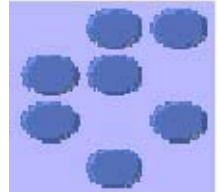




UNIVERZA V LJUBLJANI



Ali se je odprl pogled v fiziko izven Standardnega modela?








Peter Križan

Fakulteta za matematiko in fiziko UL

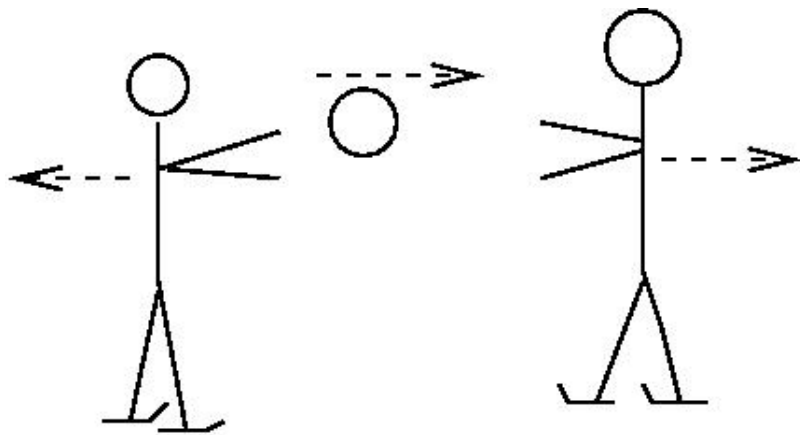
Institut J. Stefan

II. Gimnazija Maribor, 11.11.2003

DELCI
in
SILE,
urejeni po
NADSTROPJIH

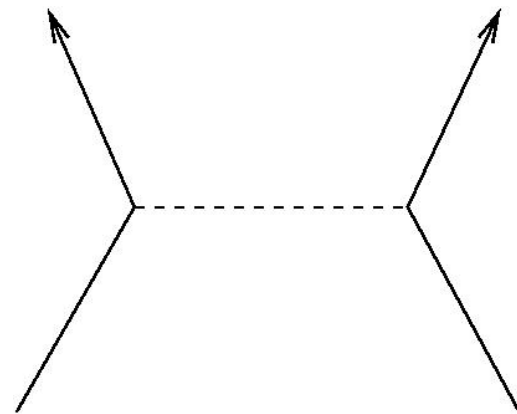
<i>Velikost (m)</i>	<i>Predmet</i>	<i>Sila</i>	<i>Smisel</i>	<i>Strokovnjak</i>
10^{21}	kopice galaksij 	gravitacija		filozof ↑
10^{14}	galaksije zvezde planeti 			astrofizik astronom
1	živa bitja 	instinkti	ohranitev vrste	sociolog biolog
10^{-8}	molekule 	elektro- magnetizem	pestrost svetlobe, življenja energija	kemik
10^{-10}	atomi 			atomski fizik
10^{-14}	jedra 	jedrska	kemijski elementi sonce, reaktor	jedrski fizik
10^{-15}	nukleoni 	močna šibka	moja plača	fizik osnovnih delcev
10^{-18}	kvarki ?	?	?	filozof ↓

Sile med osnovnimi delci: izmenjava nosilcev sile



Drzalca na ledu, ki si podajata težko žogo, se oddaljujeta eden od drugega.

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



Standardni model 1

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

Standardni model 2

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

Na primer proton: uud, nevtron: udd

Mezoni: vezana stanja karkov in antikvarkov

Mezoni

π^+ : kvark u + antikvark d	$1/7 m_p$
K^+ : kvark u + antikvark s	$1/2 m_p$
K_S : kvark d + antikvark s	$1/2 m_p$
ϕ : kvark s + antikvark s	$1.1 m_p$
J/ψ : kvark c + antikvark c	$3 m_p$
B^0 : kvark d + antikvark b	$5.5 m_p$

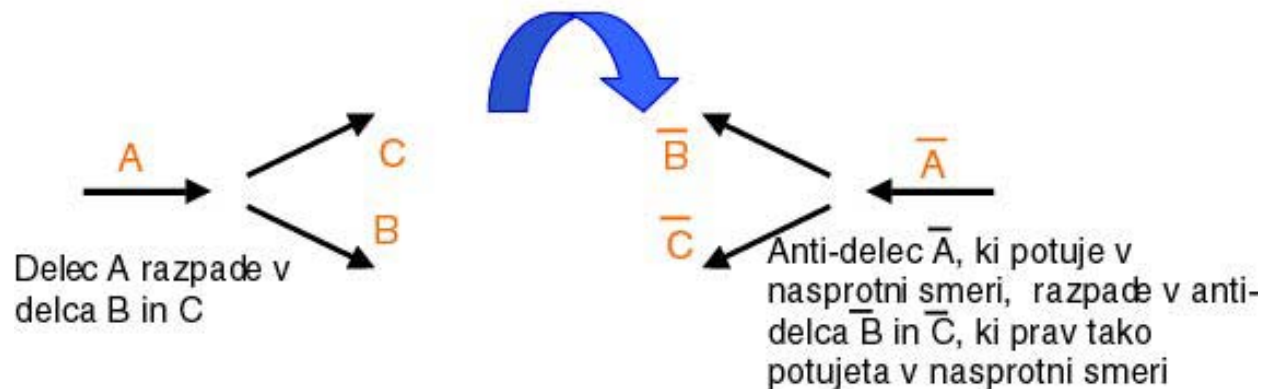
Zrcaljenje prostora : simetrija P



Zamenjava delcev z anti-delci : simetrija C



Zrcaljenje prostora in zamenjava delcev z anti-delci: simetrija CP



Simetrija CP

Če zgornja procesa ne potekata enako, je to kršitev simetrije CP. To pomeni, da se delci in anti-delci v določenih primerih vedejo drugače, kar je možen razlog za to, da je vesolje danes sestavljeno iz **snovi** in ne iz **anti-snovi**.

Očitno zelo pomembna količina!

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.

Kršitev CP pri mezonih B

Zakaj naj bi bila kršitev CP drugačna pri drugem paru kvarkov (**bu** namesto **sd**)?

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

Kako izmeriti kršitev CP pri mezonih B?

Najprej jih moramo ustvariti: uporabimo reakcijo pri trku elektrona in pozitrona z dovolj veliko energijo: $e^- e^+ \rightarrow B^0 B^0$

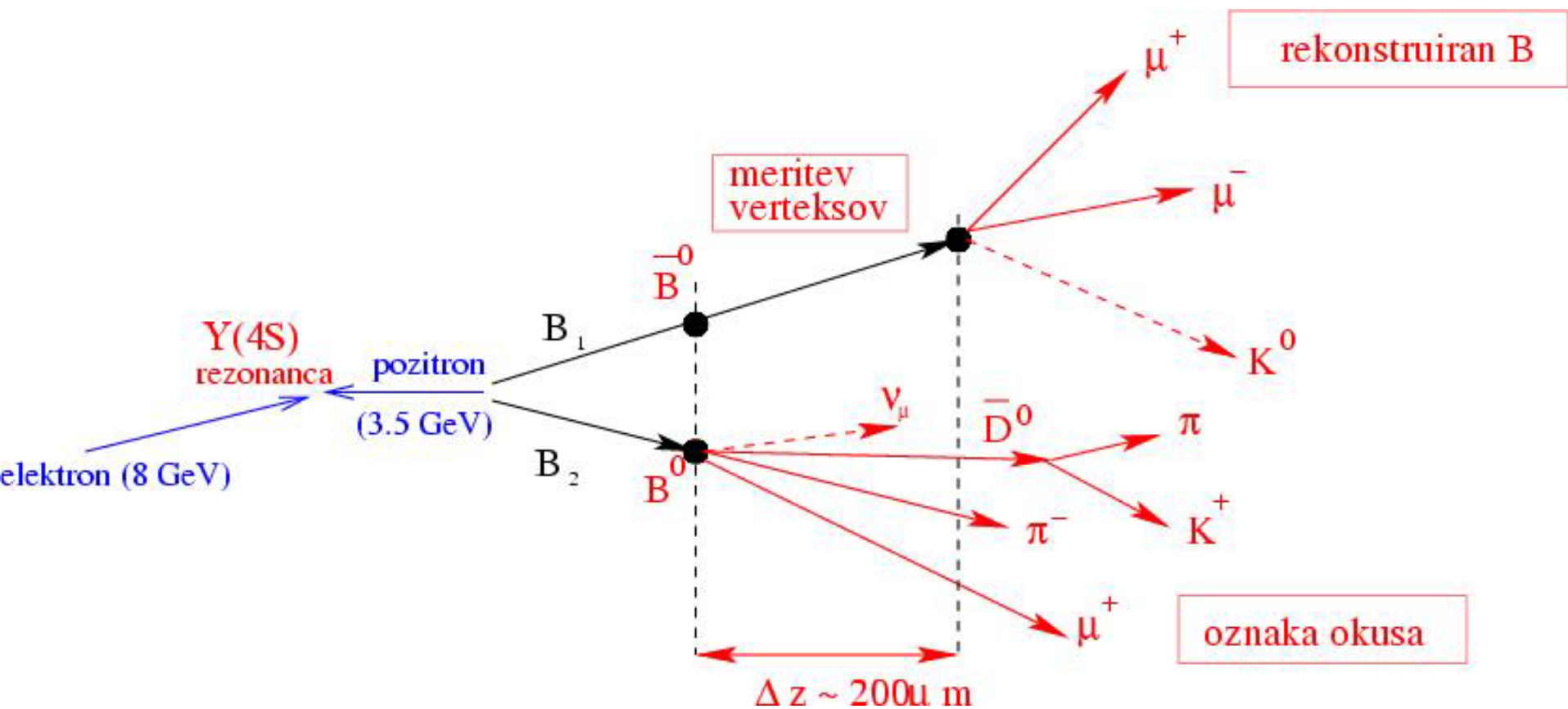
Nato počakamo, da eden od obeh B^0 razpade v stanje, za katero vemo, kakšna je njegova CP parnost (torej kako se obnaša pri simetrijski operaciji CP). Primer takega stanja je razpad

$B^0 \rightarrow J/\psi K_S$, - razpadna produkta pa naprej razpadeta:

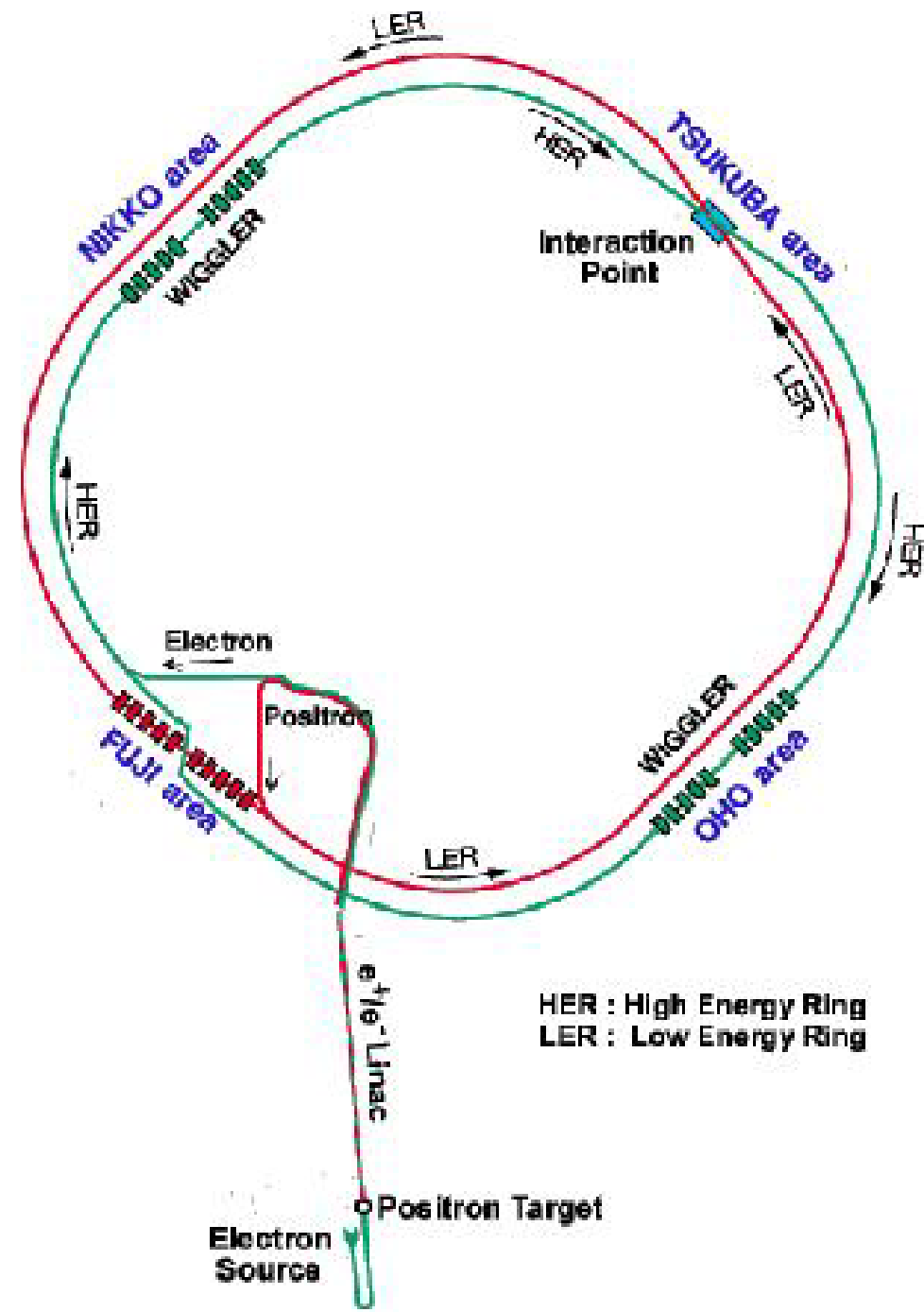
$J/\psi \rightarrow \mu^- \mu^+$ in $K_S \rightarrow \pi^- \pi^+$

Izmerimo, kje se je to zgodilo, in ugotovimo, ali je v $J/\psi K_S$ razpadel B^0 ali njegov anti-delec.

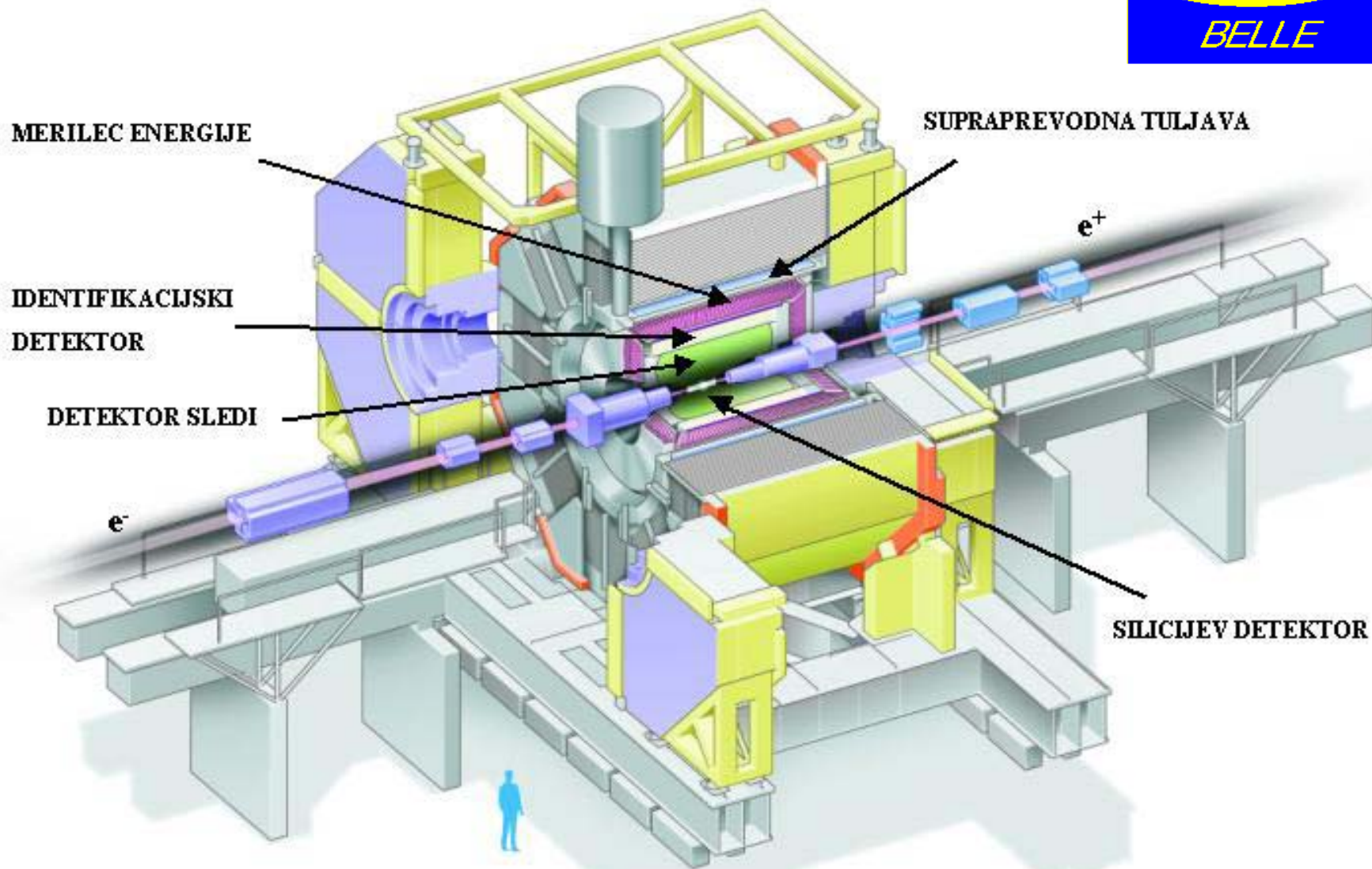
Kako merimo kršitev CP



Trkalnik KEK-B pospešuje elektrone in pozitrone do trka



Spektrometer Belle



Detektor verteksov

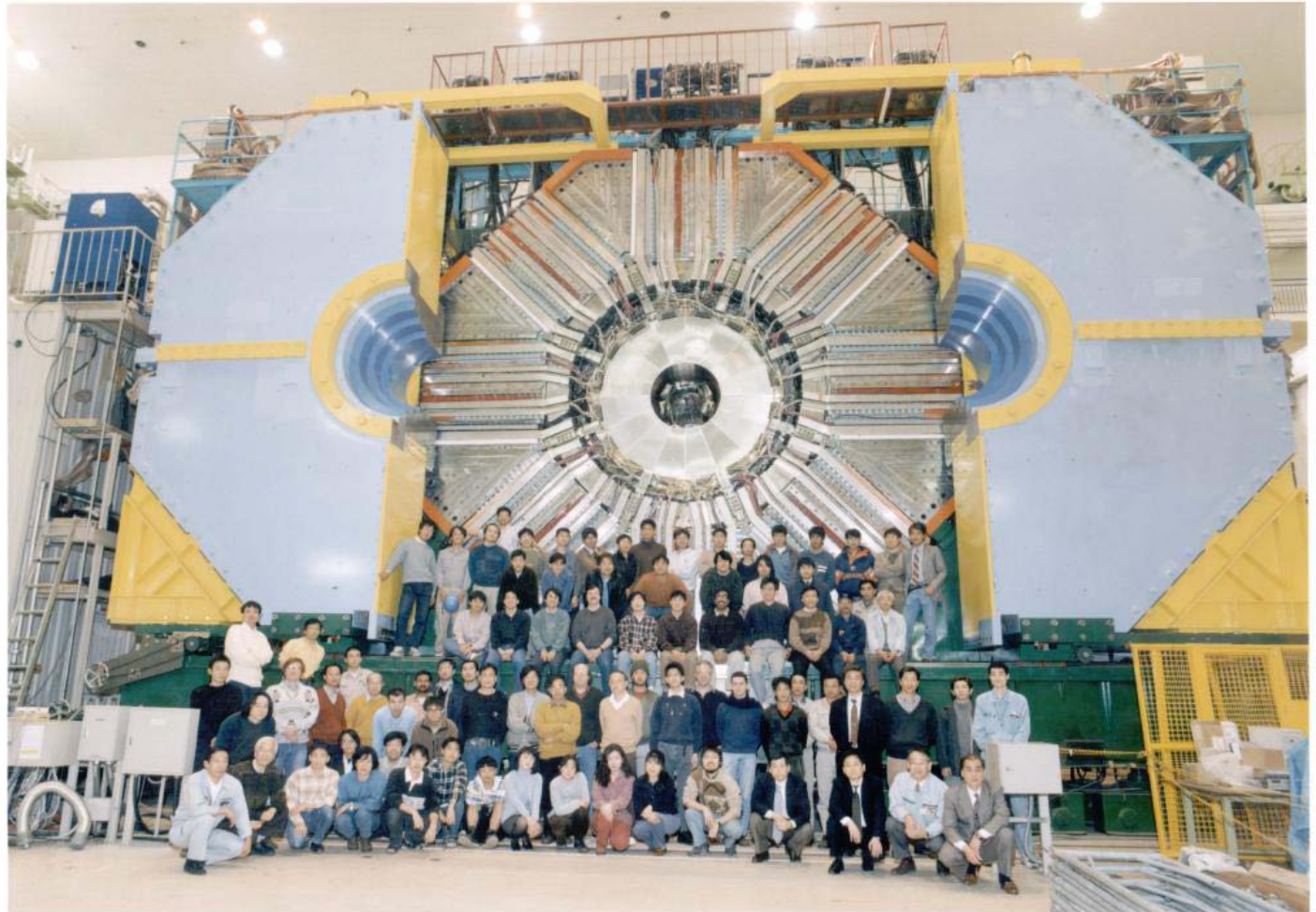
Eden bistvenih elementov detektorja je detektor točke, kjer so mezoni B razpadli – verteksa.

Zelo občutljiv kos aparature iz tankih silicijevih plošč z gosto nanešenimi elektrodami: natančnost meritve mesta preleta nabitega delca: 10 mikronov!





Spektrometer Belle in del raziskovalne skupine



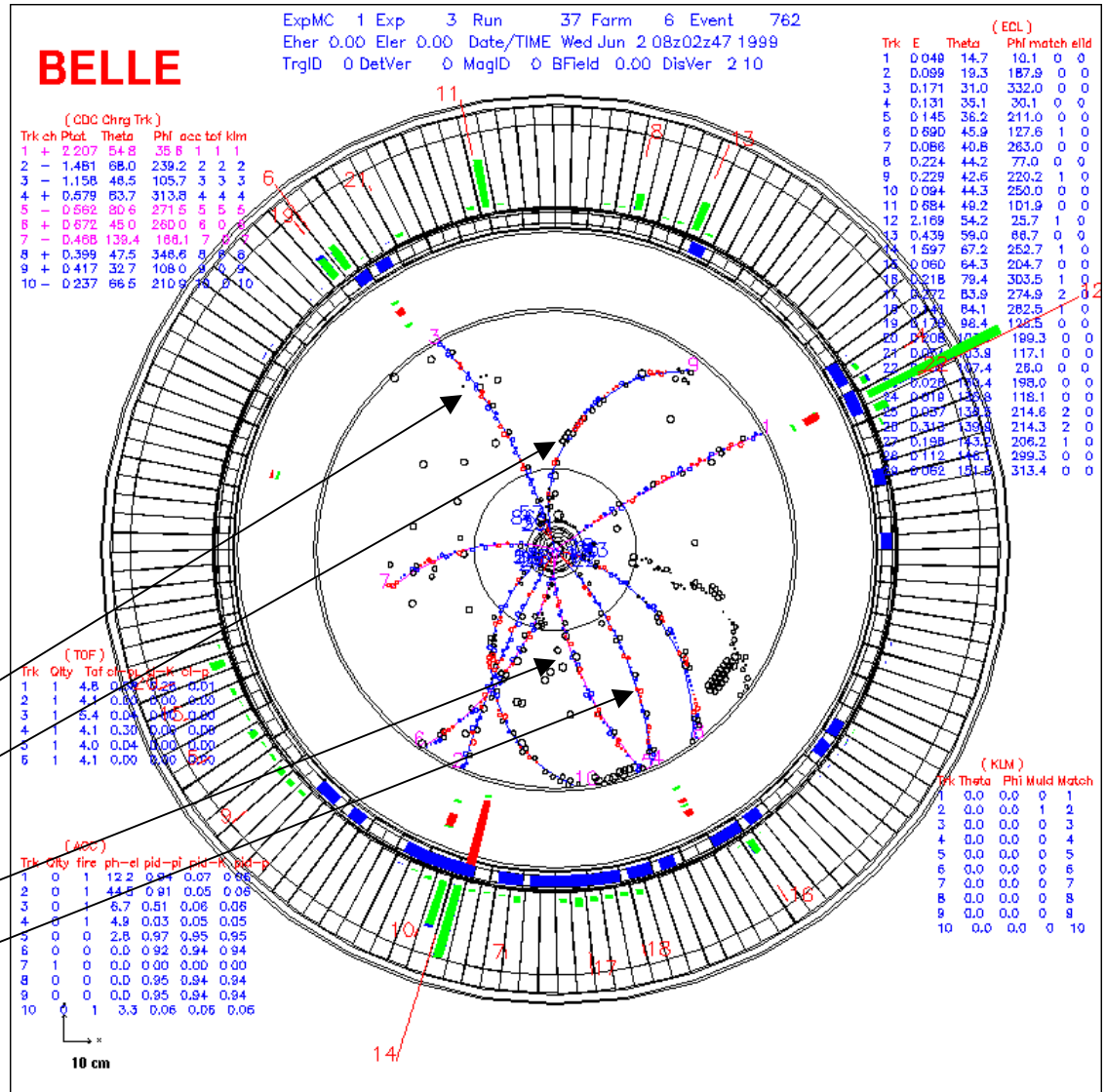
Kaj izmerimo z detektorjem?

- 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

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

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

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



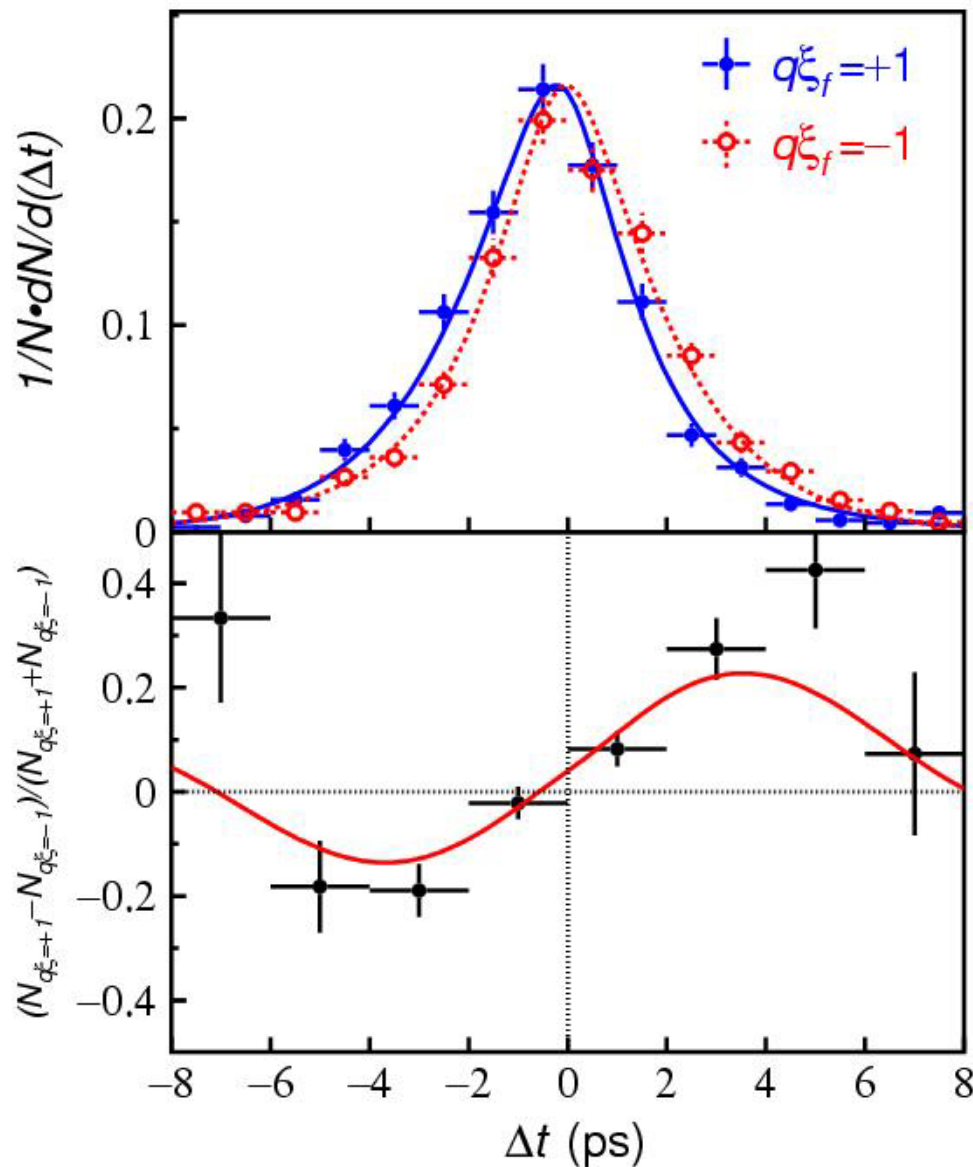
Rezultat meritve: CP je kršena!

Razlika med delci in antidelci:

Modra: časovni potek razpada anti-B

Rdeča: isto za B

Razlika med obema funkcijama



CP je kršena!

Pri meritvi se je izkazalo, da delci razpadajo nekoliko drugače, kot njihovi antidelci.

Merilo za kršitev simetrije CP je količina $\sin 2\varphi_1$. Ta bi bila nič, če v opazovanem sistemu simetrija CP ne bi bila kršena. Rezultati meritev so pokazali, da je vrednost te količine

$$\sin 2\varphi_1 = 0,731 \pm 0,056.$$

Vrednost se zelo dobro sklada z vrednostjo, ki jo dobimo posredno iz drugih meritev in preko povezav, ki sledijo iz Standardnega modela.

Iščemo naprej...

- Če bi Standardni model natančno opisal interakcije med osnovnimi delci, bi moralo do kršitve simetrije CP prihajati tudi v nekaterih drugih redkih razpadih mezonov B , stopnja kršitve pa bi bila prav tako določena z istim parametrom $\sin 2\varphi_1$.
- V dveh letih po prvem odkritju (2001) smo nadaljevali z raziskavami procesov, pri katerih bi lahko bila ta simetrija kršena, in v toku teh študij naleteli na **presenetljiv rezultat**.
- Pregledali smo celoten vzorec zbranih podatkov, v katerih se skriva 150 milijonov razpadov mezonov B in njihovih antidelcev, in našli 68 primerov razpadov mezona B v mezona Φ in K_S .

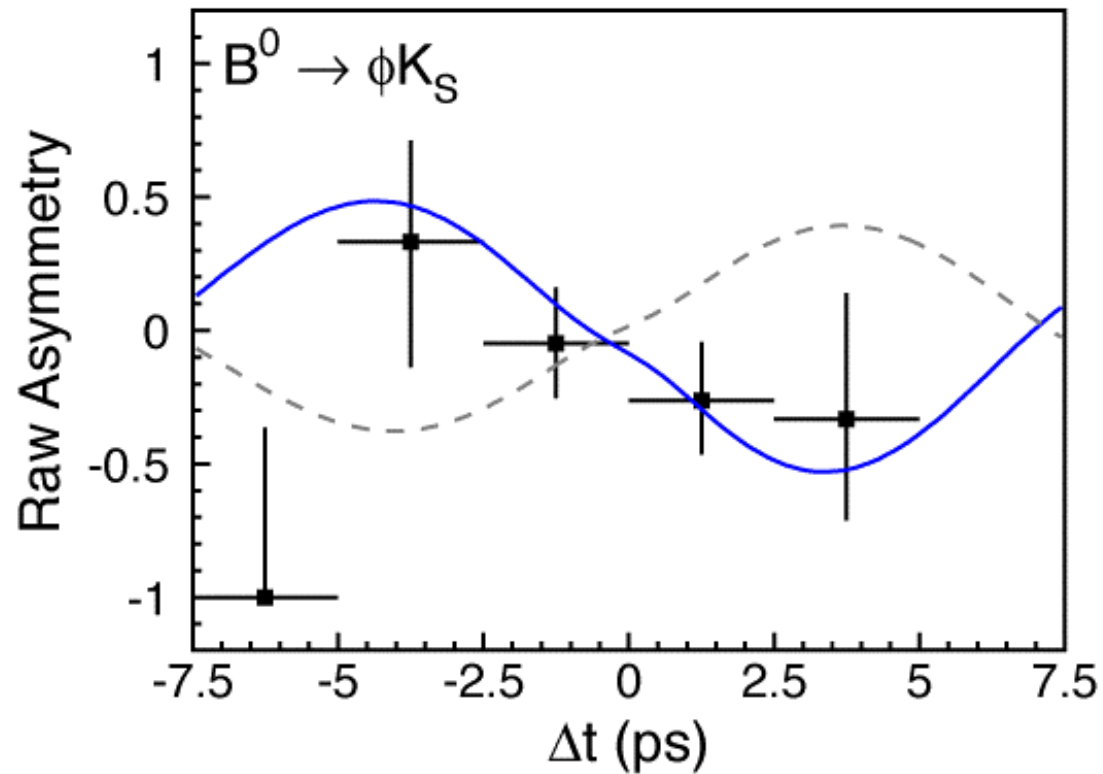
Rezultat meritve: presenečenje!

Rezultat meritve: relativna razlika v verjetnosti za opazovani razpad za mezone B in njihove antidelce.

Meritev: kvadrati, statistična napaka meritve: navpične črte.

Napoved Standardnega modela: črtkana krivulja.

Modra krivulja: rezultat prilagajanja izmerjenim točkam.



Rezultat meritve: presenečenje!

Iz izmerjenih točk ugotovimo, da je parameter kršitve simetrije CP v tem procesu enak

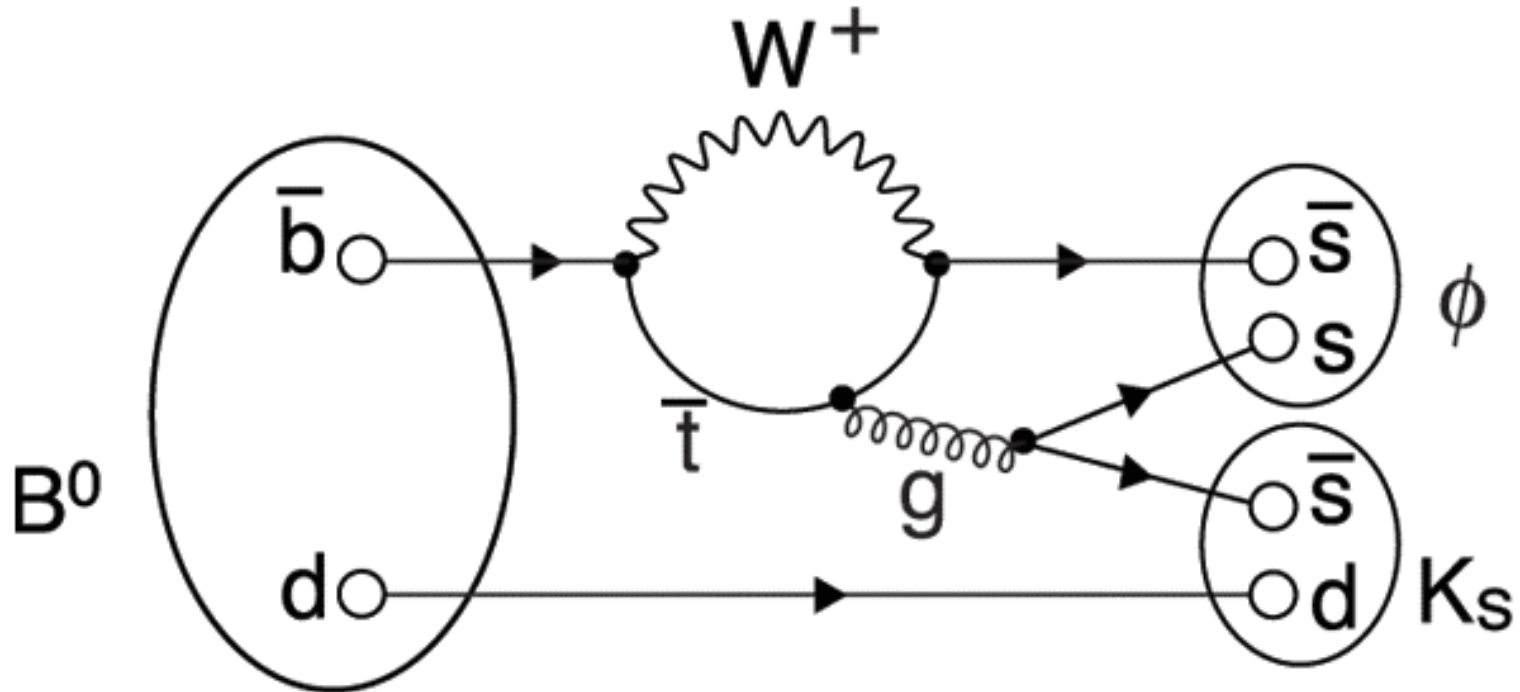
$$-0.96 \pm 0.50,$$

kar se znatno razlikuje od pričakovane vrednosti

$$\sin 2\varphi_1 = 0.731 \pm 0.056.$$

Od kod ta razlika?

Diagram za prehod B v $\phi + K_S$



Razpad $B \rightarrow \Phi + K_S$ poteka preko “kvantne fluktuacije”: kvark b se za zelo kratek čas pretvori v bistveno težji kvark t in bozon W , nato pa konča kot kvark s in par antikvarkov anti- s .

Možnost: namesto kvarka t ali bozona W se bi pri taki kvantni fluktuaciji lahko pojavile nove vrste delcev, ki jih sicer Standardni model ne predvideva in jih do sedaj še nismo odkrili.

Kakšni delci bi lahko nastopali v zanki?

Zelo mikavna možnost: pri kvantni fluktuaciji nastopajo supersimetrični partnerji osnovnih delcev.

elektron e selektron e

kvark b skvark b

foton γ fotino γ

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

Do sedaj nismo videli še nobenega supersimet. partnerja.

Nazaj v realnost: Koraki naprej...

Izmerjena vrednost -0.96 ± 0.50 se sicer znatno razlikuje od $\sin 2\varphi_1 = 0,731 \pm 0,056$, vendar je napaka meritve še zmeraj prevelika, da bi lahko iz nje povzeli dokončne sklepe.

Preveriti je potrebno, ali bo rezultat obstal tudi pri večjem številu zbranih podatkov, recimo čez dobro leto dni (ko se bo zaradi večjega vzorca napaka meritve zmanjšala).

Proučiti je potrebno sorodne razpade, kjer bi kvantne fluktuacije prav tako lahko bistveno spremenile parameter kršitve simetrije CP, ali pa bistveno spremenile verjetnost za razpad.

In nenazadnje: z izboljšano eksperimentalno aparaturo bi lahko prišli do čistejšega vzorca.

Izboljšava aparature: Nadgradnja sistema za identifikacijo nabitih delcev

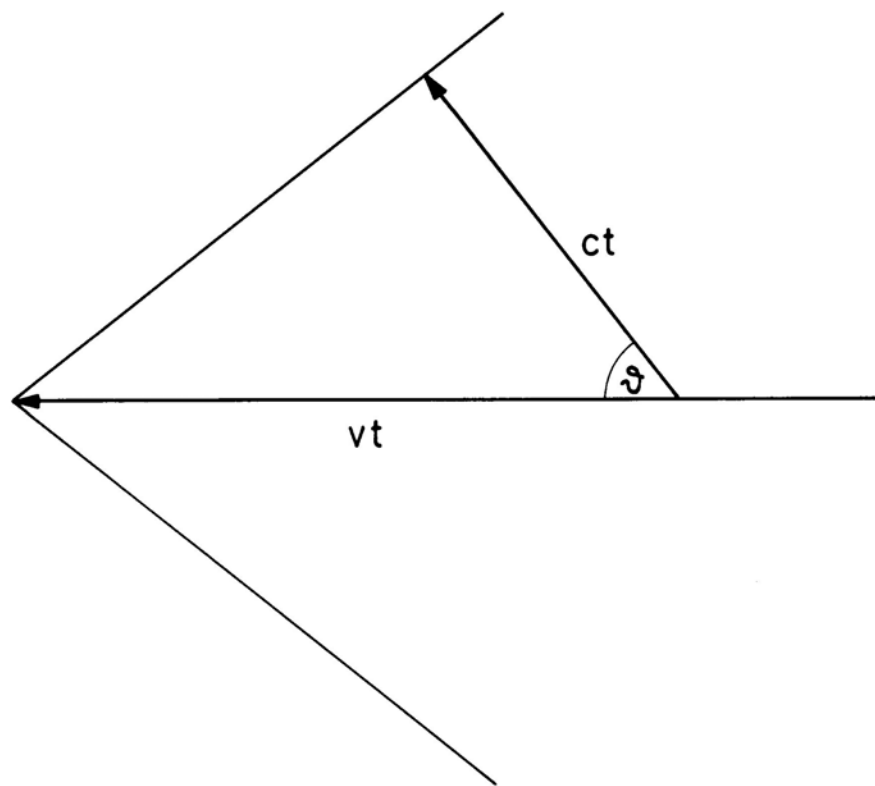
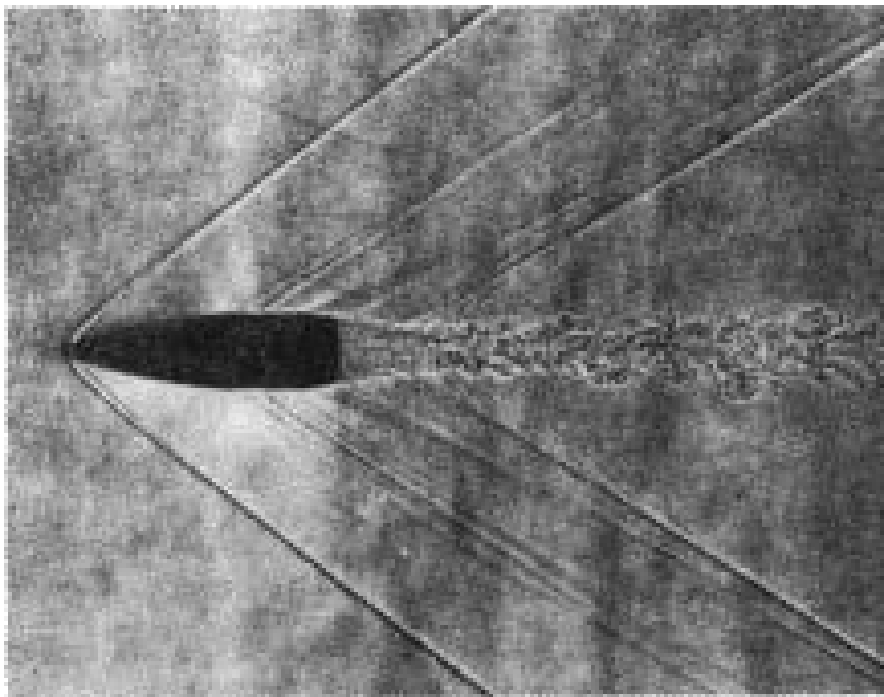
Delce identificiramo po njihovi **masi**. Kako določiti maso brez tehtanja?

Iz zveze med gibalno količino in hitrostjo: **$p=mv$**

Ločeno izmerimo

- gibalno količino **p** (ukrivljenost tira v magnetnem polju)
- hitrost **v** (velikost kota Čerenkova) ->

Fronta pri nadzvočnem letu



$$c/v = \cos\theta$$

Za kot 52° : $v = c/\cos\theta = 340\text{m/s} / \cos 52^\circ = 552\text{m/s}$

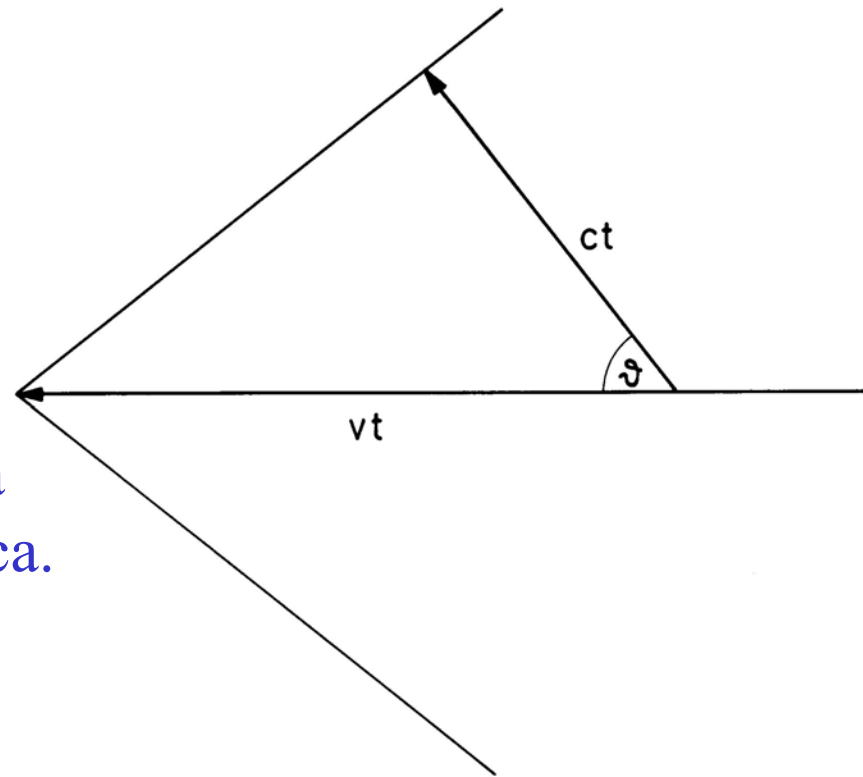
Iz kota fronte določimo hitrost krogle!

Sevanje delca, ki leti hitreje od svetlobne hitrosti v sredstvu

Nabiti delci s hitrostjo $v > c/n$,
sevajo: sevanje Čerenkova.

Ponovno: $c/v = \cos\theta$

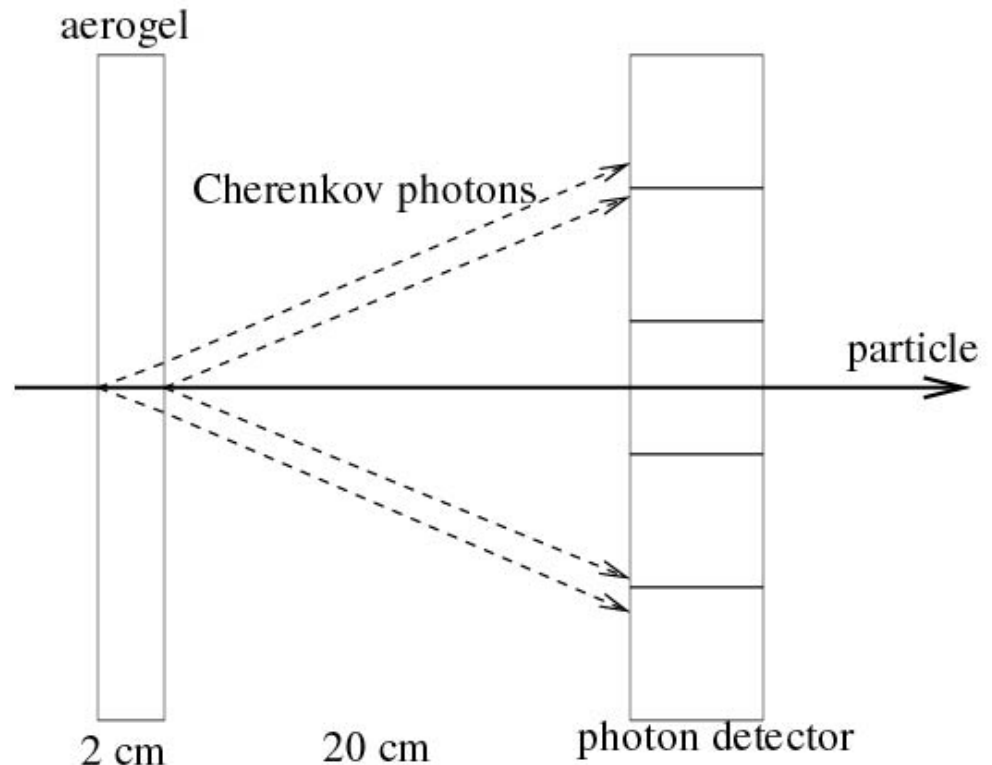
Iz kota pod katerim je svetloba
izsevana, določimo hitrost delca.



Meritev kota Čerenkova

Nabit delec prečka sredstvo z lomnim količnikom n , seva svetlobo Čerenkova, to pa zaznamo z detektorji (fotopomnoževalkami).

Smer sevanja (fotonov) določimo iz znane točke izseva in izmerjene točke detekcije.



Zaključek

Eksperimentalna aparatura v Tsukubi je imenitno pripravljena, omogoča natančne meritve redkih procesov.

Do sedaj smo med drugim izmerili, kako je v sistemu mezonov B kršena simetrija CP.

Naleteli smo tudi na presenetljiv rezultat v enem od razpadnih kanalov.

Ali je to znak 'nove fizike' izven Standardnega modela? To se bo šele pokazalo z večjim vzorcem, in z drugimi merjenimi kanali, in z izboljšano aparaturo.