



Univerza v Ljubljani



Kršitev simetrije CP

Peter Križan
FMF UL in IJS

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Vsebina

Uvod

Eksperimentalna aparatura: Belle in KEK-B

Kršitev CP v sistemu mezonov B

Pingvini


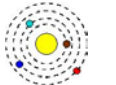

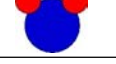
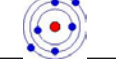
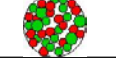


Prehodi z spremembo okusa in nevtralnim tokom


Načrti za prihodnost

27. marec 2006

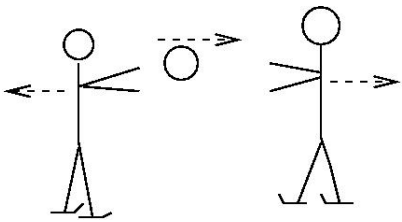
Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS

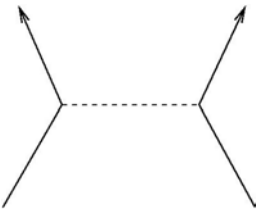
DELCI	in	SILE	po	nadstropjih	
Velikost(m)	Predmet		Sila	Smisel	Strokovnjak
10^{21}	kopice galaksij		gravitacija		↑ filozof
10^{14}	galaksije zvezde planeti				astronom, astrofizik
1	živa bitja		instinkti	ohranitev vrste	biolog, sociolog
10^{-8}	molekule		elektromagnetna	pestrost svetlobe, življenja energija	kemik, atomski fizik,
10^{-10}	atomi				atomski fizik
10^{-14}	jedra		jedrsko	kemijski elementi, sonce, reaktor	jedrski fizik
10^{-15}	nukleoni		močna, šibka	moja plača	fizik osnovnih delcev
10^{-18}	kvarki				



Sile med osnovnimi delci: izmenjava nosilcev sile



Drstalca na ledu, ki si podajata žogo, se oddaljujeta eden od drugega.
Če je žoga težka, si jo lahko podajata le na kratko razdaljo.



Osnovni delci sodelujejo (interagirajo) med sabo preko nosilcev sile (interakcije)

27. marec 2006
Izbrana poglavja
Peter Kržan, FMF+IJS



Standardni model: osnovni delci

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

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Standardni model: Interakcije

<i>Sila - interakcija</i>	<i>nosilci sile</i>	<i>doseg</i>
elektromagnetna	foton γ	neskončen
šibka	šibki bozoni W^+, W^-, Z^0	zelo kratek
močna	gluoni g	kratek

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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^0 : 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}	$5.5 m_p$

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Šibka interakcija: pretvorba enega kvarka v drugega

Pri prehodu, ki ga povzroči šibka interakcija, se spremeni okus kvarka: recimo $d \rightarrow u$.

Primer:

Razpad beta pri nevtronu: $(udd) \rightarrow (uud) + e^- + \nu_e$

Možni prehodi:

$u \leftrightarrow d, u \leftrightarrow s, u \leftrightarrow b$

$c \leftrightarrow d, c \leftrightarrow s, c \leftrightarrow b$

$t \leftrightarrow d, t \leftrightarrow s, t \leftrightarrow b$

Vsi prehodi niso enako verjetni!

27. marec 2006

Izbrana poglavja

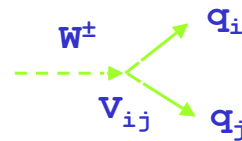
Peter Križan, FMF+IJS



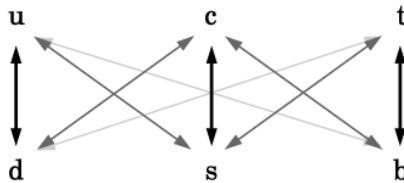
Matrika CKM

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



27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS

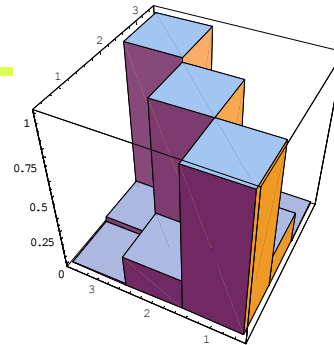


Matrika CKM

→ matrika za prehode je skorajda diagonalna

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

A , ρ and η : reda velikosti 1



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

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS

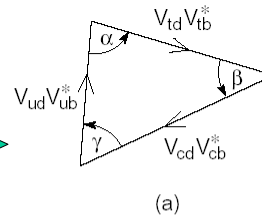


Unitarni trikotnik

Unitarnost: vrstice in stolpci so ortogonalni.

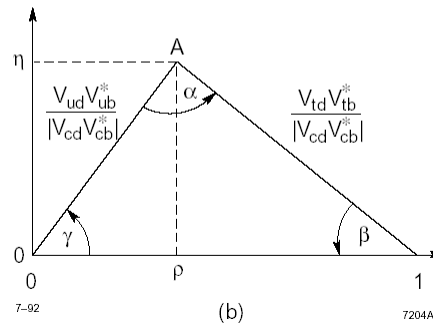
Na primer:

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



V rabi so še oznake:

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



27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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.

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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!**

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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 → $H_{11} = H_{22}$

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Časovni razvoj v sistemu mezonov B

Lastni stanji ('masni') sta lahki B_L in težki 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 vpeljemo oznaki

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

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

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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 $a_H(0) = a_L(0) = 1/(2q)$

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Časovni razvoj Bjev

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

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

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

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

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

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

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

→ Mešanje

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS

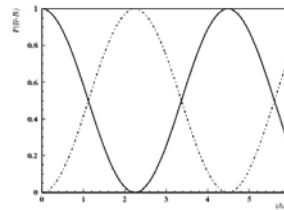


Časovni razvoj Bjev

Če mezoni B ne bi razpadali ($\Gamma=0$), bi bil časovni razvoj:

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

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



→ Verjetnost, da se B pretvori v svoj anti delec

$$\left| \langle \bar{B}^0 | B_{phys}^0(t) \rangle \right|^2 = |q/p|^2 |g_-(t)|^2 = |q/p|^2 \sin^2(\Delta mt/2)$$

→ Verjetnost, da B ostane B

$$\left| \langle B^0 | B_{phys}^0(t) \rangle \right|^2 = |g_+(t)|^2 = \cos^2(\Delta mt/2)$$

→ utripanje!

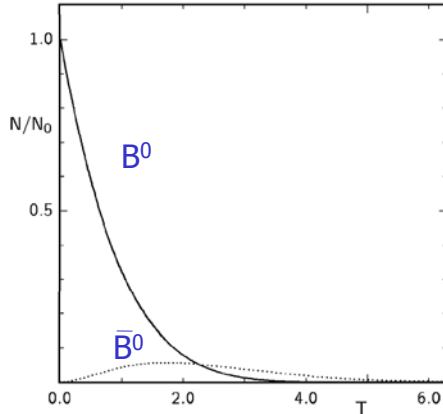
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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.

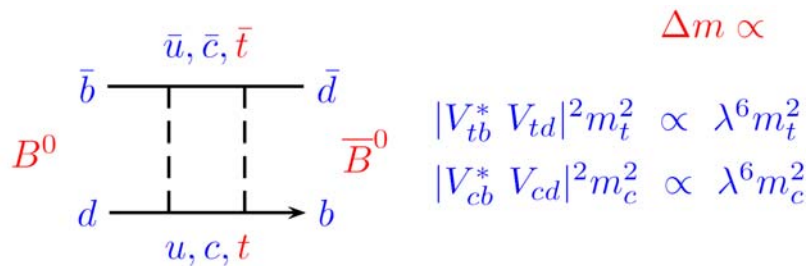
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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



V Standardnem modelu: močno mešanje → velika masa kvarka t

Kvark t so odkrili šele nekaj let kasneje!

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



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

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

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

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



Asimetrija v razpadni verjetnosti → 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:

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

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Krizan, FMF+IJS



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

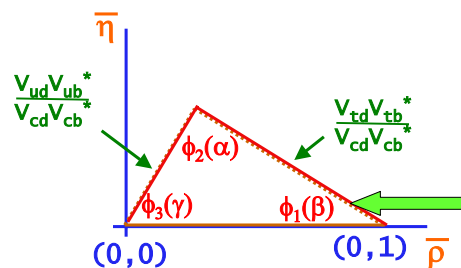
Za $B \rightarrow J/\psi K_S, J/\psi K_L$ je $|\lambda| = 1 \rightarrow$

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

in

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

ϕ_1 : kot unitarnega trikotnika



ξ_f : CP parnost končnega stanja

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

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

27. marec 2006

Izbrana poglavja

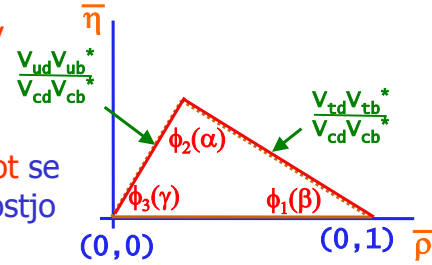
Peter Krizan, FMF+IJS



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 trikotnika
- Konsistentnost slike: asimetriji za $J/\psi K_S$ in $J/\psi K_L$ morata imeti nasproten predznak



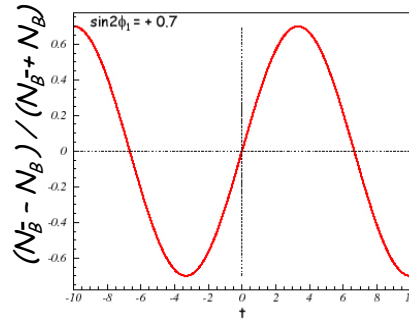
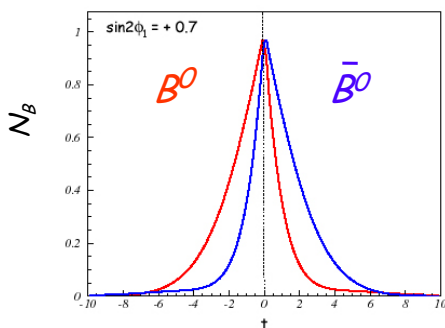
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



Kršitev CP: asimetrija v razpadni verjetnosti



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

$\xi_f = \pm 1$ for $CP = \pm 1$

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



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).

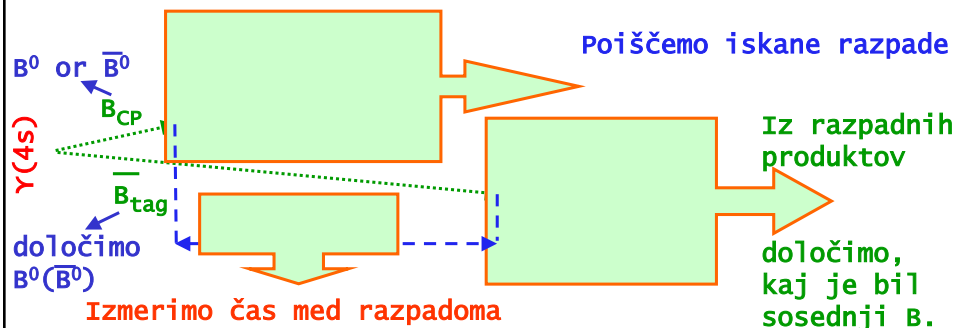
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



Kako merimo kršitev CP



27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



Trkalnik KEK-B in detektor Belle v Tsukubi



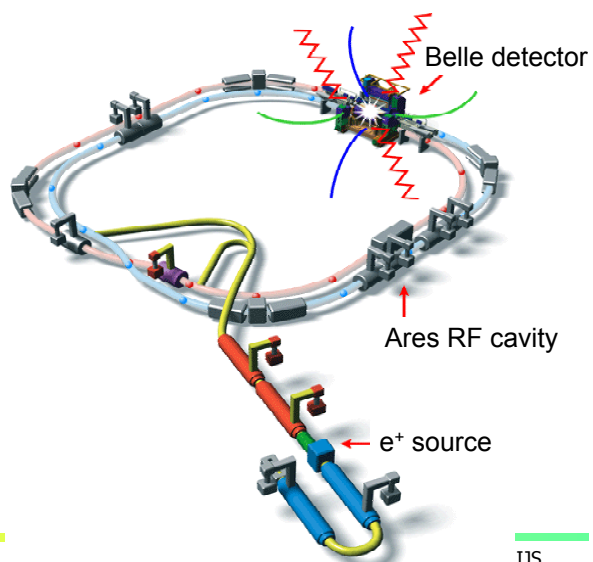
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Trkalnik KEK-B pospešuje elektrone in pozitrone do trka



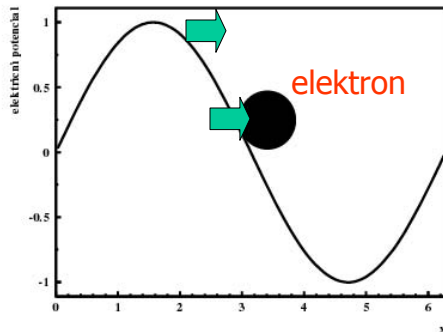
27. marec 2006

IJS



Kako pospešujemo nabite delce?

- Pospeševanje z elektromagnetnim valovanjem (tipična frekvenca 500 MHz – mobilni telefoni delujejo pri 900 oz. 1800 MHz)



... podobno deskanju na valovih

27. marec 2006

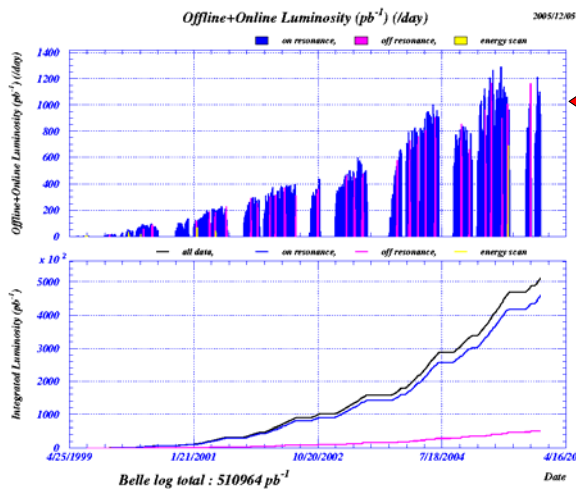
Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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

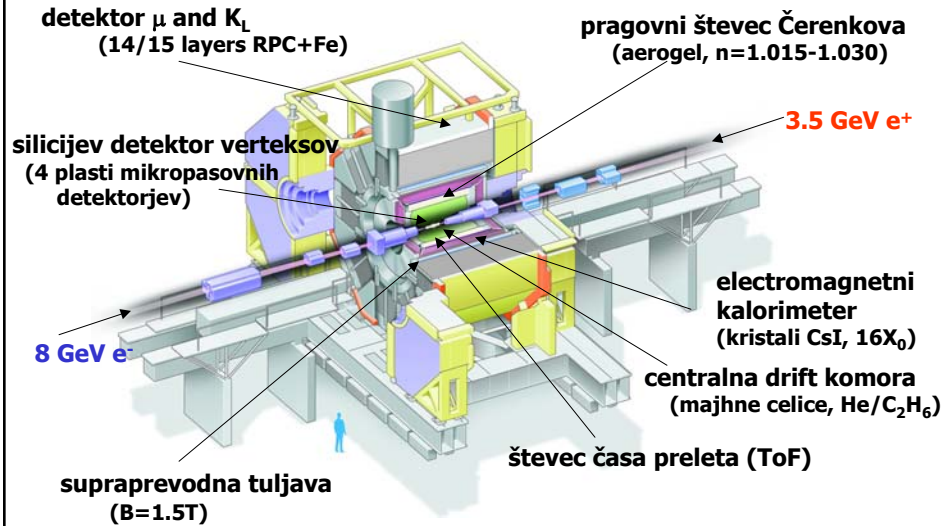
Zbranih $> 500 \text{ M}$ parov BB!



Peter Križan, FMF+IJS



Spektrometer Belle



27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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: $10\mu\text{m}$!



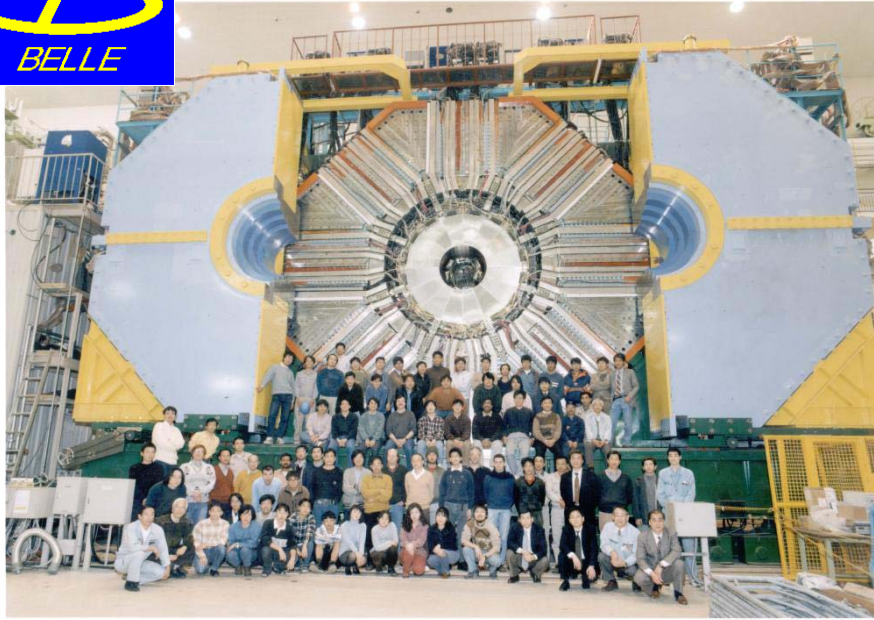
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS

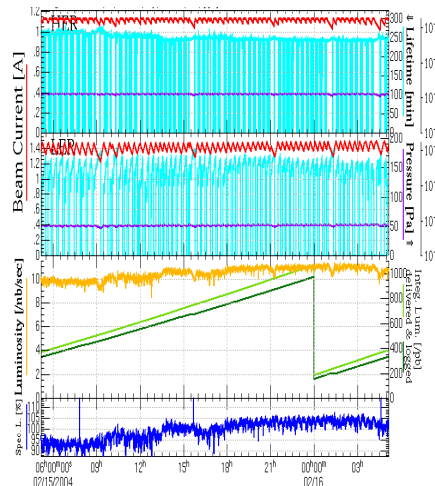


Spektrometer Belle in del raziskovalne skupine



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

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



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

27. marec 2006

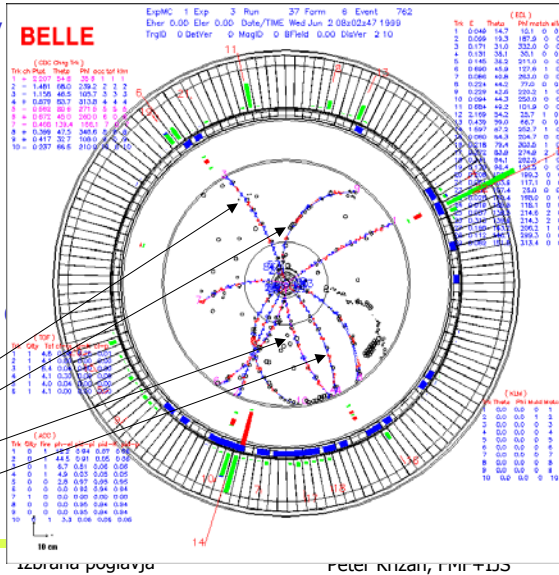
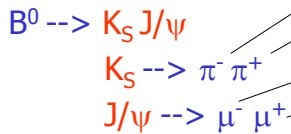
Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



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 identiteti delca



27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Krizan, FMF+IJS

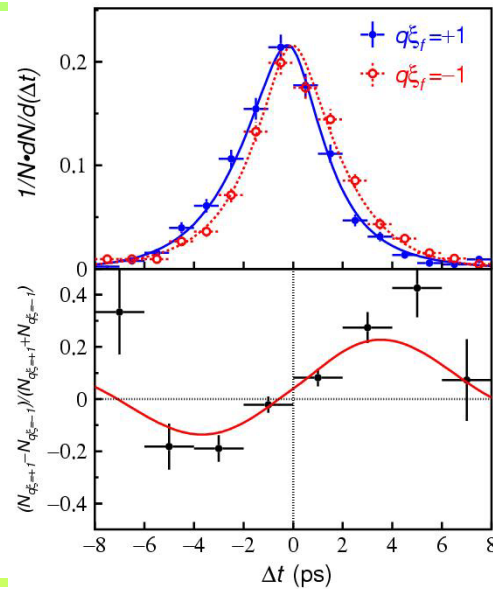


2001, rezultat meritve: CP je kršena!

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!



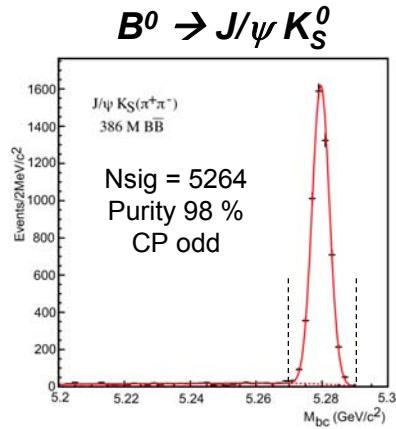
27. marec 2006

Izbrana poglavja

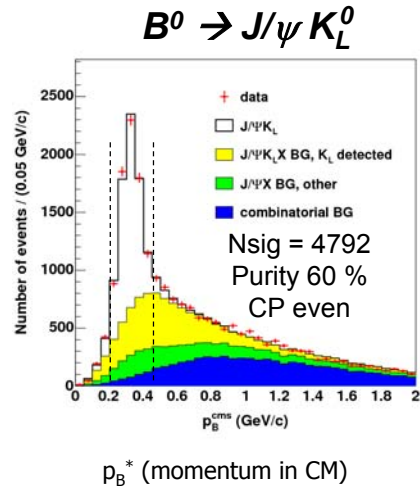
Peter Krizan, FMF+IJS



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



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



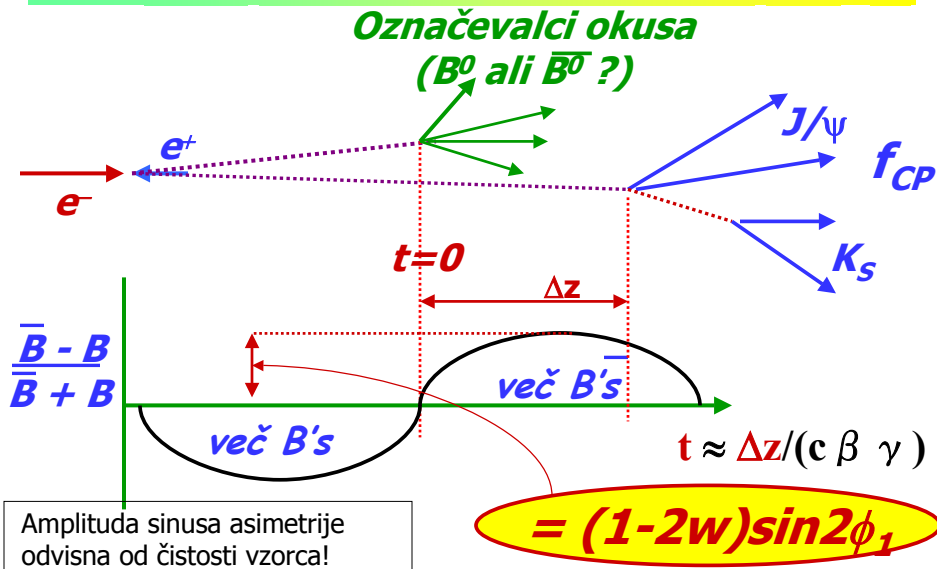
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Krizan, FMF+IJS



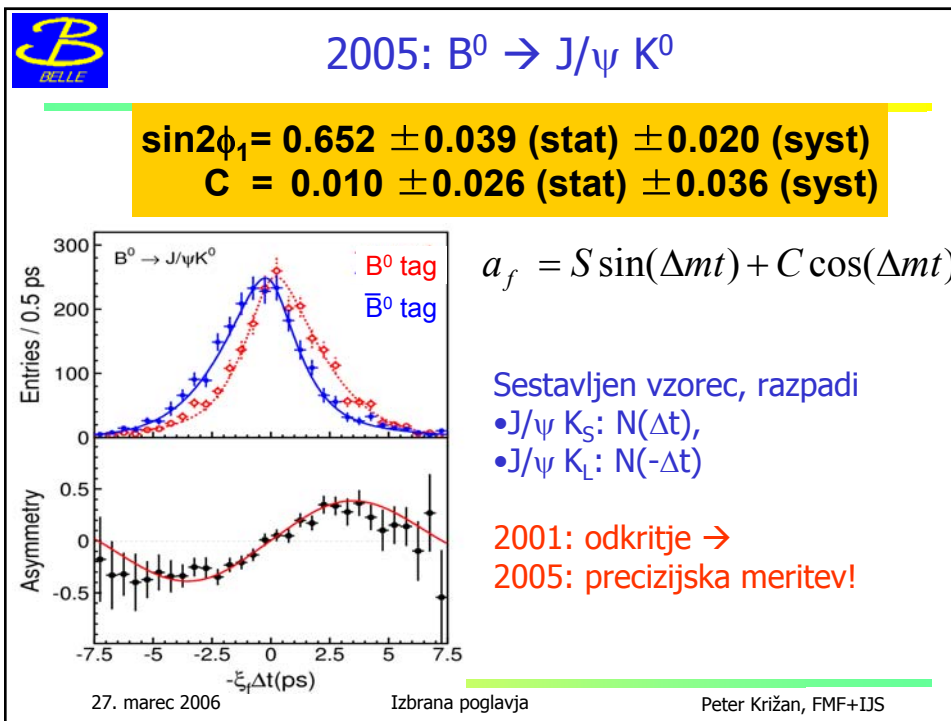
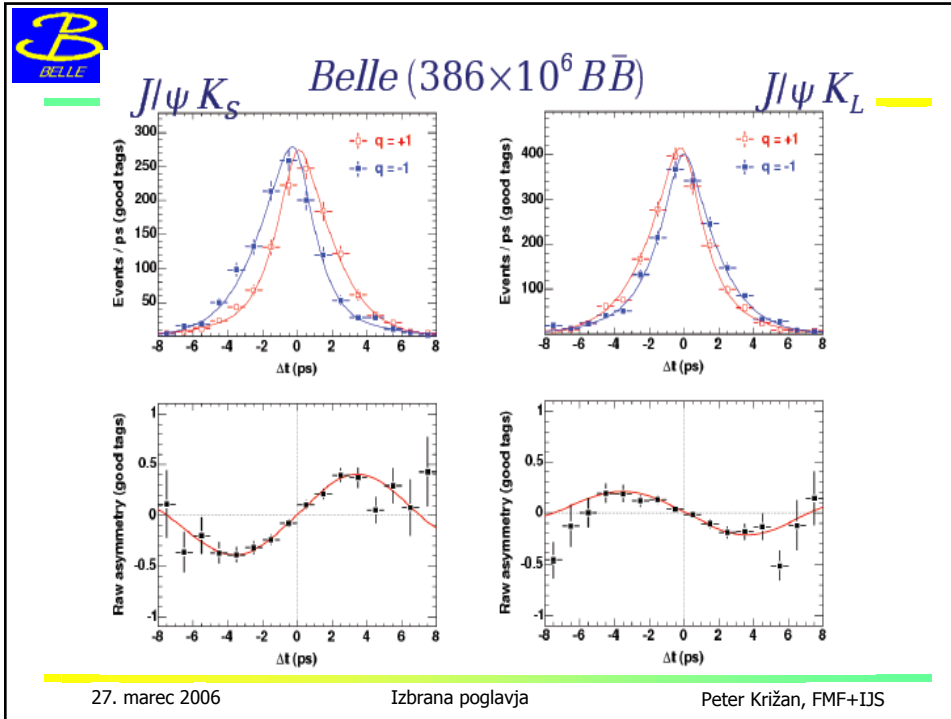
Principle of CPV Measurement



27. marec 2006

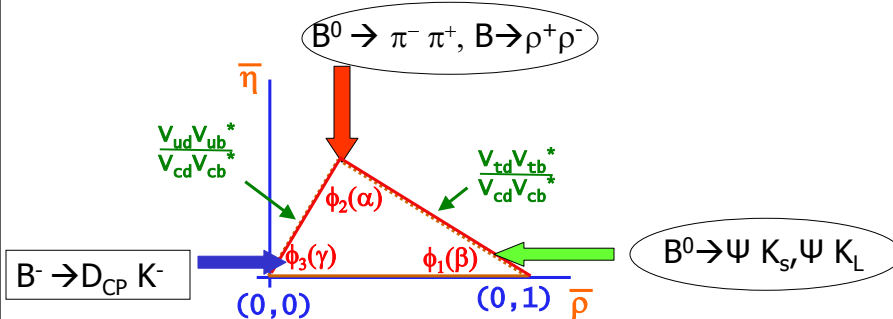
Izbrana poglavja

Peter Krizan, FMF+IJS





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?*

27. marec 2006

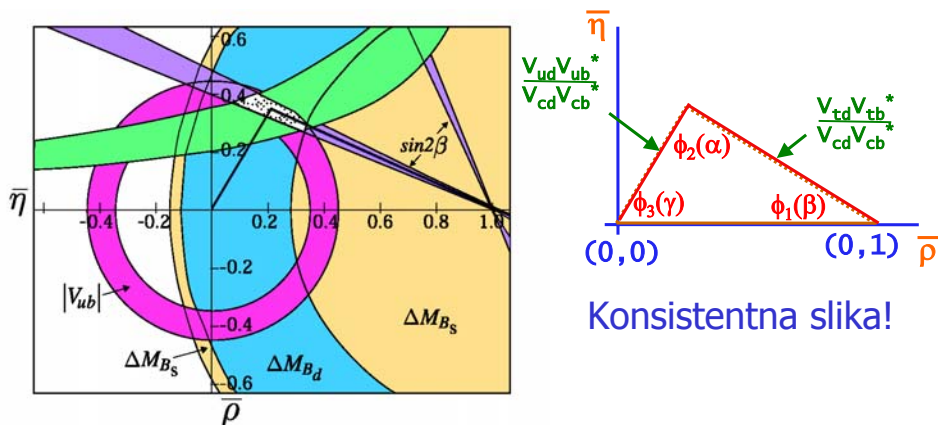
Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



Meritve unitarnega trikotnika

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?

27. marec 2006

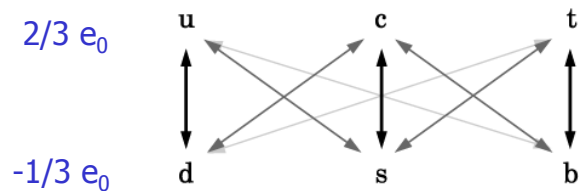
Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



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.

27. marec 2006

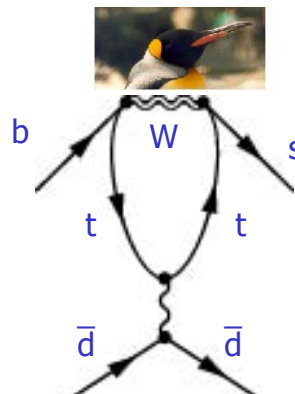
Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Pingvinski diagrami

Na primer: prehod $b \rightarrow s$



27. marec 2006

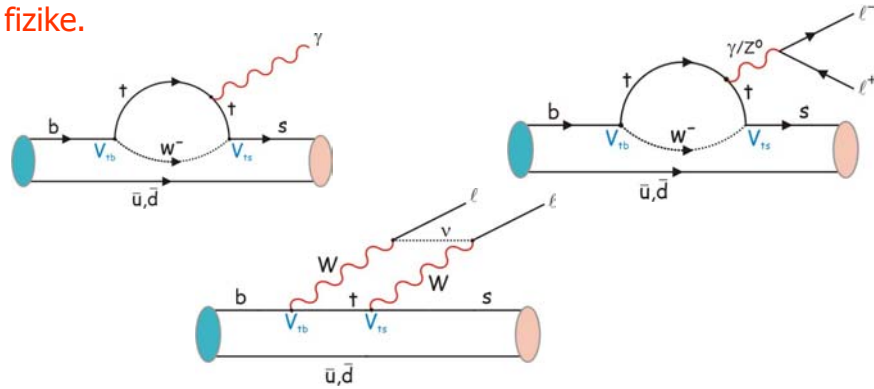
Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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.



27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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

Na primer v procesu:

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

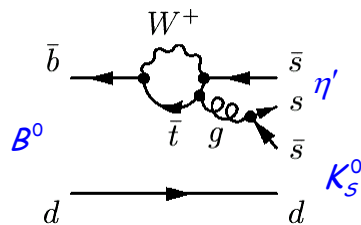
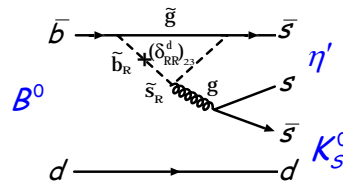


Diagram s supersimetričnimi delci v zanki

Običajen pingvinski diagram s kvarkom t v zanki



27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Kakšni delci bi lahko nastopali v zanki?

Zelo mikavna možnost: v zanki nastopajo supersimetrični partnerji osnovnih delcev.

elektron e	selektron \tilde{e}
kvark b	skvark \tilde{b}
foton g	fotino \tilde{g}

Take delce napovedujejo nekatere teorije, ki poskušajo združiti vse štiri interakcije, tudi gravitacijo.

Do sedaj nismo videli še nobenega supersimetričnega partnerja.

27. marec 2006

Izbrana poglavja

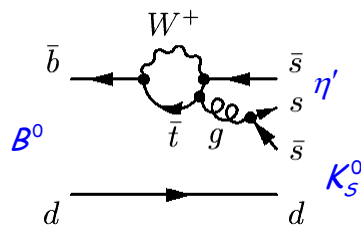
Peter Križan, FMF+IJS



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 $\sin 2\phi_1^{\text{eff}}$

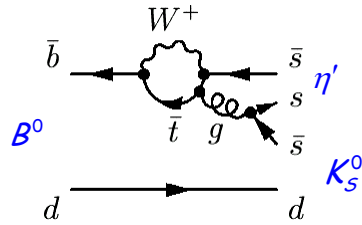
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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.

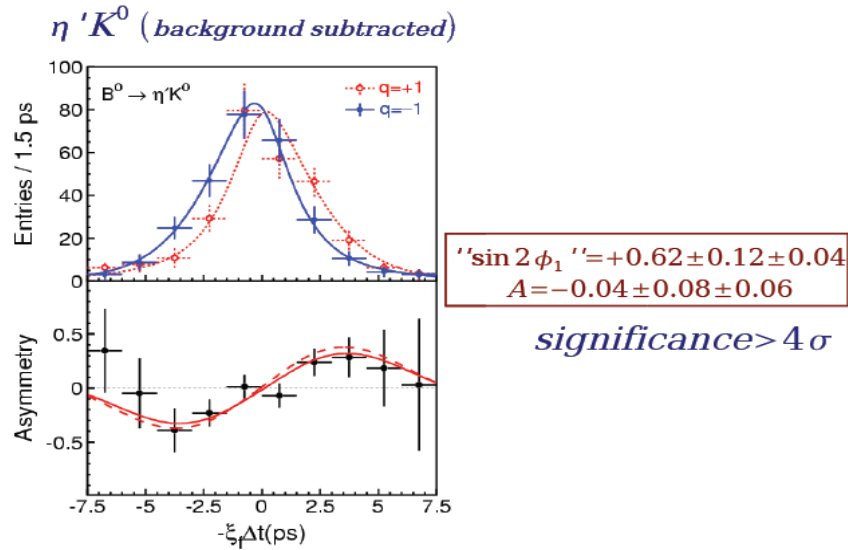
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS



Meritev kršitve CP v procesih $b \rightarrow s$



27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Kržan, FMF+IJS

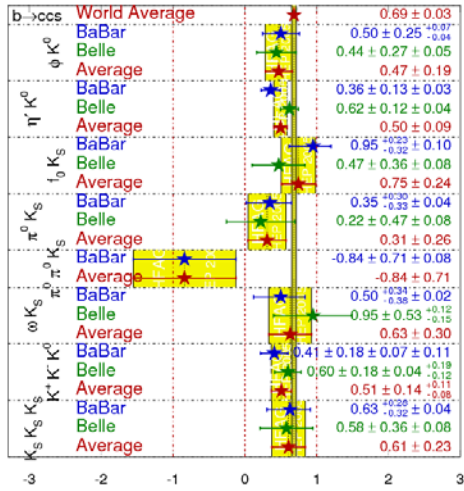


Premerili smo kopico razpadov tipa $b \rightarrow s$

$$\sin(2\beta^{\text{eff}})/\sin(2\phi_1^{\text{eff}})$$

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

27. marec 2006

Izbrana poglavja

$\sin 2\phi_1(\text{penguin}) - \sin 2\phi_1(\text{tree})$

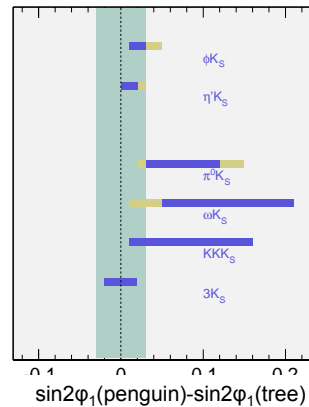
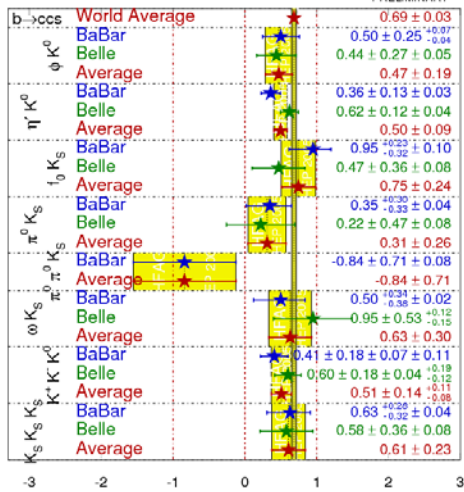


Primerjava s teoretskimi napovedmi za $b \rightarrow s$

$$\sin(2\beta^{\text{eff}})/\sin(2\phi_1^{\text{eff}})$$

HFAG
HEP 2005
PRELIMINARY

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



[Beneke, hep-ph/0505075]
[Cheng, Chua, Soni, hep-ph/0506268]

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Krizan, FMF+IJS



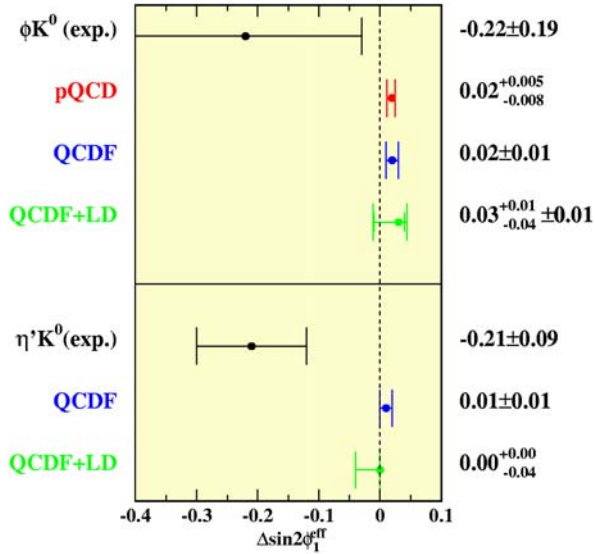
Ali tu diši po Novi fiziki?

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

Toda: Zaradi majhnosti vzorcev je eksperimentalna statistična napaka velika!

27. marec 2006

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

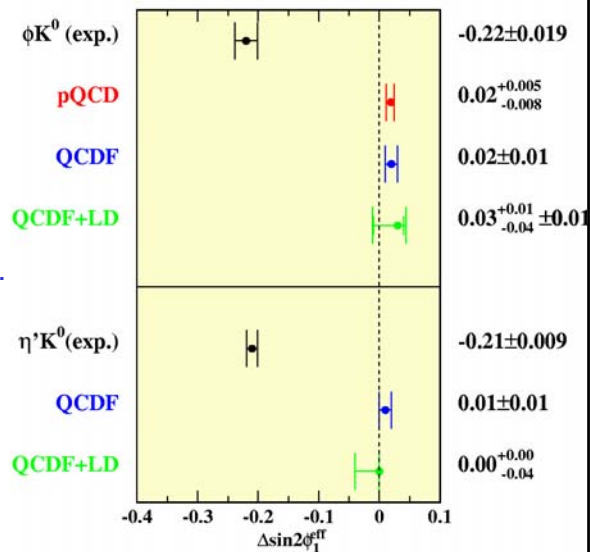


Kaj pa s 100x več podatki?

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

27. marec 2006

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





Motivacija za Super B

- Standard Model očitno ni dokončna teorija.

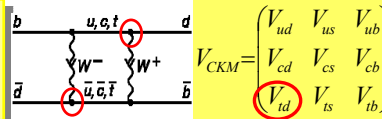
- končna m_ν
- gravitacija



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

Primerjava s kvarkom t

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



- Če 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.**

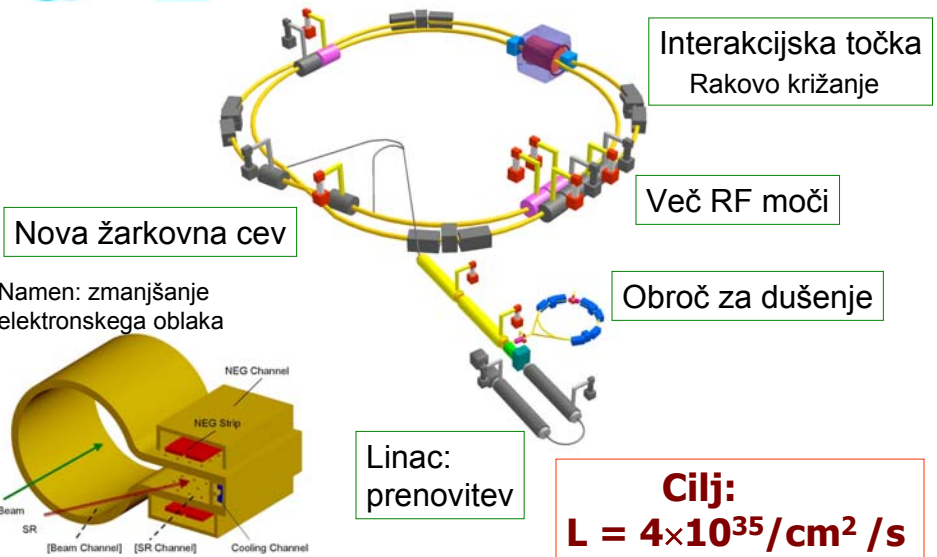
27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Super B v KEK



Namen: zmanjšanje elektronskega oblaka

27. marec 2006

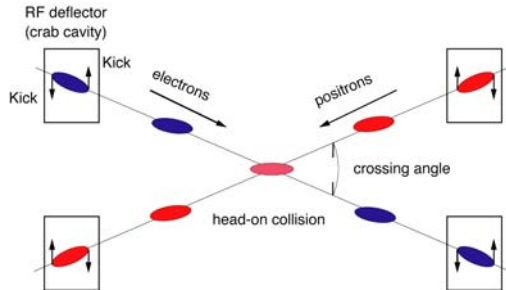
Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



Rakovo križanje žarkov

- Pričakujemo povečanje luminoznosti za faktor 2-2.5!



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

Peter Kržan, FMF+IJS



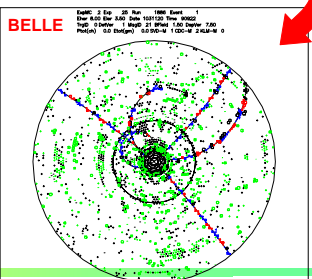
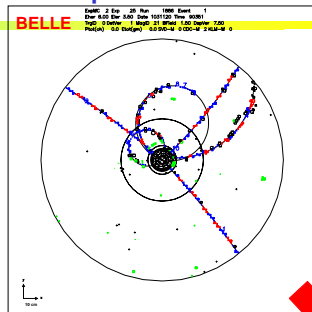
Zahteve za detektor ob Super B

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.



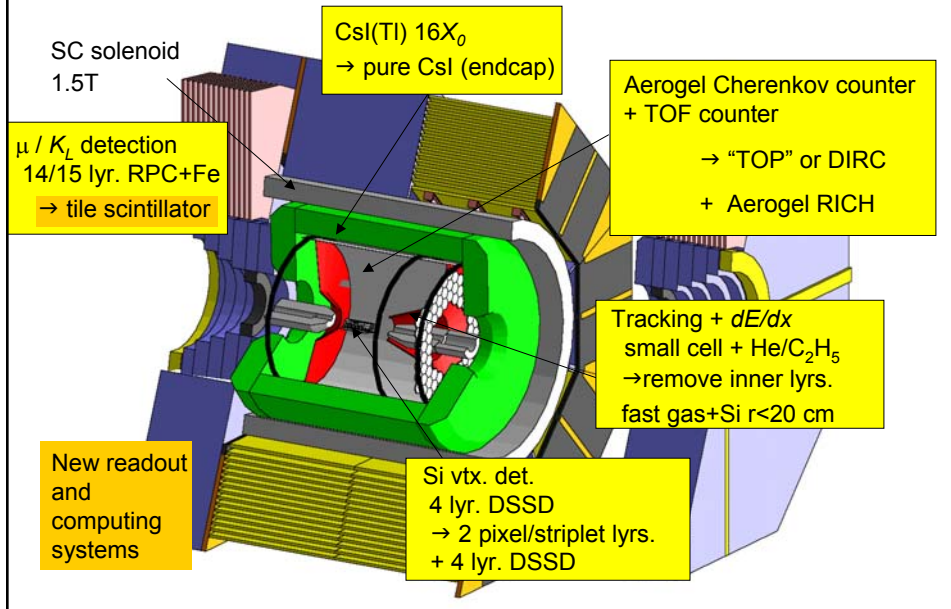
27. marec 2006

Izbrana poglavja

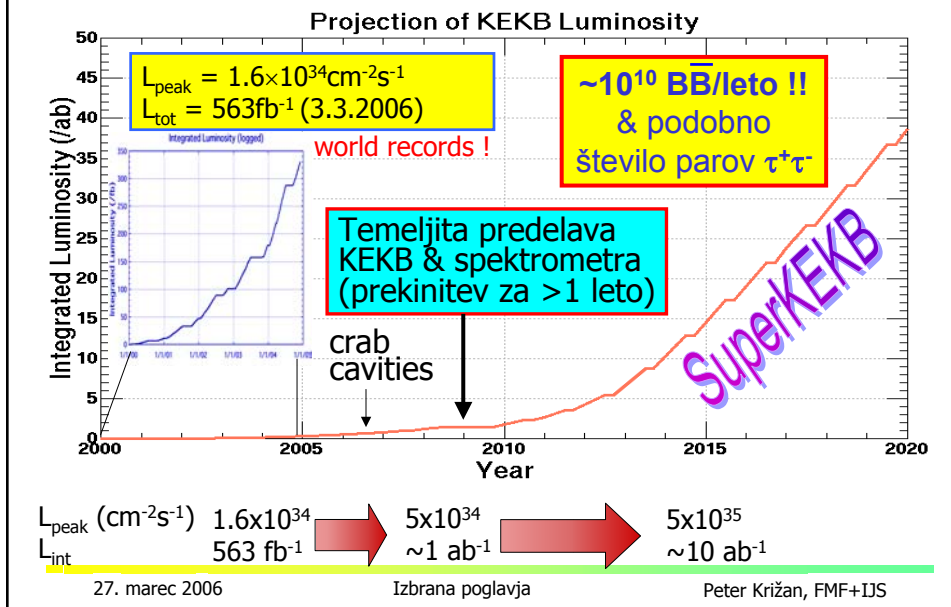
Peter Kržan, FMF+IJS



Belle Upgrade for Super-B



Izboljšave trkalnika: možen scenarij





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! →

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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...

27. marec 2006

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS



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.

Ta predstavitev je na

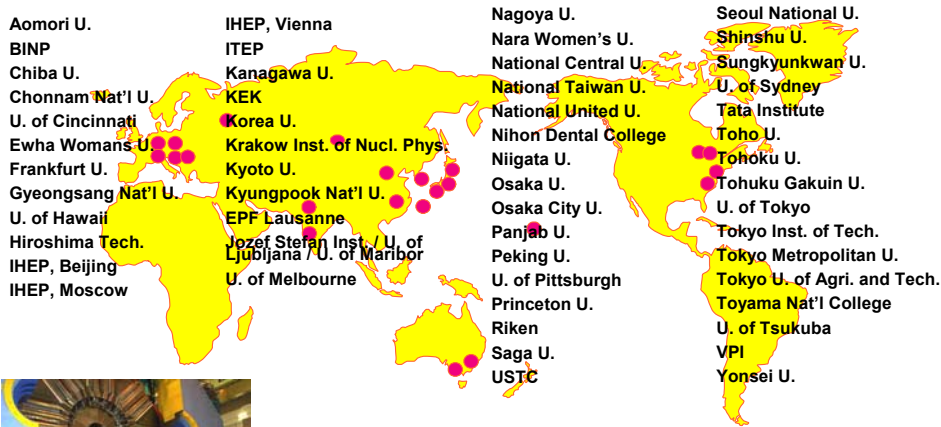
<http://www-f9.ijs.si/~krizan/sola/izbr-pog/ip-270306.pdf>



Dodatne prosojnice



Belle Collaboration



27. marec 2006

13 držav, 55 institucij, ~400 sodelavcev

Izbrana poglavja

Peter Križan, FMF+IJS