

Fizyka B w dobie LHC

Czego (nie) dowiedzieliśmy się z fabryk B?

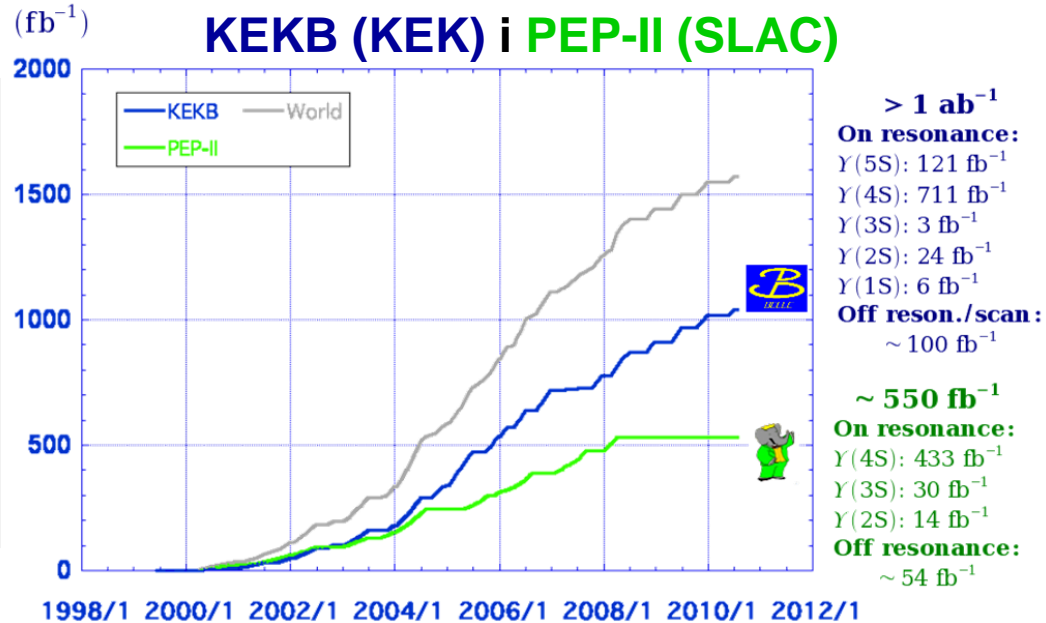
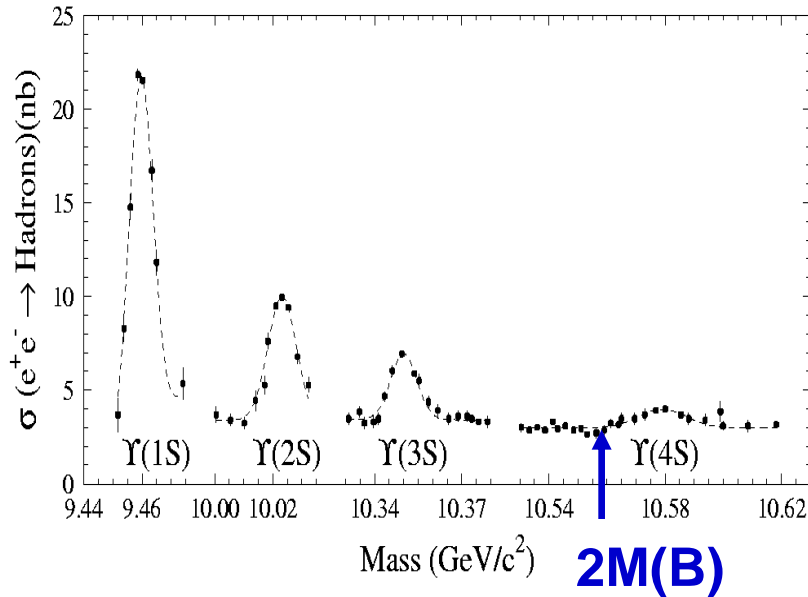
Dlaczego potrzebujemy super-fabryk B?

- program badawczy fabryk B
- podstawowe narzędzia analizy danych
- wybrane wyniki
 - pólleptonowe i leptonowe rozpady B
- podsumowanie

Fabryki B

Luminosity at B factories

KEKB (KEK) i PEP-II (SLAC)



$$e^+ e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow \bar{B}B, \quad B = B^+/B^0$$

Czyste źródło par $\bar{B}B$, produkowanych
ekskluzywnie, bez dodatkowych cząstek

$$e^+ e^- \rightarrow \bar{q}q \quad (q=c,u,d,s)$$

$$e^+ e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$$

Eksperymenty BaBar (w 2008) i Belle (w
2010) zakończyły zbieranie danych.



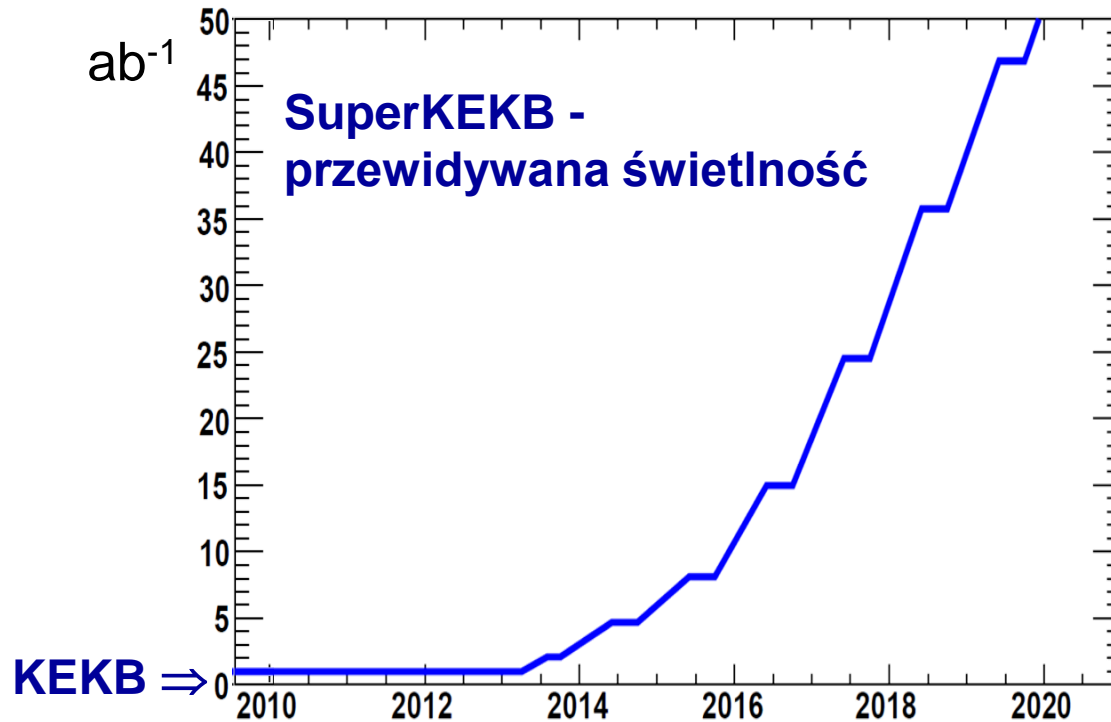
~770M $\bar{B}B$, ~14M B_s



~470M $\bar{B}B$

- końcowe analizy dla pełnych próbek i zoptymalizowanych kodów.
- wspólna publikacja końcowych wyników Belle i BaBar

SuperKEKB



Program fizyczny fabryk B

*także
program
LHCb*

- ✓ precyzyjne testy modelu standardowego, szczególnie w części dotyczącej mieszania kwarków i łamania symetrii CP;
- ✓ poszukiwanie efektów spoza MS w rozpadach mezonów pięknych i powabnych oraz leptonów τ ;
- ✓ spektroskopia powabu (i lekkich kwarków);

Macierz CKM – parametryzacja Wolfensteina

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1-\lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho-i\eta) \\ -\lambda & 1-\lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1-\rho-i\eta) & -A\lambda^2/2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\lambda = 0.220 \pm 0.002 \text{ (kąt Cabibba)}$$

$$A = 0.81 \pm 0.08$$

$$|\rho-i\eta| = 0.36 \pm 0.09$$

$$|1-\rho-i\eta| = 0.79 \pm 0.1$$

Własności kwarku b

własności kwarku b	masa	4.2 GeV
	czas życia	1.5 ps

- ⇒ mamy wydajne źródła kwarków b
- ⇒ wiele ciekawych rozpadów
- ⇒ można badać charakterystyki czasowe

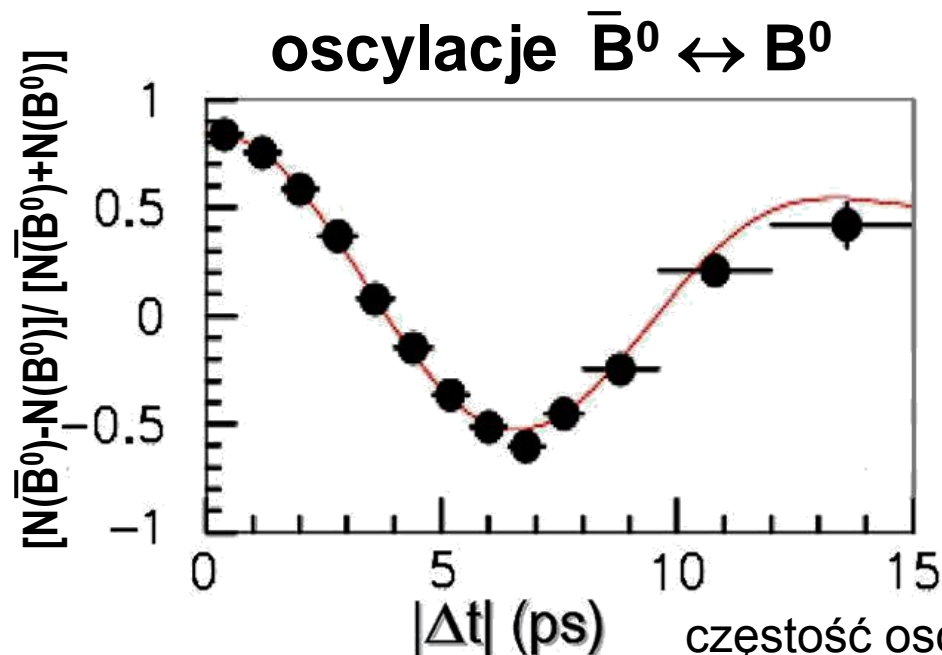
piękne mezony:

B^0 ($d\bar{b}$) \bar{B}^0 ($\bar{d}b$)

B^+ ($u\bar{b}$) B^- ($\bar{u}b$)

B_s ($s\bar{b}$) \bar{B}_s ($\bar{s}b$)

...



częstość oscylacji:
 $\Delta m_d = 0.507 \pm 0.005 \text{ ps}^{-1}$

- *dużo interesujących obserwacji;*
- *narzędzia teoretyczne lepsze niż dla lżejszych kwarków;*

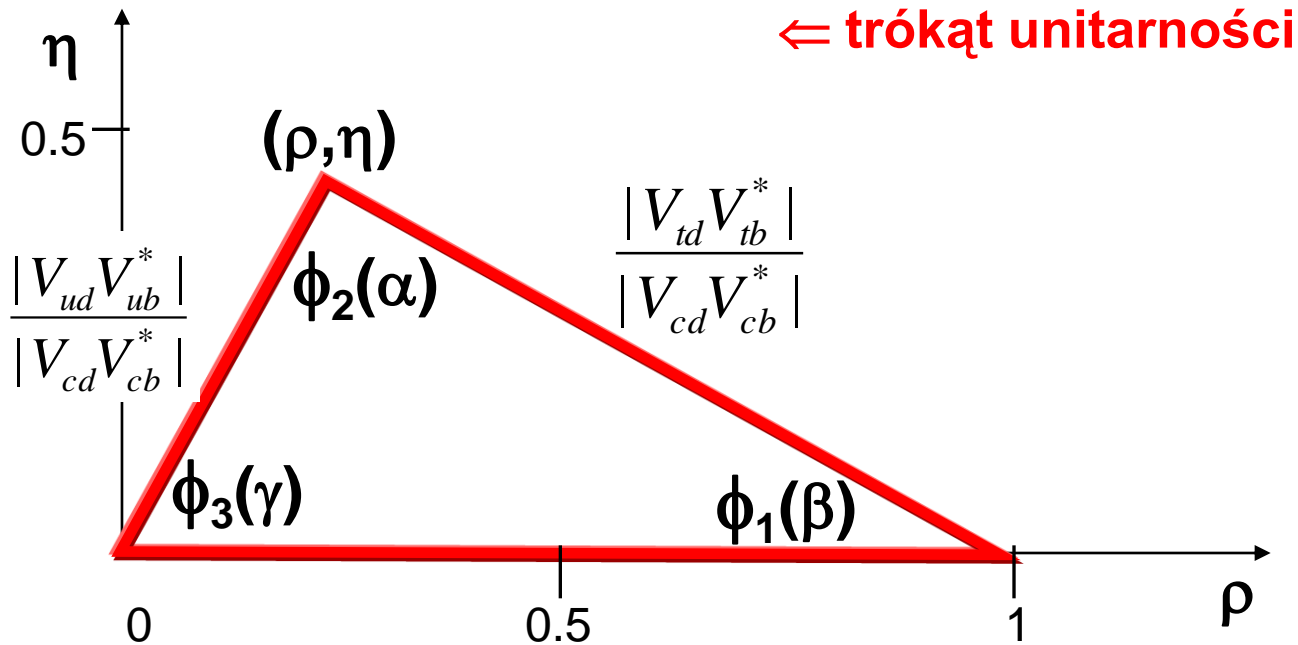
Program fizyczny fabryk B

- precyzyjne pomiary dla najdokładniejszych przewidywań MS

Relacje pomiędzy mierzonymi obserwablami dostarczają szczególnie czułych testów MS, stanowiąc dogodne miejsce do szukania efektów „nowej fizyki”.

unitarność macierzy CKM

$$V_{ud}^* V_{ub} + V_{cd}^* V_{cb} + V_{td}^* V_{tb} = 0$$



$\phi_1(\beta), \phi_2(\alpha), \phi_3(\gamma) \Rightarrow$ łamanie CP

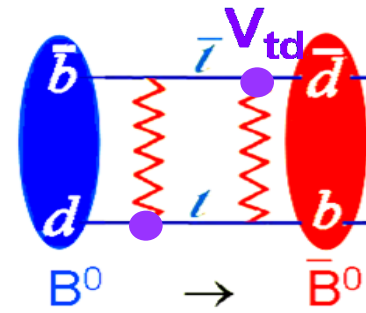
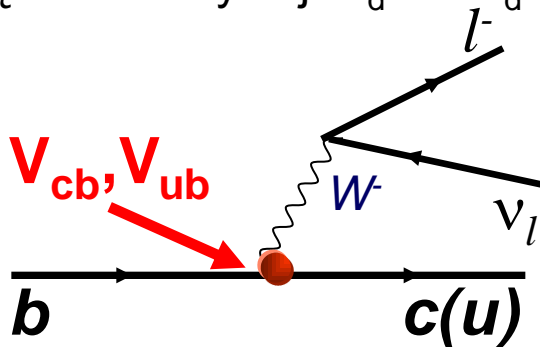
Program fizyczny fabryk B

• Nadokreślenie trójkąta unitarności

$|V_{cb}|$ - półleptonowe rozpady z kwarkowym przejściem $b \rightarrow cl\nu$

$|V_{ub}|$ - półleptonowe rozpady z kwarkowym przejściem $b \rightarrow ul\nu$

$|V_{td}|$ - częstość oscylacji $B_d \leftrightarrow \bar{B}_d$ ($B_s \leftrightarrow \bar{B}_s$)



$$B \rightarrow X_c l \nu_l, B \rightarrow D^{(*)} l \nu_l$$

$$B \rightarrow X_u l \nu_l, B \rightarrow \pi l \nu_l$$

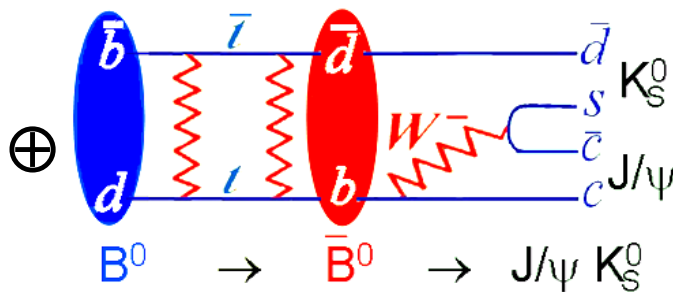
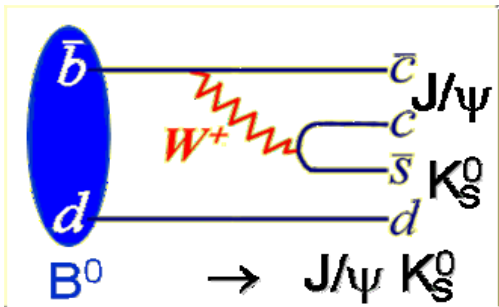
$$B^0 \rightarrow \bar{B}^0$$

ϕ_1 - asymetrie CP w $B \rightarrow J/\psi K_s$,

ϕ_2 - asymetrie CP w $B \rightarrow \pi^+ \pi^-, \rho \pi \dots$

ϕ_3 - asymetrie CP w $B \rightarrow D^{(*)} K^{(*)}$

łamanie CP wymaga nieredukowalnej fazy w lagranżjanie; w MS źródłem łamania CP jest faza w macierzy CKM (*mechanizm Kobayashiego-Maskawy*)



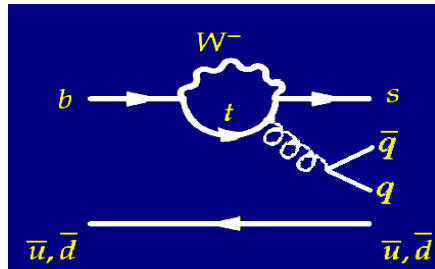
\Leftarrow pomiar fazy elementu V_{td}

$$V_{td} = |V_{td}| e^{-i\phi_1}$$

Program fizyczny fabryk B

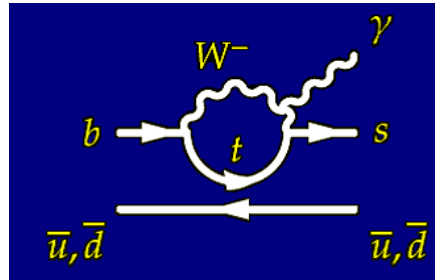
- badanie procesów tłumionych w MS, np.:

$$b \rightarrow s \bar{q} q$$



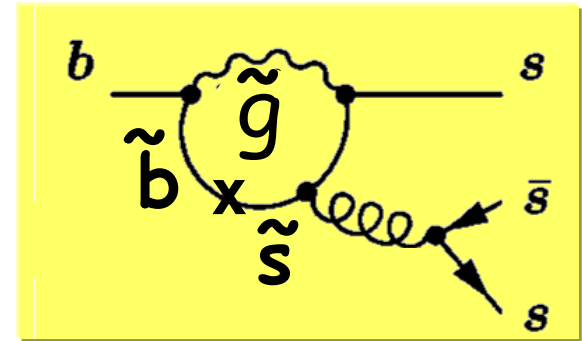
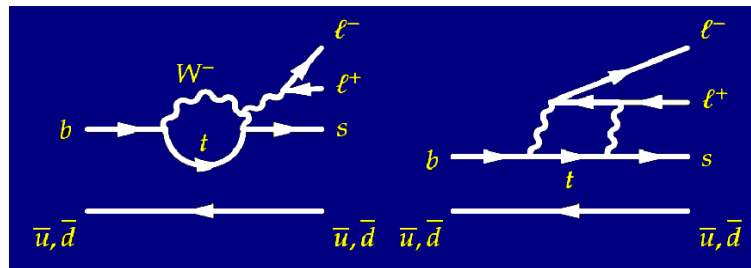
$$B^0 \rightarrow \phi K^0$$

$$b \rightarrow s \gamma$$



$$B^0 \rightarrow K^* \gamma$$

$$b \rightarrow s \ell^+ \ell^-$$



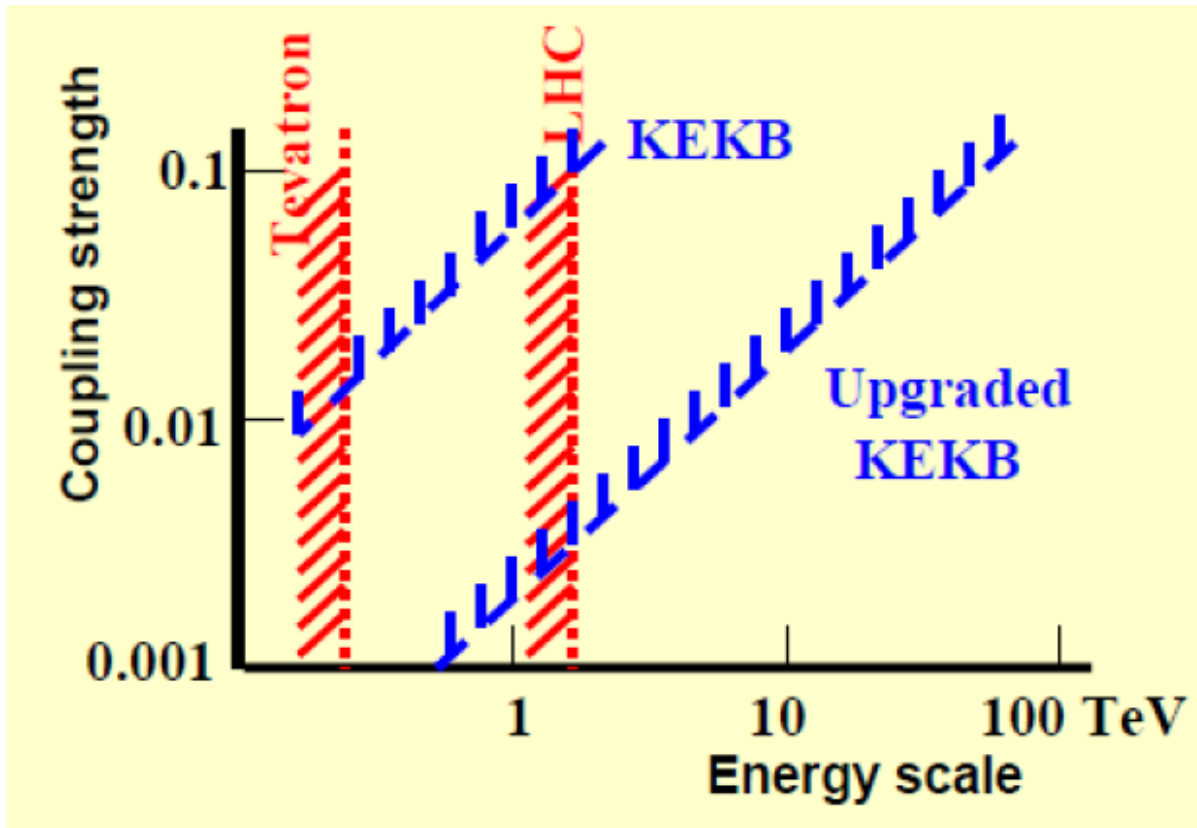
porównywalny wkład
amplitud „nowej fizyki” i MS

- poszukiwanie procesów wzbronionych w MS

niezachowanie liczby leptonowej w rozpadach naładowanych leptonów

„Nowa Fizyka” w LHC i fabrykach B

Jeżeli cząstki NF mogą być produkowane w LHC ($\sim O(1)\text{TeV}$) \Rightarrow obserwowalne efekty ($\sim 10\%$) w rozpadach B już przy obecnej czułości eksperymentów przy fabrykach B.



From M. Yamauchi , talk at MPI, Nov, 2008

Narzędzia analizy w fabrykach B

Pary $\bar{B}B$ produkowane są bez dodatkowych cząstek

\Rightarrow energia mezonów B znana z dokładnością, z jaką znamy energię zderzenia (~ 3 MeV)

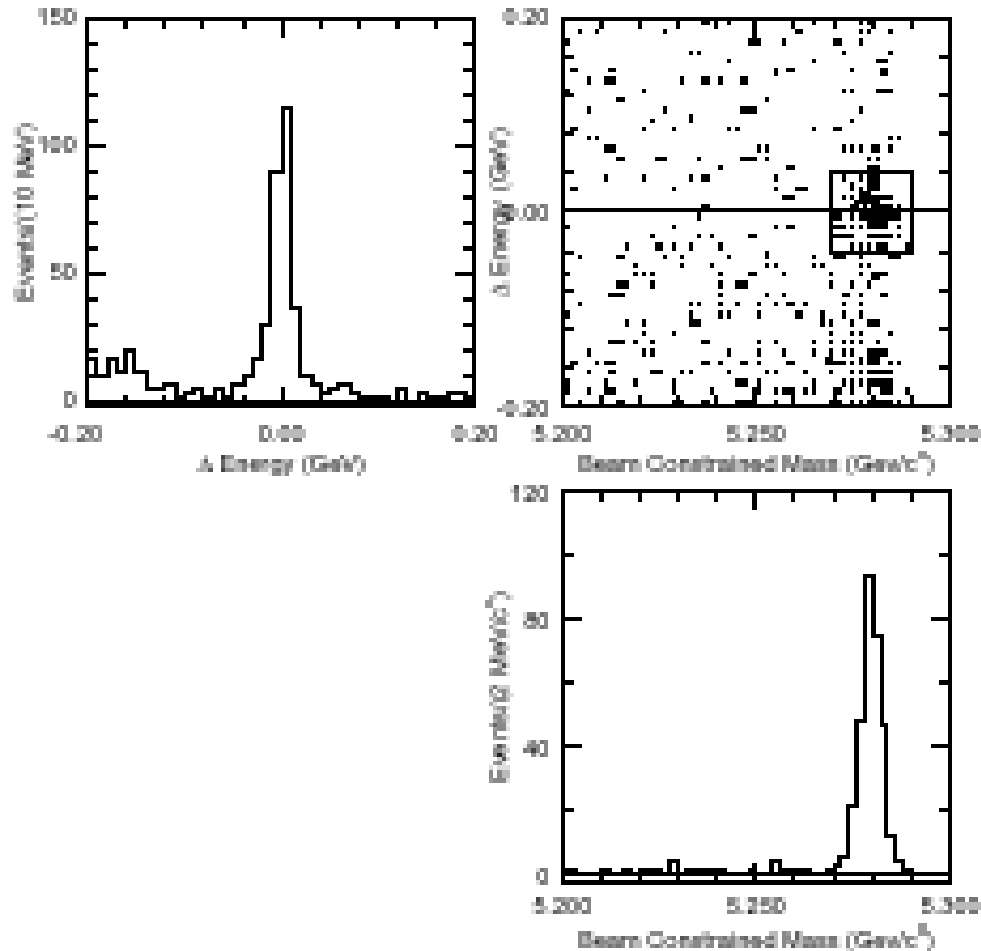
Gdy rejestrujemy wszystkie wtórne cząstki:

$$\Delta E \equiv E_B - E_{beam}$$

$$M_{bc} \equiv \sqrt{E_{beam}^2 - p_B^2}$$

$B \rightarrow D^{(*)}h, J/\psi K, K\pi, \pi\pi, \dots$

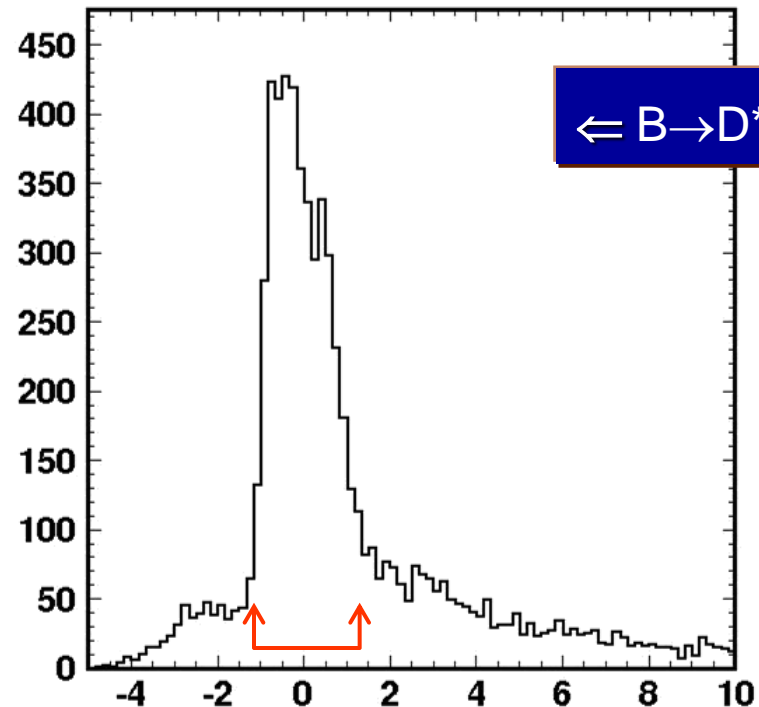
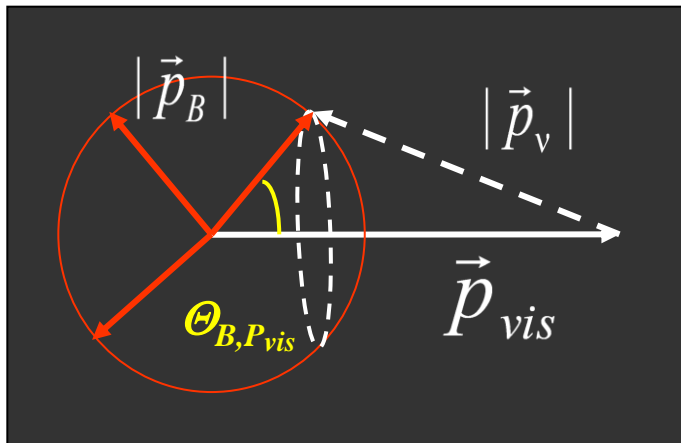
$K^{(*)}\gamma, K^{(*)}l+l^-\dots$



Narzędzia analizy w fabrykach B

*Gdy nie rejestrujemy pojedynczej cząstki o znanej masie,
np. neutrino w półleptonowych rozpadach typu $B \rightarrow hl \nu$*

$$E_B - E_{vis} = E_\nu = |\vec{p}_\nu|$$



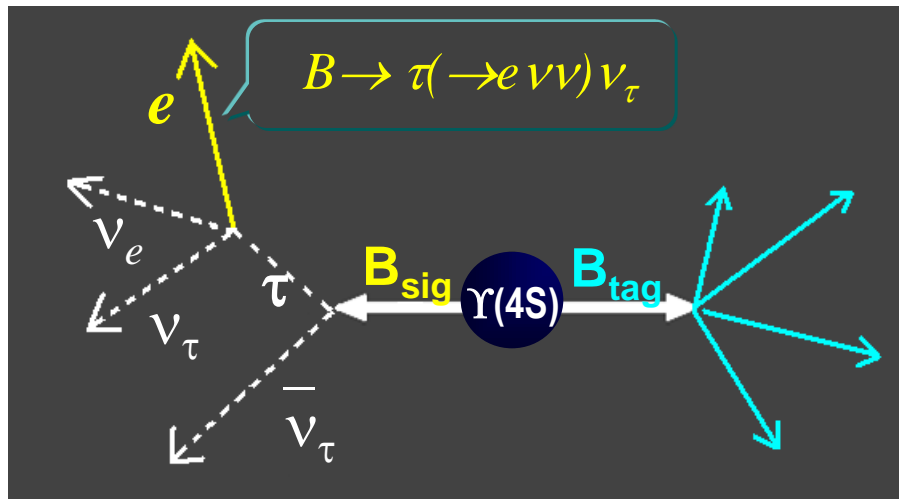
$$\cos \Theta_{B-vis} = \frac{2E_B E_{vis} - M_B^2 - M_{vis}^2}{2|p_B||p_{vis}|}$$

$$-1 \leq \cos \Theta_{B, \vec{p}_{vis}} \leq 1$$

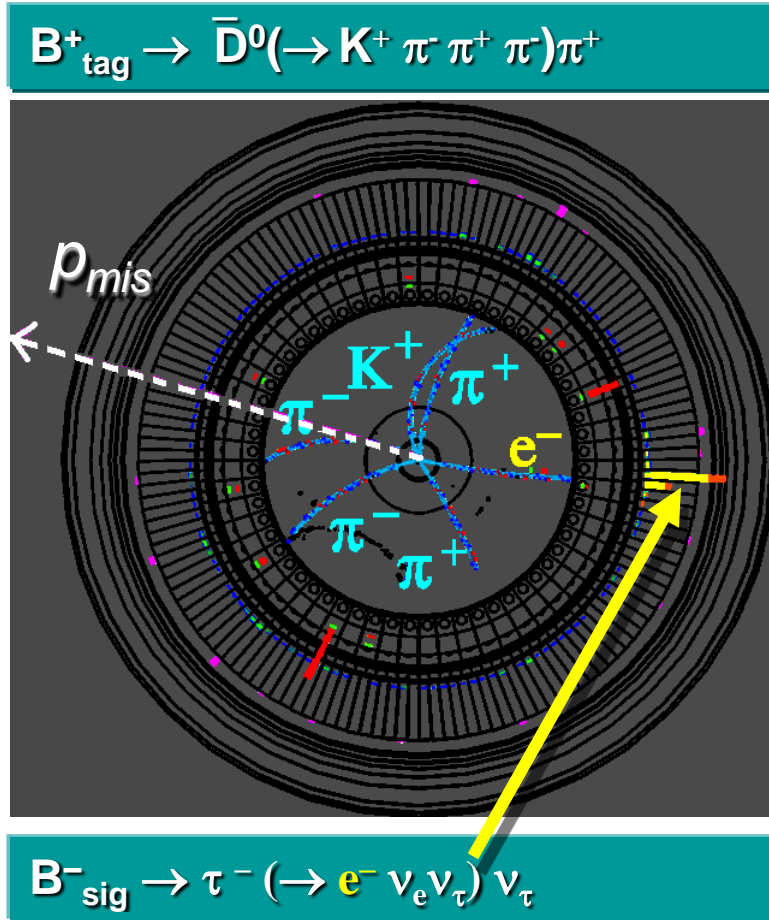
Narzędzia analizy w fabrykach B

Pełna lub częściowa rekonstrukcja drugiego B (B_{tag})
 \Rightarrow informacje na temat drugiego B (B_{sig})

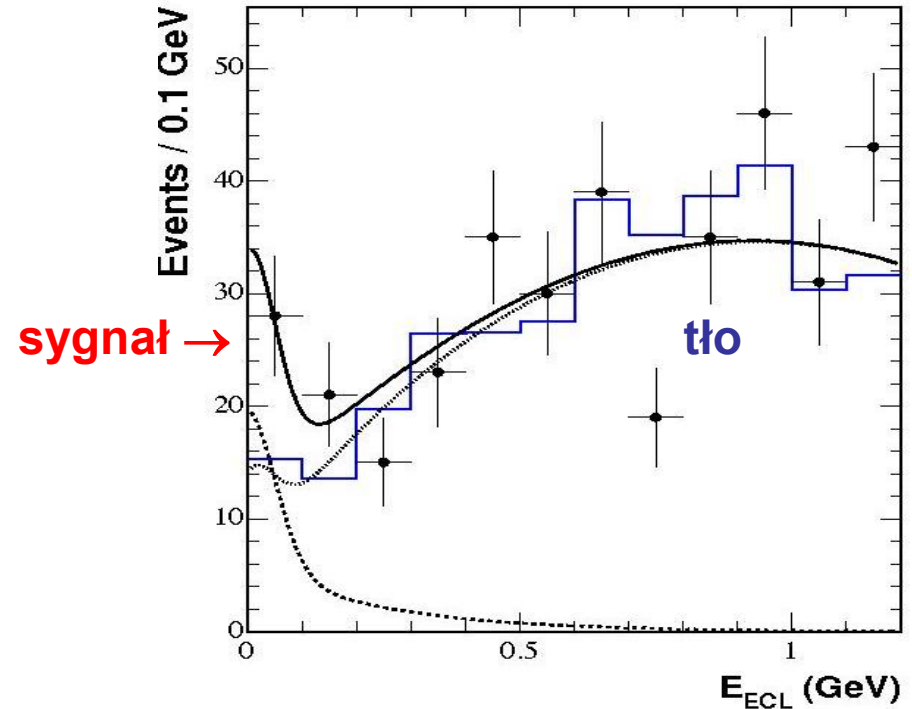
- znakowanie zapachu B_{sig} , np. $B_{\text{sig}} \rightarrow J/\psi K_S, \phi K_S, \pi^+ \pi^- \dots$;
- inkluzywne rozpady B_{sig} ;
- redukcja tła w rozpadach z dużym tłem od $e^+e^- \rightarrow \bar{q}q$;
- identyfikacja rozpadów B_{sig} do stanów końcowych z nieznaną masą brakującą, np. wieloneutrinowe rozpady $B_{\text{sig}} \rightarrow \tau \nu_\tau, D^{(*)} \tau \nu_\tau, K^{(*)} \nu \nu, K^{(*)} \tau^+ \tau^- \dots$



Identyfikacja rozpadów wieloneutrinowych



rozkład energii resztkowej
w detektorze



**pierwszy sygnał ($3,5\sigma$) rozpadu
 $B \rightarrow \tau \nu$**

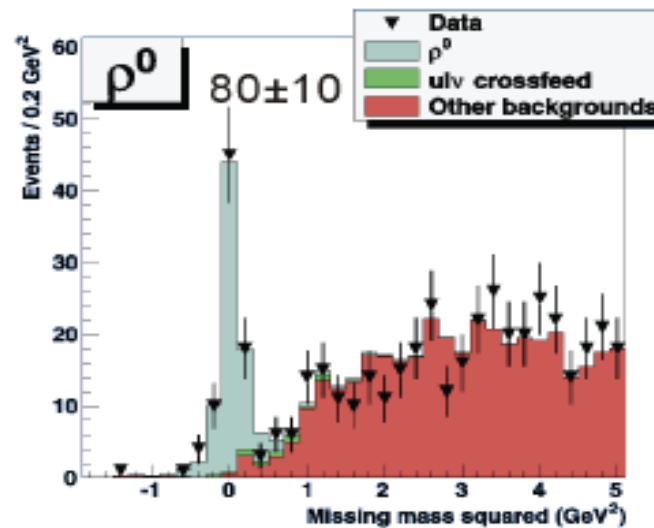
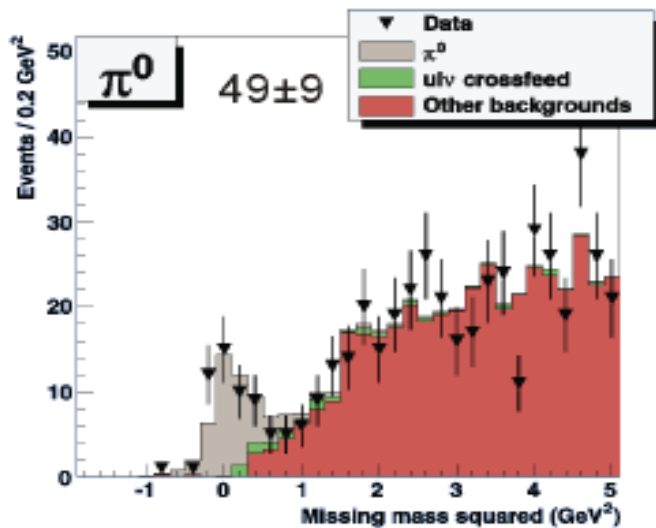
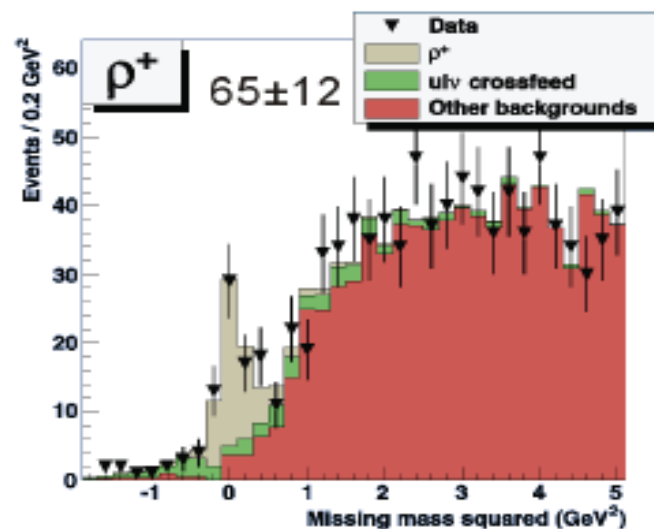
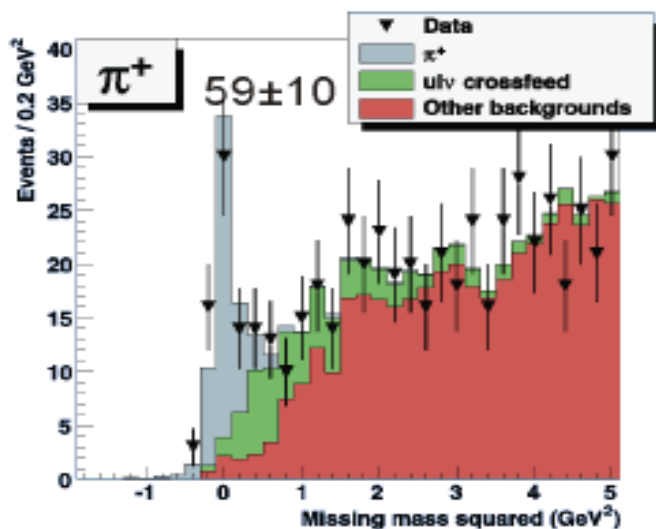
Belle Collab., PRL **97**, 251802 (2006)

Redukcja tła

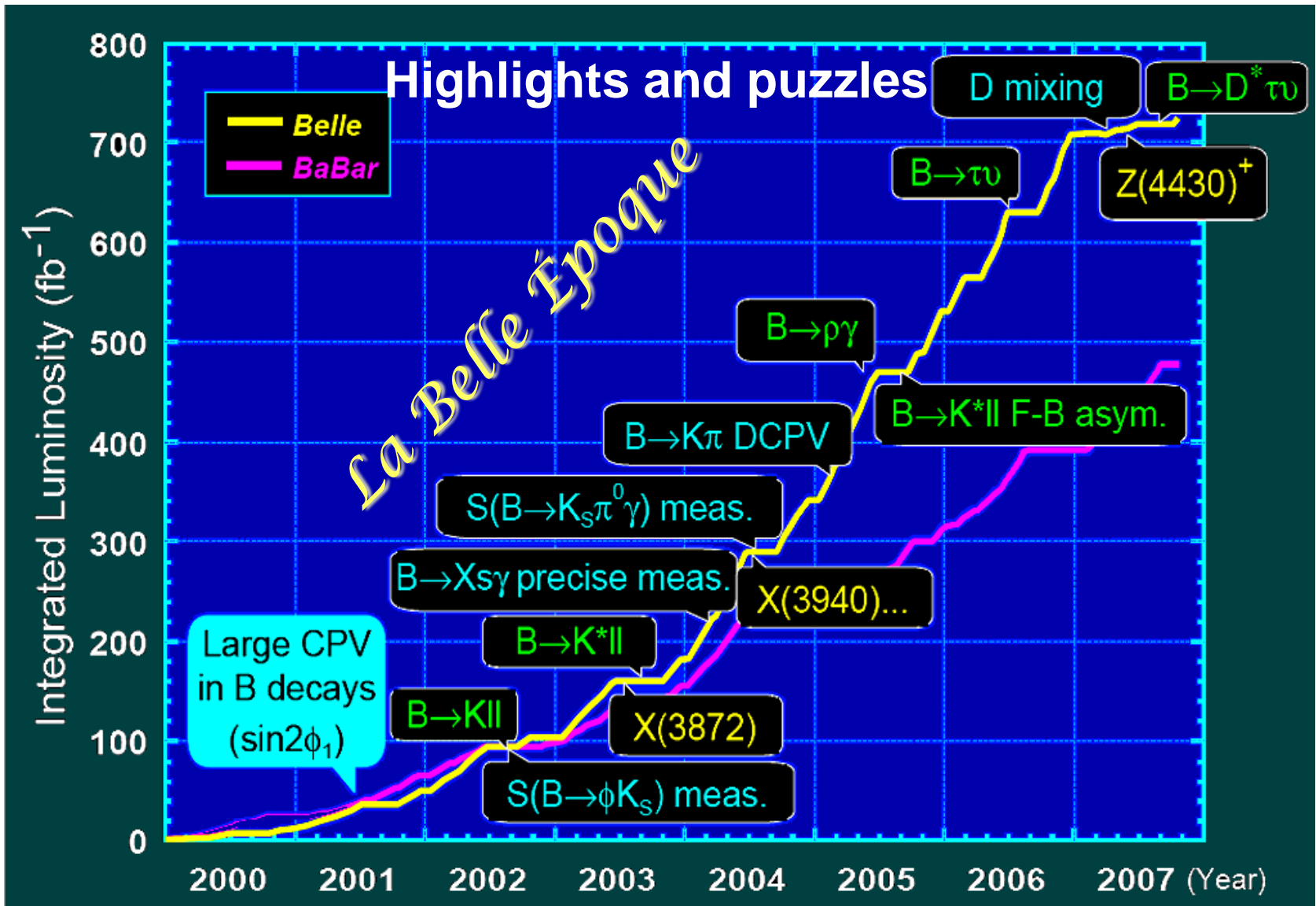
$$B_{sig} \rightarrow h l \nu, \quad h = \pi, \rho, \omega \dots$$



605 fb⁻¹

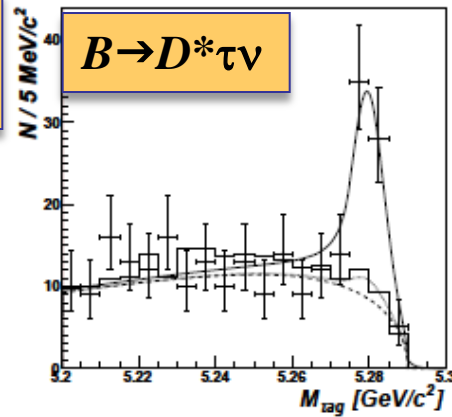
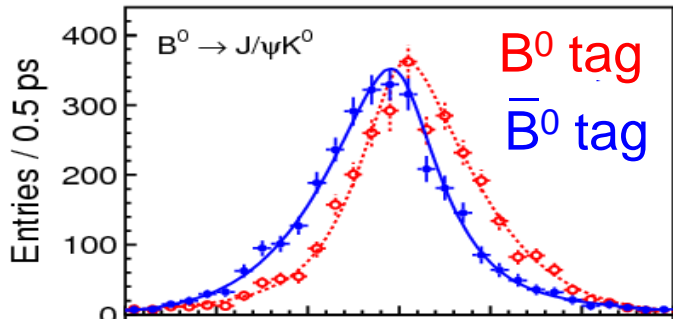


Wybrane wyniki

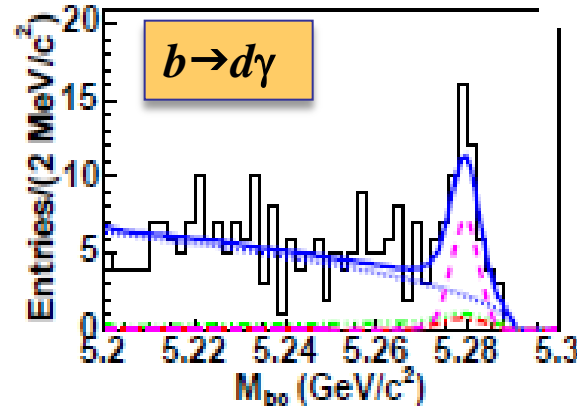
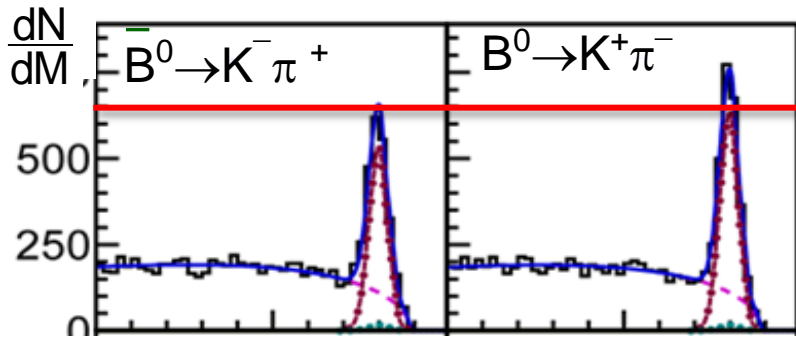
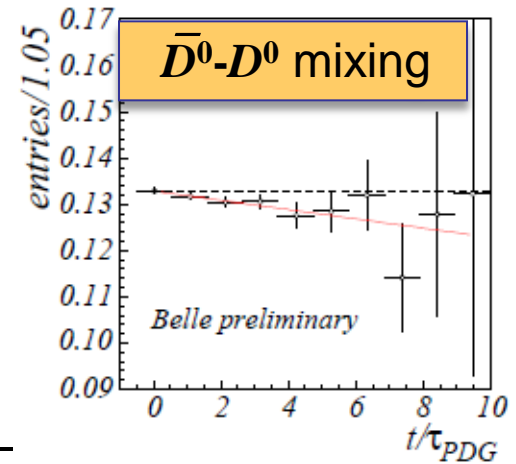


Wybrane wyniki

duże asymetrie CP i potwierdzenie mechanizmu Kobayashiego-Maskawy

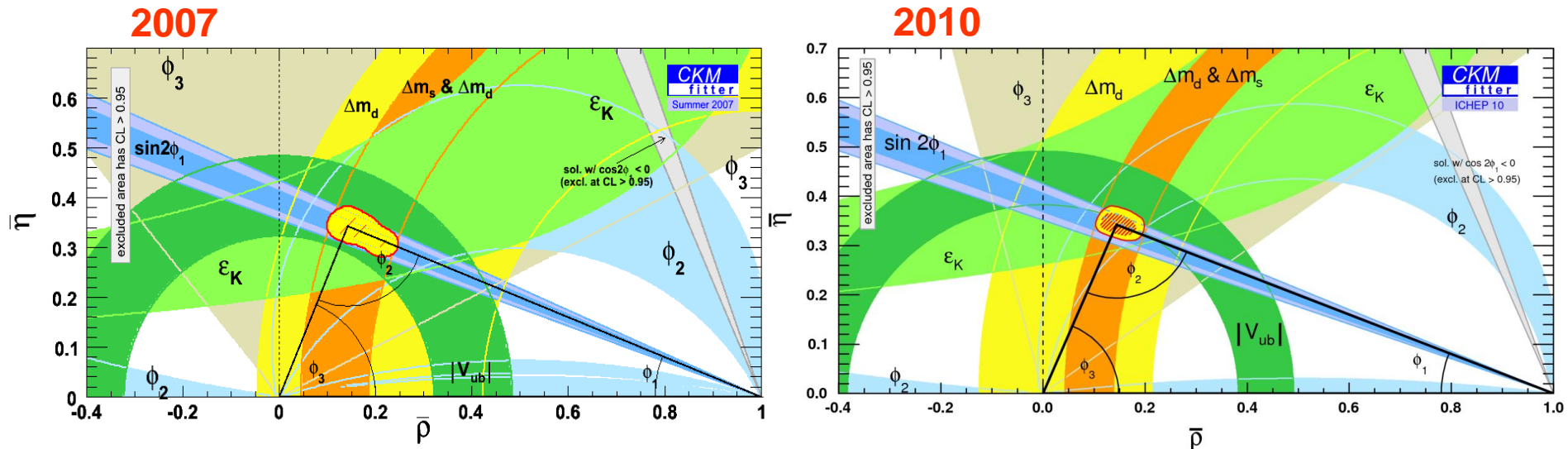
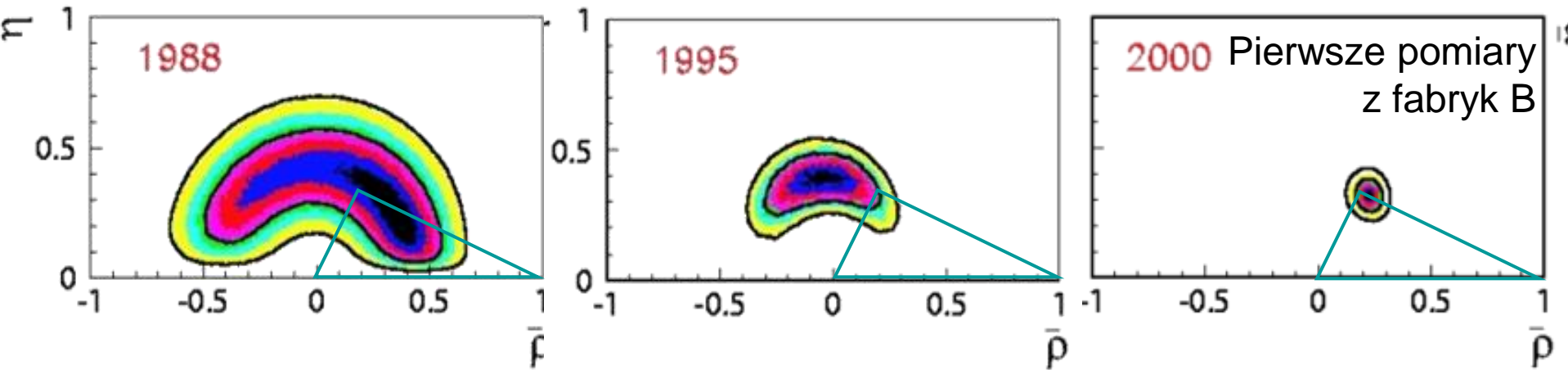


fizyka powabu



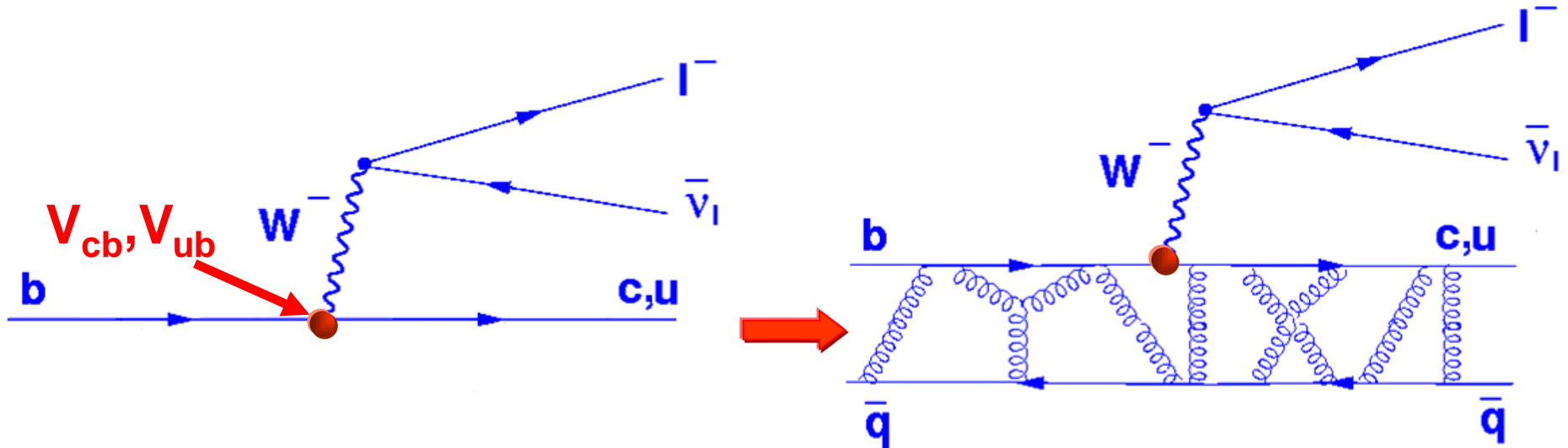
odchylenia od MS $\sim 2.5\sigma$ w niektórych procesach z przejściem $b \rightarrow s$.

Pomiary trójkąta unitarności



Macierz CKM jest unitarna z dokładnością do $\sim 10\%$.

Półleptonowe rozpady B



$|V_{qb}|$ z pomiarów inkluzywnych

$$\Gamma_{sl} = \gamma_{th} |V_{cb}|^2 = \frac{Br(b \rightarrow cl\bar{\nu})}{\tau_B}$$

HQE ($\alpha_s, 1/m_b$) \Leftarrow perturbacyjne i nieperturbacyjne oddziaływania QCD;

Współczynniki w rozwinięciu $1/m_b$ można wyznaczyć doświadczalnie (momenty rozkładów E_l, M_X).

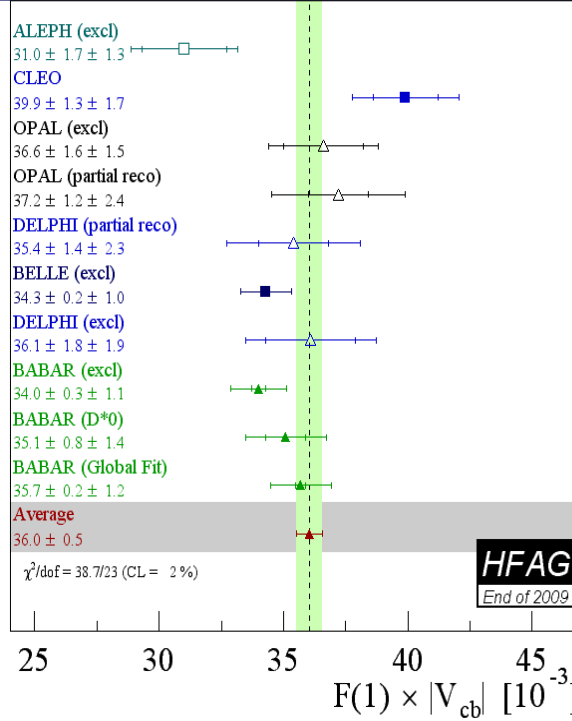
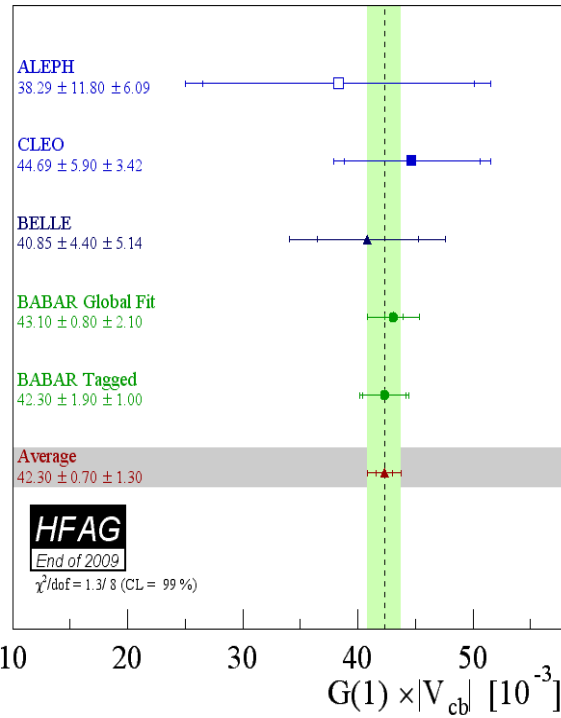
$|V_{qb}|$ z pomiarów ekсклюzywnych

$$\frac{d\Gamma(B \rightarrow D^{(*)}lv)}{dw} = \frac{G_F^2}{48\pi^3} |V_{cb}|^2 F^{(*)2}(w) PS(w)$$

Nieperturbacyjne efekty QCD \Rightarrow czynniki postaci (HQET, LQCD)

$$\frac{d\Gamma(B \rightarrow \pi(\rho)lv)}{dq^2} = \frac{G_F^2}{24\pi^3} p_\pi^3 |V_{ub}|^2 f(q^2)$$


Rozpady z przejściem $b \rightarrow cl\nu$



$$|V_{cb}| \times 10^{-3}$$

$$B \rightarrow cl\nu \quad 41.85 \pm 0.73$$

$$B \rightarrow D^{(*)}l\nu \quad 38.9 \pm 0.9 \pm 1.0$$



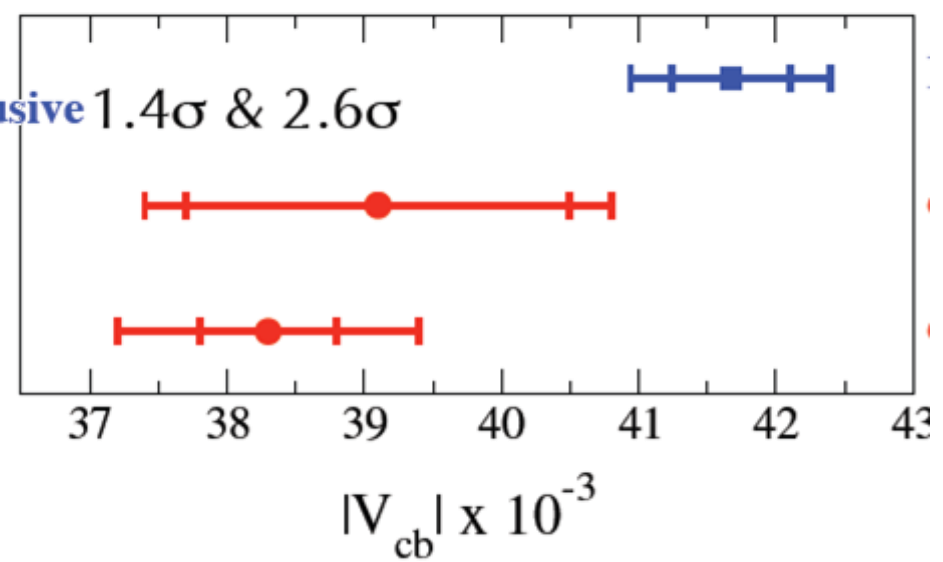
$$\text{Belle(2010)} \quad B \rightarrow D^{*}l\nu$$

$$37.5 \pm 0.2 \pm 1.1 \pm 1.0$$

HFAG ICHEP '08 inclusive 1.4σ & 2.6σ

exclusive $B \rightarrow Dl\nu$

exclusive $B \rightarrow D^{*}l\nu$



Rozpady z przejściem $b \rightarrow cl\nu$

?????

$$B(D^{**}l\nu) \approx 1.6\%$$

$$B(Dl\nu) \approx 2.3\%$$

$$B(D^*l\nu) \approx 5.4\%$$

$$B(X_c l\nu) \approx 10.5\%$$

Zmierzone stosunki rozgałęzień
ekskluzywnych półleptonowych rozpadów B
z kwarkowym przejściem $b \rightarrow cl\nu$
nie wysycają szerokości inkluzywnej.

W.Y. Wang, arXiv:1101.0249 [hep-ph]

"The production of $\frac{1}{2}^- (D, D^*)$, $\frac{3}{2}^+ (D_1, D^*_2)$ and $\frac{1}{2}^+ (D'_0, D'_1)$ charmed mesons does not saturate the total semileptonic decay rate $\Gamma_{SL}(B)$, and the configuration for the 'missing rate' remains an interesting question."

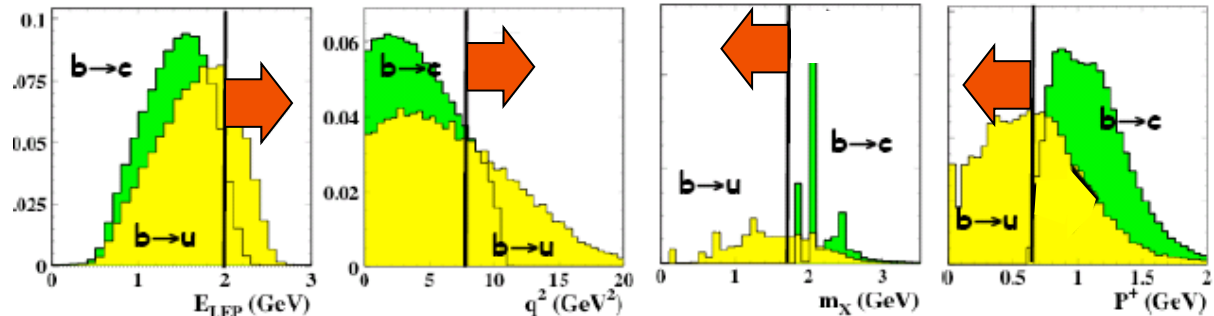
Rozpady z przejściem $b \rightarrow ul\bar{\nu}$

$|V_{ub}|$ z pomiarów inkluzywnych

$$\Gamma_{incl} = \gamma_{th} |V_{ub}|^2 = \frac{Br(b \rightarrow ul\bar{\nu})}{\tau_B}$$

HQE($\alpha_s, 1/m_b$) \Leftarrow perturbacyjne i nieperturbacyjne oddziaływania QCD;

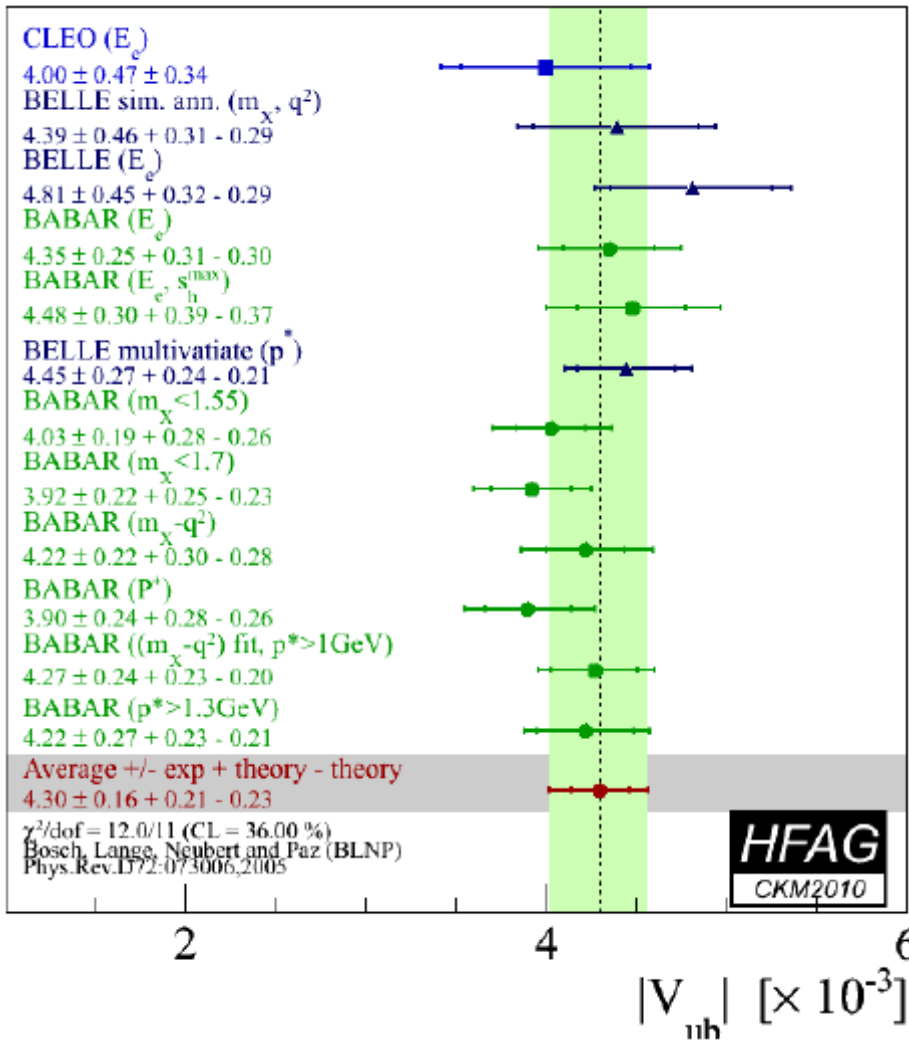
$$\frac{\Gamma(b \rightarrow ul\bar{\nu})}{\Gamma(b \rightarrow cl\bar{\nu})} \approx \frac{|V_{ub}|^2}{|V_{cb}|^2} \approx \frac{1}{50}$$



$$P^+ = E_X - |p_X|$$

Mierzmy tylko część przestrzeni fazowej \Rightarrow HQE nie działa; niepewności teoretyczne tym większe im silniejsze cięcia kinematyczne.

$|V_{ub}|$ z pomiarów inkluzywnych



$|V_{ub}| \times 10^{-3}$

BLNP	$4.30 \pm 0.16^{+0.21}_{-0.23}$
DGE	$4.37 \pm 0.15^{+0.17}_{-0.16}$
GGOU	$4.30 \pm 0.16^{+0.13}_{-0.20}$
ADFR	$4.05 \pm 0.13^{+0.24}_{-0.21}$

CKM
fitter

$3.54^{+0.16}_{-0.20}$

$|V_{ub}|$ z pomiarów ekskluzywnych

$B \rightarrow \pi l \nu$

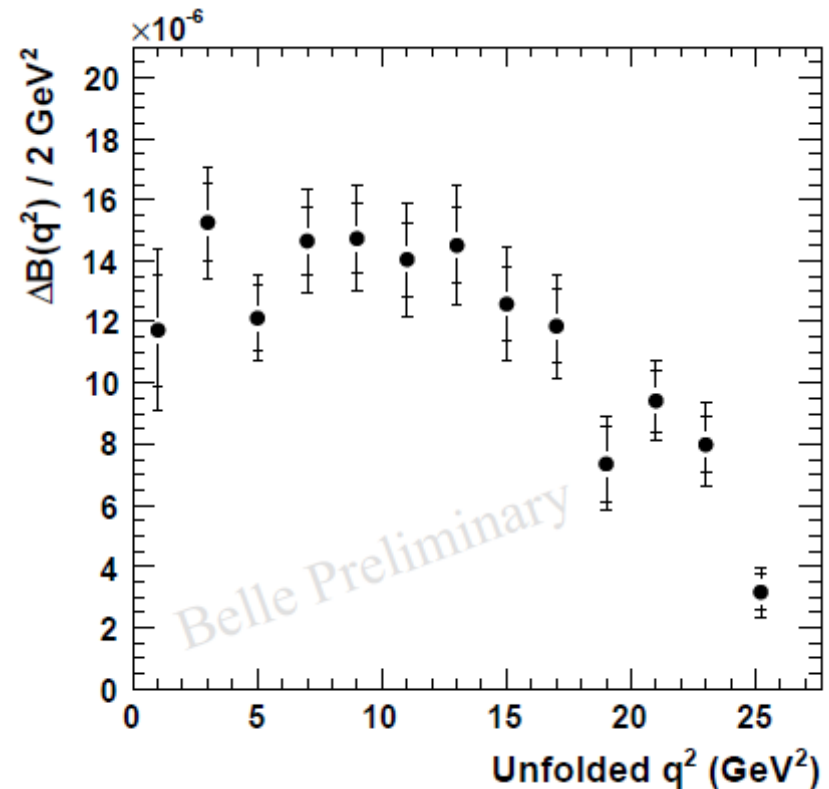
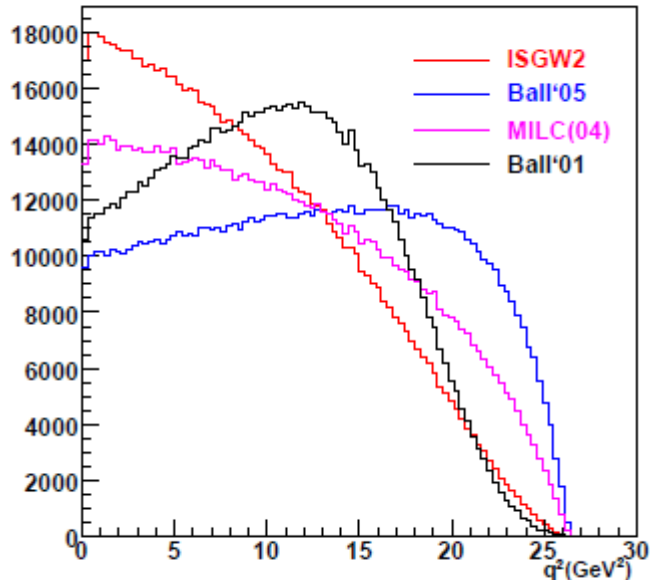
$$\frac{d\Gamma(B \rightarrow \pi(\rho) l \nu)}{dq^2} = \frac{G_F^2}{24\pi^3} p_\pi^3 |V_{ub}|^2 f(q^2)$$

$$q^2 = (p_l + p_\nu)^2 = (p_B - p_\pi)^2$$

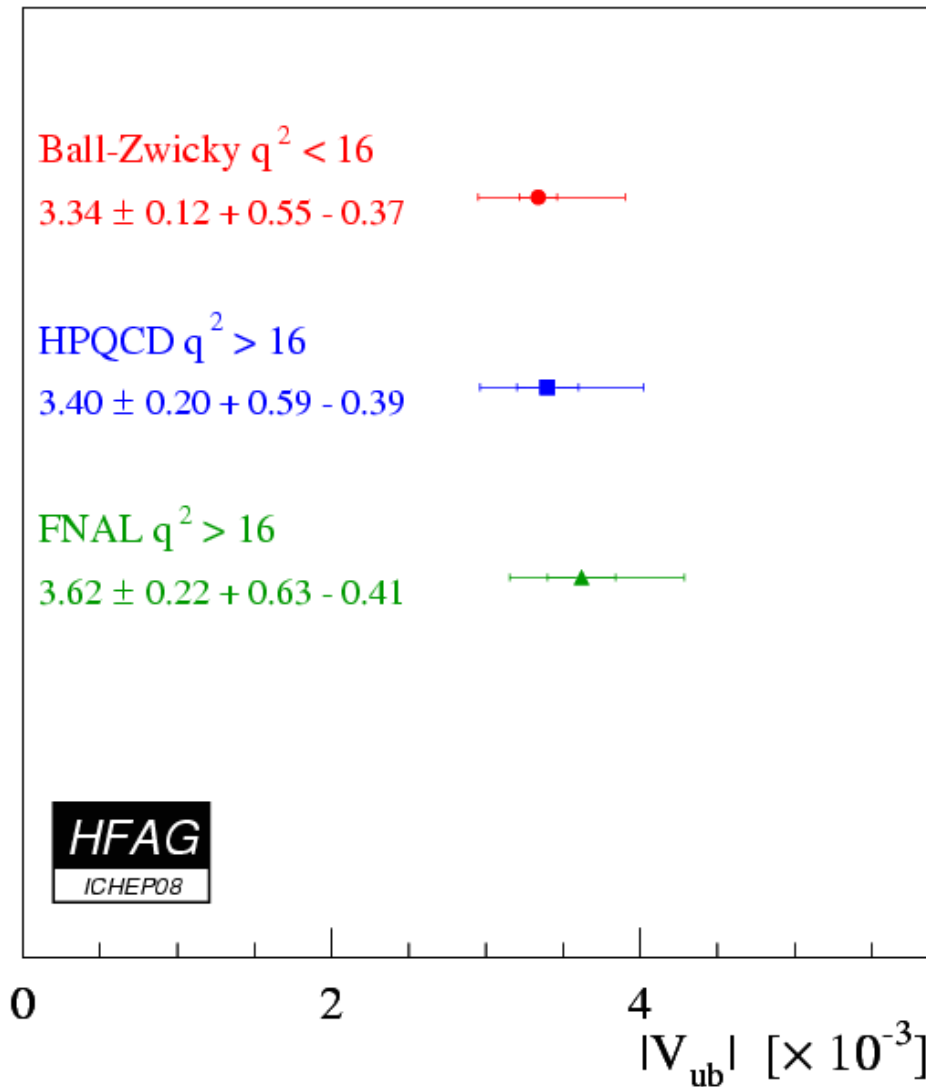


Belle(2010) $B \rightarrow \pi l \nu$

różne przewidywania
teoretyczne dla $f(q^2)$



$|V_{ub}|$ z pomiarów ekskluzywnych



2010

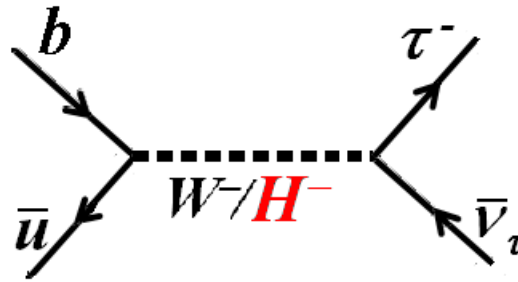
$|V_{ub}| \times 10^{-3}$

3.43 ± 0.33



$3.54^{+0.16}_{-0.20}$

$B \rightarrow \tau \nu_\tau$



$$BF(B \rightarrow l\nu)_{SM} = \frac{G_F^2 m_B^2}{8\pi} m_l^2 \left(1 - \frac{m_l^2}{m_B^2}\right)^2 f_B^2 |V_{ub}|^2 \tau_B$$

$$BF(B \rightarrow \tau\nu)_{SM} = [1.20 \pm 0.25] \times 10^{-4}$$

$$|V_{ub}| = (4.30 \pm 0.16 \pm 0.23) \times 10^{-3}$$

$$f_B = 190 \pm 13 \text{ MeV},$$

From inclusive semileptonic
B decays HFAG ICHEP10
From LQCD
HPQCD arXiv:0902.1815

$B \rightarrow \tau \nu_\tau$



hadronic tags

449M $\bar{B}B$

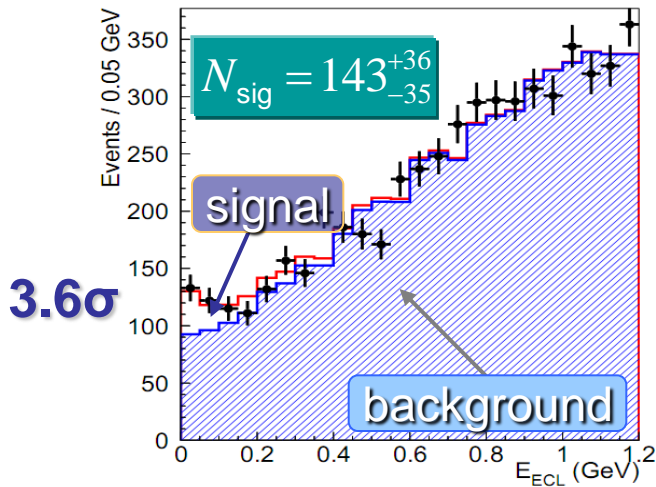
$$BF(B \rightarrow \tau \nu) = [1.79^{+0.56}_{-0.49}(\text{stat})^{+0.46}_{-0.51}(\text{syst})] \times 10^{-4}$$

3.5 σ
↑
significance

Belle Collab., PRL 97, 251802 (2006)

semileptonic tags

NEW 657M $\bar{B}B$



3.6 σ

$$BF(B \rightarrow \tau \nu) = [1.54^{+0.38}_{-0.37}(\text{stat})^{+0.29}_{-0.31}(\text{syst})] \times 10^{-4}$$

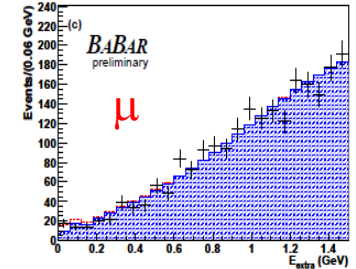
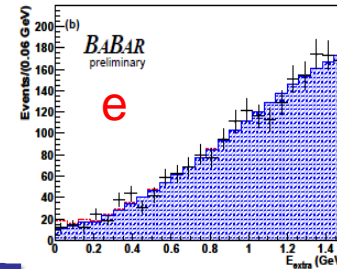
Belle Collab., arXiv: 1006.4201 submitted to PRD-RC



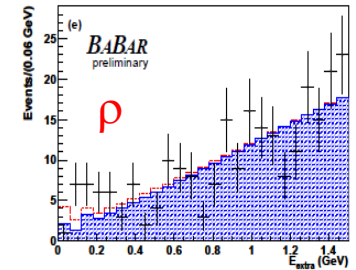
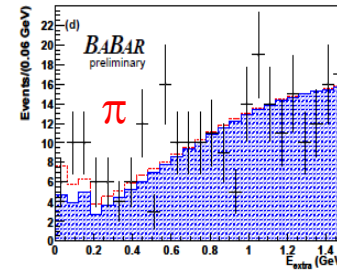
hadronic tags

NEW, preliminary

468 M $\bar{B}B$



3.3 σ



$$BF(B \rightarrow \tau \nu) = [1.80^{+0.57}_{-0.54}(\text{stat}) \pm 0.26] \times 10^{-4}$$

BaBar Collab., arXiv: 1008.0104

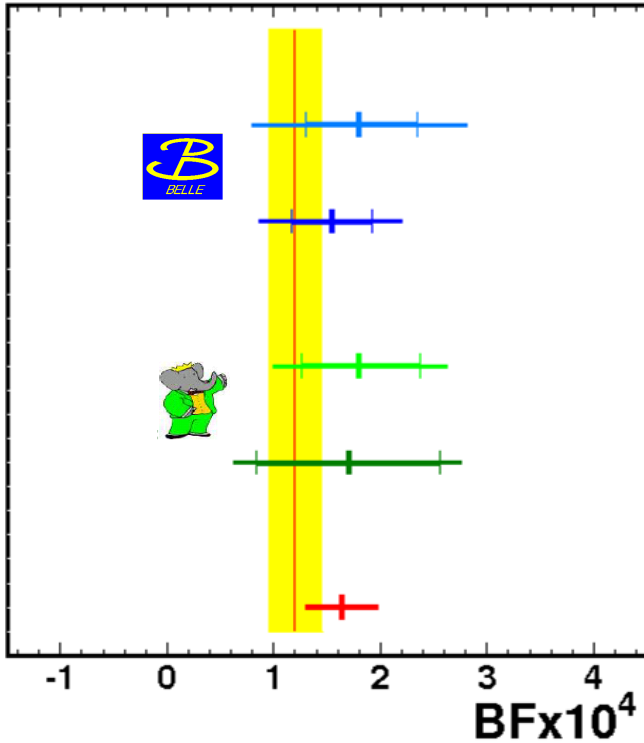
semileptonic tags

$$BF(B \rightarrow \tau \nu) = [1.7 \pm 0.8(\text{stat}) \pm 0.2] \times 10^{-4} \quad 2.3\sigma$$

BaBar Collab., PRD 81, 051101 (2010)

$B \rightarrow \tau \nu_\tau$

$$BF(B^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau)$$

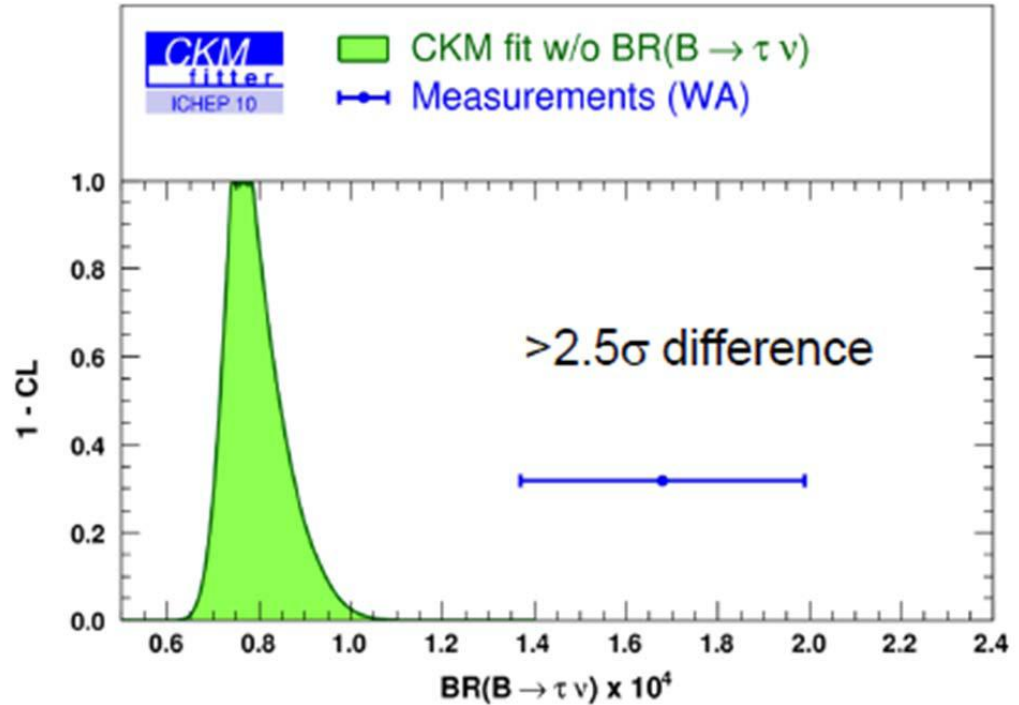


$$BF(B \rightarrow \tau \nu)_{SM} = [1.20 \pm 0.25] \times 10^{-4}$$

HFAG

Aug. 2010

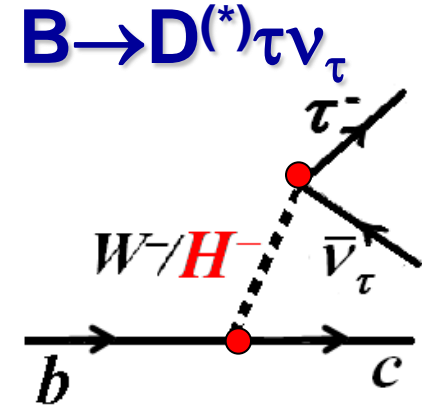
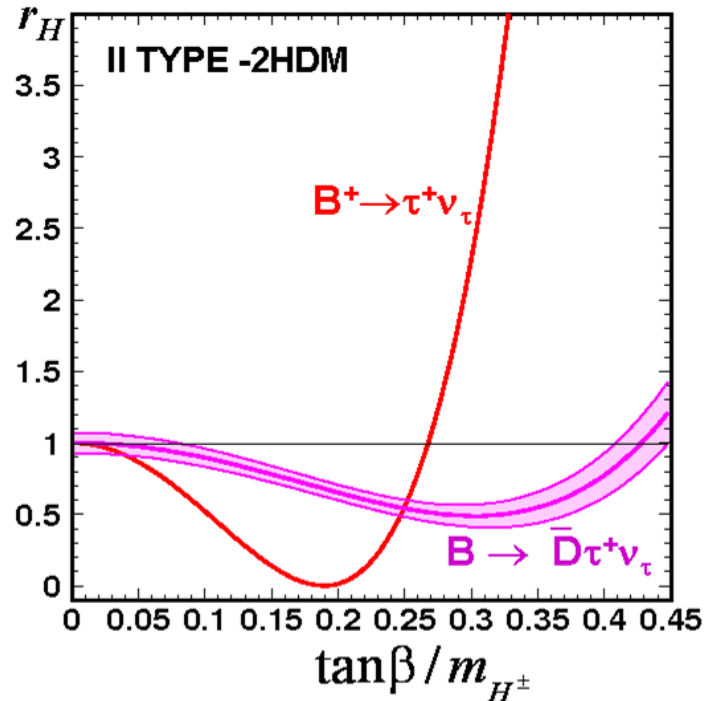
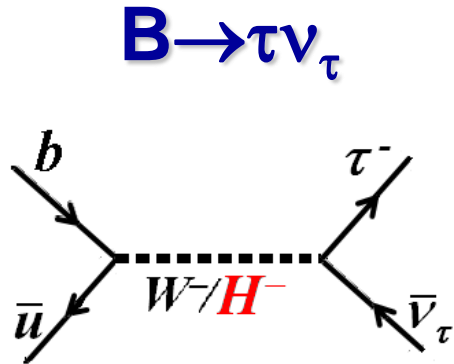
$$[1.64 \pm 0.34] \times 10^{-4}$$



$$BF(B \rightarrow \tau \nu)_{SM(CKM)} = [0.763^{+0.114}_{-0.061}] \times 10^{-4}$$

CKM fitter, S. T'Jampens @ ICHEP2010

Nowa fizyka w $B \rightarrow \tau \nu_\tau$?



$$BF(B^+ \rightarrow l^+ \nu_l) = BF(B^+ \rightarrow l^+ \nu_l)_{SM} \times r_H$$

TYPE II 2HDM

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

W. S. Hou, PR D **48**, 2342 (1993)

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

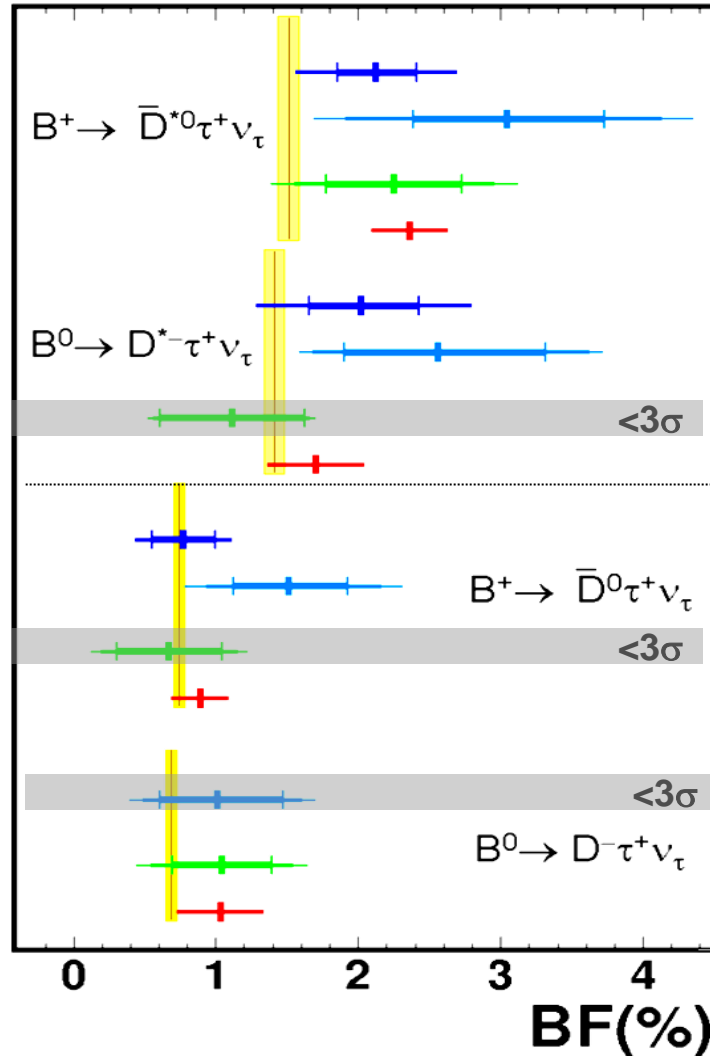
$$C_{NP}^\tau = -\frac{m_b m_\tau}{m_{H^\pm}^2} \frac{\tan^2 \beta}{1 + \varepsilon_0 \tan \beta}$$

$$R = \frac{BF(B \rightarrow D \tau \nu)}{BF(B \rightarrow D e \nu)}$$

J.F. Kamenik @ CKM2010
and J. F.Kamenik, F. Mescia, arXiv:0802.3790 [hep-ph]

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

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

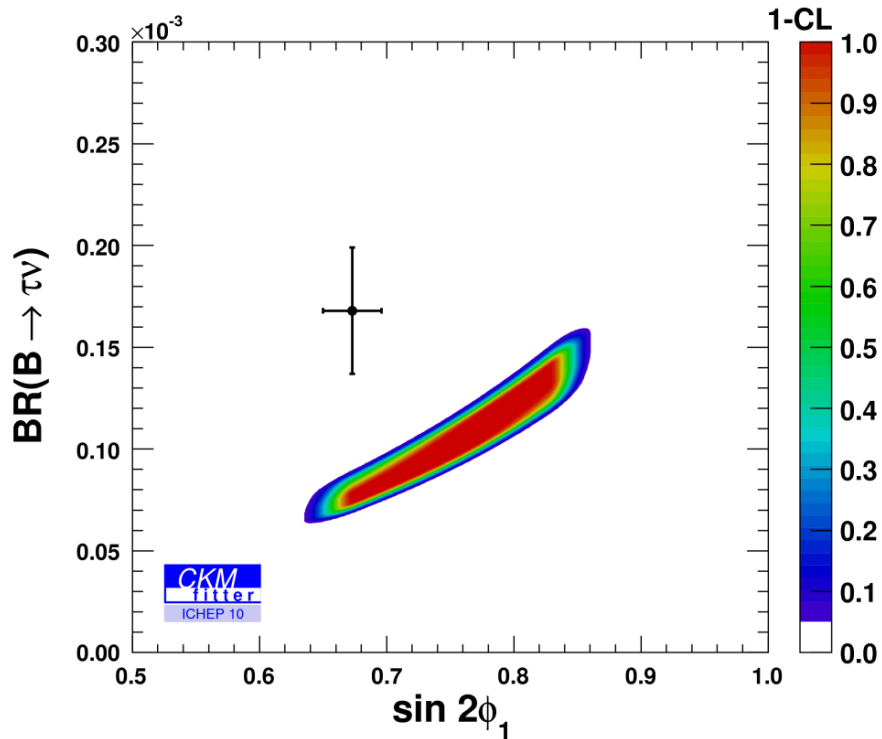


¹ A. Bozek, talk at CKM2010

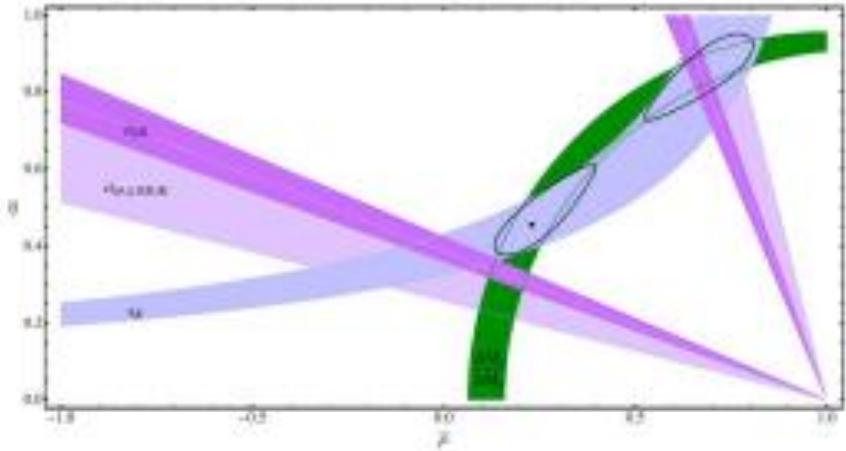
² C.-H. Chen and C.-Q. Geng, JHEP **0610**, 053 (2006)

Wszystkie statystycznie znaczące wyniki nieco powyżej przewidywań SM

$B \rightarrow \tau \nu_\tau$ vs. $\sin(2\phi_1)$



Lunghi, Soni



dopasowanie CKM bez $|V_{ub}|$
 $\sin(2\phi_1) = 0.87 \pm 0.09$
 0.689 ± 0.023 (bezpośredni pomiar)

A. Lenz, U. Nierste *et al.*, Anatomy of New Physics in B-Bbar mixing, arXiv:1008.1593 [hep-ph]

J. Laiho *et al.*, Lessons for new physics from CKM studies, arXiv:1102.3917 [hep-ph]

E. Lunghi, A. Soni, Possible evidence for the breakdown of the CKM-paradigm of CP-violation, Phys.Lett.**B697**:323-328,2011

A. Crivellin, Effects of right-handed charged currents on the determinations of $|V_{ub}|$ and $|V_{cb}|$, Phys.Rev.D**81**:031301,2010

Podsumowanie

- While a compelling & conclusive evidence for breakdown of SM in flavor physics cannot be made at present, in the last few years several interesting (and possibly strong) hints have emerged.
- Although, taking too seriously every little deviation can be unwise and may be counterproductive; **disregarding or overlooking the hints can be painfully unwise and in fact can be more damaging {LESSON FROM HISTORY} . Following these up in flavor & collider physics and in theory may be a much wiser path.**

A. Soni @ KEK Workshop on “Hints for new physics in flavor decays”, 2009

przeźrocza zapasowe

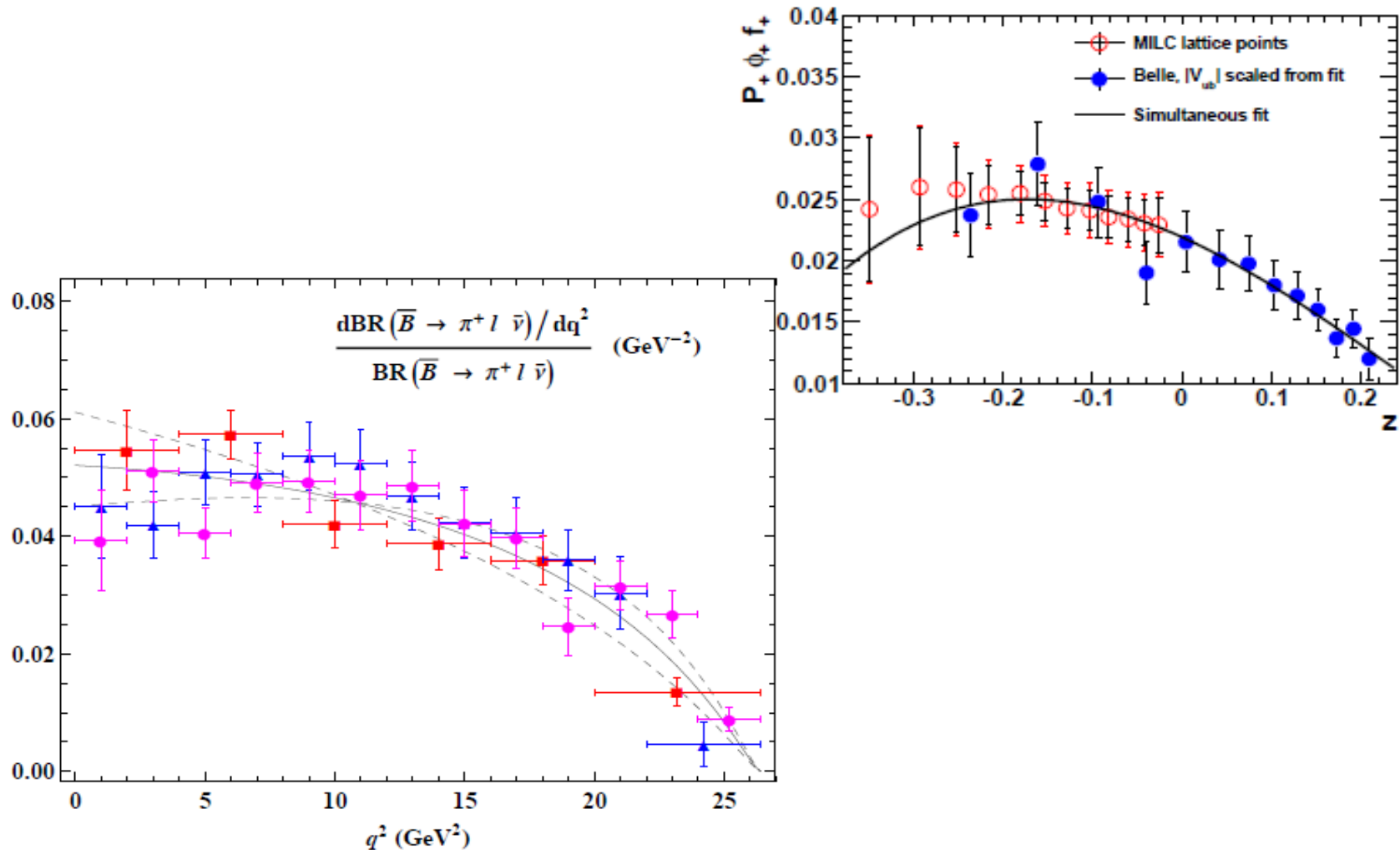
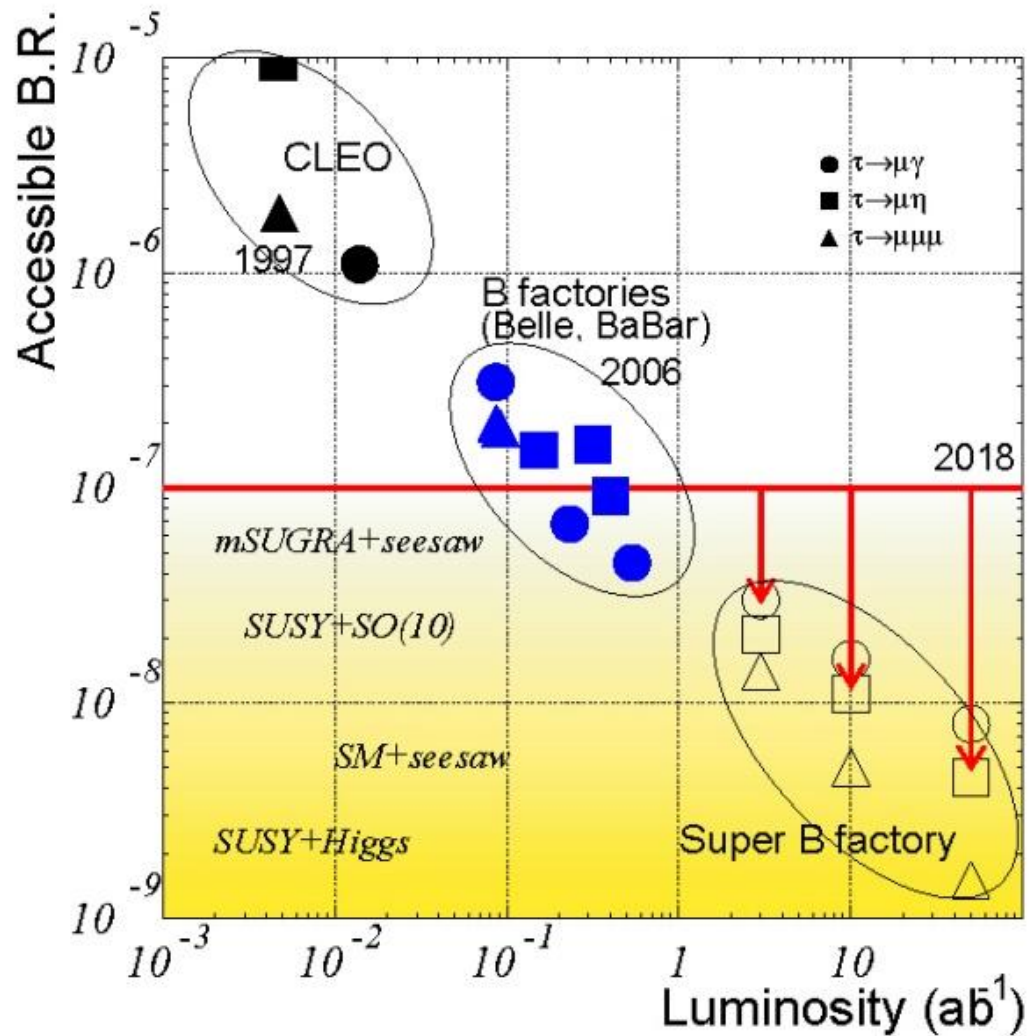
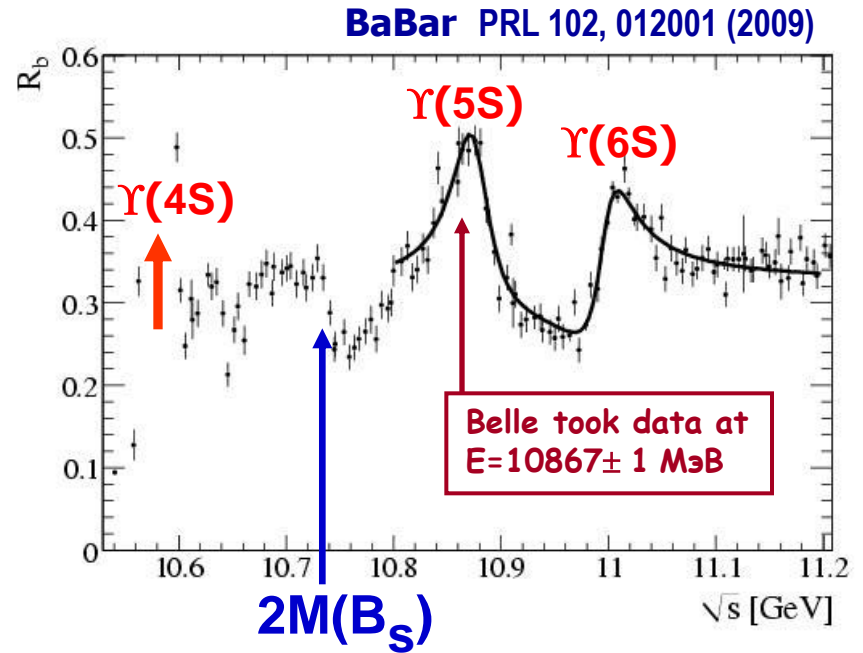
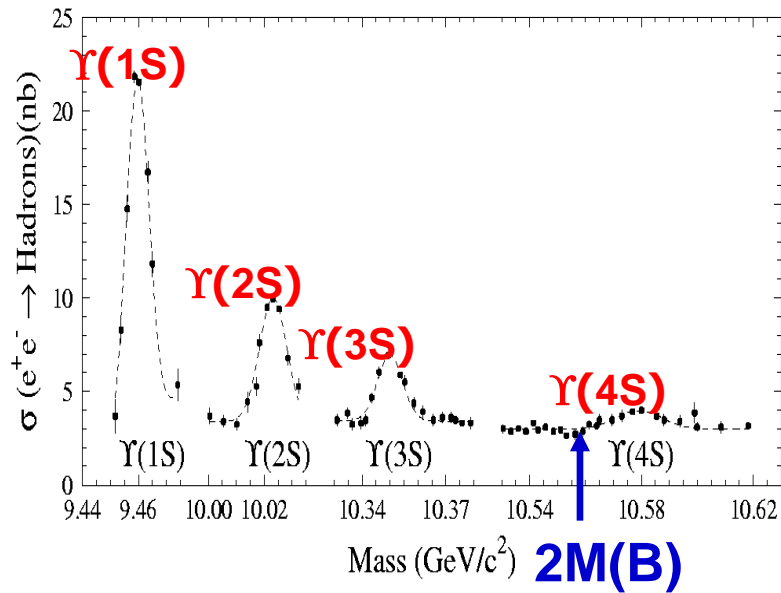


Figure 5: (colour online) The normalized q^2 -distribution in $B \rightarrow \pi l \nu$ obtained from LCSR and extrapolated with the z -series parameterization (central input- solid, uncertainties -dashed). The experimental data points are from BABAR: (red) squares [2], (blue) triangles [3] and Belle [4]: (magenta) full circles.

Fabryki B



e^+e^- hadronic cross-section



$e^+ e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$, where B is B^+ or B^0

$e^+ e^- \rightarrow b\bar{b} (\Upsilon(5S)) \rightarrow B^{(*)}\bar{B}^{(*)}, B^{(*)}\bar{B}^{(*)}\pi, B\bar{B}\pi\pi, B_s^{(*)}\bar{B}_s^{(*)}, \Upsilon(1S)\pi\pi, \Upsilon X \dots$

Measurements of B_s decays at Belle

L = 23.6 fb

Before Belle less than 10 decays were known

B_s^0 Decay	Branching Fraction, 10^{-3}	B^0 decay	Branching fraction, 10^{-3}
$B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+$	$3.67^{+0.35}_{-0.33} \text{ }^{+0.43}_{-0.42} \pm 0.49 (f_s)$	$B^0 \rightarrow D^- \pi^+$	2.68 ± 0.13
> $B_s^0 \rightarrow D_s^{*-} \pi^+$	$2.4^{+0.5}_{-0.4} \pm 0.3 \pm 0.4 (f_s)$	$B^0 \rightarrow D^{*-} \pi^+$	2.76 ± 0.13
> $B_s^0 \rightarrow D_s^- \rho^+$	$8.5^{+1.3}_{-1.2} \pm 1.1 \pm 1.3 (f_s)$	$B^0 \rightarrow D^- \rho^+$	7.6 ± 1.3
> $B_s^0 \rightarrow D_s^{*-} \rho^+$	$11.9^{+2.2}_{-2.0} \pm 1.7 \pm 1.8 (f_s)$	$B^0 \rightarrow D^{*-} \rho^+$	6.8 ± 0.9
$B_s^0 \rightarrow D_s^{-/+} K^{+/-}$	$0.24^{+0.12}_{-0.10} \pm 0.03 \pm 0.03 (f_s)$	$B^0 \rightarrow D^{-/+} K^{+/-}$	0.20 ± 0.06
> $B_s^0 \rightarrow \phi \gamma$	$(5.7^{+1.8}_{-1.5} \text{ }^{+1.2}_{-1.1}) \times 10^{-2}$	$B^0 \rightarrow K^*(892)^0 \gamma$	$(4.01 \pm 0.20) \times 10^{-2}$
$B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$	$(3.8^{+1.0}_{-0.9} \pm 0.5 \pm 0.5 (f_s)) \times 10^{-2}$	$B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$	$(1.94 \pm 0.06) \times 10^{-2}$
$B_s^0 \rightarrow D_s^+ D_s^-$	$(1.03^{+0.39}_{-0.32} \text{ }^{+0.26}_{-0.25}) \times 10$	$B^0 \rightarrow D_s^+ D^-$	$(0.72 \pm 0.08) \times 10$
> $B_s^0 \rightarrow D_s^{*+} D_s^-$	$(2.75^{+0.83}_{-0.71} \pm 0.69) \times 10$	$B^0 \rightarrow D_s^{*+} D^-$	$(0.80 \pm 0.11) \times 10$
> $B_s^0 \rightarrow D_s^{*+} D_s^{*-}$	$(3.08^{+1.22}_{-1.04} \text{ }^{+0.85}_{-0.86}) \times 10$	$B^0 \rightarrow D_s^{*+} D^{*-}$	$(1.77 \pm 0.14) \times 10$
> $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta$	$(3.32 \pm 0.87 \text{ }^{+0.32}_{-0.28} \pm 0.42(f_s)) / 10$	$B^0 \rightarrow J/\psi K^0$	$(8.71 \pm 0.32) / 10$ [3]
> $B_s^0 \rightarrow J/\psi \eta'$	$(3.1 \pm 1.2 \text{ }^{+0.5}_{-0.6} \pm 0.38(f_s)) / 10$	$B^0 \rightarrow J/\psi K^0$	$(8.71 \pm 0.32) / 10$ [3]
> $B_s^0 \rightarrow X^- \ell^+ \nu$	$(10.2 \pm 0.8 \pm 0.9) \times 10$	$B^0 \rightarrow X^- \ell^+ \nu$	$(10.33 \pm 0.28) \times 10$

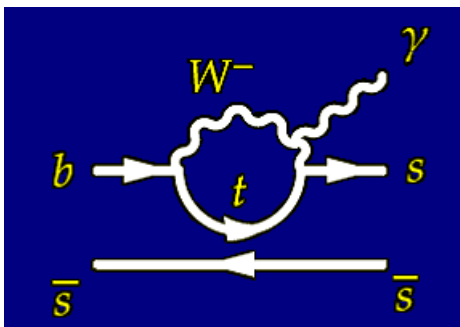
Properties of B_s^0 and B^0 seem to be consistent with SU(3)

Today: first results with 121.4 fb^{-1}

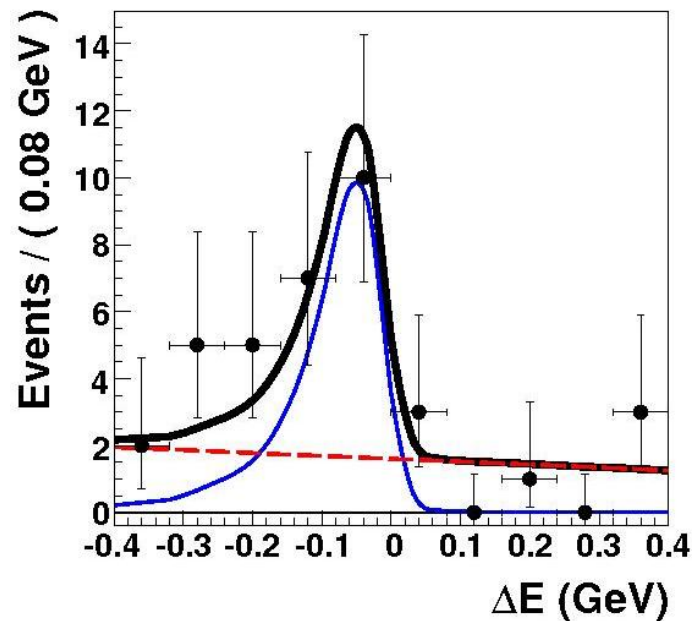
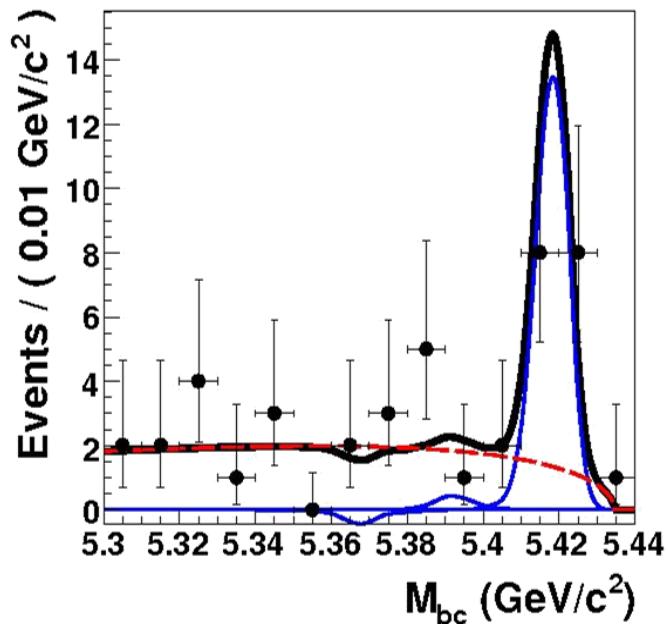
$B_s \rightarrow \phi \gamma$ at Belle



Analogy to $B \rightarrow K^* \gamma$



23.6 fb^{-1} @ $\Upsilon(5S)$



First rare decay from B_s !

Belle Collab. (J. Wicht *et al.*), PRL **100**, 121801 (08)

$$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \phi \gamma) = (5.7^{+1.8}_{-1.5} {}^{+1.2}_{-1.7}) \times 10^{-5} (5.5\sigma)$$

P. Ball *et al.*, PRD **75**, 054004 (07)

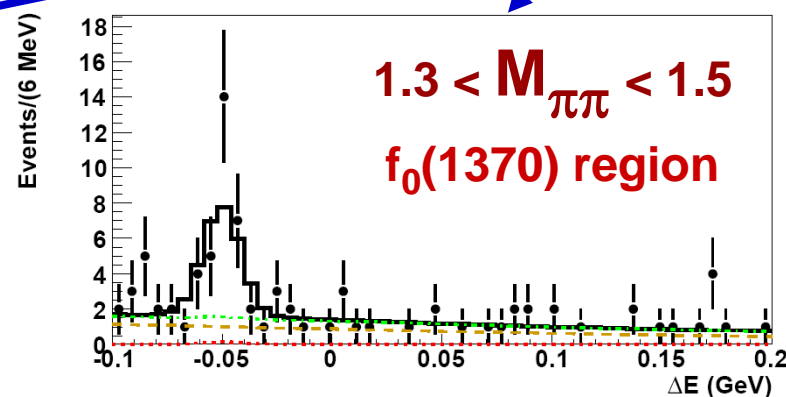
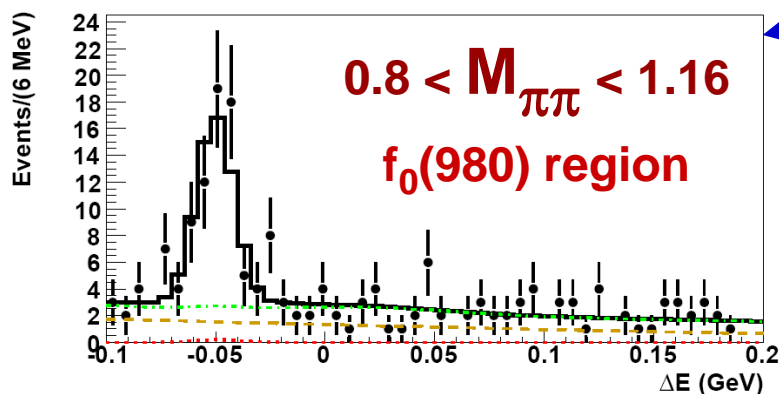
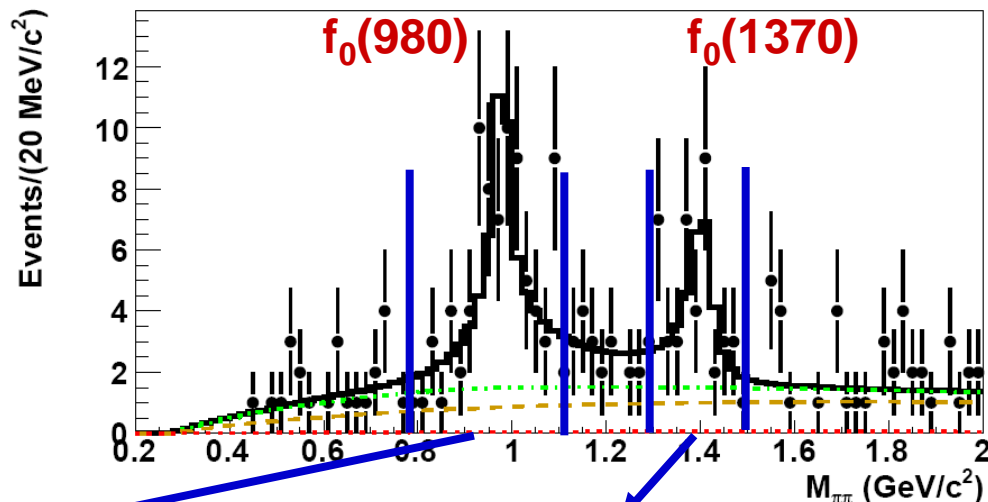
$$\text{SM: } \mathcal{B}(B_s \rightarrow \phi \gamma) = (3.94 \pm 1.07 \pm 0.53) \times 10^{-5}$$

$B_s \rightarrow J/\psi f_0(980) / f_0(1370)$ Signals

Select $B_s^* B_s^*$ region in M_{bc}
2D fit to ΔE vs. $M(\pi^+ \pi^-)$

PDF = |Flatté + $a e^{i\theta}$ RBW|
+ non-res $J/\psi \pi^+ \pi^-$ + other BG

Fit projections



	Yield	Significance	$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow J/\psi F; F \rightarrow \pi^+ \pi^-)$
$f_0(980)$	63_{-10}^{+16}	8.4σ	$1.16_{-0.19}^{+0.31}(\text{stat.})_{-0.17}^{+0.15}(\text{syst.})_{-0.18}^{+0.26}(N_{B_s^{(*)} \bar{B}_s^{(*)}}) \times 10^{-4}$
$f_0(1370)$	19_{-8}^{+6}	4.2σ	$0.34_{-0.14}^{+0.11}(\text{stat.})_{-0.02}^{+0.03}(\text{syst.})_{-0.05}^{+0.08}(N_{B_s^{(*)} \bar{B}_s^{(*)}}) \times 10^{-4}$

non-res $J/\psi \pi^+ \pi^-$ 4 ± 12

consistent with expectation : $(1.3-3.2) \times 10^{-4}$

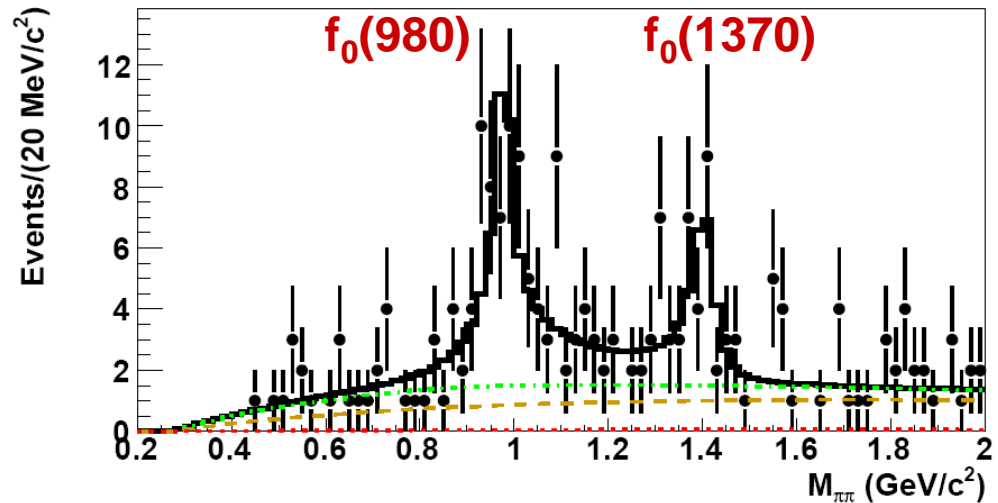
$B_s \rightarrow J/\psi f_0(980) / f_0(1370)$ Signals

$f_0(1370)$ mass, width

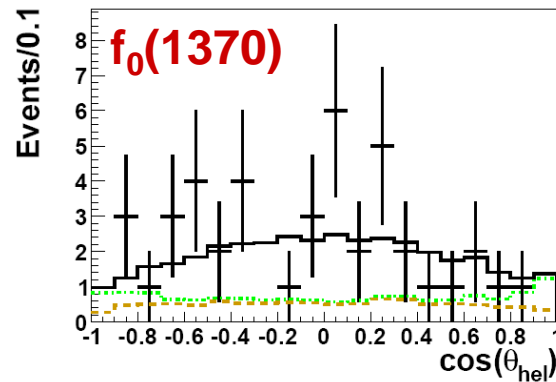
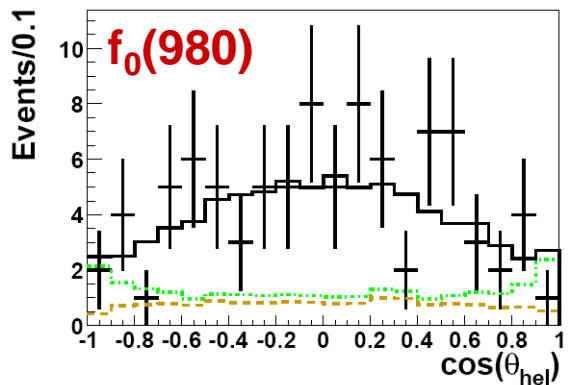
$$m_0 = 1.405 \pm 0.015^{+0.001}_{-0.007} \text{ GeV}/c^2$$

$$\Gamma_0 = 0.054 \pm 0.033^{+0.014}_{-0.003} \text{ GeV}$$

⇒ compatible with PDG results



J/ψ helicity angle is consistent with expectations for scalar resonance



⇒ Observation of $B_s \rightarrow J/\psi f_0(980)$ and evidence for $B_s \rightarrow J/\psi f_0(1370)$

Observation of $B_s \rightarrow J/\psi f_0(980)$ is also reported by LHCb and CDF
arXiv:1102.0206