

***Neutrinska i
fizika kosmičkog zračenja
korišćenjem relativističkih miona***

Dimitrije Maletić

Sadržaj

Fizika neutrina (korišćenjem miona)

- Uvod
- mionski snopovi
- MICE eksperiment
- budući eksperimenti/vizija

Kosmika (korišćenjem miona)

- Uvod
- Niskofonska laboratorija za Nuklearnu fiziku, IF
- Merenje intenziteta kosmičkog zračenja
- rezultati i planovi

The Standard Model

Quarks

u

up

c

charm

t

top

g

gluon

d

down

s

strange

b

bottom

γ

photon

Leptons

ν_e

e-neutrino

ν_μ

μ -neutrino

ν_τ

τ -neutrino

W

W boson

e

electron

μ

muon

τ

tau

Z

Z boson

Force Carriers

I

II

III

Generations of matter

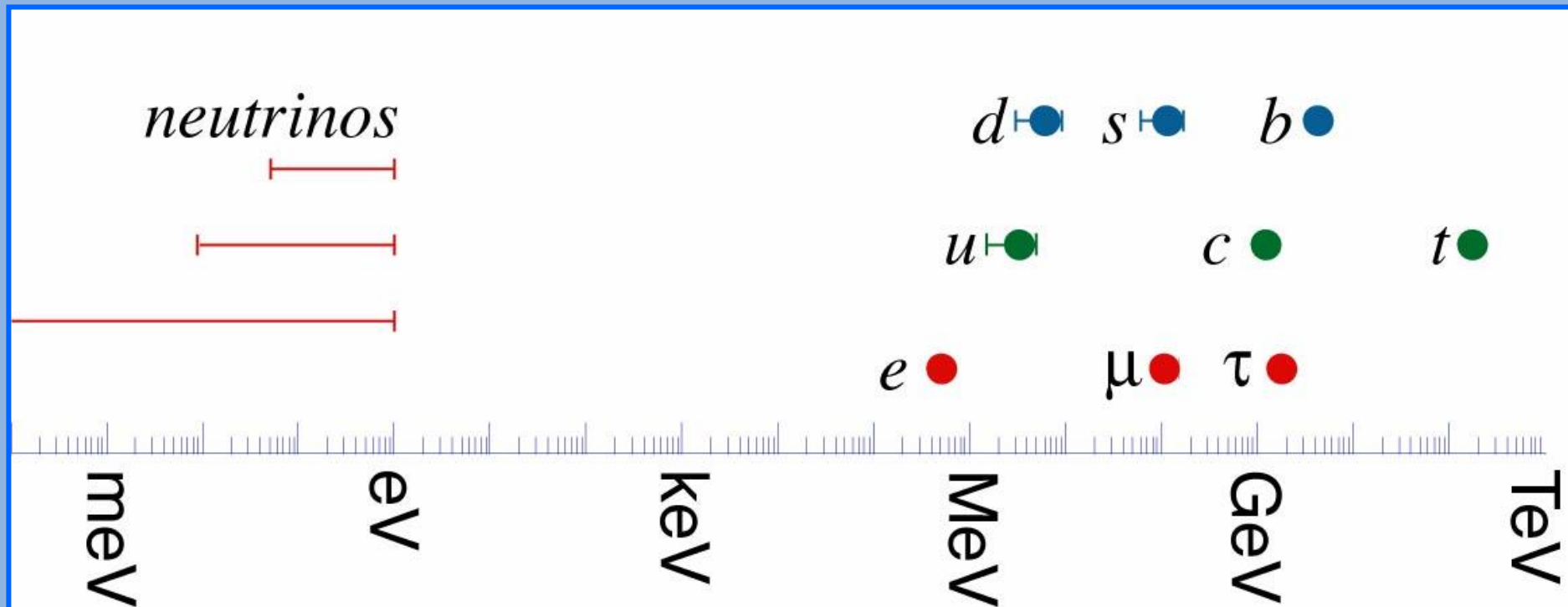
Higgs Boson

Otkriven,
potpunjuje sliku...

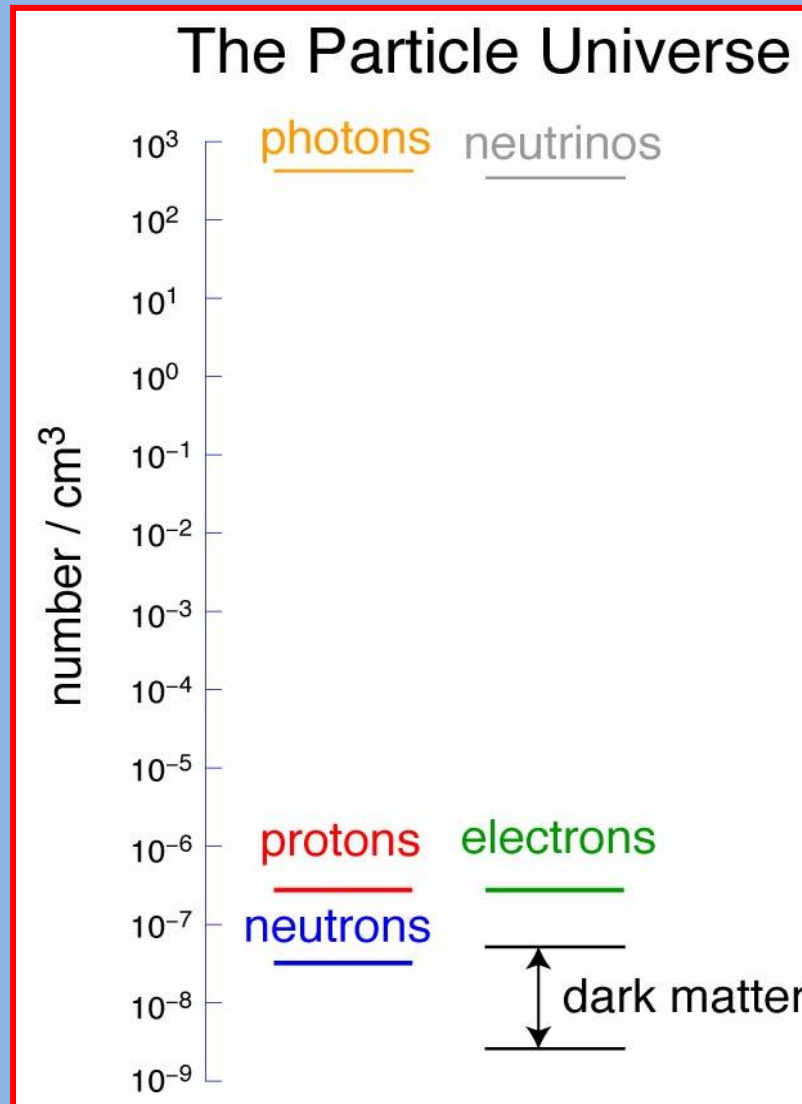
- Fundamentalne
 - Čestice & sile
- Vladamo znanjima o:
 - Simetrijama
 - Zakonima održanja
 - Dinamici
- međutim ...

... naša saznanja nisu kompletna

- Na primer, ne znamo žasto imamo veliku razliku u masama elementarnih čestica



... ne znamo zašto je broj čestica
u Univerzumu toliko različit



Neutrina

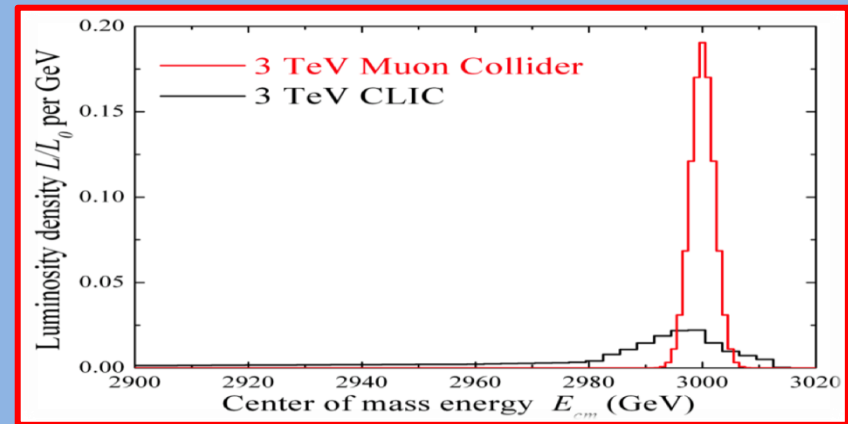
- Veoma lake čestice
- slabo interaguju sa materijom
- Mogu da prelaze iz jedne u drugu vrstu (oscilacije neutrina)
- Na Zemlji ih ima u Kosmičkom zračenju (uključujući i one koji dolaze sa Sunca), radioaktivnim materijalima (beta raspadi), fisionim reaktorima i akceleratorским eksperimentima sa metom

Mioni

- Teški elektroni
- Raspada se na elektron i dva **neutrina**
- Vreme života 2.2 mikro sekundi (duže ako se uključe relativistički efekti)
- Na Zemlji ih ima u Kosmičkom zračenju i akceleratorским eksperimentima sa metom
- **Moguće da se ubrzavaju u akceleratorima – dobijamo snopove miona**

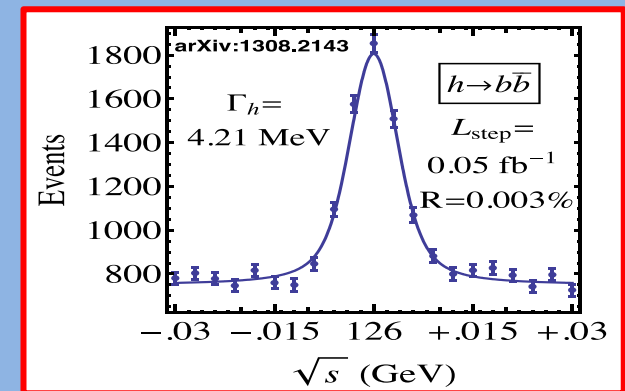
Snopovi miona imaju mogućnost da

- Se koriste u fizici neutrina sa intenzivnim snopovima neutrina, kod kojih se:
 - Precizno zna koja je vrsta neutrina u snopu;
 - Precizno zna energetski spektar
- Se dobiju više TeV-ski lepton-lepton sudari:
 - u uskom intervalu energija;
 - Sa najnižom cenom dosezanja do TeV-skih energija;
 $E_{CM} > 1. \text{ TeV}$



Mionski snopovi; prednosti

- Masa miona:
 - $m_\mu = 106 \text{ MeV}/c^2 \approx 200 * m_e$
- Posledice toga:
 - Zanemarivo sinhrotronsko (\sim zakočno) zračenje prilikom ubrzanja snopa:
 - zračenje $\propto m^{-4} \Rightarrow$ smanjenje za faktor 5×10^{-10} u odnosu na e
 - Jako sprezanje sa Higs bozonom:
 - Produkcija Higs bozona $\propto m^2$
 \Rightarrow poboljšanje 5×10^4 nad e^+e^-



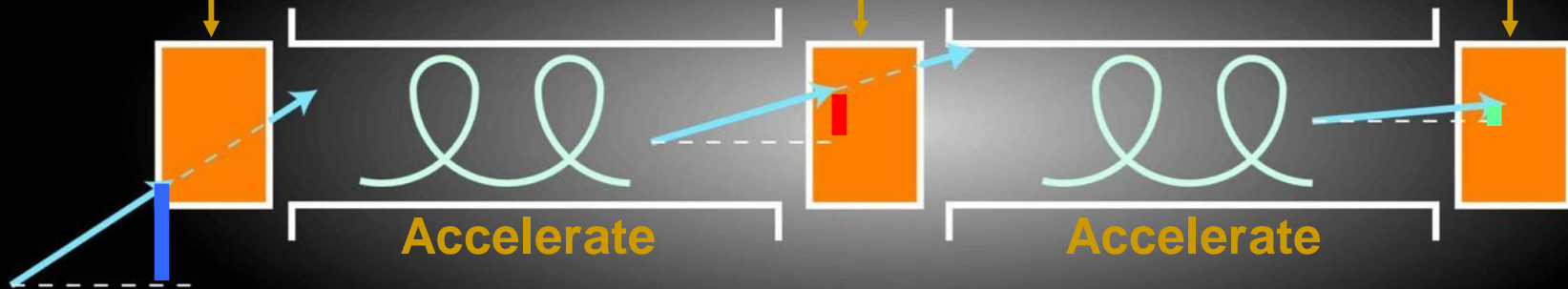
Problemi

- Mioni se raspadaju (žive 2.2 us) što znači da mora da se vreme za dobijanje dobrih osobina mionskog snopa znatno skрати.
- Najvažnije je efikasan način brzog dobijanja tankog mionskog snopa – tzv. **hladjenje mionskog snopa**.

Šta treba da se uradi

- Razvoj pulsnog protonskog izvora velike snage je u toku u protonskim laboratorijama
 - Ovi protoni se usmeravaju na metu od teških metala, gde dolazi do reakcija i nastanka piona, koji se raspadaju na mione i fotone.
- Optimizacija mete za pionizaciju protona:
 - **MERIT eksperiment**
 - Meta sa tečnom živom
- Muonski snop:
 - Chicane (novi program) za otklanjanje sekundarnih hadrona.
 - **MuCool program** u FNAL:
 - Izučavanje efekta magnetnog polja na zagrejane bakarne RF komore;
 - **MICE eksperiment** u RAL-u:
 - **Pokazivanje ostvarivosti tehnike jonizacionog hladjenja**

Absorber od tečnog vodonika



Jonizaciono hladjenje

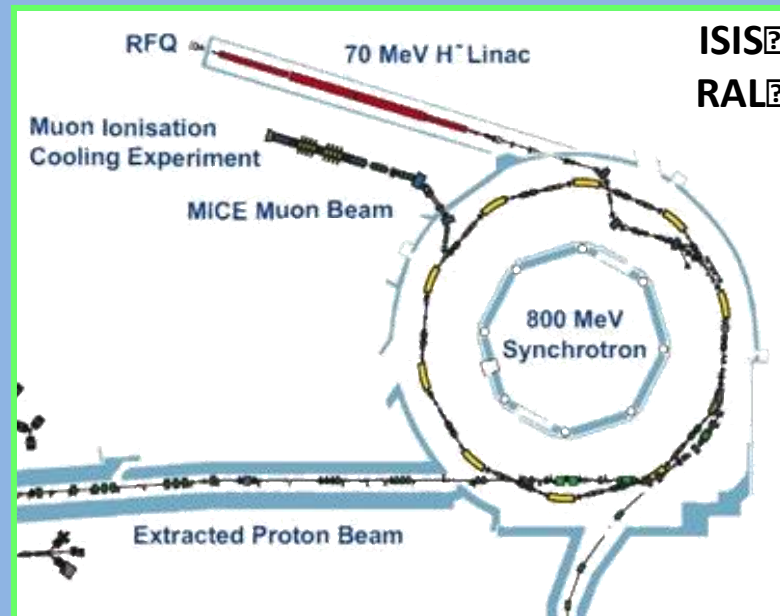
$$\frac{d\varepsilon_n}{dX} = \frac{-\varepsilon_n}{\beta^2 E} \left\langle \frac{dE}{dX} \right\rangle + \frac{\beta_t (0.014 \text{ GeV})^2}{2\beta^3 E m_\mu X_0}$$

- Suprotno deluju na snop miona
 - dE/dx [hladjenje]
 - MCS [grejanje]
- Optimizacija:
 - Niski Z , velika X_0
 - Dobro fokusiranje

	Z	FoM	Rel. 4D cooling
H	1	252.6	1.000
He	2	182.9	0.524
Li	3	130.8	0.268
C	6	76.0	0.091
Al	13	38.8	0.024

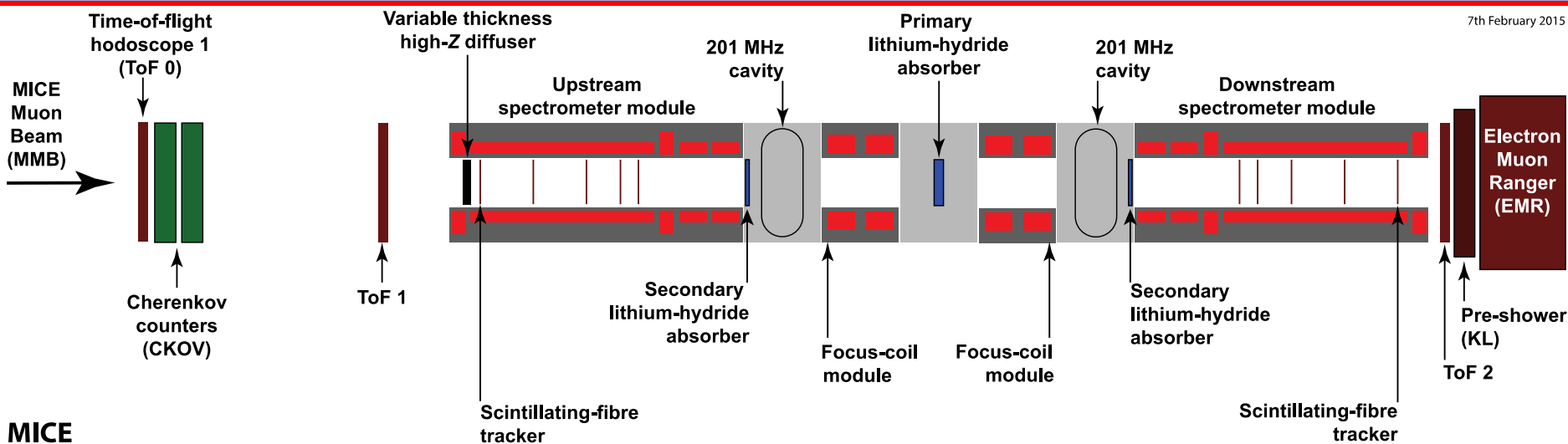
MICE (Muon Ionisation Cooling Experiment):

- MICE treba da:
 - Dizajnira, i izgradi, tj. ostvari jonizaciono hladjenje
 - Meri performanse pri različitim vrstama mionskog snopa
 - Rezultati ovog eksperimenta će omogućiti da se Neutrino Factory [i Mionski kolajder] optimizuju
- Zahtevi:
 - Normalizovana transverzna emitanca bude 0.1%



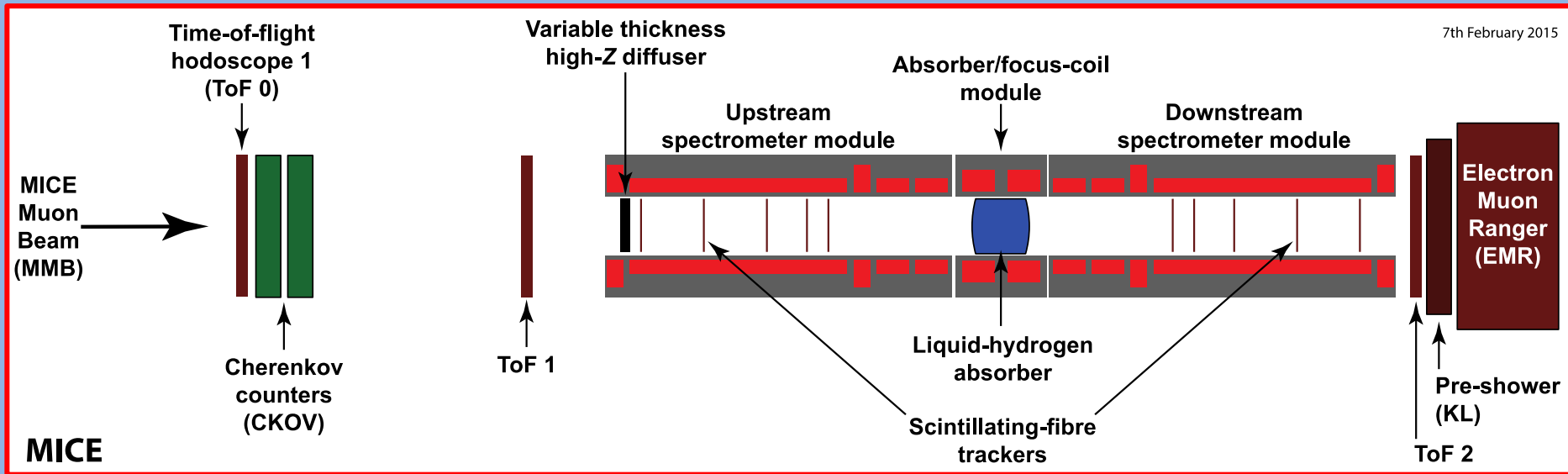
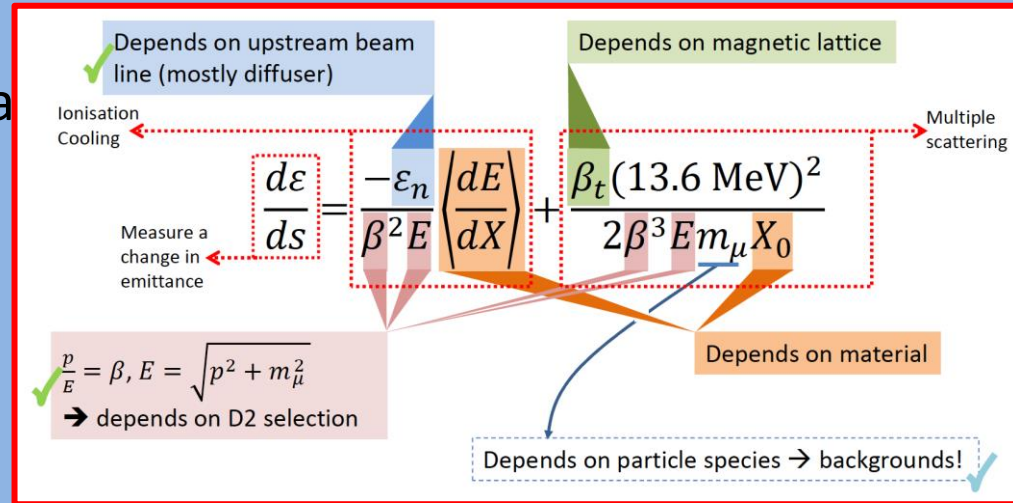
MICE

7th February 2015



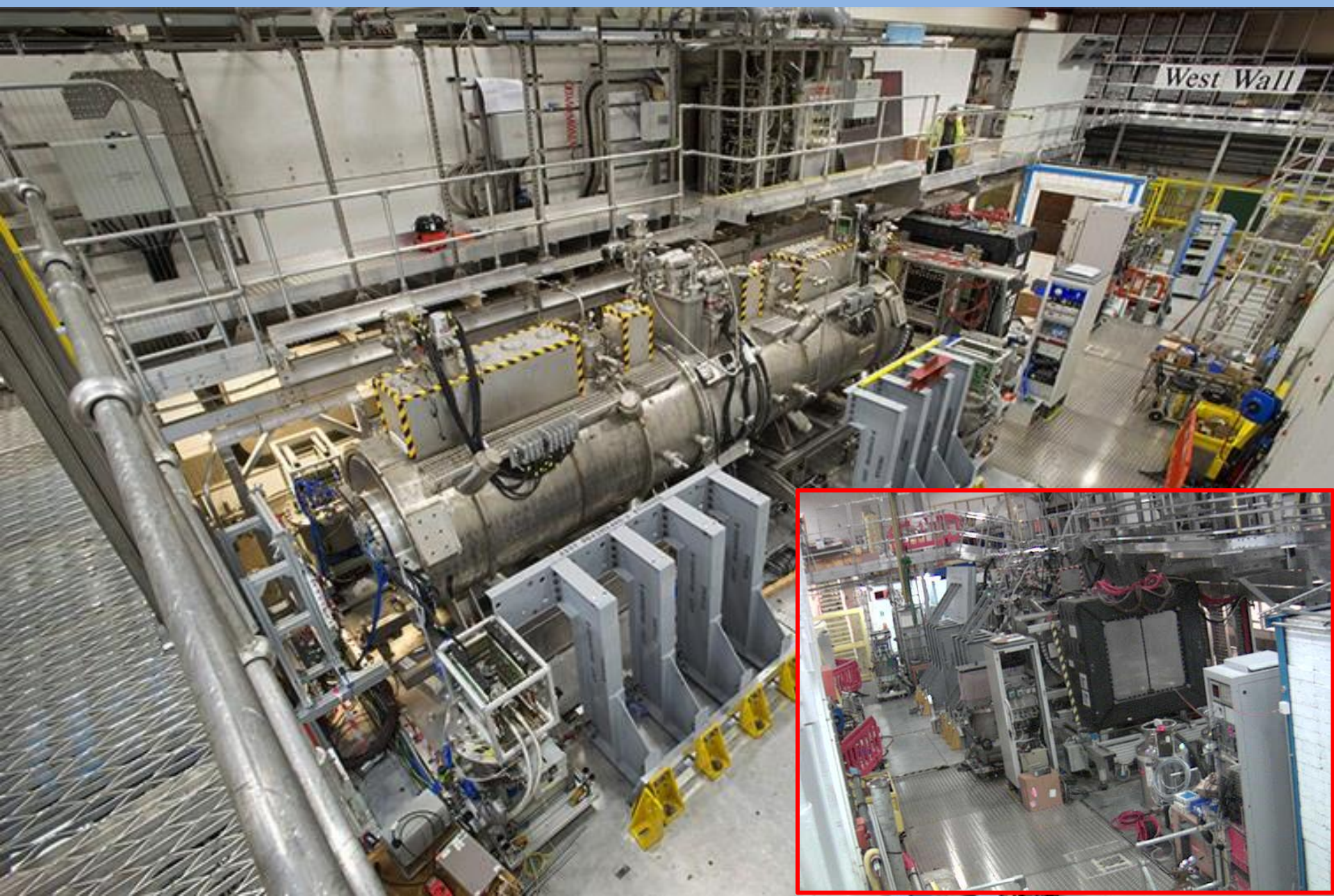
Izučavanje faktora koji utiču na hladjenje

- Emitansa:
 - MICE optika Mionskog snopa i postavke difuzera
- Materijal:
 - Razni absorberi (LH2; LiH);
- p , E and β :
 - Mioni raznih impulsa, optika

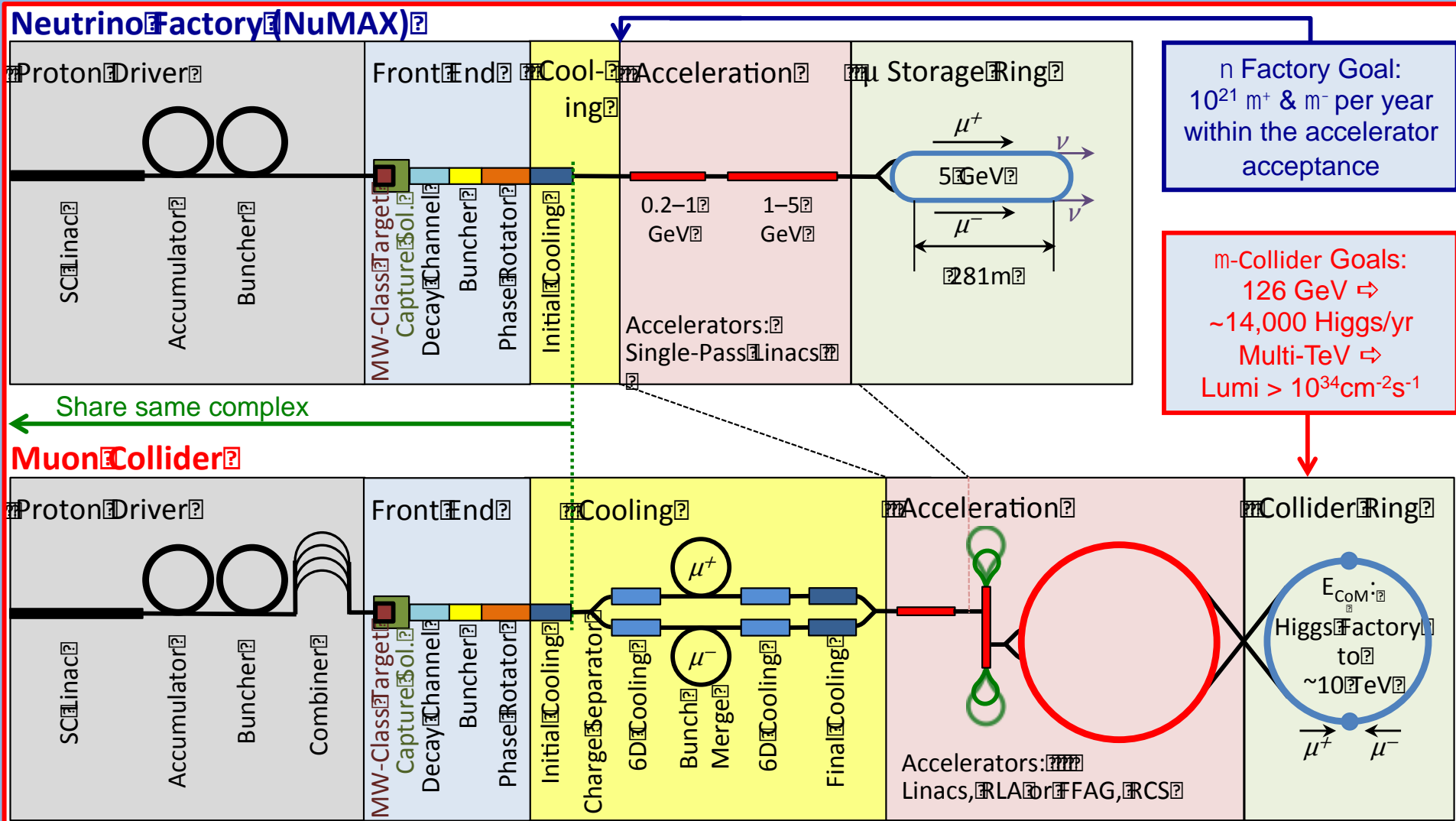


Početak prikupljanja podataka počelo ovog leta, i trajaće do leta 2016

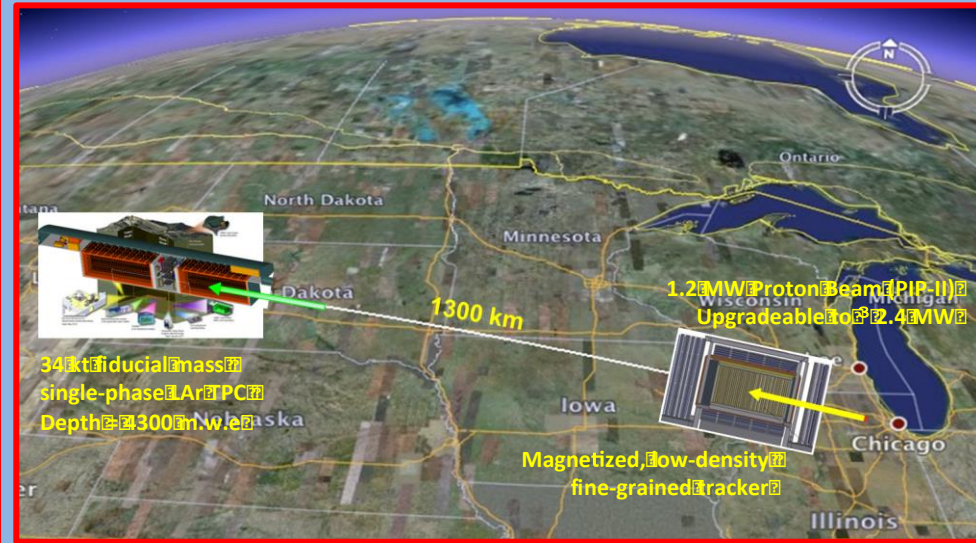
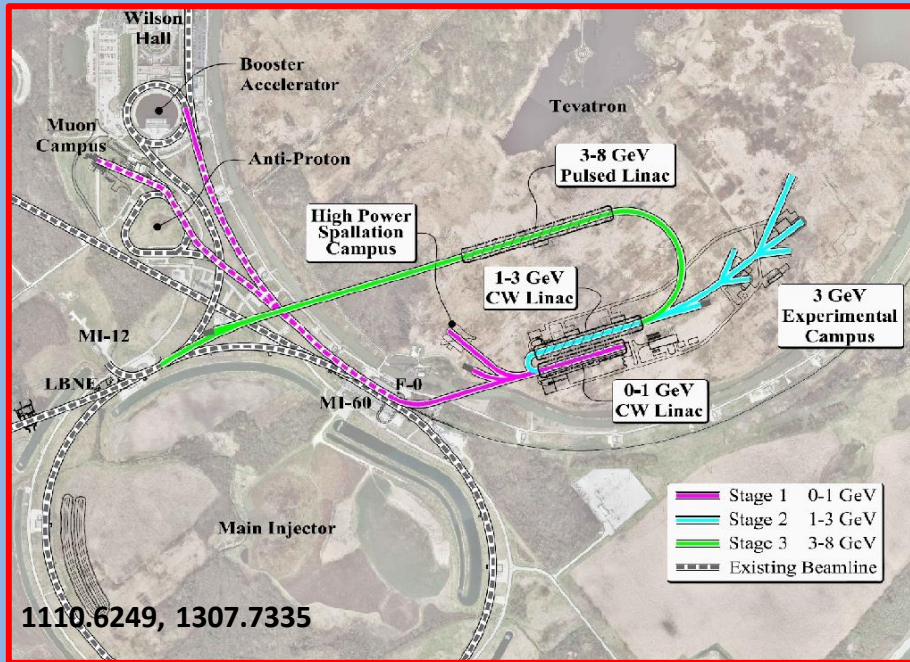
MICE Step IV



Neutrino Factory & Muon Collider FNAL



LBNF/DUNE (FNAL):

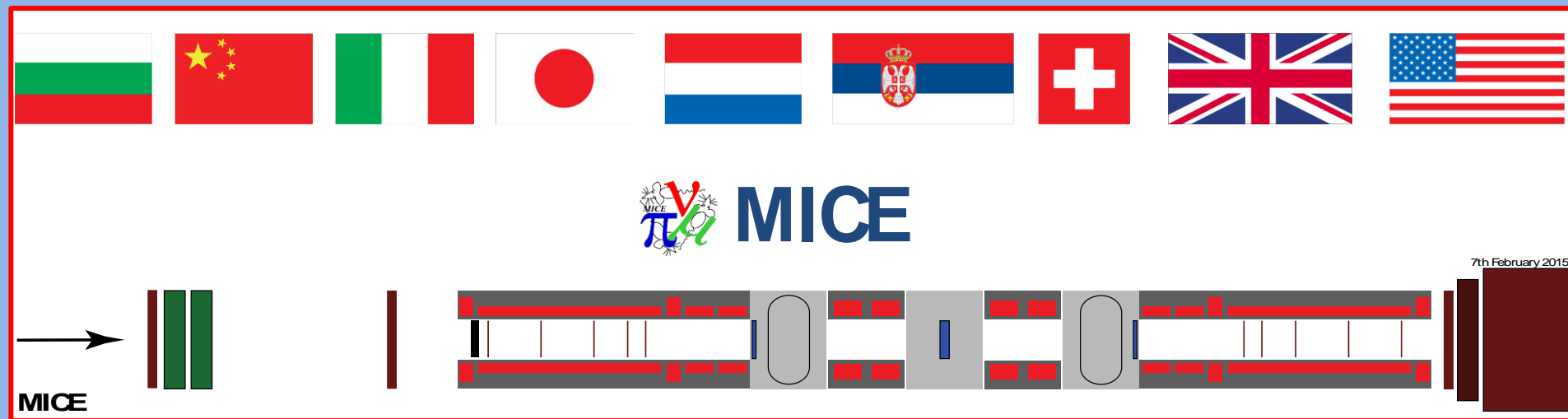


Vizija u CERN-u (*Carlo Rubia*)

- Organizovaće se internacionalni tim sa zadatkom dizajniranja, finansiranja i izgradnje eksperimenta za inicijalno mionsko hladjenje.
- Pokrenuće se kampanja intenzivnog merenja, koja će pokazati ostvarivost mionskog hladjenja, počinjući od CERN-PS akceleratora.

Saradnici IF na MICE eksperimentu

- Saradnici IF-a su primljeni u MICE kolaboraciju u februaru ove godine.
- Naši napori su usmereni na nekoliko zadataka
 - Analiza merenja gubitaka energije miona u MICE absorberima
 - Rad na softveru u on-line grupi, koja je zaduzena za hardver i softver za prikupljanje podaka sa MICE eksperimenta.
 - Rad na softveru za vizuelizaciju dogadjaja MICE eksperimenta
 - Rad na automatizovanju obrade podataka MICE eksperimenta
- Na vidiku su i dodatni zadaci i analize.

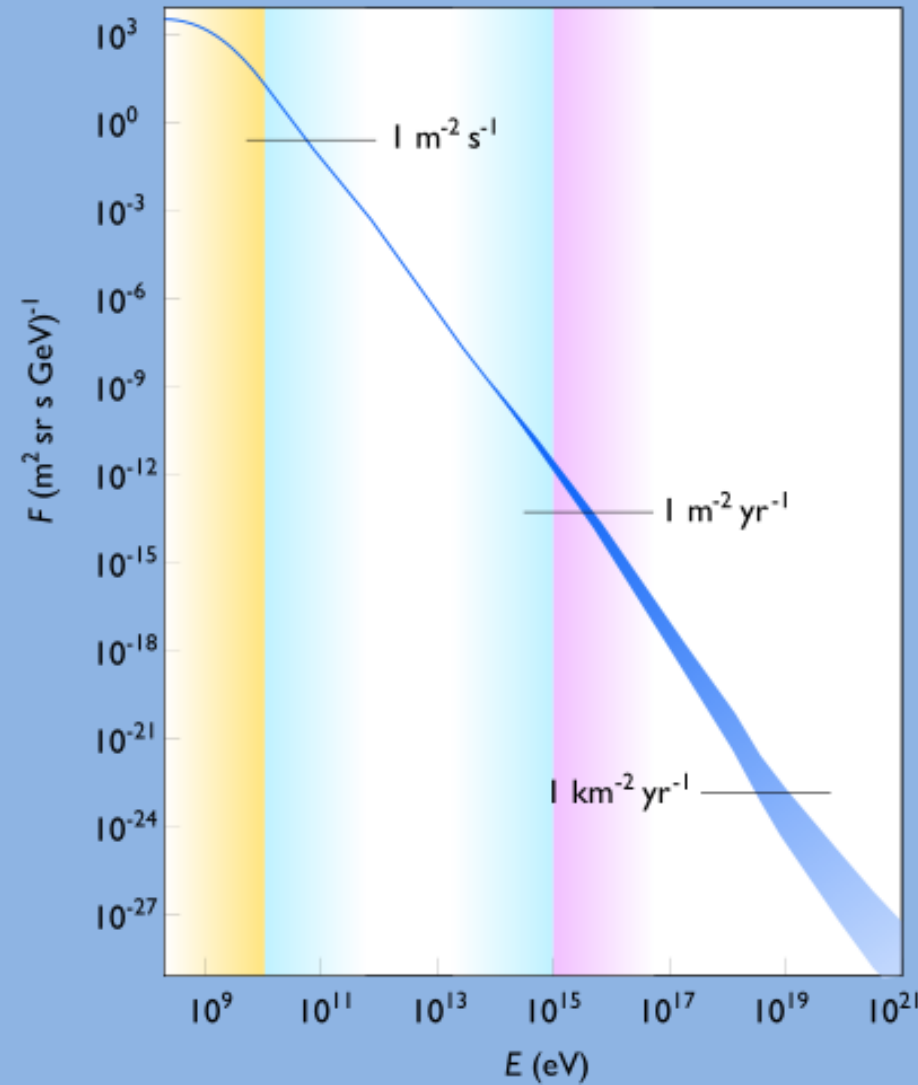


Kosmika

- Uvod
- Niskofonska laboratorija
- Merenje intenziteta kosmičkog zračenja
- rezultati i planovi

Kosmičko zračenje

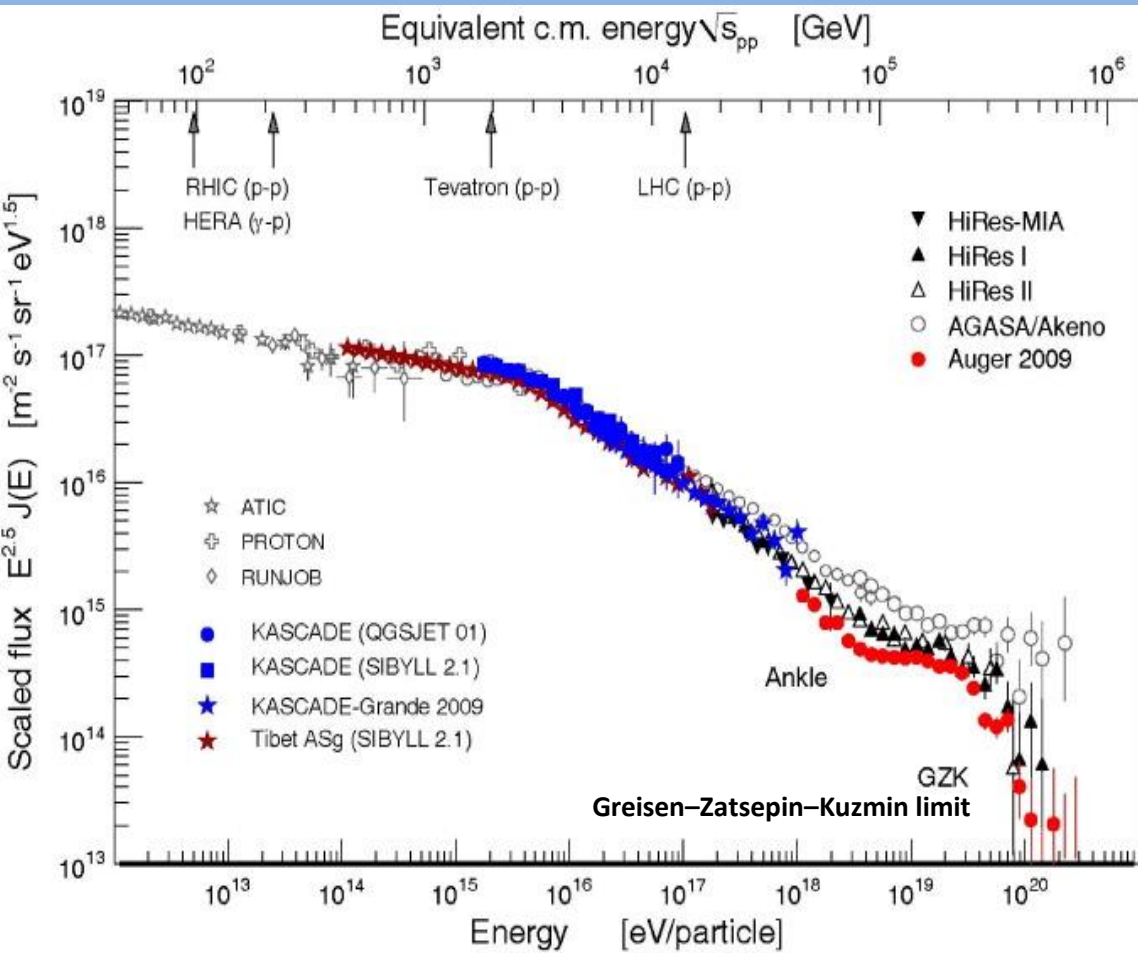
- Kosmičko zračenje predstavljaju čestice visokih energija koje padaju na atmosferu Zemlje, a najčešće dolaze iz izvora van solarnog sistema. Ovo zračenje nazivamo i **Primarno kosmičko zračenje**.
- Sastav zračenja koje pada na atmosferu Zemlje (primarno kosmičko zračenje) sastoji se od oko 90% protona, 9% alfa čestica (jezgara helijuma) a 1% predstavljaju teža jezgra.
- Prilikom upada čestica u atmosferu, dolazi do sudara ovih čestica sa atomima u atmosferi. Čestice koje su nastale u ovim sudarima nazivaju se **Sekundarno kosmičko zračenje**.



Flux kosmičkog zračenja u zavisnosti od energije. Fluks najnižih energija (žuta zona) dolaze uglavnom od Sunca, srednje energije (plava zona) galaktički kosmički zraci, najviše energije (ljubičasta zona) van galaktički izvori

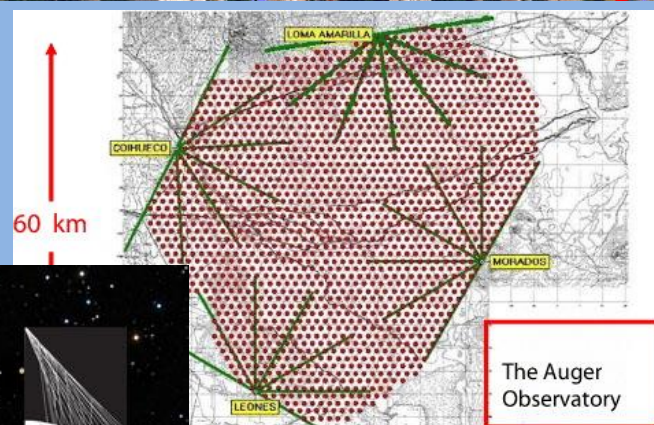
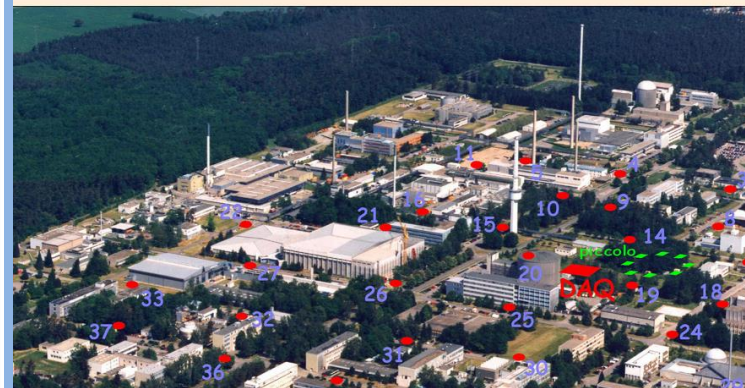
Najpoznatiji svetski eksperimenti

koji se bave izučavanjem spektra kosmičkog zračenja detekcijom čestica su **Pierre Auger Project, and KASCADE**



KASCADE - Grande

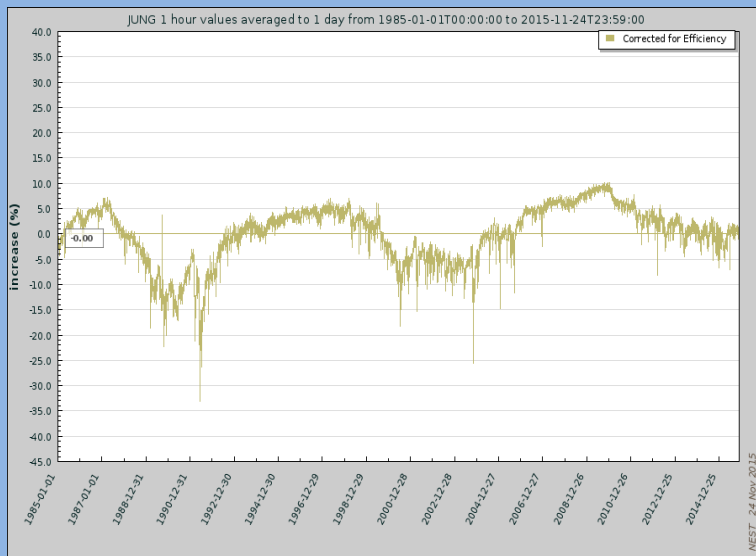
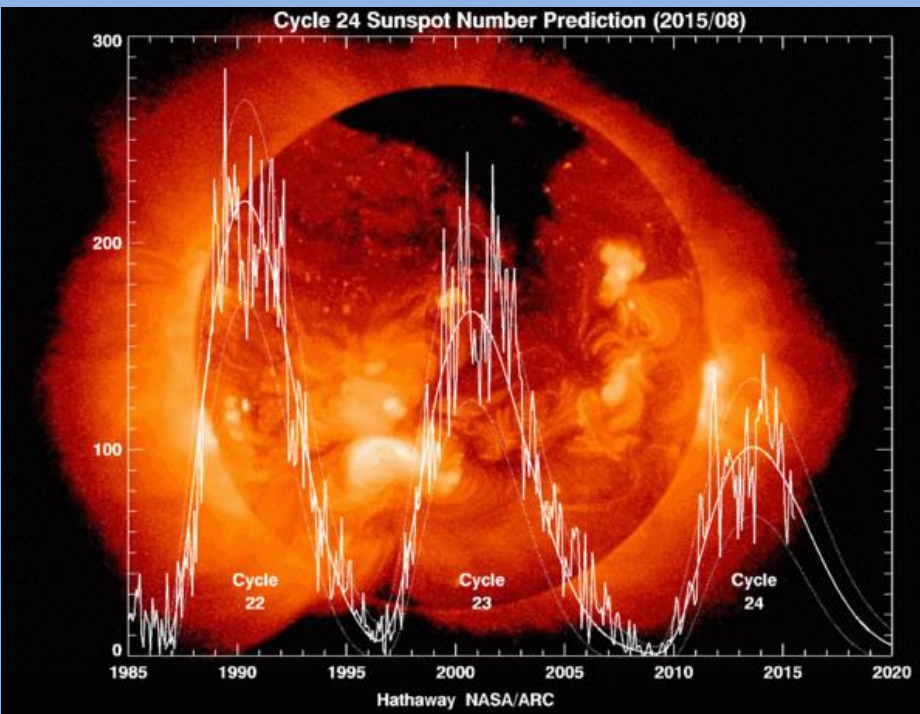
Karlsruhe Shower Core and Array DEtector - Grande



Ili se bavite fluksom CR

Aktivnost Sunca i kosmičko zračenje

- Solarni ciklus (broj sunčevih pega)
- Coronal Mass Ejection (CME) – kreira udarni talas koji utiče na magnetosferu Zemlje. Tada deo kosmičkih zraka, koji bi normalno pao na Zemlju, biva usmeren van pravca Zemlje, rezultujući u pojavu Forbush Decease (FD), ili značajno smanjenje fluksa kosmičkog zračenja. Ova pojava se detektuje nekoliko dana.
- Ground Level Enhancement (GLE) - Sunce emituje više energije koje mogu da dodju do površine Zemlje.



428

H. Miyahara, Y. Yokoyama, & Y. T. Yamaguchi

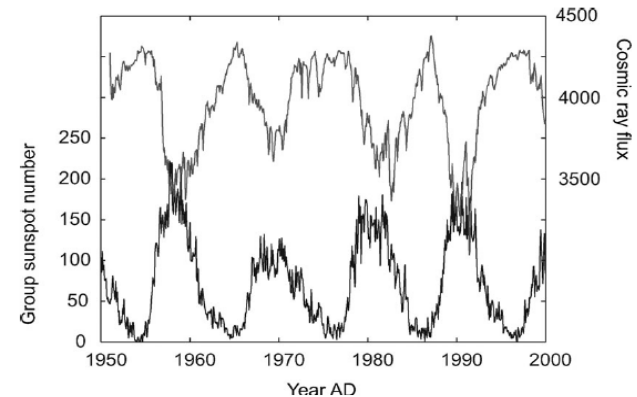


Figure 1. Monthly variation of the cosmic ray intensity observed by the Climax neutron monitor (upper gray line) and the group sunspot numbers (Hoyt & Schatten, 1998) (lower black line).

Laboratorija

www.cosmic.ipb.ac.rs



Institute of Physics, University of Belgrade
Low-background Laboratory for Nuclear Physics

Home
About Lab
People
Research
Projects
Documents
Contact Us
News and Events



Radon in Serbia
Radon Forum
Webmail
Lab E-Log



The Low-background Laboratory for Nuclear Physics (LBLNP) is a part of the Institute of Physics, University of Belgrade. It is situated on the right bank of the Danube, in the Belgrade borough of Zemun. Research within the LBLNP is related to and done in the various fields of nuclear physics, mainly cosmic-ray physics, high energy physics, nuclear spectroscopy, radioecology, and physics of hot dense plasmas, as well.

The LBLNP was founded by Dr. Radovan Antanasijević. Honouring his legacy, members and friends of the LBLNP decided to name it after its founder and longtime head.

New features

MICE
Belgrade cosmic-ray station
Belgrade radon station
LBLNP photo archive
LBLNP online library

Latest news & events

02.10.2015.
V. Udovičić, R. Banjanac and D. Maletić participated at XXVIII DZZSCG Symposium

29.09.2015.
IPB colloquium: M. Popović gave a talk on MICE and future muon colliders

11.05.2015.
MICE group is awarded funding grant within the FP7 project EuCARD-2

Copyright © 2011. LBLNP & IPB

Ivan Aničin

Redovni profesor (u penziji)

Bojana Grabež

Naučni savetnik

Vladimir Udovičić

Viši naučni saradnik

Aleksandar Dragić

Viši naučni saradnik

Dimitrije Maletić

Viši naučni saradnik

Radomir Banjanac

Naučni saradnik

Dejan Joković

Naučni saradnik

Nikola Veselinović

Istraživač saradnik

Mihailo Savić

Istraživač saradnik

Prvi pik na Google-u kada tražite „cosmic ray experiments “

<https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/CosmicRaySites.html>

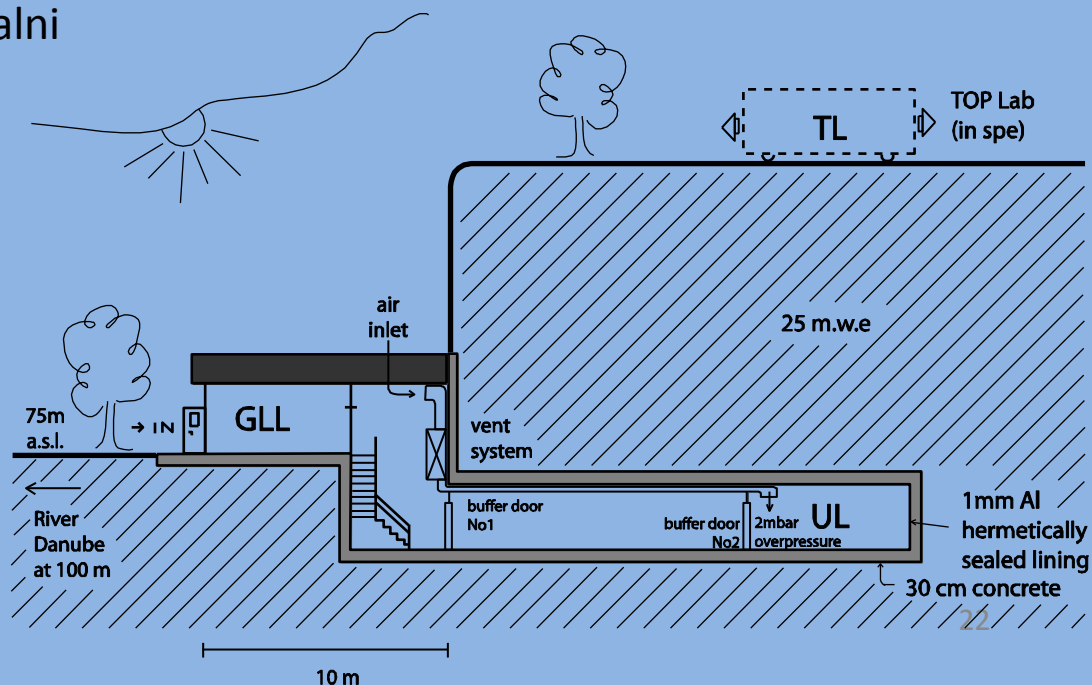
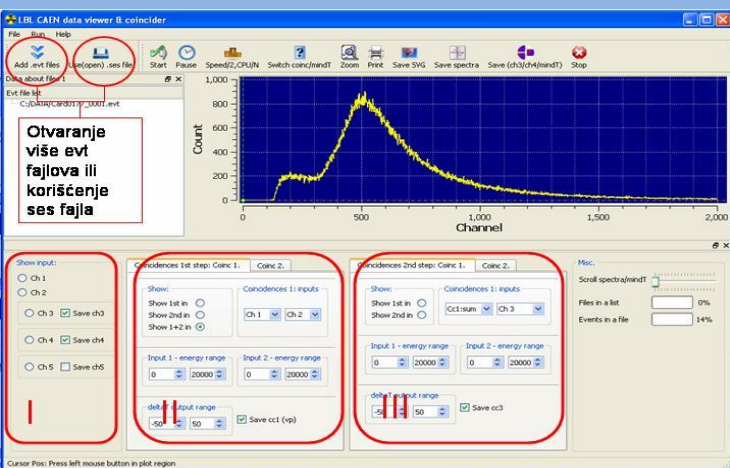
Ima našu laboratoriju pod grupom:

Miscellaneous sites of cosmic-ray and astroparticle research (sorted by region)

Serbia Belgrade: [Low-Background Laboratory for Nuclear Physics at the Institute of Physics](http://www.cosmic.ipb.ac.rs)

Laboratorija

- Merenje fluksa kosmičkog zračenja na površini i 12m pod zemljom
- Podzemna laboratorija – oklopljena aluminijumom – najveća konzerva na Balkanu. Ventilacioni sistem. Filteri za vazduh. Najniži fon.
- Merenje 1mx1m plastičnim scintilatorima. Prikupljanje podataka CAEN digitalnim fast ADC konverterima.
- Svaki događaj se snima sa svim parametrima, što omogućuje kasniju off-line analizu.
- Razvijeni softveri za obradu podataka.
- Automatska obrada i grafički i tekstualni prikaz podataka na internetu.





Low Background Laboratory for Nuclear Physics

BELGRADE COSMIC RAY STATION

- Muon monitoring -

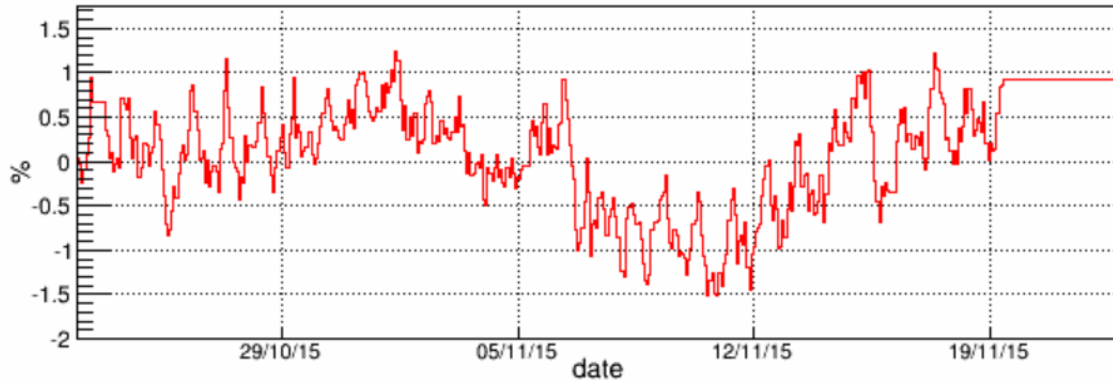
Institute of Physics Belgrade



Last 30 days. Ground level. Pressure corrected.*

[Ground level pressure corrected txt data](#)

LBL IP Belgrade. Surface. Pressure corrected. 23/10/2015 - 23/11/2015



* Preliminary results. The results are not normalised. There are occurrence of artificial shift in counts when there are change in runs. This change comes from eventual change in detector.

[ground level](#) [ground level press corr.](#) [underground](#)

A.Dragic, V.Udovicic, R.Banjanac, D.Jokovic, D.Maletic, N.Veselic
The new set-up in the Belgrade low-level and cosmic-ray laboratory
Nucl. Technol. Radiat. 26 (2011) 181-192.

Stranica automatske mionske stanice, sa mogućnošću pregleda cele baze sa satnom i 5min rezolucijom

Solar X-rays:

NORMAL

geomagnetic conditions

QUIET

From n3kl.org

Time series with selective time range

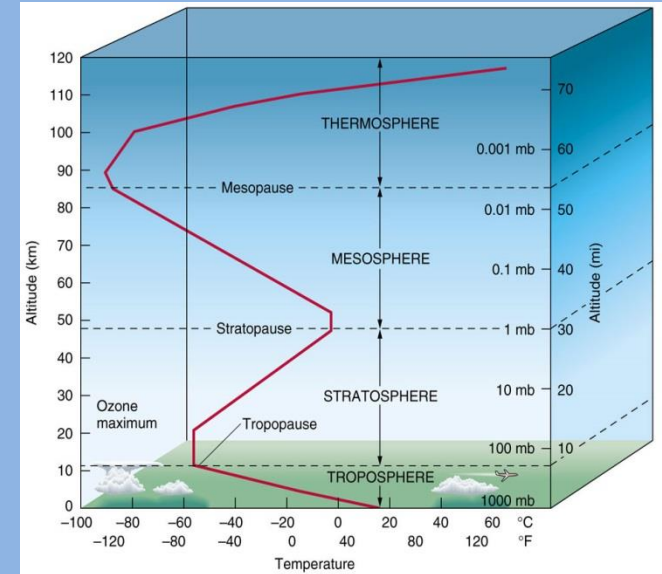
Starting date: 5 1 2015 stopping date: 6 1 2015 Time resolution: 1h

- Surface surface P corr. surface TP corr.
 Underground underground P corr. underground TP corr.
 atmospheric pressure.

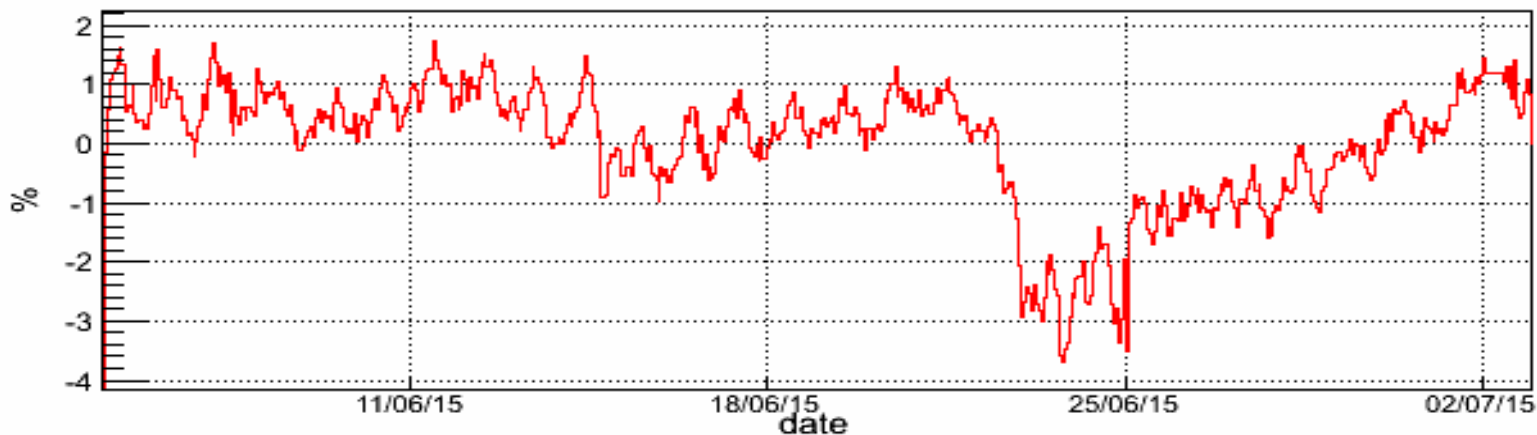
create_plots

Korekcije fluksa miona kosmičkog zračenja

- Automatski se vrše korekcije na pritisak i vertikalne temperaturske profile.
- Takođe je razvijen i originalni algoritam korekcija, koji je bolji od do sada korišćenih.

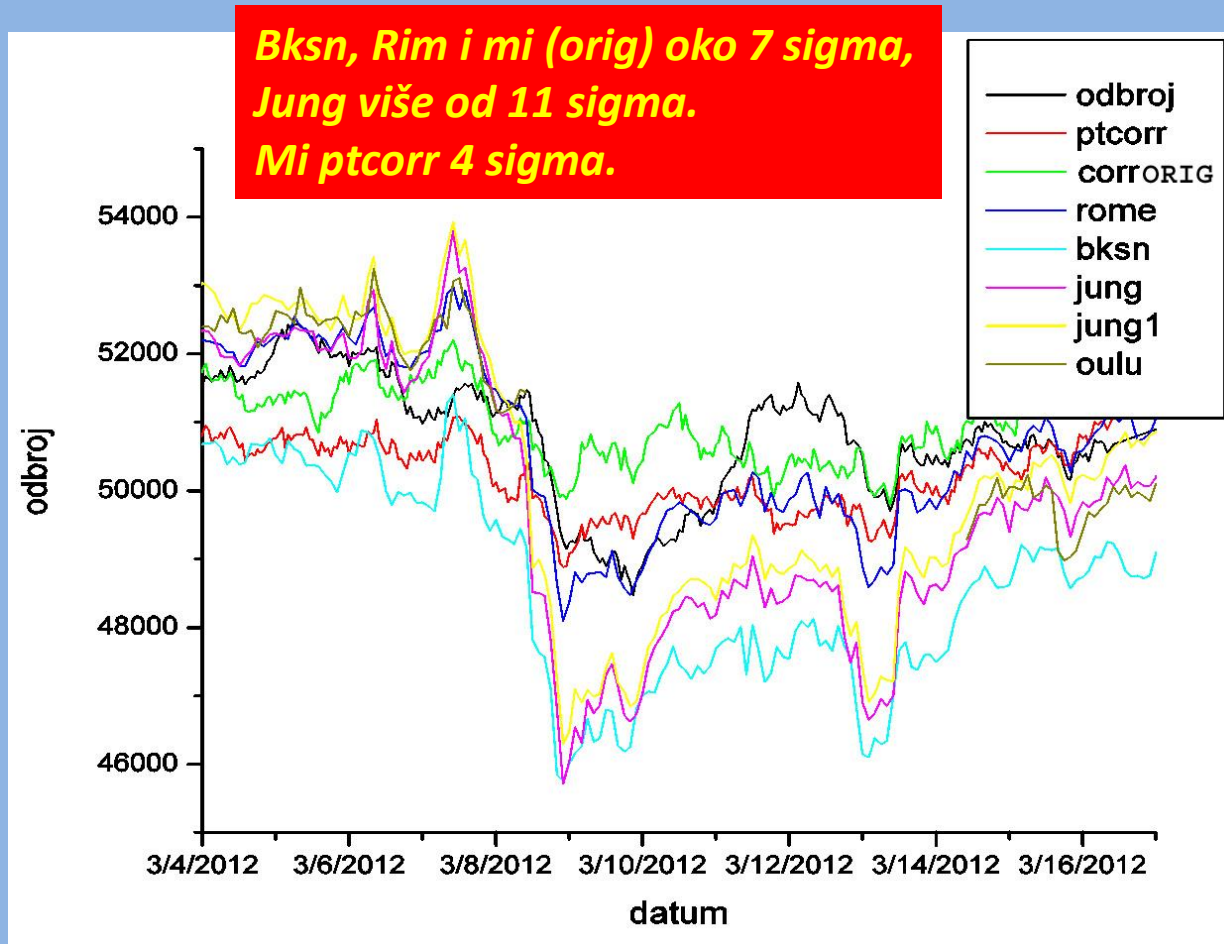


LBL IP Belgrade. Surface. Pressure corrected. 5/6/2015 - 3/7/2015



Korekcije odbroja kosmičkog zračenja originalnom metodom

Poredivi smo sa nekim (nama bliskim) Neutronske monitorima!



**Kandidata za
Forbush
Decrease (FD)
mart 2012**

Sveprisutno gama zračenje

- Ustanovili smo da je nisko-energetski kontinualni deo fonskog spektra otvorenog germanijumskog detektora, koji ima pik na 100keV može da se se smatra da dolazi iz gornje hemisfere (skyshine).
- Ovaj deo u spektru gama zračenja ima najveći doprinos.
- Ovaj deo spektra se ceo abrosbuje u 1mm olova.

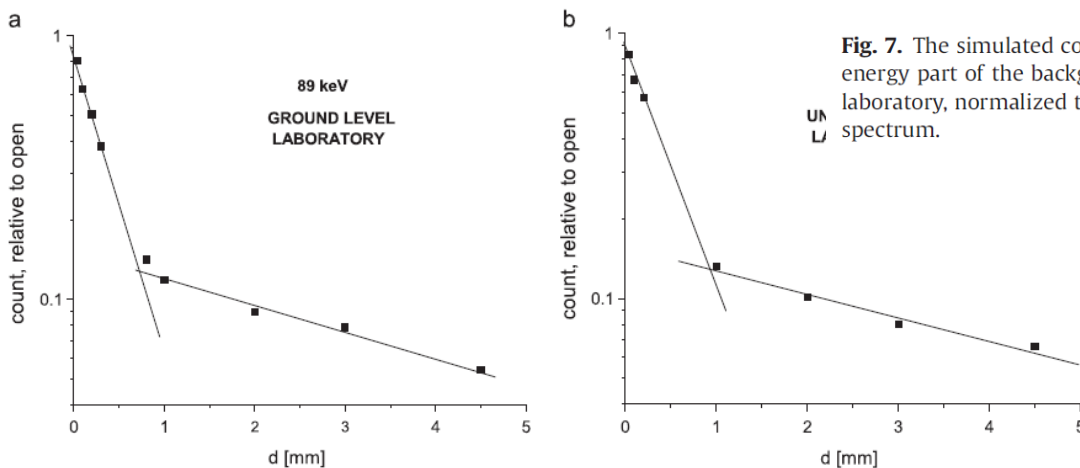
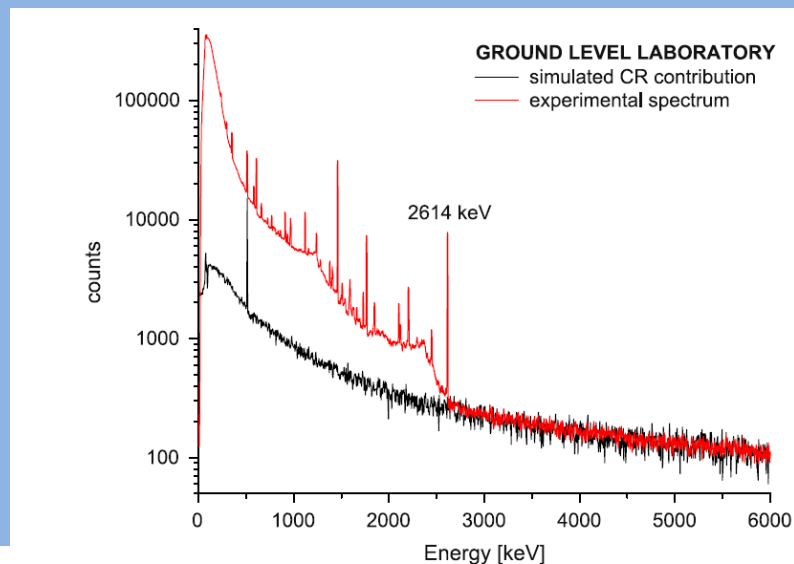


Fig. 7. The simulated contribution of all radiations of cosmic ray origin to the low-energy part of the background spectrum of the detector setup in the ground level laboratory, normalized to the high-energy portion of the experimental background spectrum.

Fig. 3. Absorption curves for the count in the continuum that corresponds to the energy of 89 keV, in the ground-level laboratory (left) and in the underground laboratory at 25 m.w.e. (right). Two distinct components are seen; the first much more intense corresponds rather well to this energy of 89 keV, while the other, much weaker and much more penetrating, approximately corresponds to an average energy of about 500 keV.

Kosmika i klima

- Analiza je pokazala statistički značajan uticaj kosmičkog zračenja na atmosferu.
- Efekat je vidljiv samo ako FD prelazi 7% pada u fluksu kosmičkog zračenja.
- Rezultati ukazuju da kosmički zraci utiču na atmosferske procese i klimu.
- DTR predstavlja korisnu veličinu za korišćenje u ovoj analizi, za razliku od satelitskog merenja oblačnosti.

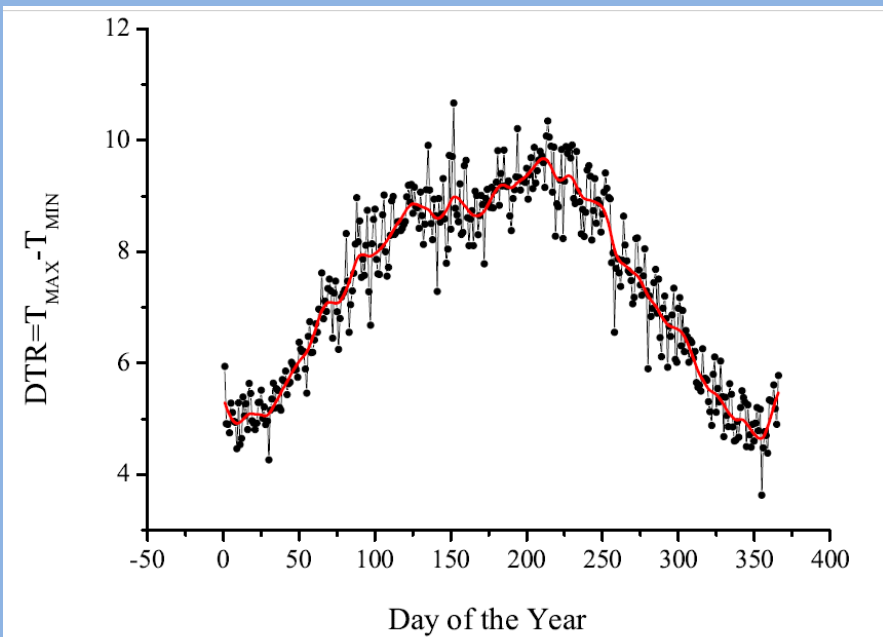


Fig. 2. The seasonal profile of the diurnal temperature range for a particular meteorological station, obtained by averaging DTR data over the 50 years period. The cubic spline fit to the data is also shown. DTR is given in °C.

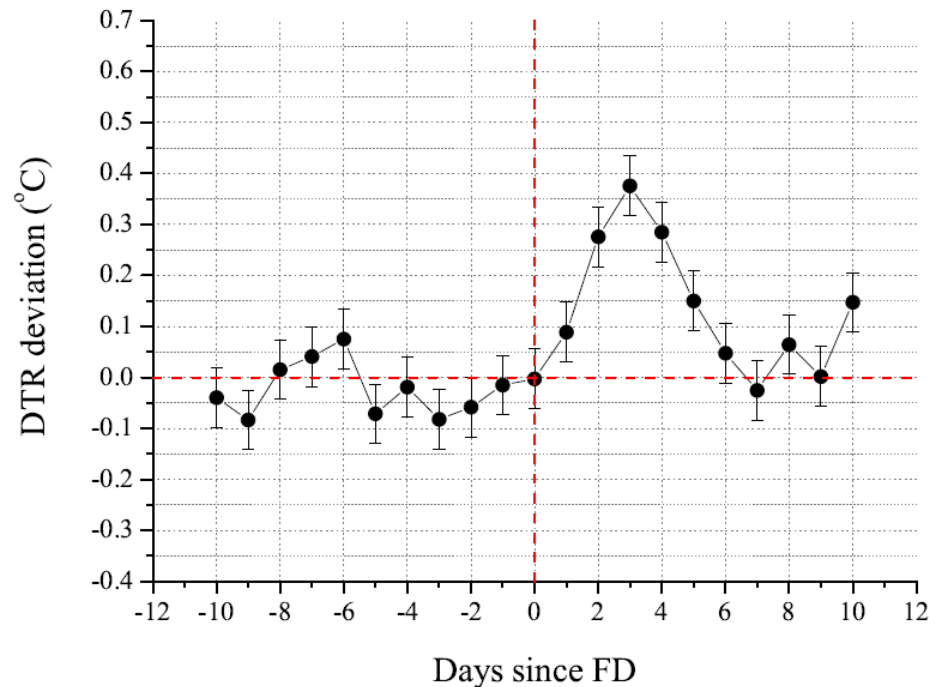
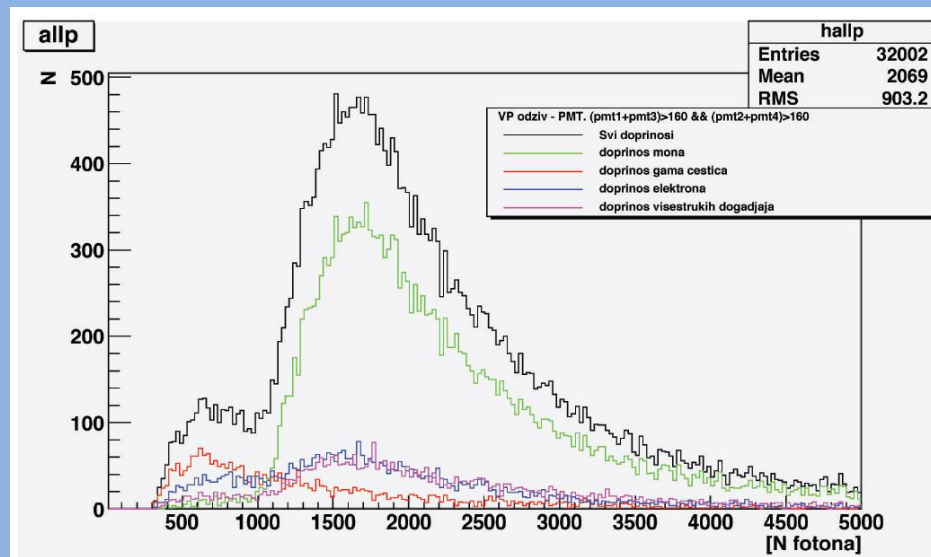
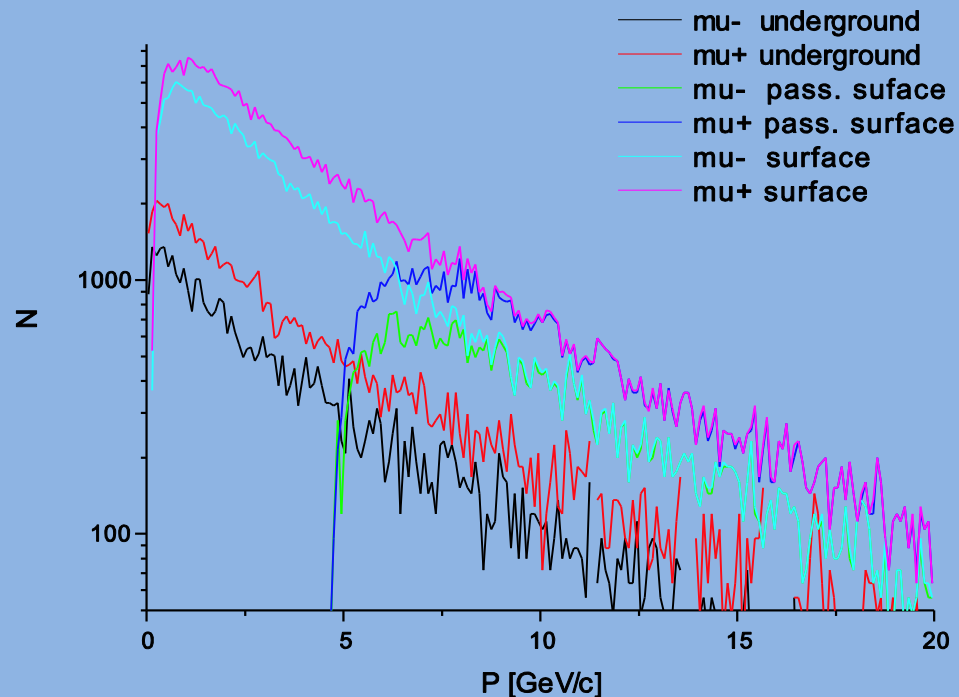


Fig. 3. Superposed epoch analysis of DTR deviation before and during Forbush decrease with amplitude higher than 7% (35 FD events). Zero epoch is the day of the FD start. The error bars represent the standard error of the mean.

Simulacije kosmike

- Simulacije su nezaobilazan i naophodan alat u istraživačkom radu.
- Za simulacije kosmičkog zračenja koristi se programski paket CORSIKA, razvijen za potrebe eksperimenta KASCADE.
- Geant4 programski paket, razvijen za potrebe fizike elementarnih čestica, i simulira interakciju čestica sa materijom veoma je dobra alatka za simulaciju odgovora detektora koji se koriste u eksperimentu.
- Kombinovanje ova dva programska paketa moguće je simulirati primarno kosmičko zračenje koje upada na atmosferu i pratiti nastanak kaskada kroz atmosferu, a na kraju dobiti odgovor detektora na površini Zemlje ili u podzemnoj laboratoriji.



Zaključak kosmike

- Istraživanje kosmičkog zračenja je živa delatnost kojom nastavljamo da se bavimo.
- Fokusirani smo na kontinualna merenja fluksa kosmičkog zračenja i traženja korelacija ovog zračenja i drugih prirodnih pojava.
- Detaljne simulacije nam pomažu da razjasnimo dobijene rezultate i da planiramo nove eksperimente.

Hvala na pažnji!

