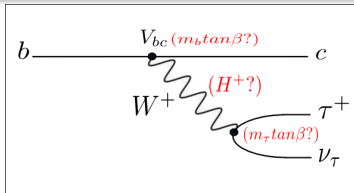
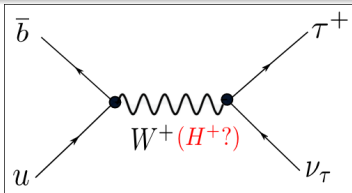


2012  
( $\sim 1000 \text{ fb}^{-1}$  @ Belle&BaBar)



# Motywacja fizyczna

- $B \rightarrow \tau\nu$  i  $B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu$  czułe na wymianę naładowanych bozonów skalarnych: **możliwe wpływy Nowej Fizyki na poziomie diagramów drzewowych**
- Rozpady z brakującą energią mierzalne tylko w fabrykach B
- nie obserwowane przed erą fabrykami B
  - Inkluzywny pomiar  $\mathcal{B}(B \rightarrow c\tau^+\nu_\tau) = (2.48 \pm 0.26)\%$  z LEP-u (PDG 2007)



## $B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu$ a $B \rightarrow \tau\nu$

- większa liczba obserwabli niż dla  $B \rightarrow \tau\nu$
- małe niepewności hadronowe (parę % w MS)
- obserwabli czułe na NF: **polaryzacje tau i  $D^*$ , rozkłady energii,  $q^2$**  – możliwe efekty rzędu  $\mathcal{O}(1)$
- Inne niepewności teoretyczne:
  - wolne od zależności  $f_B$  i  $|V_{ub}|$ , zależy od funkcji struktury  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}\tau^+\nu_\tau$
  - element  $|V_{cb}|$  (znany lepiej niż  $|V_{ub}|$ ) upraszcza się przy pomiarze stosunku  $R = \frac{\mathcal{B}(B \rightarrow D\tau\nu)}{\mathcal{B}(B \rightarrow Dl\nu)}$

$$B \rightarrow \bar{D}^{(*)} \tau^+ \nu_\tau$$

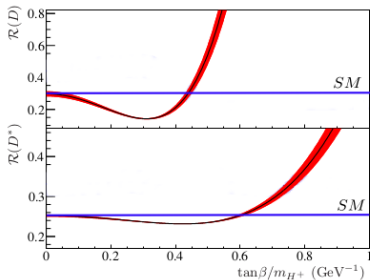
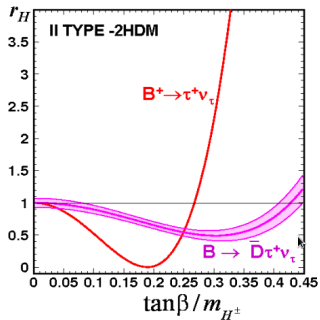
$$B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu \text{ a } B \rightarrow \tau \nu$$

- Teoretyczny opis rozpadów zawiera czynniki postaci, z których jeden można zmierzyć w rozpadach  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)} \ell^+ \nu_\ell$ . Część niepewności związanych z czynnikami postaci można wyeliminować badając względne stosunki rozgałęzień  $R$ .
- Wierzchołki  $Hbu$  oraz  $Hbc$  mierzone w tych rozpadach są komplementarne do pomiarów  $Htb$  na LHC
  - H - b - u mierzone w  $B \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$
  - H - b - c mierzone w  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)} \tau^+ \nu_\tau$
  - H - b - t bezpośrednia produkcja na LHC

Znaczny wzrost dokładności przewidywań w ramach przybliżenia ciężkiego kwarku(HQET)

$$R(D) = 0,305 \pm 0,012 \quad R(D^*) = 0,252 \pm 0,004$$

# Przewidywania częstości rozpadów w 2HDM-II



$$\mathcal{B} = \mathcal{B}|_{SM} \times r_H$$

$$r_H = \left(1 - \frac{m_B^2}{m_{H^\pm}^2} \tan^2 \beta\right)^2$$

$$r_H = R/R_{SM} = 1 + 1.5 \text{Re}(C_{NP}^\tau) + 1.1 |C_{NP}^\tau|^2$$

$$C_{NP}^\tau = -\frac{m_b m_\tau}{m_{H^\pm}^2} \frac{\tan^2 \beta}{1 + \epsilon_0 \tan \beta}$$

$B \rightarrow \tau \nu$  i  $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$  komplementarne rozpady czułe na inne zakresy  $\tan\beta/m_{H^\pm}$

# Dlaczego 2HDM ?

2HDM – najprostsze rozszerzenie MS, efekty NF wprowadzone przez zwiększenie liczby pól skalarnych.

2HDM typu I - jeden dublet sprzęga się do górnych i dolnych kwarków, drugi w ogóle nie sprzęga się do kwarków.

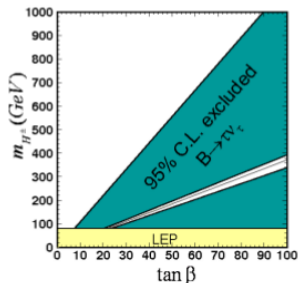
2HDM typu II - jeden dublet Higgsów sprzęga się do kwarków górnych, drugi do dolnych. Taka sama struktura sprzężeń dubletów skalarnych do fermionów jak w MSSM.

## Definicje

$$\tan\beta = \frac{v_1}{v_2}$$

$v_1, v_2$  - wartości oczekiwane próżni dla dwóch dubletów Higgsów

$$C_H = -\frac{m_b m_\tau \tan^2\beta}{m_{H^\pm}^2} \quad (2HDM - II)$$

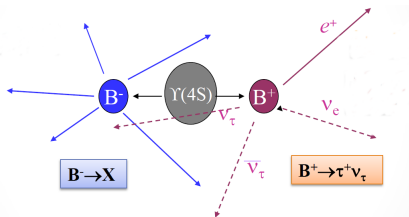




# Rekonstrukcja strony znakującej

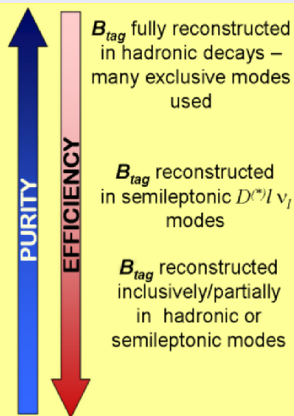
Analiza rozpadów  $B \rightarrow \ell\nu$  i  $B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu$

Możliwe tylko na fabrykach B



- Rekonstrukcja  $B_{tag}$  dostarcza kinematycznych więzów na czteropęd  $B_{sig}(B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu)$ :  $\vec{p}_{sig} = -\vec{p}_{tag} \Rightarrow p_B$
- Redukcja tła kombinatorycznego i continuum ( $q\bar{q}$ ,  $q = u, d, s, c$ )

## Rekonstrukcja $B_{tag}$



⇒ rozdzielczość pędu  $B_{tag}$   
Najnowsze wyniki z fabryk B

# Rekonstrukcja strony znakującej

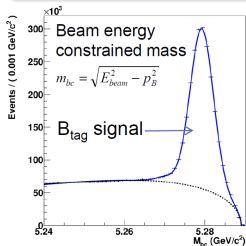
## Znakowanie Hadronowe

Ekсклюzywne znakowanie

- Pełna rekonstrukcja strony znakującej ( $B_{tag} \rightarrow DX$ )
- wydajność  $\approx 0,2\%$
- niski poziom tła.

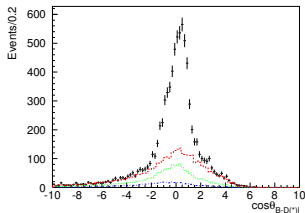
Alternatywnie, mezon  $B_{tag}$  może być rekonstruowany inkluzywnie z wszystkich cząstek, które pozostały po znalezieniu kandydata na poszukiwany rozpad  $B_{sig}$ .

- Wyższa wydajność,
- ograniczone jest do procesów, gdzie strona sygnałowa ma dobrze zdefiniowany stan końcowy.



## Znakowanie rozpadem półleptonowym

- rekonstrukcja rozpadu  $B_{tag} \rightarrow D^{(*)} \ell \nu$ 
  - $E_B = E_{beam}$
  - masa brakująca  $\approx 0$  (jedno  $\nu$ )
- wydajność
- wysoki poziom tła



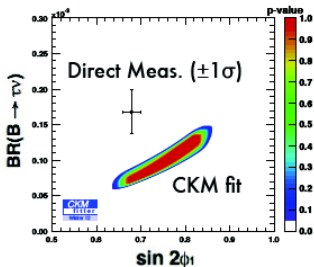
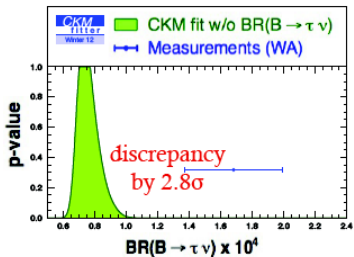
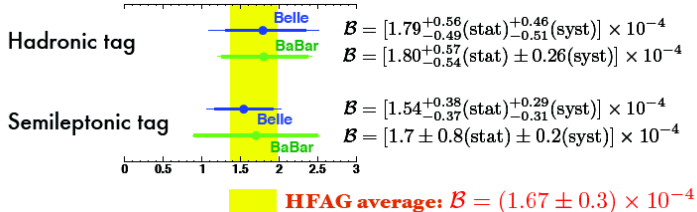
$$\cos \theta_{B,D^{*}l} = \frac{2E_B^* E_{D^{*}l}^* - m_B^2 - m_{D^{*}l}^2}{2|\vec{p}_B^*||\vec{p}_{D^{*}l}^*|}$$

$$B \rightarrow \tau \nu$$

Kanał  $B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ , dzięki dużej masie leptonu  $\tau$ , charakteryzuje się dość dużym stosunkiem rozgałęzienia,  $\approx 10^{-4}$ , co sprawia iż jest on mierzalny już przy obecnie dostępnych statystykach.

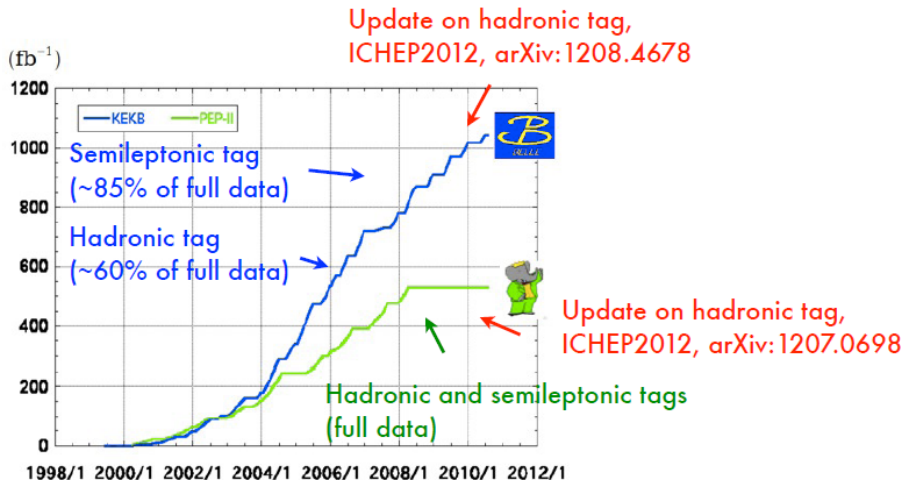
$$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau) = \frac{G_F^2}{8\pi} f_{B^+}^2 |V_{ub}|^2 \tau_{B^+} M_{B^+} m_\tau^2 \left(1 - \frac{m_\tau^2}{M_{B^+}^2}\right)^2. \quad (1)$$

# $B \rightarrow \tau\nu$ - wcześniejsze wyniki

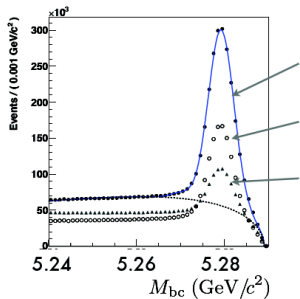


# $B \rightarrow \tau\nu$ - nowe wyniki 2012

Belle i *BABAR* przedstawiły nowe pomiary, oparte o pełną statystykę dla przypadków znakowanych hadronowo.

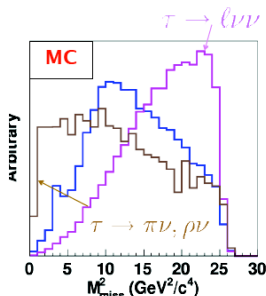
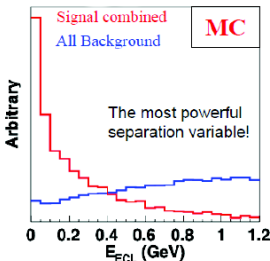
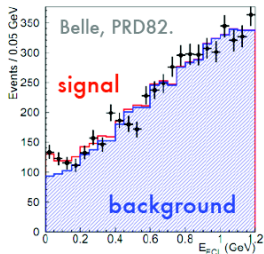


# $B \rightarrow \tau \nu$ - Belle

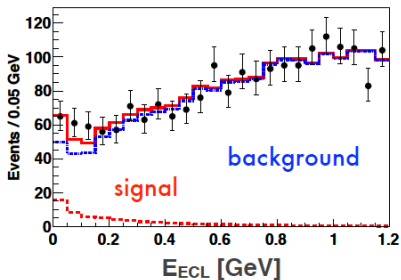


- nowe znakowanie na pełnej statystyce, wzrost statystyki  $\times 1,8$ .
- nowe znakowanie na starej próbce, poprawa wydajności znakowania  $\times 1,7$ .
- stare znakowanie.

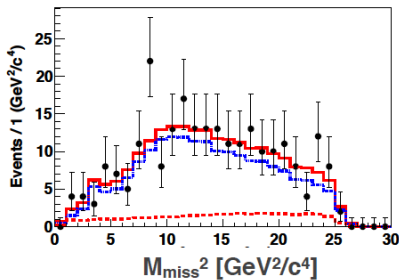
Trzykrotny wzrost znakowanej próbki



Wspólne dopasowanie różnych kanałów rozpadu leptonu  $\tau$   
 ( $\rightarrow e\nu_e\nu_\tau, \mu\nu_\mu\nu_\tau, \pi\nu_\tau, \rho\nu_\tau$ ).



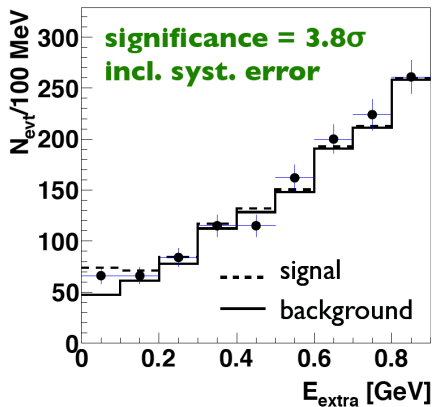
(Projection for all  $M_{miss}^2$  region.)



(Projection for  $E_{ECL} < 0.2$  GeV)

- sygnał  $62_{-22}^{+23} \pm 6$
- znaczącość  $3, 0\sigma$
- $B(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau) = (0, 72_{-0,25}^{+0,27} \pm 0, 11) \times 10^{-4}$

arXiv:1207.0698, submitted to PRD(RC)

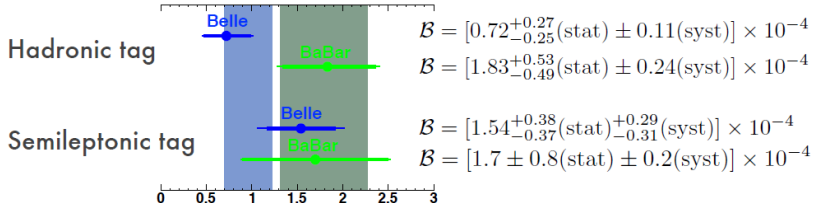


- Pełna statystyka  $468 \times 10^6$  przypadków  $B\bar{B}$
- Wspólne dopasowanie tych samych kanałów rozpadu  $\tau$  co Belle.
- Tylko  $E_{ECL} = (E_{extra})$ .

- sygnał  $62,1 \pm 17,3$
- znaczącość  $3,8\sigma$
- $B(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau) = (1,83^{+0,53}_{-0,49} \pm 0,24) \times 10^{-4}$



# $B \rightarrow \tau \nu$ - wyniki



Belle combined:  $\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau) = (0.96 \pm 0.26) \times 10^{-4}$

BaBar combined:  $\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau) = (1.79 \pm 0.48) \times 10^{-4}$

Wyniki Belle i *BABAR* są zgodne między sobą z dokładnością  $1,5\sigma$ .

# $B \rightarrow \tau\nu$ - wyniki

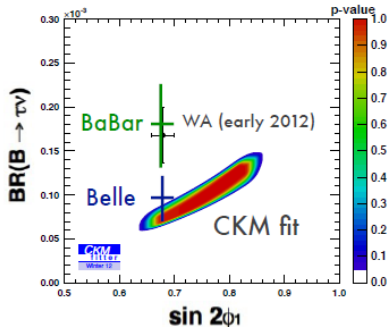
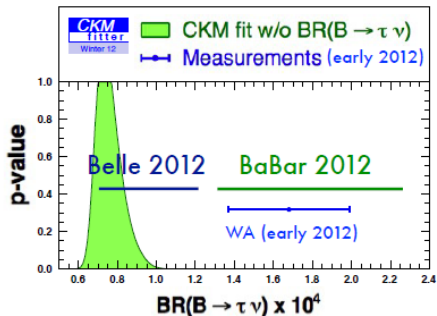
Eksperyment	znakowanie	$\mathcal{B}(B \rightarrow \tau\nu) \times 10^4$	znaczącość
Belle	hadronowe $B$	$0.82_{-0.25}^{+0.27} \pm 0.11$	3, 0
Belle	półleptonowe	$1,65_{-0.37-0.37}^{+0.38+0.35}$	3, 6
$BABAR$	hadronowe	$1,8_{-0.8}^{+0.9} \pm 0,4 \pm 0,2$	3, 8
$BABAR$	półleptonowe	$1,8 \pm 0,8 \pm 0,1$	2, 8
Średnia		$1,15 \pm 0,23$	

Porównanie wyników doświadczalnych z przewidywaniami modelu standardowego nie jest jednoznaczne. Przyjmując aktualną średnią dla  $|V_{ub}| = (4,15 \pm 0,49) \times 10^{-3}$ , oraz  $f_B = 186 \pm 4\text{MeV}$ , otrzymujemy stosunek rozgałęzienia  $\mathbf{B}(B^+ \rightarrow \tau^+\nu_\tau)_{SM} = 1,04 \pm 0,35$  który dobrze zgadza się ze średnią pomiarów.

Wynik ten jednak różni się od stosunku rozgałęzienia, wyznaczonego pośrednio na podstawie innych obserwacji oraz relacji unitarności macierzy  $CKM$ . Globalne dopasowanie trójkąta unitarności (z wyłączeniem bezpośrednich pomiarów  $B^+ \rightarrow \tau^+\nu_\tau$ ), daje stosunek rozgałęzienia

$\mathcal{B}(B^+ \rightarrow \tau^+\nu_\tau)_{CKM} = (0,763_{-0,061}^{+0,114}) \times 10^{-4}$ , który jest niższy od średniej eksperymentalnej o około  $1,6\sigma$ . Te rozbieżności są odzwierciedleniem problemów związanych z globalnym dopasowaniem **TU**.

# Porównanie wyników Belle i *BaBar* z innymi obserwablami



Żaden z eksperymentów nie zaobserwował dotychczas taonowych rozpadów  $B$  ze znaczącością powyżej  $5\sigma$  i dlatego obecne pomiary stosunku rozgałęzienia  $B(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau)$  mają wciąż wstępny charakter. Nie należy natomiast oczekiwać istotnego wkładu eksperymentu LHCb w tym obszarze, gdyż jednoznaczna identyfikacja rozpadu w oparciu o rejestrację pojedynczej cząstki, jest zbyt trudna w warunkach eksperymentu hadronowego.

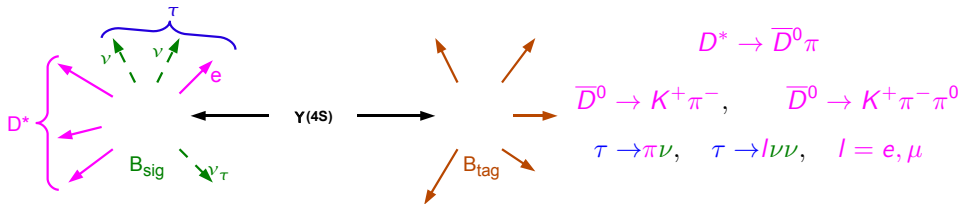
J. Charles, et al., Phys. Rev. D **84**, 033005, (2011), arXiv:1106.4041 [hep-ph].

$$B \rightarrow B\tau\nu$$

$$B \rightarrow B\tau\nu$$

# $B \rightarrow \bar{D}^{(*)} \tau^+ \nu_\tau$ przez inkluzywną rekonstrukcję $B_{\text{tag}}$

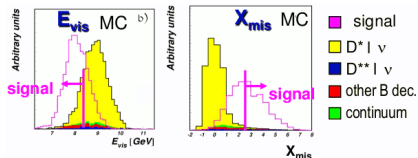
- $B_{\text{sig}}$  czysty sygnał np.  $D^{*-} e^+$
- rekonstrukcja inkluzywna  $B_{\text{tag}}$



## redukcja tła

- energia widoczna  $E_{\text{vis}}$
- $X_{\text{mis}} = \frac{E_{\text{mis}}^2 - |\vec{p}_{D^*} + \vec{p}_{l/\pi}|}{|\vec{p}_B|}$

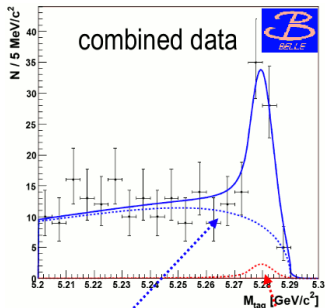
zmienna podobna do  $M_{\text{mis}}$  ale niezależna od  $M_{\text{tag}}$



$$B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau$$

Pierwsza obserwacja <sup>1</sup>

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau) = (2.02^{+0.40}_{-0.37}(\text{stat}) \pm 0.37(\text{syst}))\%$$



sygnał w 535M  $B\bar{B}$

$$N_S = 60^{+12}_{-11} \quad 6.7\sigma \quad (5.2\sigma)$$

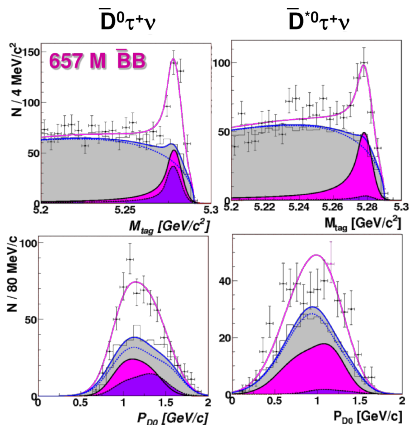
Dla dużych wartości  $X_{\text{mis}}$  większość źródeł tła ma kształt kombinatoryczny kiedy sygnał gromadzi się w  $B_{\text{tag}}$ .

combinatorial  
background

peaking  
background  
( $D^{*-}e\nu$ )

# Następny krok $B^+ \rightarrow \bar{D}^{(*)0} \tau^+ \nu_\tau$

- Wspólne dopasowanie  $B^+ \rightarrow \bar{D}^{*0} \tau^+ \nu_\tau$  i  $B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \tau^+ \nu_\tau$  uwzględniając tapreśluchy  $\bar{D}^{*0} \leftrightarrow \bar{D}^0$
- Sygnał dopasowany w dwu-wymiarowej przestrzeni  $M_{\text{tag}}$  i  $P_{D^0}$  (pęd  $D^0$  w układzie  $\Upsilon(4S)$ )
- Wspólne dopasowanie 13 kanałów rozpadu



$$N(\bar{D}^{*0} \tau^+ \nu_\tau) = 446_{-56}^{+58} \quad \mathbf{8.1\sigma}$$

$$BF(B^+ \rightarrow \bar{D}^{*0} \tau^+ \nu_\tau) = (2.12_{-0.27}^{+0.28} \pm 0.29) \times 10^{-2}$$

$$N(\bar{D}^0 \tau^+ \nu_\tau) = 146_{-41}^{+42} \quad \mathbf{3.5\sigma} \quad \text{first evidence}$$

$$BF(B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \tau^+ \nu_\tau) = (0.77_{-0.22}^{+0.22} \pm 0.12) \times 10^{-2}$$

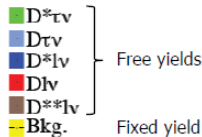
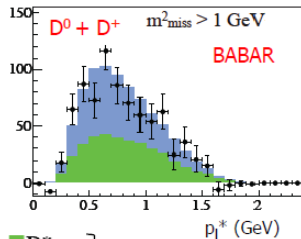
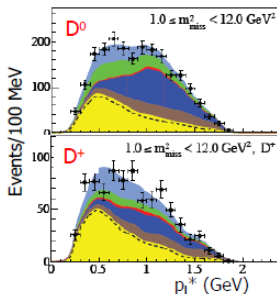
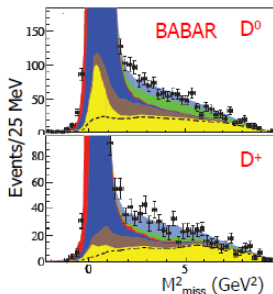
- signal combined
- $\bar{D}^{*0} \tau^+ \nu_\tau$
- $\bar{D}^0 \tau^+ \nu_\tau$
- background

arXiv:1005.2302  
submitted to PRL

	$D^0\tau\nu$	$D^+\tau\nu$	$D\tau\nu$
$N_{\text{sig}}$	$314 \pm 60$	$177 \pm 31$	$489 \pm 63$
Significance ( $\sigma$ )	5.5	6.1	8.4
$R(D)$	$0.429 \pm 0.082$	$0.469 \pm 0.084$	$0.440 \pm 0.058$

Isospin constrained

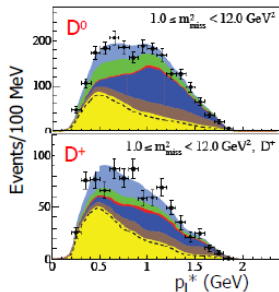
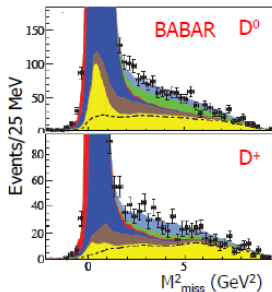
Statistical errors only



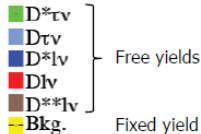
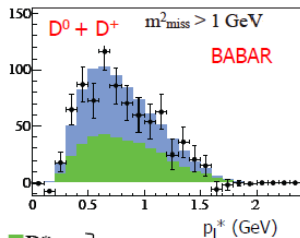


	$D^0\tau\nu$	$D^+\tau\nu$	$D\tau\nu$
$N_{\text{sig}}$	$314 \pm 60$	$177 \pm 31$	$489 \pm 63$
Significance ( $\sigma$ )	5.5	6.1	8.4
$R(D)$	$0.429 \pm 0.082$	$0.469 \pm 0.084$	$0.440 \pm 0.058$

Isospin constrained



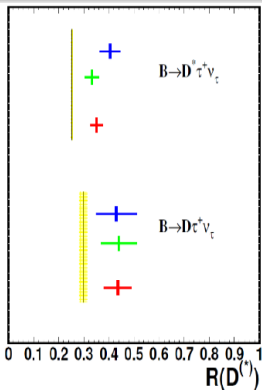
Statistical errors only



# $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$ wyniki

Pomiar	$B$ [%]	$R$	znaczącość
$B^+ \rightarrow \bar{D}^{*0} \tau^+ \nu_\tau$			
Belle- inkl	$2, 12^{+0,28}_{-0,27} \pm 0, 29$	$0, 372^{+0,049}_{-0,047} \pm 0, 057(*)$	
Belle- ekskl	$2, 68^{+0,63}_{-0,57} \begin{smallmatrix} +0,34 \\ -0,40 \end{smallmatrix} \pm 0, 09(*)$	$0, 47^{+0,11}_{-0,10} \begin{smallmatrix} +0,06 \\ -0,07 \end{smallmatrix}$	
Średnia Belle	$2, 24 \pm 0, 29 \pm 0, 15$	$0, 393 \pm 0, 051 \pm 0, 027$	
<i>BABAR</i>	$1, 71 \pm 0, 17 \pm 0, 13$	$0, 322 \pm 0, 032 \pm 0, 022$	
Średnia Światowa	-	$0, 344 \pm 0, 036$	
$B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau$			
Belle- inkl	$2, 02^{+0,40}_{-0,37} \pm 0, 37$	$0, 408^{+0,081}_{-0,075} \pm 0, 077(*)$	
Belle- ekskl	$2, 38^{+0,69}_{-0,59} \begin{smallmatrix} +0,30 \\ -0,20 \end{smallmatrix} \pm 0, 05(*)$	$0, 48^{+0,14}_{-0,12} \begin{smallmatrix} +0,06 \\ -0,04 \end{smallmatrix}$	
Średnia Belle	$2, 24 \pm 0, 29 \pm 0, 15$	$0, 393 \pm 0, 051 \pm 0, 027$	
<i>BABAR</i>	$1, 74 \pm 0, 19 \pm 0, 12$	$0, 355 \pm 0, 039 \pm 0, 021$	
Średnia Światowa	-	$0, 372 \pm 0, 039$	
$B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \tau^+ \nu_\tau$			
Belle- inkl	$0, 77 \pm 0, 22 \pm 0, 12$	$0, 341^{+0,097}_{-0,097} \pm 0, 063(*)$	
Belle- ekskl	$1, 58^{+0,43}_{-0,41} \begin{smallmatrix} +0,25 \\ -0,20 \end{smallmatrix} \pm 0, 08(*)$	$0, 70^{+0,19}_{-0,18} \begin{smallmatrix} +0,11 \\ -0,09 \end{smallmatrix}$	
Średnia Belle	$0, 95 \pm 0, 21 \pm 0, 08$	$0, 420 \pm 0, 091 \pm 0, 034$	
<i>BABAR</i>	$0, 99 \pm 0, 19 \pm 0, 13$	$0, 429 \pm 0, 082 \pm 0, 052$	
Średnia Światowa	-	$0, 425 \pm 0, 069$	
$B^0 \rightarrow D^- \tau^+ \nu_\tau$			
Belle- ekskl	$1, 04^{+0,48}_{-0,41} \begin{smallmatrix} +0,13 \\ -0,11 \end{smallmatrix} \pm 0, 06$	$0, 48^{+0,22}_{-0,19} \begin{smallmatrix} +0,06 \\ -0,05 \end{smallmatrix} (*)$	
<i>BABAR</i>	$1, 01 \pm 0, 18 \pm 0, 12(*)$	$0, 469 \pm 0, 084 \pm 0, 053$	
Średnia Światowa	-	$0, 471 \pm 0, 090$	

# $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$ wyniki



**+** average



PRD 85, 094025 (2012)

## Odchylenie od przewidywań MS dla danych BABAR

- $R(\overline{D}^*)$   $2,7\sigma$
- $R(\overline{D})$   $2,0\sigma$
- $R(\overline{D}^{(*)})$   $3.4\sigma$

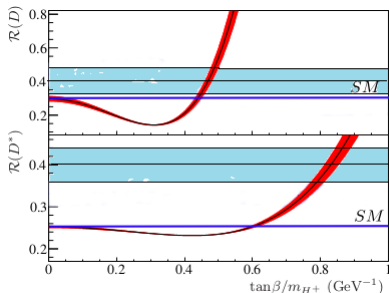
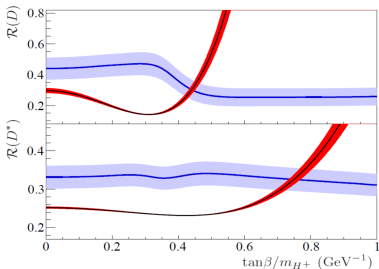
## Odchylenie od przewidywań MS dla danych Belle

- $R(\overline{D}^*)$   $2,99\sigma$
- $R(\overline{D})$   $1,43\sigma$
- $R(\overline{D}^{(*)})$   $3,32\sigma$

## Odchylenie od przewidywań MS

- $R(\overline{D}^*)$   $3,78\sigma$
- $R(\overline{D})$   $2,38\sigma$
- $R(\overline{D}^{(*)})$   $4,75\sigma$

# Jak można wytłumaczyć nadmiar przypadków ?



## BABAR

dane pasują dla parametrów 2DHM-II:

- $\tan \beta / m_H = 0,44 \pm 0,02$  dla  $R(D)$
- $\tan \beta / m_H = 0,75 \pm 0,04$  dla  $R(D^*)$

Wyklucza model z prawdopodobieństwem  $> 99,8\%$ .

## Belle

Niestety nie policzyliśmy wydajności w funkcji  $\tan \beta / m_H$ .

Porównanie rysunków pokazuje, że każdy z kanałów - interpretowany w ramach 2HDMII - preferuje inny zakres  $\tan \beta / m_{H^+}$ . Najbardziej problematyczne jest silne wzmocnienie przejść  $B \rightarrow \bar{D}^* \tau^+ \nu_\tau$ , które wymaga bardzo dużych wartości  $\tan \beta / m_{H^+}$ .  $\rightarrow$  wykluczenie 2HDM-II (?)

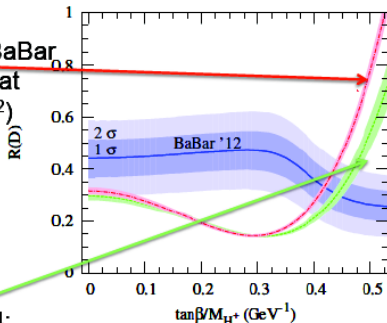
# Perspektywy pomiarów $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$

Obserwowany wzrost rozbieżności pomiędzy pomiarami i przewidywaniami dla  $R_{D^{(*)}}$  wynika nie tylko z poprawy dokładności wyników doświadczalnych, lecz jest także związany ze znacznym zmniejszeniem niepewności teoretycznych. Z drugiej strony, porównanie różnych obliczeń pokazuje, że niepewności te mogą być niedoszacowane.

$$R(D)_{BaBar} = 0.440 \pm 0.058 \pm 0.042 \quad R(D)_{lat} = 0.316(12)(7)$$

Tension SM – experiment decreases!

In 1206.4992 authors reexamined BaBar constraints on 2HDMII and found that ratio  $R(D)$  is highly sensitive on  $f_0(q^2)$



Kamenik & Mescia, 0802.3790;  
S.F., Kamenik & Nisandzic, 1203.2654;

# Perspektywy pomiarów $B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu$

Jedną z najczulszych obserwabli jest polaryzacja leptonu  $\tau$ , którą można wyznaczyć na podstawie rozkładu kąтового hadronu, produkowanego w półleptonowych rozpadach  $\tau^+ \rightarrow h^+\bar{\nu}_\tau$ ,  $h = \pi, \rho, a_1$

Rozpady  $B \rightarrow \bar{D}^*\tau^+\nu_\tau$  dostarczają dodatkowych obserwabli, związanych z rozkładem kątowym w rozpadzie  $\bar{D}^*$ . Pomiary polaryzacji  $\bar{D}^*$ , które nabierają szczególnego znaczenia w świetle obserwowanych wyników dla  $R_{D^*}$ , są technicznie dość proste w warunkach fabryk B i ograniczone głównie przez statystykę.

Pomiary stosunków rozgałęzień w danych Belle nie są ostateczne, gdyż nie wykorzystują pełnej statystyki. Końcowe wyniki spodziewane są w najbliższym roku. Z oszacowań wynika, że uzyskane próbki, poza zmniejszeniem niepewności pomiaru  $R_{D^{(*)}}$ , pozwolą także zmierzyć polaryzację  $\bar{D}^*$ . Statystycznie znaczące pomiary polaryzacji  $\tau^+$  będą dopiero możliwe w eksperymencie BelleII.

Analogiczne badania w zderzeniach hadronowych są niezwykle trudne. Rozważana jest możliwość poszukiwania półtaonowych rozpadów  $B$  w eksperymencie LHCb, wykorzystując rozpady  $\tau$  na trzy naładowane hadrony, w szczególności  $\tau^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-\bar{\nu}_\tau$ , gdzie rekonstrukcja wierzchołka rozpadu  $\tau$  mogłaby pomóc przy identyfikacji poszukiwanych przejść, jednak ilościowa ocena czułości takich pomiarów nie jest obecnie dostępna.

- Fabryki B dokonały ogromnego postępu w badaniach struktury TU.
- Precyzyjne pomiary pozwoliły ograniczyć modele NF w sposób bardzo znaczący
  - pomiar  $\sin 2\beta$  w przejściach  $b \rightarrow s$  jak i w  $b \rightarrow c$
  - $B \rightarrow X_s \gamma$
  - $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$
  - pomiar  $\sin 2\alpha$
- ciągle istnieją niezgodności ( $< 3\sigma$ ) i problemy np. (tylko w  $B$ ):
  - niezgodność pomiędzy pomiarami inkluzywnymi i ekskluzywnymi  $|V_{ub}|$  i  $|V_{cb}|$ ,
  - nowa fizyka w przejściach  $\Delta B = 2$  -  $\sin 2\beta$  z pomiarów wprost i wyznaczone z innych elementów TU,
  - Problem interpretacji asymetrii  $CP$  w rozpadach  $B \rightarrow hh$ - "K $\pi$  puzzle"  $\rightarrow$  potrzebny jest pomiar nie tylko asymetrii ale i polaryzacji tam gdzie to jest możliwe (tam gdzie  $h$  będzie cząstką wektorową lub tensorową)
  - taonowe i półtaonowe rozpady  $B$

## Perspektywy fizyki zapachu

Istnieje silna komplementarność pomiędzy LHCb i planowaną super fabryką B;

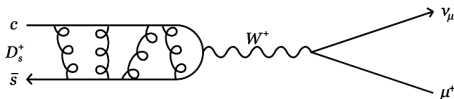
- LHCb -  $B_s$ ,  $\sin 2\alpha$ , asymetria  $CP$  i polaryzacja w rozpadach hadronowych  $B$





# Motivation: decay constants $f_{D_s}$ and $f_D$

## In Standard Model:



$$\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow \ell^+ \nu_\ell) = \frac{G_F^2}{8\pi} f_{D_s}^2 |V_{cs}|^2 \tau_{D_s} M_{D_s} m_\ell^2 \left(1 - \frac{m_\ell^2}{M_{D_s}^2}\right)^2$$

- Extract  $D_s$  decay constant,  $f_{D_s}$ , by measuring  $\mathcal{B}(D_s \rightarrow \ell \nu)$ 
  - to test lattice QCD calculations (needed in extraction of the SM parameters from measurements in  $B_{(s)}$  meson system)
  - Measurements of  $D^+$  and  $D_s^+$  decay constants provide the  $SU(3)$  flavor breaking ratio  $f_{D_s}/f_D$ 
    - To good approximation  $f_{B_s}/f_B = f_{D_s}/f_D$
  - sensitive to charged Higgs contribution, ...

A. G. Akeroyd, F. Mahmoudi and D. M. Santos, JHEP **1112**, 088 (2011) [arXiv:1108.3018 [hep-ph]].

A. G. Akeroyd and F. Mahmoudi, JHEP **0904**, 121 (2009) [arXiv:0902.2393 [hep-ph]].

# Current experimental/theoretical status

Table taken from J. L. Rosner and S. Stone, arXiv:1201.2401 [hep-ex].

Model	$f_{D_s^+}$ (MeV)	$f_{D^+}$ (MeV)	$f_{D_s^+}/f_{D^+}$
Experiment (our averages)	$260.0 \pm 5.4$	$206.7 \pm 8.9$	$1.26 \pm 0.06$
Lattice (HPQCD) [1]	$248.0 \pm 2.5$	$213 \pm 4$	$1.164 \pm 0.018$
Lattice (FNAL+MILC) [2]	$260.1 \pm 10.8$	$218.9 \pm 11.3$	$1.188 \pm 0.025$
PQL [3]	$244 \pm 8$	$197 \pm 9$	$1.24 \pm 0.03$
QCD sum rules [4]	$205 \pm 22$	$177 \pm 21$	$1.16 \pm 0.01 \pm 0.03$
QCD sum rules [5]	$245.3 \pm 15.7 \pm 4.5$	$206.2 \pm 7.3 \pm 5.1$	$1.193 \pm 0.025 \pm 0.007$
Field correlators [6]	$260 \pm 10$	$210 \pm 10$	$1.24 \pm 0.03$
Light front [7]	$268.3 \pm 19.1$	206 (fixed)	$1.30 \pm 0.04$

Experiment and HPQCD lattice calculation consistent at  $2\sigma$  level.

In past the discrepancy on  $f_{D_s}$  was above  $4\sigma$ .

$\hookrightarrow \mathcal{B}(D_s \rightarrow \ell\nu)$  WA75, E653, L3, ALEPH, OPAL, CLEO-II, BES-I, CLEO-c, Belle, BABAR

Previous Belle measurement ( $548 \text{ fb}^{-1}$ ) with  $D_s \rightarrow \mu\nu$  decays only:

$$f_{D_s} = 275 \pm 20 \text{ MeV [PRL100,241801(2008)]}$$

New preliminary results from Belle based on ( $919 \text{ fb}^{-1}$ ) and additionally  $\mathcal{B}(D_s \rightarrow \tau\nu)$  decays

Competitive measurement of  $f_{D_s}$  using final Belle data sample is possible.

$\hookrightarrow \mathcal{B}(D \rightarrow \ell\nu)$  MARK-III, BES-I, BES-II, CLEO-c

Preliminary result from BES-III

[1] PRD82,114504(2010); [2] arXiv:1112.3051; [3] JHEP0907,043(2009); [4] JHEP0511,014(2005); [5] PLB701,82(2011);

[6] PRD75,116001(2007); [7] PRD81,054022(2010)

G. Rong BES III presentation at CHARM2012

A.Zupanc Belle presentation at CHARM2010

# Belle $\mathcal{B}(D_s \rightarrow \ell\nu)$ : Reconstruction Method

- Recoil method in charm events

$$e^+e^- \rightarrow c\bar{c} \rightarrow \bar{D}_{\text{tag}} K X_{\text{frag}} D_s^{*+}$$

At B-factories  $\sqrt{s} = 10.58$  GeV therefore all charmed hadron pairs are possible and additional light mesons ( $X_{\text{frag}}$ ) can be produced in fragmentation process.

## 1 Inclusive reconstruction of $D_s$ mesons for normalization

- Reconstruct  $\bar{D}_{\text{tag}} K X_{\text{frag}}$  and  $\gamma$  from  $D_s^* \rightarrow D_s \gamma$  decay and identify  $D_s$  in missing mass spectrum (without any requirements upon  $D_s$  decay products)

$$M_{\text{miss}}^2(\bar{D}_{\text{tag}} K X_{\text{frag}} \gamma) = |p_{e^+e^-} - p_{D_{\text{tag}}} - p_K - p_{X_{\text{frag}}} - p_\gamma|^2$$

## 2 Within the inclusive $D_s$ sample search for $D_s \rightarrow f$ decays

- $D_s \rightarrow \mu\nu$ : peak at  $m_\nu^2 = 0$  in  $M_{\text{miss}}^2(D_{\text{tag}} K X_{\text{frag}} \gamma \mu)$
- $D_s \rightarrow \tau\nu$ : peak towards 0 in extra energy in calorimeter ( $E_{\text{ECL}}$ )

# Belle $\mathcal{B}(D_s \rightarrow \ell\nu)$ : inclusive $D_s$ sample

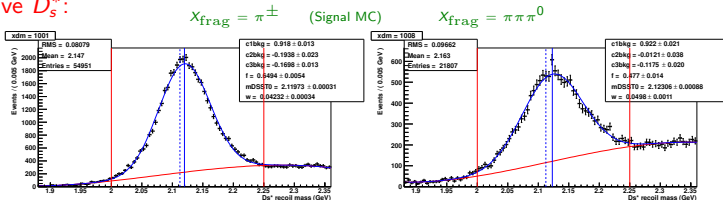
$$e^+e^- \rightarrow c\bar{c} \rightarrow \bar{D}_{\text{tag}} K X_{\text{frag}} D_s^{*+}$$

- Strangeness balancing kaon:  $K = K^\pm, K_S^0$
- If  $\bar{D}_{\text{tag}} = \Lambda_c^-$  additional  $p$  is required in the event

- Fragmentation system:

$$X_{\text{frag}} = \text{nothing}, \pi^\pm, \pi^0, \pi^\pm\pi^\pm, \pi^\pm\pi^0, \pi^\pm\pi^\pm\pi^\pm, \pi^\pm\pi^\pm\pi^0$$

- Inclusive  $D_s^*$ :



$$M_{\text{miss}}(D_{\text{tag}} K X_{\text{frag}}) = |p_{e^+e^-} - p_{D_{\text{tag}}} - p_K - p_{X_{\text{frag}}}|^2$$

- Select one  $D_s^*$  candidate with  $\min(|M_{\text{miss}} - m_{D_s^*}|)$  and  $2.0 < M_{\text{miss}}(D_{\text{tag}} K X_{\text{frag}}) < 2.25$  GeV

# Extraction of $f_{D_s}$

$$f_{D_s} = \frac{1}{G_F m_\ell \left(1 - \frac{m_\ell^2}{M_{D_s}^2}\right) |V_{cs}|} \sqrt{\frac{8\pi \mathcal{B}(D_s \rightarrow \ell \nu_\ell)}{M_{D_s} \tau_{D_s}}}$$

External inputs:

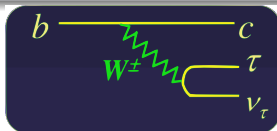
Quantity	Value
$M_{D_s}$	1.96847(33) GeV
$m_\tau$	1.77682(16) GeV
$m_\mu$	0.105658367(9) GeV
$\tau_{D_s}$	0.500(7) ps
$G_F$	$1.16637(1) \times 10^{-5}$ GeV $^{-2}$
$ V_{cs} $	0.97345(22)

Belle Preliminary (913 fb $^{-1}$ )

$D_s \rightarrow \ell \nu$	$f_{D_s}$ [MeV]
$\mu \nu$	$249.0 \pm 6.6(\text{stat.}) \pm 4.6(\text{syst.}) \pm 1.7(\tau_{D_s})$
$\tau \nu$	$261.9 \pm 4.9(\text{stat.}) \pm 7.0(\text{syst.}) \pm 1.8(\tau_{D_s})$
Combination	$255.0 \pm 4.2(\text{stat.}) \pm 4.7(\text{syst.}) \pm 1.8(\tau_{D_s})$

Compared to previous Belle measurement ( $\mathcal{L} = 548 \text{ fb}^{-1}$ ) total error reduced by factor of 3.  
Most precise  $f_{D_s}$  measurement at single experiment.

$$|V_{cs}| = |V_{ud}| - \frac{1}{2}|V_{cb}|^2, \quad |V_{ud}| \text{ - well measured, } |V_{cb}| \text{ - from semileptonic } D$$

półleptonowe rozpady  $B$ 

$$B \rightarrow D^{(*)}\tau\nu_\tau$$

- funkcje struktury nie mogą być zmierzone w rozpadach  $B$
- możliwe duże efekt na częstości rozpadu.
- Inne niepewności teoretyczne:
  - wolne od zależności  $f_B$  i  $|V_{ub}|$ , zależy od funkcji struktury  $B \rightarrow \bar{D}^{(*)}\tau^+\nu_\tau$
  - element  $|V_{cb}|$  (znany lepiej niż  $|V_{ub}|$ ) upraszcza się przy pomiarze stosunku
$$R = \frac{\mathcal{B}(B \rightarrow D\tau\nu)}{\mathcal{B}(B \rightarrow Dl\nu)}$$
- trudny eksperymentalnie
- nie obserwowany przed erą fabrykami B
  - Inkluzywny pomiar  $\mathcal{B}(B \rightarrow c\tau^+\nu_\tau) = (2.48 \pm 0.26)\%$  z LEP-u (PDG 2007)