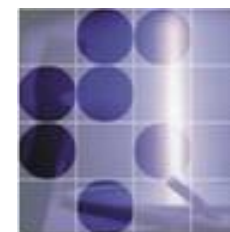
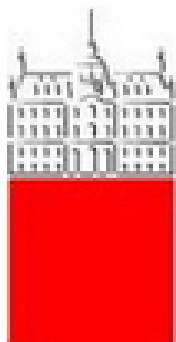


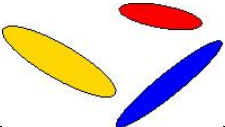
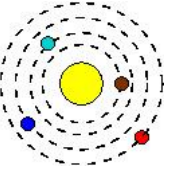
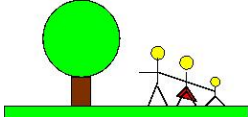
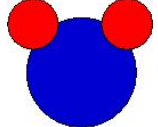
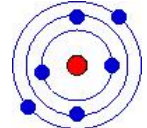
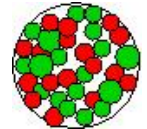
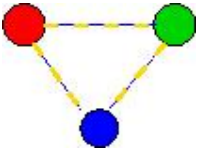

Lov na Higgsove delce

Peter Križan

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



Gimnazija Vič, 11.1.2012

DELCI	in	SILE	po	nadstropjih	
Velikost(m)	Predmet		Sila	Smisel	Strokovnjak
10^{21}	kopice galaksij		gravitacija		↑ filozof
10^{14}	galaksije zvezde planeti				kozolog, astrofizik, astronom
1	živa bitja		instinkti	oхранitev vrste	biolog, sociolog
10^{-8}	molekule		elektro- magnetna	pestrost svetlobe, življenja energija	kemik, fizik
10^{-10}	atomi				atomski fizik
10^{-14}	jedra		jedrsko	kemijski elementi, sonce, reaktor	jedrski fizik
10^{-15}	nukleoni		močna, šibka	moja plača	fizik osnovnih delcev
10^{-18}	kvarki		?	?	

Zveza med fiziko osnovnih delcev in zgodnjim razvojem vesolja

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

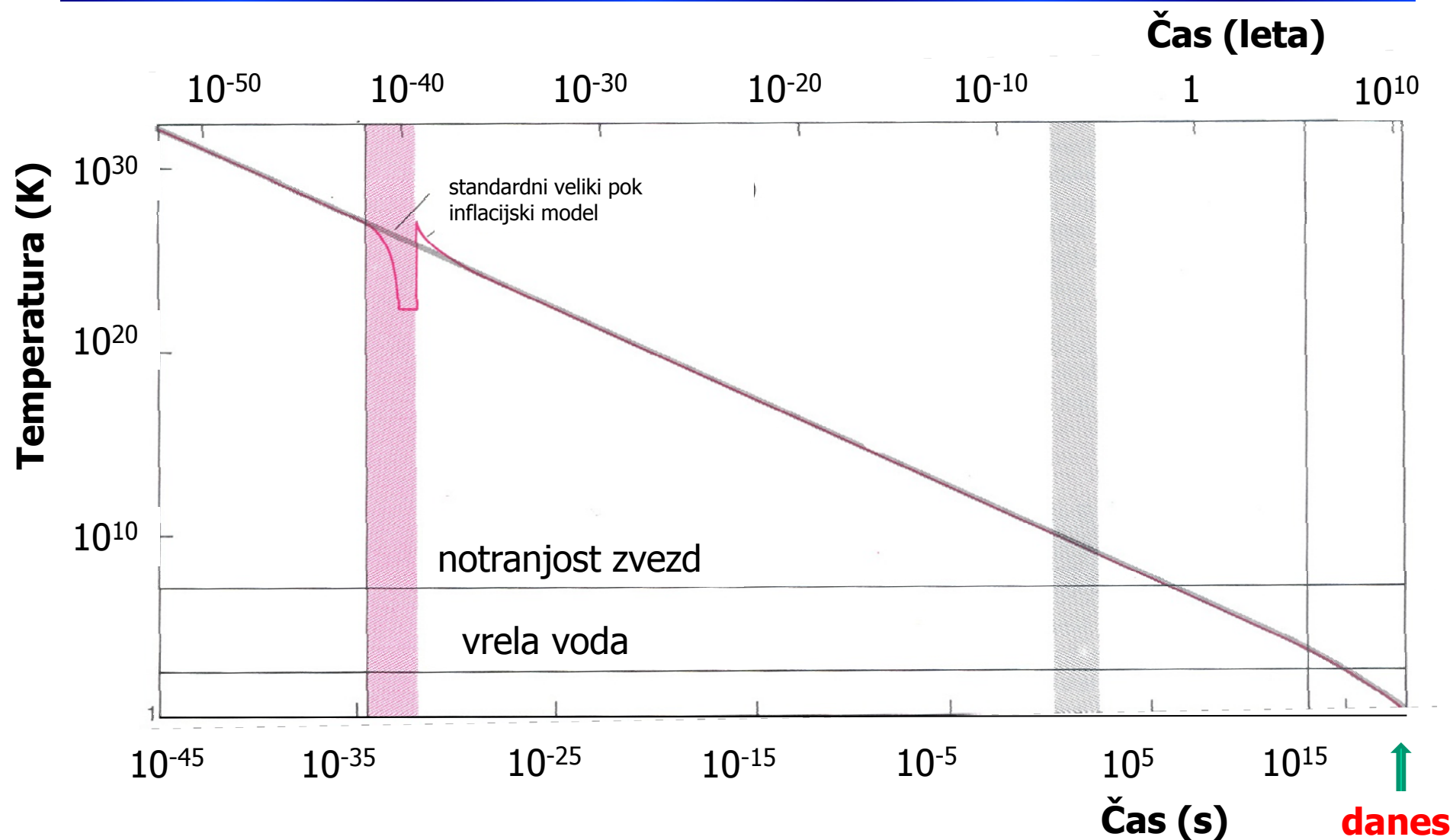


Plin pri visoki temperaturi: **velika hitrost** molekul

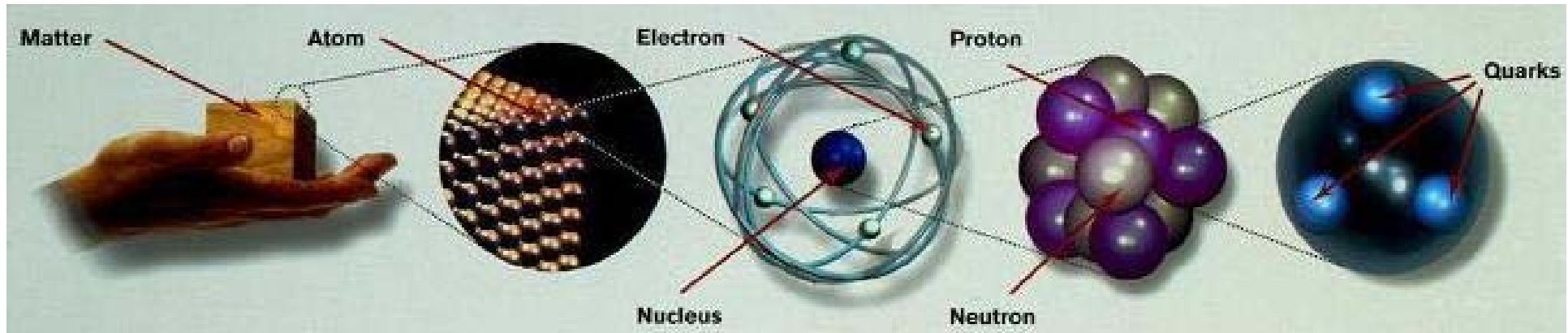
Trki med delci v zgodnjem vesolju:
enaki trkom delcev v **pospeševalnikih**



Temperatura vesolja



DELCI po nadstropjih



snov

atomi

atomska jedra,

protoni,

nevtroni

kvarki

elektroni

Standardni model 1

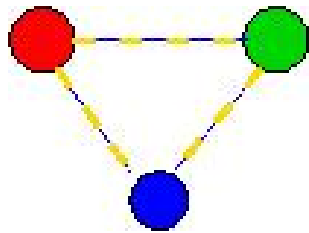
Osnovni delci	1. družina	2. družina	3. družina
kvarki	u,d	s,c	b,t
leptoni	e^- , ν_e	μ^- , ν_μ	τ^- , ν_τ

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

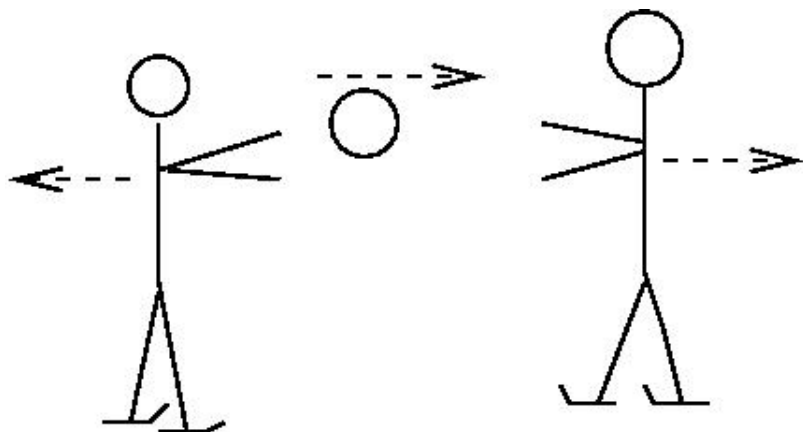
V naravi ni prostih kvarkov – nastopajo samo v povezavi z drugimi kvarki.



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

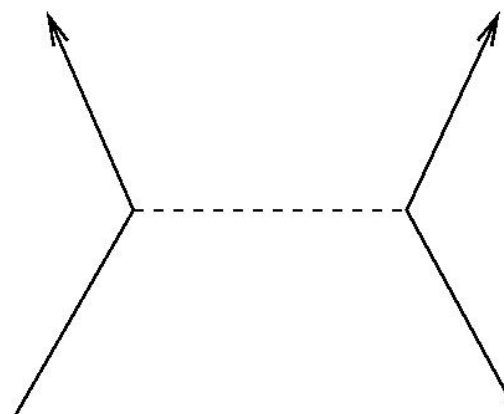
Mezoni	masa
π^+ : kvark u + antikvark \bar{d}	$1/7 m_p$
K_S : kvark d + antikvark \bar{s}	$1/2 m_p$
J/ψ : kvark c + antikvark \bar{c}	$3 m_p$
B^0 : kvark d + antikvark \bar{b}	$5.5 m_p$

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

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 →

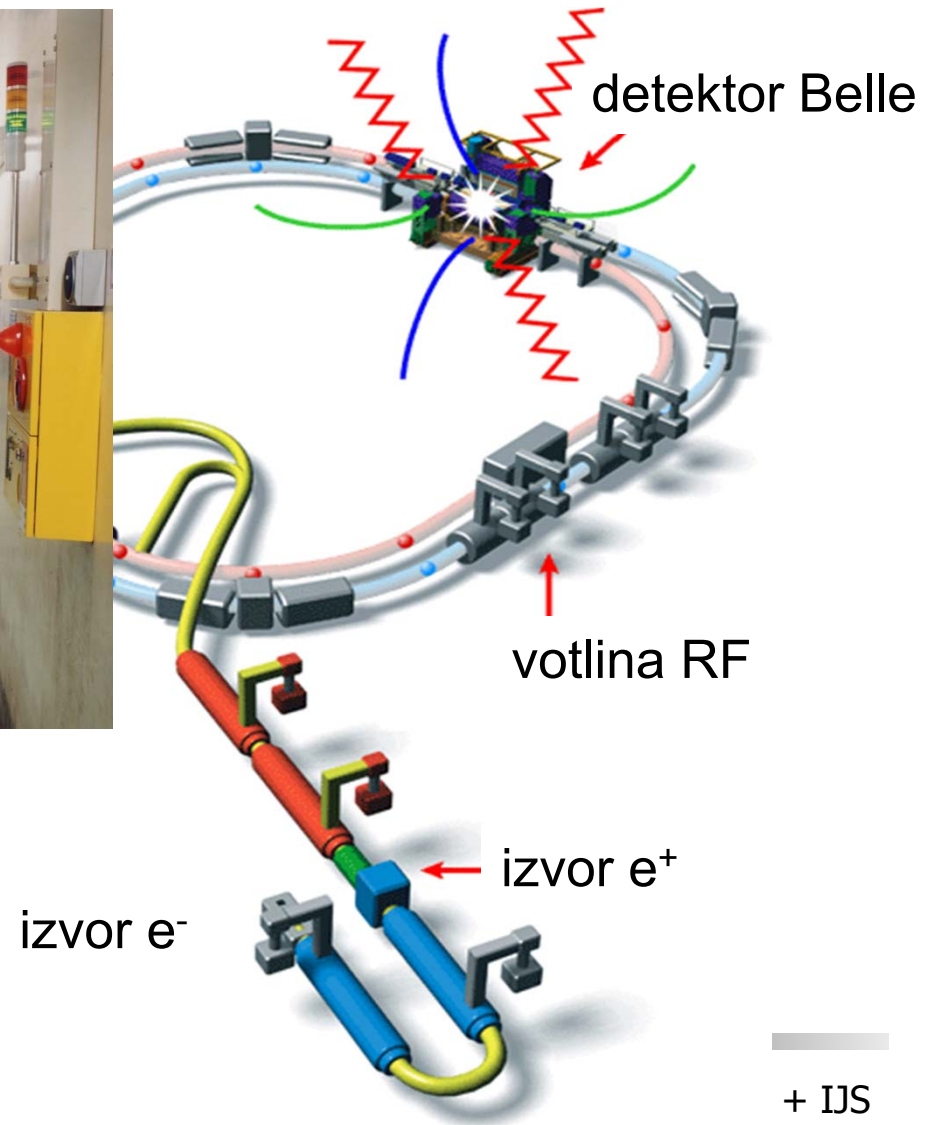
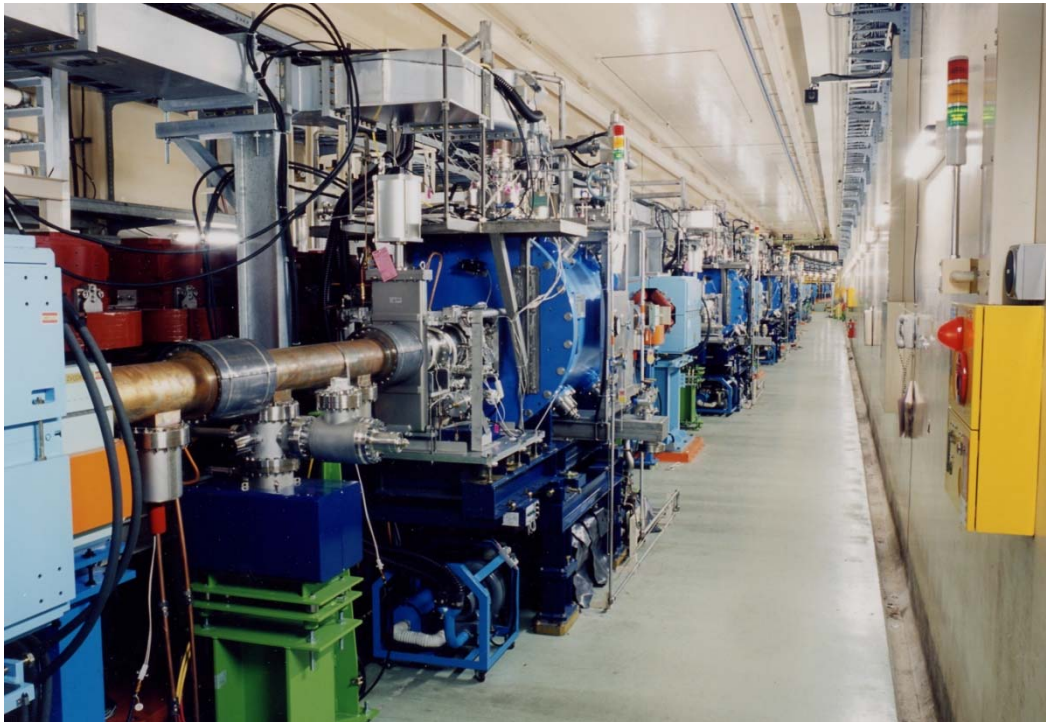
v dolgem razvoju vesolja je obstalo malo delcev in nič anti-delcev

Eksperiment Belle:

Kako se delci razlikujejo od anti-delcev?

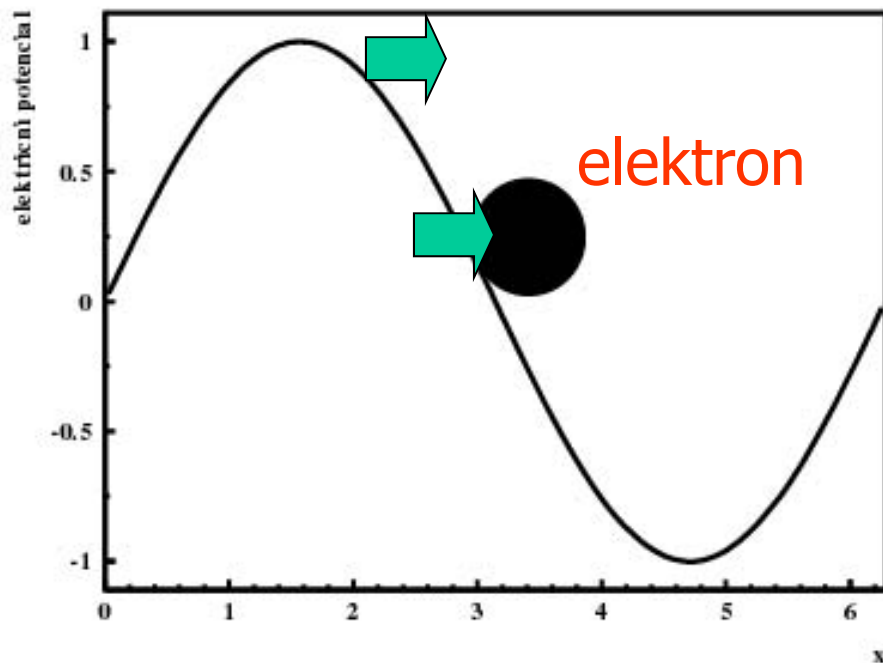
Trkalnik KEK-B

pospešuje elektrone in pozitrone do trka



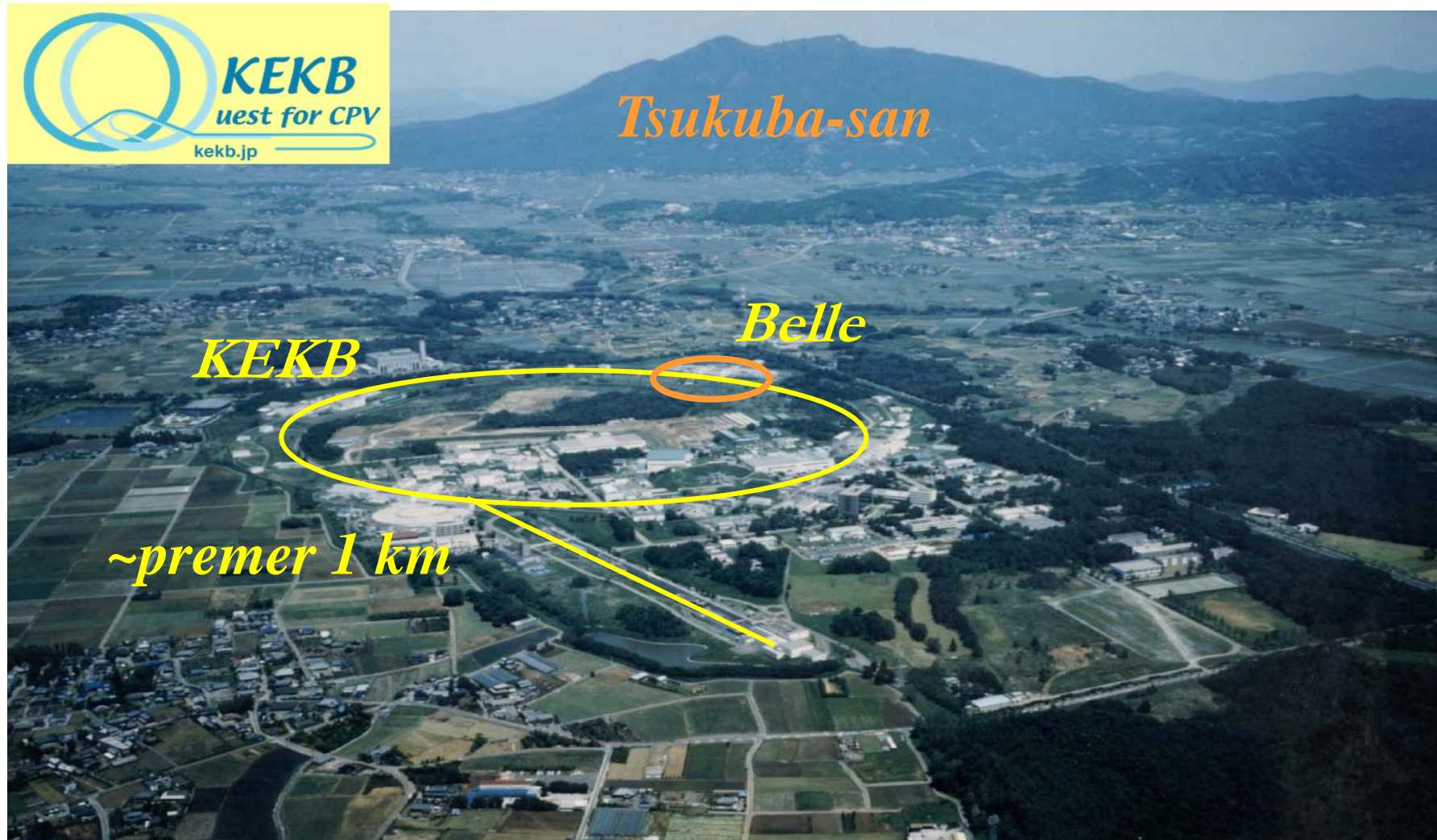
Kako pospešujemo nabite delce?

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



... podobno deskanju na valovih

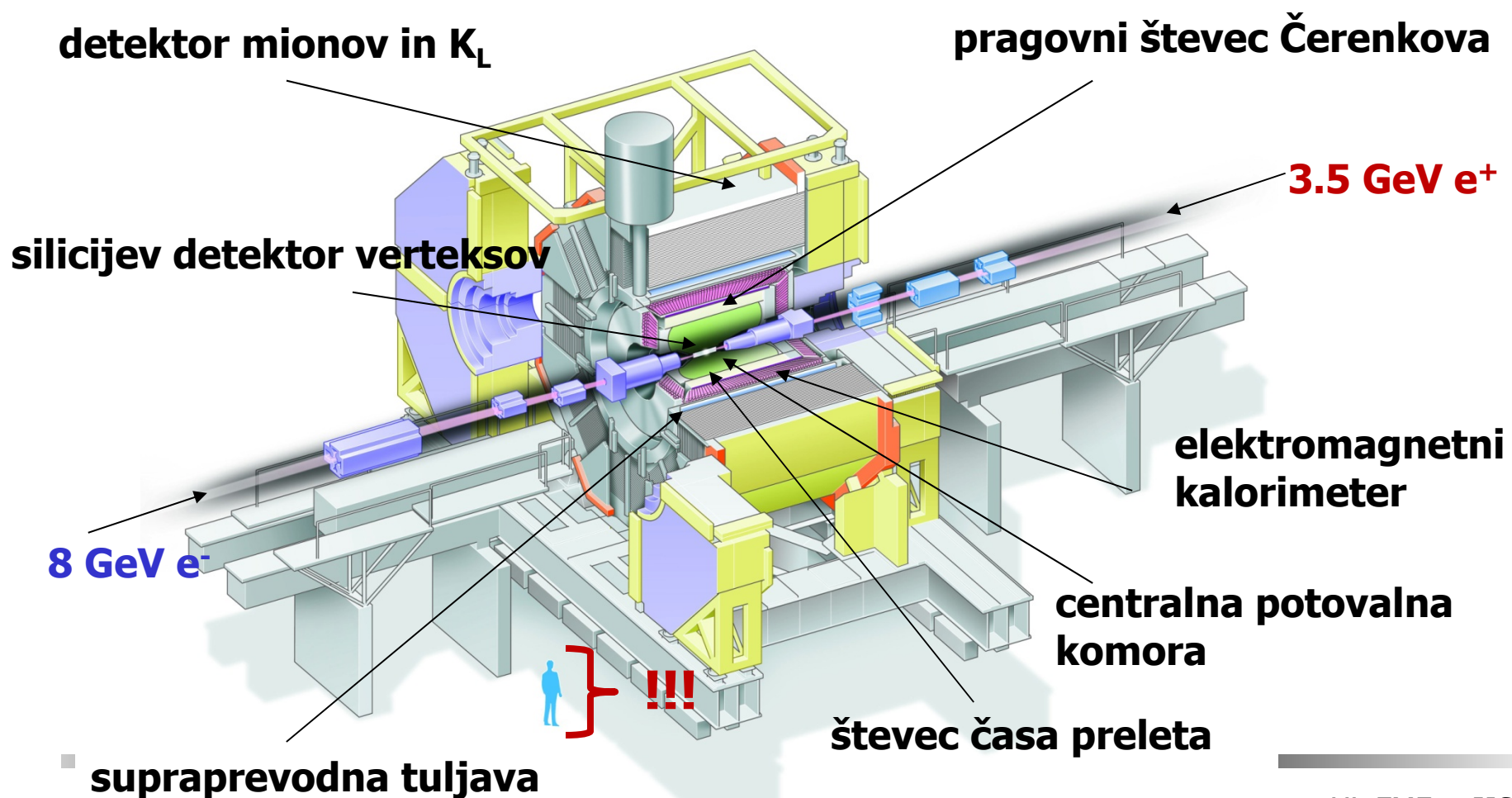
Trkalnik KEK-B in detektor Belle v Tsukubi



Spektrometer Belle:

originalne tehnične rešitve in vrhunska tehnologija

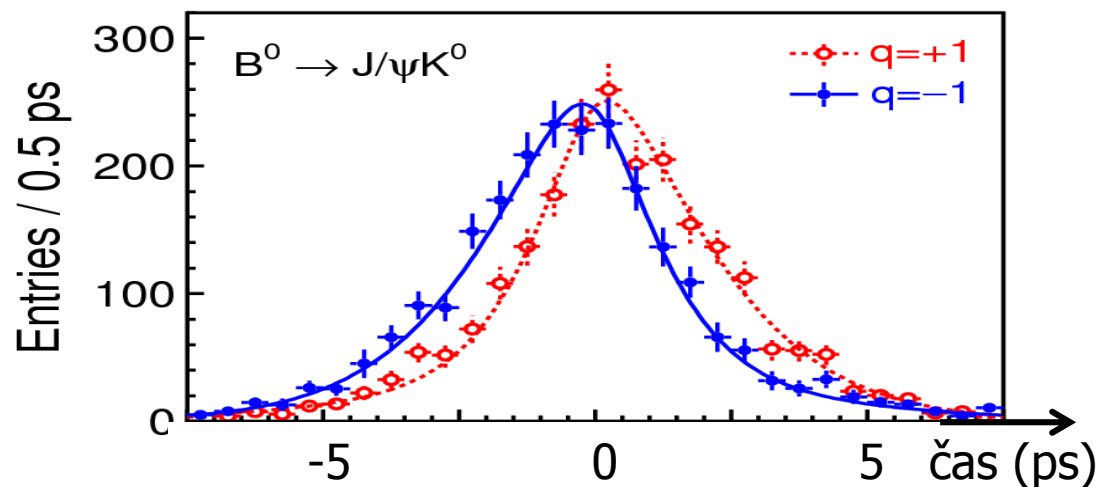
pospravljeno v $\sim 100 \text{ m}^3$ raziskovalne aparature



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

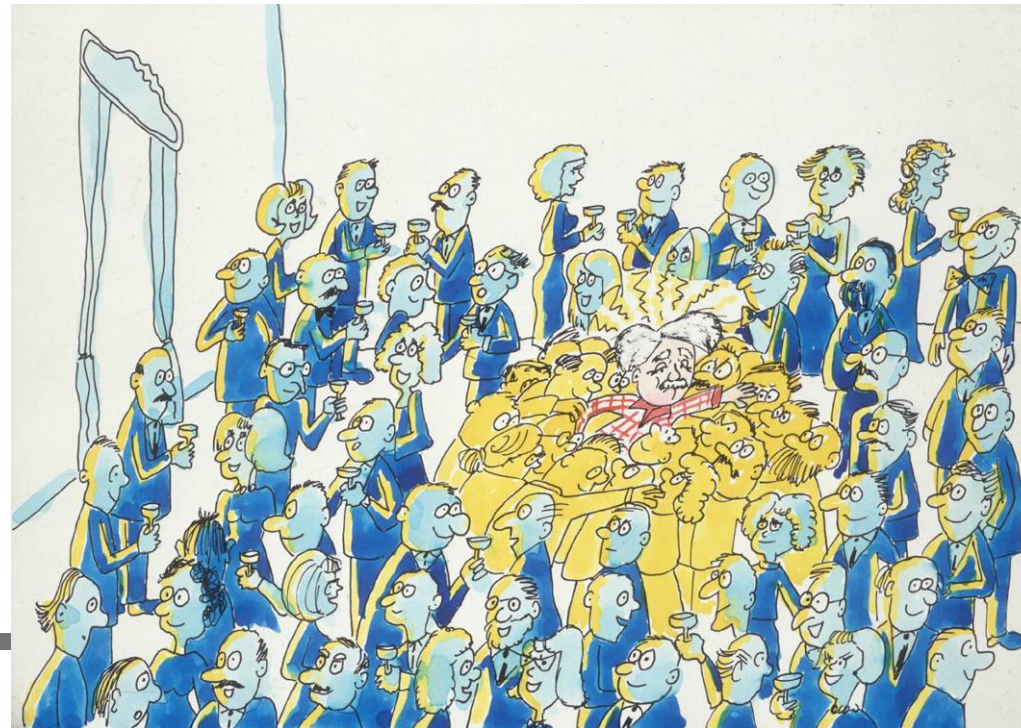
Elektromagnetno polje → nabit delec (e^-) občuti silo
velikost sile odvisna od velikosti električnega naboja

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

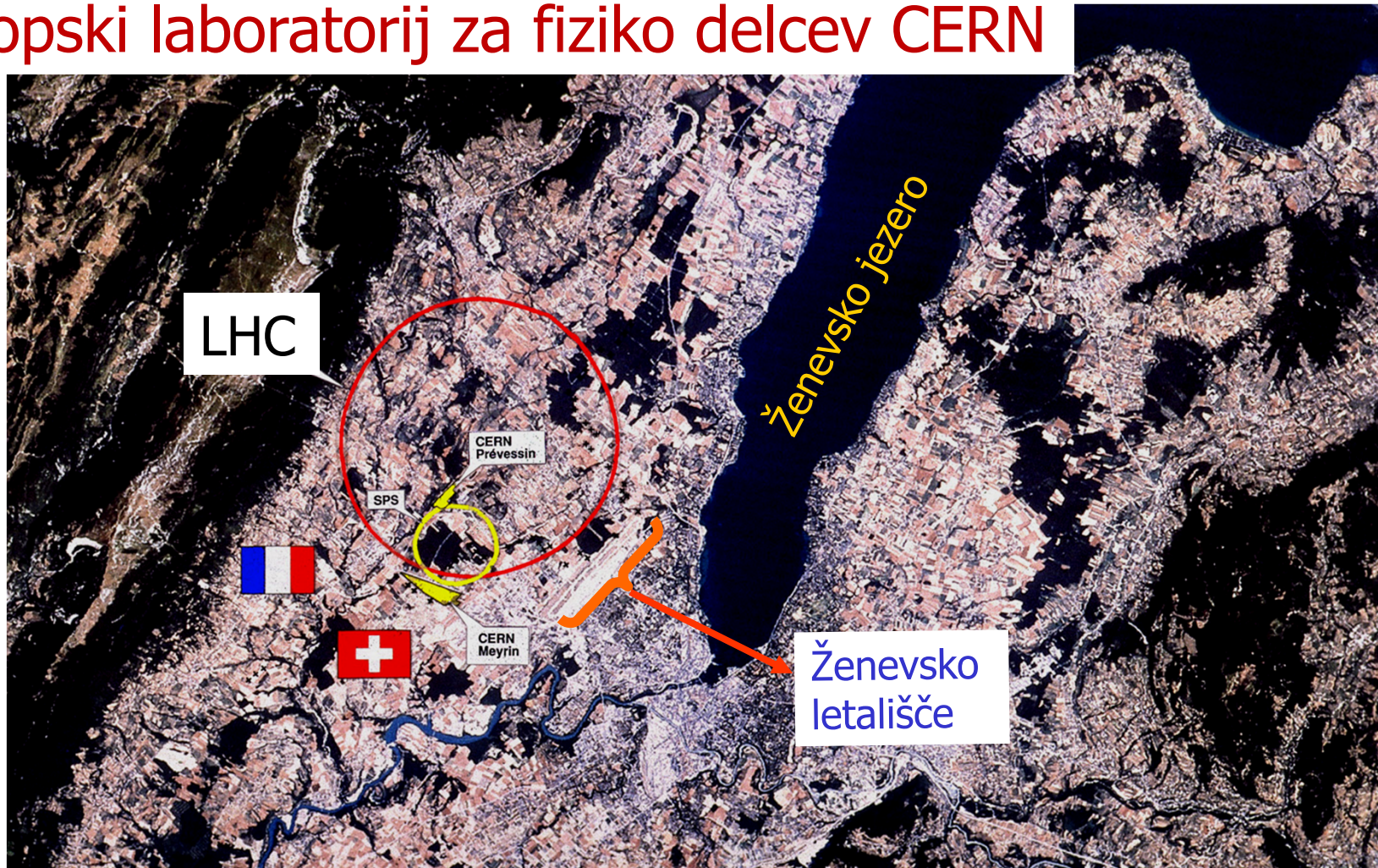
Elektromagnetno polje → nabit delec (e^-) občuti silo
velikost sile odvisna od velikosti električnega naboja

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

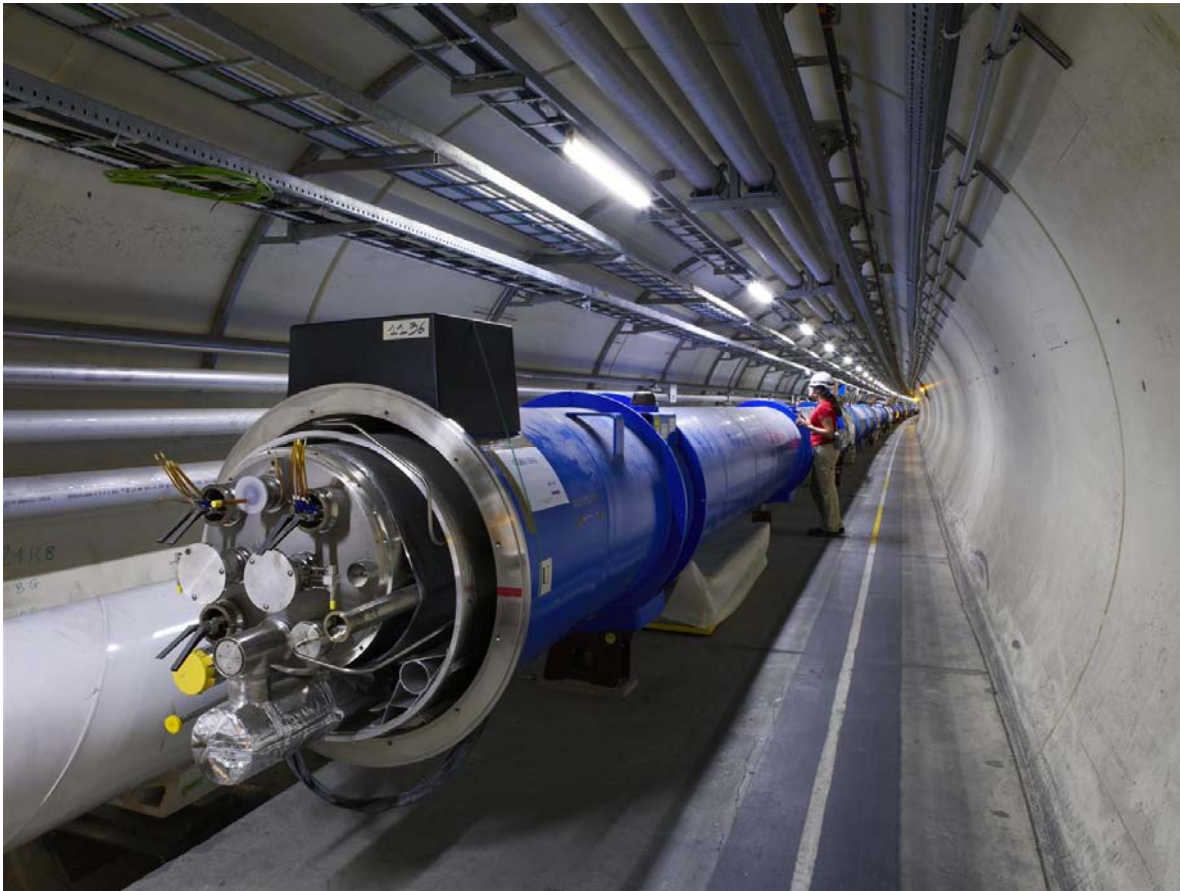
elektromagnetno polje ima svoje delce – fotone
Higgsovo polje ima svoje delce – **Higgsove bozone**

Na lovu za Higgsovimi delcem

Evropski laboratorij za fiziko delcev CERN



LHC = Large Hadron Collider




del 27 km dolgega
pospeševalnika

9. januar 2012

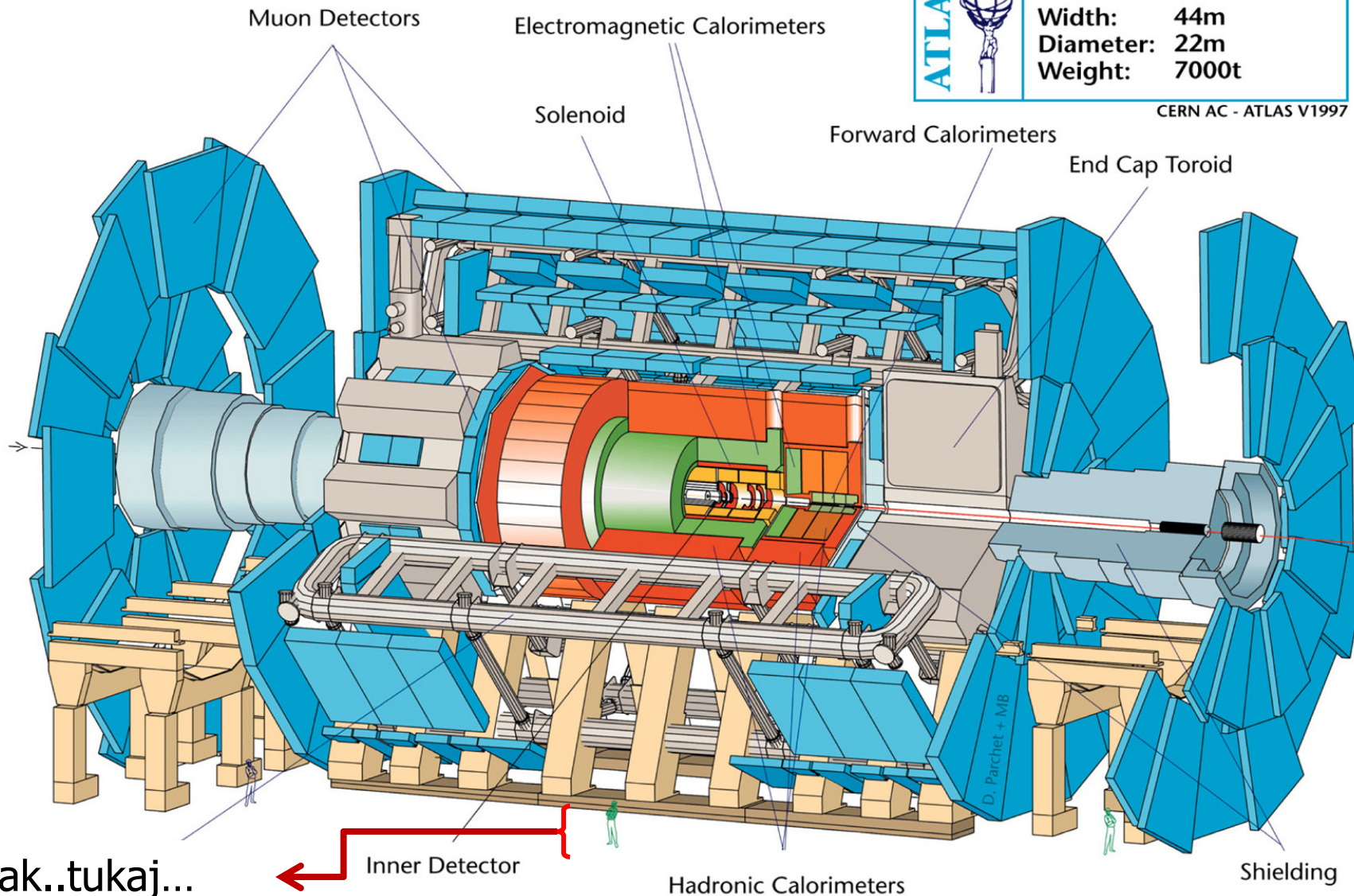


Detektor ATLAS ob LHC



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

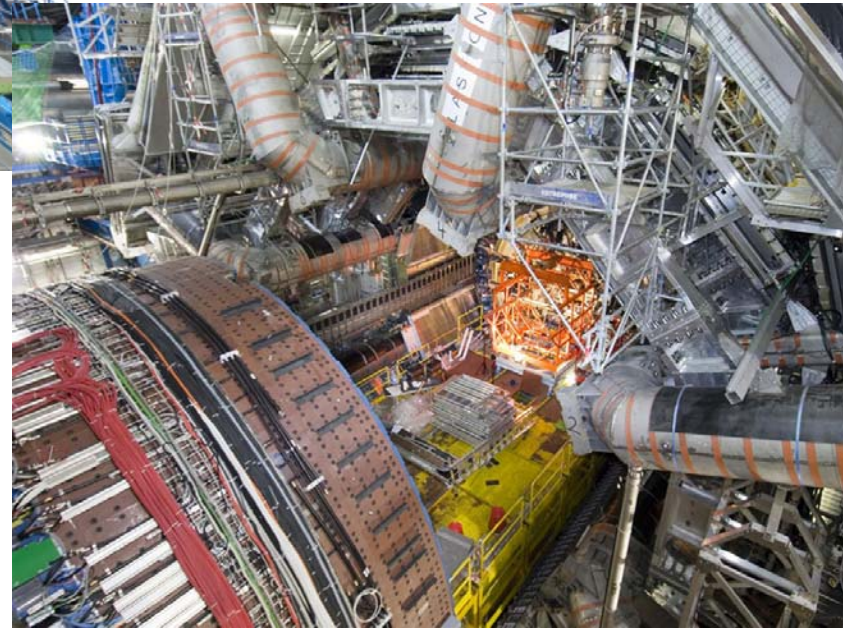
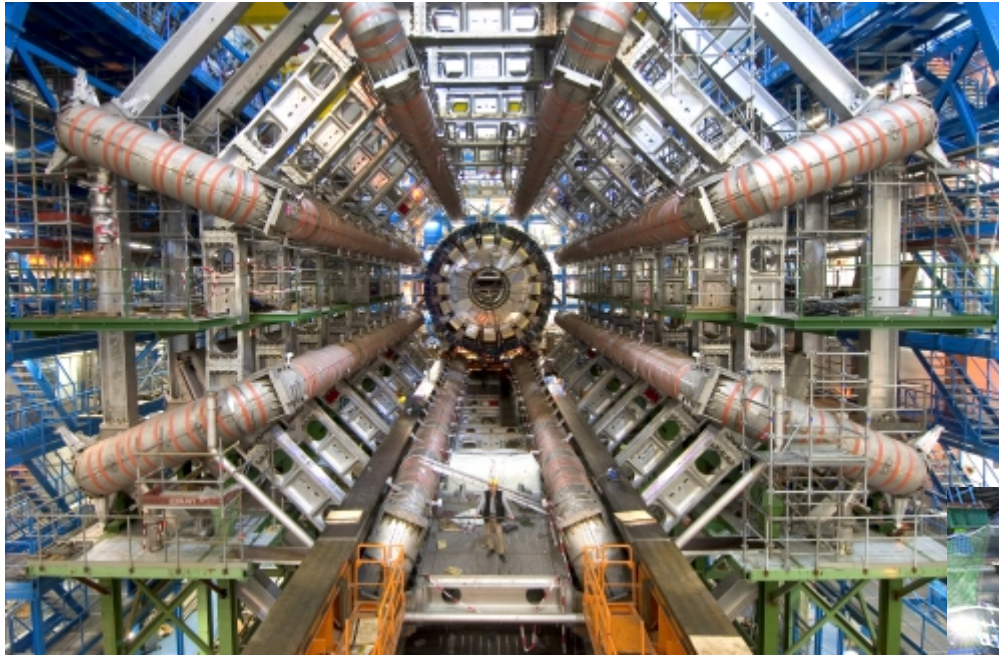
CERN AC - ATLAS V1997



možak..tukaj...

9. januar 2012

Peter Križan, UL FMF + IJS



detektor ATLAS med izgradnjo

9. januar 2012

Peter Križan, UL FMF + IJS

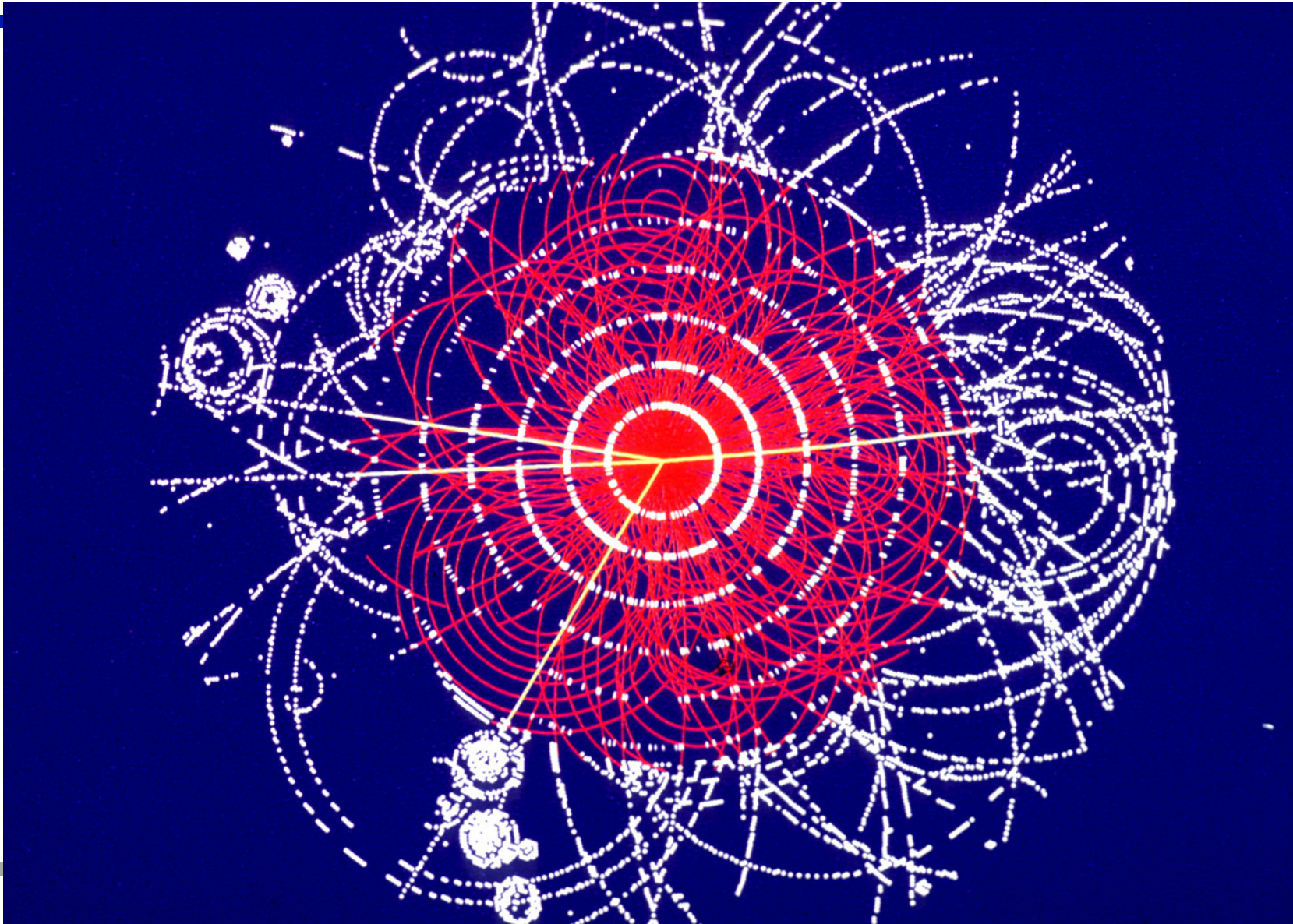


Kontrolna soba med meritvami

9. januar 2012

Peter Križan, UL FMF + IJS

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
- 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....

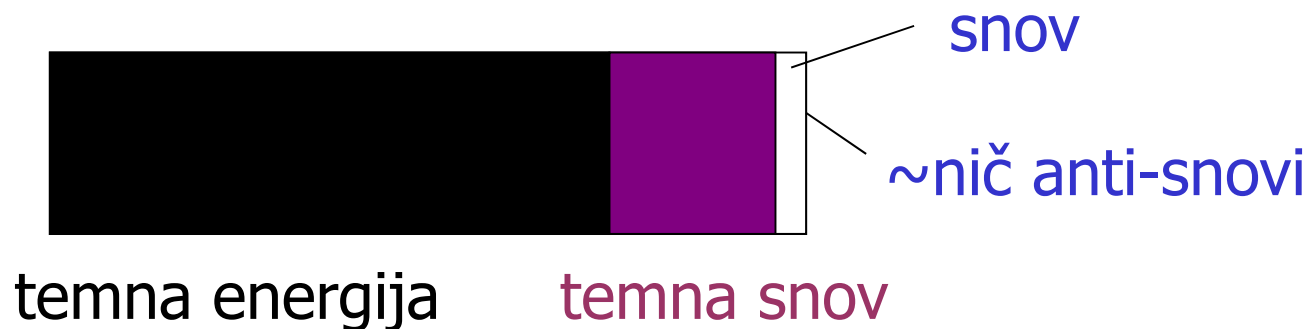
Ali je to to? Ali zdaj razumemo vesolje od začetka dalje?

Žal ne...

Izmerjena kršitev simetrije med delci in antidelci je za 10 redov velikosti 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 симметрия нарушена
по 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:

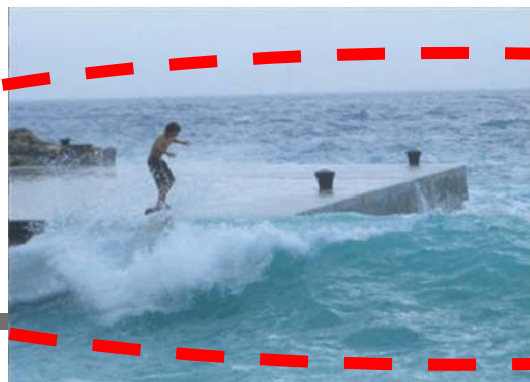
- **Neposredno iskanje novih delcev**
 - iskanje pri velikih energijah (LHC)
- **Iskanje odstopanj od pričakovanih značilnosti procesov**
 - izjemno natančne meritve pri nižjih energijah (Belle in Belle II).

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

Primerjava obeh pristopov

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

LHC



Belle II

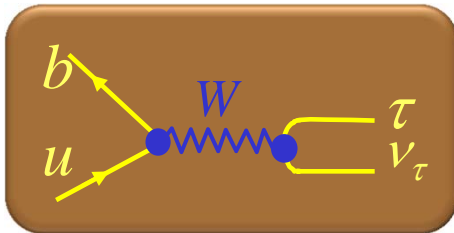


9. januar 2012

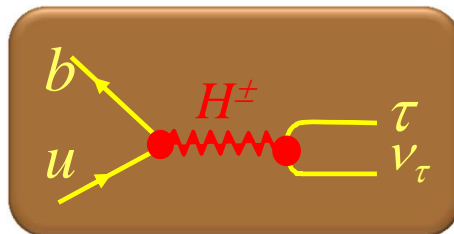
Peter Križan, UL FMF + IJS

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

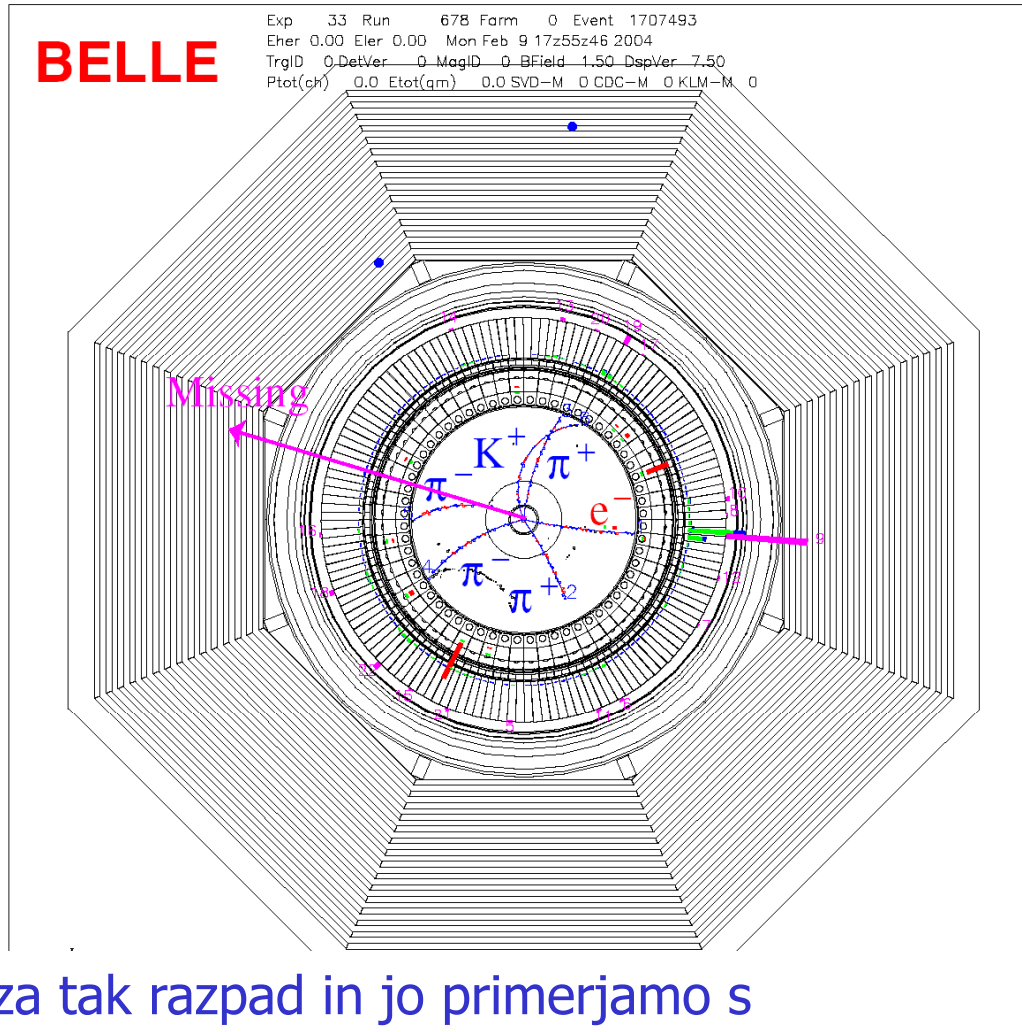


V nekaterih supersimetričnih teorijah bi lahko potekal tudi preko **nabitega Higgsovega delca**.

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

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)

Projekt Belle II

Namen:

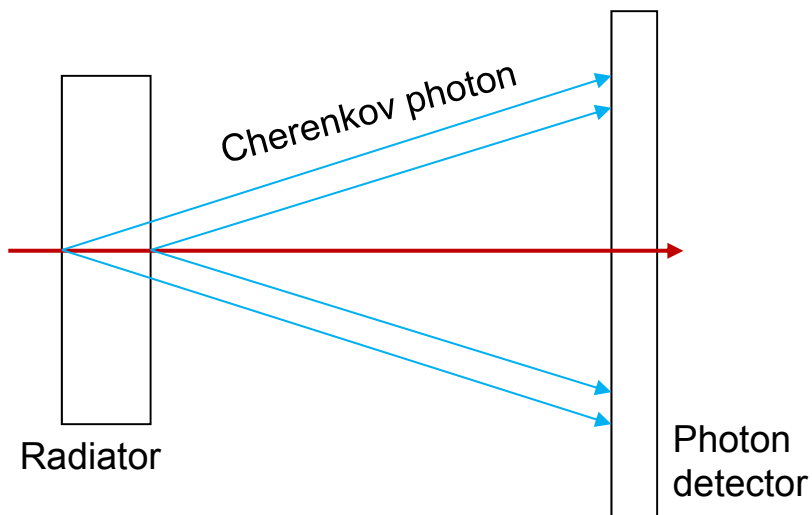
izboljšati domet meritev za 100x

– **boljši detektor** in **zmogljivejši pospeševalnik**

Nove meritve od leta 2015 dalje

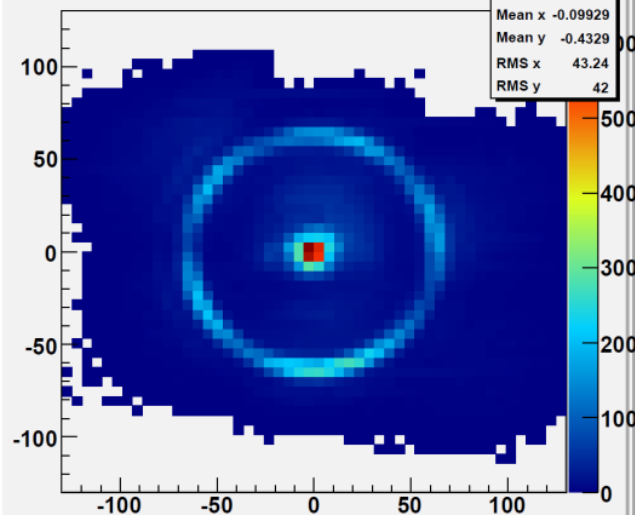
Slovenska raziskovalna skupina je med nosilci tega projekta, zasedamo nekaj ključnih pozicij

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

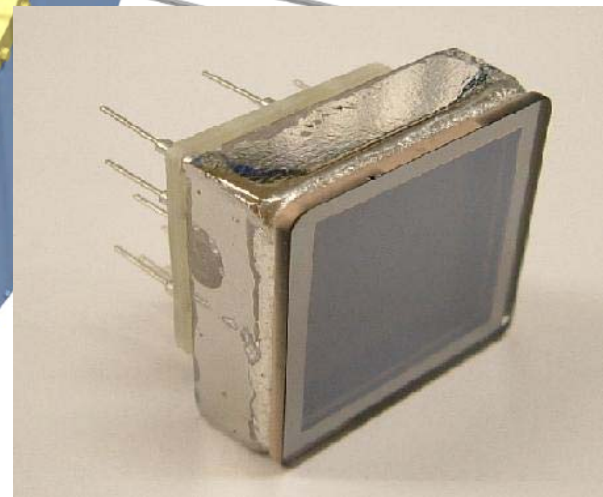
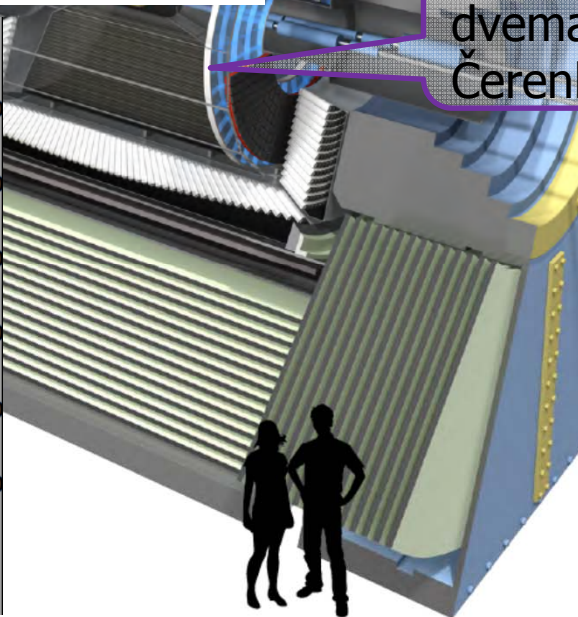


Identifikacija nabitih delcev z dvema detektorjema Čerenkovega sevanja

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



Raziskovalna skupina Belle II



Močna raziskovalna skupina ~400 fizikov s celega sveta

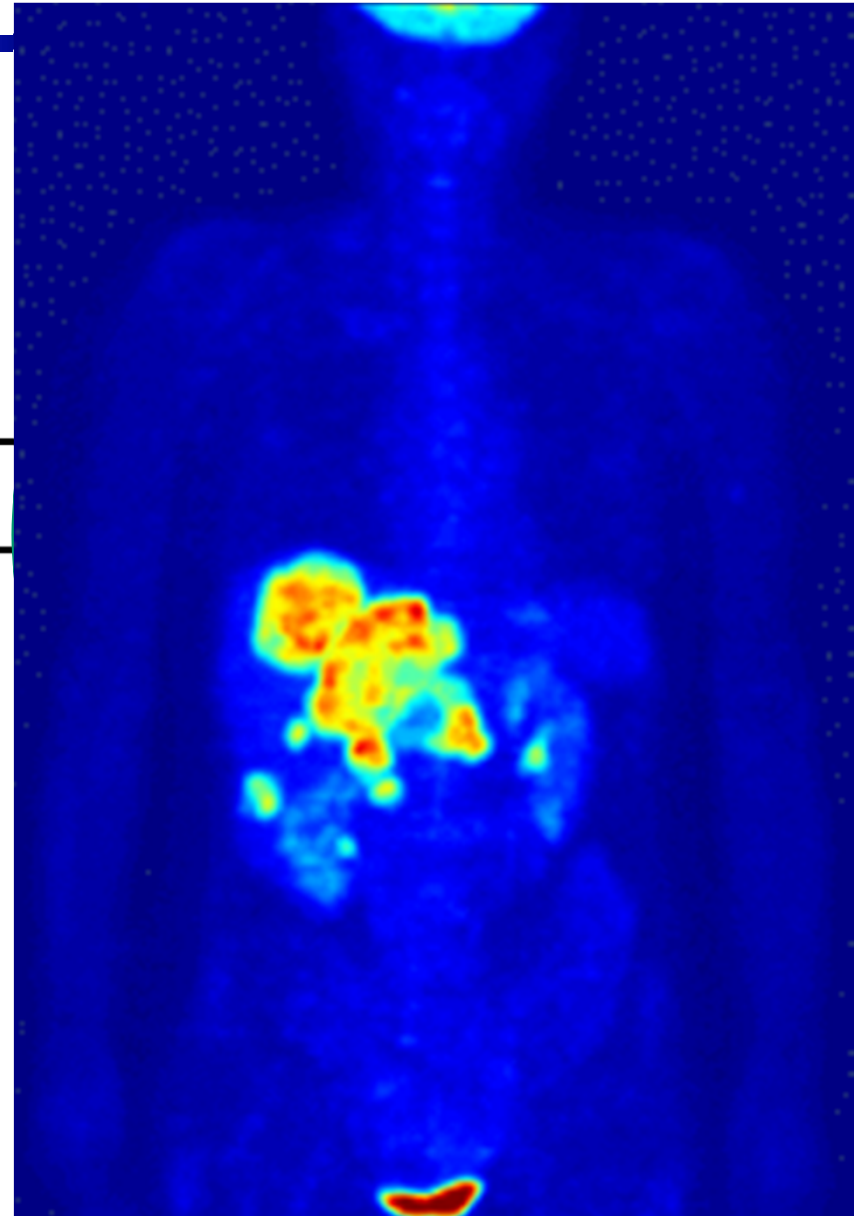
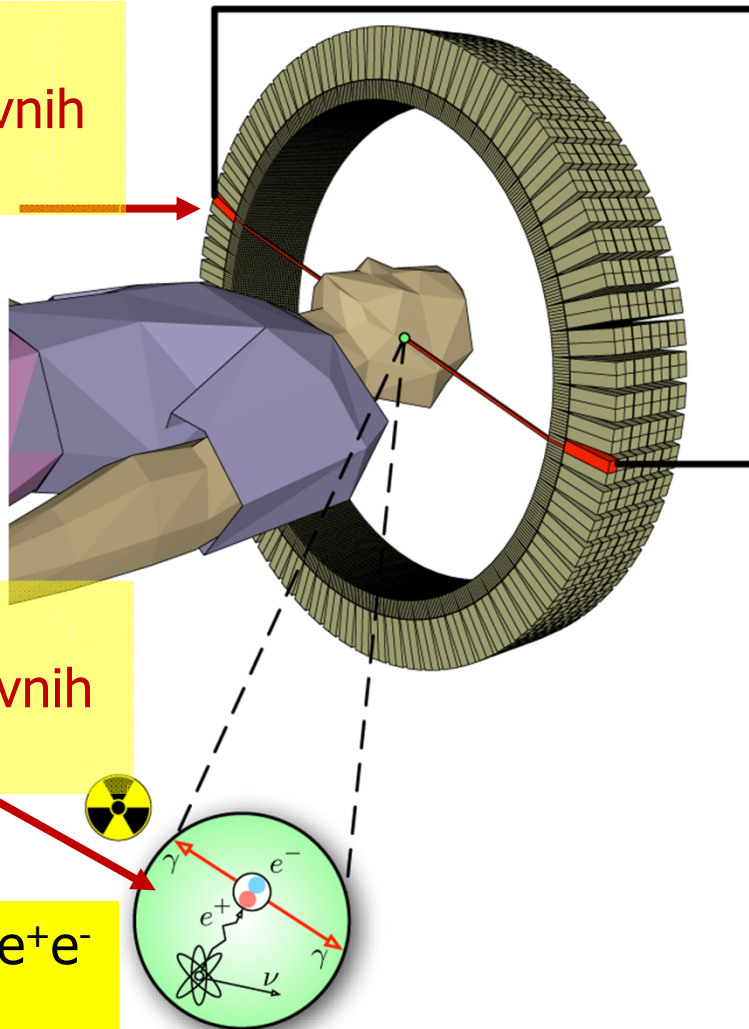
Spin-off osnovnih raziskav – primer 1

PET: pozitronska tomografija

detektor iz fizike osnovnih delcev

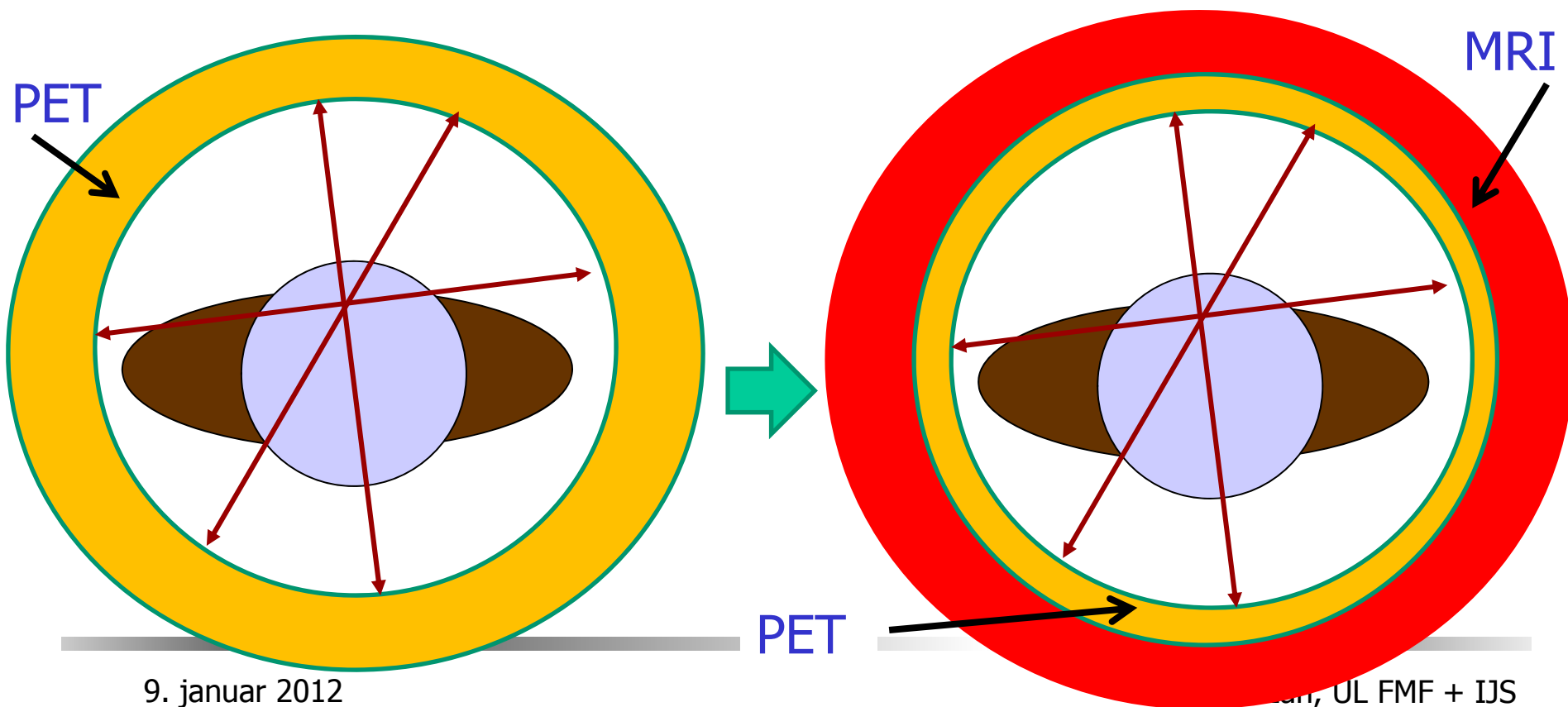
zakonitosti fizike osnovnih delcev

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

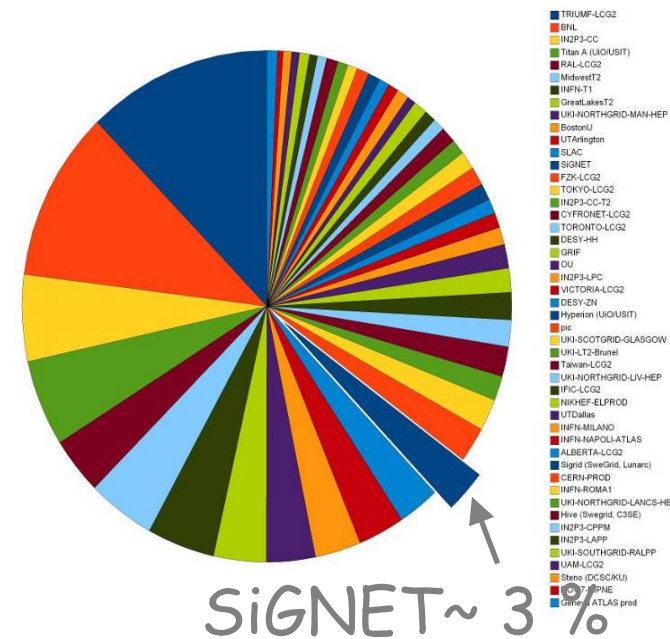
Na IJS deluje **SiGNET** (2000 procesorjev, 800 TBy!), del LHC Grida in del drugih Grid aplikacij

21. januar 2012



US

ATLAS Simulation Production
February 2007 - February 2008



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.

Gimnazija Vič in fizika osnovnih delcev

- **dr. Mark Pleško**, doktoriral pri eksperimentu ARGUS v DESY v Hamburgu, enem od najbolj uspešnih eksperimentov vseh časov (mešanje pri mezonih B), po zelo odmevnem doktoratu se ukvarja s fiziko pospeševalnikov (sinhrotron Elettra v Bazovici pri Trstu) in kontrolnimi sistemi za pospeševalnike. Ustanovitelj in solastnik COSYLAB-a - kontrolni sistemi za pospeševalnike (sinhrotroni, pospeševalniki za medicinsko uporabo).
- **dr. Bojan Boštjančič**, doktoriral pri eksperimentu ARGUS v DESY v Hamburgu, izredno uspešno podoktorsko delo pri eksperimentu DELPHI na elektronsko-pozitronskem trkalniku LEP v CERNu, nato podjetnik, ustanovitelj in lastnik večih visokotehnoloških podjetij s področja telekomunikacij in računalniških aplikacij. Trenutno nekje med svojimi podjetji v Silicijevi dolini in v Ljubljani. Ob prostih popoldnevih kajta ob obalah Kalifornije...
- **dr. Samo Stanič**, doktoriral pri eksperimentu DELPHI, podoktorsko izpopolnjevanje pri eksperimentu Belle na inštitutu KEK, delo na pospeševalnikih in detektorjih, zdaj profesor na U. Nova Gorica.

→ čakamo, da se tudi kdo od vas vpiše na ta seznam