

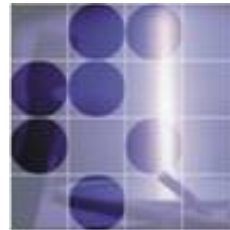
Lov na Higgsove delce

Peter Križan

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

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za *matematiko in fiziko*



DELCI**in****SILE****po****nadstropjih**

Velikost(m)	Predmet		Sila	Smisel	Strokovnjak
10^{21}	kopice galaksii		gravitacija		↑ filozof
10^{14}	<div data-bbox="193 335 1246 735" style="border: 2px solid red; padding: 10px; color: red;"> Nadstropja se zelo dobro ločijo med sabo: ko opisujemo pojave v enem od njih, lahko v večini primerov zanemarimo sosednja nadstropja. </div>			ohranitev vrste	biolog, zdravnik, sociolog...
1				nestrost svetlobe, življenja	kemik, fizik
10^{-8}			magnetna		atomski fizik
10^{-10}	<div data-bbox="193 849 1545 942" style="border: 2px solid red; padding: 10px; color: red;"> Razen... povezave med najnižjim in najvišjim! </div>				
10^{-14}				jedra	
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: visoka **temperatura**
(podobno kot plin, ki ga stisnemo)

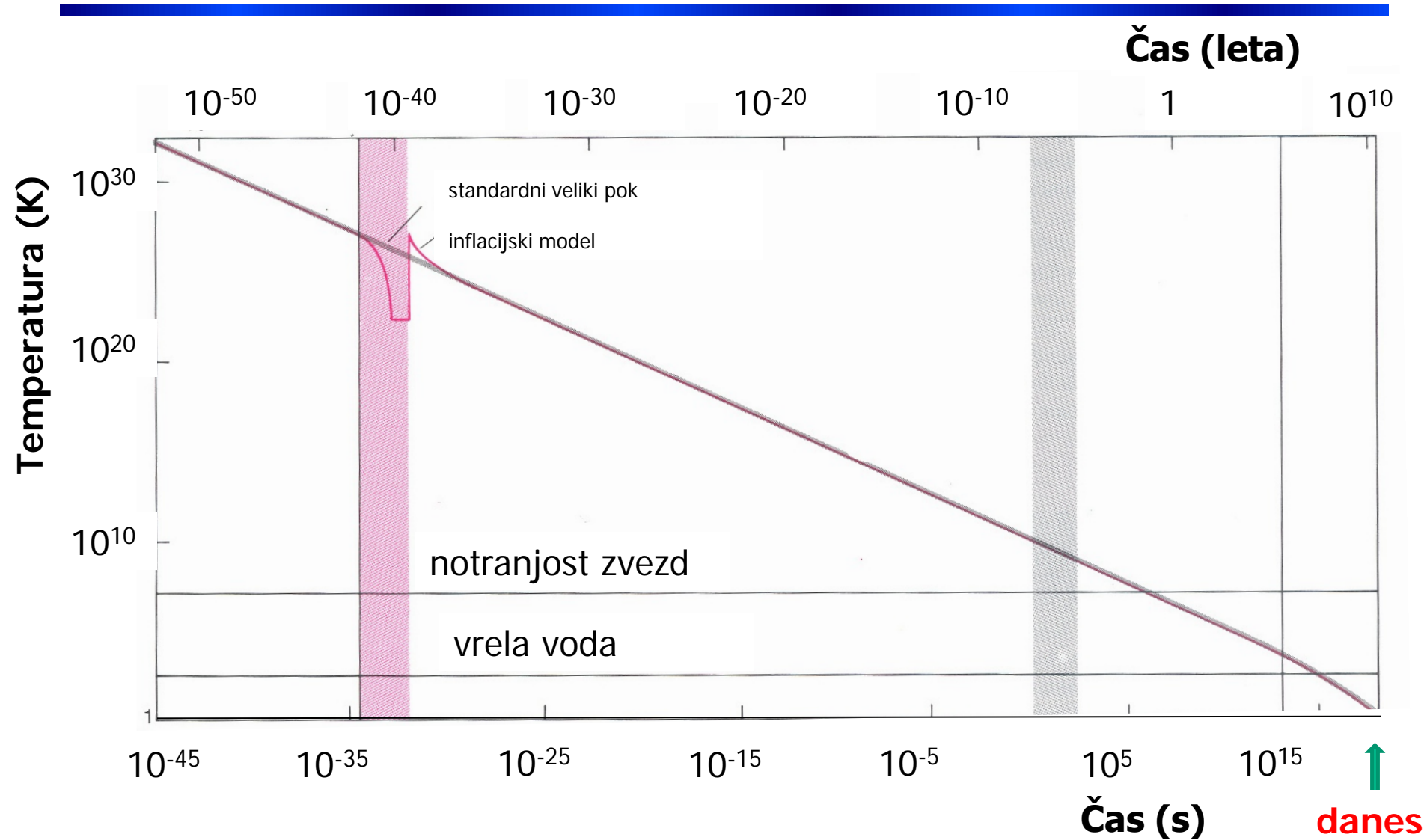


Plin pri visoki temperaturi: **velika hitrost** molekul

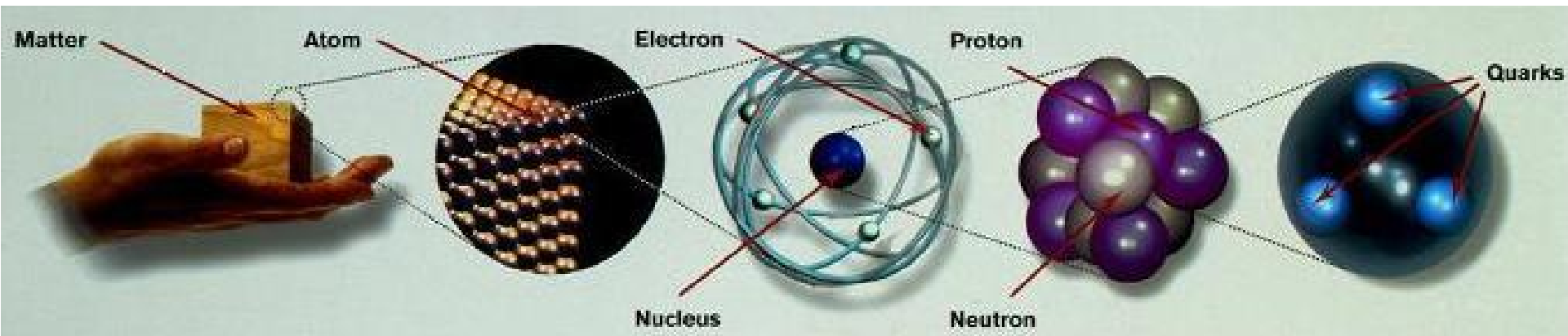
Trki med delci v zgodnjem vesolju:
enaki trkom delcev v **pospeševalnikih**



Temperatura vesolja



DELCI po nadstropjih



snov

atomi

atomska jedra,
elektroni

protoni,
nevtroni

kvarki

Standardni model

(teorija osnovnih delcev in njihovih interakcij)

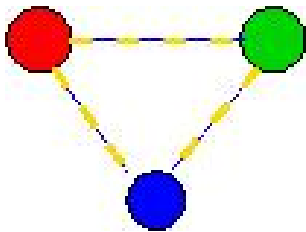
Osnovni delci	1. družina	2. družina	3. družina
kvarki	u,d	s,c	b,t
leptoni	e^- , ν_e	μ^- , ν_μ	τ^- , ν_τ

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

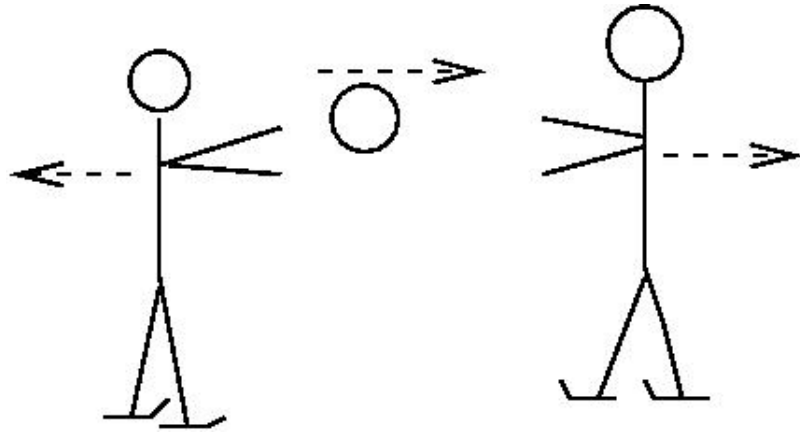
V naravi **ni prostih kvarkov** – nastopajo samo v povezavi z drugimi kvarki.



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

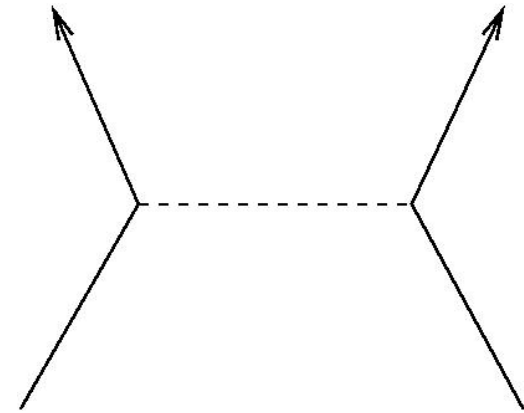
Mezoni	masa
π^+ : kvark u + antikvark \bar{d}	$1/7 m_p$
K^0 : kvark d + antikvark \bar{s}	$1/2 m_p$
J/ψ : kvark c + antikvark \bar{c}	$3 m_p$
B^0 : kvark d + antikvark \bar{b}	$5.5 m_p$

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 γ	neskončen
šibka	šibki bozoni W^+ , W^- , Z^0	zelo kratek
močna	gluoni g	kratek

+ delec, ki vsem ostalim podeli maso: **Higgsov bozon**

Dve veliki vprašanji

Zakaj ni v vesolju skoraj nič anti-delcev?

Odkod delcem masa?

Asimetrija med snovjo in antisnovjo

Današnje vesolje:

skoraj izključno snov, nič antisnovi.

Kam so izginili vsi antidelci iz Velikega poka?

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:

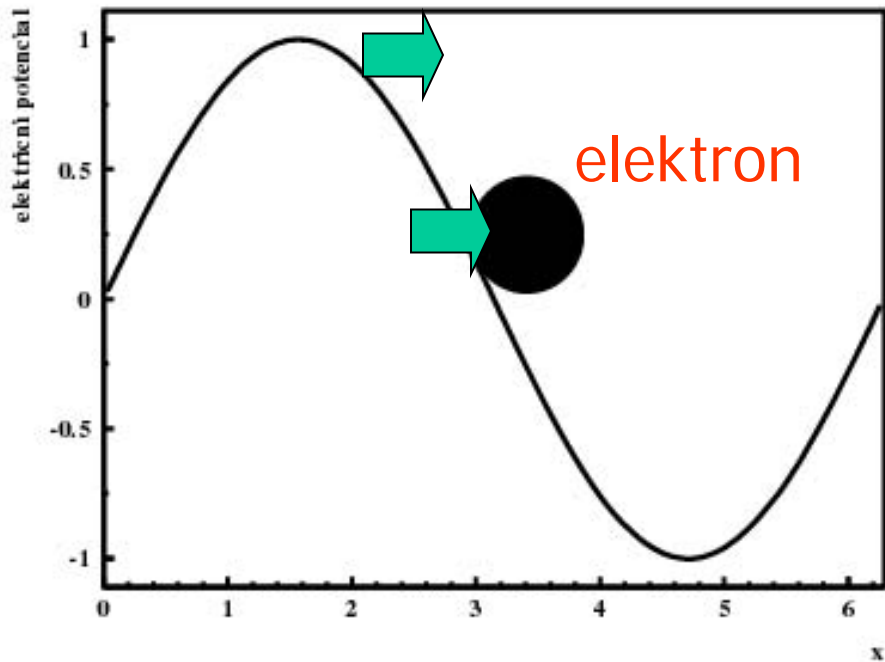
Kako se delci razlikujejo od anti-delcev?

Trkalnik KEK-B in detektor Belle v Tsukubi



Kako pospešujemo nabite delce?

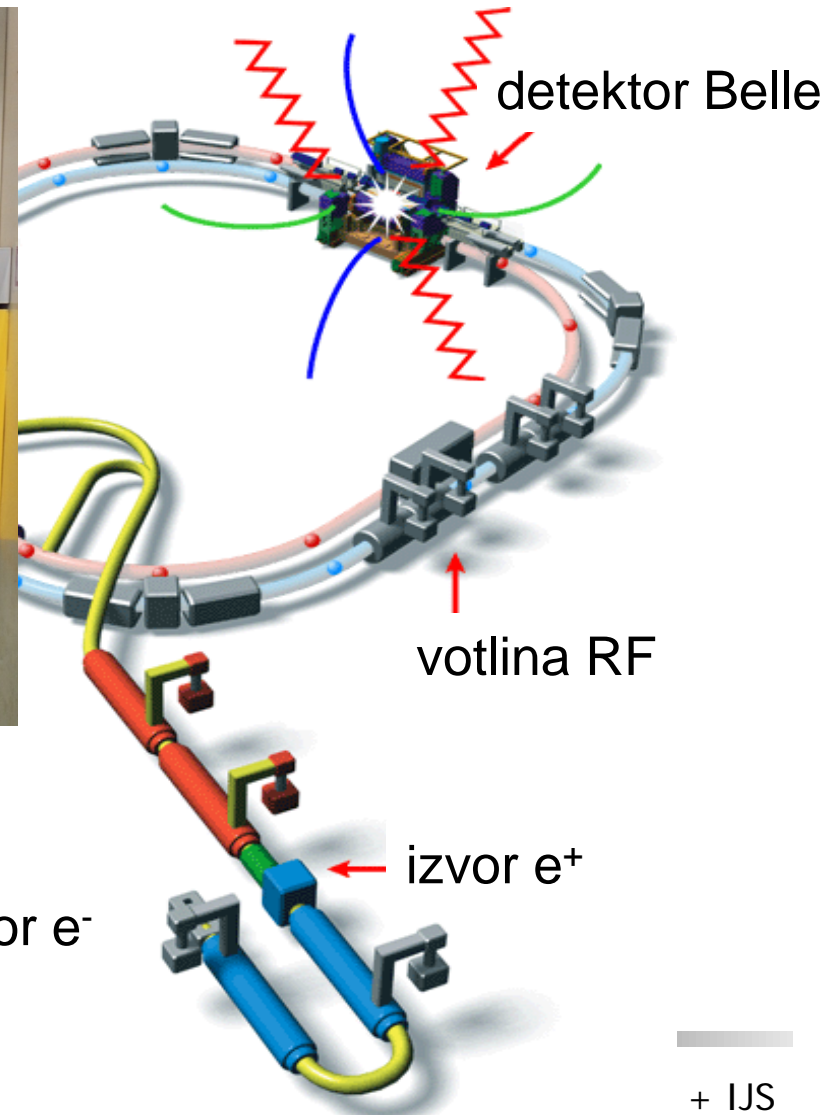
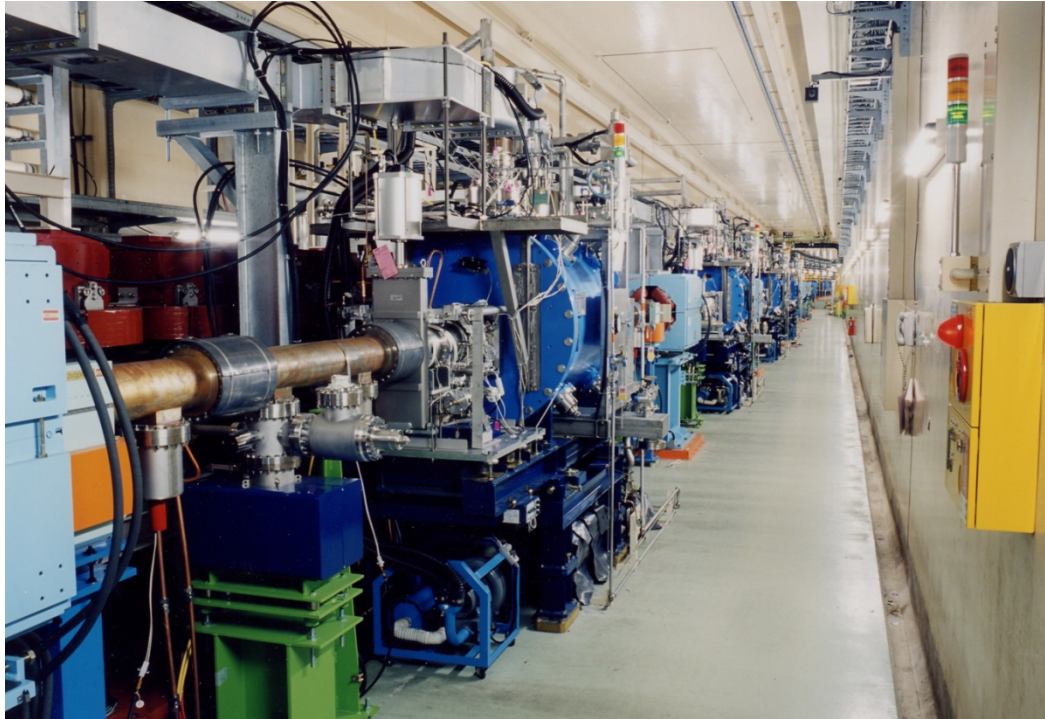
- Pospeševanje z elektromagnetnim valovanjem (tipična frekvenca 500 MHz – mobilni telefoni delujejo pri 900 oz. 1800 MHz)



... podobno deskanju na valovih

Trkalnik KEK-B

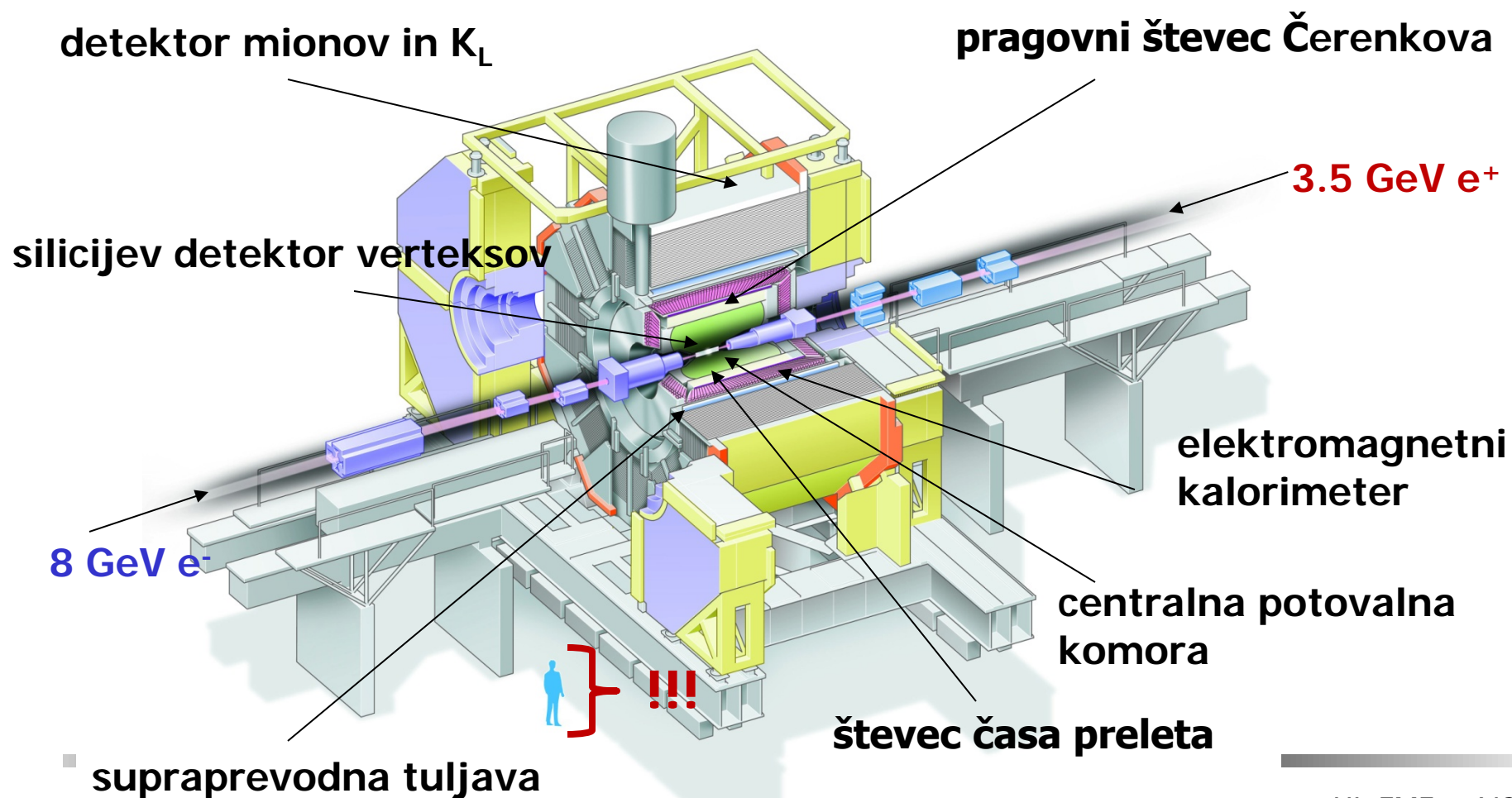
pospešuje elektrone in pozitrone do trka



Spektrometer Belle:

originalne tehnične rešitve in vrhunska tehnologija

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



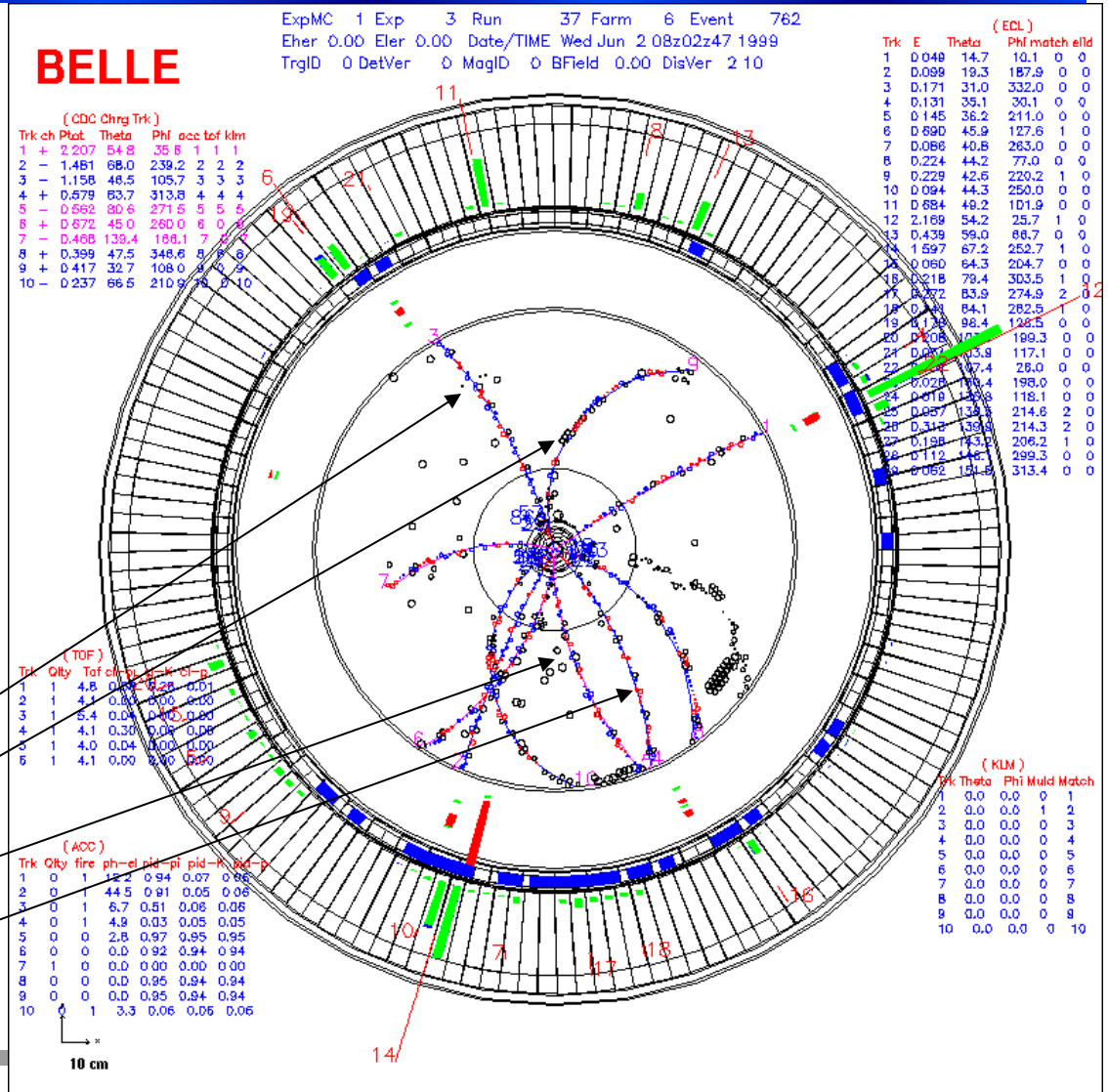
Kaj izmerimo z detektorjem?

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

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

$$K^0 \rightarrow \pi^- \pi^+$$

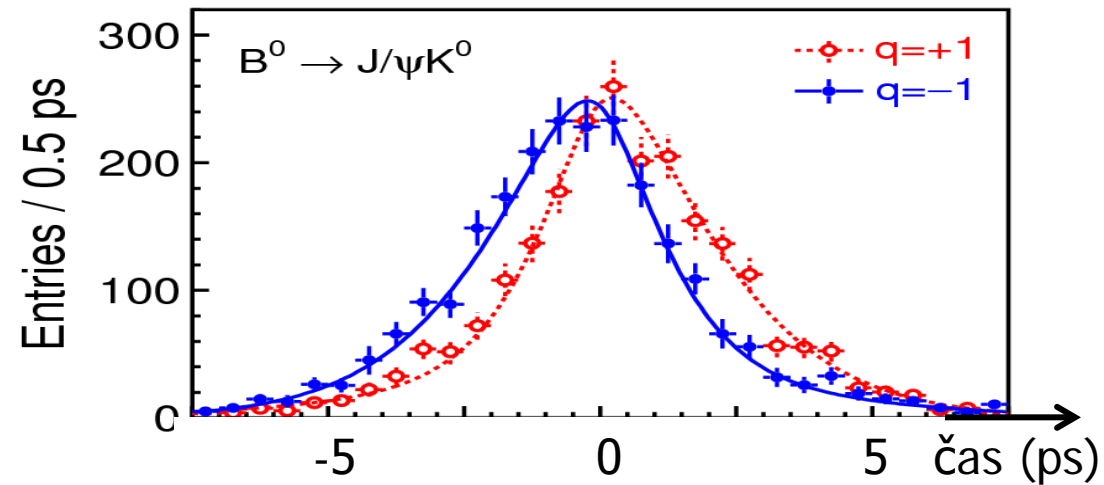
$$J/\psi \rightarrow \mu^- \mu^+$$



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

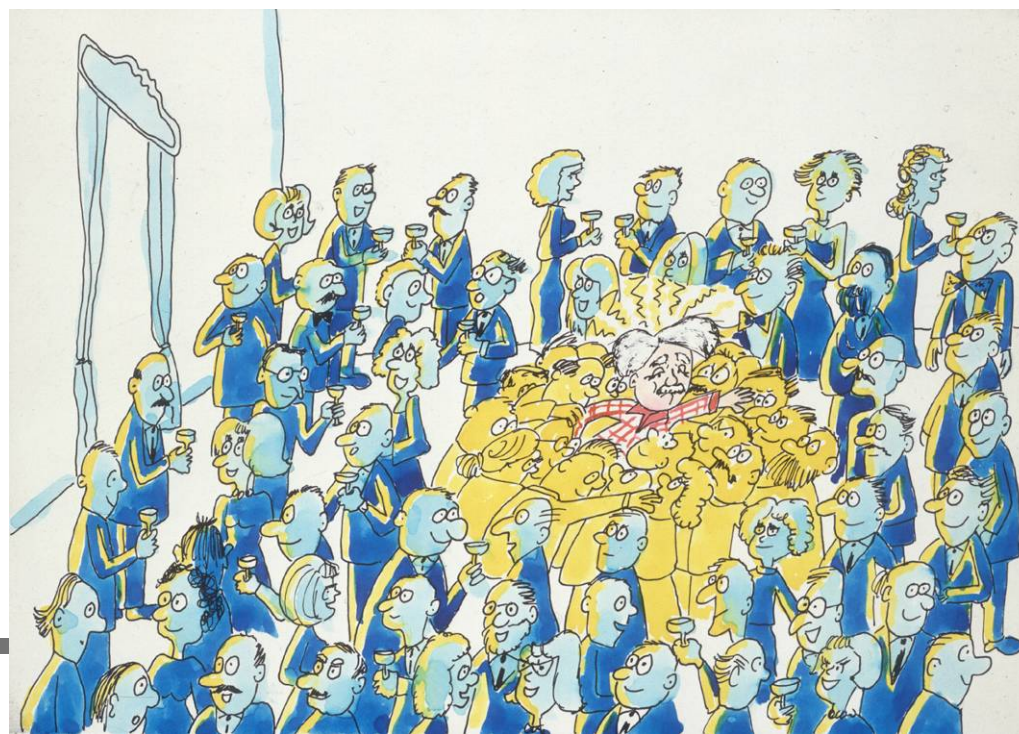
Elektromagnetno polje \rightarrow nabit delec (e^-) občuti silo
velikost sile odvisna od velikosti električnega naboja

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





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

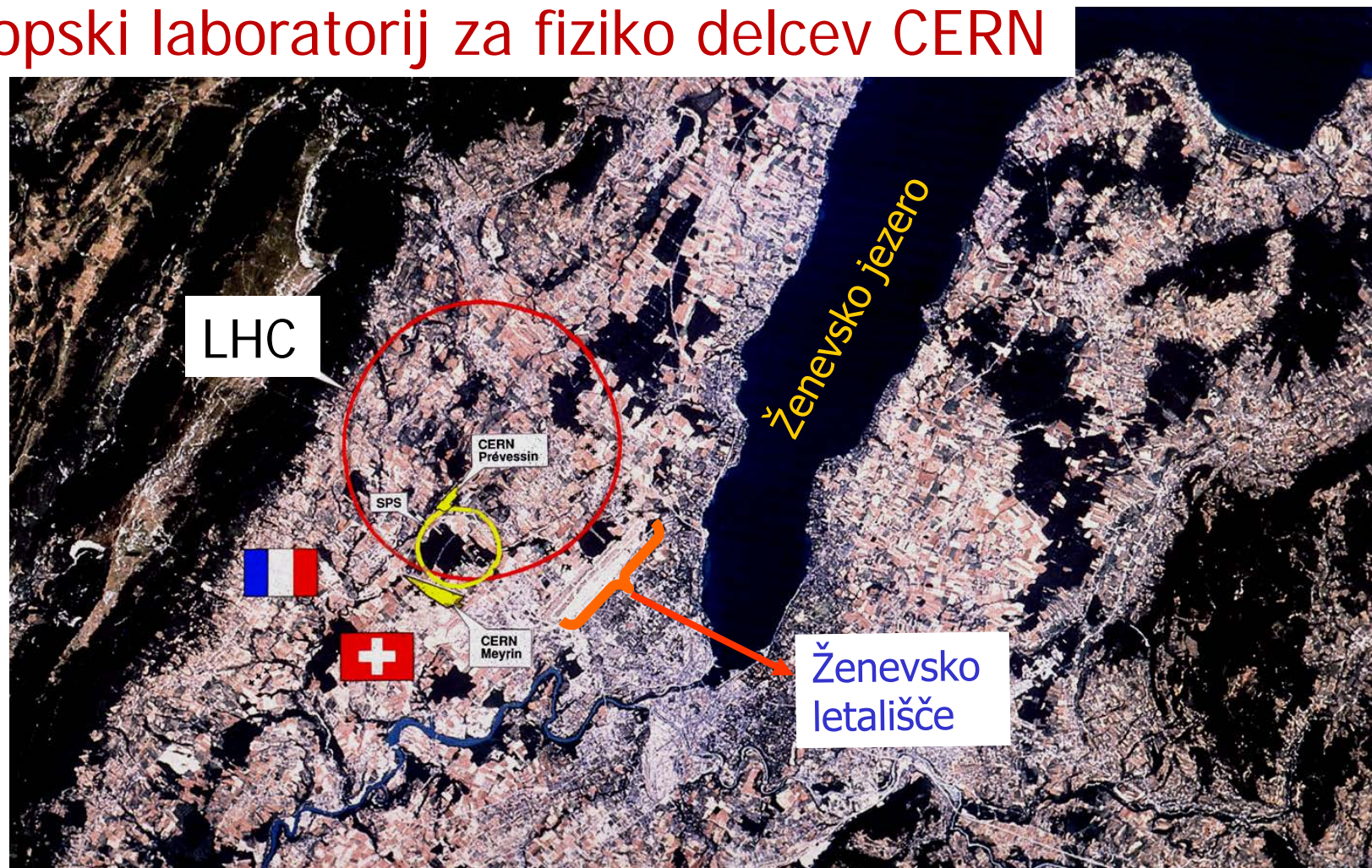
Higgsovo polje \rightarrow delci imajo maso
velikost mase odvisna od velikosti „Higgsovega naboja“

elektromagnetno polje ima svoje delce – fotone

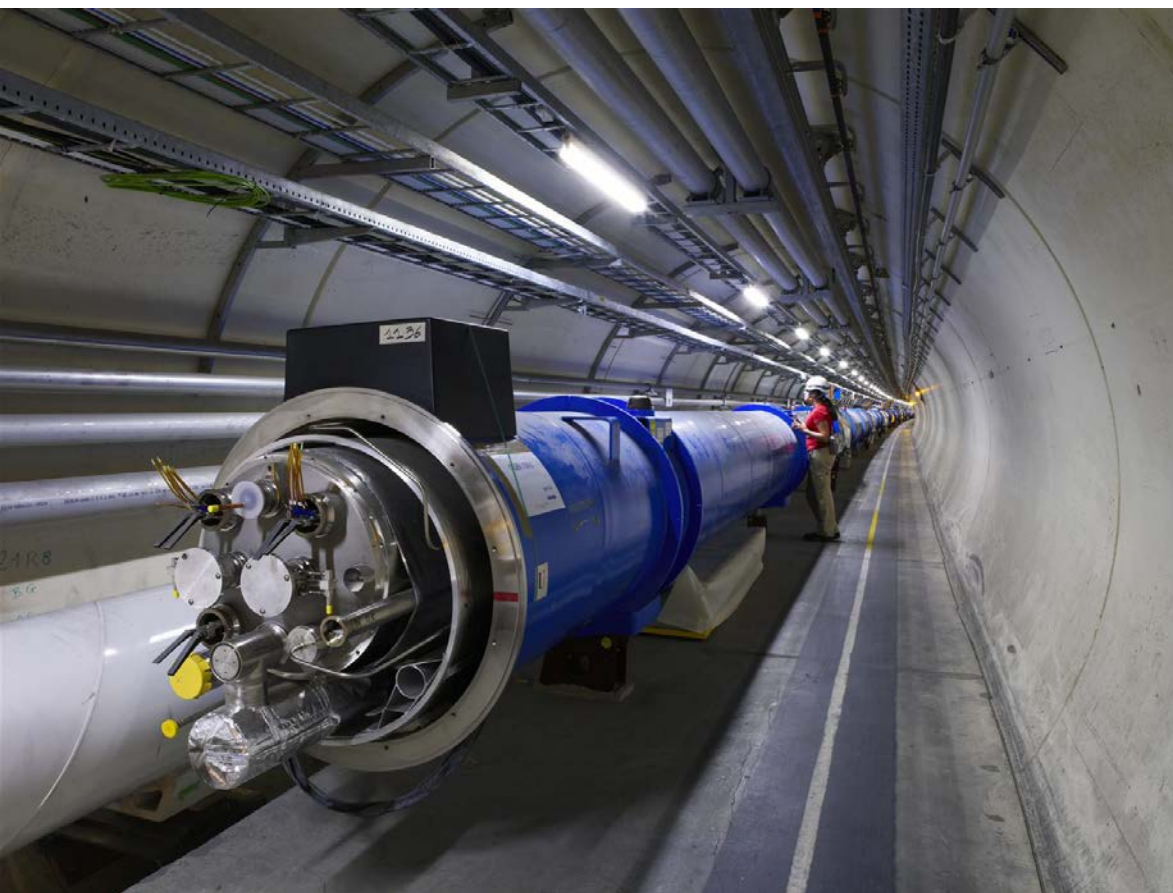
Higgsovo polje ima svoje delce – **Higgsove bozone**

Na lovu za Higgsovimi delcem

Evropski laboratorij za fiziko delcev CERN




LHC = Large Hadron Collider



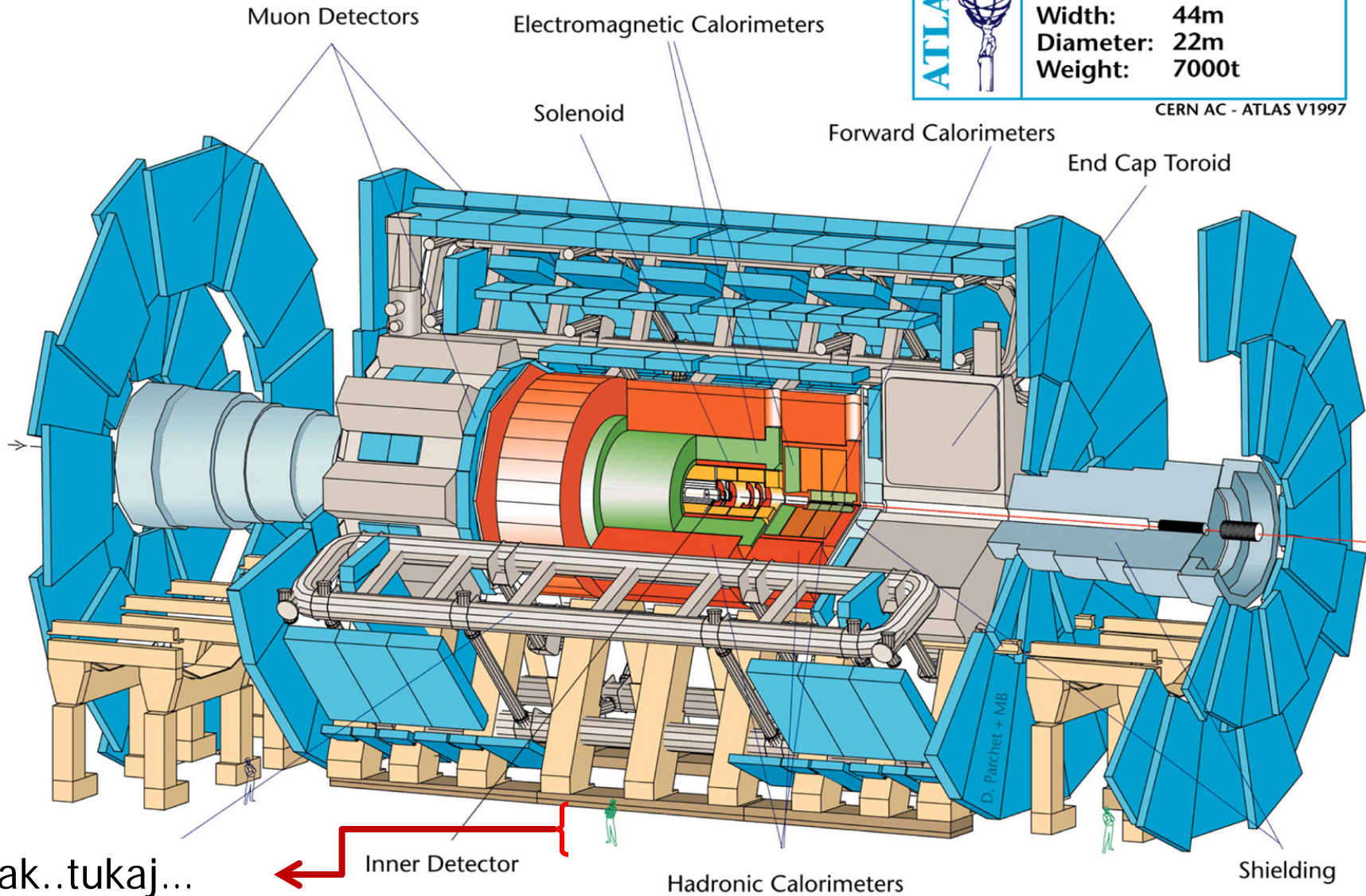
del 27 km dolgega
pospeševalnika



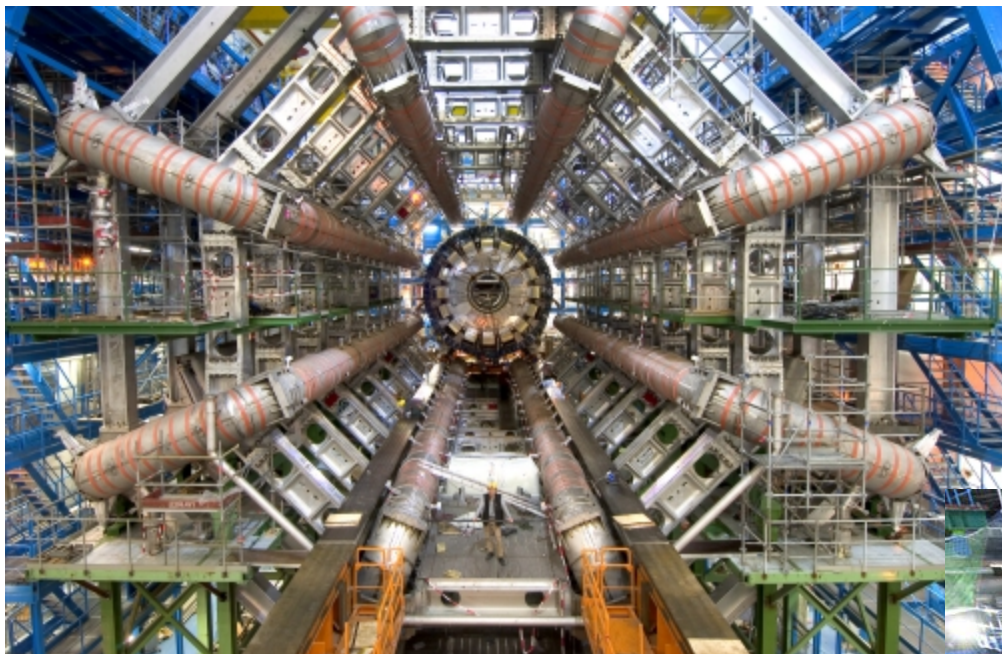
Detektor ATLAS ob LHC

ATLAS 	Detector characteristics	
	Width:	44m
	Diameter:	22m
	Weight:	7000t

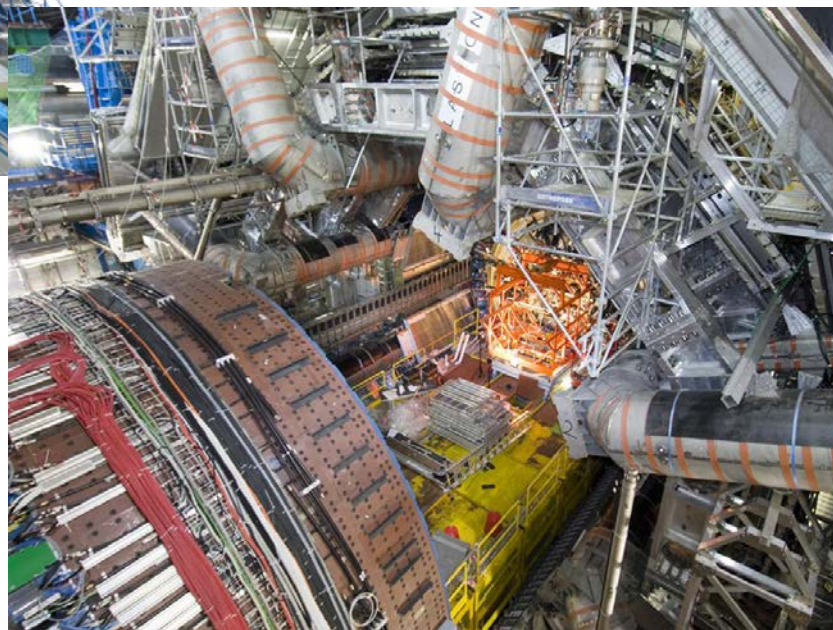
CERN AC - ATLAS V1997



možak..tukaj...



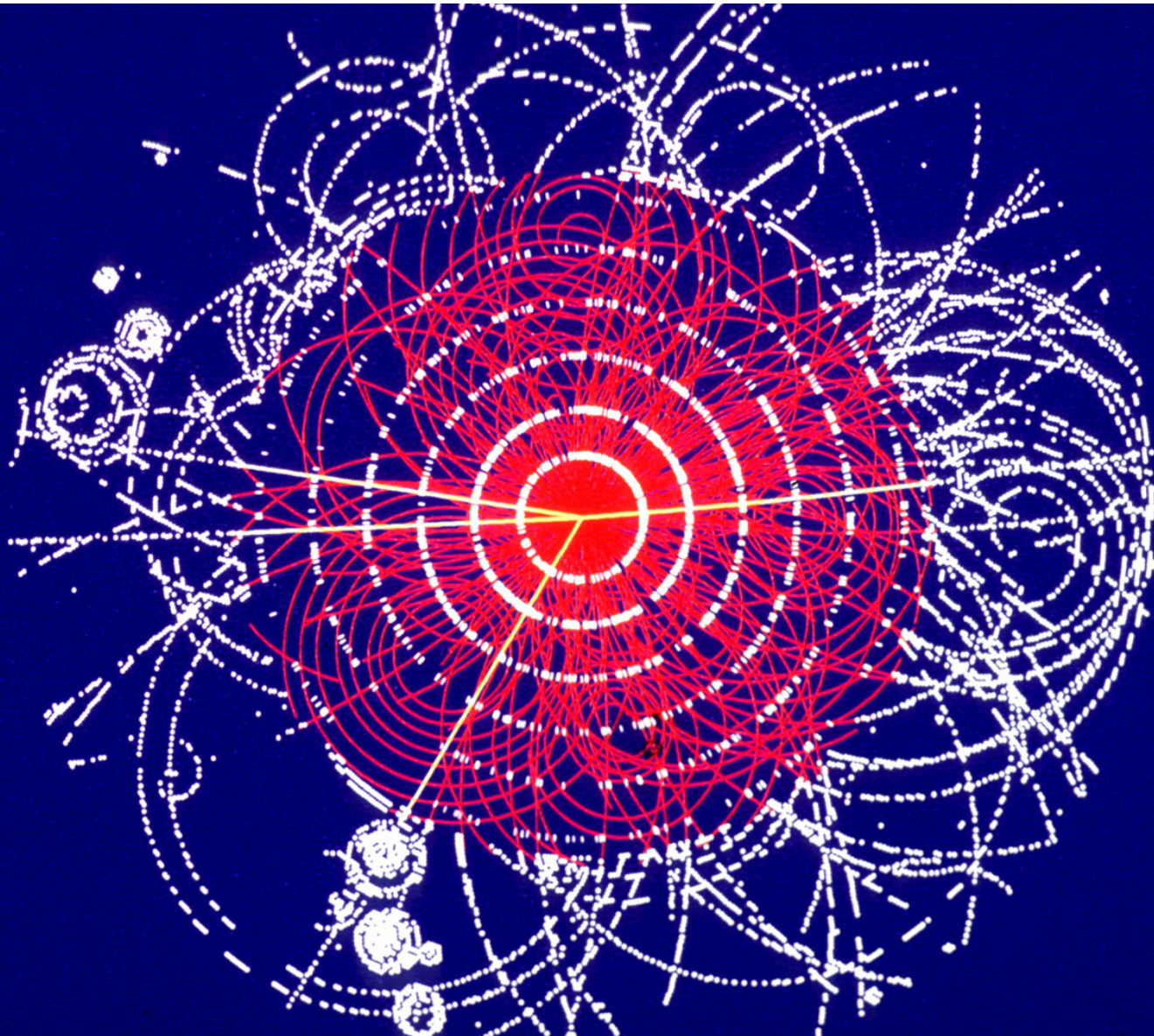
detektor ATLAS med
izgradnjo





Kontrolna soba med
meritvami

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



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
- Julij 2012: ATLAS in CMS objavita odkritje Higgsovega bozona – pravzaprav delca, za katerega zaenkrat vse kaže, da ima take lastnosti, kot jih pričakujemo od Higgsovega delca ('Higgs-like particle'). Na dokončno potrditev bo treba počakati na čas, ko bo na razpolago dovolj velik vzorec podatkov.
- Viden delež slovenske raziskovalne skupine (IJS in FMF UL) pri eksperimentu ATLAS.

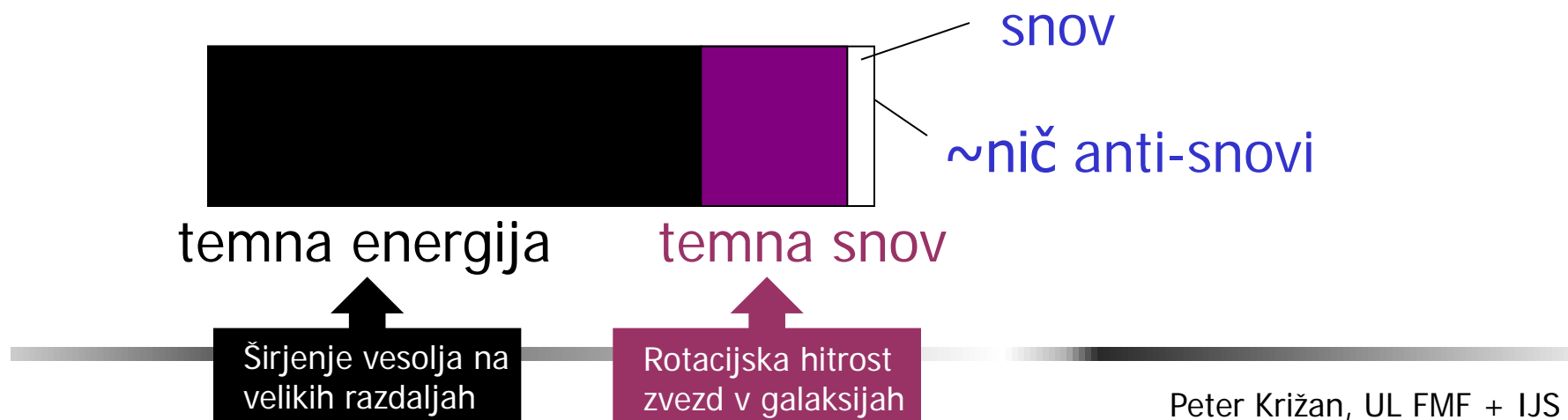
Ali je to to? Ali zdaj razumemo vesolje od začetka dalje?

Žal ne...

Izmerjena kršitev simetrije med delci in antidelci je za 10 redov velikosti 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 мучба
но ее кривой фигуре

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

А.Д.Сазаров

Теория расширяющейся Вселенной, предполагающая сверхплотное начальное состояние вещества, по-видимому, исключает возможность микроскопического 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

Če hočemo z morskega obrežja opazovati ladjo daleč od obale, imamo dve možnosti. Uporabimo lahko **zmogljiv daljnogled** ali pa **zelo natančno izmerimo smer in velikost valov**.

LHC

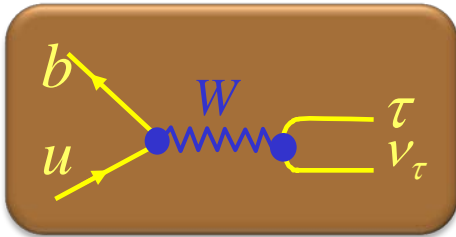


Belle II

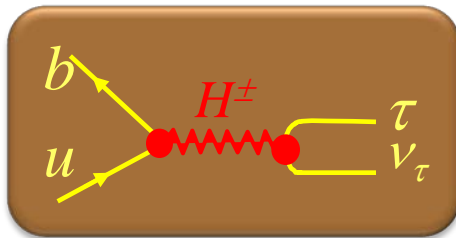


Primer: lov na nabit Higgsov delec v razpadu $B^- \rightarrow \tau^- \nu_\tau$

Poleg nevtralnega Higgsovega delca, kot ga predvideva Standardni model, bi lahko (v okviru supersimetričnih teorij) obstajal tudi nabit Higgsov delec.



Redki razpad $B^- \rightarrow \tau^- \nu_\tau$ poteka v Standardnem modelu 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 verjetnost za tak razpad in jo primerjamo s predvidevanjem Standardnega modela (kjer nabitega Higgsa ni):

→ lastnosti nabitega Higgsa (recimo njegova masa)

Projekt Belle II

Namen:

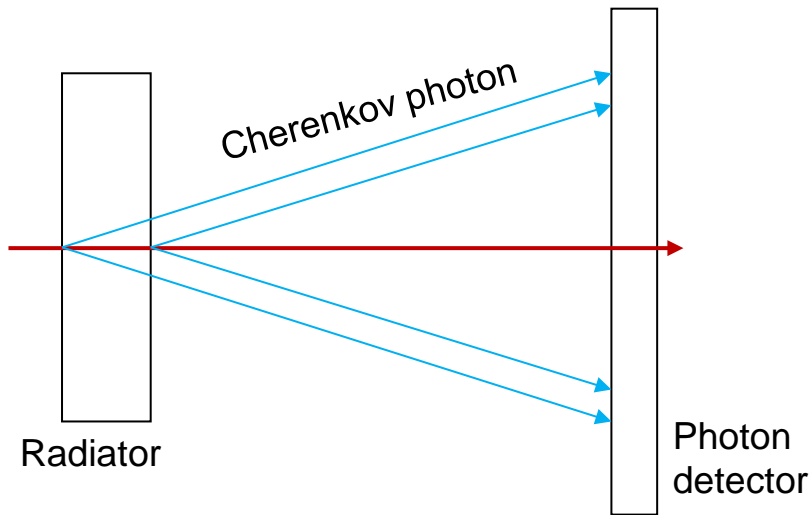
izboljšati domet meritev za 100x

– **boljši detektor in zmogljivejši pospeševalnik**

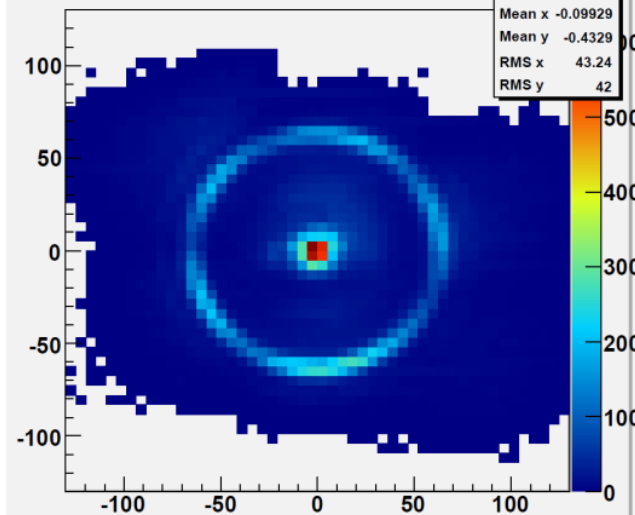
Nove meritve od leta 2015 dalje

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

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

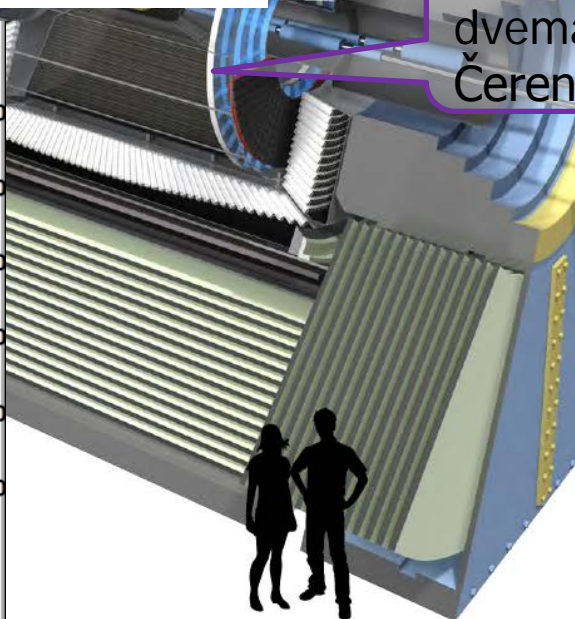


RICH Hit Map, w.r.t. track



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



Raziskovalna skupina Belle II

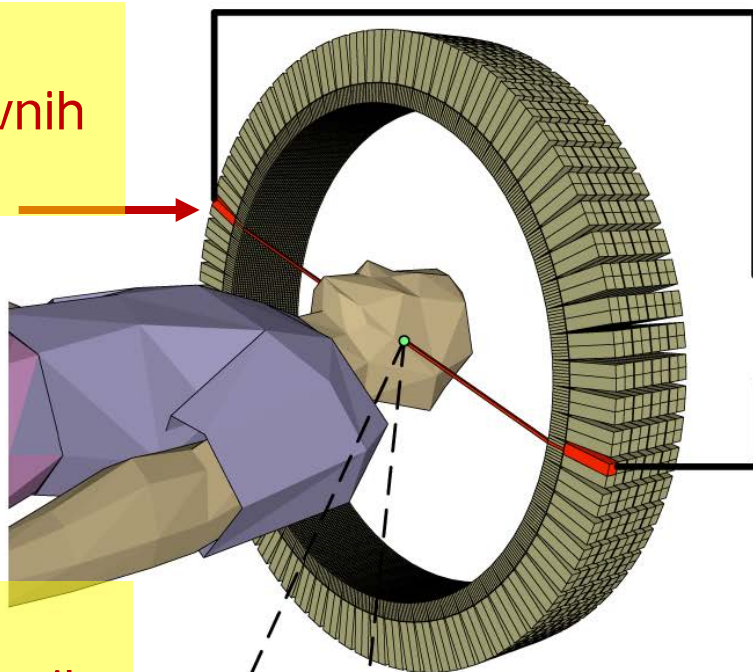


Močna raziskovalna skupina ~ 400 fizikov s celega sveta

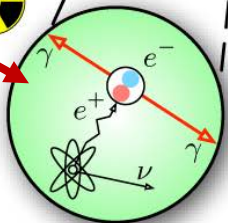
Spin-off osnovnih raziskav – primer 1

PET: pozitronska tomografija

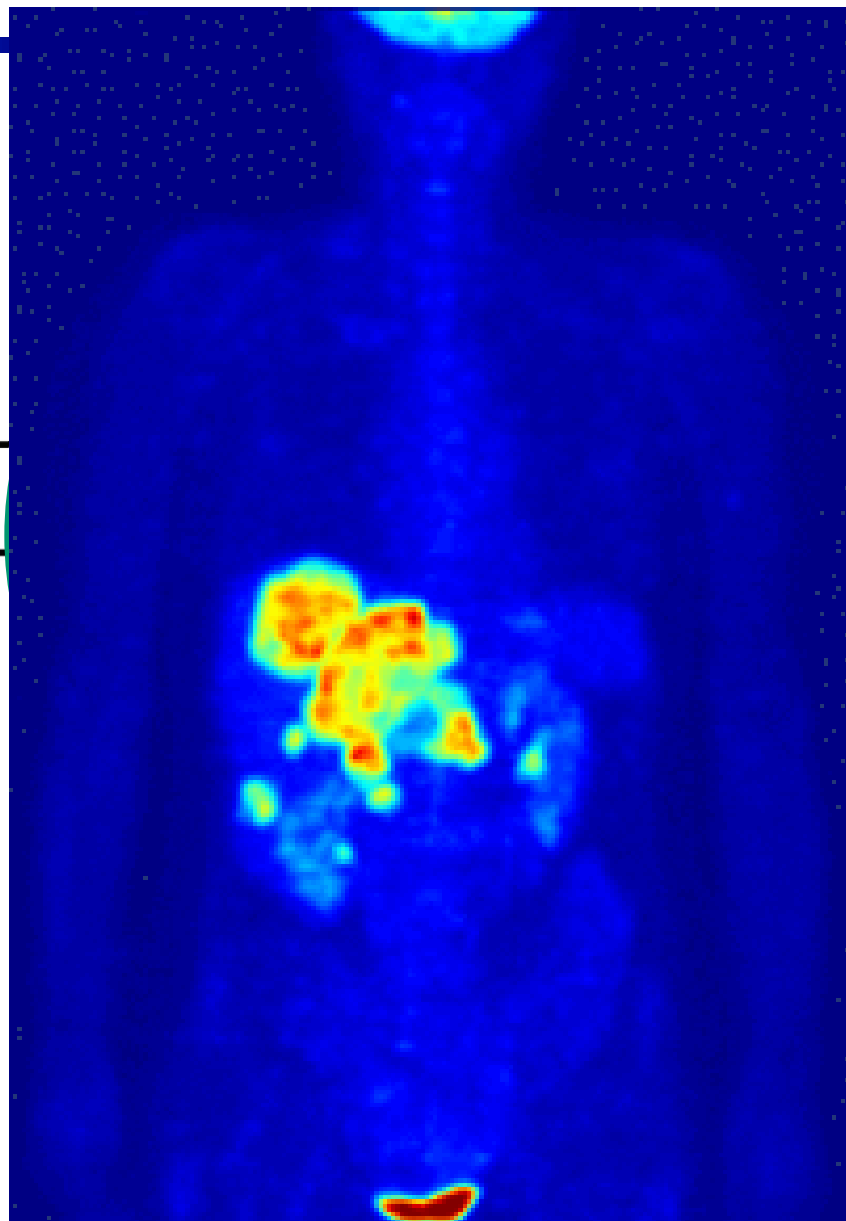
detektor iz fizike osnovnih delcev



zakonitosti fizike osnovnih delcev

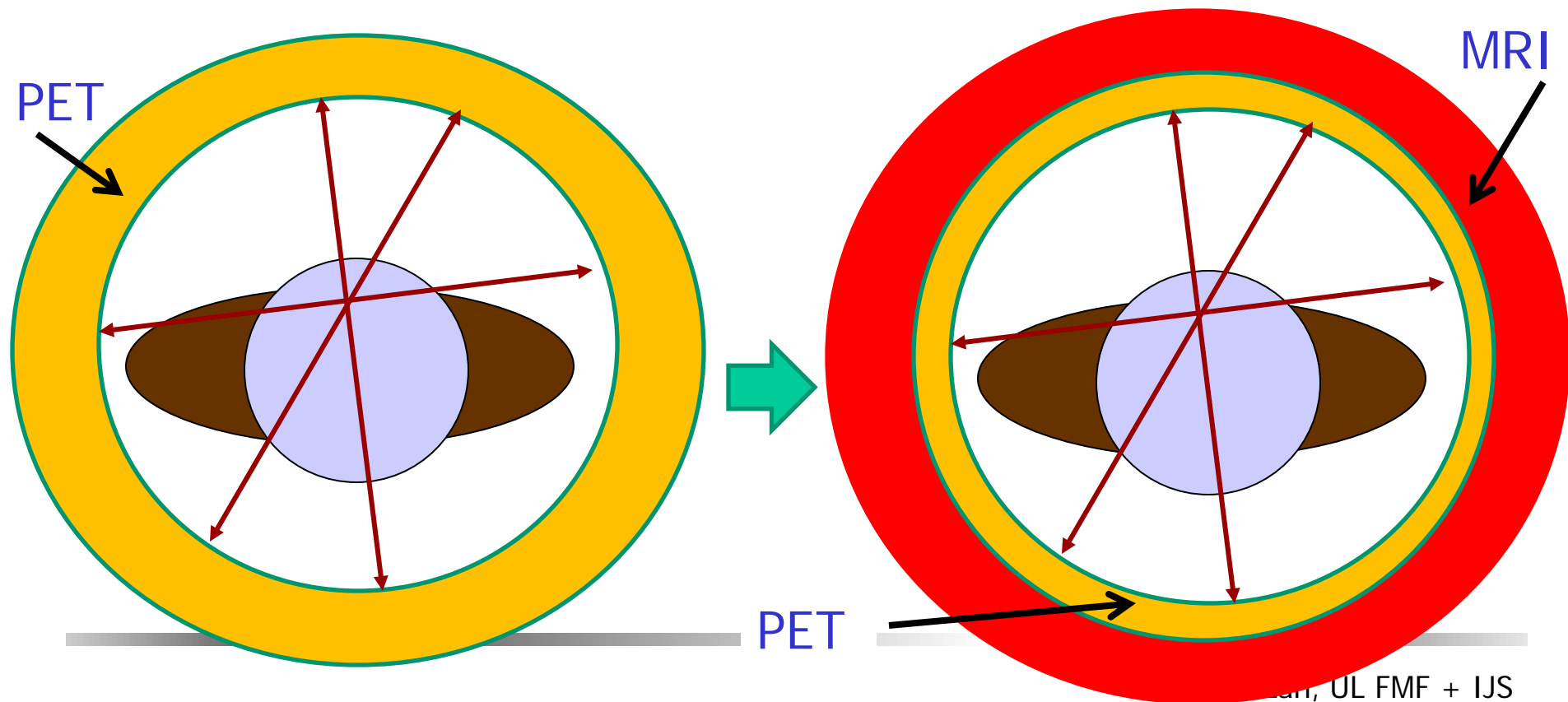


anihilacija e^+e^-



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.

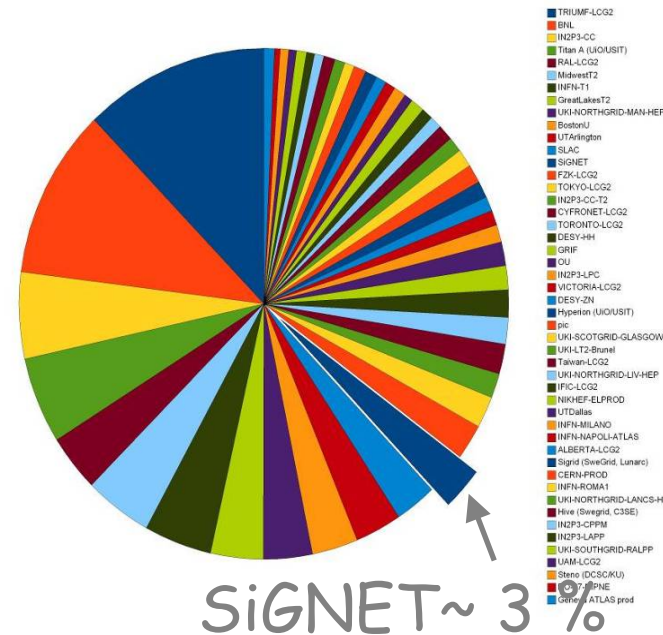
Grid kot naslednja stopnja razvoja interneta: distribuirane računalniške kapacitete (‘računalnik iz vtičnice’)

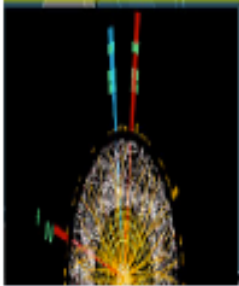
LHC je prvi veliki uporabnik Grida, razvoj in preizkus tehnologije

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



ATLAS Simulation Production
February 2007 - February 2008

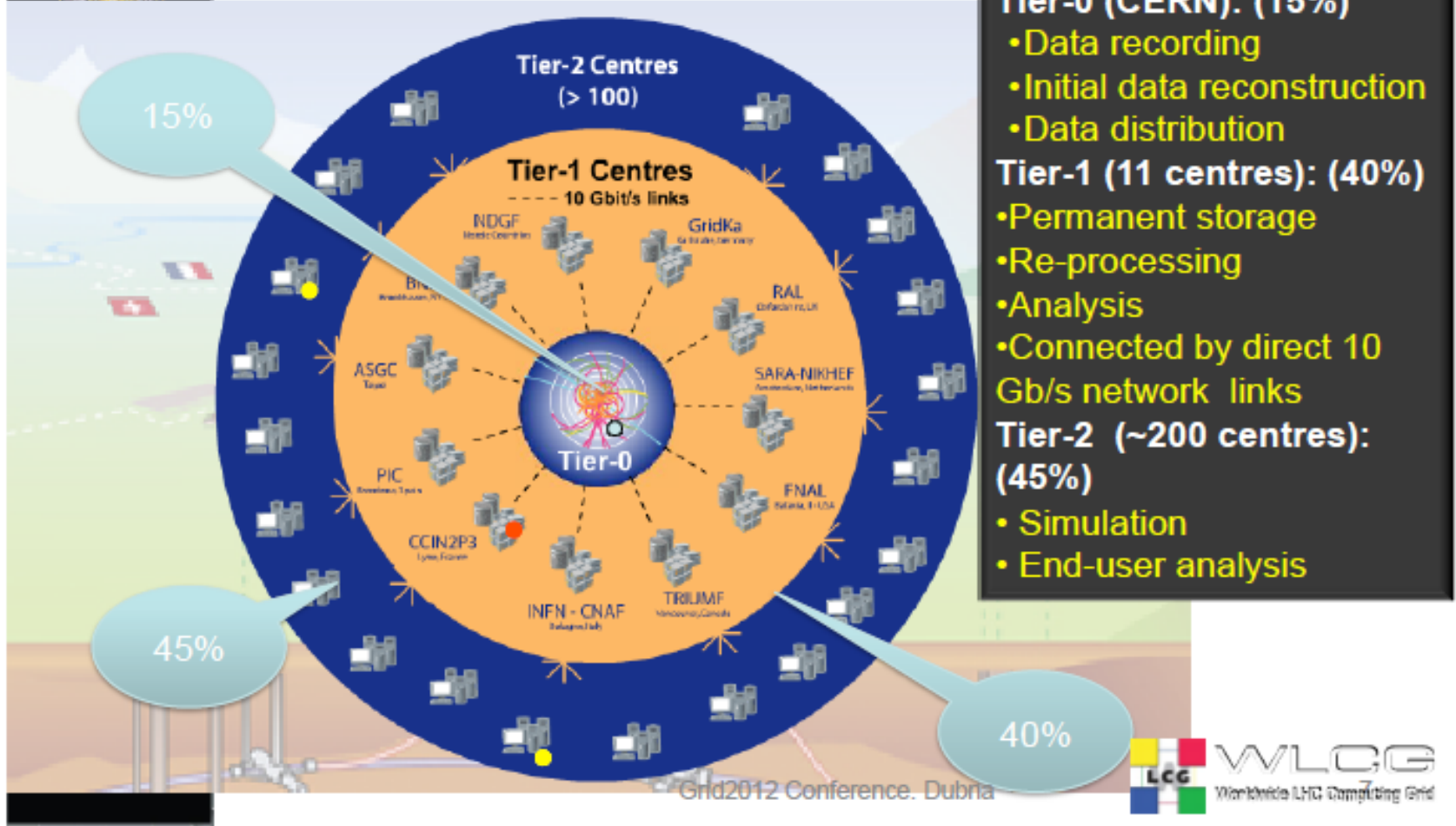




WLCG



Open Science Grid



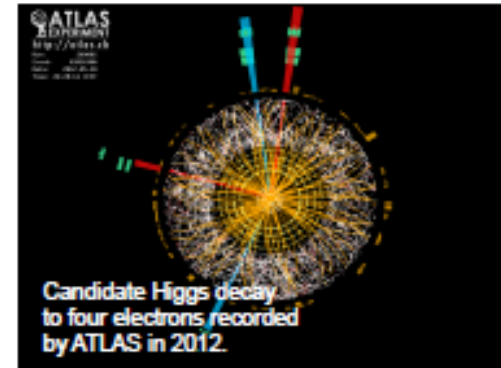
Grid2012 Conference, Dubna



Fizike osnovnih delcev ne bi bilo brez zmogljivih računalnikov...

Primer ATLAS:

- trki vsakih 50ns → 20MHz
- vsak trk: 1500 delcev, 2 MB podatkov



Velik izziv za detektorje in za **zbiranje, analizo in shranjevanje** podatkov.

Brez Grida niti slučajno še ne bi vedeli, da so odkrili Higgsov bozon...

Nov izziv: kombiniranje računanja na **Gridu** in računanja v **oblaku (cloud)**

Zaključek

Fizika je živahna veda o veda svetu okoli nas, sega od največjih do najmanjših razdalj, in je ob tem trdno zasidrana v vsakdanjem svetu.

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

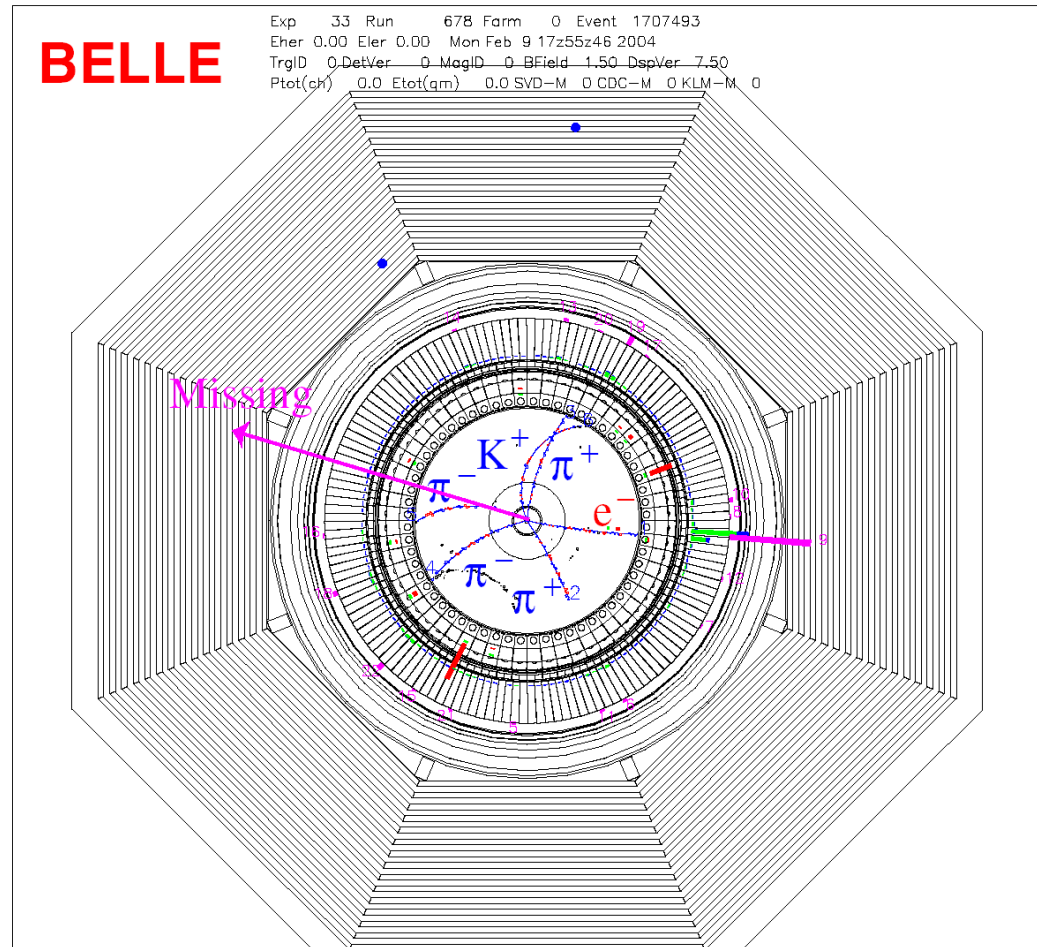
Slovenski fiziki smo v prvih vrstah iskanja odgovorov na nova vprašanja, ki se postavljajo v fiziki in sorodnih interdisciplinarnih področjih.

Posredne rezultate svojih raziskav poskušamo uporabiti pri razvoju novih materialov, napredku v medicini in varovanju okolja.

Dodatne prosojnice

Primer razpada $B^- \rightarrow \tau^- \nu_\tau$

$$B^+ \rightarrow D^0 \pi^+ \\ (\rightarrow K \pi^- \pi^+ \pi^-) \\ B^- \rightarrow \tau (\rightarrow e \nu \bar{\nu}) \nu$$

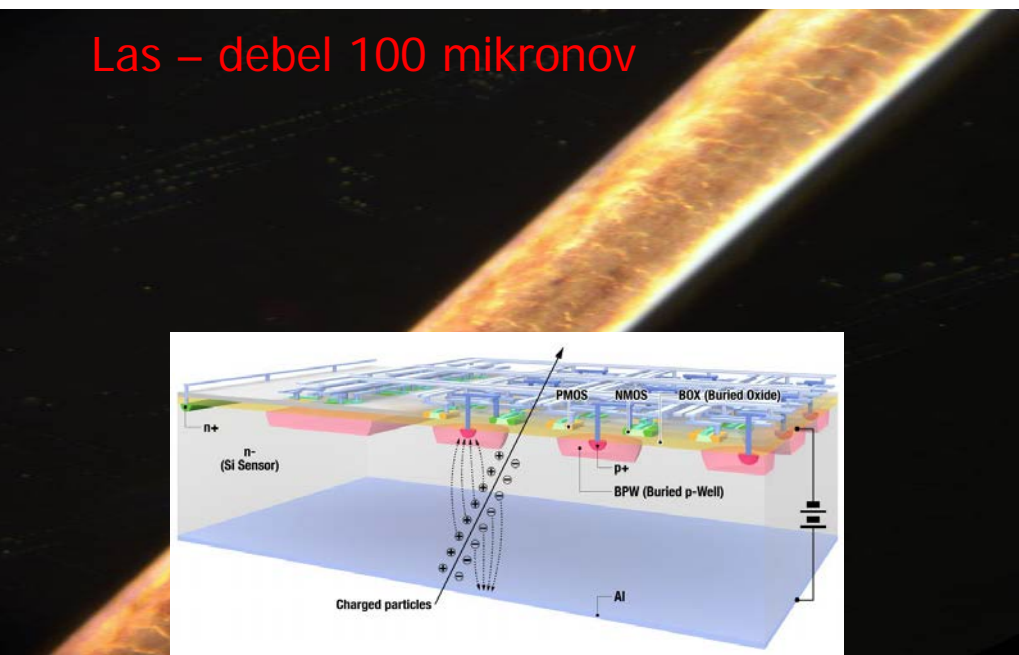


Če izmerimo verjetnosti za tak razpad in jo primerjamo s predvidevanjem Standardnega modela (kjer nabitega Higgisa ni):

→ Lastnosti nabitega Higgisa (recimo njegova masa)

Določiti **koordinate** točke, kateri je potekla reakcija s **fantastično natančnostjo**
- zelo občutljive komponente

Las – debel 100 mikronov



Berilijeva cev

Detektor verteksov
2 plasti DEPFET + 4 plasti DSSD

