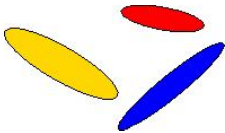
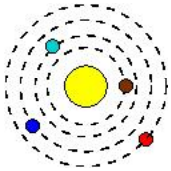
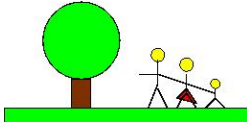
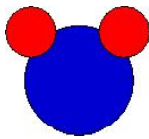


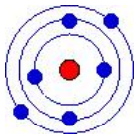
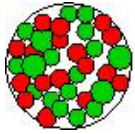
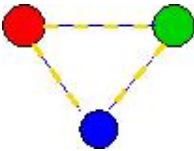

Od razlike med snovjo in anti- snovjo do Nobelove nagrade in naprej

Slovenska raziskovalna skupina pri eksperimentu Belle,
Institut J . Stefan, Univerza v Ljubljani, Univerza v Mariboru,
Univerza v Novi Gorici

DELCI in SILE po nadstropjih

| Velikost (m) | Predmet | | Sila | Smisel | Strokovnjak |
|--------------|--------------------------------|--|-----------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 10^{21} | kopice galaksij |  | gravitacija | sestava vesolja | ↑ filozof |
| 10^{14} | galaksije zvezde planeti |  | | | kozmiolog, astrofizik, astronom |
| 1 | živa bitja |  | instinkti | ohranitev vrste | biolog, sociolog |
| 10^{-8} | molekule |  | elektromagnetna | pestrost svetlobe, življenja | kemik, fizik |

DELCI in SILE po nadstropjih

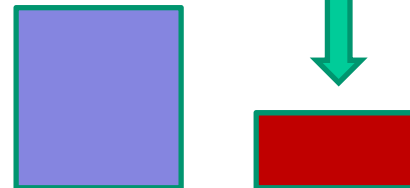
| Velikost (m) | Predmet | | Sila | Smisel | Strokovnjak |
|-----------------|----------|---|-----------------|---|-----------------------------|
| 10^{-10} | atomi |  | | energija | atomski fizik |
| 10^{-14} | jedra |  | jedrska | kemijski elementi, sonce, reaktor | jedrski fizik |
| 10^{-15} | nukleoni |  | močna, šibka | moja plača (morda nekoč energija, kaj povsem drugega...?) | fizik osnovnih delcev |
| 10^{-18} | kvarki |  | ? | ? | ↓ filozof |

Zveza med fiziko osnovnih delcev in zgodnjim razvojem vesolja

Zgodnje vesolje: zelo majhno →
izredno visoka temperatura
(podobno kot plin, ki ga stisnemo)



Plin pri visoki temperaturi:
velika hitrost gradnikov

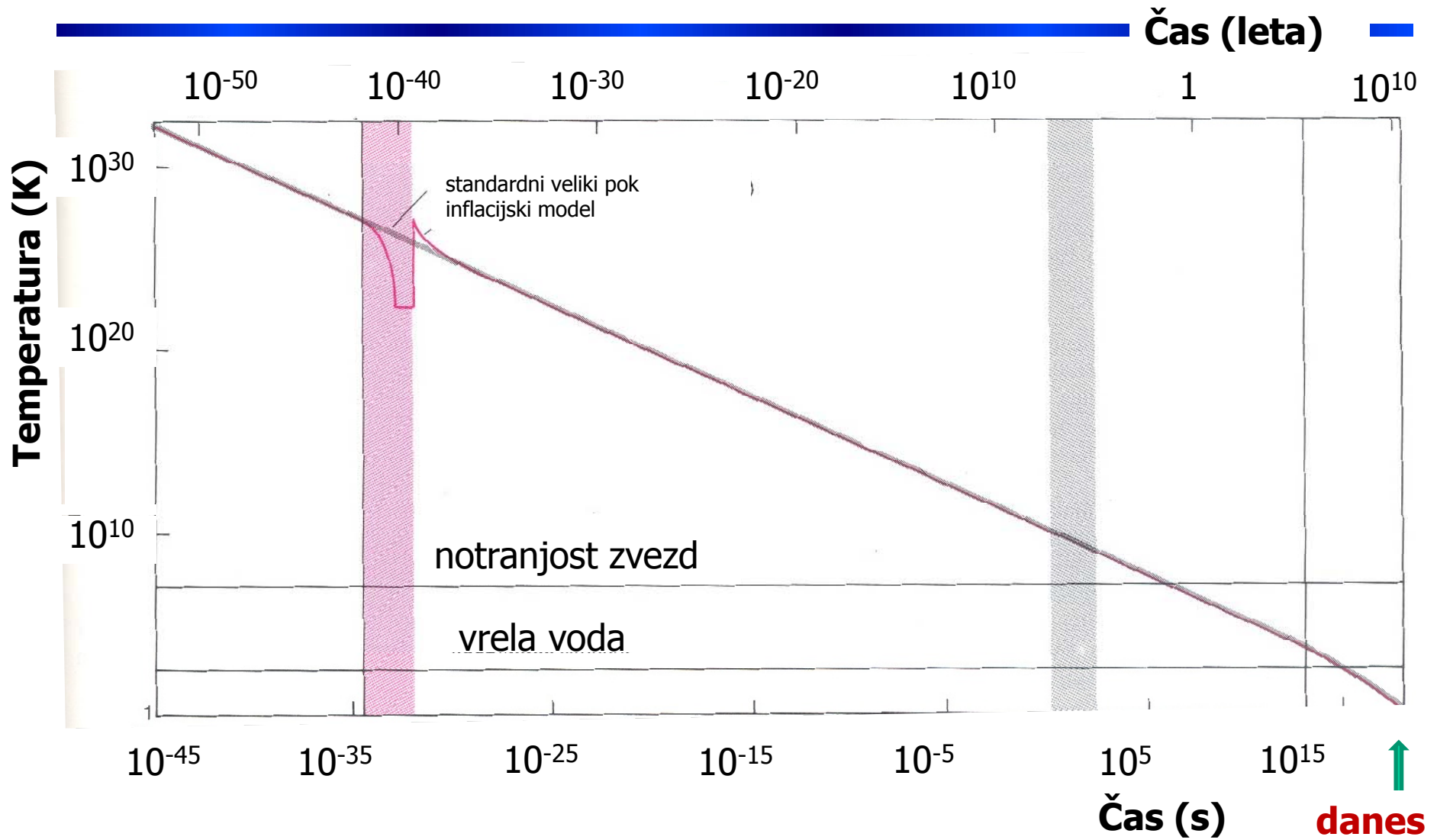


Trki med delci v zgodnjem vesolju:
enaki trkom delcev v pospeševalnikih



→ Podobni so tudi procesi, ki so pri tem potekali

Temperatura vesolja



Kakšen naj bo opis osnovnih gradnikov narave?

Dve zahtevi:

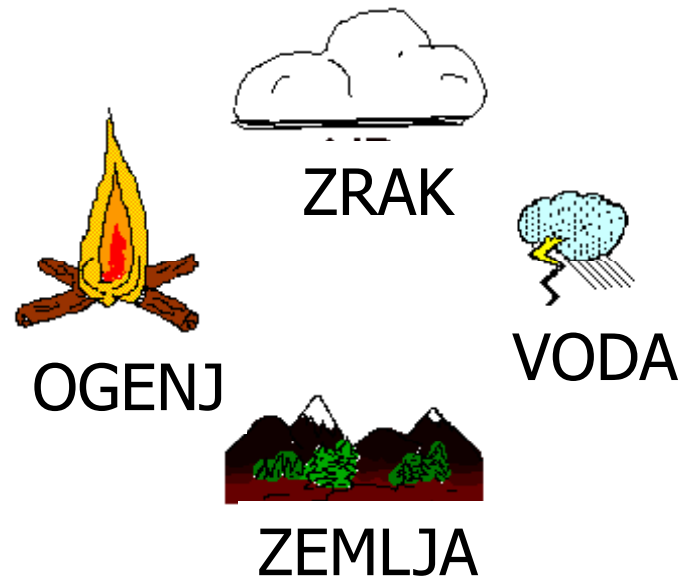
- **Preprost** (majhno število osnovnih gradnikov snovi)
 - **Pravilen**
-

Opis narave po Anaksimenesu

Anaksimenes iz Mileta:

Narava je sestavljena iz štirih elementov:

- zrak
- ogenj
- voda
- zemlja



→ Preprost, a napačen...

Opis narave po D.I. Medeljejevu

Periodni sistem elementov:

The periodic table is color-coded by groups and periods. Groups are labeled at the top: IA, IIA, IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA, VIIIA, and 0. Periods are labeled on the left: 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7. The lanthanide and actinide series are shown below the main table.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| 1 | H | He | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Li | Be | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | |
| 3 | Na | Mg | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | |
| 4 | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| 5 | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| 6 | Cs | Ba | *La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 7 | Fr | Ra | +Ac | Rf | Ha | Sg | Ns | Hs | Mt | 110 | 111 | 112 | 113 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| * Lanthanide Series | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 |
| | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| + Actinide Series | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 |
| | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

~100 elementov

→Pravilen, a zapleten...

Opis osnovnih gradnikov narave danes

Osnovni delci

Sile (interakcije) med njimi

- gravitacija
 - elektromagnetna interakcija
 - šibka interakcija (razpad beta)
 - močna interakcija (veže kvarke v jedru)
-

Standardni model: osnovni delci

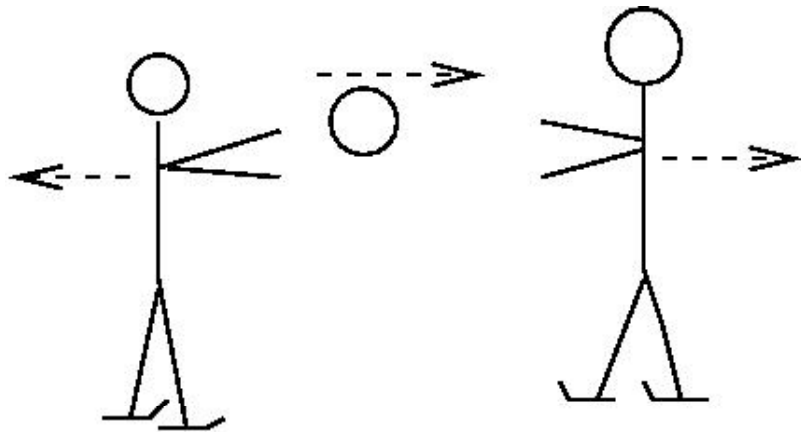
| Osnovni delci | 1. družina | 2. družina | 3. družina |
|---------------|----------------|----------------------|------------------------|
| kvarki | u,d | s,c | b,t |
| leptoni | e^{-}, ν_e | μ^{-}, ν_{μ} | τ^{-}, ν_{τ} |

Vsak delec ima svoj anti-delec:

Kvarku u ustreza anti-kvark \bar{u}

Elektronu e^{-} ustreza pozitron e^{+}

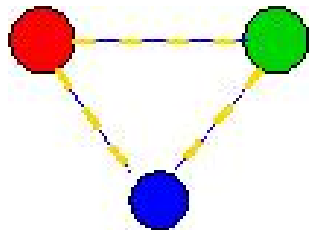
Sile med osnovnimi delci: izmenjava nosilcev sile



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

Osnovni delci sodelujejo (interagirajo) med sabo preko nosilcev sile (interakcije), vsaki sili ustreza poseben delec.

Barioni in mezoni: vezana stanja kvarkov in antikvarkov



Barioni

proton: uud

nevtron: udd

masa

$1 m_p$

$\sim 1 m_p$

Mezoni

π^+ : kvark u + antikvark \bar{d}

B^0 : kvark d + antikvark \bar{b}

masa

$1/7 m_p$

$5.5 m_p$

Odprta vprašanja fizike osnovnih delcev (in kozmologije)

- Zakaj je v vesolju predvsem snov, anti-snovi pa je le za vzorec?
 - meritev kršitve simetrije CP med delci in anti-delci
- Odkod imajo delci maso?
 - iskanje Higgsovega bozona
- Zakaj imajo delci različne mase, zakaj je več družin?
 - iskanje supersimetričnih partnerjev in njihovih interakcij

Razlika med številom **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

1 delec

0 antidelcev

Simetrija CP in njena kršitev

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.

Simetrija CP in njena kršitev

1964: Fitch, Cronin s sodelavci: kršitev simetrije CP pri nevtralnih kaonih

1973: Kobayashi in Maskawa: razlaga merskih rezultatov, če obstaja **šest vrst kvarkov**. V času, ko so poznali zgolj **tri** vrste kvarkov (protoni in nevtroni) \Rightarrow drzna hipoteza.

Napoved: tesna povezava med kršitvijo simetrije CP pri različnih vrstah delcev.

1974, 1977, 1994: 21 let kasneje težji delci, ki vsebujejo tri manjkajoče kvarke.

Simetrija CP in njena kršitev

Kronski dokaz o kršitvi simetrije med temi težjimi delci in njihovimi antidelci: počakati do začetka tega desetletja, **ko smo kršitev simetrije CP izmerili pri mezonih B.**

Meritev kršitve simetrije CP pri mezonih B

Najprej jih moramo **ustvariti**: uporabimo reakcijo pri trku elektrona in pozitrona z dovolj veliko energijo:



Nato pustimo, da oba mezona razpadeta ($\sim 1\text{ps}$) na primeren način

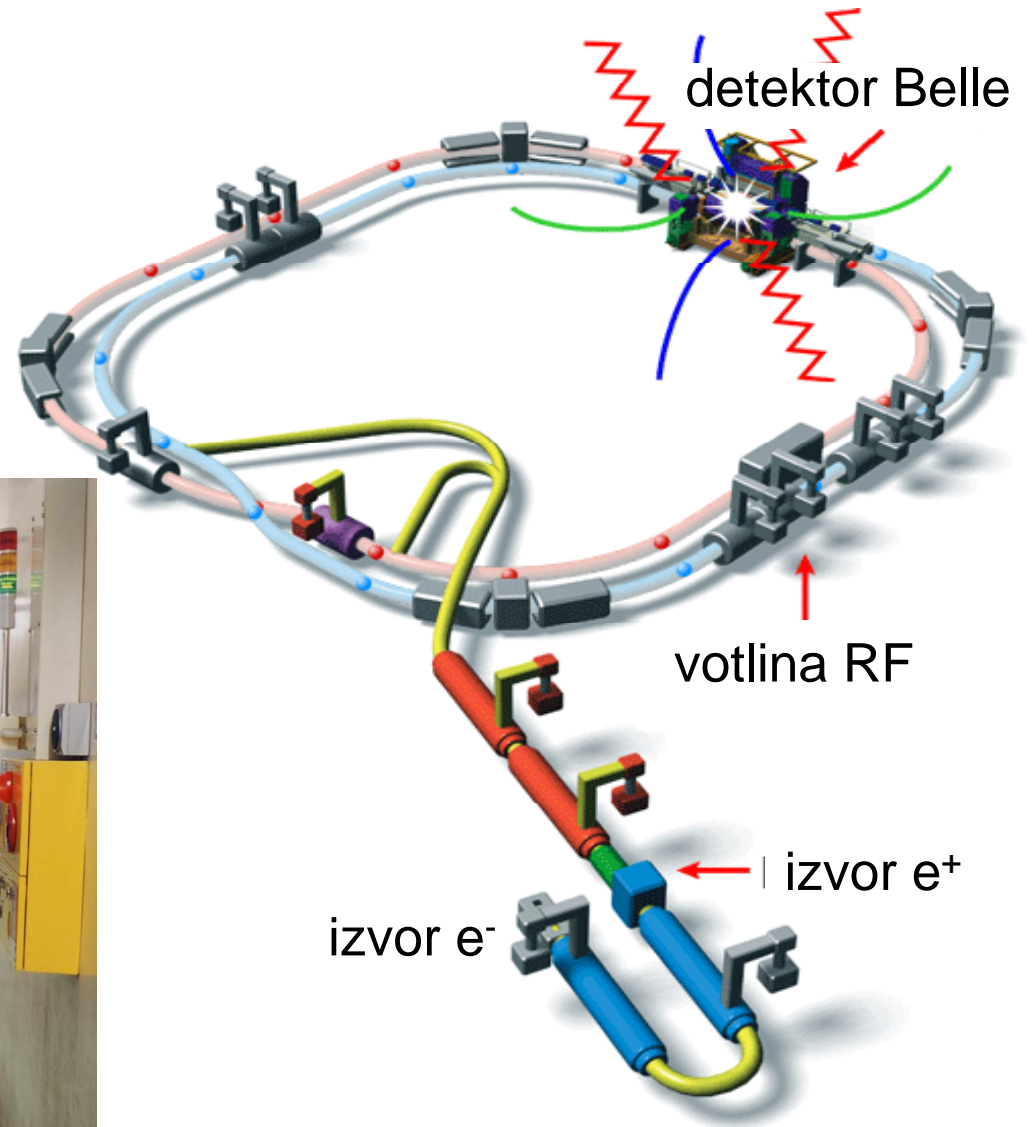
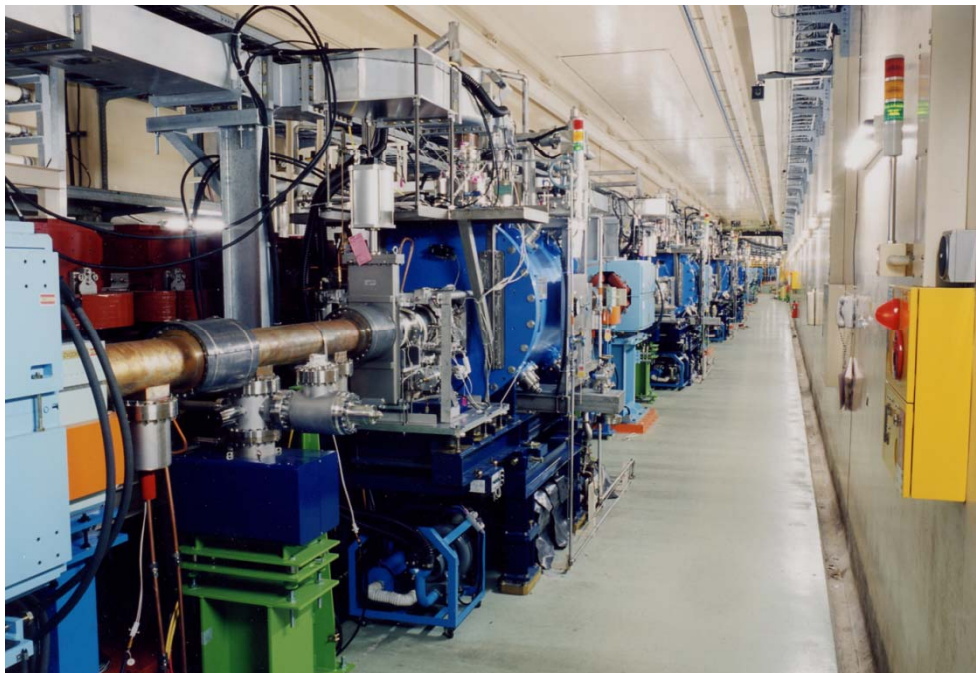
Izmerimo moramo, **kje** se je to zgodilo, in ugotoviti, ali je v določeno končno stanje razpadel B^0 ali njegov **anti-delec** \bar{B}^0 .

Trkalnik KEK-B in detektor Belle v Tsukubi



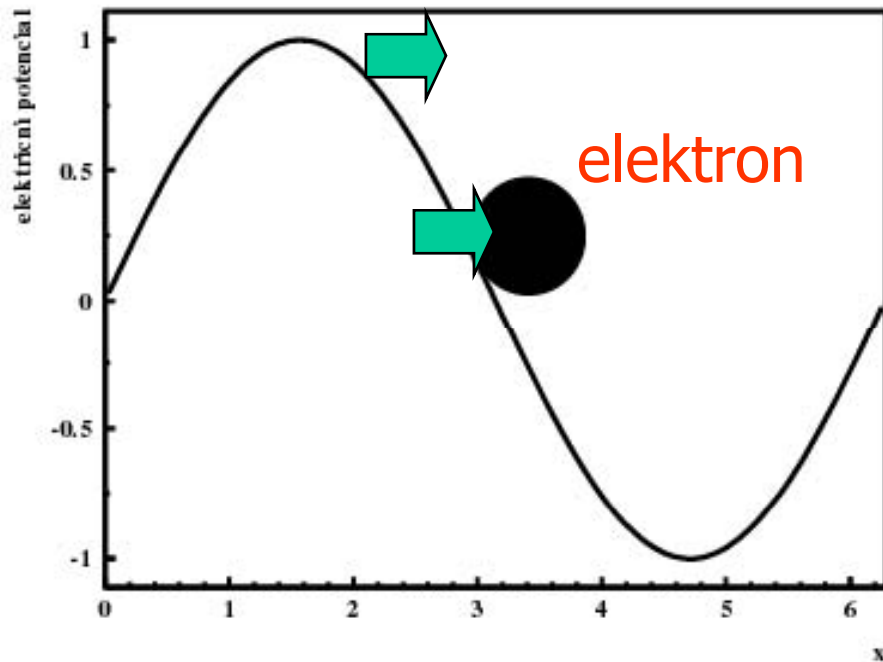
Trkalnik KEK-B

pospešuje elektrone in pozitrone do trka



Kako pospešujemo nabite delce?

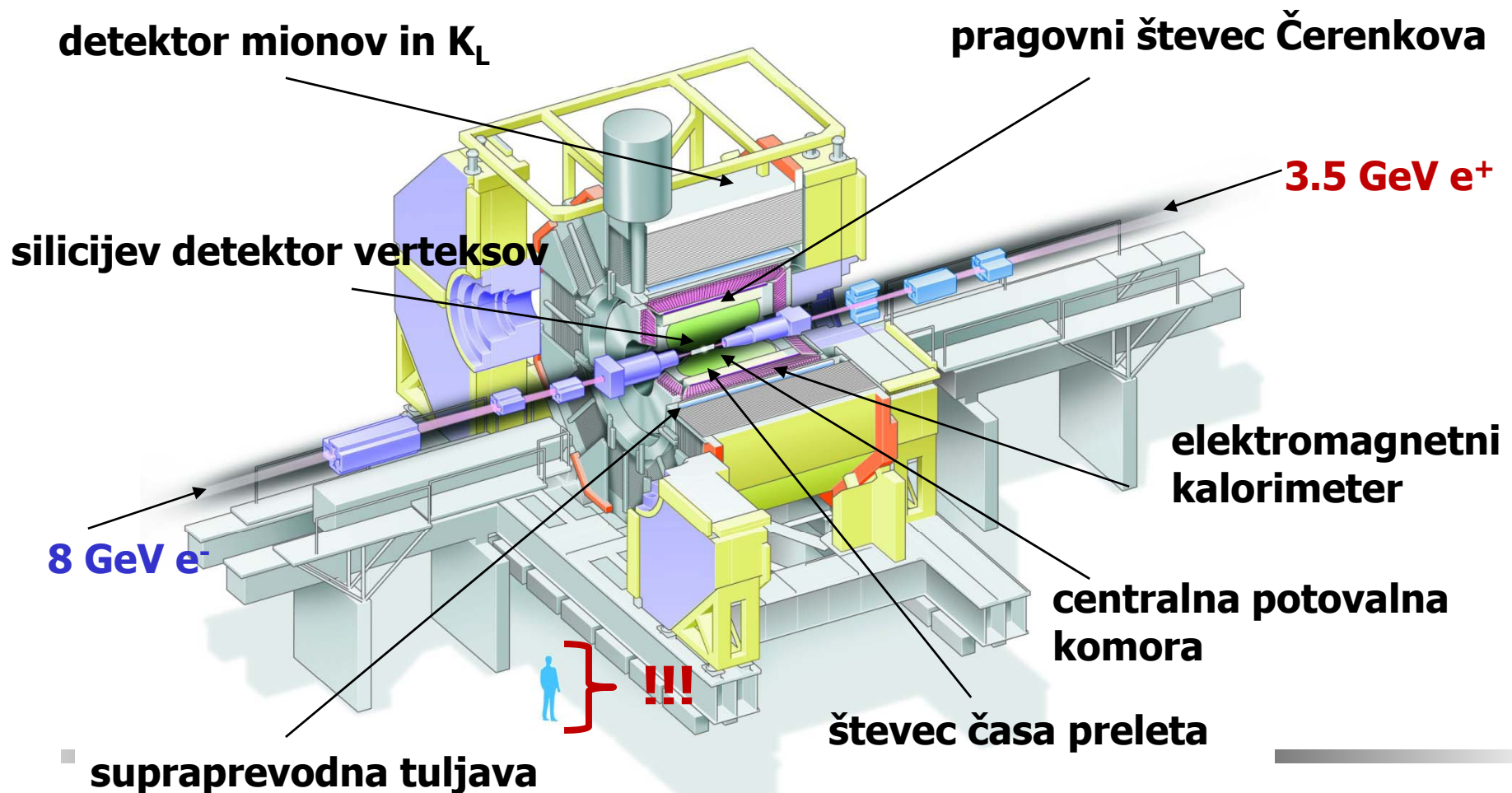
Pospeševanje z elektromagnetnim valovanjem
(tipična frekvenca 500 MHz – mobilni telefoni
delujejo pri 900 oz. 1800 MHz)



... spominja na deskanje na valovih

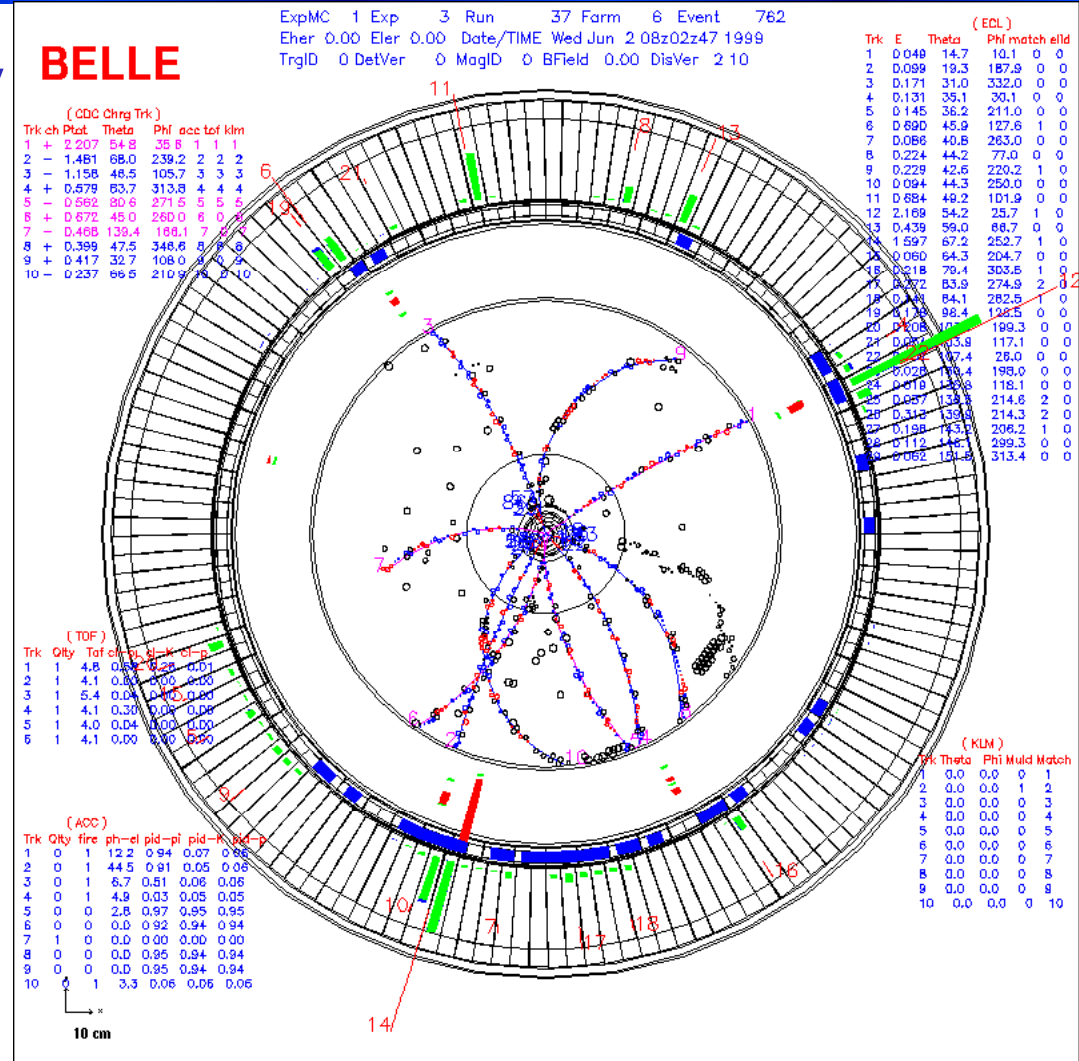
Spektrometer Belle: originalne tehnične rešitve in vrhunska tehnologija

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



Kaj izmerimo z detektorjem?

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



Detektor verteksov (točke razpada)

- Eden bistvenih elementov je detektor točke, kjer je razpadel mezon B.
- 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

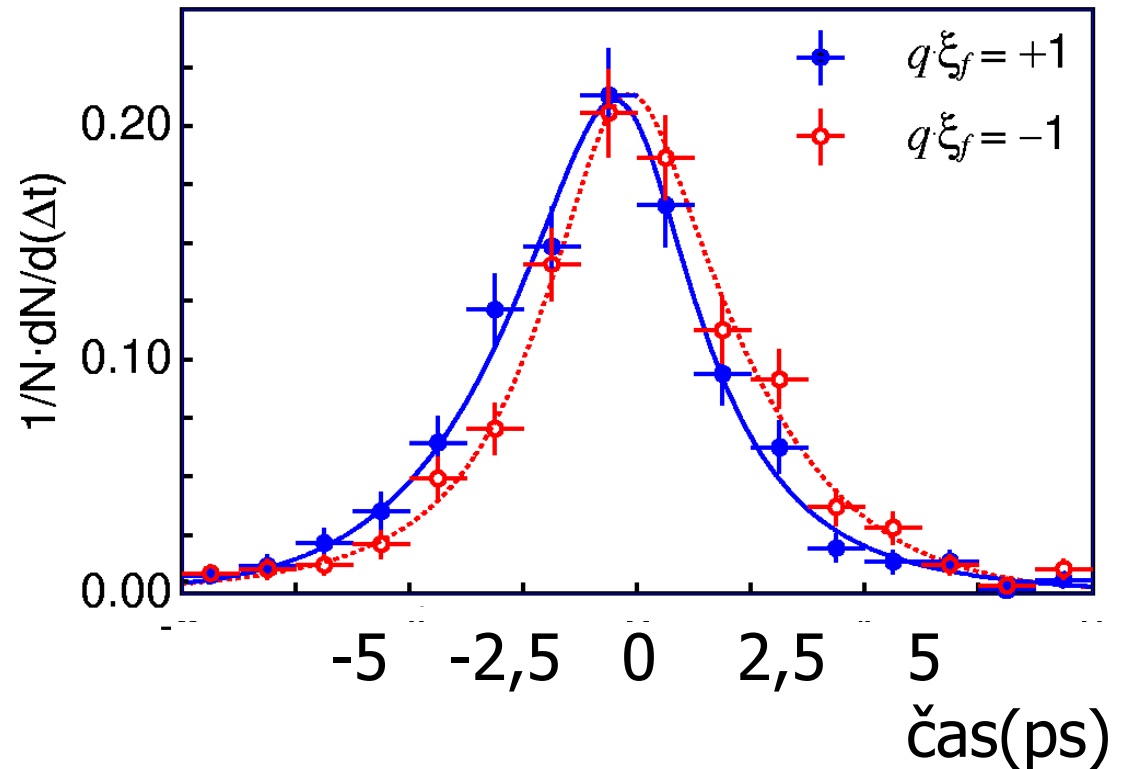


Po nekaj letih trdega dela, priprav detektorja in
pospeševalnika, in po dolgotrajnih meritvah z
njima →

Rezultat meritve: simetrija CP je kršena!

Modra: časovni
potek razpada
anti-B

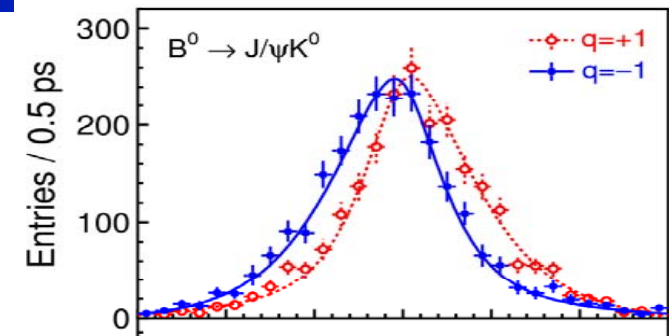
Rdeča: isto za B



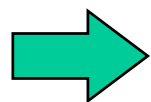
Očitna razlika med **delci** in **anti-delci**!

Rezultat meritve kršitve simetrije CP: zmagoslavje Standardnega modela!

Potrditev hipoteze
M. Kobayashija in T. Maskave.



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



Nobelova nagrada 2008!

Potrditev hipoteze Kobayashija in Maskawe: zmagoslavje naše ekperimentalne skupine!

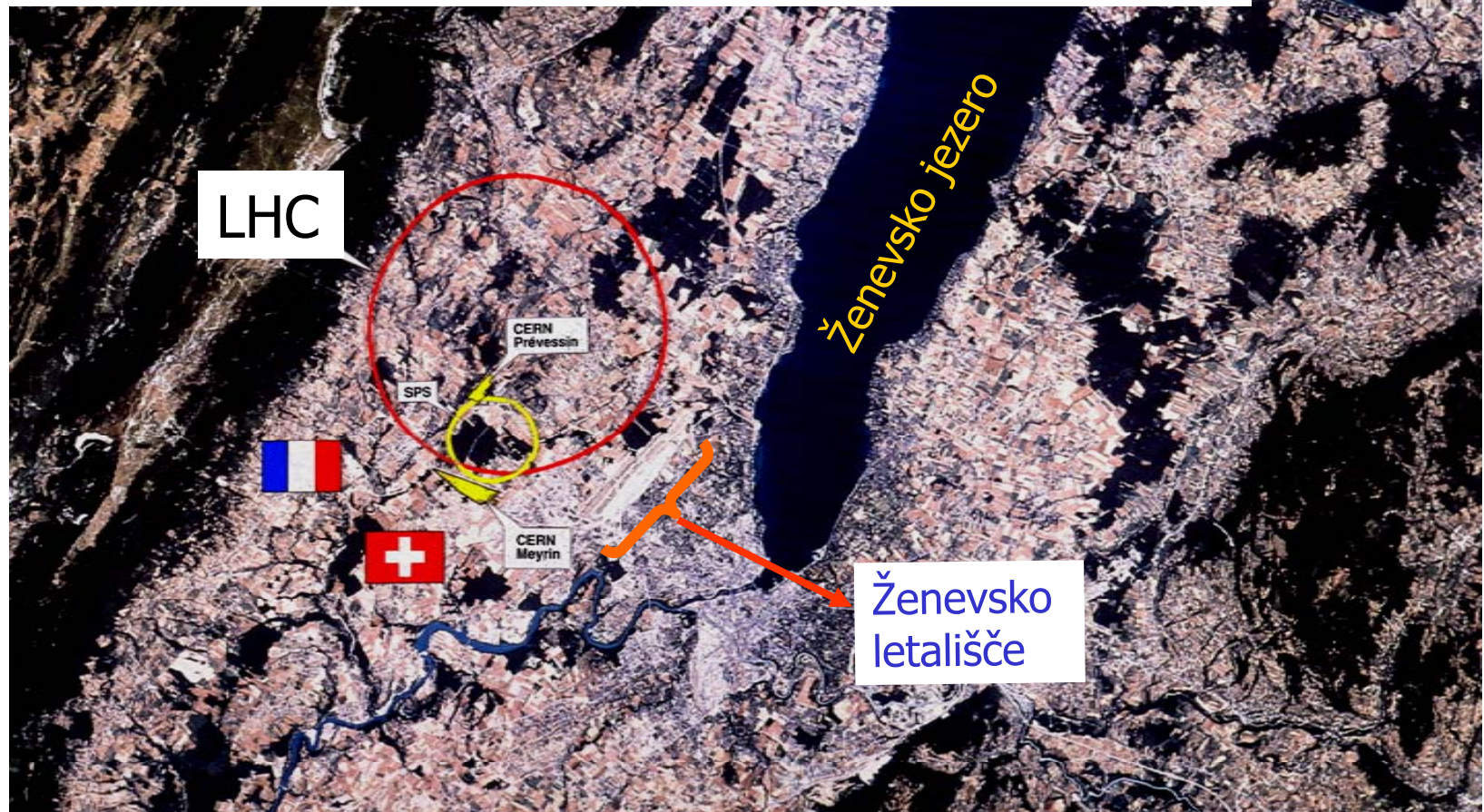
Na proslavi z M. Kobayashijem



Kako naprej?

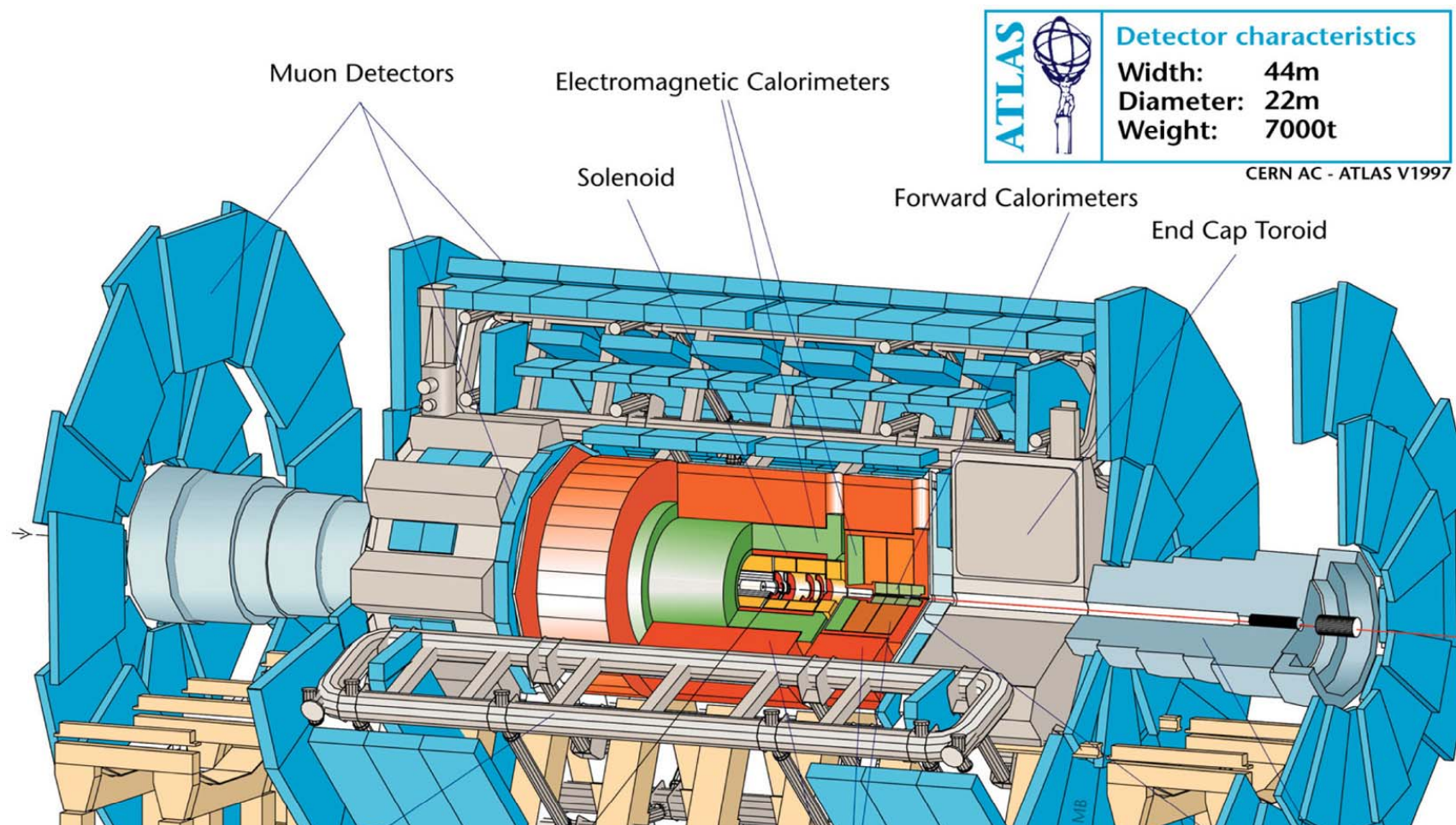
Na lovu za Higgsovim delcem

Evropski laboratorij za fiziko delcev CERN



LHC = large hadron collider

Detektor ATLAS ob LHC



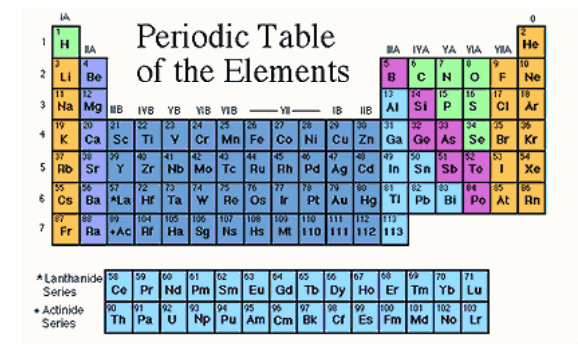
- Trkalnik so prvič pognali lani septembra
- Oba velika detektorja (ATLAS, CMS) sta nared
- Prve meritve letos jeseni
- V pričakovanju velikih presenečenj...



Standardni model: dokončna teorija?

Standardni model:

- 12 osnovnih delcev
- 3 vrste interakcij, 1+3+8 nosilcev sile
- delec, ki poskrbi za maso vseh ostalih (Higgs)



Periodic Table of the Elements

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|------|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|----|----|----|----|----|----|
| 1 | IA | H | 2 | He | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | IA | Li | Be | 3 | IIA | B | C | N | O | F | Ne | | | | | | | | | | | | |
| 3 | IA | Na | Mg | 4 | IIIA | Al | Si | P | S | Cl | Ar | | | | | | | | | | | | |
| 4 | IA | K | Ca | 5 | IVB | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | 6 | VI | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| 5 | IA | Rb | Sr | 7 | VB | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | 8 | VII | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| 6 | IA | Cs | Ba | 9 | VI | *La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | 10 | VIII | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 7 | IA | Fr | Ra | 11 | VII | *Ac | Rf | Ha | Sg | Ns | Hs | Mt | 110 | 111 | 112 | 113 | | | | | | | |

* Lanthanide Series
58 Ce 59 Pr 60 Nd 61 Pm 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Lu

* Actinide Series
90 Th 91 Pa 92 U 93 Np 94 Pu 95 Am 96 Cm 97 Bk 98 Cf 99 Es 100 Fm 101 Md 102 No 103 Lr

→Pravilen, a s preveč osnovnimi delci?

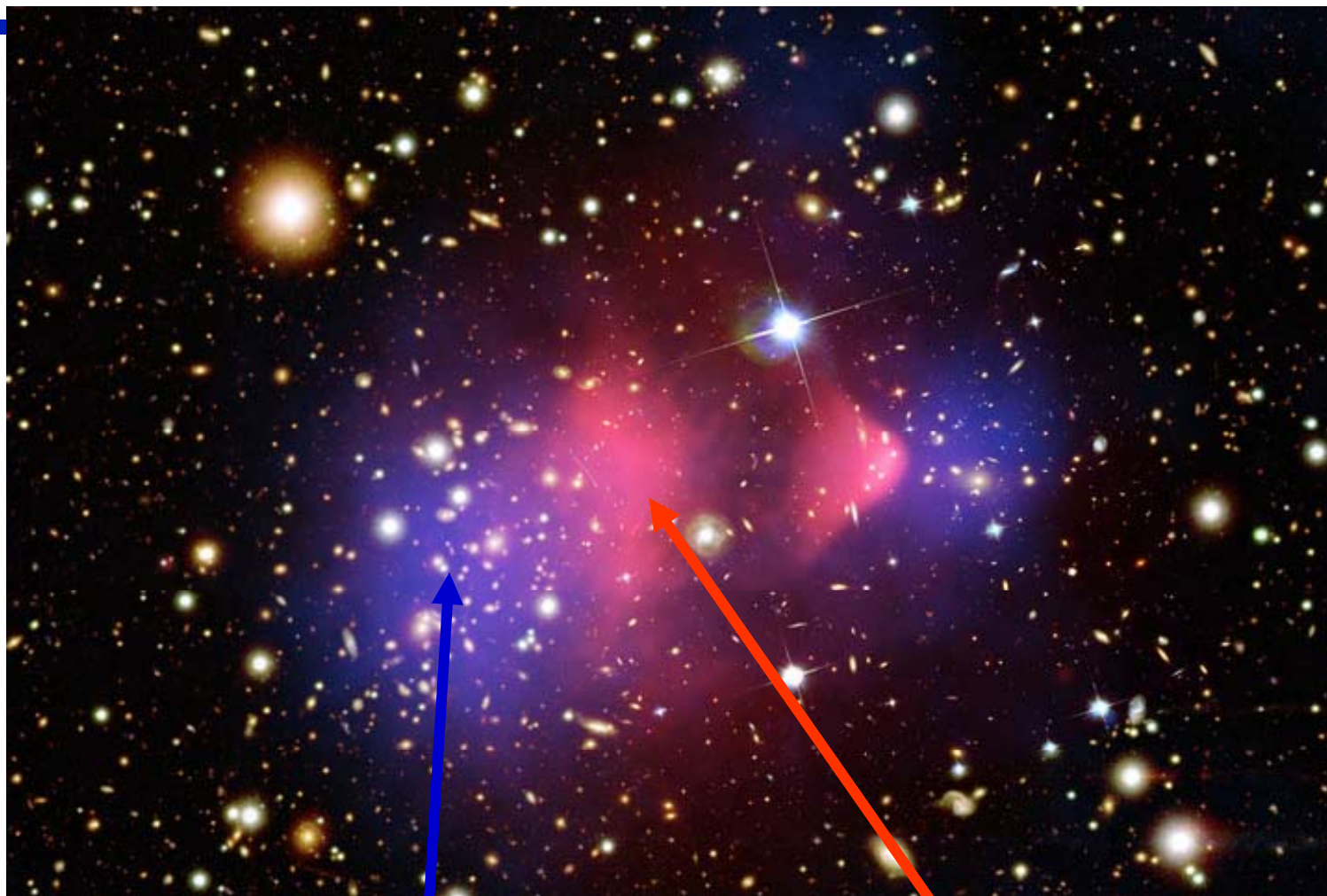
Poleg tega...

Standardni model ni dokončna teorija

- Izmerjena kršitev CP je premajhna, da bi pojasnila asimetrijo med snovjo in anti-snovjo v vesolju
- Ne vključuje četrte interakcije - gravitacije
- Večina vesolja je iz nam neznanе snovi....



Direktni dokaz za obstoj temne snovi



Po trku dveh gruč galaksij se **običajna materija** upočasni, **temna snov** pa ne.

Odkritje fizikalnih pojavov izven Standardnega modela bi prineslo izjemen preskok v razmišljanju, podoben kot ga je prineslo odkritje kvantne mehanike – ne bi le vplivalo na znanost, ampak na tudi na naše splošno dojemanje sveta.

Iskanje fizike izven Standardnega modela

... Zato več raziskovalnih skupin na različne načine išče odstopanja od sicer izjemno natančno preverjenega Standardnega modela.

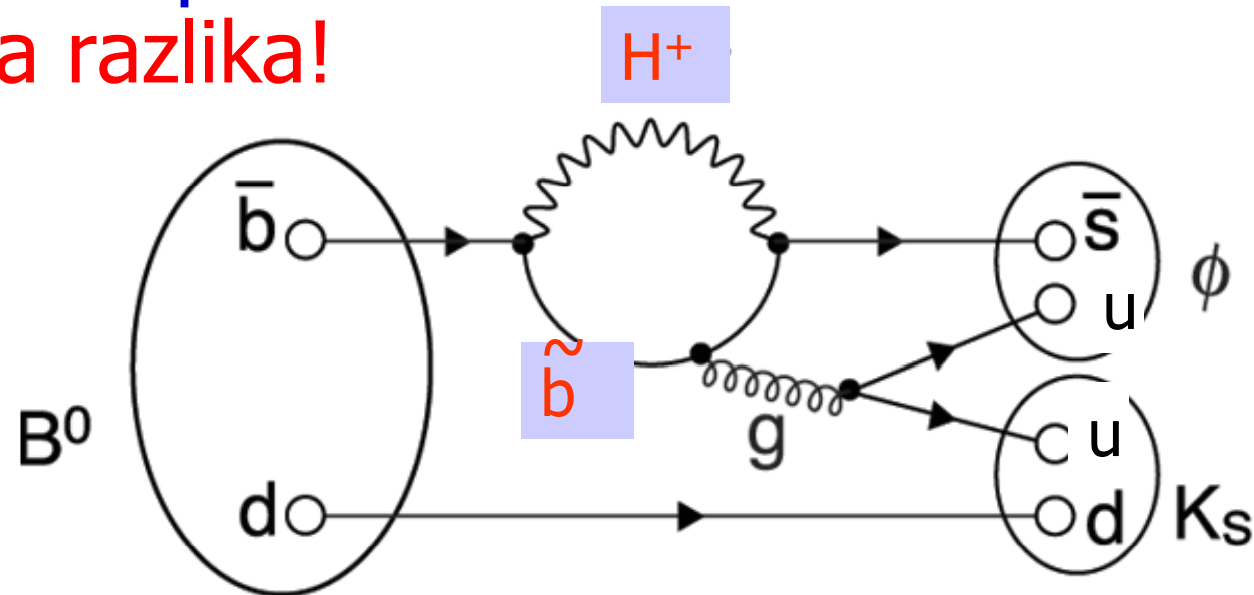
Dve možnosti:

- **Direktno iskanje** novih delcev, supersimetričnih partnerjev: delci morajo biti masivni → iskanje pri velikih energijah (LHC)
- **Iskanje odstopanj od pričakovanih značilnosti procesov** - recimo pri redkih razpadih mezonov B - pri nižjih energijah (Belle in SuperBelle).

→ Oba pristopa se dopolnjujeta.

Iskanje novih delcev v zankah

Primer takega procesa sta tudi razpada $B^0 \rightarrow K^- \pi^+$ in $B^- \rightarrow K^- \pi^0$. Oba procesa bi morala imeti zelo podobne rastnosti. Naše odkritje: **znatna razlika!**



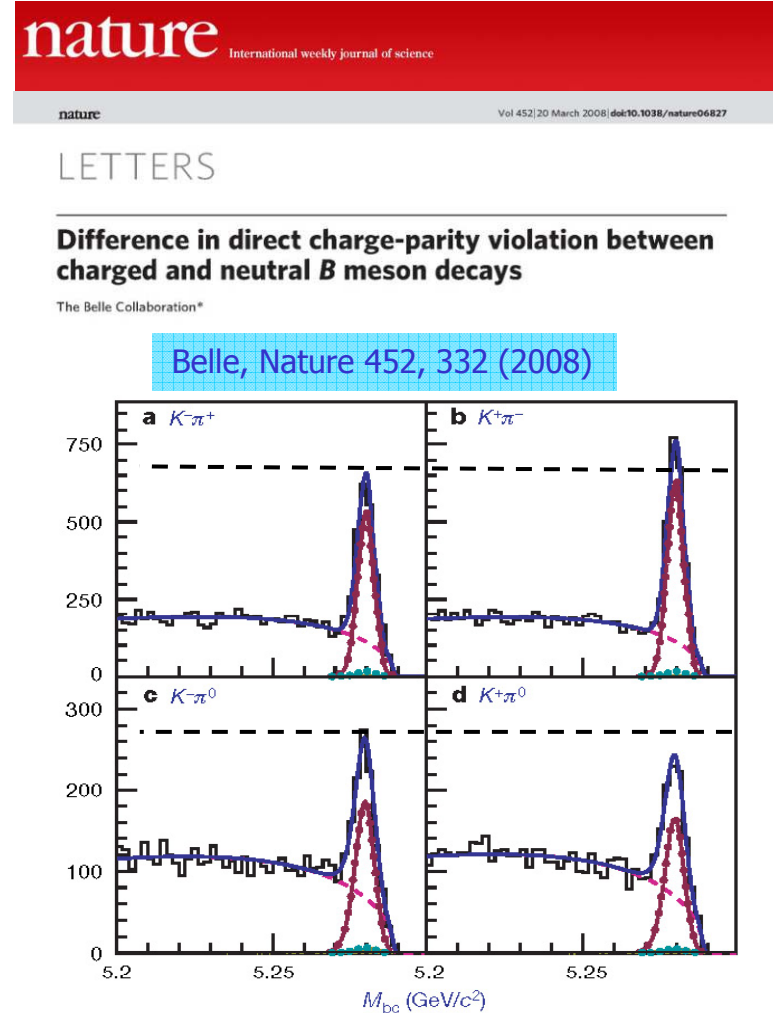
Potekata preko "kvantnih fluktuacij": možno je, da se namesto **običajnih** delcev pri takem procesu pojavijo **nove vrste delcev** (recimo supersimetrični partnerji).

Našli smo neskladje pri razpadih

$$B^0 \rightarrow K^- \pi^+ \text{ in } B^- \rightarrow K^- \pi^0$$

Rezultat smo lani objavili v elitni naravoslovni reviji **Nature**.

To še ni znak, da smo zares odkrili delce izven Standardnega modela, je pa del mozaika, ki kaže na to.



Projekt SuperBelle

Namen: izboljšati domet meritev – **boljši detektor in zmogljivejši pospeševalnik**

Nove meritve od leta 2013 dalje →
pomemben vpliv na fiziko osnovnih delcev, podobno kot Belle do sedaj

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