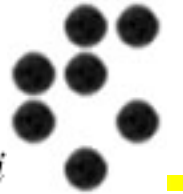




Univerza v Ljubljani



Kršitev CP in pingvini

Peter Križan

FMF UL in IJS



Vsebina

Uvod

Eksperimentalna aparatura: Belle in KEK-B

Kršitev CP v sistemu mezonov B

Pingvini

Prehodi z spremembo okusa in nevtralnimi tokovi

Načrti za prihodnost



Uvod

| Osnovni delci | 1. družina | 2. družina | 3. družina |
|---------------|--------------|------------------|--------------------|
| kvarki | u,d | s,c | b,t |
| leptoni | e^-, ν_e | μ^-, ν_μ | τ^-, ν_τ |



Barioni in mezoni: vezana stanja kvarkov in anti-kvarkov

Barioni: proton: uud , nevtron: udd

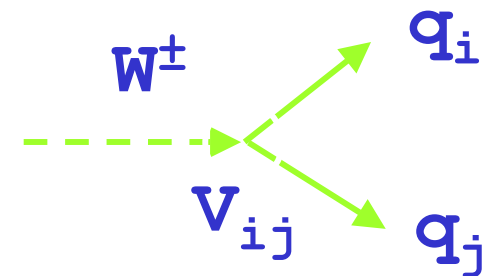
| Mezoni: | masa |
|--|-----------|
| π^+ : kvark u + antikvark \bar{d} | $1/7 m_p$ |
| K^+ : kvark u + antikvark \bar{s} | $1/2 m_p$ |
| K_S : kvark d + antikvark \bar{s} | $1/2 m_p$ |
| ϕ : kvark s + antikvark \bar{s} | $1.1 m_p$ |
| J/ψ : kvark c + antikvark \bar{c} | $3 m_p$ |
| B^0 : kvark d + antikvark \bar{b} | $5.5 m_p$ |



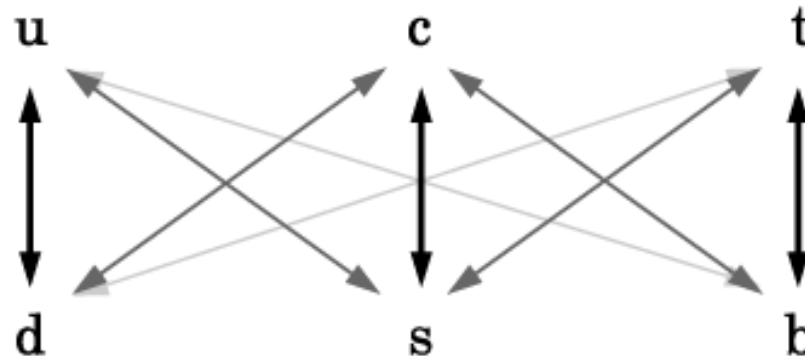
Matrika CKM

Prehodi med kvarki z nabojem $2/3$ in $-1/3$: kompleksni matrični elementi unitarne matrike CKM (Cabibbo-Kobayashi-Maskawa)

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$



Prehodi med kvarki iste družine so bistveno bolj verjetni (=debelejše črte) kot ostali



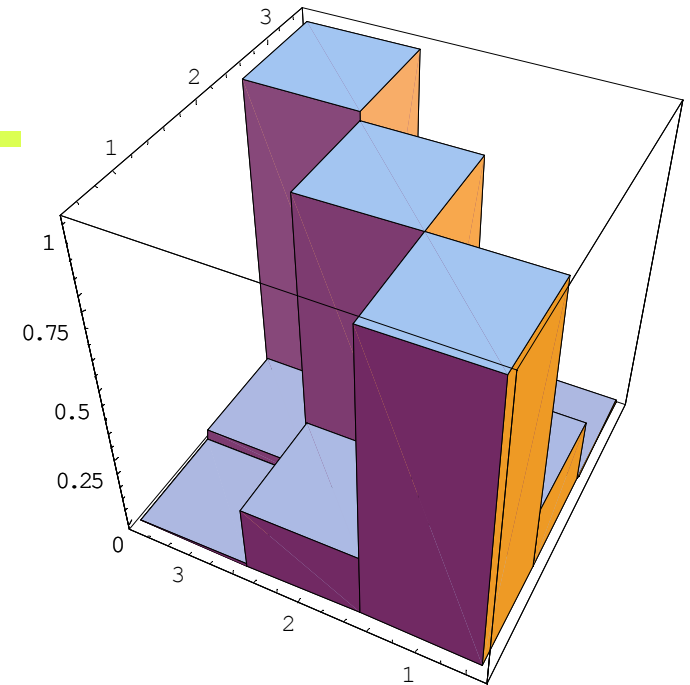


Matrika CKM

→ matrika za prehode je skorajda diagonalna

Wolfensteinova parametrizacija: razvoj po parametru λ ($=\sin\theta_c=0.22$)

A , ρ and η : reda velikosti 1



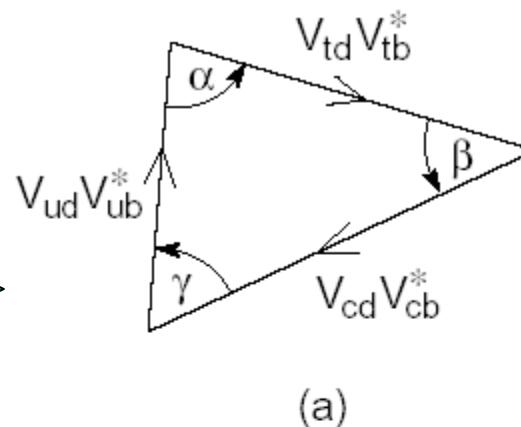
$$V = \begin{pmatrix} 1 - \frac{\lambda^2}{2} & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{\lambda^2}{2} & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + O(\lambda^4)$$

Unitarni trikotnik

Unitarnost: vrstice in stolpci so ortogonalni.

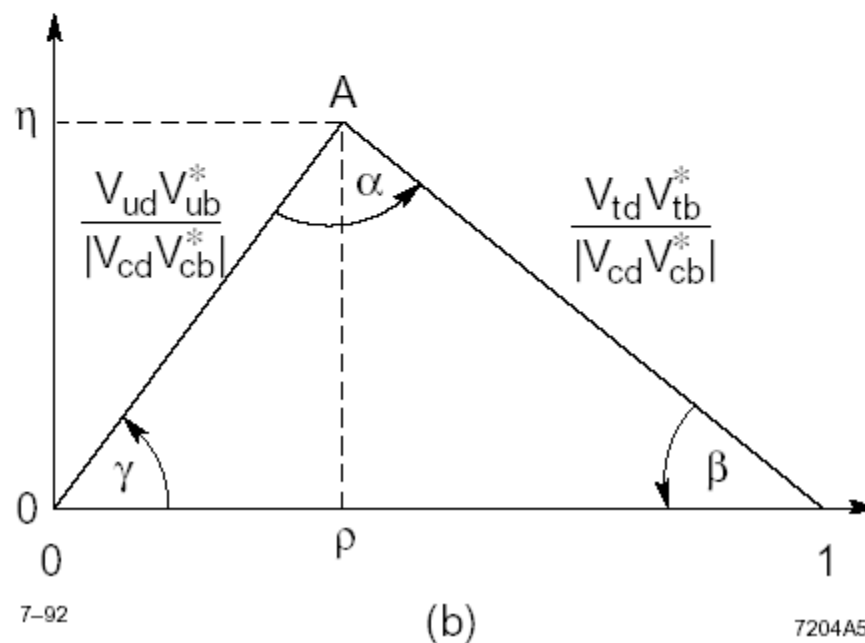
Na primer:

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



V rabi so še oznake:

$$\phi_1 = \beta, \phi_2 = \alpha, \phi_3 = \gamma$$





Simetrija CP

Simetrijska operacija **CP**: pretvori **delec** v **anti-delec**

Če se delec in anti-delec ne obnašata vedno enako – torej če na primer različno razpadata, je to kršitev simetrije CP.

Ker je bilo ob nastanka vesolje sestavljeno iz enakega števila delcev in anti-delcev, danes pa je sestavljeno skoraj izključno iz **snovi** (=delcev), in ne iz **anti-snovi**, je ta simetrija očitno **kršena!**

 **Zelo pomembno: razumeti kako in zakaj je ta simetrija kršena.**



Kršitev CP pri mezonih B

Kršitev simetrije CP so prvič izmerili pred 40 leti pri nevtralnih kaonih – in to je bil do pred kratkim edini sistem, kjer smo jo lahko preučevali.

Zakaj naj bi bila kršitev CP drugačna pri drugem paru kvarkov ($b\bar{d}$ (=B) namesto $s\bar{d}$ (=K))?

Nekateri pojavi so **močno odvisni od energije**, ki je zanje na razpolago: **masivnejši kvarki** so zato potencialno **zelo zanimivi**.

Kvark b je **najtežji** kvark, ki še tvori vezano stanje, mezon B.

Meritev kršitve CP pri mezonih B: po odkritju **mešanja** (ARGUS 1987) → taka meritev je **možna!**



Časovni razvoj v sistemu mezonov B

Časovni razvoj poljubne linearne kombinacije nevtralnega mezona B in njegovega antidelca

$$a|B^0\rangle + b|\bar{B}^0\rangle$$

določa časovno odvisna Schroedingerjeva enačba

$$i\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = H\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (M - i\Gamma)\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$$

M in Γ sta hermitski 2x2 matriki.

CPT invarianca $\rightarrow H_{11} = H_{22}$



Časovni razvoj v sistemu mezonov B

Lastni stanji ('masni') sta lahki B_L in teški B_H

$$|B_L\rangle = p|B^0\rangle + q|\bar{B}^0\rangle$$

$$|B_H\rangle = p|B^0\rangle - q|\bar{B}^0\rangle$$

Za razliko lastnih vrednosti velja

$$\Delta m_B = m_H - m_L,$$

$$\Delta\Gamma_B = \Gamma_H - \Gamma_L$$



Časovni razvoj v sistemu mezonov B

Poljubno stanje lahko zapišemo kot linearno kombinacijo stanj B_H and B_L , njuni amplitudi pa se tako spreminjata s časom

$$a_H(t) = a_H(0)e^{-iM_H t} e^{-\Gamma_H t/2}$$

$$a_L(t) = a_L(0)e^{-iM_L t} e^{-\Gamma_L t/2}$$

Če smo ob $t=0$ ustvarili stanje B^0 (označimo z B^0_{phys}), velja $a_H(0) = a_L(0) = 1/(2p)$,

Če pa smo ustvarili anti-B ($\text{anti-}B^0_{\text{phys}}$), je $a_H(0) = a_L(0) = 1/(2q)$



Časovni razvoj Bjev

Časovni razvoj lahko zapišemo tudi v bazi B^0 in \bar{B}^0

$$\left| B_{phys}^0(t) \right\rangle = g_+(t) \left| B^0 \right\rangle + (q/p) g_-(t) \left| \bar{B}^0 \right\rangle$$

$$\left| \bar{B}_{phys}^0(t) \right\rangle = (p/q) g_-(t) \left| B^0 \right\rangle + g_+(t) \left| \bar{B}^0 \right\rangle$$

kjer je

$$g_+(t) = e^{-iMt} e^{-\Gamma t/2} \cos(\Delta m t / 2)$$

$$g_-(t) = e^{-iMt} e^{-\Gamma t/2} i \sin(\Delta m t / 2)$$

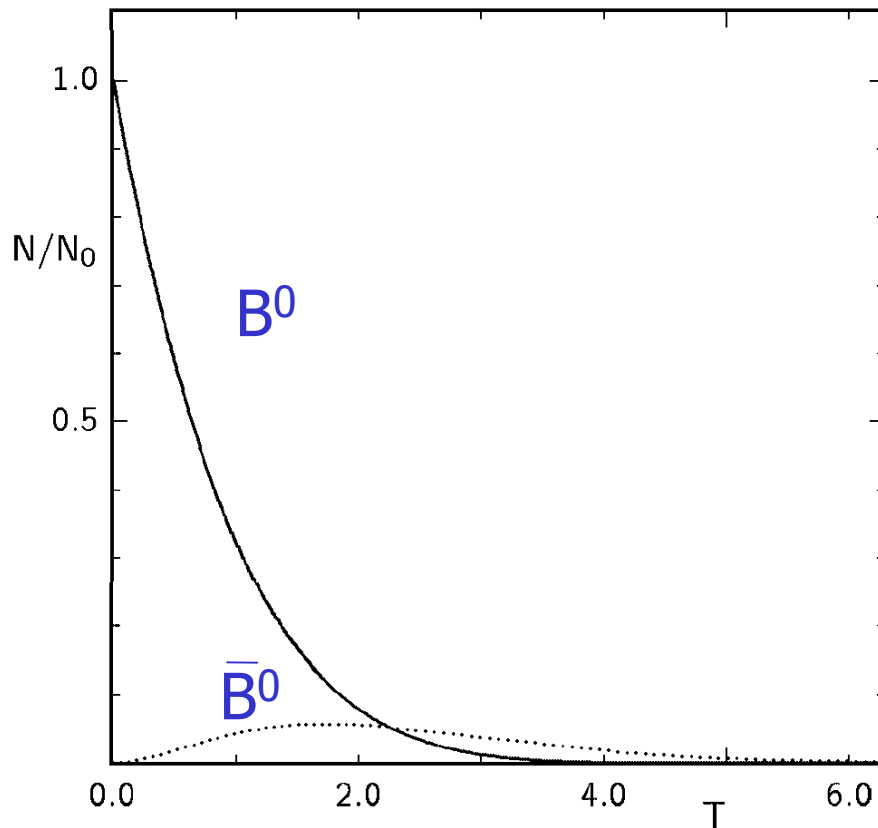
$$M = (M_H + M_L) / 2$$

→ Začetni B^0 se čez čas delno pretvori v \bar{B}^0

→ Mešanje



Mešanje



B^0 ob $t=0$, časovni razvoj:

- polna črta: B^0 ,
- črtkana: \bar{B}^0

T : v enotah življenjskega časa $\tau=1/\Gamma$

$$\Delta m_B/\Gamma_B = 0.73 \pm 0.05$$

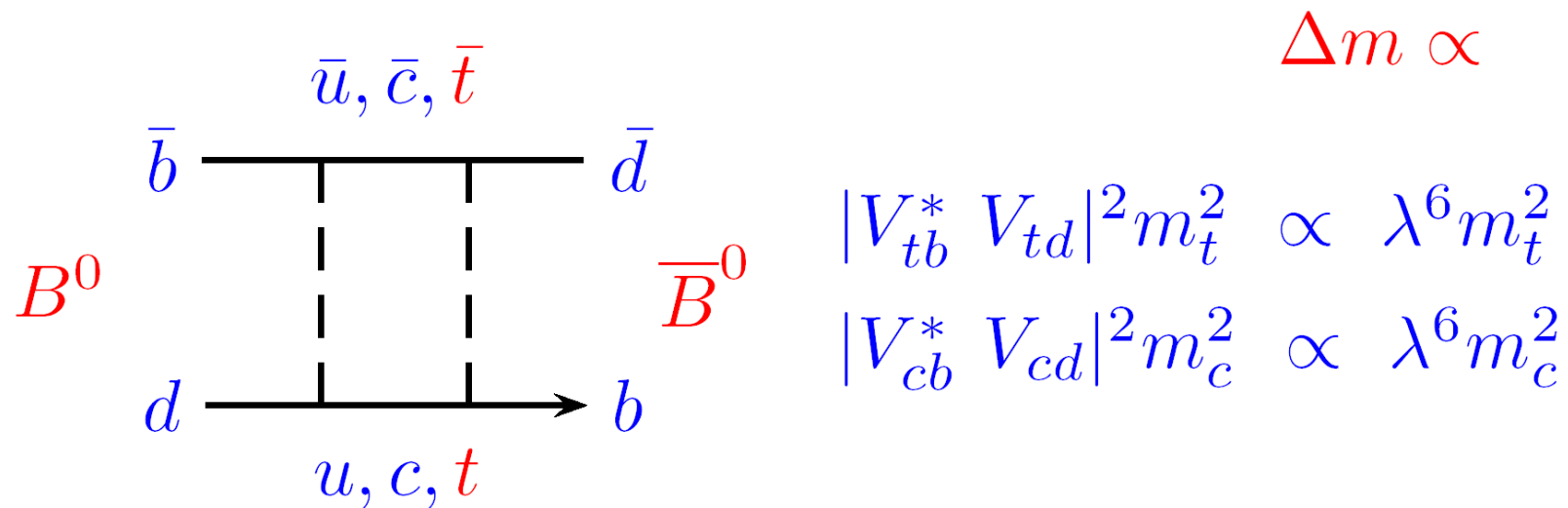
Odkritje mešanja: skupina ARGUS (1987)

>1000 citatov!

→ Phys.Lett. B192 (1987) 245.



Nepričakovano močno mešanje (=velik Δm) v sistemu B^0 !



V Standardnem modelu: močno mešanje \rightarrow velika masa kvarka t

Kvark t so odkrili šele nekaj let kasneje!



Razpadna verjetnost

Verjetnost za razpad $P(B^0 \rightarrow f, t) \propto \left| \langle f | H | B_{phys}^0(t) \rangle \right|^2$

Amplituda za razpada B and anti-B v isto končno stanje f

$$A_f = \langle f | H | B^0 \rangle$$

$$\bar{A}_f = \langle f | H | \bar{B}^0 \rangle$$

Razpadna amplituda kot funkcija časa:

$$\begin{aligned} \langle f | H | B_{phys}^0(t) \rangle &= g_+(t) \langle f | H | B^0 \rangle + (q/p) g_-(t) \langle f | H | \bar{B}^0 \rangle \\ &= g_+(t) A_f + (q/p) g_-(t) \bar{A}_f \end{aligned}$$

... in podobno za anti-B



Asimetrija v razpadni verjetnosti

Asimetrija v verjetnosti za razpad:

$$a_f = \frac{P(\bar{B}^0 \rightarrow f, t) - P(B^0 \rightarrow f, t)}{P(\bar{B}^0 \rightarrow f, t) + P(B^0 \rightarrow f, t)} =$$

$$= C \cos(\Delta mt) + S \sin(\Delta mt)$$

$$= \frac{(1 - |\lambda_f|^2) \cos(\Delta mt) - 2 \operatorname{Im}(\lambda_f) \sin(\Delta mt)}{1 + |\lambda_f|^2}$$

kjer je: $\lambda_f = \frac{q}{p} \frac{\bar{A}_f}{A_f}$

Če je poleg tega še $|\lambda| = 1 \rightarrow$

$$a_f = -\operatorname{Im}(\lambda_f) \sin(\Delta mt)$$



Asimetrija v razpadni verjetnosti \rightarrow kršitev CP

Zveza med asimetrijo v verjetnosti za razpad in kršitvijo simetrije CP je najlepše vidna, če kot **končno stanje** izberemo:

$f=f_{CP}$: lastno stanje simetrije CP,

recimo:

- $J/\psi K_S, J/\psi K_L$
- $\pi^- \pi^+, \rho^- \rho^+$
- $\phi K_S, \phi K_L$
- $D^+ D^-$



Kršitev CP v razpadih $B \rightarrow J/\psi K_S$ in $B \rightarrow J/\psi K_L$

Za $B \rightarrow J/\psi K_S, J/\psi K_L$ je $|\lambda| = 1 \rightarrow$

$$a_f = -\text{Im}(\lambda_f) \sin(\Delta mt)$$

in

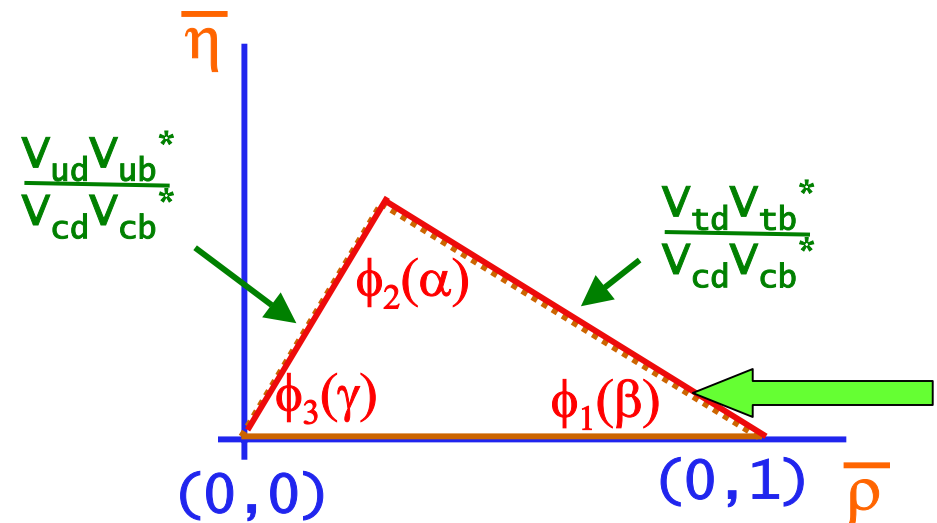
$$\text{Im}(\lambda_f) = \xi_f \sin 2\phi_1$$

ϕ_1 : kot unitarnega trikotnika

ξ_f : CP parnost končnega stanja

$$\xi_f = \pm 1 \text{ za } CP = \pm 1$$

$$J/\psi K_S : -1, \quad J/\psi K_L : +1$$

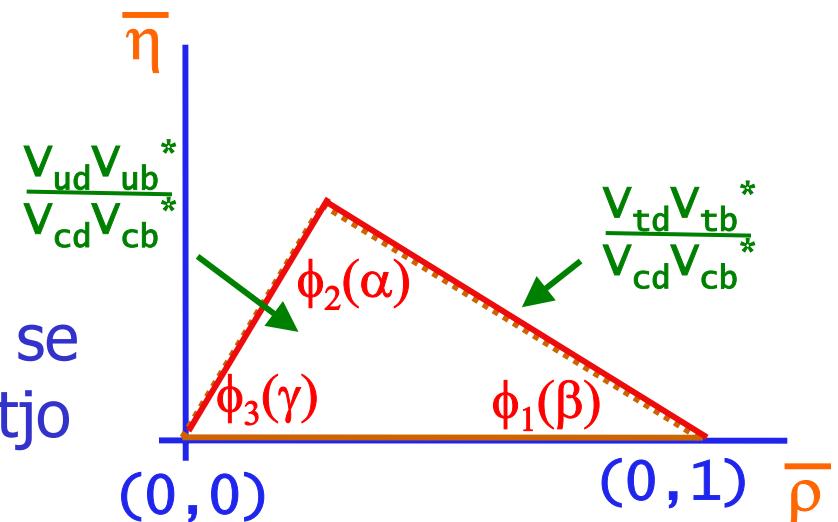




Meritev kršitve CP v $B \rightarrow J/\psi K_S$ in $B \rightarrow J/\psi K_L$

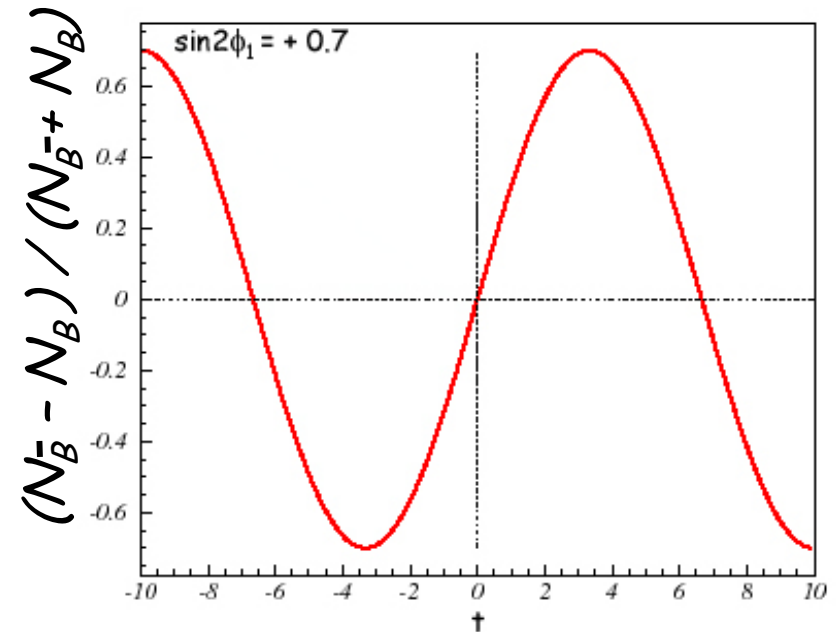
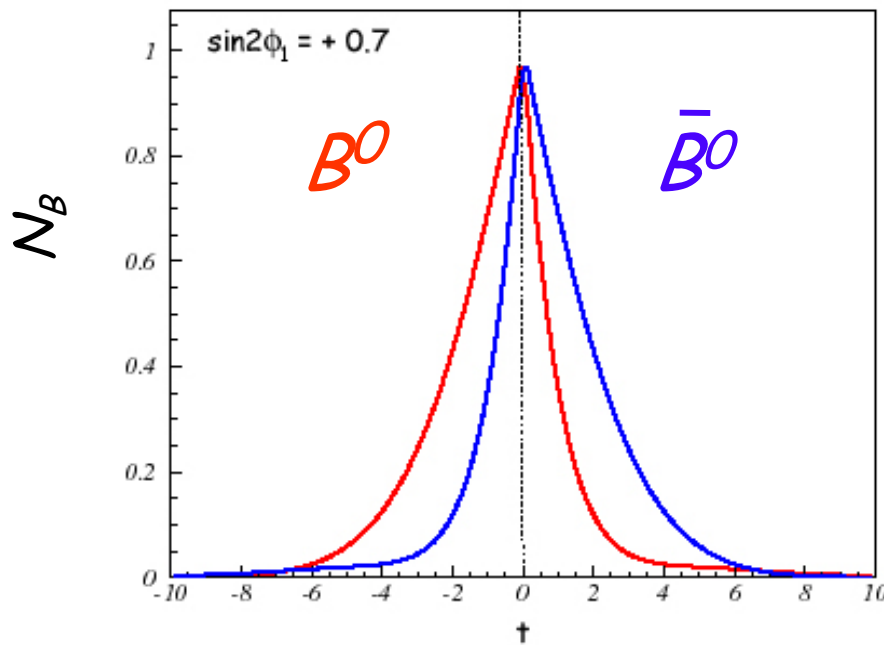
Pomen meritve:

- Z njo izmerimo **kršitev CP** v sistemu mezonov B
- V okviru SM nam omogoči **meritev kompleksnih** matričnih elementov matrike **CKM**
- Preverjanje konsistentnosti SM: **kot** se mora ujemati s pričakovano vrednostjo iz meritev **stranic** trikotika
- Konsistentnost slike: **asimetriji** za $J/\psi K_S$ in $J/\psi K_L$ morata imeti **nasproten predznak**





Kršitev CP: asimetrija v razpadni verjetnosti



$$\rightarrow a(t) = \frac{P(\bar{B}^0(t) \rightarrow f_{CP}) - P(B^0(t) \rightarrow f_{CP})}{P(\bar{B}^0(t) \rightarrow f_{CP}) + P(B^0(t) \rightarrow f_{CP})} = \xi_f \sin 2\phi_1 \sin \Delta m_B t$$

$$\xi_f = \pm 1 \text{ for } CP = \pm 1$$



Meritev kršitve CP pri mezonih B

Kako izmeriti kršitev CP pri mezonih B?

Najprej jih moramo ustvariti: uporabimo reakcijo pri trku elektrona in pozitrona z dovolj veliko energijo: $e^- e^+ \rightarrow Y(4s) \rightarrow B^0 \bar{B}^0$

Nato počakamo, da eden od obeh B^0 razpade v stanje, za katero vemo, kakšna je njegova CP parnost (torej kako se obnaša pri simetrijski operaciji CP). Primer takega stanja je razpad

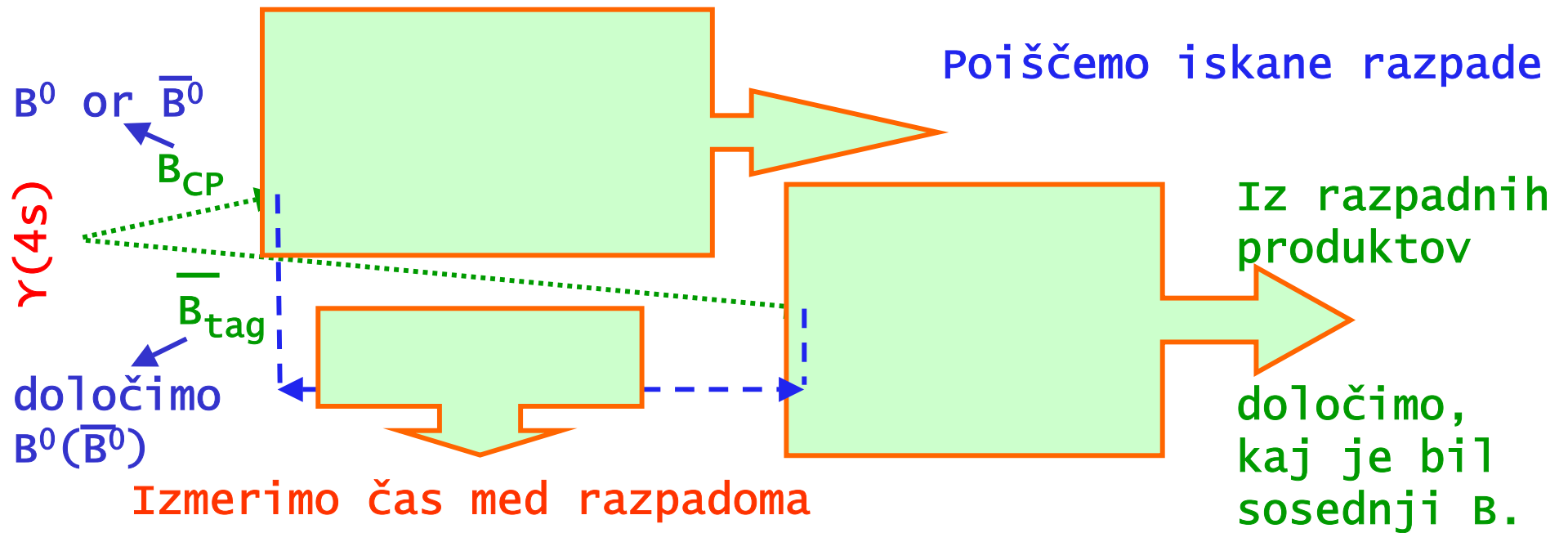
$B^0 \rightarrow J/\psi K_S$. Razpadna produkta naprej razpadeta:

$J/\psi \rightarrow \mu^- \mu^+$ in $K_S \rightarrow \pi^- \pi^+$

Izmeriti moramo, **kje** se je to zgodilo, in določiti ali je v $J/\psi K_S$ razpadel B^0 ali njegov **anti-delec** \bar{B}^0 (=meritev okusa B).



Kako merimo kršitev CP





Trkalnik KEK-B in detektor Belle v Tsukubi



13. marec 2006

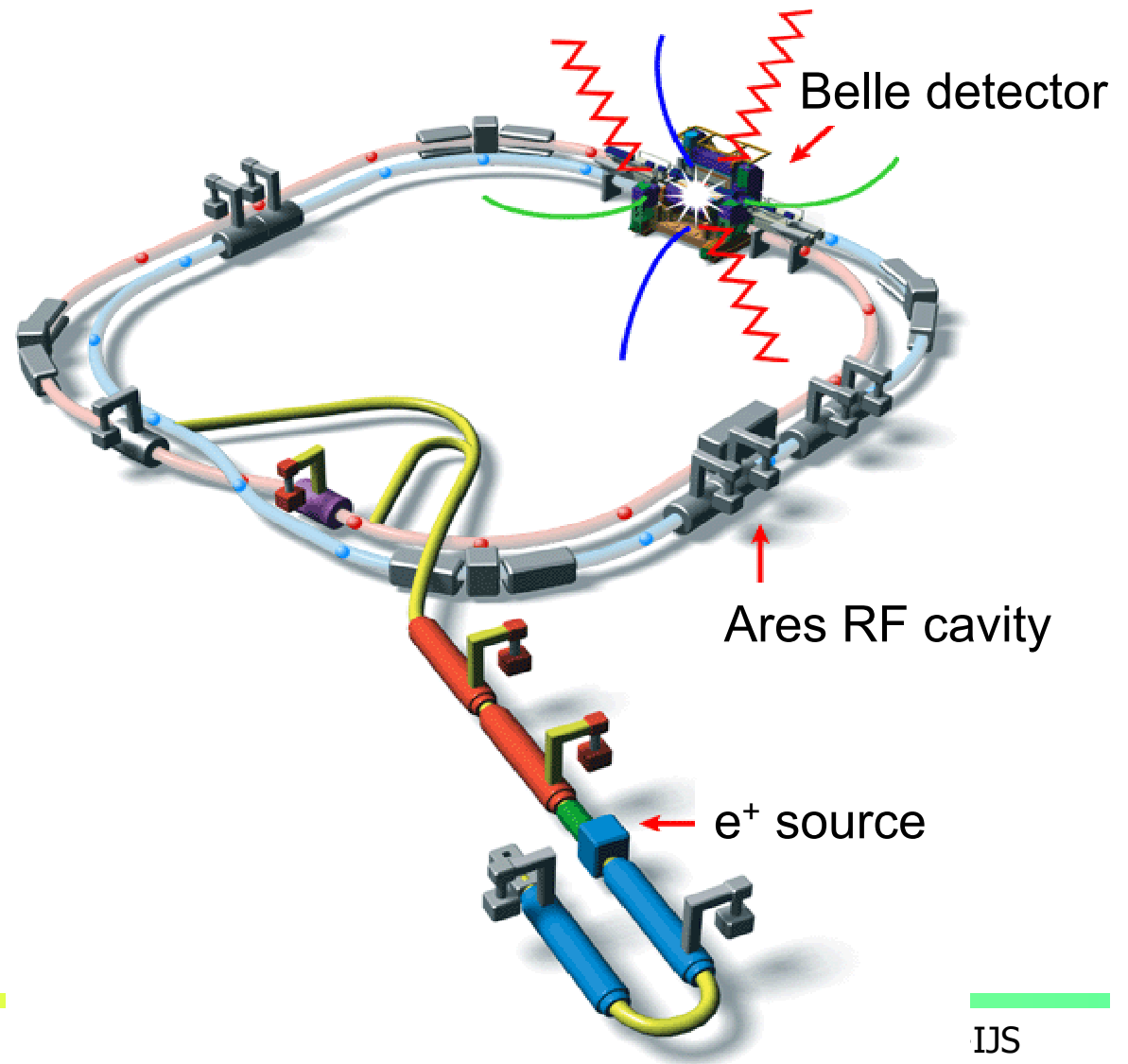
Kolokvij, FMF

Peter Križan, FMF+IJS



Trkalnik KEK-B

pospešuje elektrone in pozitrone do trka



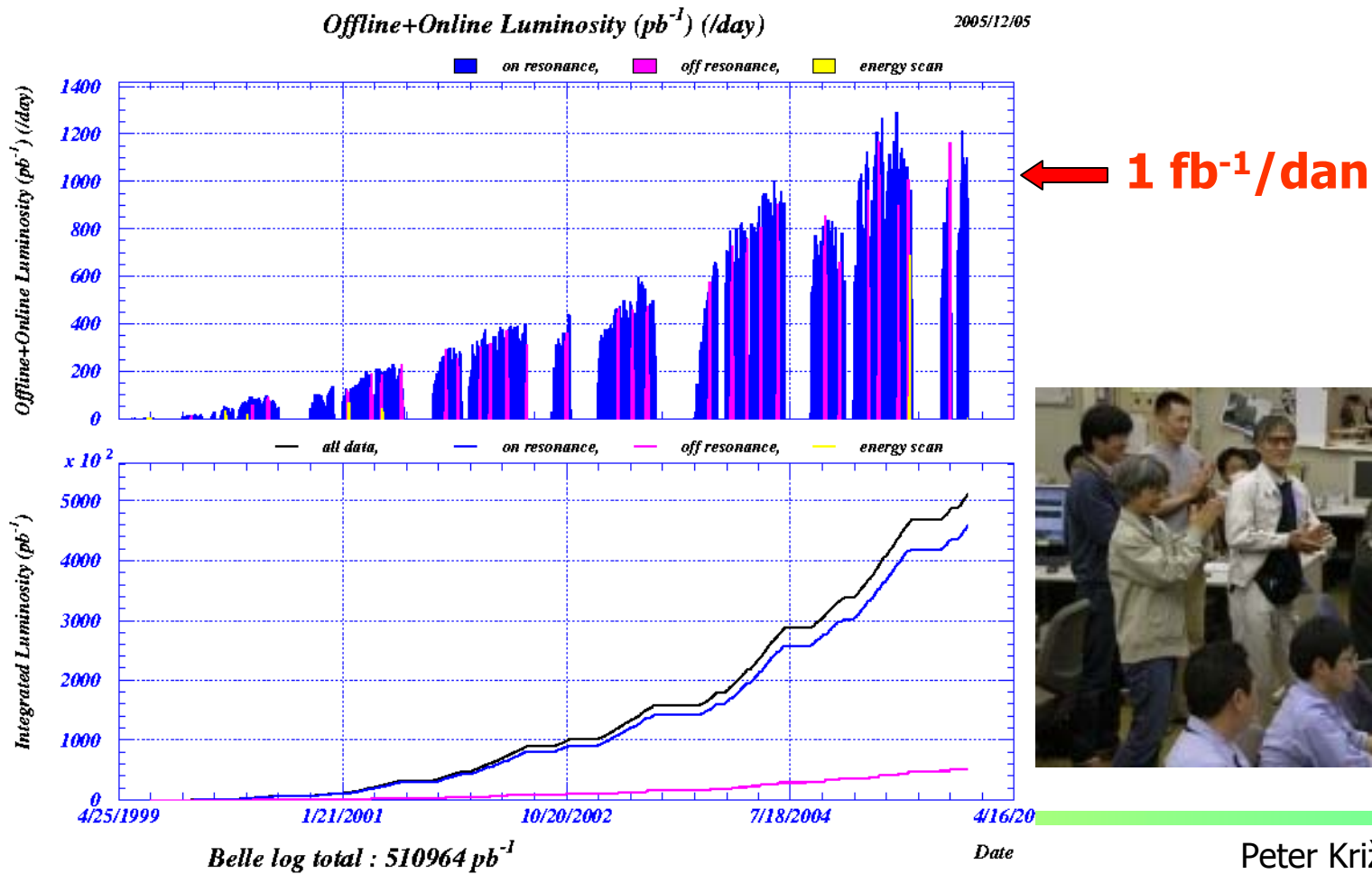
13. marec 2006

IJS



Mejnik v luminoznosti KEK-B: $500 \text{ fb}^{-1} = 0.5 \text{ ab}^{-1}$

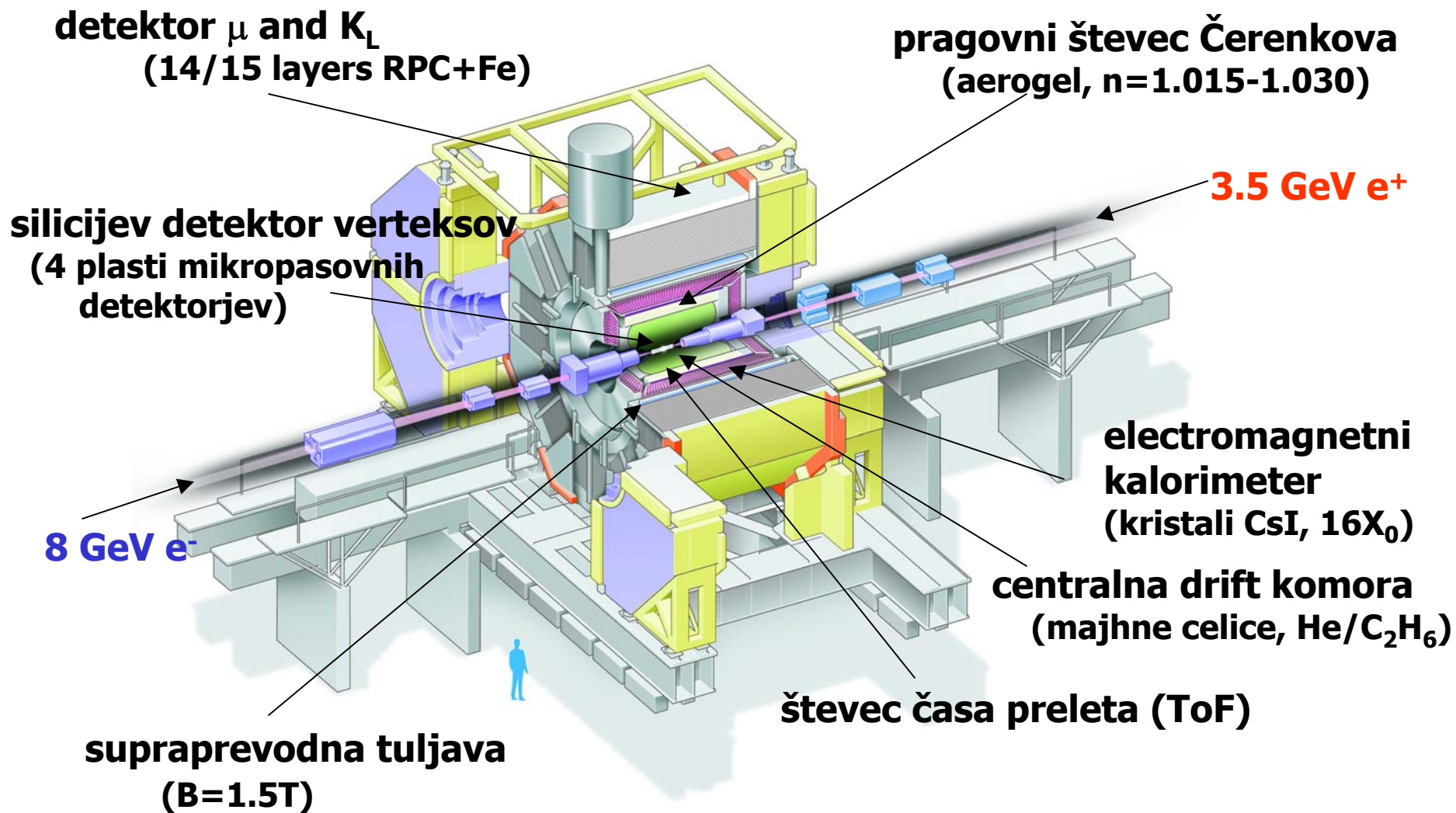
Zbranih $> 500 \text{ M}$ parov BB!



Peter Križan, FMF+IJS



Spektrometer Belle





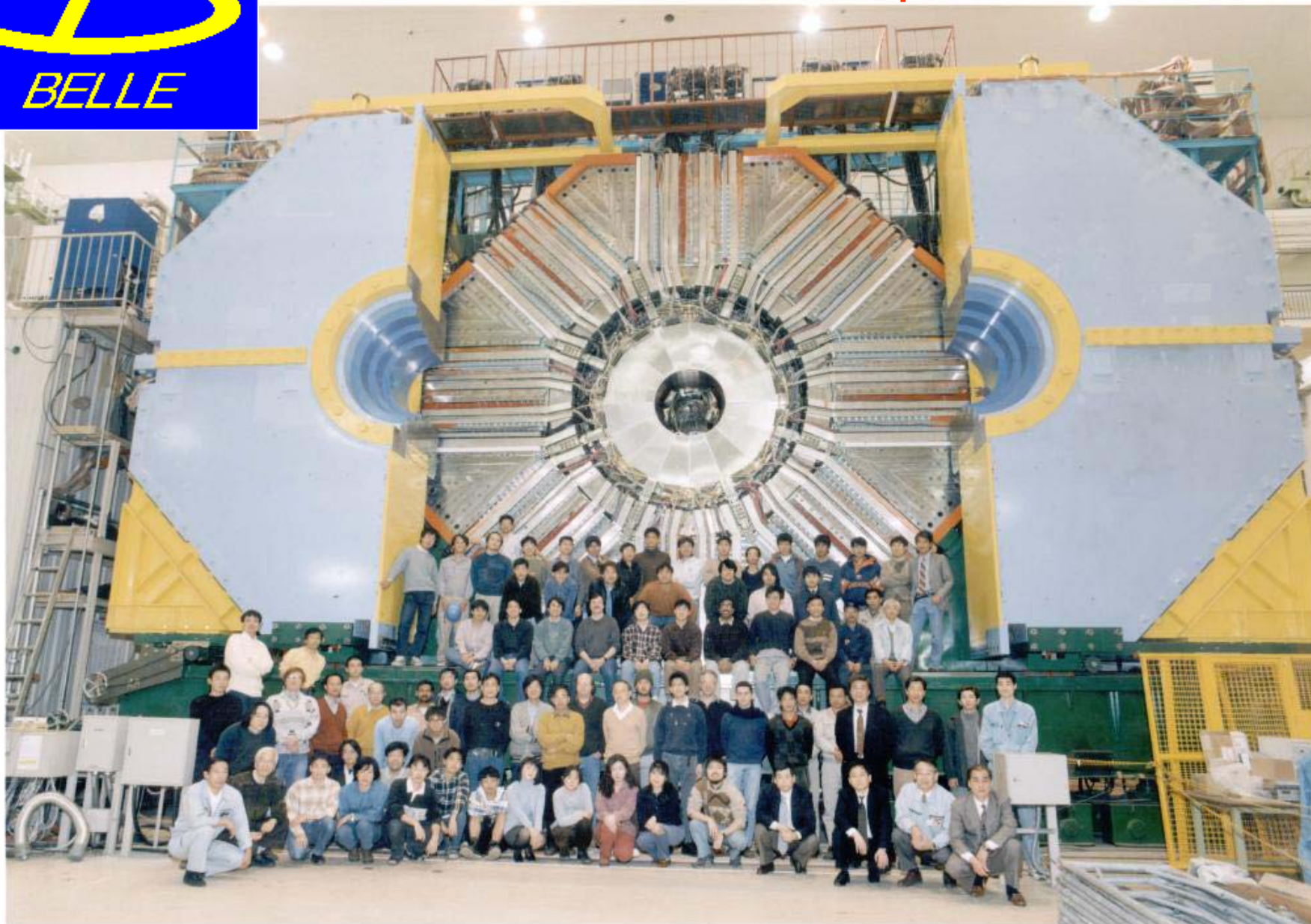
Detektor verteksov

- Eden bistvenih elementov detektorja je detektor verteksa, točke, kjer je mezon B razpadel.
- Zelo občutljiv kos aparature iz $300\mu\text{m}$ debelih silicijevih plošč z gosto nanešenimi elektrodami: natančnost meritve mesta preleta nabitega delca: $10\mu\text{m}$!





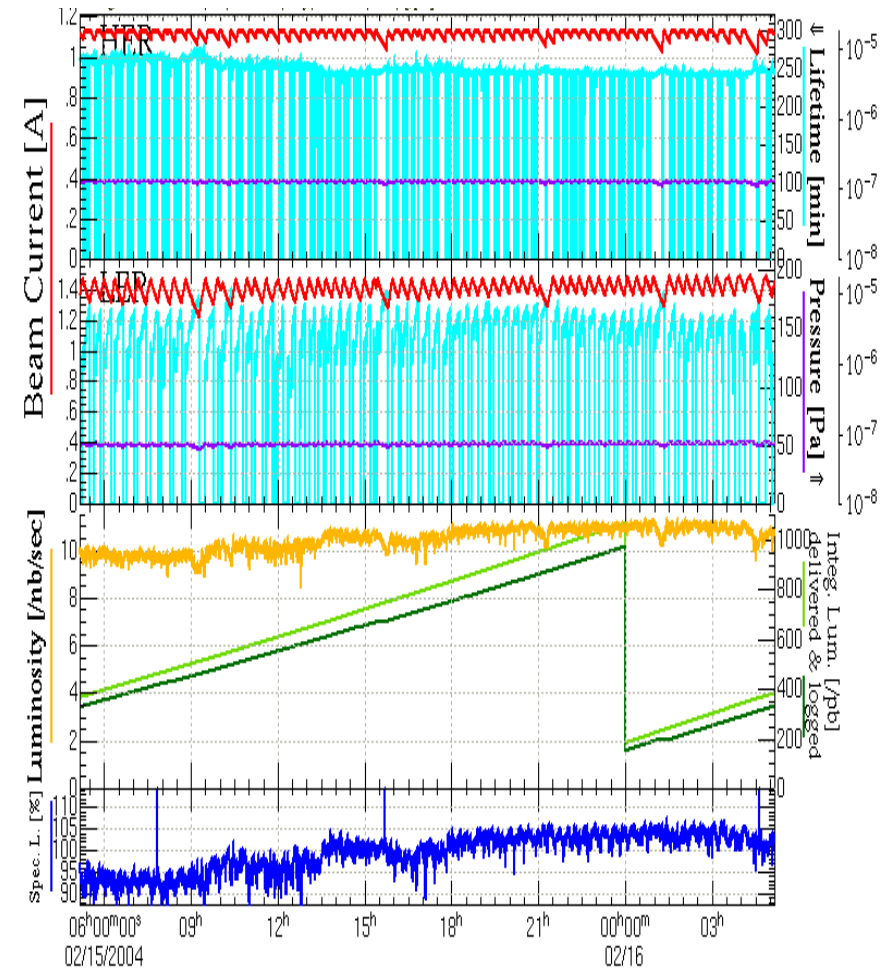
Spektrometer Belle in del raziskovalne skupine





S potrpežljivim merjenjem, dan in noč, nekaj let...

Kontrolna soba eksperimenta Belle:
nadzor na vseh komponentami
detektorja, prenosom in
shranjevanjem podatkov



V enem dnevu naberemo \sim trikrat toliko podatkov kot v celotnem času obratovanja eksperimenta ARGUS...



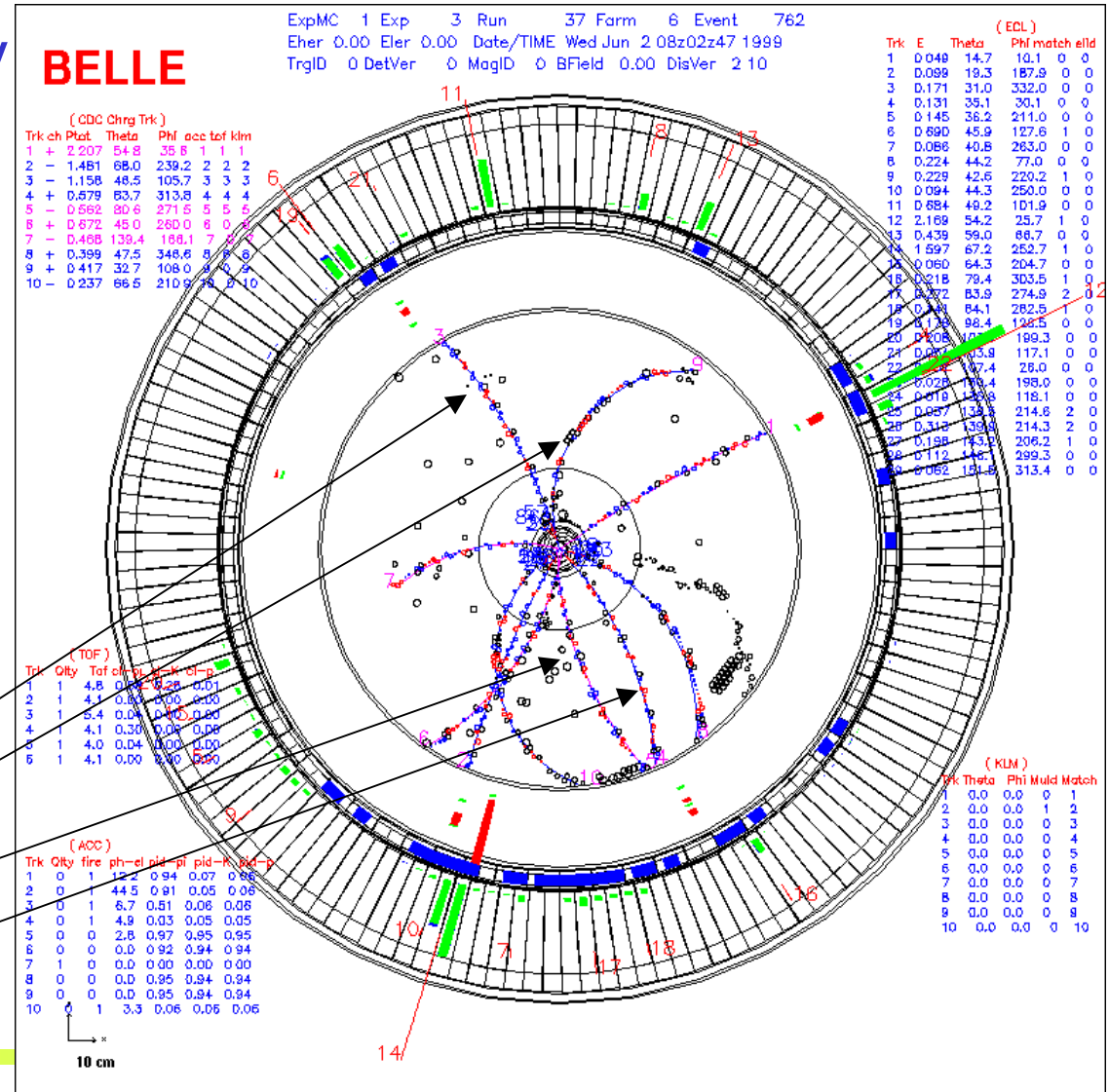
Kaj izmerimo z detektorjem?

- sledi nabitih delcev v magnetnem polju (polmer kroga je odvisen od gibalne količine delca)
- koordinate točke, od koder sledi izhajajo
- dodatne podatke o identiteti delca

$$B^0 \rightarrow K_S J/\psi$$

$$K_S \rightarrow \pi^- \pi^+$$

$$J/\psi \rightarrow \mu^- \mu^+$$





2001, rezultat meritve: CP je kršena!

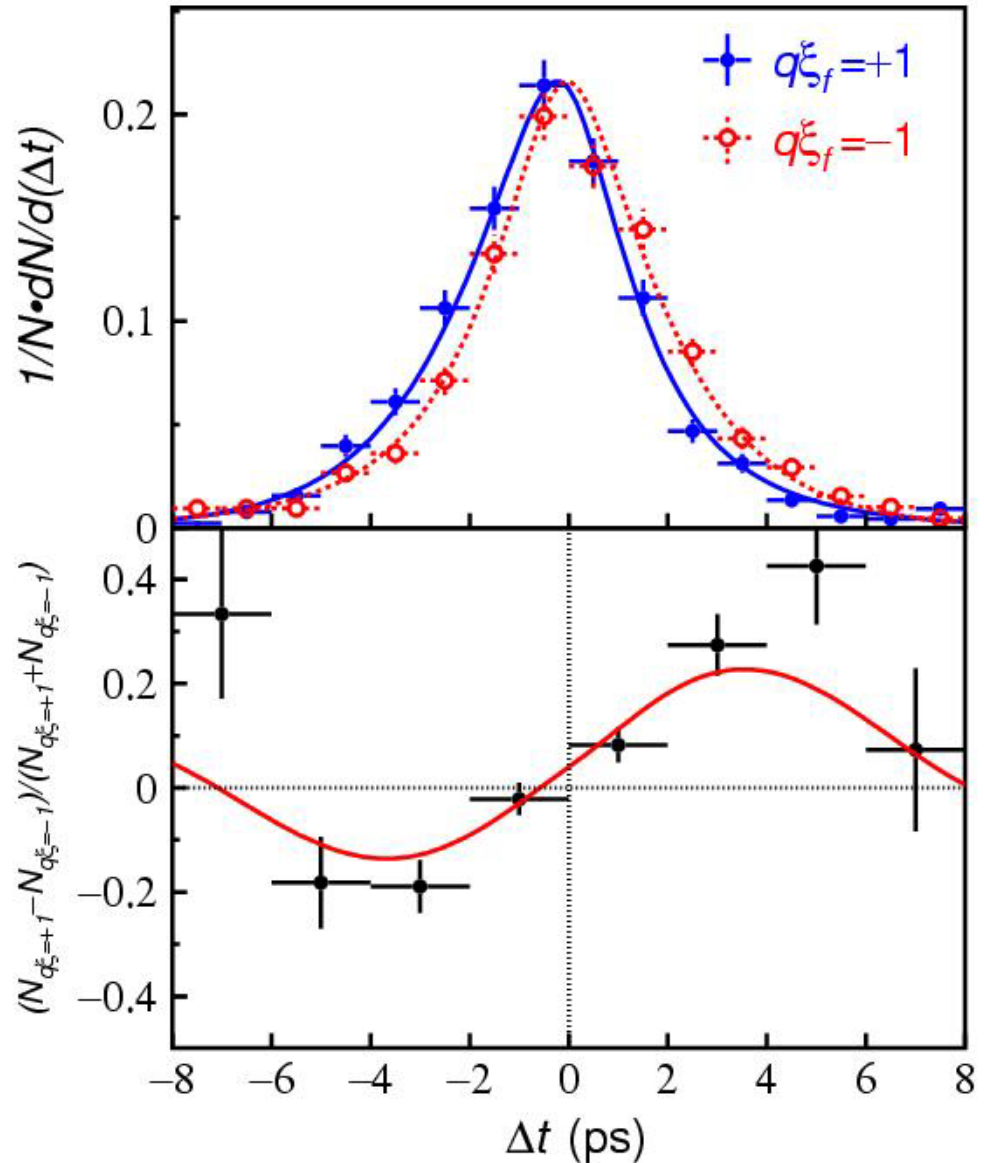
Razlika med delci in antidelci:

Modra: časovni potek razpada anti-B

Rdeča: isto za B

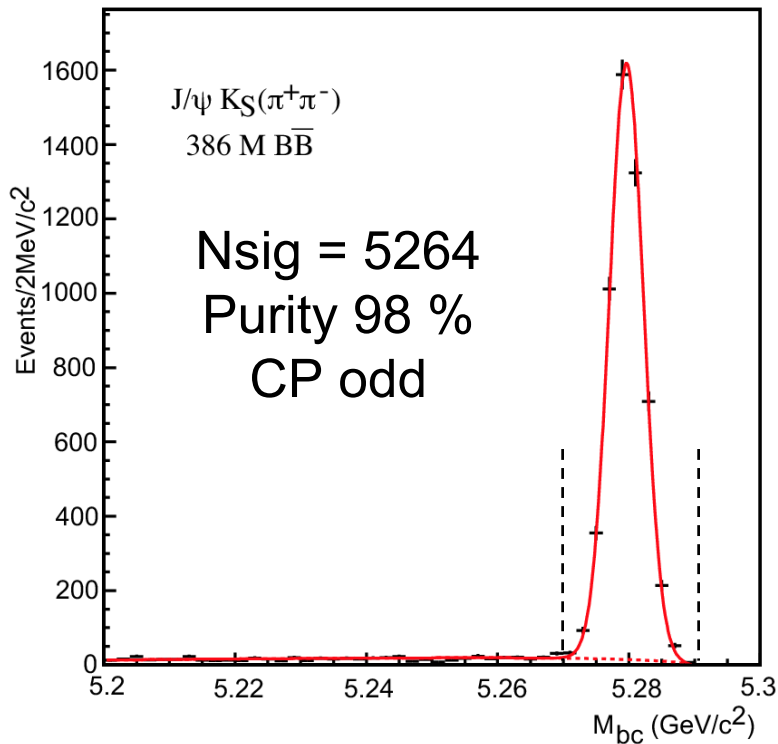
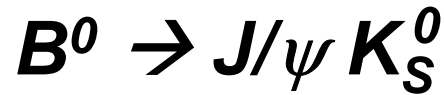
Razlika med obema porazdelitvama

→objavi v PRL in PRD imata več kot 500 citatov!

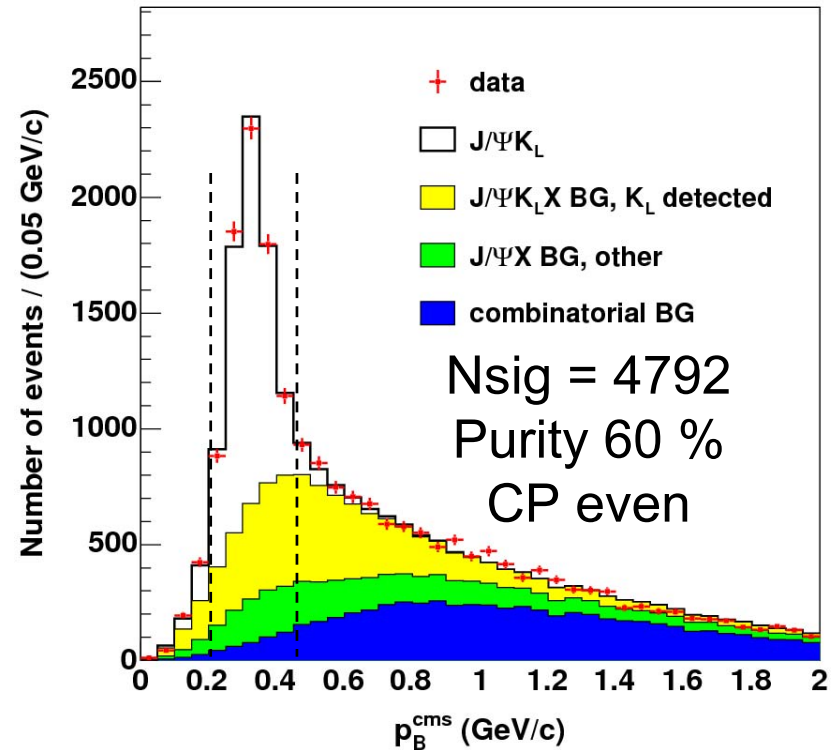




2005: $B^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^0$ with 386 M $B\bar{B}$ pairs



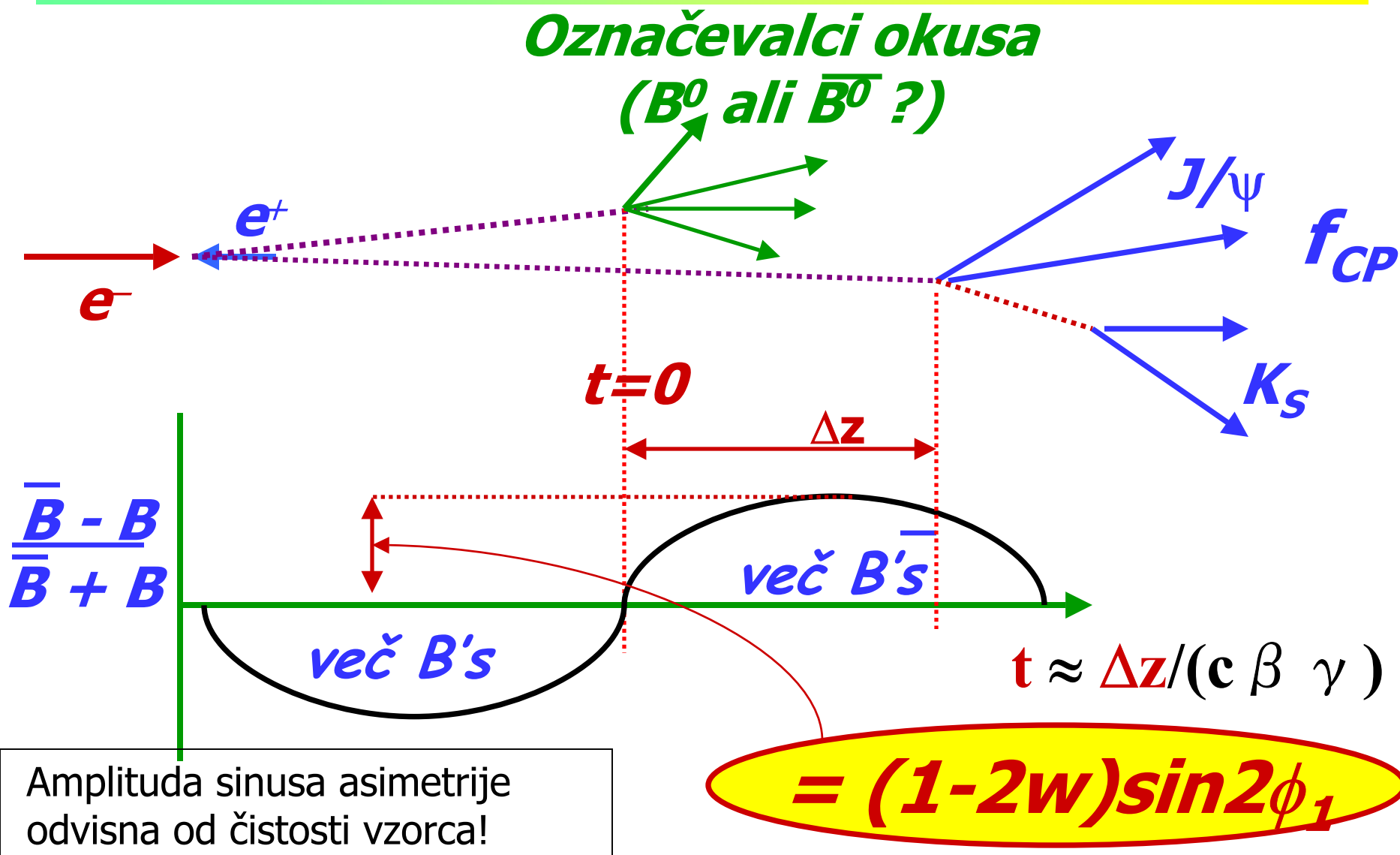
$$M_{bc} = \sqrt{E_{beam}^{*2} - P_{J/\psi K_S}^{*2}}$$



p_B^* (momentum in CM)



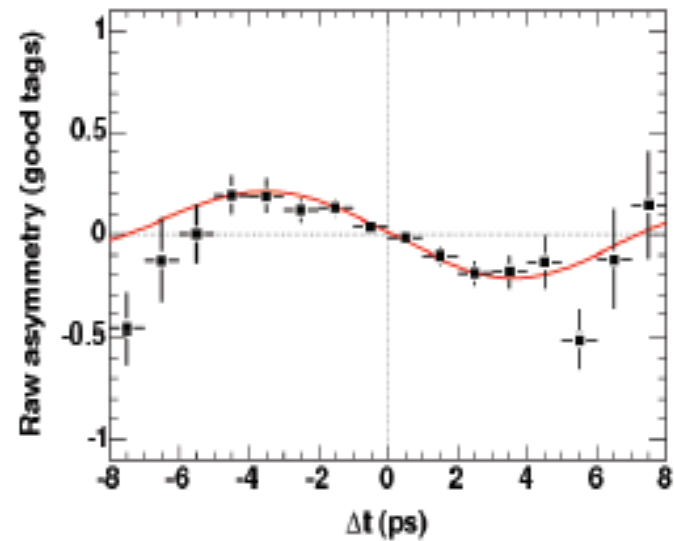
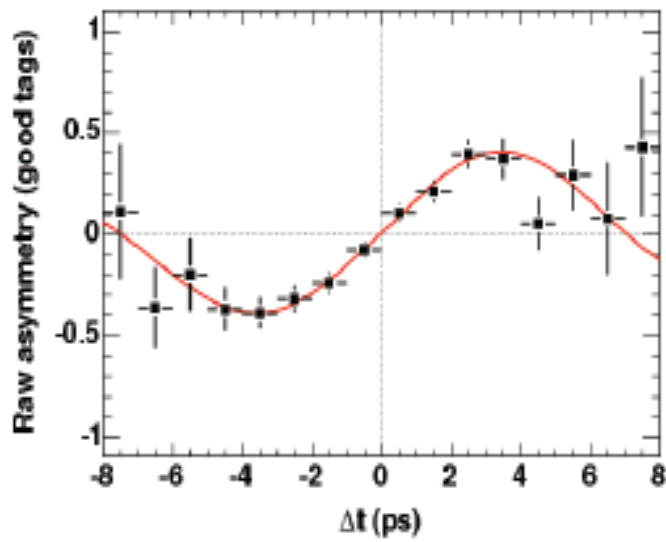
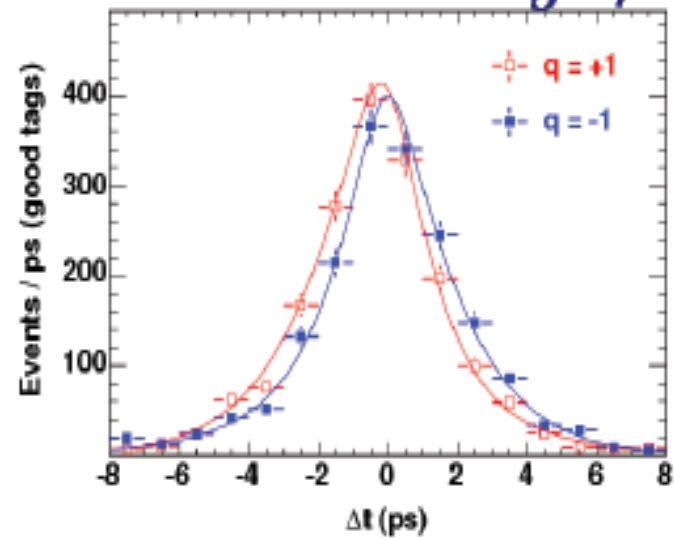
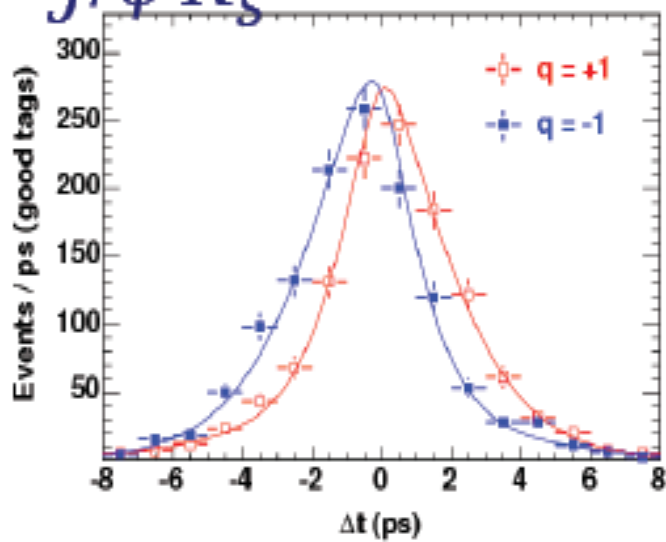
Principle of CPV Measurement





$J/\psi K_S$ Belle ($386 \times 10^6 B\bar{B}$)

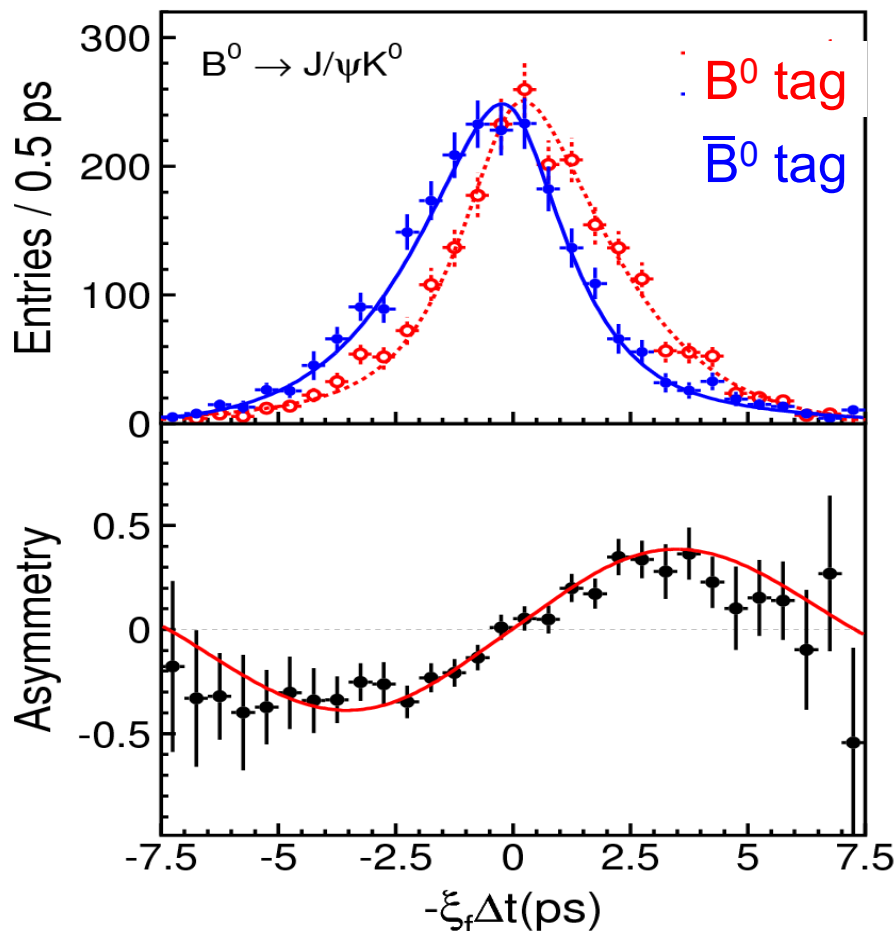
$J/\psi K_L$





2005: $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$

$\sin 2\phi_1 = 0.652 \pm 0.039$ (stat) ± 0.020 (syst)
 $C = 0.010 \pm 0.026$ (stat) ± 0.036 (syst)



$$a_f = S \sin(\Delta mt) + C \cos(\Delta mt)$$

Sestavljen vzorec, razpadi

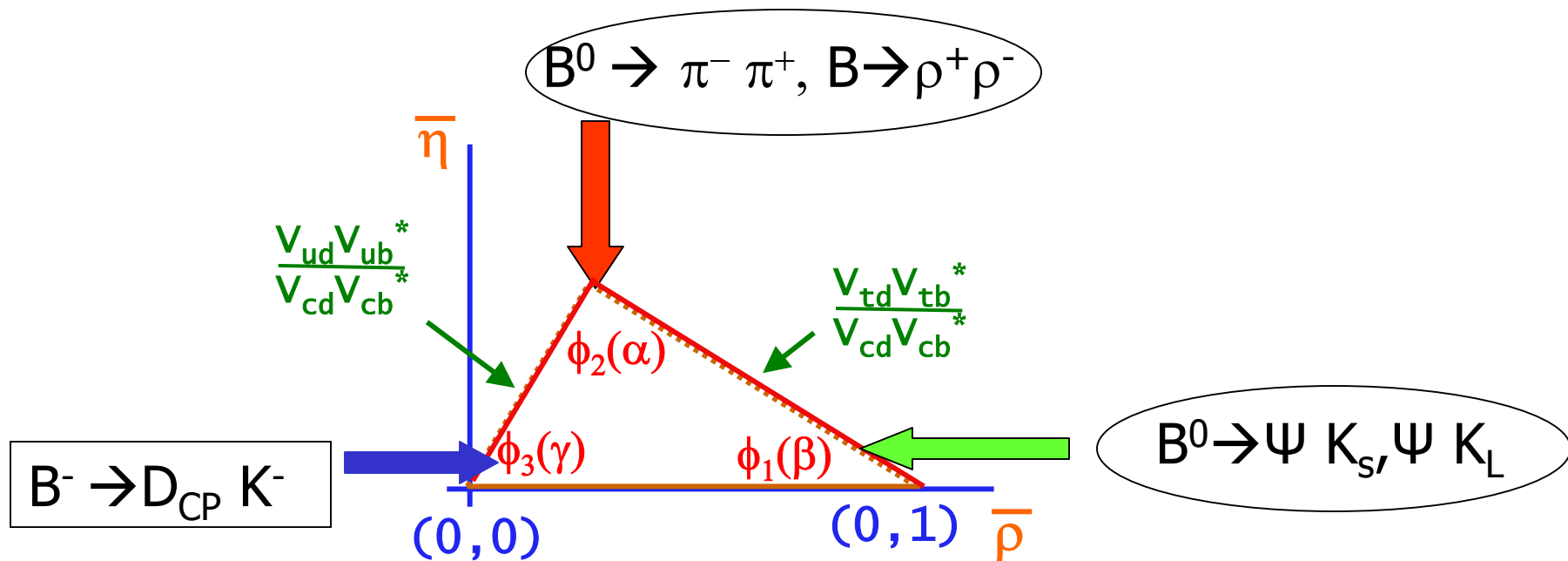
- $J/\psi K_S$: $N(\Delta t)$,
- $J/\psi K_L$: $N(-\Delta t)$

2001: odkritje \rightarrow

2005: precizijska meritev!



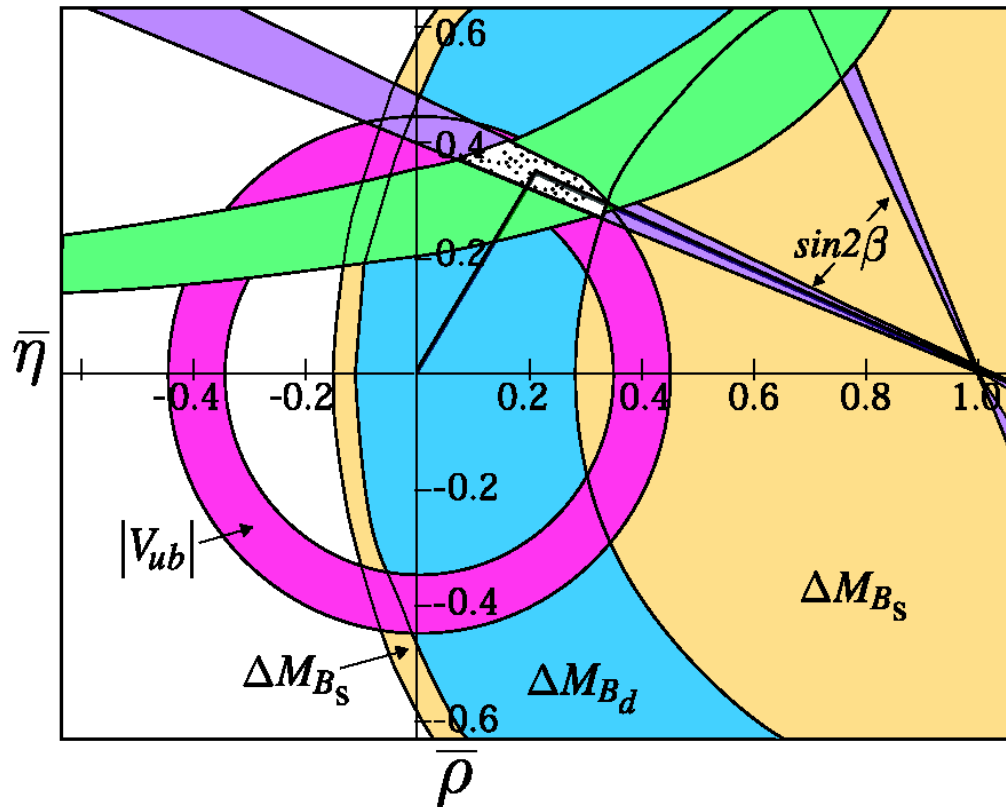
Trije koti: (ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3) ali (β, α, γ)



Velika vprašanja: *Ali so meritve kotov konsistentne z meritvami stranic trikotnika? Ali so meritve kotov konsistentne, če jih merimo v procesih, ki potekajo v drevesnem redu ali preko zank?*

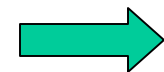
Meritve unitarnega trikotnika

Ali so meritve *kotov* konsistentne z meritvami *stranic* trikotnika?



Konsistentna slika!

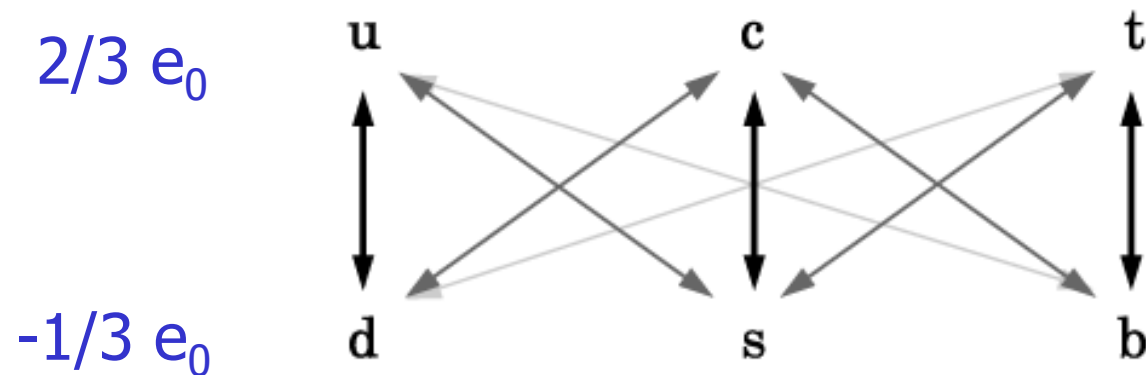
Ali so meritve kotov konsistentne, če jih merimo v procesih, ki potekajo v *drevesnem* redu ali preko *zank*?





Prehodi med kvarki brez spremembe naboja

V SM dovoljeni le prehodi med kvarki, pri katerih se spremeni naboj ($2/3 \leftrightarrow -1/3$).

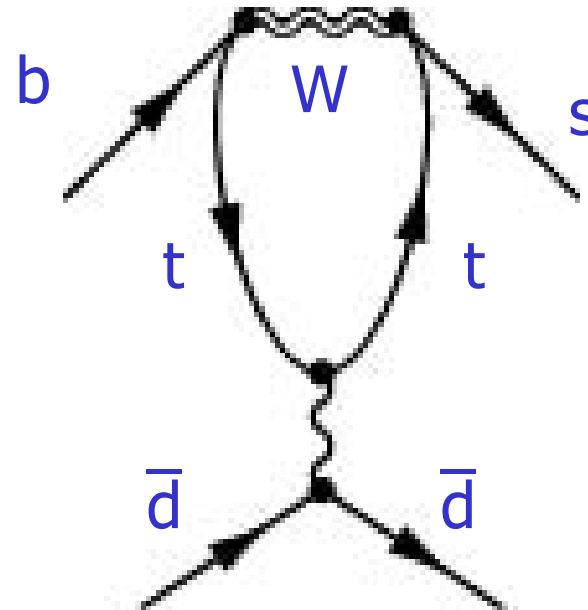


Prehodi med kvarki, pri katerih se ne spremeni naboj ($-1/3 \rightarrow -1/3$), recimo $b \rightarrow s$, $b \rightarrow d$, so v SM možni le v višjem redu, preko zank.



Pingvinski diagrami

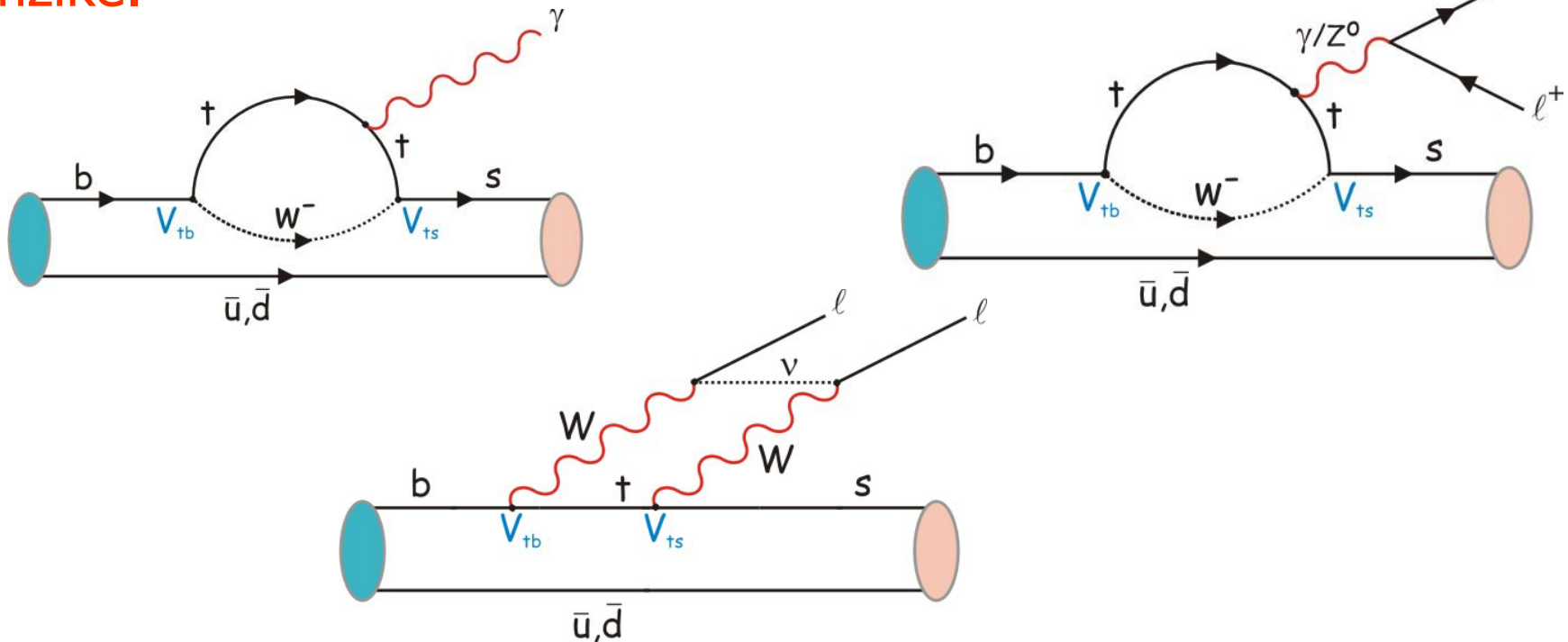
Na primer: prehod $b \rightarrow s$





Zakaj so zanimivi prehodi med kvarki brez spremembe naboja?

Ker so taki procesi (=Flavour changing neutral current - FCNC) prepovedani v drevesnem redu, potekajo le preko diagramov višjega reda z zankami. So idealni za iskanje fizikalnih pojavov izven Standardnega modela, t.i. Nove fizike.

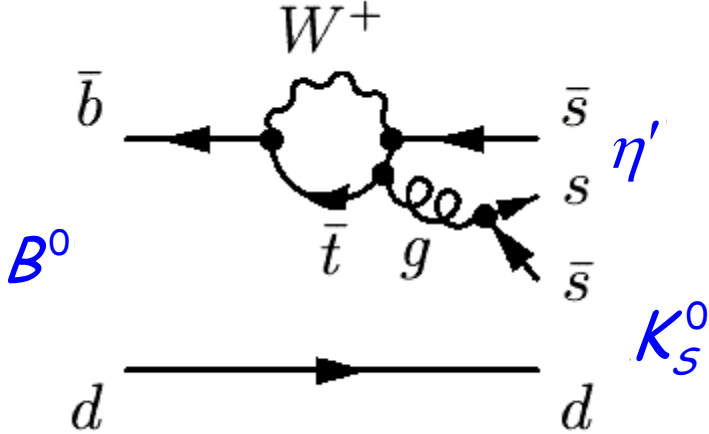




Kako bi lahko nova fizika prispevala k prehodu $b \rightarrow s$?

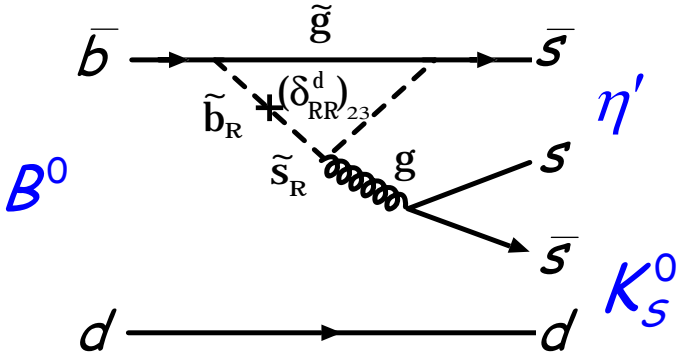
Na primer v procesu:

$$B^0 \rightarrow \eta' K^0$$



Običajen pingvinski diagram s kvarkom t v zanki

Diagram s supersimetričnimi delci v zanki

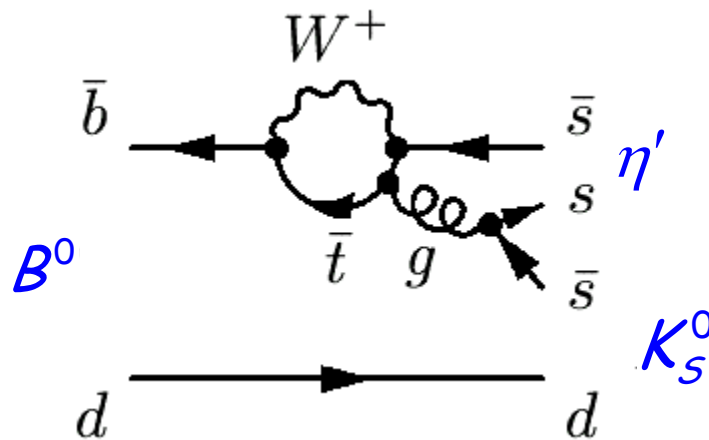




Iskanje odstopanja od Standardnega modela pri kršitvi CP v prehodih $b \rightarrow s$

Napoved SM za asimetrijo pri razpadu: $B^0 \rightarrow \eta' K^0$

$$a_f = -\text{Im}(\lambda_f) \sin(\Delta m t)$$



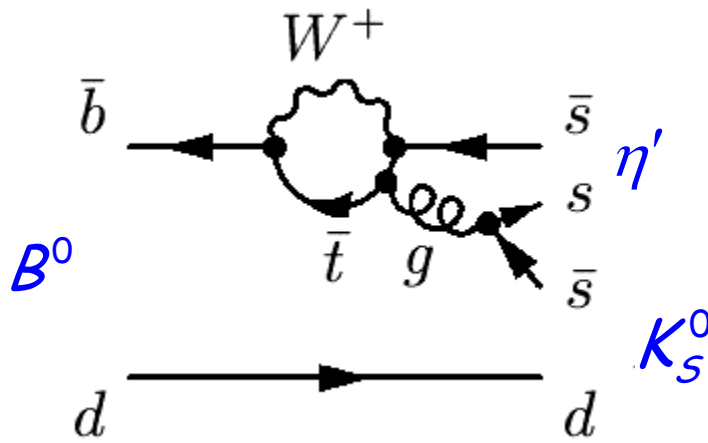
$$\text{Im}(\lambda_f) = \xi_f \sin 2\phi_1$$

Enaka vrednost kot pri razpadu $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$!

To je seveda res, če v zanki ne nastopajo novi delci. V splošnem je ima parameter $\sin 2\phi_1$ lahko drugačno vrednost, označimo jo s $\sin 2\phi_1^{\text{eff}}$



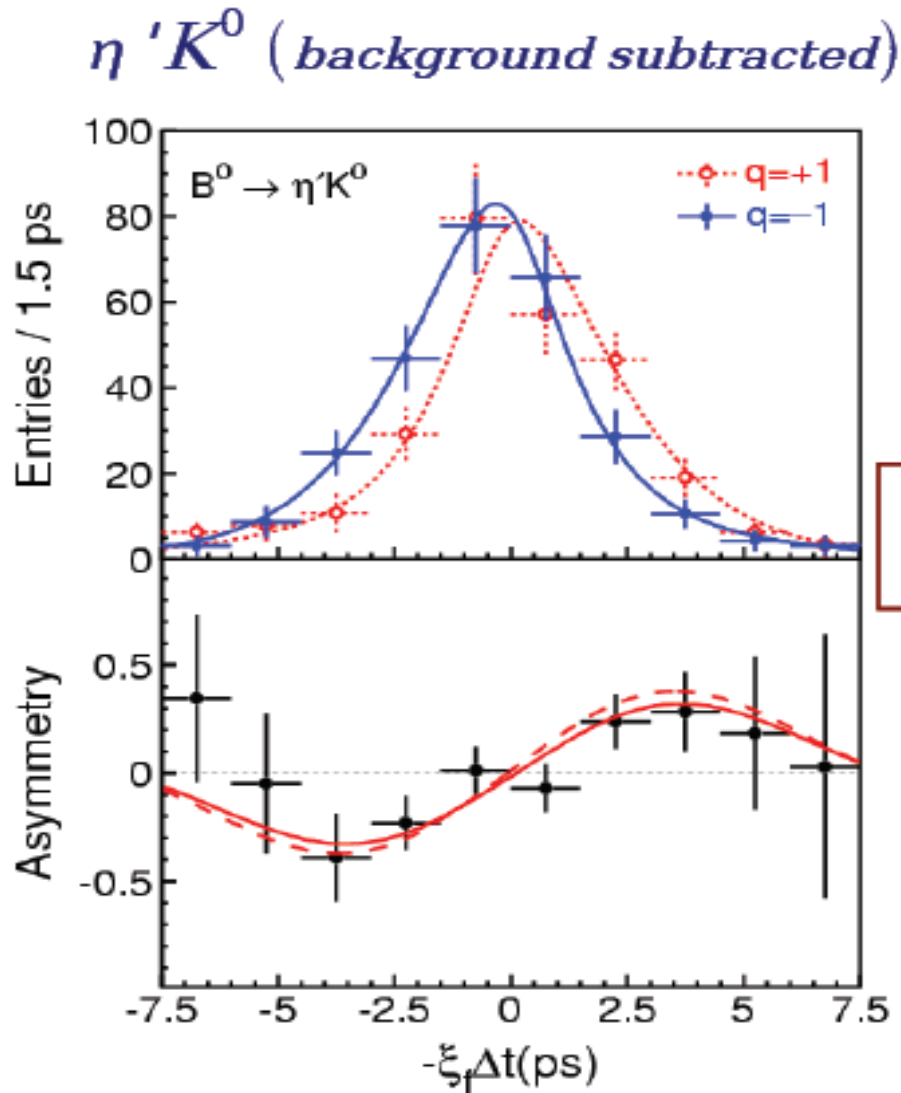
Iskanje odstopanja od Standardnega modela pri kršitvi CP v prehodih $b \rightarrow s$



S primerjavo $\sin 2\phi_1^{\text{eff}}$ z vrednostjo $\sin 2\phi_1$ (iz razpada $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$) poskušamo podobno kot pri ARGUSovi meritvi mešanja: s precizno meritvijo pri nizkih energijah skušamo odkriti pojave, ki so pomembni na bistveno višji energijski skali.



Meritev kršitve CP v procesih $b \rightarrow s$



$$\sin 2\phi_1 = +0.62 \pm 0.12 \pm 0.04$$
$$A = -0.04 \pm 0.08 \pm 0.06$$

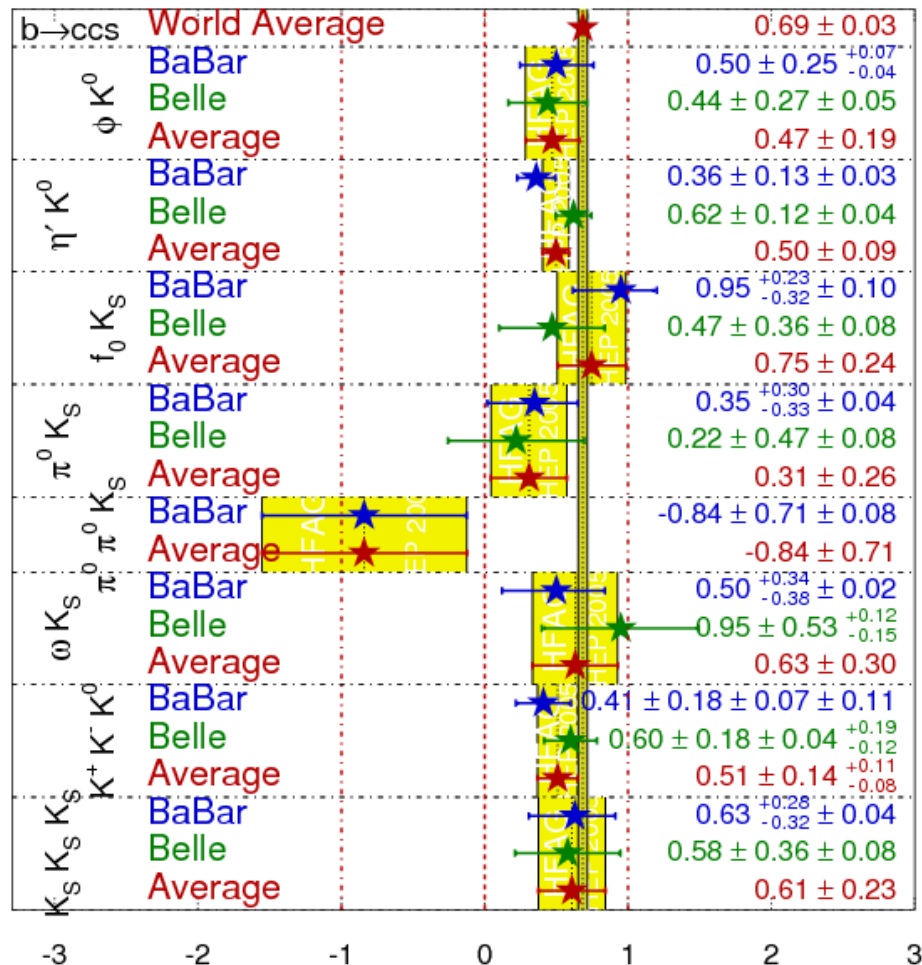
significance $> 4\sigma$



Premerili smo kopico razpadov tipa $b \rightarrow s$

$\sin(2\beta^{\text{eff}})/\sin(2\phi_1^{\text{eff}})$ **HFAG**
HEP 2005
PRELIMINARY

Belle data: hep-ex/0507037



Razpadi tipa $b \rightarrow s$

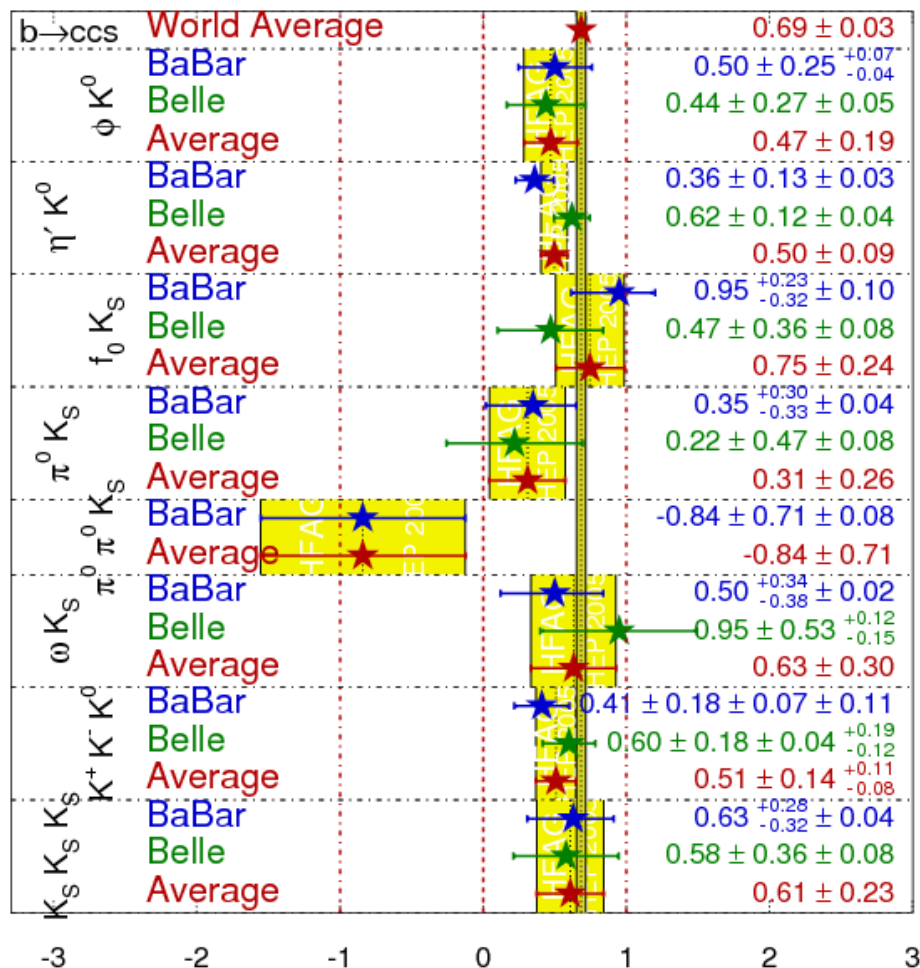
- $\phi K_S, \phi K_L$
- $\eta K_S, \eta K_L$
- $\omega K_S, f_0 K_S$
- $K_S K_S K_S, K_S K^+ K^-$
- $\pi^0 K_S, \pi^0 \pi^0 K_S$

→ Večina sistematsko nižje kot vrednost $\sin 2\phi_1$ iz meritev razpada $B \rightarrow J/\psi K^0$

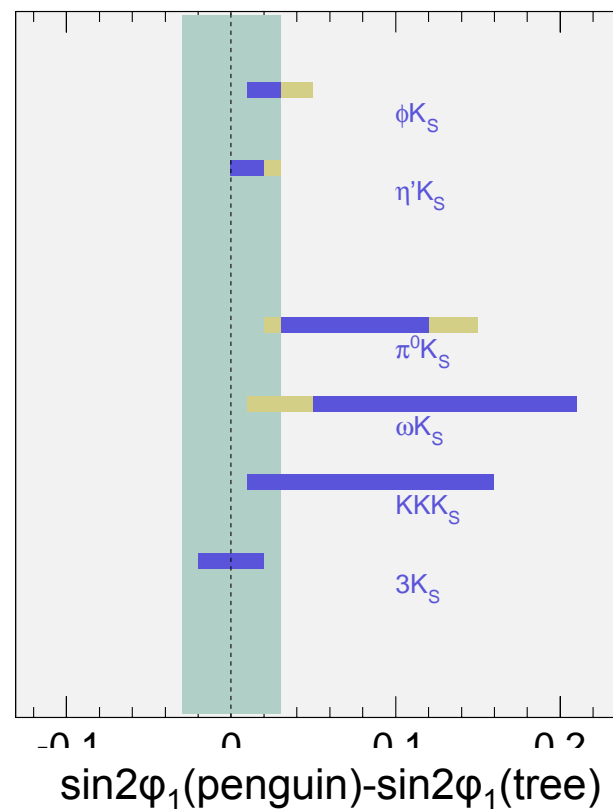


Primerjava s teoretskimi napovedmi za $b \rightarrow s$

$\sin(2\beta^{\text{eff}})/\sin(2\phi_1^{\text{eff}})$ **HFAG**
HEP 2005
PRELIMINARY



Teoretski popravki (v okviru SM) k vrednosti $\sin 2\phi_1$ kažejo v drugo smer



[Beneke, hep-ph/0505075]

[Cheng, Chua, Soni, hep-ph/0506268]

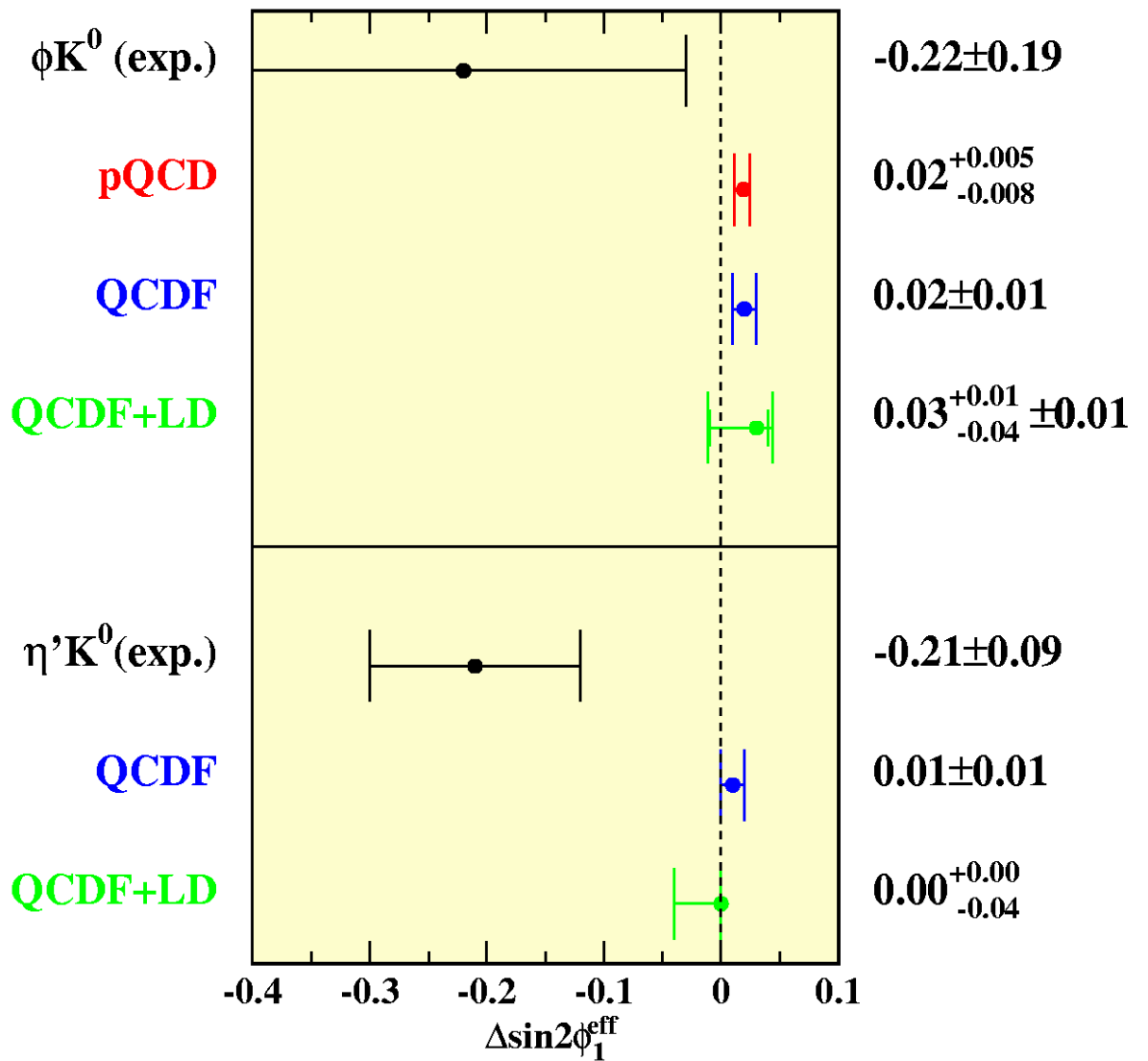


Ali tu diši po Novi fiziki?

$\Delta\sin 2\phi_1^{\text{eff}}$ in $b \rightarrow s\bar{q}q$ golden modes (July 2005)

Teoretski popravki v SM so majhni in kažejo v obratno smer kot izmerjena odstopanja.

Toda: Zaradi majhnosti vzorcev je eksperimentalna statistična napaka velika!

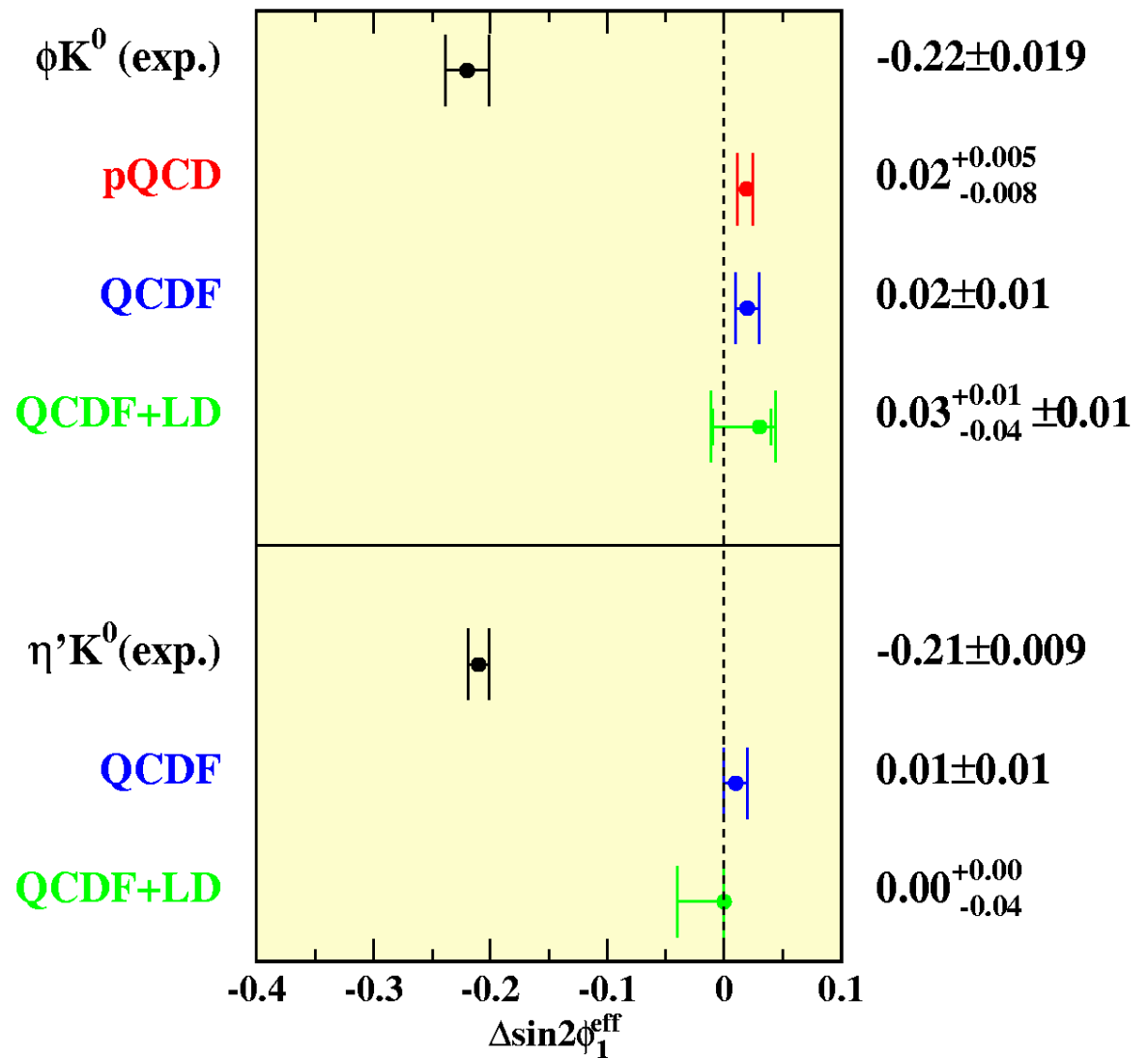




Kaj pa s 100x več podatki?

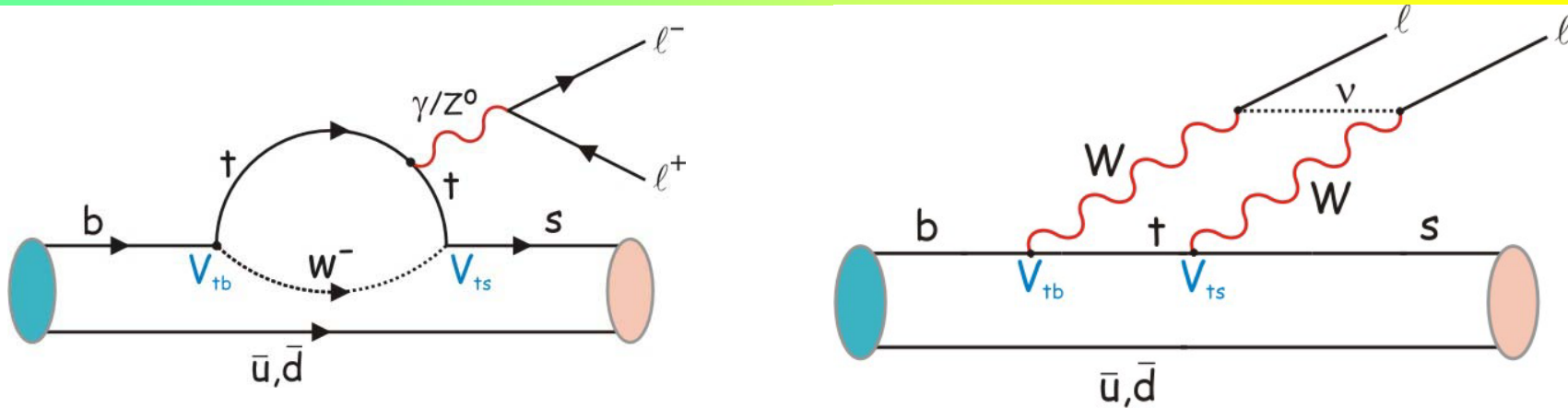
Projection for Super B Factory (50ab^{-1})

Naslednja generacija tovarne mezonov B, Super B, bo lahko odgovorila na to vrašanje.





Še en proces tipa FCNC: $B \rightarrow K^* l^+ l^-$



Prehod $b \rightarrow s l^+ l^-$ smo prvi opazovali v razpadu $B \rightarrow K l^+ l^-$ (2001)

Dva različna tipa zank, pingvin in škatla: dodatno okno za iskanje fizike izven SM

$$\frac{d\Gamma(b \rightarrow s l^+ l^-)}{d\hat{s}} = \left(\frac{\alpha_{em}}{4\pi}\right)^2 \frac{G_F^2 m_b^5 |V_{ts}^* V_{tb}|^2}{48\pi^3} (1 - \hat{s})^2 \quad C_i: \text{Wilsonovi koeficienti}$$

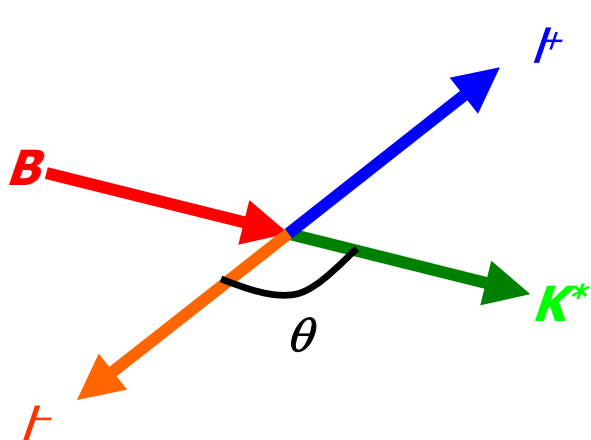
$$\times \left[(1 + 2\hat{s}) \left(|C_9^{\text{eff}}|^2 + |C_{10}^{\text{eff}}|^2 \right) + 4 \left(1 + \frac{2}{\hat{s}} \right) |C_7^{\text{eff}}|^2 + 12 \text{Re}(C_7^{\text{eff}} C_9^{\text{eff}*}) \right]$$



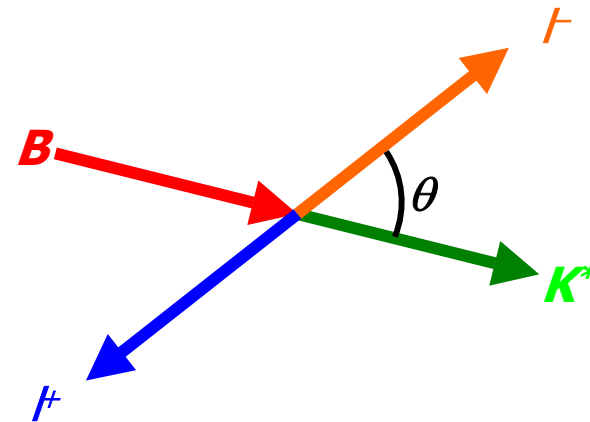
Posebno občutljiva:

A_{FB} , asimetrija naprej-nazaj v $K^* l^+ l^-$

$$A_{FB}(q^2) = \frac{\int_0^1 \frac{d^2\Gamma}{dq^2 d\cos\theta} d\cos\theta - \int_{-1}^0 \frac{d^2\Gamma}{dq^2 d\cos\theta} d\cos\theta}{\int_0^1 \frac{d^2\Gamma}{dq^2 d\cos\theta} d\cos\theta + \int_{-1}^0 \frac{d^2\Gamma}{dq^2 d\cos\theta} d\cos\theta}$$



Končno stanje tipa 'nazaj'

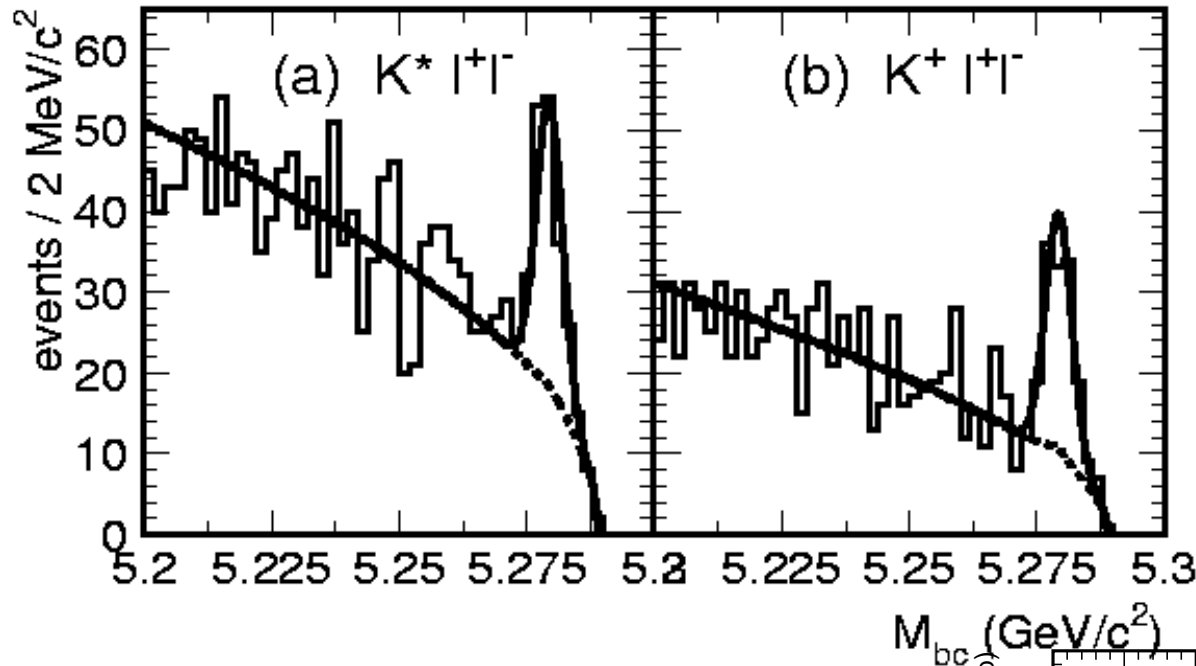


Končno stanje tipa 'naprej'

Do asimetrije pride zaradi interference prispevka virtualnih γ^* in Z^* pri razpadu $B \rightarrow K^* l^+ l^-$, podobno kot pri sipanju $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$



2005: Vzorec za meritev $A_{FB}(B \rightarrow K^* l l)(q^2)$



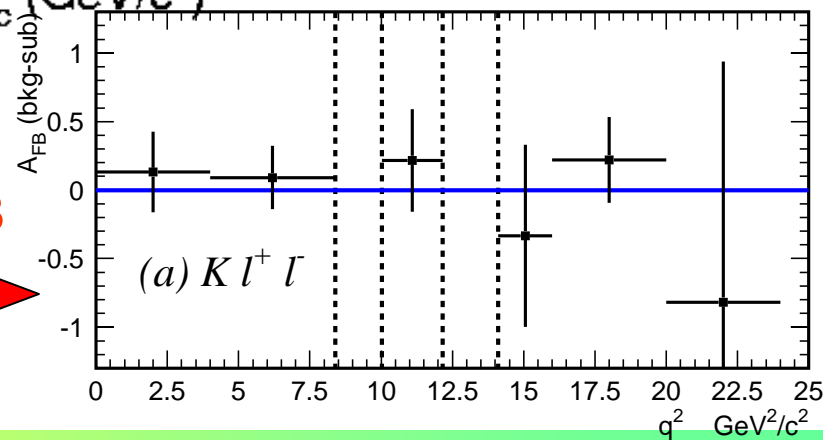
hep-ex/0508009

q^2 : invariantna masa obeh leptonov

Vzorec $B \rightarrow K^* l l$: 113 ± 13 dogodkov

$B \rightarrow K l l$: kontrolni vzorec, 96 ± 12 dogodkov

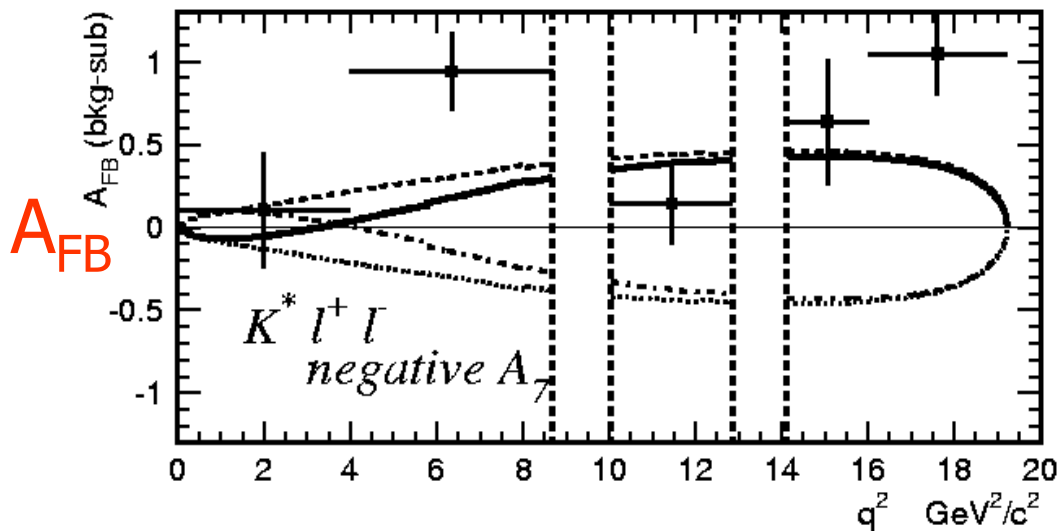
Konsistentno z $A_{FB} = 0$





Meritev $A_{FB}(B \rightarrow K^* l l)(q^2)$

Rezultat meritve $A_{FB}(B \rightarrow K^* l l)(q^2)$



Polna krivulja: napoved SM

Integrirana asimetrija FB

$$A_{FB}(B \rightarrow K^* l^- l^+) = 0.50 \pm 0.12 \pm 0.02; (3.4\sigma)$$

kontrolni vzorec:

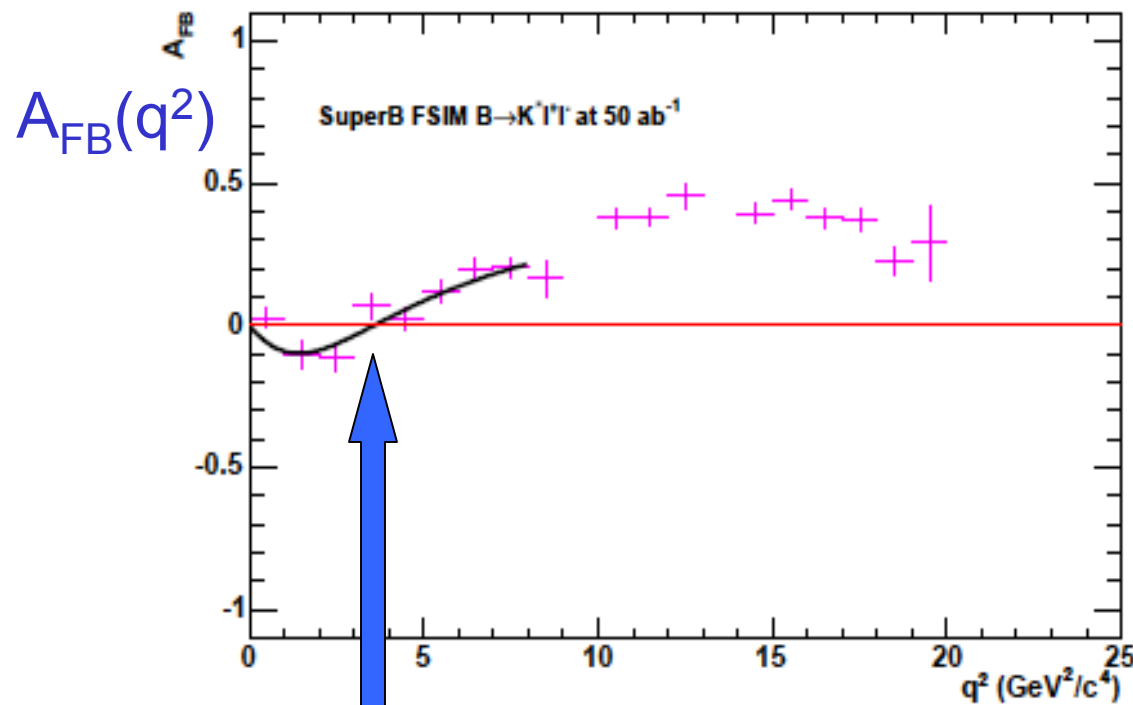
$$A_{FB}(B \rightarrow K^+ l^- l^+) = 0.10 \pm 0.14 \pm 0.01$$

Izmerjena integrirana A_{FB} izključuje nekatere radikalne modele za novo fiziko z napačnimi predznaki in velikostimi Wilsonovih koeficientov C_9 in C_{10}



$A_{FB}(B \rightarrow K^* l^+ l^-)[q^2]$ s Super B

S 50 ab^{-1} integrirane luminoznosti, 100 milijard mezonov B
- simuliran odziv detektorja



Zelo natančno bomo lahko določili položaj točke prehoda čez $A_{FB}=0$.
→ Pomembno omejimo parametre nove fizike.



Fundamentalna vprašanja fizike okusov

Ali obstajajo izvori kršitve CP izven SM ?

Eksperimenti: **meritev CP** v $b \rightarrow s$, primerjava meritev kotov

Ali obstajajo operatorji s kvarki, ki jih pojača nova fizika?

Eksperimenti : $A_{FB}(B \rightarrow K^* l l)$, verjetnost za $B \rightarrow K \pi$ in asimetrije

Ali obstajajo desnoročni tokovi?

Eksperimenti: **meritev CP** v $b \rightarrow s \gamma$

Ali obstajajo novi nevtralni tokovi, ki spreminjajo okus?

Eksperimenti: $b \rightarrow s \nu \bar{\nu}$, mešanje D-anti-D, $\tau \rightarrow \mu \nu$

Na vsa ta vprašanja bomo lahko odgovorili s Super B tovarno.



Motivacija za Super B

- Standard Model očitno ni dokončna teorija.

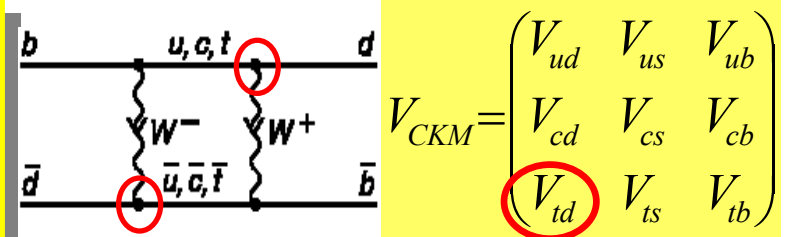
- končna m_ν
- gravitacija



- Če bo LHC našel znake za novo fiziko na skali nekaj TeV,
 - bo potrebno raziskati njeno okusno strukturo. Super B je najboljšo orodje za to.

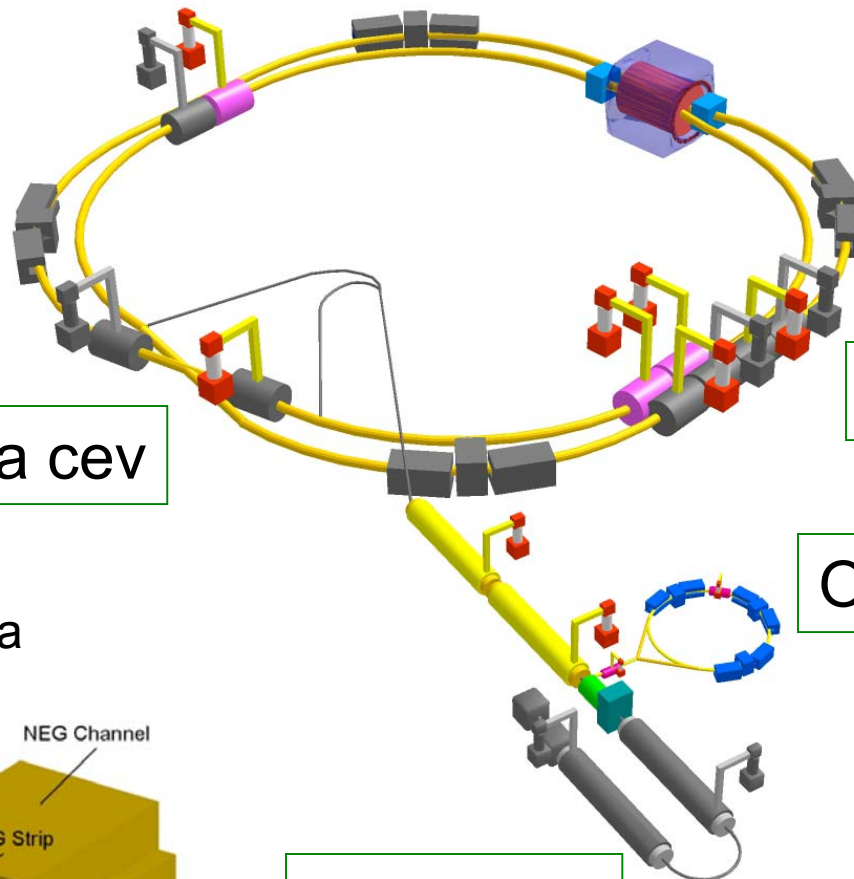
Primerjava s kvarkom t

- | | |
|-----------------------------------|---------------|
| Prva ocena mase: mešanje BB | → ARGUS |
| Direktna produkcija, mass, širina | → CDF/D0 |
| Izvendiagonalne sklopitve, faze | → BaBar/Belle |



- Ce bo LHC našel samo Higgsov bozon, kot ga predvideva SM
 - bo iskanje odstopanj od SM v fiziki okusov eden najboljših načinov za iskanje nove fizike.

Super B v KEK



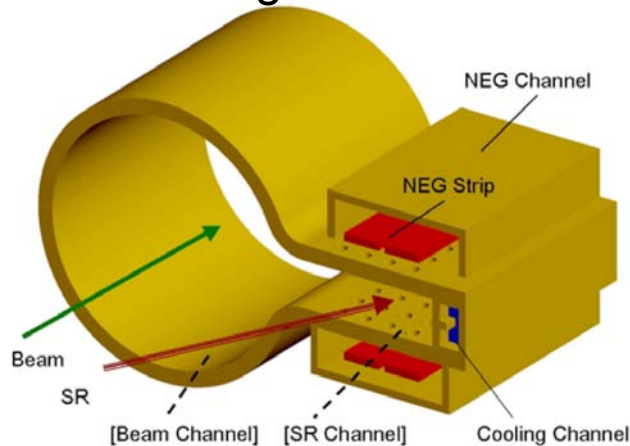
Interakcijska točka
Rakovo križanje

Več RF moči

Obroč za dušenje

Nova žarkovna cev

Namen: zmanjšanje
elektronskega oblaka



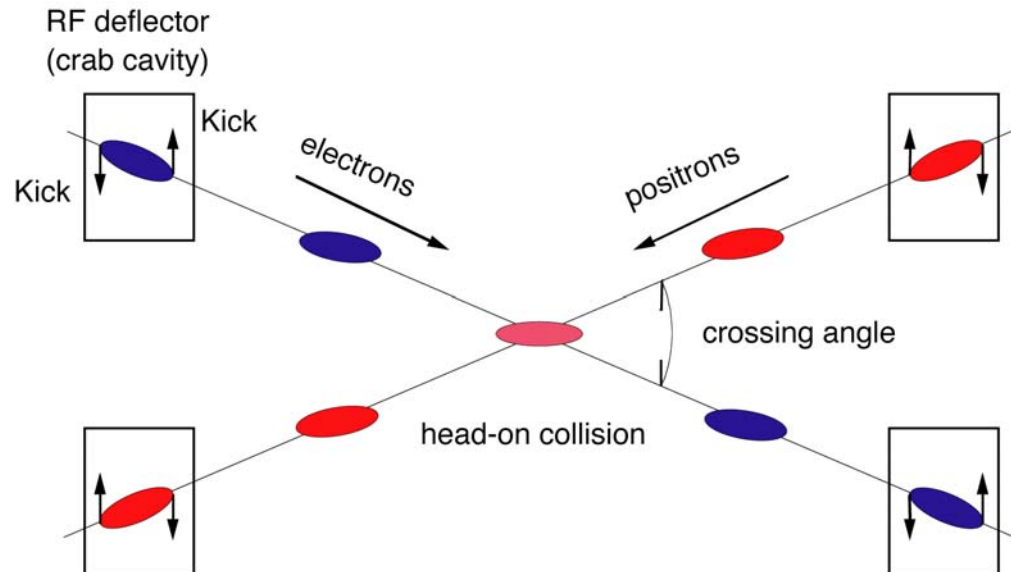
Linac:
prenovitev

Cilj:
 $L = 4 \times 10^{35} / \text{cm}^2 / \text{s}$



Rakovo križanje žarkov

- Pričakujemo povečanje luminoznosti za faktor 2-2.5!



- Supraprevodni votlini za oba žarka bosta vgrajeni do konca tega meseca.





Zahteve za detektor ob Super B

Kritične točke pri $L = 4 \times 10^{35} / \text{cm}^2 / \text{sec}$

- **Višje ozadje ($\times 20$)**

- sevalne poškodbe in zasedenost
- lažni zadetki in kopičenje šuma

- **Večje pogostost dogodkov ($\times 10$)**

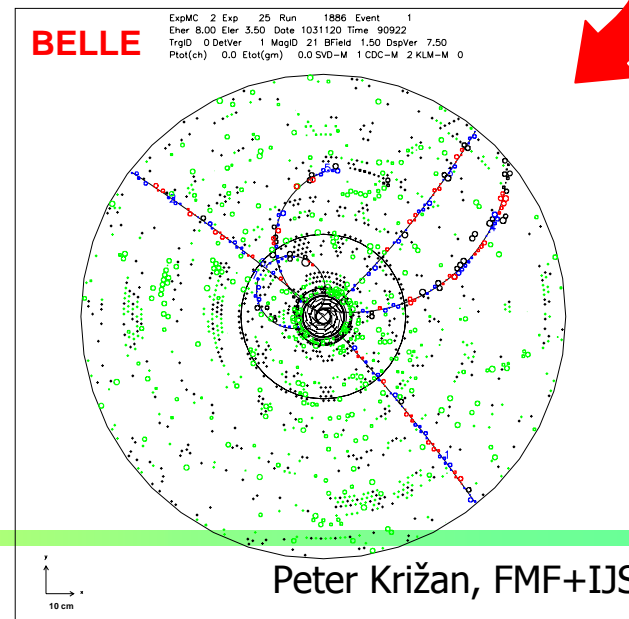
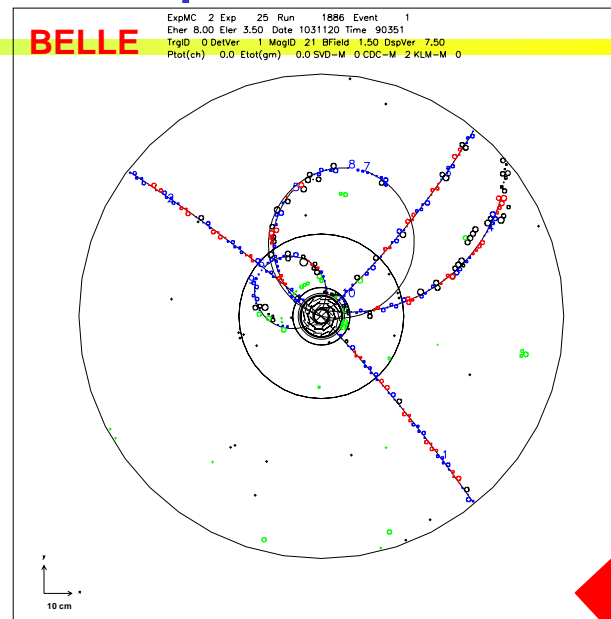
- hitrejši in učinkovitejši prožilni sistem, DAQ

- **Nove zahteve**

- identifikacij μ pri nizkih p: $b \rightarrow s \mu \mu$
- hermetičnost: "rekonstrukcija" ν

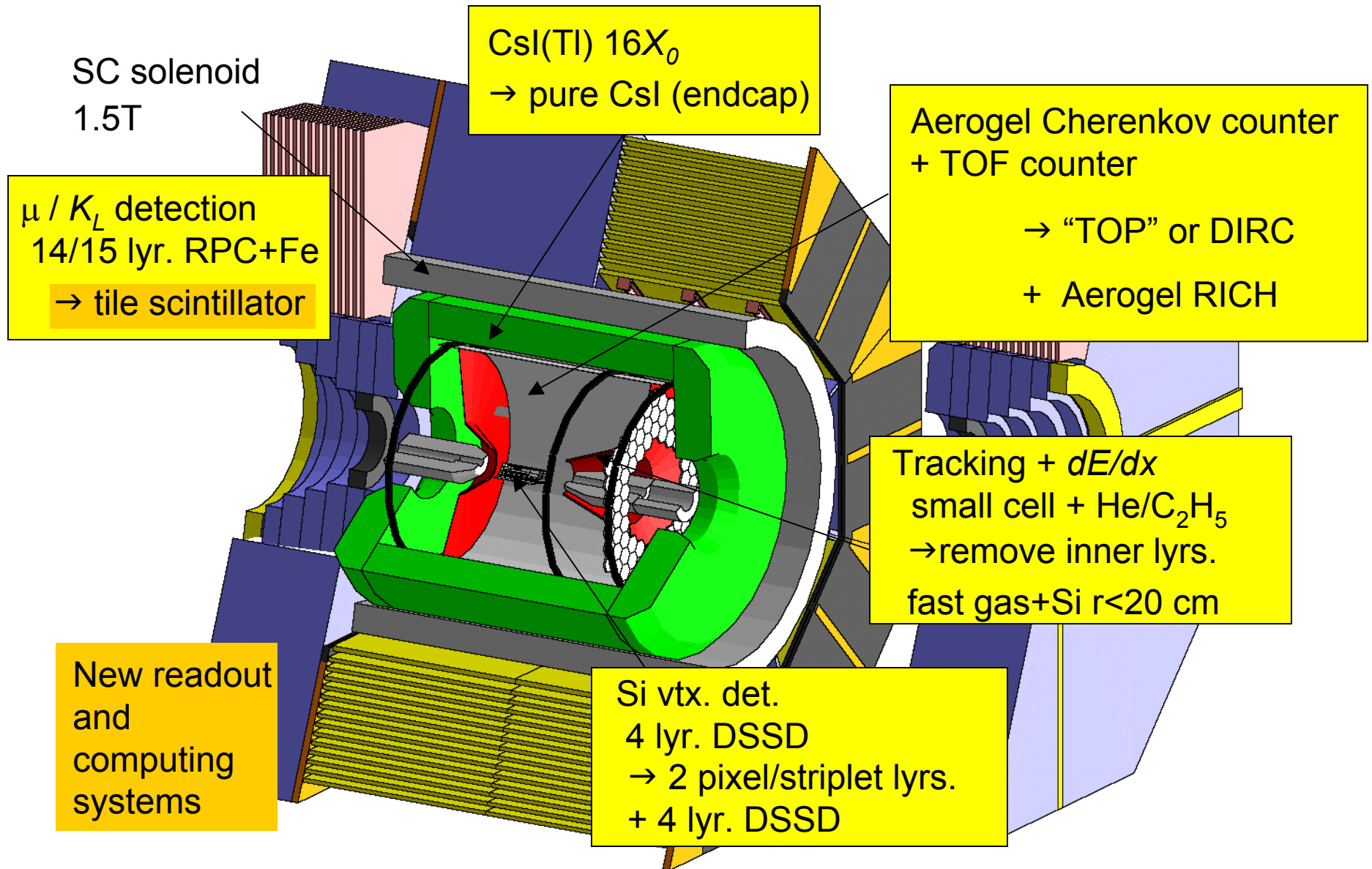
Možna rešitev:

- Zamenjava notranjih ravnin detektorja verteksov z detektorjem s krajšimi pasovi.
- Zamenjava notranjega dela drift komore z mikropasovnim silicijevim detektorjem.
- Boljša identifikacija nabitih delcev
- Zamenjava dela kalorimetra s čistim CsI.
- Hitrejša čitalna elektronika in računski sistem.



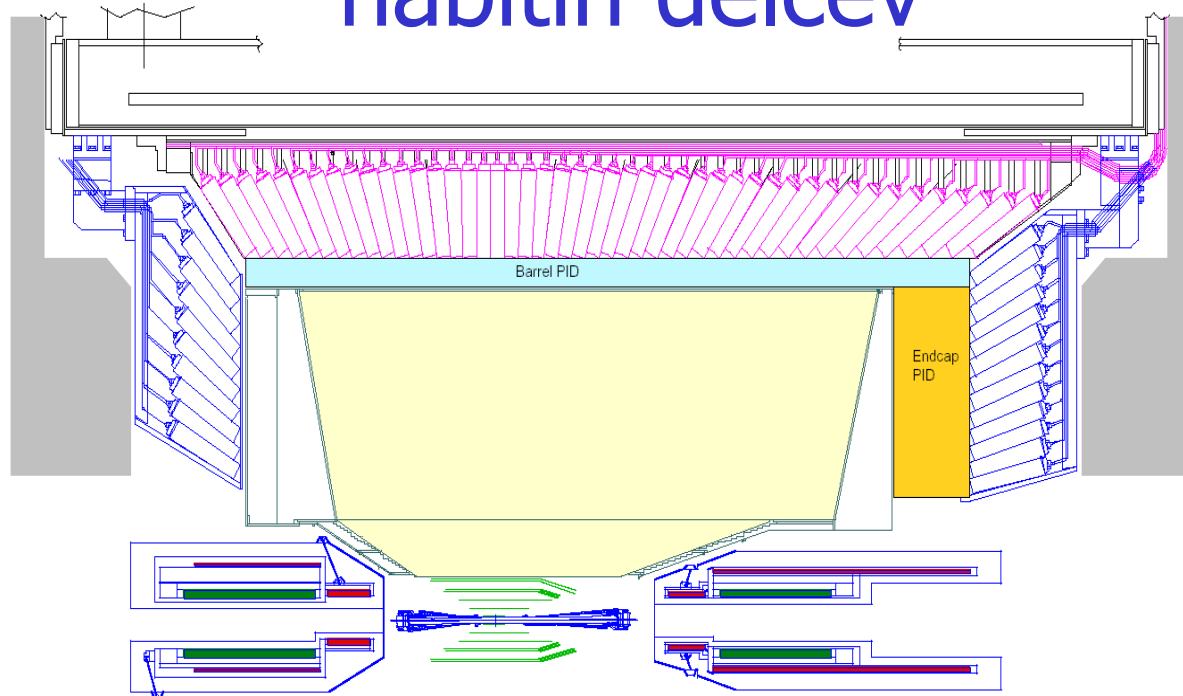


Belle Upgrade for Super-B





Izboljšava identifikacije nabitih delcev



Izboljšati ločevanje K/π v smeri naprej (visoke gib. količine) →

Ločevanje K/π za meritve pingvinskih procesov $b \rightarrow d\gamma$, $b \rightarrow s\gamma$

Izboljšati čistost vzorca popolnoma rekonstruiranih mezonov B

Ločevanje $e/\mu/\pi$ pri $p < 1\text{GeV}/c$: $B \rightarrow Kll$

Ohraniti visok izkoristek za kaone, ki označujejo okus.



Smer naprej: detektor Čerenkovih obročev z aerogelom kot sevalcem

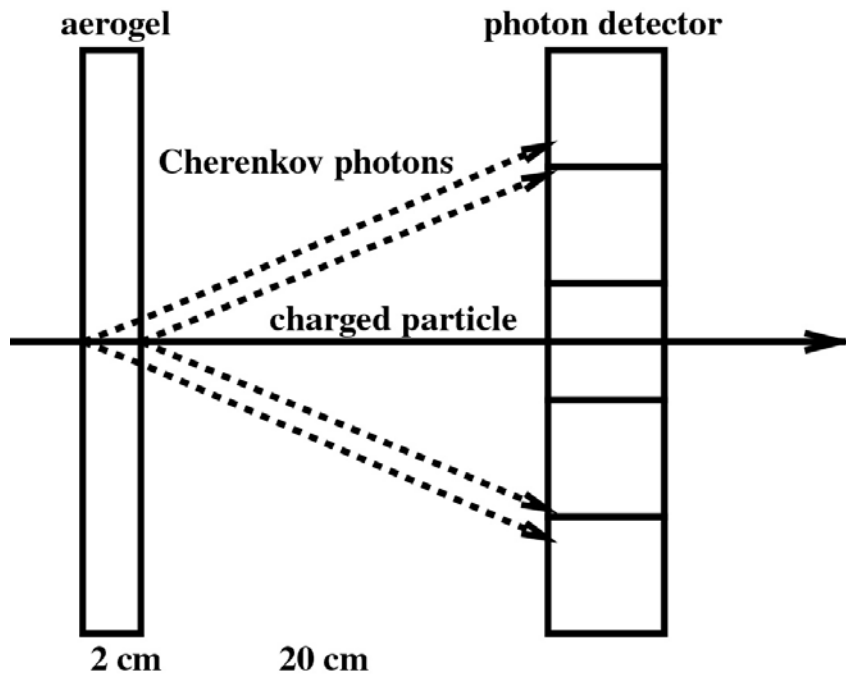
Ločevanje K/π pri 4 GeV/c
 $\theta_c(\pi) \sim 308 \text{ mrad}$ ($n = 1.05$)
 $\theta_c(\pi) - \theta_c(K) \sim 23 \text{ mrad}$

Posamezni fotoni:

$d\theta_c(\text{meritev}) = \sigma_0 \sim 13 \text{ mrad}$
z 20mm debelim aerogelom in
blazinico z $a=6\text{mm}$ v
fotopomnoževalki

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_0}{\sqrt{N_{pe}}}$$

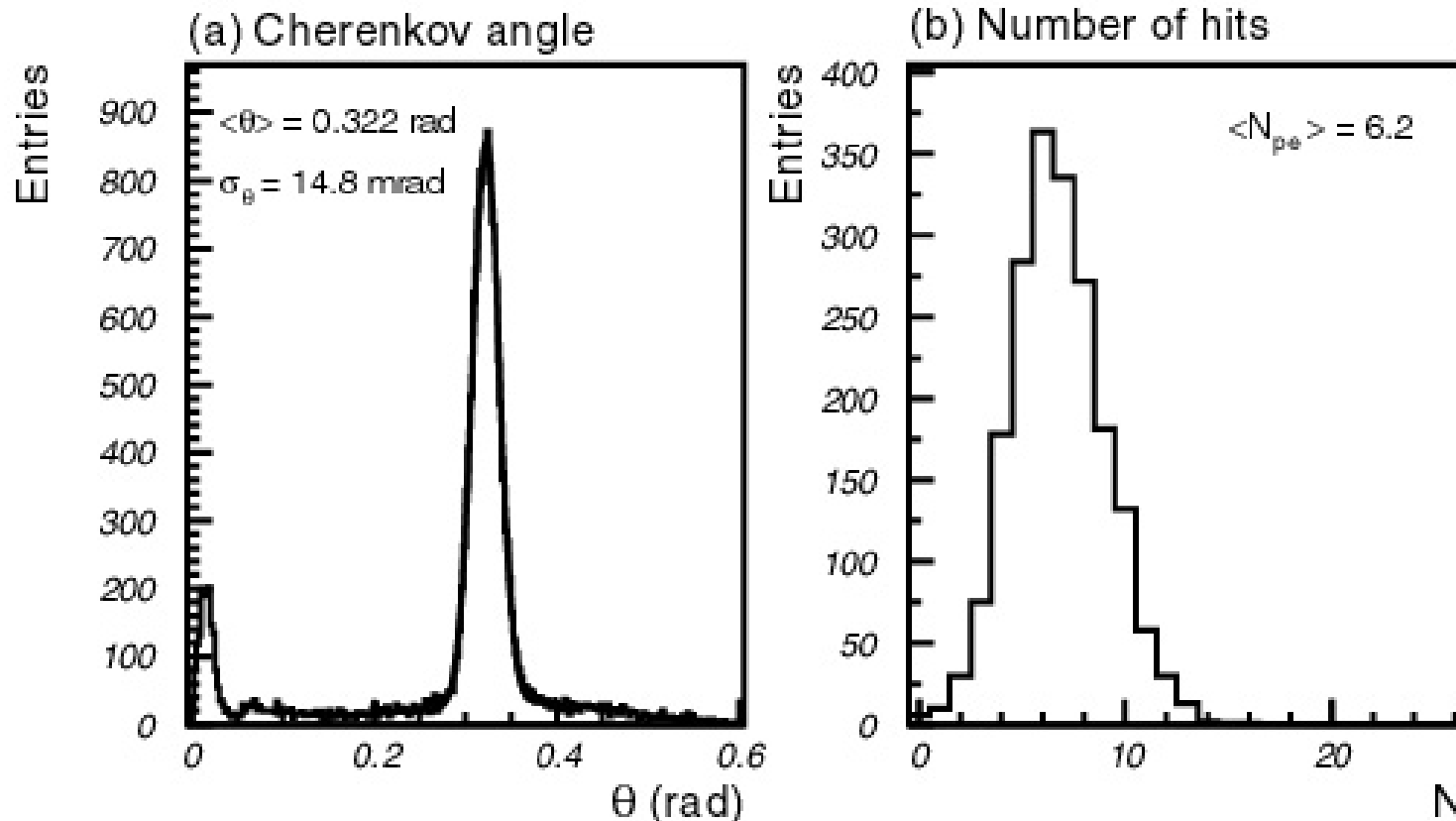
→ za ločevanje na 6σ
potrebujemo $N_{pe} \sim 10$





Meritve v testnem žarku: resolucija in število fotonov

Rezultat meritve: ločevanje K/π boljše kot 4σ

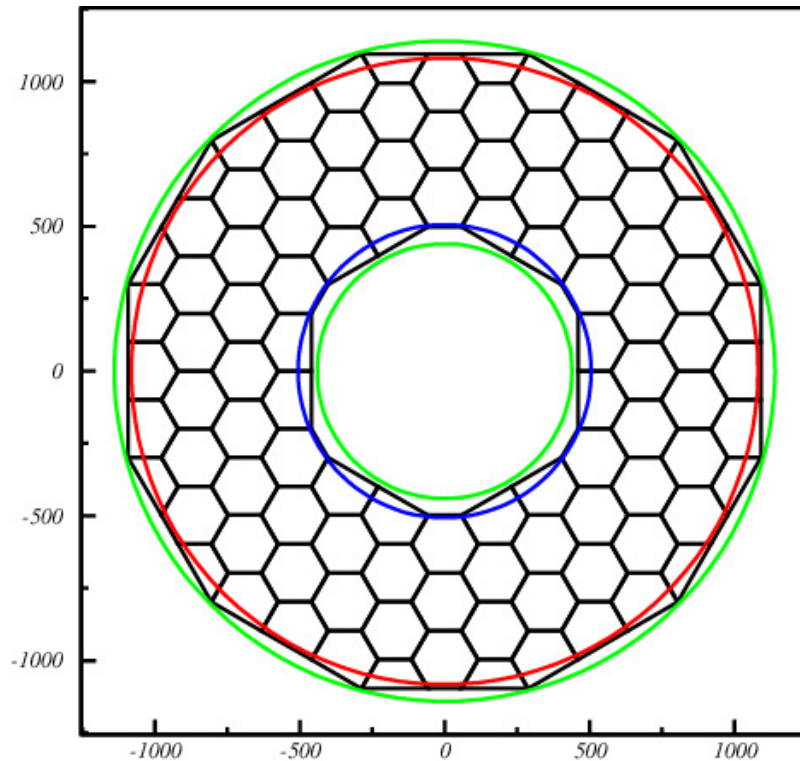


Zelo vzpodbudni rezultati!

Naslednji korak: \rightarrow povečati število fotonov

Aerogel kot sevalec

Zmanjšati izgube na robovih
plošč → heksagonalna
razdelitev površine

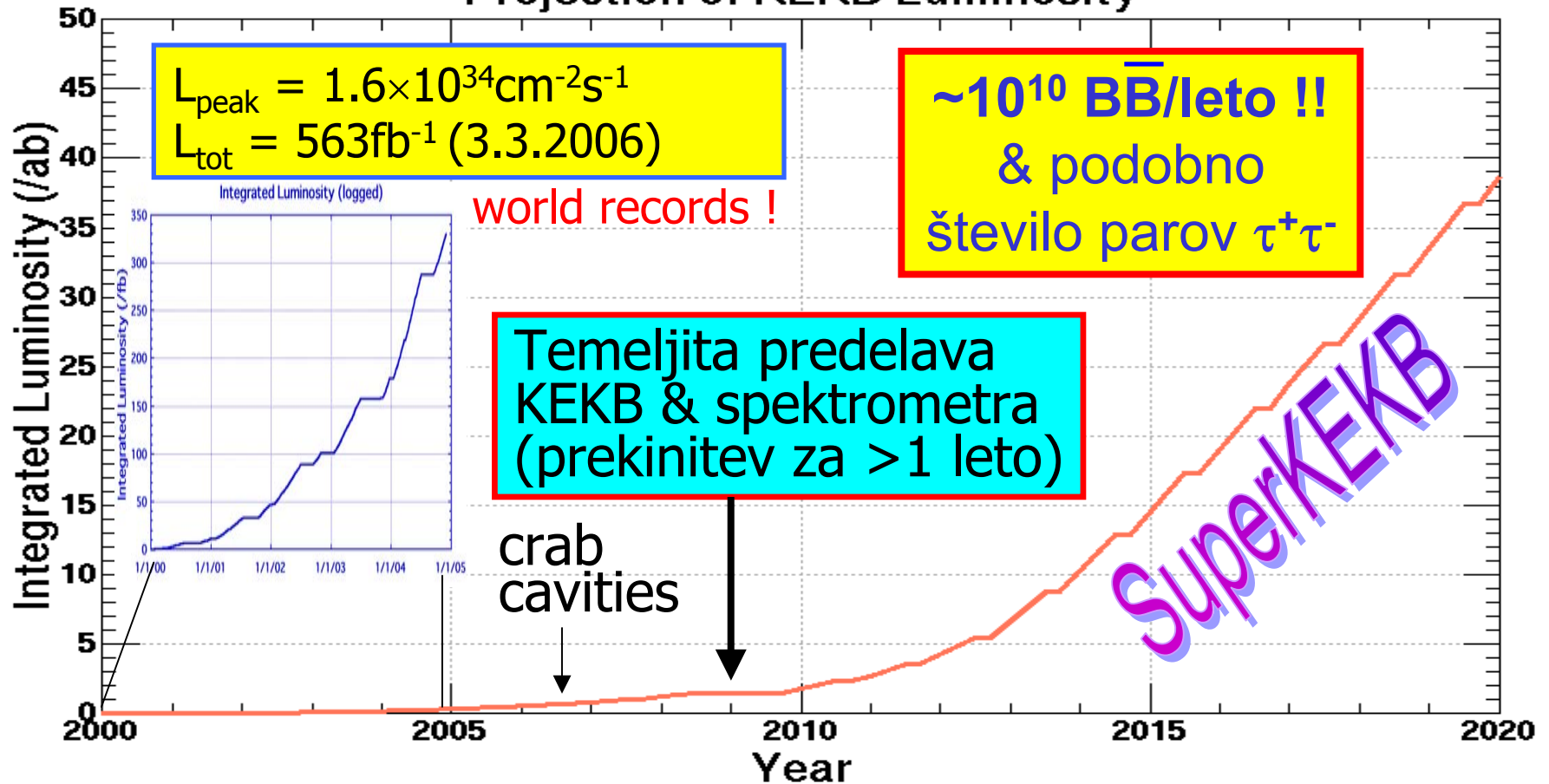


Heksagonalen kos dobimo z
rezanjem z vodnim curkom
– to gre, ker je naš aerogel
hidrofoben.



Izoljšave trkalnika: možen scenarij

Projection of KEKB Luminosity



| | | | | | |
|--|----------------------|---|-------------------------|---|--------------------------|
| $L_{\text{peak}} (\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1})$ | 1.6×10^{34} | → | 5×10^{34} | → | 5×10^{35} |
| L_{int} | 563fb^{-1} | | $\sim 1 \text{ab}^{-1}$ | | $\sim 10 \text{ab}^{-1}$ |

13. marec 2006

Kolokvij, FMF

Peter Križan, FMF+IJS



Zaključek 1

- Meritev kršitve CP v sistemu mezonov B je pomembno orodje pri razumevanju razlike med snovjo in anti-snovjo. Omogoča tudi natančno meritev nekaterih parametrov Standardnega modela.
- Kršitev CP v prehodih $b \rightarrow s$ je pod pričakovanji Standardnega modela, vendar je rezultat **statistično omejen**.
- Asimetrija naprej-nazaj (A_{FB}) v $b \rightarrow sl^+l^-$ postaja novo močno orodje pri iskanju fizike izven SM.
- Belle prehaja v obdobje **precizijskih meritev**.

.... in seveda imamo na zalogi še kup zanimivih rezultatov, o katerih nisem mogel poročati! →



Zaključek 2

- Tovarne mezonov B so se izkazale kot pomembno okno v svet osnovnih delcev in njihovih interakcij
- Zanesljivo delovanje preko nekaj let, stalne izboljšave
- Kratkoročni načrt: povečati luminoznost **x3** z rakovo RF votlino
- Velika predelava v letih 2009-10 → Super B, **L x30**
- Pričakujemo novo, razburljivo obdobje odkritij, komplementarnih LHC
- Še boste slišali o nas...



Dodatna literatura

Več in bolj podrobne razlage najdete na spletnih straneh mojega cikla predavanj na Univerzi v Barceloni

<http://www-f9.ijs.si/~krizan/sola/barcelona/barcelona.html>

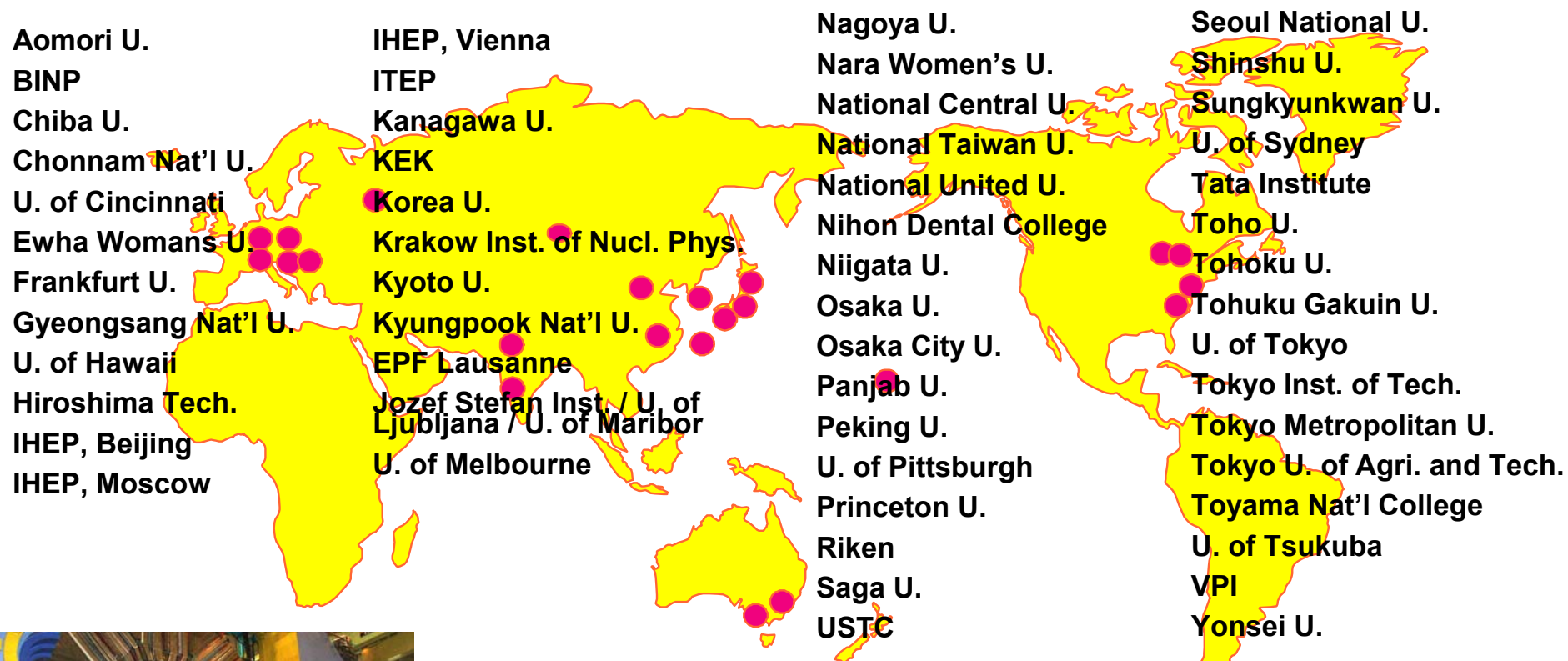
Tam je tudi seznam priporočene literature.



Dodatne prosojnice



Belle Collaboration



13. marec 2006

13 držav, 55 institucij, ~400 sodelavcev