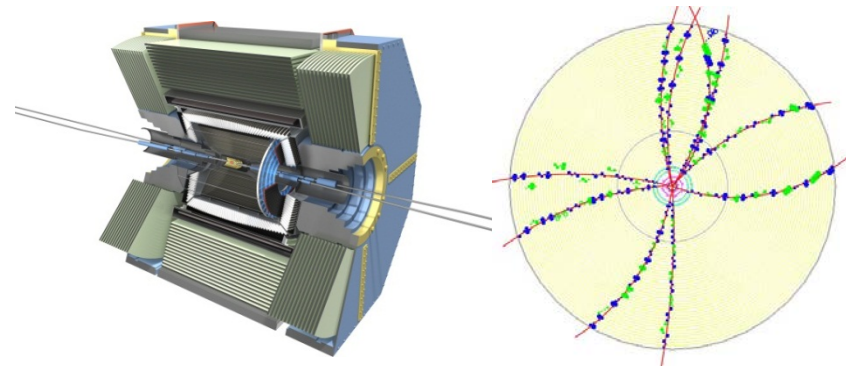
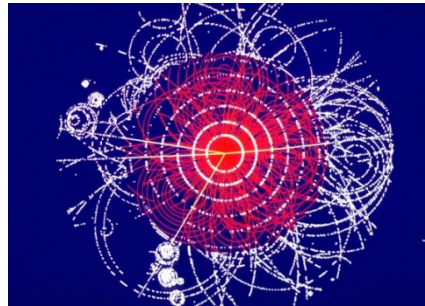
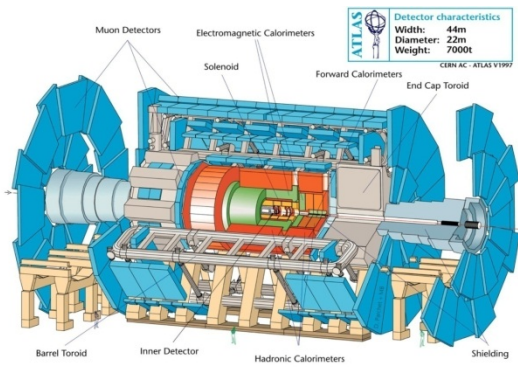


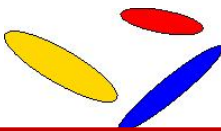
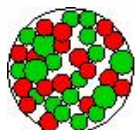
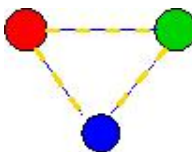

# Lov na nove osnovne delce



Peter Križan

*Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani,  
in Institut Jožef Stefan*

TEDx Maribor, 4.2.2012

DELCI	in	SILE	po	nadstropjih		
Velikost(m)	Predmet		Sila	Smisel	Strokovnjak	
$10^{21}$	kopice galaksij		gravitacija		↑ filozof	
$10^{14}$	<p>Nadstropja se zelo dobro ločijo med sabo: ko opisujemo pojave v enem od njih, lahko v večini primerov zanemarimo sosednja nadstropja.</p>				kozmolog, astrofizik, astronom	
1					ohranitev vrste	biolog, sociolog
$10^{-8}$					magnetna	življenja
$10^{-10}$	<p>Razen... povezave med najnižjim in najvišjim!</p>				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	



# Zveza med fiziko osnovnih delcev in zgodnjim razvojem vesolja

---

Zgodnje vesolje: izredno **visoka temperatura** (podobno kot plin, ki ga stisnemo)

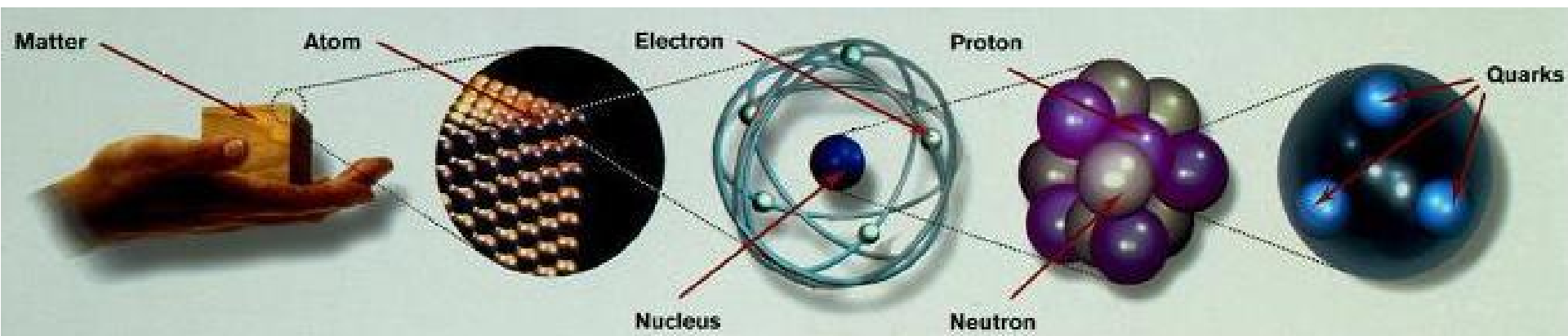


Plin pri visoki temperaturi: **velika hitrost** molekul

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



# DELCI po nadstropjih



snov

atomi

atomska jedra,  
neutroni

elektroni

protoni,

kvarki



osnovni delci

# Standardni model 1

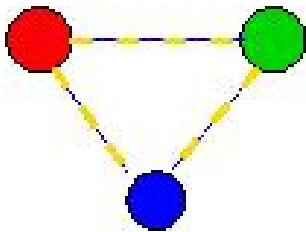
Osnovni delci	1. družina	2. družina	3. družina
kvarki	u,d	s,c	b,t
leptoni	$e^{-}, \nu_e$	$\mu^{-}, \nu_{\mu}$	$\tau^{-}, \nu_{\tau}$

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.

# Barioni in mezoni: vezana stanja kvarkov in antikvarkov

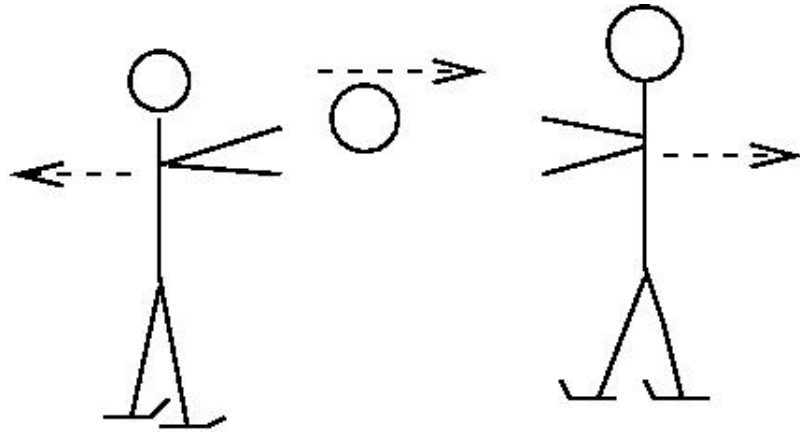
V naravi ni prostih kvarkov – nastopajo samo v povezavi z drugimi kvarki.



Barioni	masa
proton: uud	$1 m_p$
nevtron: udd	$\sim 1 m_p$
$\Lambda$ : uds	$1.2 m_p$

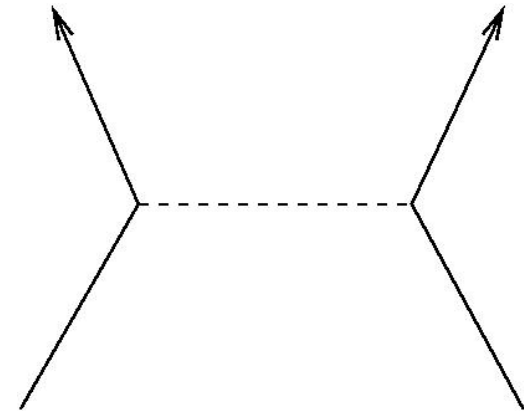
Mezoni	masa
$B^0$ : kvark d + antikvark $\bar{b}$	$5.5 m_p$

# Sile med osnovnimi delci: izmenjava nosilcev sile



Drzalca 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



# Asimetrija med snovjo in antisnovjo

---

## Današnje vesolje:

skoraj izključno snov, nič antisnovi.

Kam so izginili vsi antidelci iz Velikega poka (ko jih je bilo enako kot delcev)?

## Delci in anti-delci se obnašajo nekoliko različno:

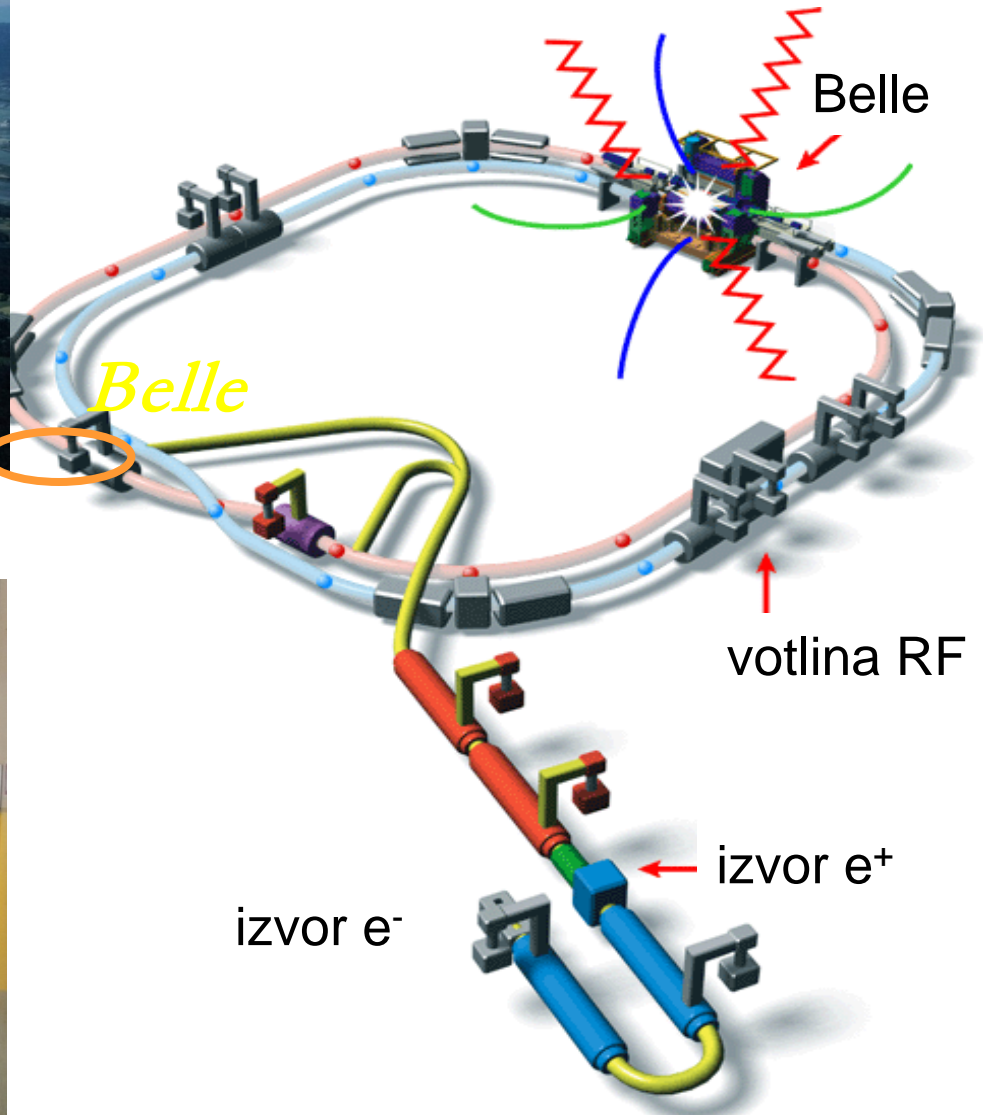
drugače razpadajo v stabilne delce → v dolgem razvoju vesolja je obstalo malo delcev in nič anti-delcev

## Eksperiment Belle:

Kako se delci razlikujejo od anti-delcev?

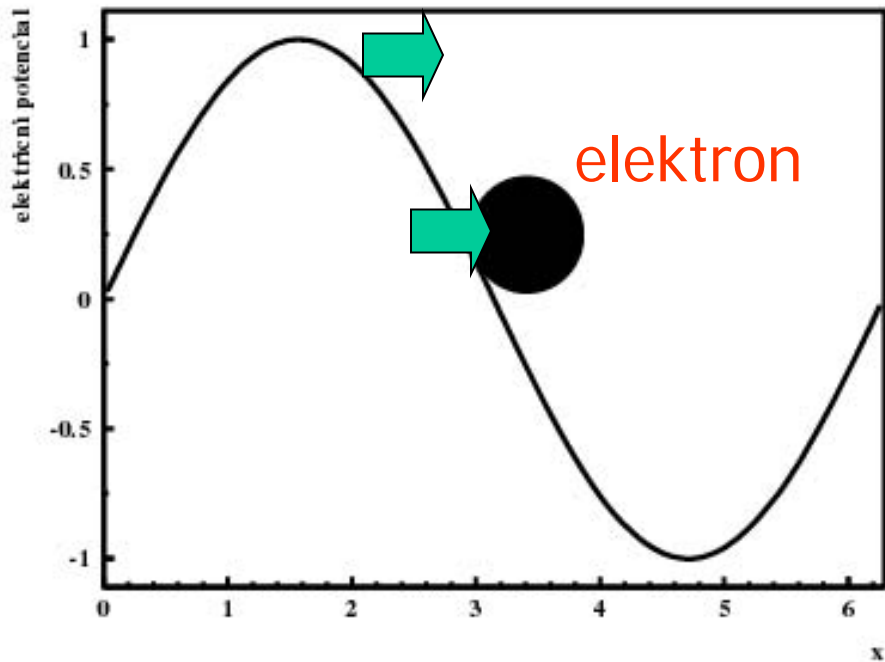
# Trkalnik KEK-B

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)

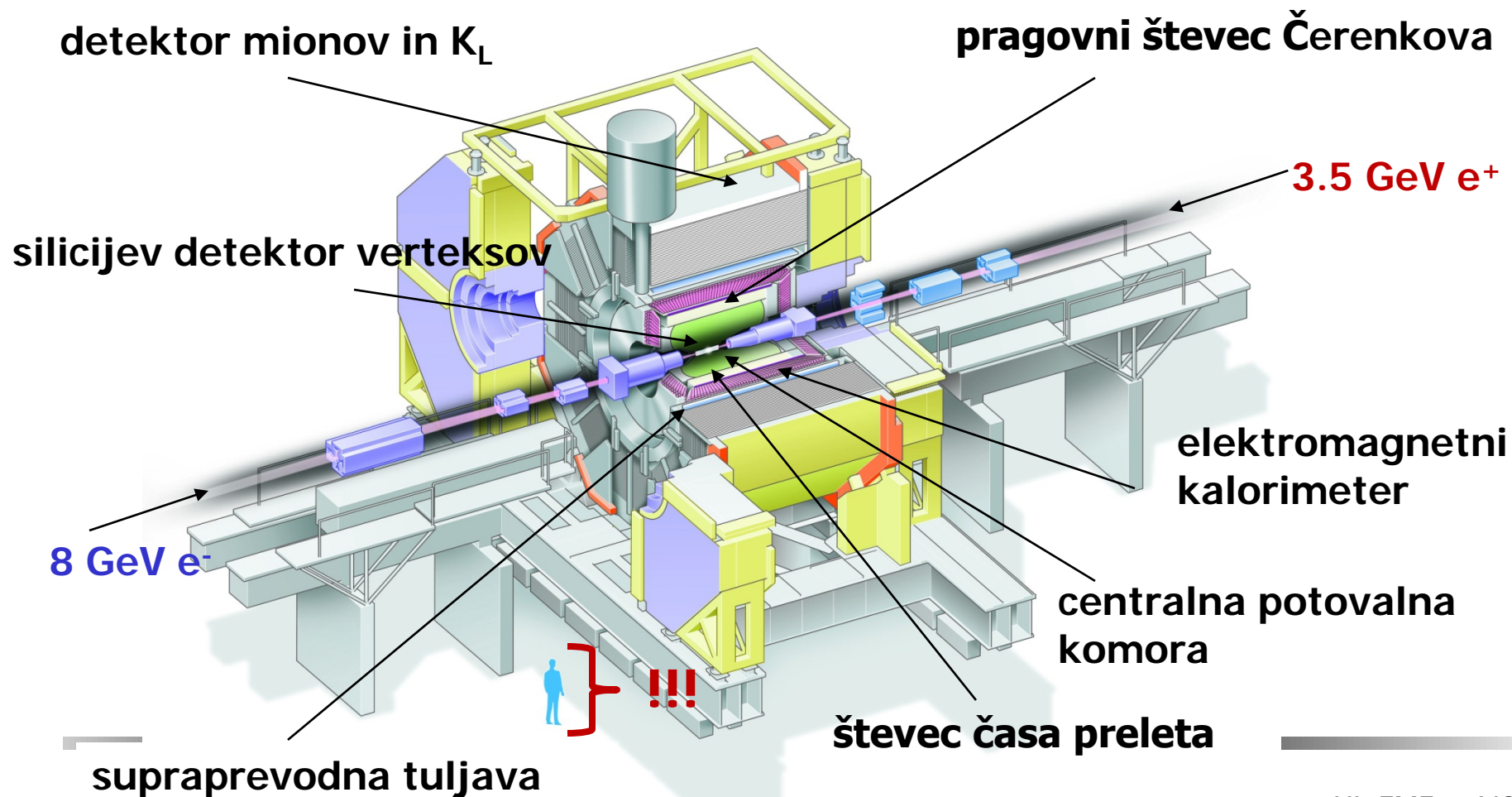


... podobno deskanju na valovih

# Spektrometer Belle:

**originalne tehnične rešitve in vrhunska tehnologija**

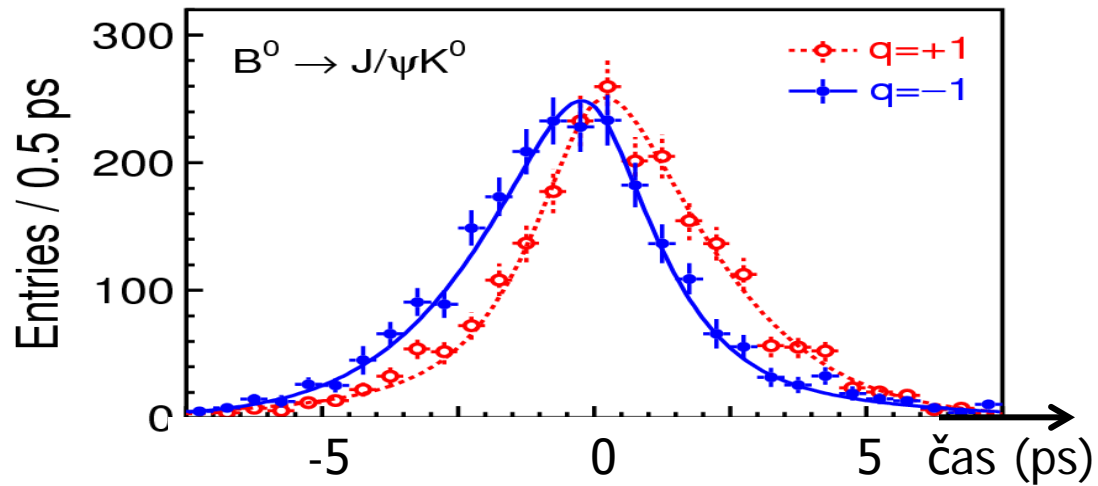
pospravljeno v  $\sim 100 \text{ m}^3$  raziskovalne aparature



# 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!



# Zakaj imajo delci maso: Higgsov bozon

---

Škotski fizik Peter Higgs, 1964:

Maso delcev lahko pojasnimo, če predpostavimo, da je prostor napolnjen s poljem, seveda – Higgsovim poljem

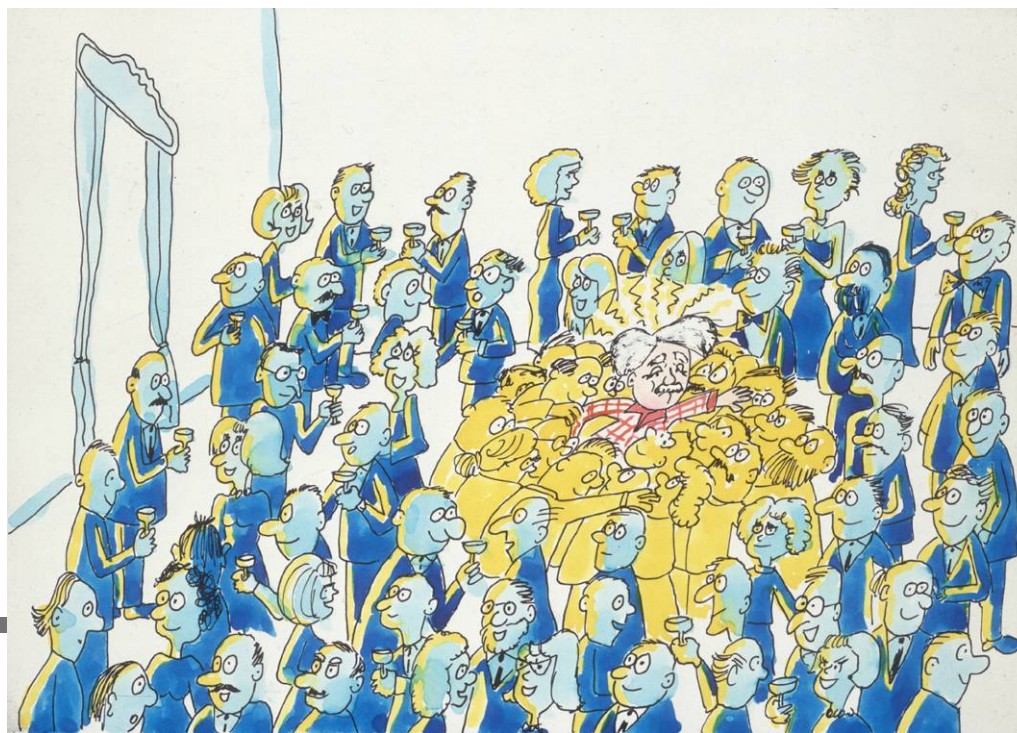
Elektromagnetno polje → nabit delec ( $e^-$ ) občuti silo  
velikost sile odvisna od velikosti električnega naboja

Higgsovo polje → delci imajo maso  
velikost mase odvisna od velikosti „Higgsovega naboja“





Kako razumeti  
maso delcev,  
ki je posledica  
Higgsovega polja?





# Higgsov bozon

---

Škotski fizik Peter Higgs, 1964:

Maso delcev lahko pojasnimo, če predpostavimo, da je prostor napolnjen s poljem, seveda – Higgsovim poljem

Elektromagnetno polje  $\rightarrow$  nabit delec ( $e^-$ ) občuti silo  
velikost sile odvisna od velikosti električnega naboja

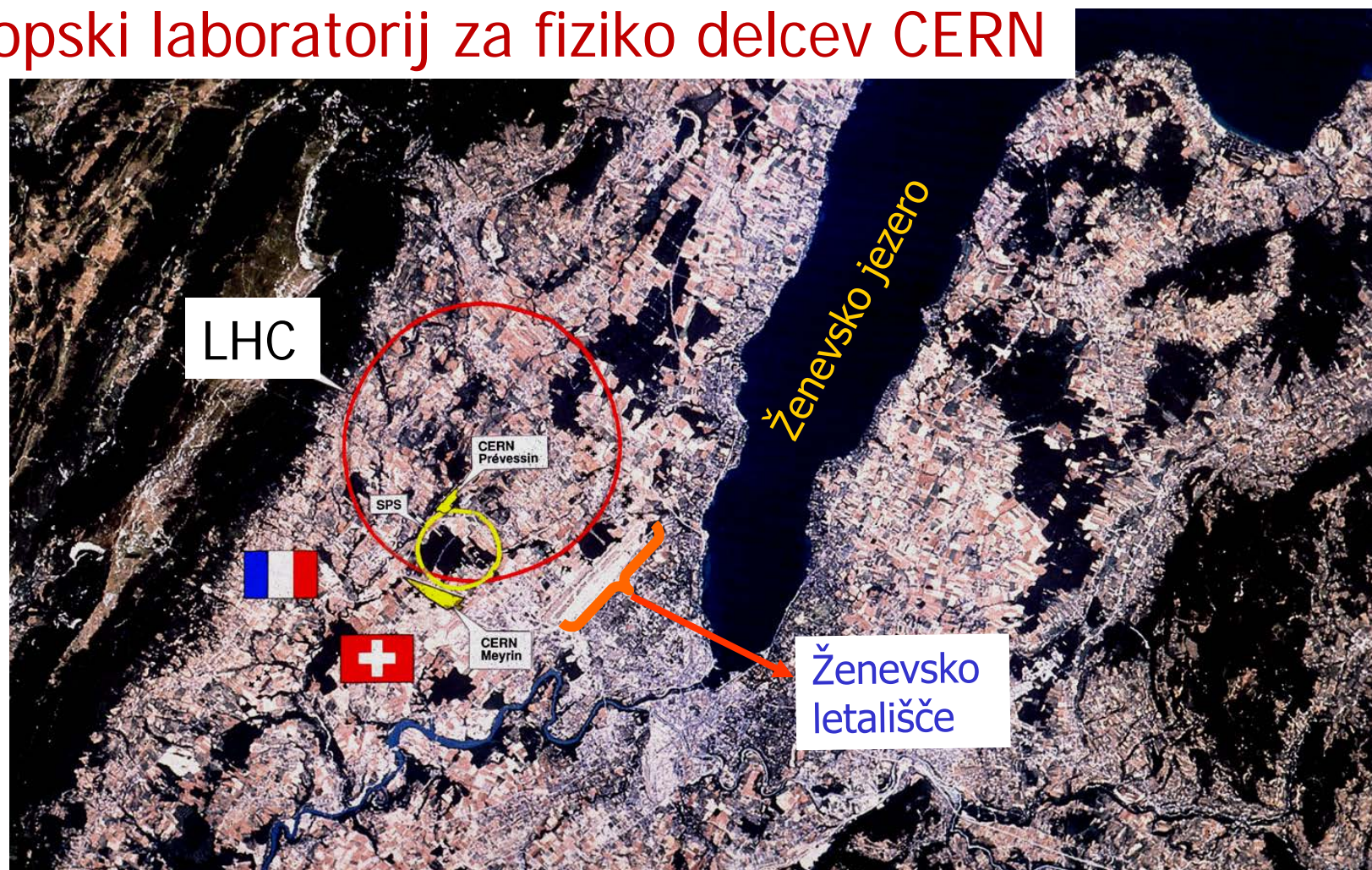
Higgsovo polje  $\rightarrow$  delci imajo maso  
velikost mase odvisna od velikosti „Higgsovega naboja“

elektromagnetno polje ima svoje delce – fotone

Higgsovo polje ima svoje delce – **Higgsove bozone**

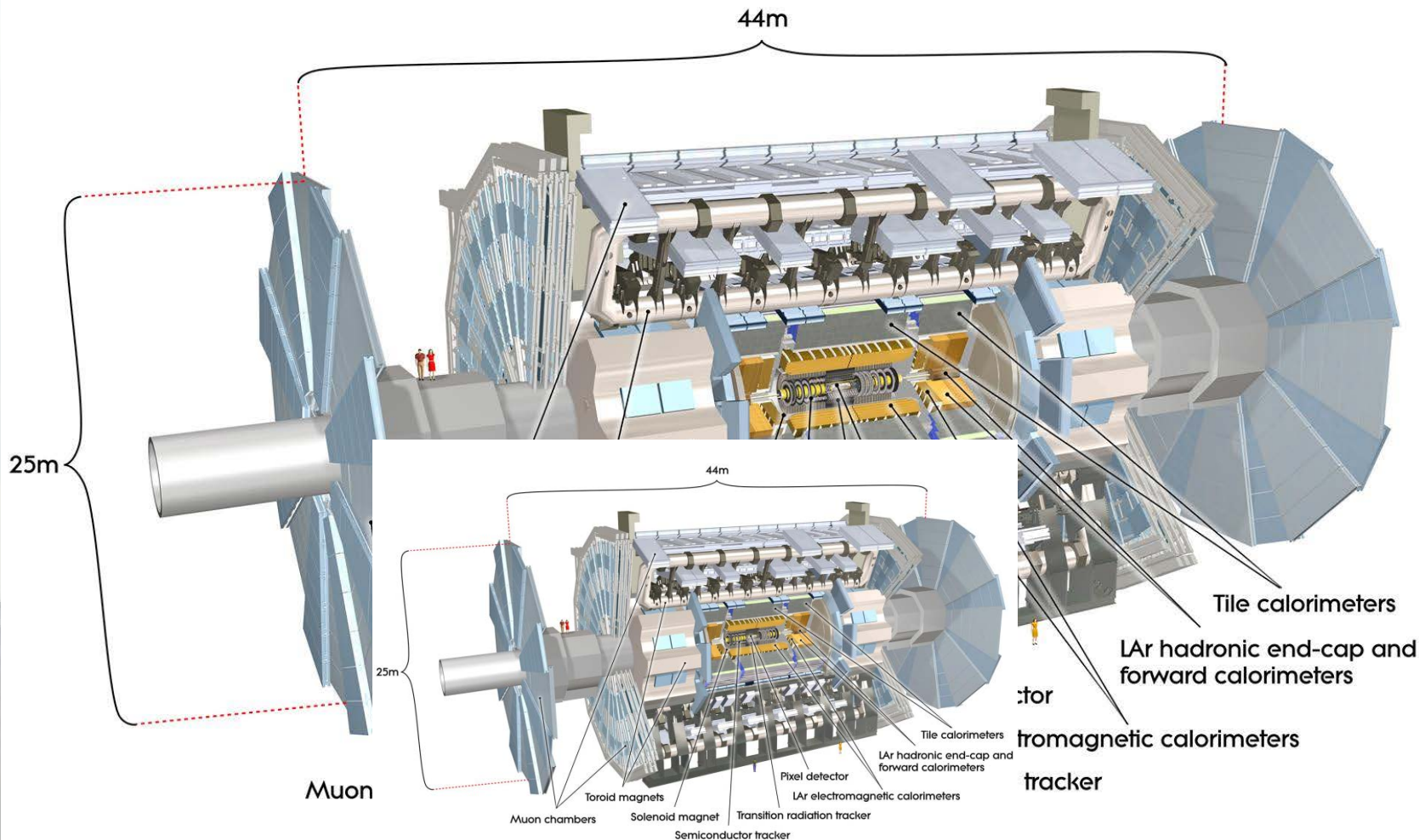
# Na lovu za Higgsovimi delcem

## Evropski laboratorij za fiziko delcev CERN



LHC = Large Hadron Collider

# ATLAS Detector



# Iskanje Higgsove delca z detektorjema ATLAS in CMS ob LHC

---

- Trkalnik in oba velika detektorja, ATLAS in CMS, odlično delujejo od konca leta 2009
- December 2011: objava prvih rezultatov, ki kažejo na to, da Higgsov delec najbrž res obstaja, in da ima maso približno enako masi 140 protonov
- Na dokončno potrditev bo treba počakati do konca tega leta, ko bo na razpolago dovolj velik vzorec podatkov.
- Prepričati se namreč moramo, da ne gre za slučajne kombinacije delcev, v katere naj bi Higgsov delec razpadel....

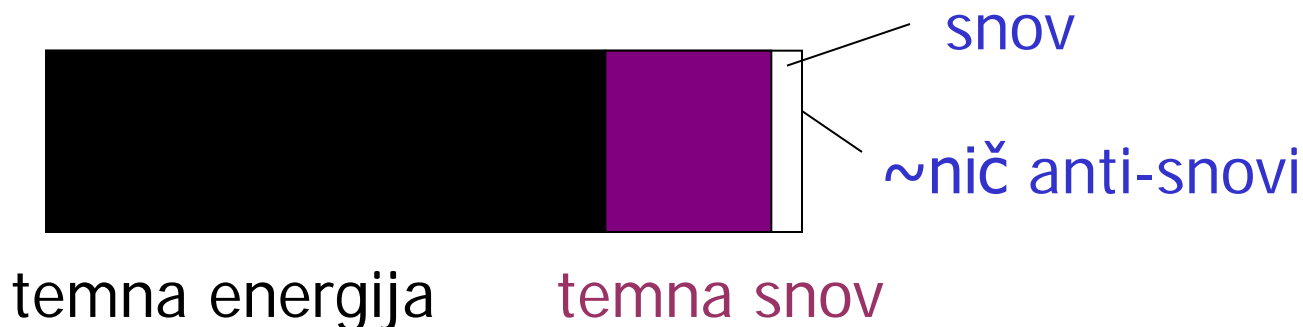
# Ali je to to? Ali zdaj razumemo vesolje od začetka dalje?

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...**



# Premalo anti-snovi...



Из записки С. Окубо  
при большой температуре  
для Вселенной суща изуба  
но ее кривой фигуре

НАРУШЕНИЕ CP-ИНВАРИАНТНОСТИ, C-АСИММЕТРИЯ  
И БАРИОННАЯ АСИММЕТРИЯ ВСЕЛЕННОЙ

А.Д. Сахаров

Теория расширяющейся Вселенной, предполагающая сверхплотное начальное состояние вещества, по-видимому, исключает возможность макроскопического разделения вещества и антивещества; поэтому следует

Izmerjena kršitev simetrije med delci in antidelci je za 10 redov velikosti premajhna....



# Kako naprej?

---

- Kako je izginila vsa anti-snov?
- Ali živimo v prostor-času z več kot štirimi dimenzijami?
- Ali je Higgs samo eden? Ali obstajajo supersimetrični delci?

• Odkritja novih delcev (in njihova razlaga) bi lahko spremenili dožemanje sveta okoli nas podobno, kot ga je odkritje kvantne mehanike ob pričetku 20. stol.

# Iskanje popolnejšega opisa narave

---

Dve možnosti:

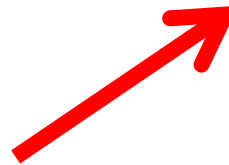
- **Neposredno iskanje novih delcev**
  - iskanje pri velikih energijah (LHC)
- **Iskanje odstopanj od pričakovanih značilnosti procesov**
  - izjemno natančne meritve pri nižjih energijah (Belle in Belle II).

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



# Primerjava obeh pristopov

Direktno opazovanje (LHC)



Posredno opazovanje (Belle II)

# Projekt Belle II

---

Namen:

izboljšati domet meritev za 100x

– **boljši detektor in zmogljivejši pospeševalnik**

Nove meritve od leta 2015 dalje

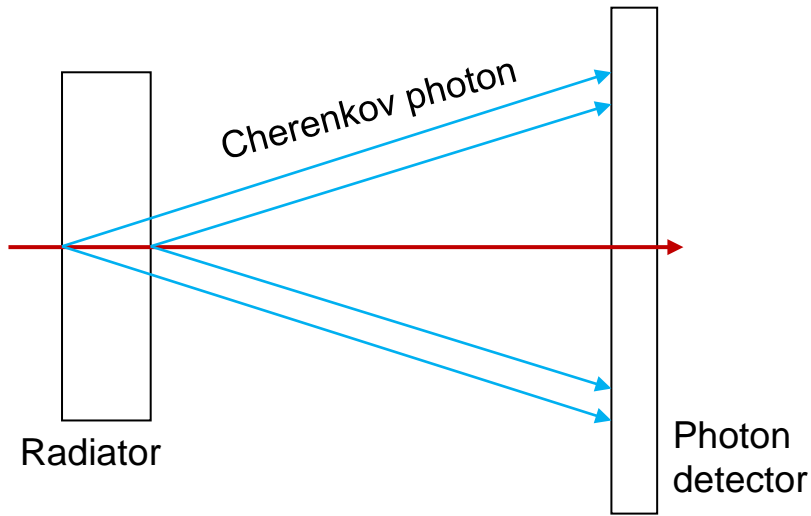
**Slovenska raziskovalna skupina je med nosilci tega projekta, zasedamo nekaj ključnih pozicij**

# Raziskovalna skupina Belle II

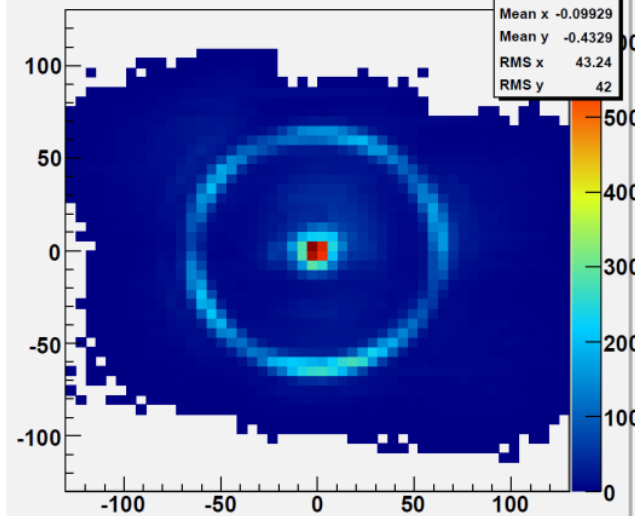


Močna raziskovalna skupina  $\sim 400$  fizikov s celega sveta

Za identifikacijo uporabimo **pojavnost Čerenkova**: svetloba, ki jo seva delec, ki je **hitrejši kot hitrost svetlobe** v snovi – podobno kot **udarni val nadzvočnega letala!**

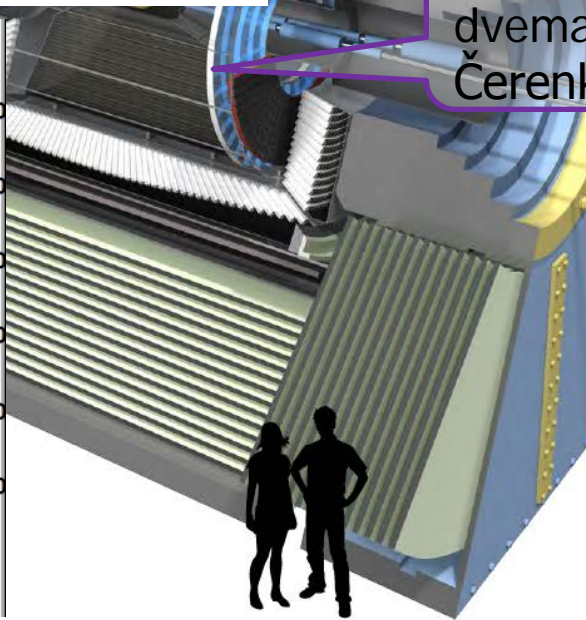


RICH Hit Map, w.r.t. track



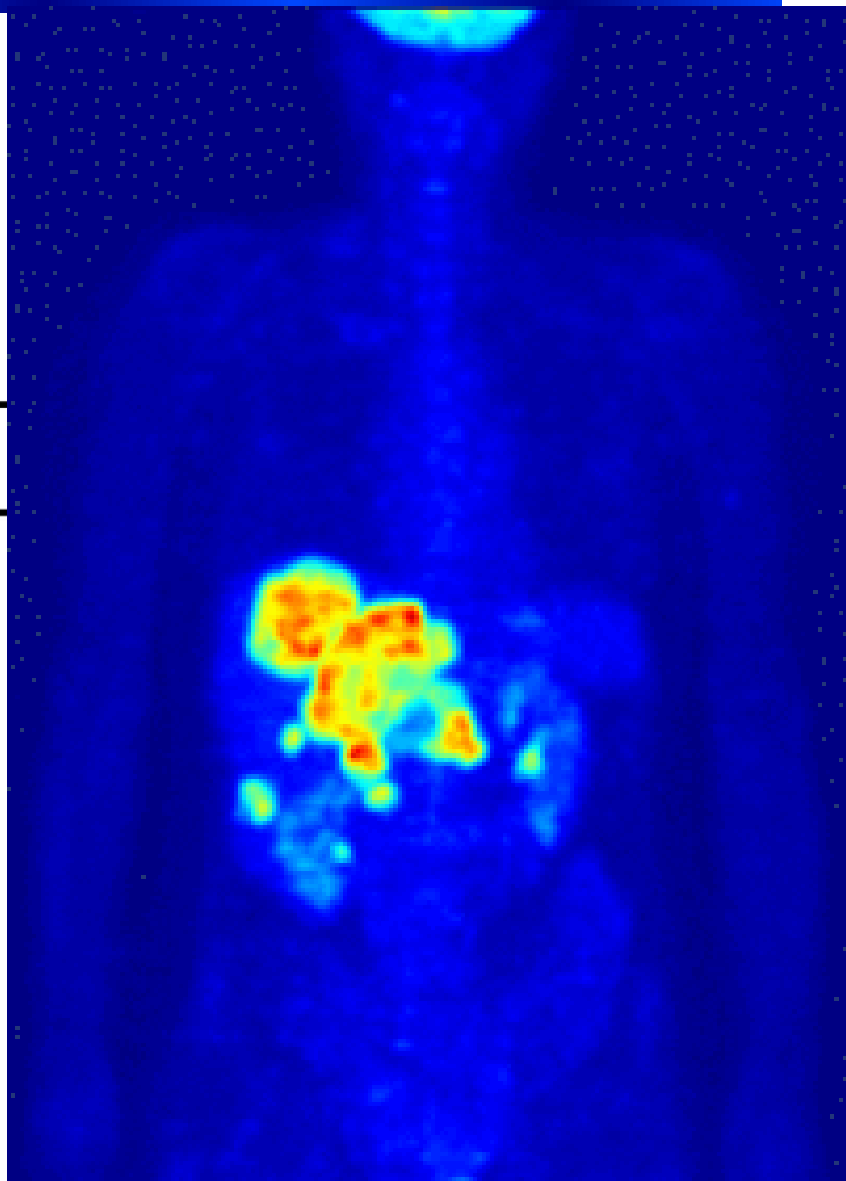
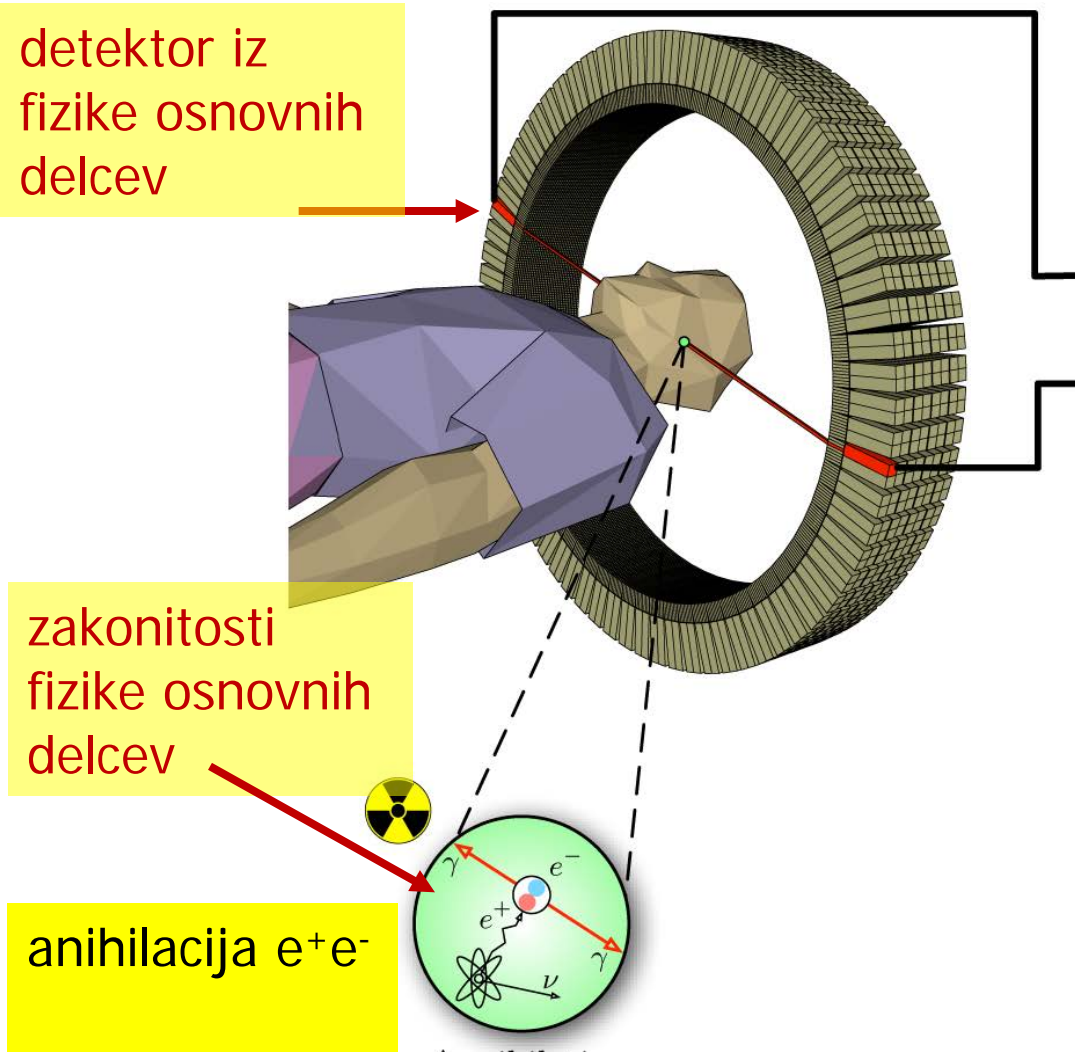
rich_2d_1
Entries 412449
Mean x -0.09929
Mean y -0.4329
RMS x 43.24
RMS y 42

Identifikacija nabitih delcev z dvema detektorjema Čerenkovega sevanja



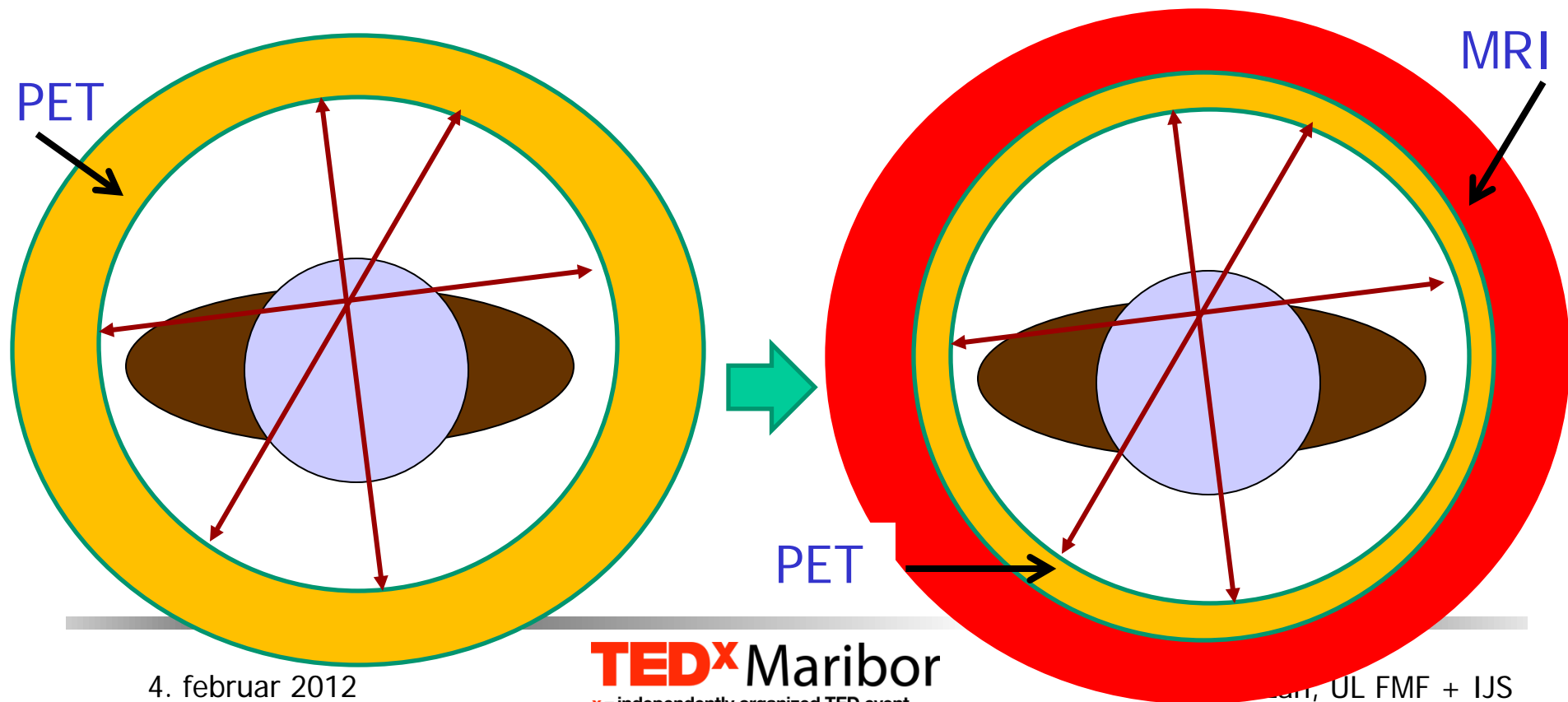
# Spin-off osnovnih raziskav – primer 1

## PET: pozitronska tomografija



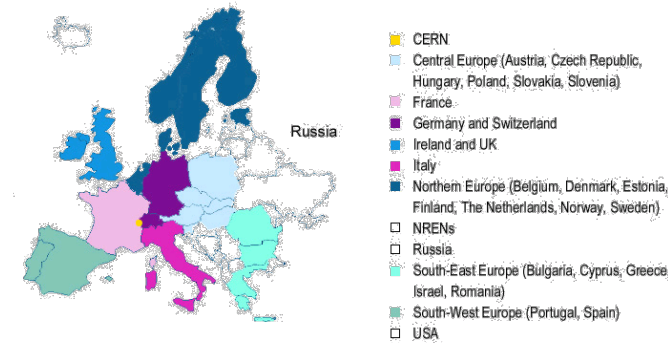
Nova vrsta senzorja, ki smo ga razvili za meritve v fiziki osnovnih delcev: → **bistveno manjši** od obstoječih detektorjev in **deluje v velikih magnetnih poljih**.

Omogoča sočasno slikanje z **magnetno resonanco in PET** – pomembna izboljšava za učinkovito diagnostiko!



# Spin-off osnovnih raziskav – primer 2

**Svetovni splet:** izmislili so si ga fiziki osnovnih delcev, ker so potrebovali orodje, ki bi jim omogočalo nemoteno raziskovalno delo tudi takrat, ko ne sedijo ob pospeševalniku.



**Grid** kot naslednja stopnja razvoja interneta: distribuirane računalniške kapacitete (‘računalnik iz vtičnice’)

**LHC** je prvi veliki uporabnik Grida, razvoj in preizkus tehnologije

Na IJS deluje **SiGNET** (2000 procesorjev, 800 TBy!), del LHC Grida in del drugih Grid aplikacij



# Zaključek

---

Fizika osnovnih delcev je živahna veda o svetu pri najmanjših in največjih razdaljah in je ob tem trdno zasidrana v vsakdanjem svetu.

V naslednji desetih letih se bo razjasnilo kup vprašanj, ki nam jih je zastavila Narava...

Slovenski fiziki smo v prvih vrstah iskanja odgovorov na nova vprašanja, ki se postavljajo v fiziki in sorodnih interdisciplinarnih področjih.

Posredne rezultate svojih raziskav uporabljamo pri razvoju novih tehnologij, napredku v medicinskem slikanju in pri varovanju okolja.



# Dodatne prosojnice

---

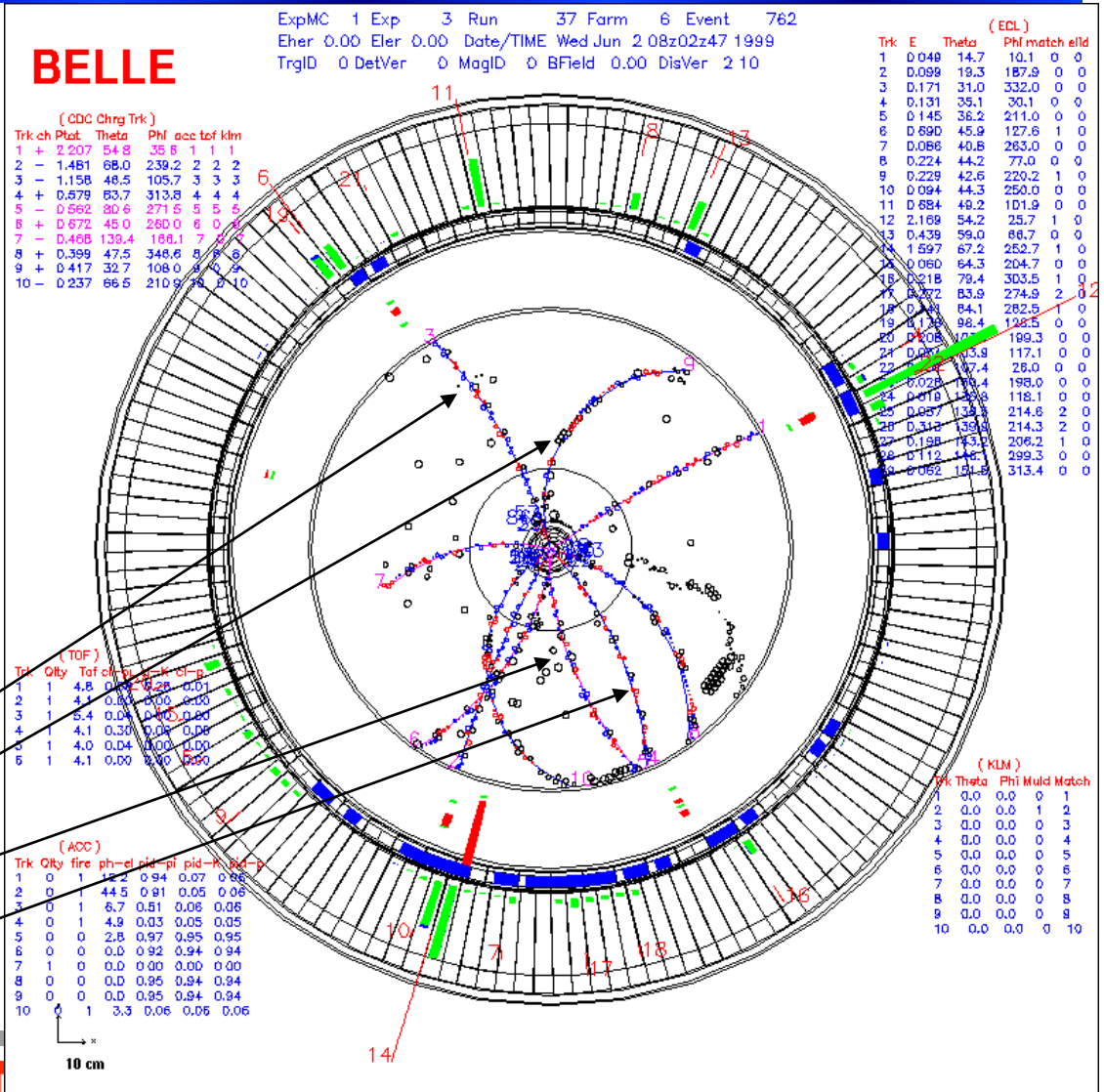
# Kaj izmerimo z detektorjem?

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


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

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

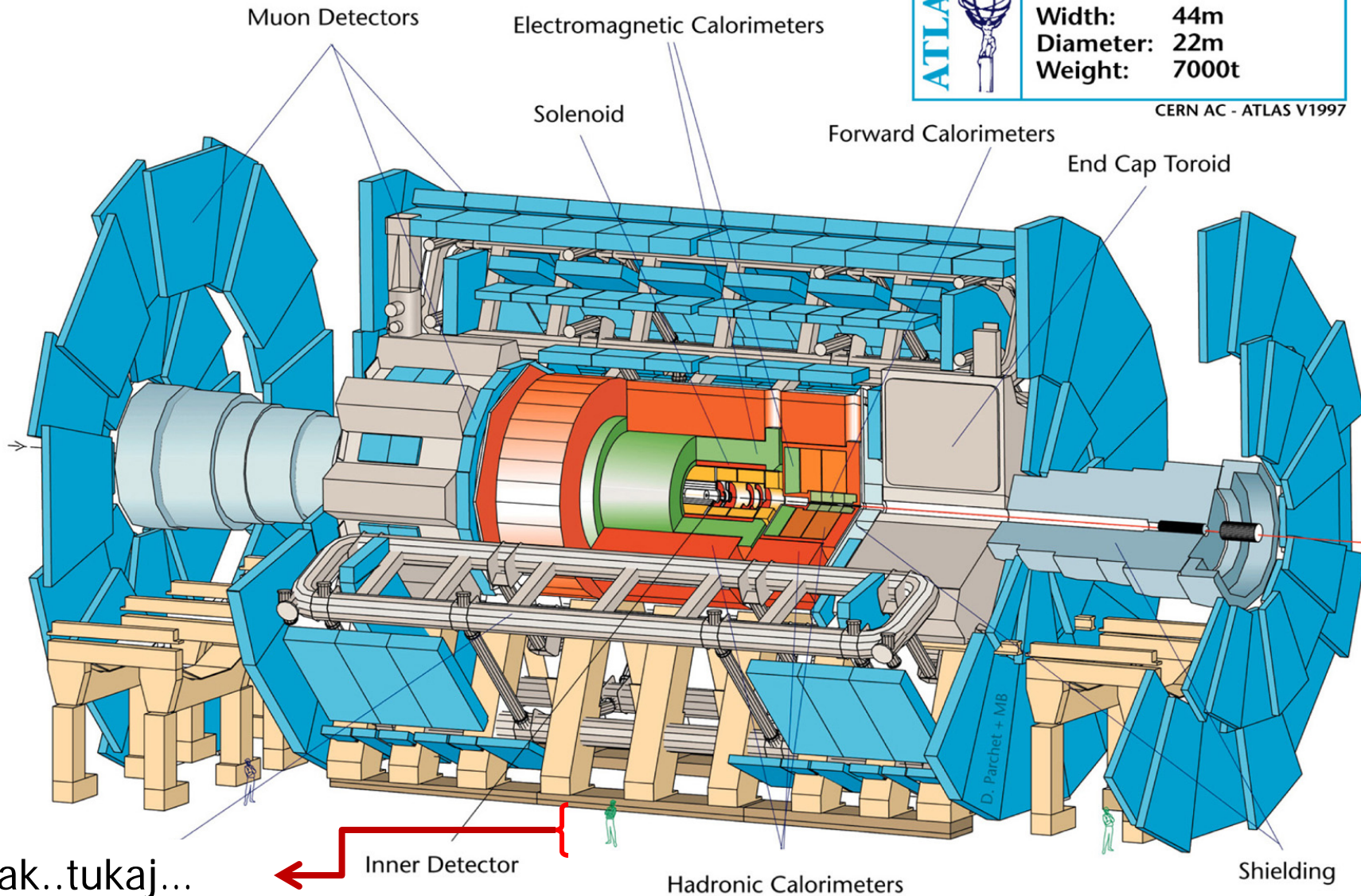
$$J/\psi \rightarrow \mu^- \mu^+$$



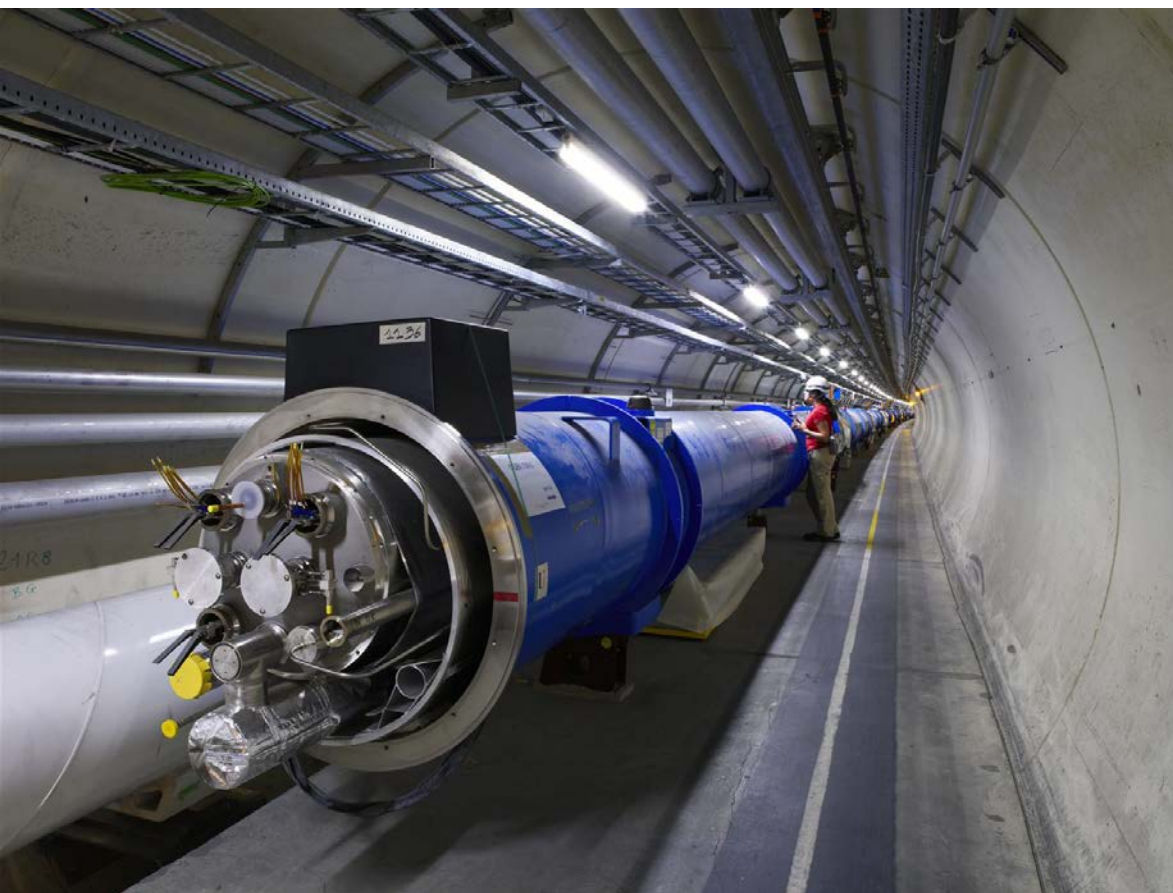
# Detektor ATLAS ob LHC

<b>ATLAS</b> 	<b>Detector characteristics</b>
	<b>Width:</b> 44m
	<b>Diameter:</b> 22m
	<b>Weight:</b> 7000t

CERN AC - ATLAS V1997



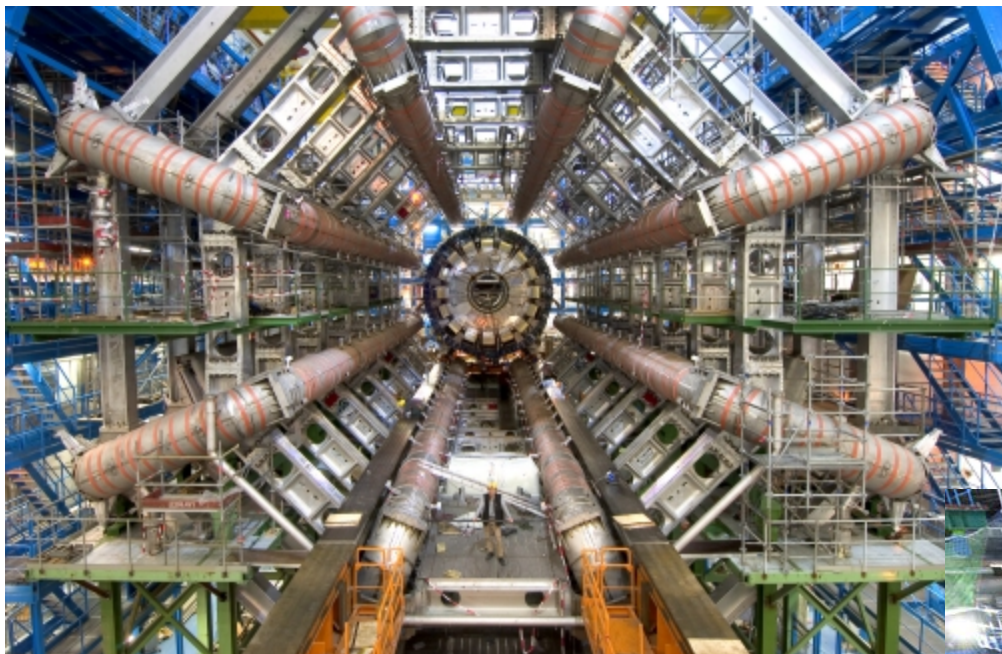
možak..tukaj...



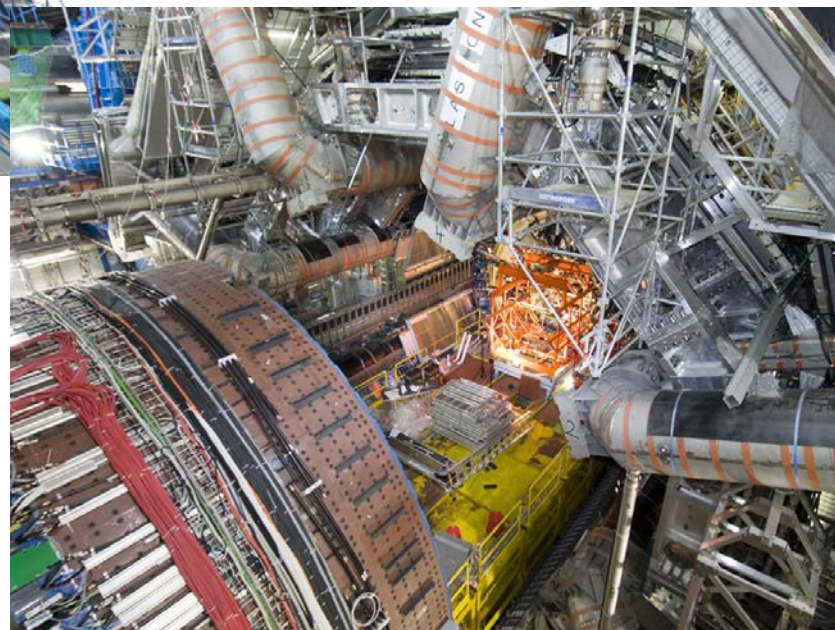
del 27 km dolgega  
pospeševalnika

4. februar 2012

**TEDx**  
x = independent



## detektor ATLAS med izgradnjo





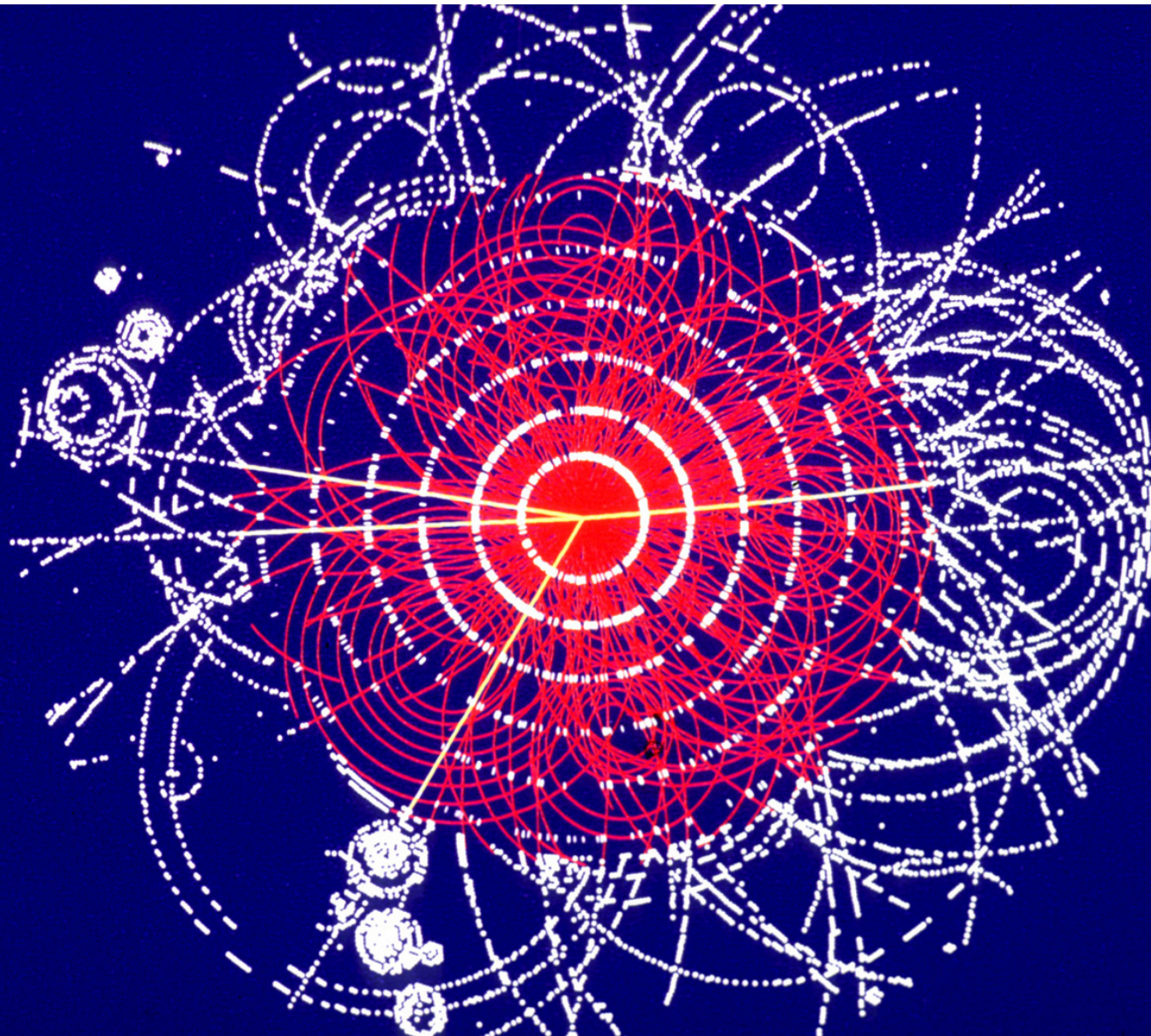
## Kontrolna soba med meritvami

4. februar 2012

**TED<sup>x</sup> Maribor**  
x = independently organized TED event

Peter Križan, UL FMF + IJS

# Razpad Higgsovega delca v 4 mione (računalniška simulacija v detektorju ATLAS)



x=independently organized TED event

# Iskanje Higgsove delca z detektorjema ATLAS in CMS ob LHC

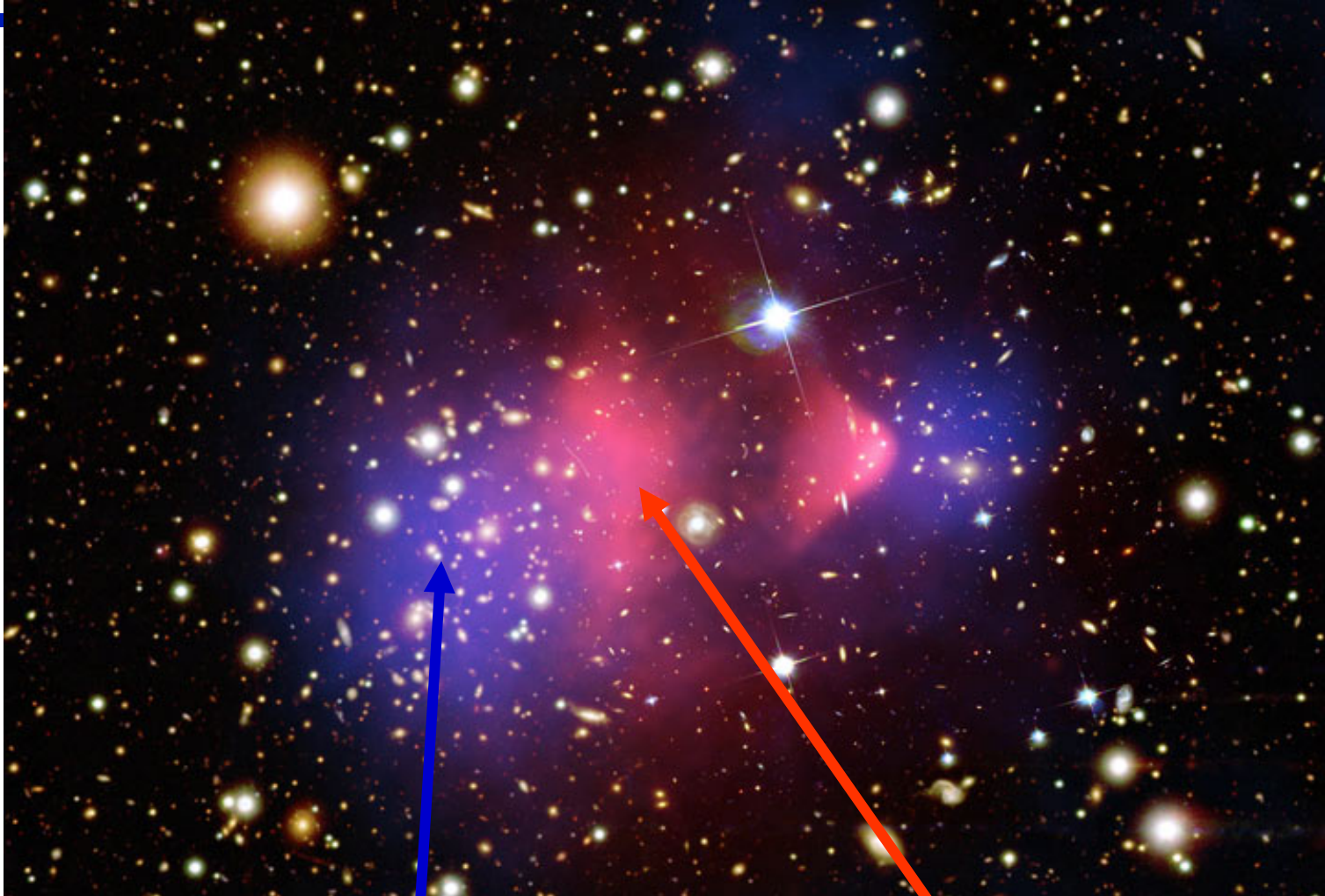
- Trkalnik in oba velika detektorja, ATLAS in CMS, odlično delujejo od konca leta 2009
- December 2011: objava prvih rezultatov, ki kažejo na to, da Higgsov delec najbrž res obstaja, in da ima maso približno enako masi 140 protonov
- Na dokončno potrditev bo treba počakati do konca tega leta, ko bo na razpolago dovolj velik vzorec podatkov.
- Prepričati se namreč moramo, da ne gre za slučajne kombinacije delcev, v katere naj bi Higgsov delec razpadel....

Primerjava z metanjem kocke:

- Trenutno stanje meritev je tako, da je verjetnost, da zaznani razpadi ne ustrezajo razpadu Higgsovega delca, ustreza verjetnosti, da smo 2x zaporedoma vrgli šestico.
- Zares prepričani bomo šele, ko bo verjetnost za napako enaka verjetnosti, da je šestica padla zaporedoma 8x.

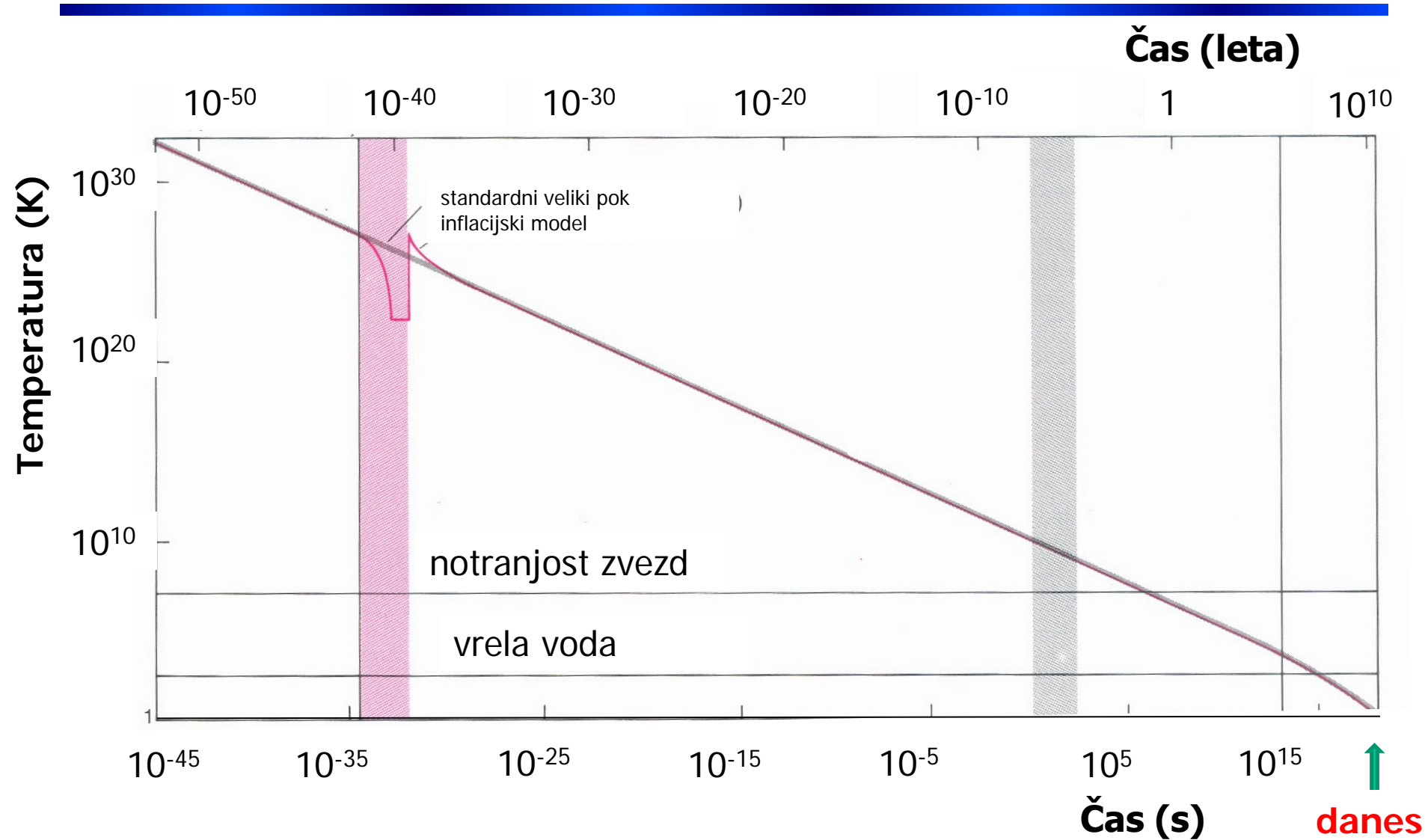


# Direktni dokaz za obstoj temne snovi



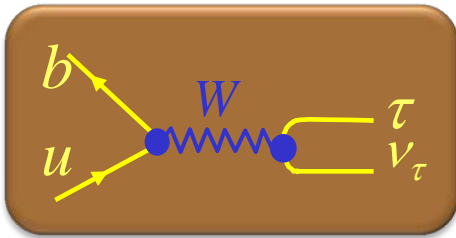
Po trku dveh gruč galaksij se **običajna materija** upočasni, **temna snov** pa ne.

# Temperatura vesolja

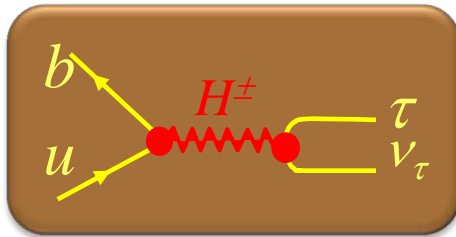


# Primer: lov na **nabit Higgsov delec** v razpadu $B^- \rightarrow \tau^- \nu_\tau$

Poleg nevtralnega Higgsovega delca, kot ga predvideva Standardni model, 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)**