

# Kako se anti-delci razlikujejo od delcev

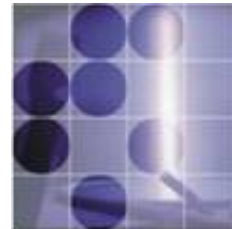
Precizijske meritve v fiziki mezonov B in D

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Peter Križan

*Fakulteta za matematiko in fiziko UL,  
in Institut Jožef Stefan*



SAZU, 20. 3. 2013

# Asimetrija med snovjo in antisnovjo

---

Današnje vesolje:

skoraj izključno snov, nič antisnovi.

Kam so izginili vsi anti-delci iz zgodnjega vesolja po Velikem poku (ko jih je bilo enako kot delcev)?

Delci in anti-delci se obnašajo nekoliko različno:

*rahlo* drugače razpadajo v stabilne delce → v dolgem razvoju vesolja je obstalo malo delcev in nič anti-delcev

# Razlika med količino delcev in antidelcev v zgodnjem vesolju in danes

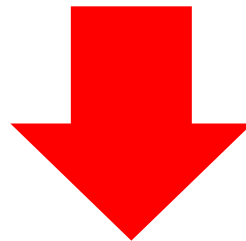
---

Na 10 milijard delcev in 10 milijard anti-delcev v zgodnjem vesolju je preživel:

**1 sam delec!**

10.000.000.000 delcev

10.000.000.000 antidelcev



razvoj vesolja do danes

1 delec

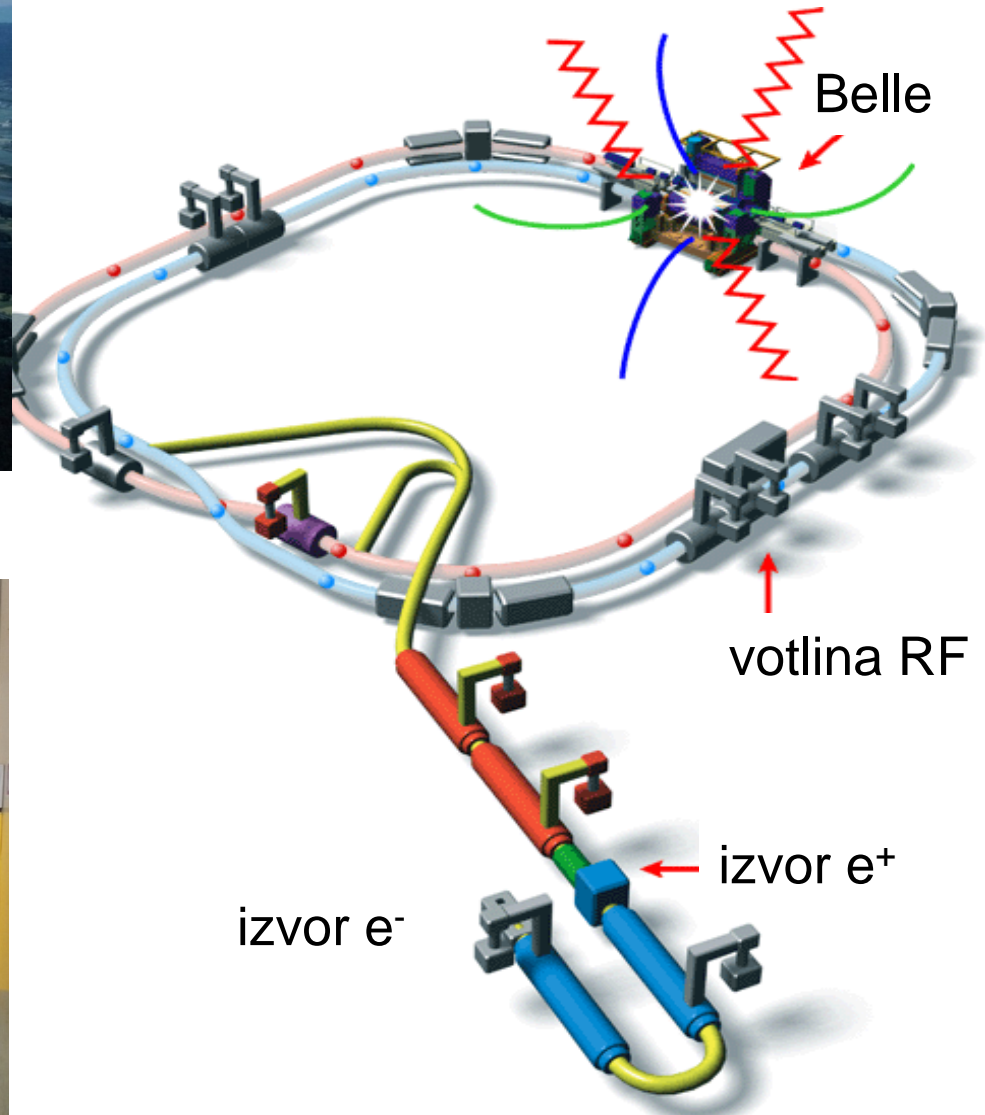
0 antidelcev

Eksperiment Belle:

Kako se delci razlikujejo od anti-delcev?

# Trkalnik KEK-B

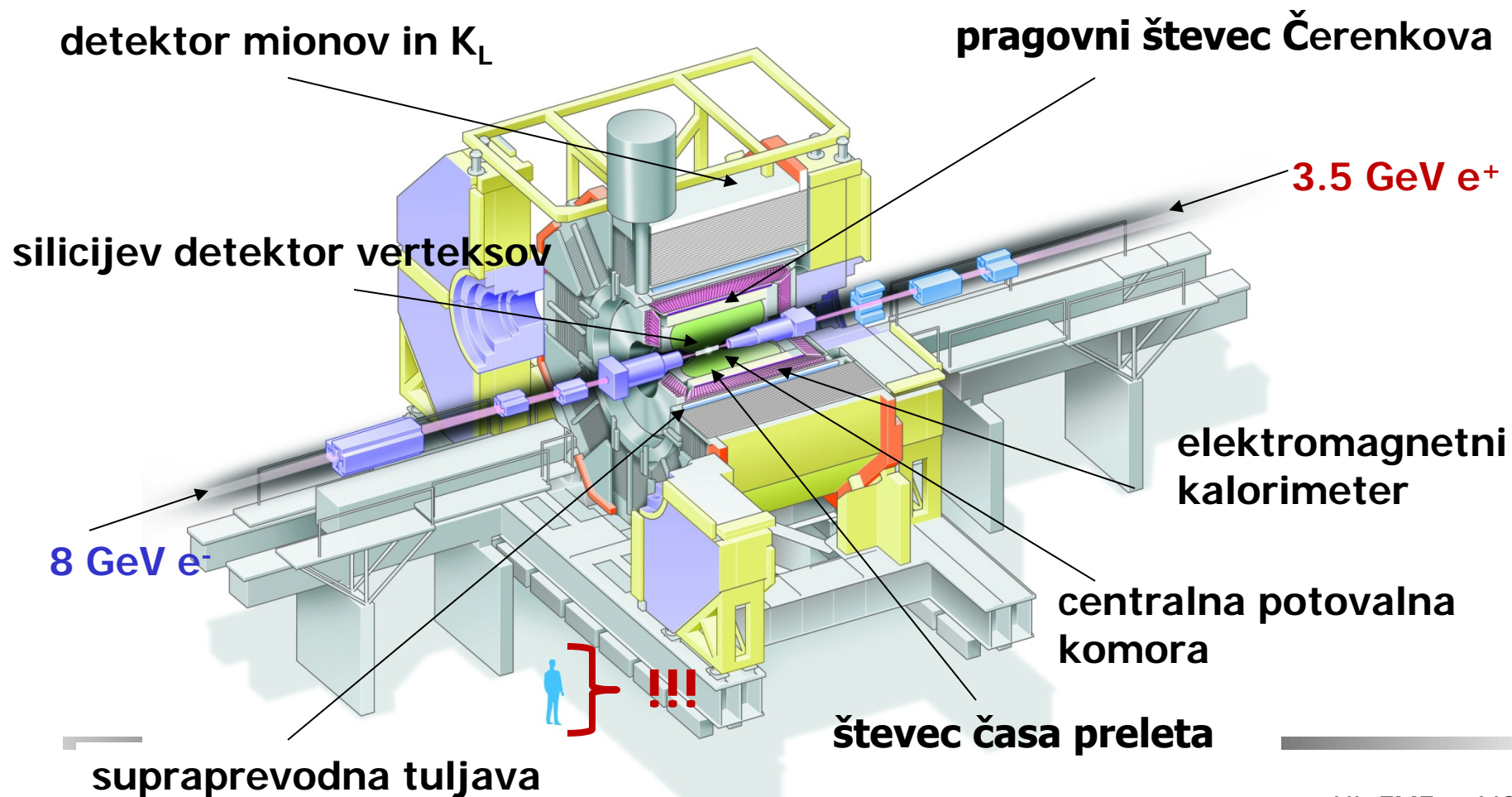
pospešuje elektrone in pozitrone do trka



# Spektrometer Belle:

originalne tehnične rešitve in vrhunska tehnologija

pospravljeno v  $\sim 100 \text{ m}^3$  raziskovalne aparature

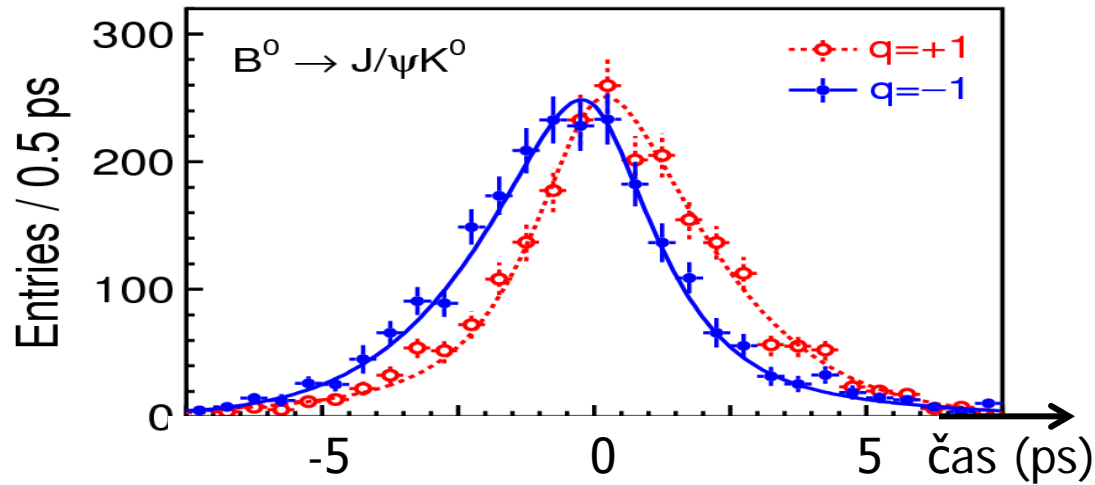




# Rezultat meritev: zmagoslavje Standardnega modela!

Razlika med delci in antidelci se ujema  
z napovedjo japonskih fizikov  
Kobayashija in Maskawe

**Nobelova nagrada 2008!**



Modra: časovni potek razpada za mezone B  
Rdeča: isto za anti-B

# Rezultat meritev: zmagoslavje Standardnega modela!

V utemeljitvi Nobelovega komiteja poudarjena eksperimentalna potrditev teorije  
→ Zmagoslavje tudi za nas!



Raziskovalna skupina Belle: ena izmed najbolj uspešnih raziskovalnih skupin vseh časov v fiziki osnovnih delcev: od leta 2001 več kot 300 člankov v elitnih fizikalnih revijah, več kot 10.000 citatov.

# Ali je to to? Ali zdaj razumemo vesolje od začetka dalje?

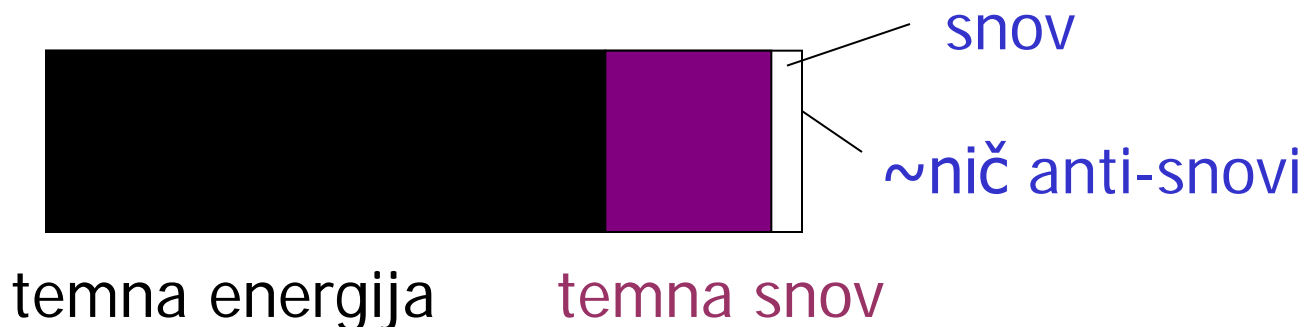
---

Žal ne...

Izmerjena kršitev simetrije med delci in antidelci je za **10 redov velikosti (10 milijard krat) premajhna**, da bi pojasnila razliko med količinama snovi in anti snovi v vesolju!

Standardni model **ne vsebuje** četrte interakcije - **gravitacije**

In nenazadnje: **večina vesolja** je narejena iz **delcev**, ki jih **ne poznamo...**





# Iskanje popolnejšega opisa narave

---

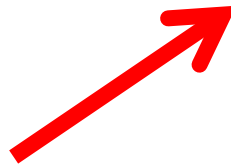
Dve možnosti:

- **Neposredno iskanje novih delcev**
  - iskanje pri velikih energijah (LHC)
- **Iskanje odstopanj od pričakovanih značilnosti procesov**
  - izjemno natančne meritve pri nižjih energijah (Belle in Belle II).

→ Oba pristopa se dopolnjujeta  
(odkritje in razumevanje novih delcev)

# Primerjava obeh pristopov

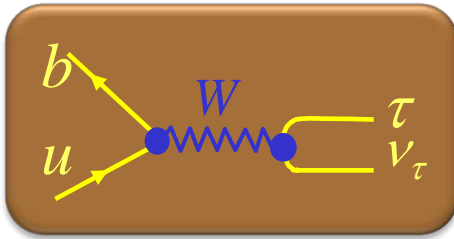
Direktno opazovanje (LHC)



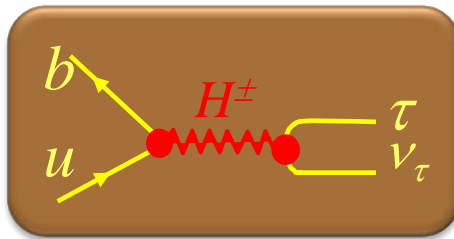
Posredno opazovanje (Belle II)

# Primer: lov na **nabit Higgsov delec** v razpadu $B^- \rightarrow \tau^- \nu_\tau$

Poleg nevtralnega Higgsovega delca, ki so ga odkrili na velikem hadronskem trkalniku LHC v Ženevi, bi lahko (v okviru supersimetričnih teorij) obstajal **nabit Higgsov delec**.



Redki razpad  $B^- \rightarrow \tau^- \nu_\tau$  poteka v SM preko bozona W



V nekaterih supersimetričnih teorijah bi lahko potekal tudi preko **nabitega Higgsovega delca**.

**Nabit Higgsov delec** bi vplival na razpad mezona B na lepton tau in neutrino, in bi spremenil verjetnost za ta proces.

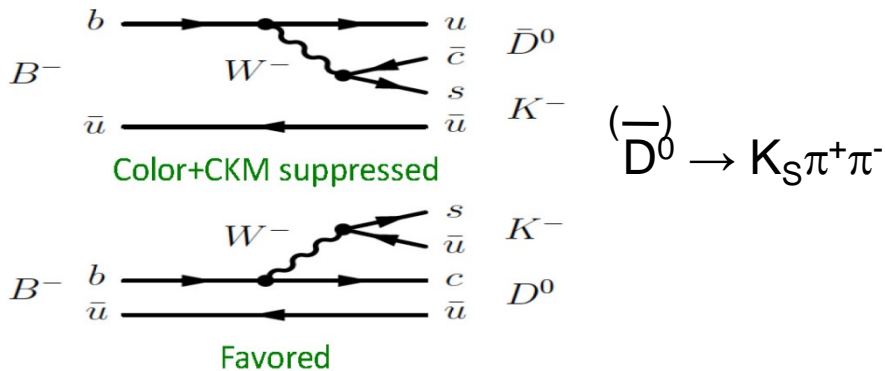
Če izmerimo verjetnosti za tak razpad in jo primerjamo s predvidevanjem Standardnega modela (kjer nabitega Higgsa ni):

→ **Lastnosti nabitega Higgsa (recimo njegova masa)**

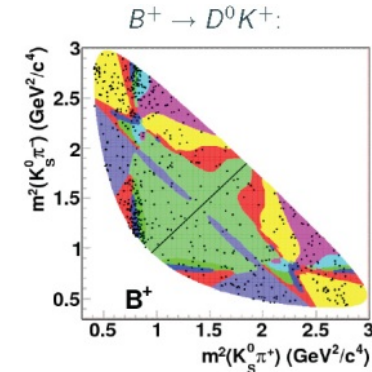
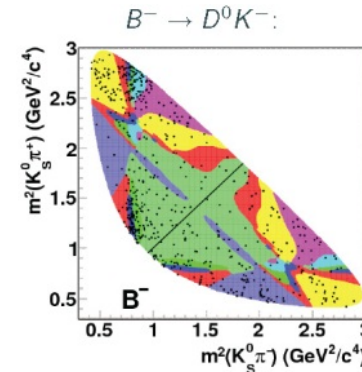
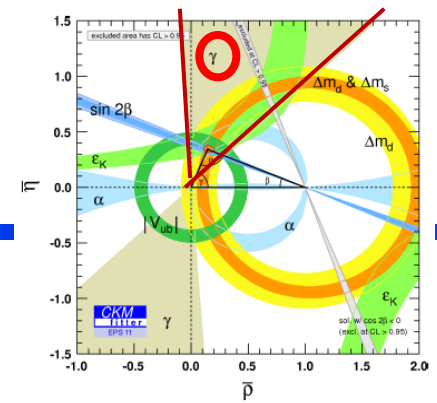
# Primer meritve: kot $\gamma$ v unitarnem trikotniku

V letu 2011 smo med drugim izvedli meritev kota  $\gamma$ , najslabše poznane parametra unitarnega trikotnika, geometrijske reprezentacije prehodov med različnimi vrstami kvarkov (stranice) in kršitve simetrije CP med delci in anti-delci (koti).

Za meritev kota  $\gamma$  smo odkrili dve novi metodi. Pri obeh izkoriščamo interferenco med dvema procesi z istim začetnim in istim končnim stanjem, na primer



Metodi bosta postali še bolj pomembni, ko bomo z novo generacijo pospeševalnika (SuperKEKB) in detektorja (Belle II) za faktor 50 povečali vzorec zaznanih razpadov mezonov B.



Evidence for the Suppressed Decay  $B^- \rightarrow DK^-$ ,  $D \rightarrow K^+ \pi$ , objavljeno v Phys. Rev. Lett.

First Measurement of  $\gamma$  with a Model-independent Dalitz Plot Analysis of  $B \rightarrow DK$ ,  $D \rightarrow K_S \pi \pi$  Decay, objavljeno v Phys. Rev. D



# Projekt Belle II

---

Namen:

izboljšati domet meritev za 100x

– **boljši detektor in zmogljivejši pospeševalnik**

Leta 2011:

**Slavnostna otvoritev projekta v Tsukubi**

Nove meritve od leta 2015 dalje

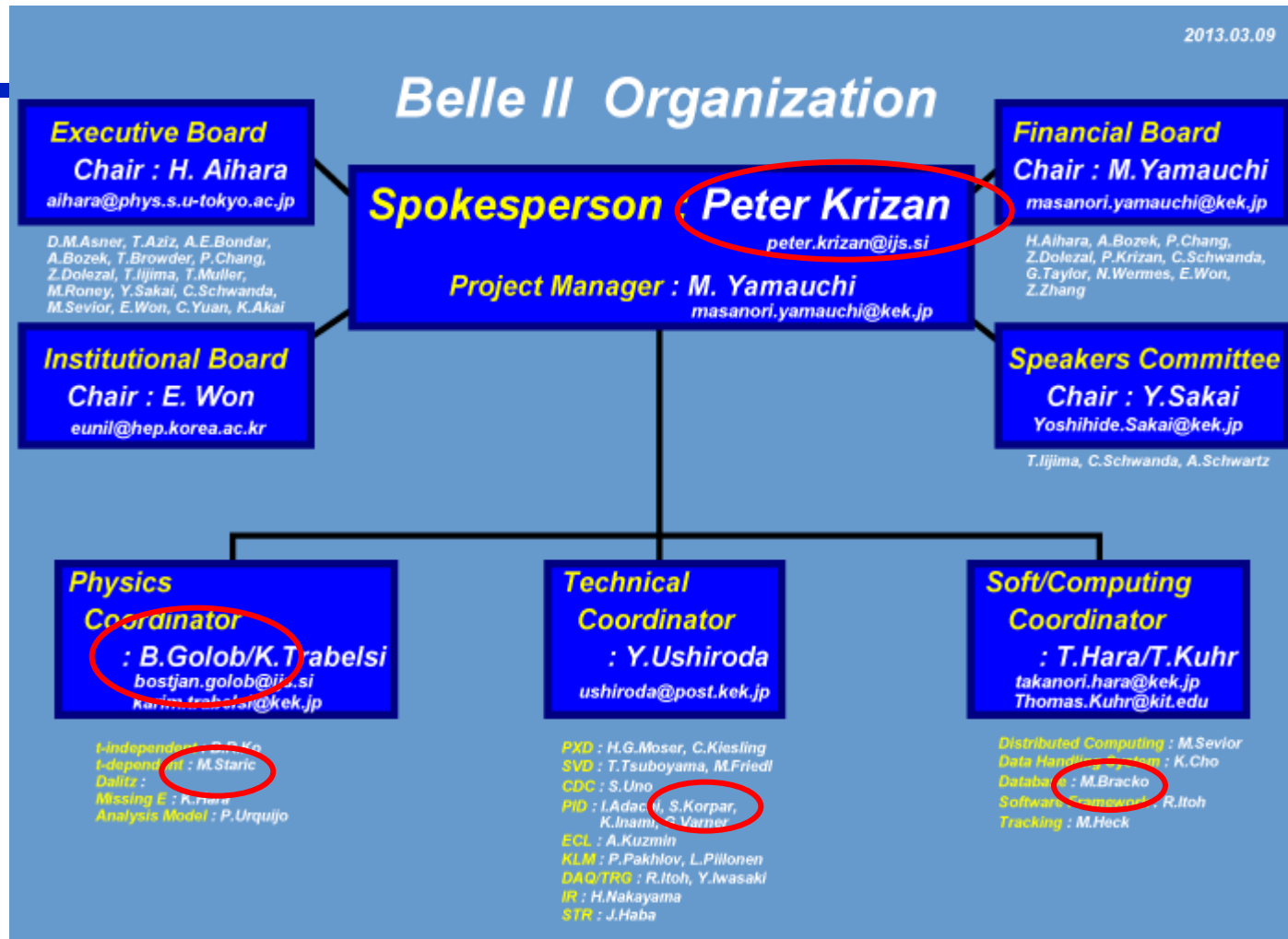
**Slovenska raziskovalna skupina je med nosilci tega projekta, zasedamo nekaj ključnih pozicij**

# Raziskovalna skupina Belle II



Močna raziskovalna skupina  $\sim 500$  fizikov s celega sveta

# Raziskovalna skupina Belle II



Slovenska raziskovalna skupina je med **nosilci tega projekta**, pri pripravi je prevzela ključne odgovornosti: **vodja** mednarodne raziskovalne skupine je prof. P. Križan, **koordinator fizikalnega programa** prof. B. Golob, **koordinator** enega od detektorskih **systemov** prof. S. Korpar, prof. M. Starič pa je eden od **ključnih raziskovalcev** na področju fizike mezonov D.

Slovenski prispevek k detektorju: Za identifikacijo delcev uporabimo **pojavnje Čerenkova**: svetloba, ki jo seva delec, ki je **hitrejši kot hitrost svetlobe** v snovi – podobno kot **udarni val nadzvočnega letala!**

The image is a composite illustrating the Cherenkov radiation detector. It features several key elements:

- Schematic:** A diagram showing a "Radiator" on the left and a "Photon detector" on the right. A red arrow represents the path of a particle, and blue arrows represent "Cherenkov photon" emission.
- Shockwave:** A photograph of a supersonic jet in flight, showing a white shockwave behind it, used as an analogy for Cherenkov radiation.
- 3D Model:** A detailed 3D cutaway of the detector's internal structure, showing various layers and components.
- Hit Map:** A "RICH Hit Map, w.r.t. track" showing a circular hit pattern. A color scale on the right ranges from 100 to 500. A statistics box for "rich\_2d\_1" is also present:

rich_2d_1
Entries 412449
Mean x -0.09929
Mean y -0.4329
RMS x 43.24
RMS y 42
- Component:** A photograph of a physical detector component, likely a radiator or photon detector, showing its rectangular shape and internal structure.

Identifikacija nabitih delcev z dvema detektorjema Čerenkovega sevanja

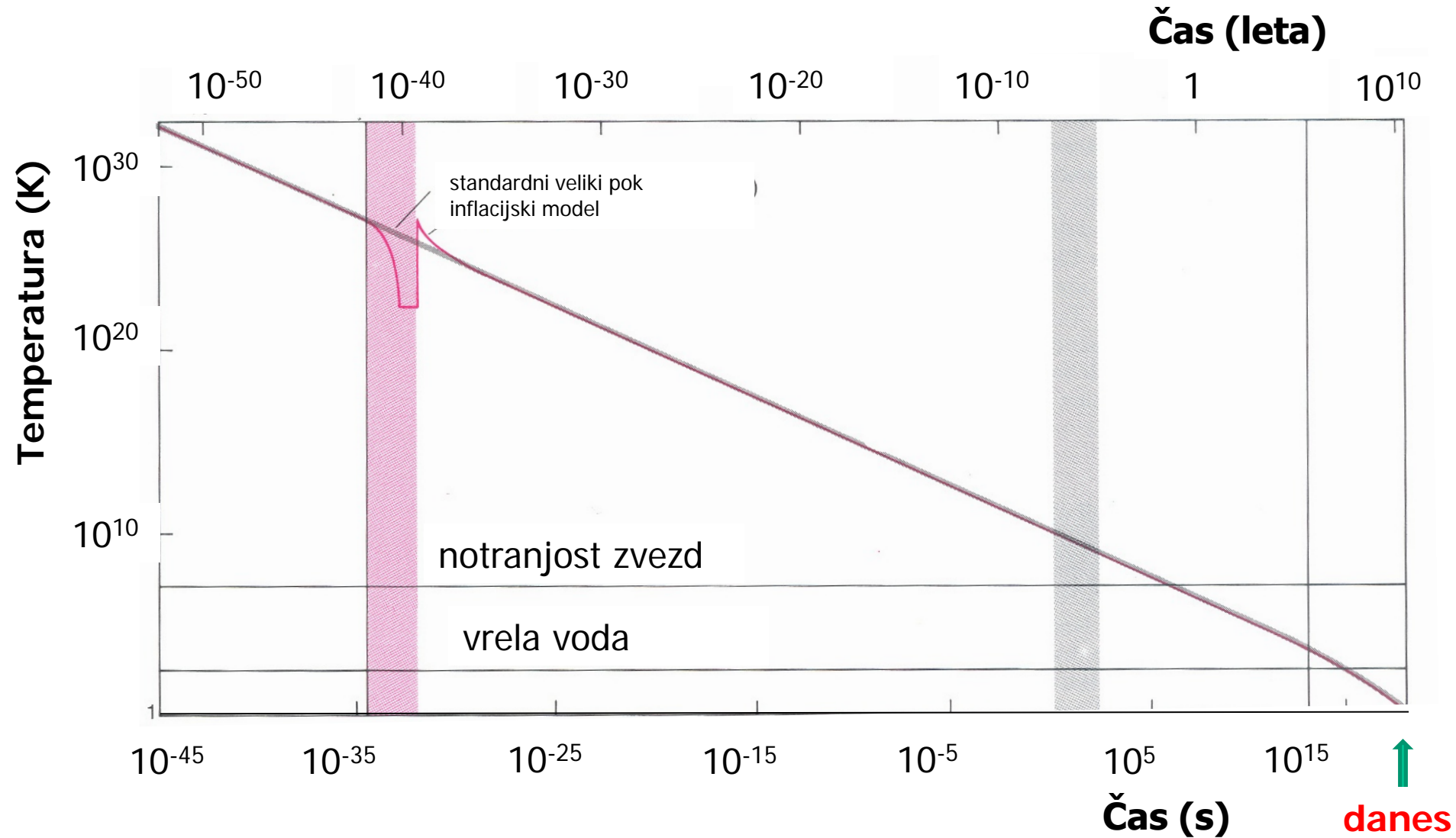
**Z meritvami bomo pričeli jeseni 2015, do takrat morata biti nared pospeševalnik in detektor... Dela nam zlepa ne bo zmanjkalo!**



# Dodatne prosojnice

---

# Temperatura vesolja



# Standardni model 1

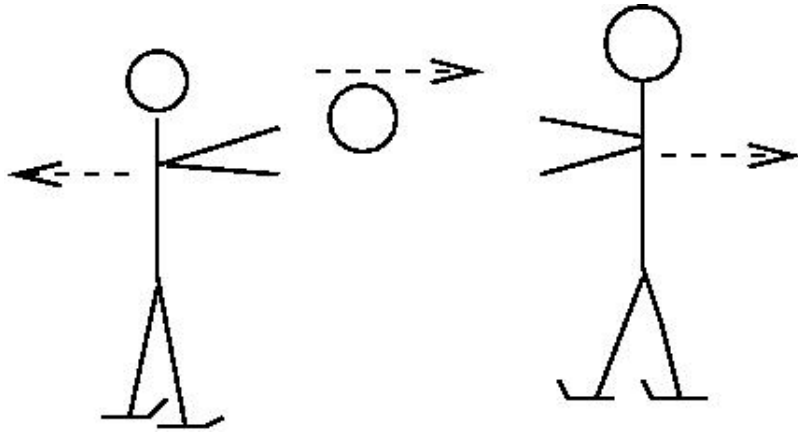
Osnovni delci	1. družina	2. družina	3. družina
kvarki	u,d	s,c	b,t
leptoni	$e^-$ , $\nu_e$	$\mu^-$ , $\nu_\mu$	$\tau^-$ , $\nu_\tau$

Delci imajo zelo različne mase: kvark t ima 400.000x večjo maso kot elektron!

Vsak delec ima svoj antidelec: vsakemu kvarku ustreza antikvark  
elektronu  $e^-$  ustreza pozitron  $e^+$ . Antidelcev v naravi ne najdemo (več), lahko pa jih ustvarimo v pospeševalnikih.

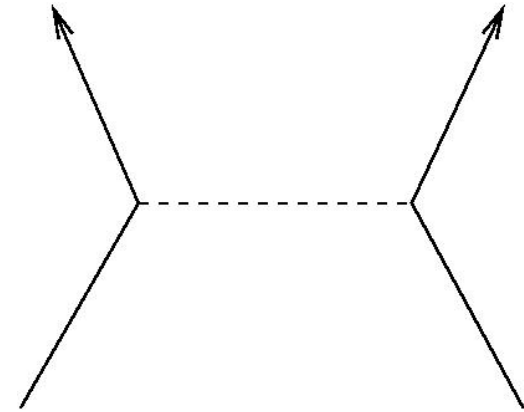
# Sile med osnovnimi delci: izmenjava nosilcev sile

---



Drsalca 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)



# Standardni model 2

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

+ Higgsov bozon  $\rightarrow$  masa osnovnih delcev

# Kaj izmerimo z detektorjem?

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

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

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

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

