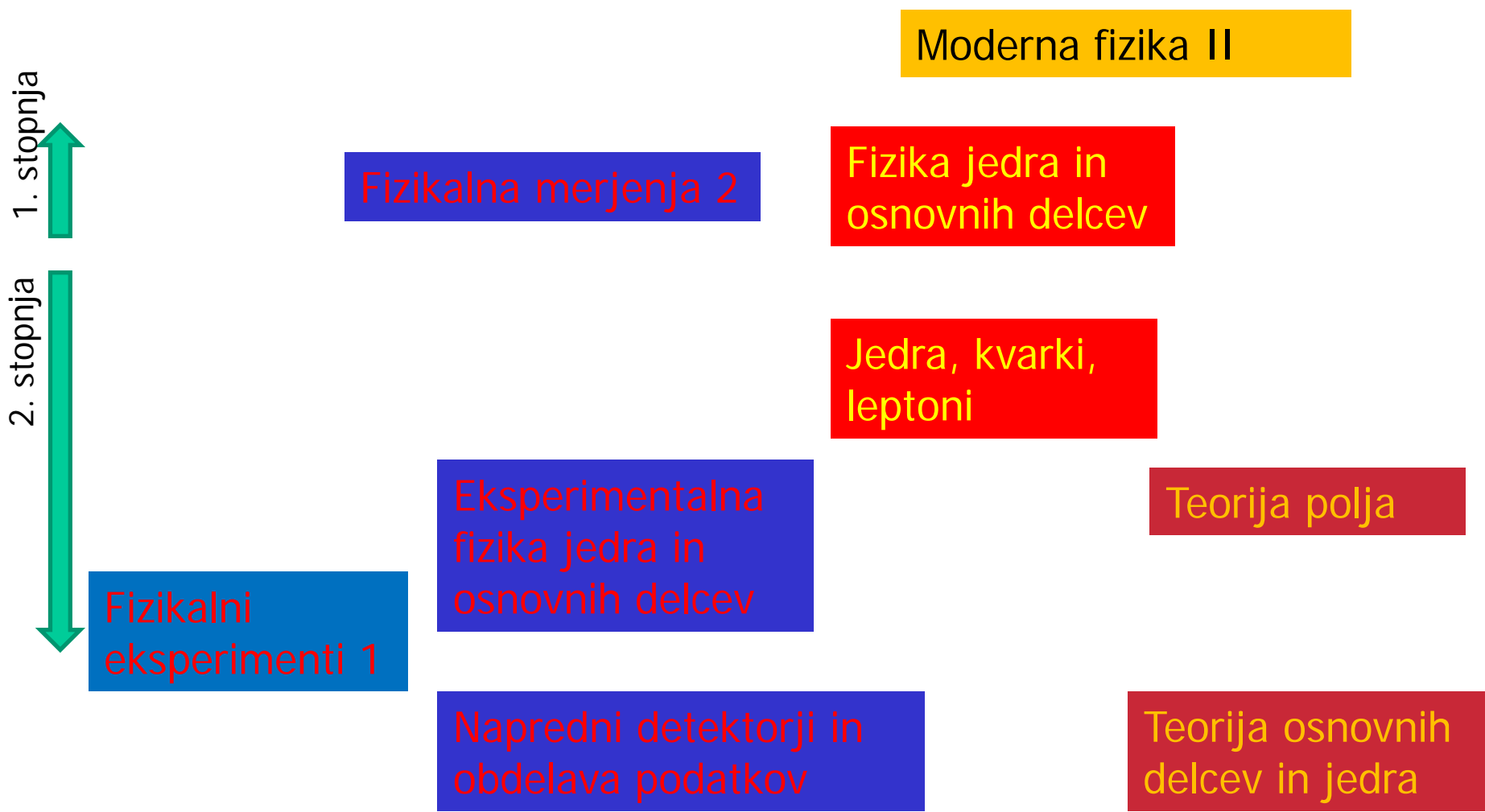




Fizika jedra in osnovnih delcev

Peter Križan

Fizika jedra in osnovnih delcev na FMF



Vsebina

Uvod

Poskusi v fiziki osnovnih delcev

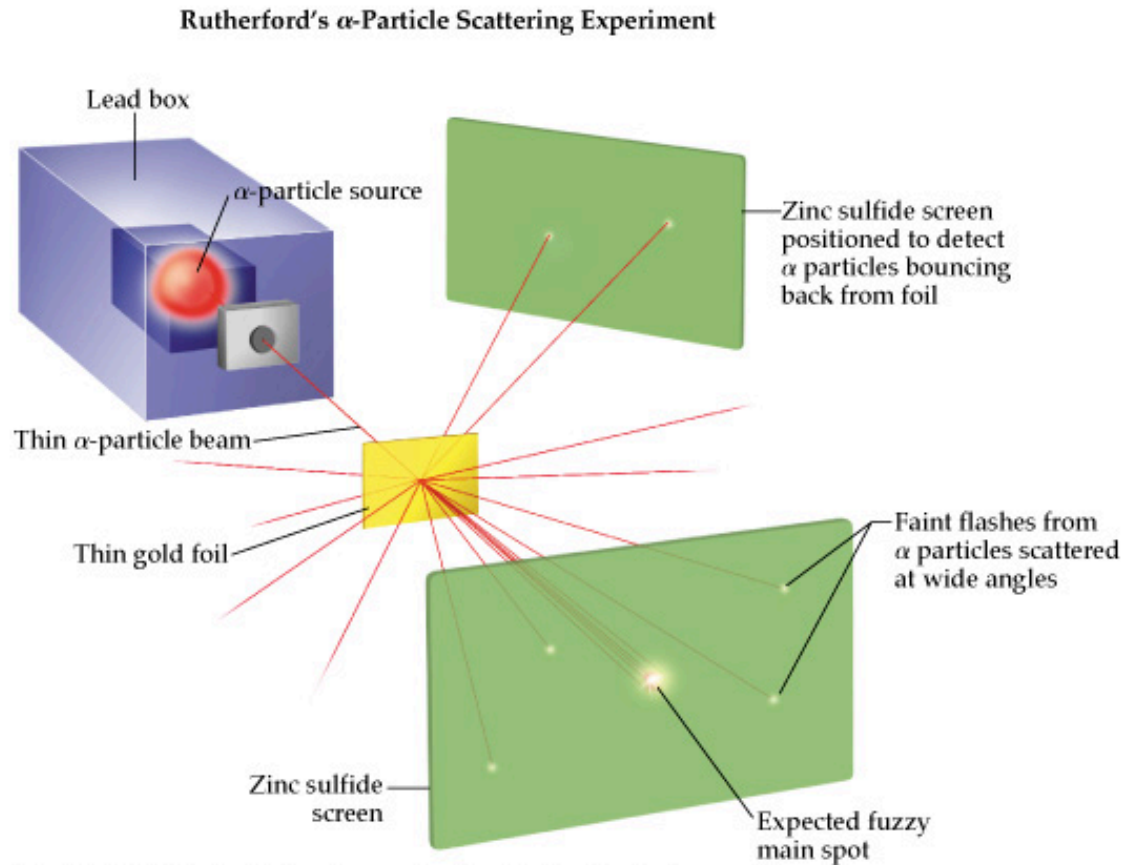
Program predmeta

Pregled literature

Sipanje delcev α na Au foliji



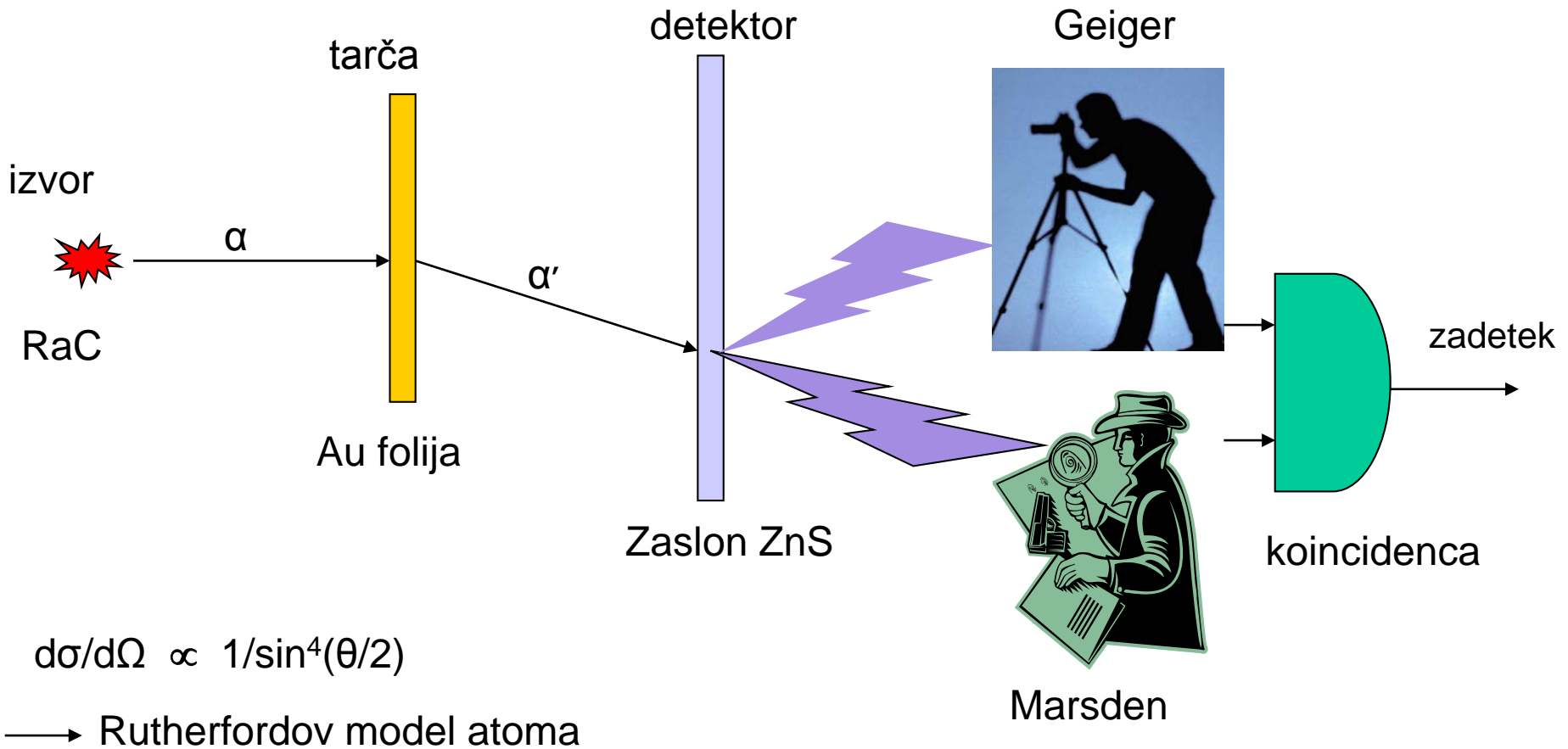
Rutherford, Geiger



Thomson: pozitivni naboj enakomerno porazdeljen po atomu \rightarrow vsi delci α se sipljejo pod majhnimi koti.

Poskus: precej delcev α se siplje **pod velikimi koti!**

1911 Rutherfordov eksperiment – prvi scintilacijski števec



Detekcija delcev

Delec detektiramo tako, da ga pustimo, da interagira s sredstvom v detektorju

Interakcijo nato zabeležimo (razvijemo filmsko emulzijo, fotografiramo mehurčke, obdelamo električni signal) in jo interpretiramo – rekonstruiramo reakcijo ('dogodek').

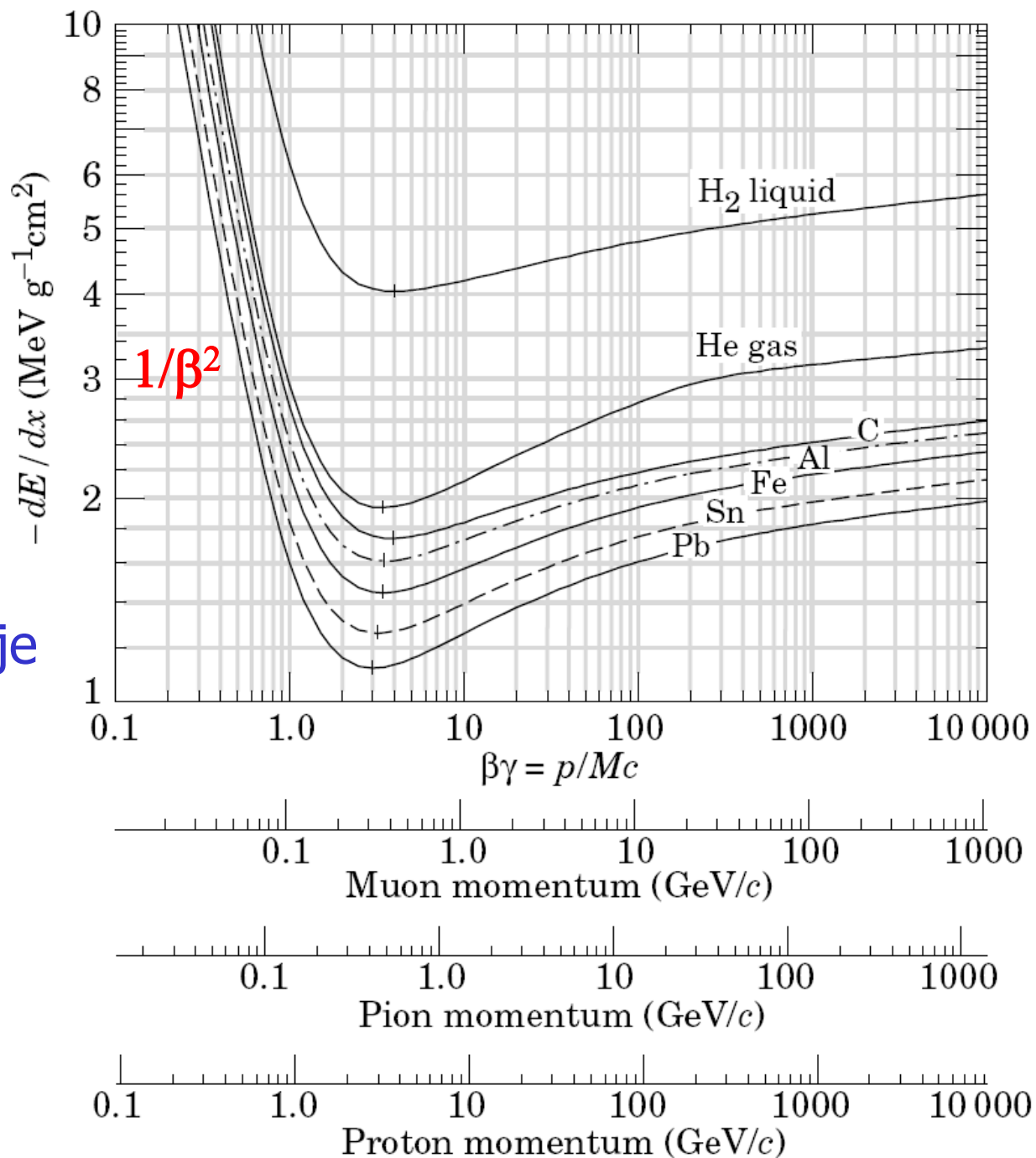
Energijske izgube na enoto poti: formula Betheja in Blocha

$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = 2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \gamma^2 \beta^2 W_{\max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 \right]$$

Detekcija delcev 2

Energijske izgube na enoto poti: formula Betheja in Blocha

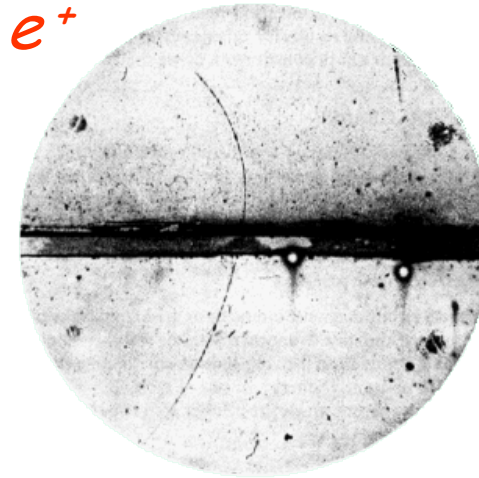
Za $\beta\gamma < 1$: $dE/dx \propto 1/\beta^2$
→ počasnejši delci izgubljajo več energije na enoto poti



Odkritje pozitrona



C. Anderson
(NN 1936)



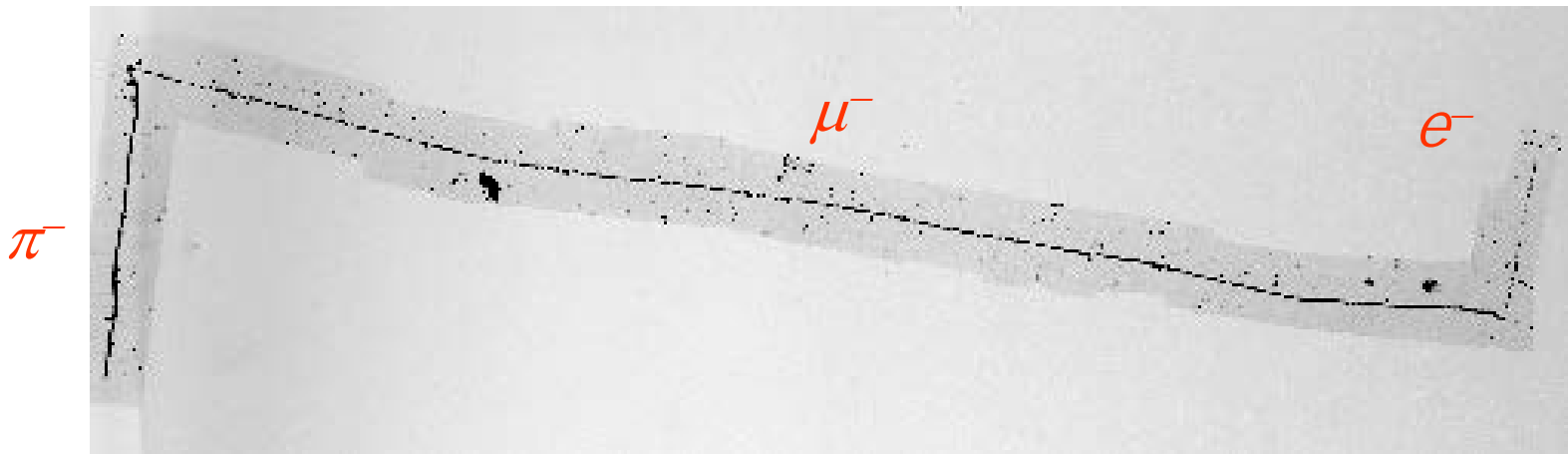
Nabit delec prečka ploščo iz Pb

Naboj: predznak iz ukrivljenosti v B (B kaže v sliko)

Masa: iz gibalne količine – polmer kroga - in hitrosti (to pa ocenimo iz izgube ΔE pri preletu svinca)

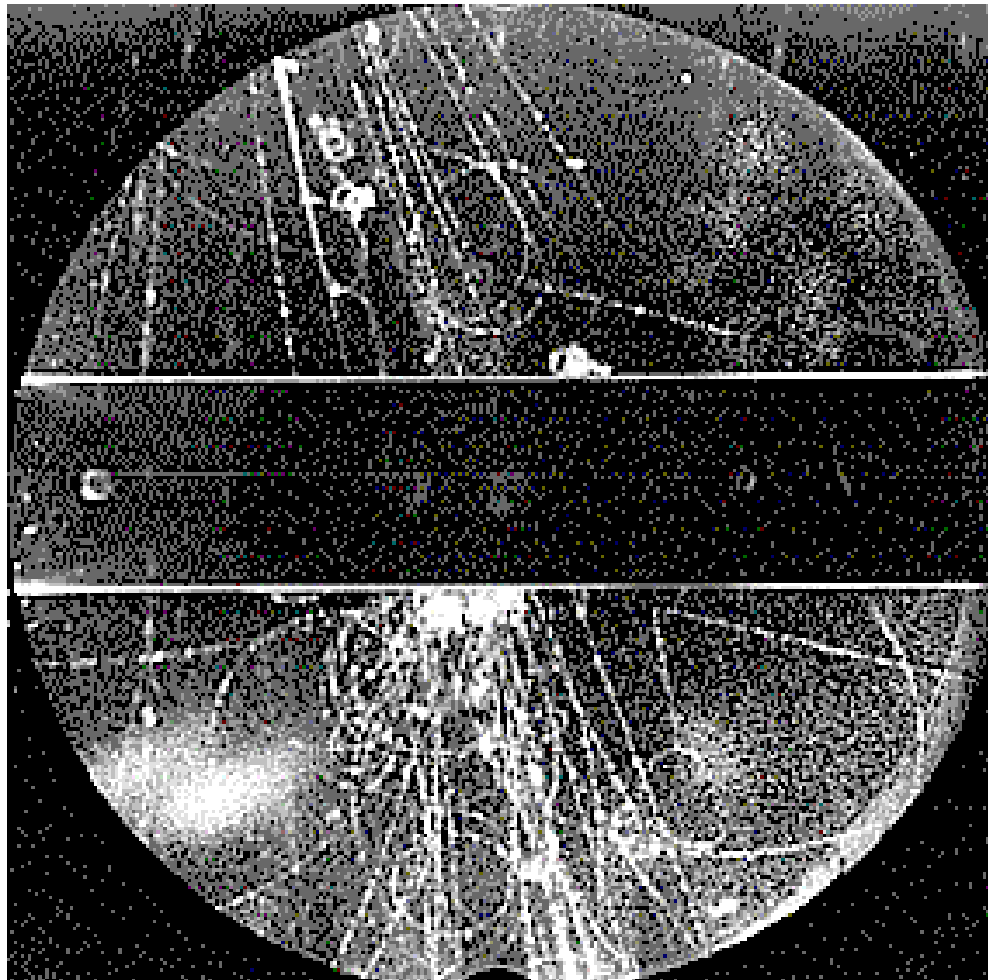
Odkritje piona

C. Powell: fotografska emulzija, odkritje π (1947)
(NN 1950)



Pravilno zaporedje: počasnejši delci izgubljajo več energije \rightarrow
puščajo debelejšo sled

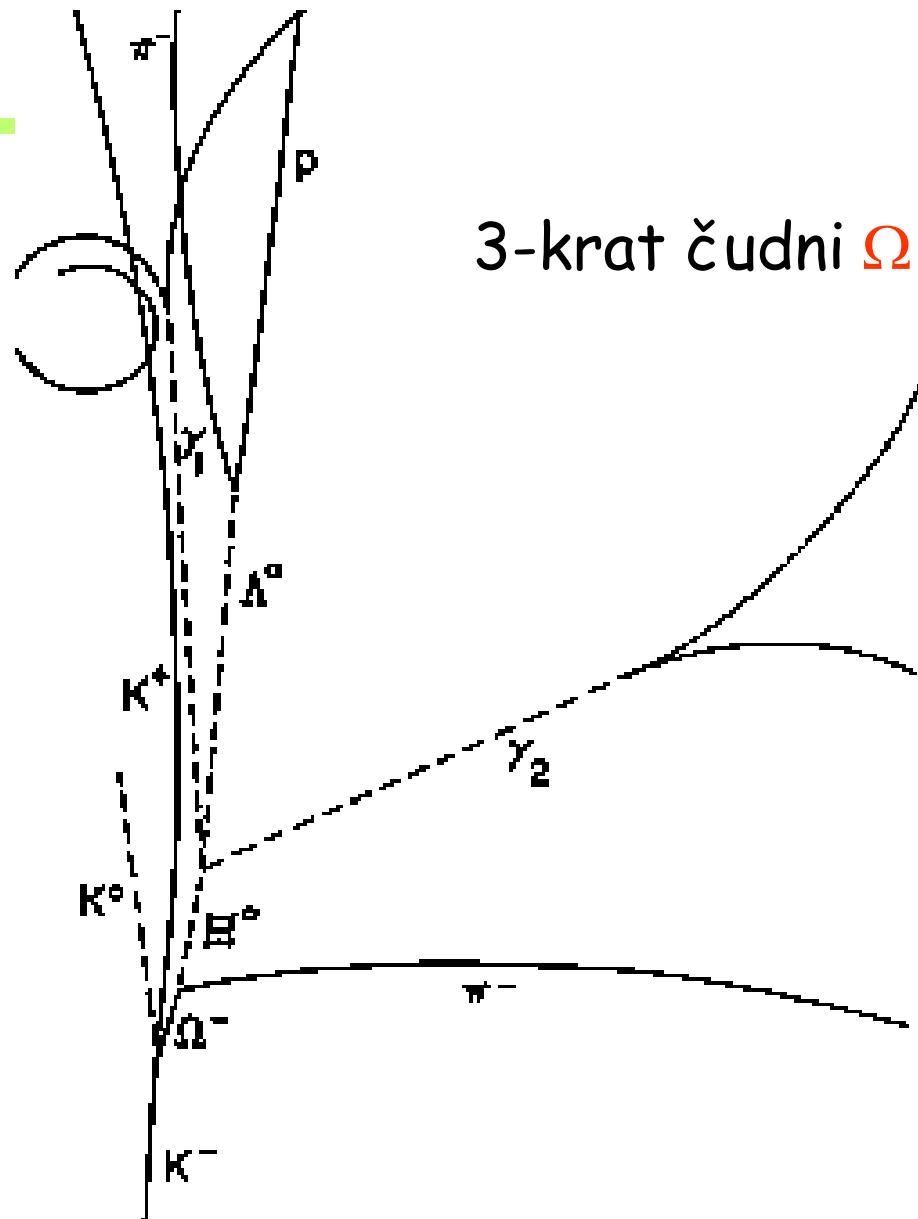
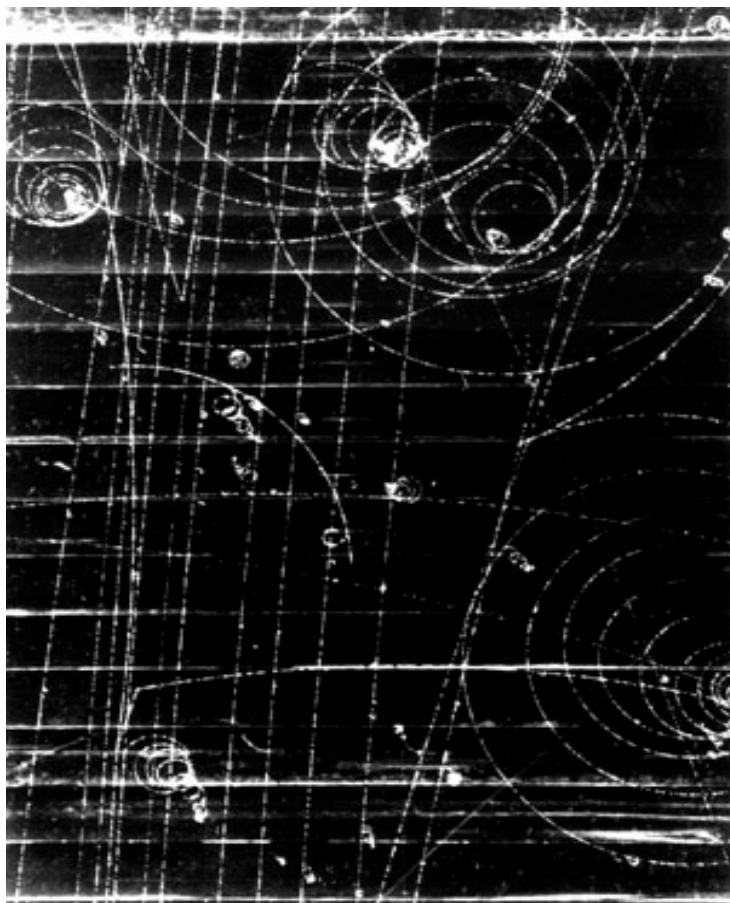
Odkritje kaonov



svinčna plošča



Rochester, Butler (1947)

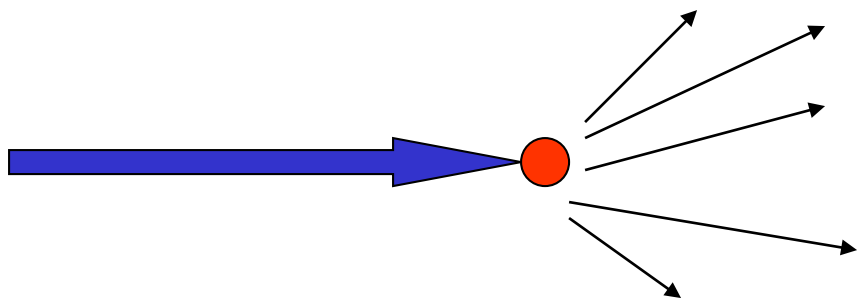


Poskusi v fiziki osnovnih delcev

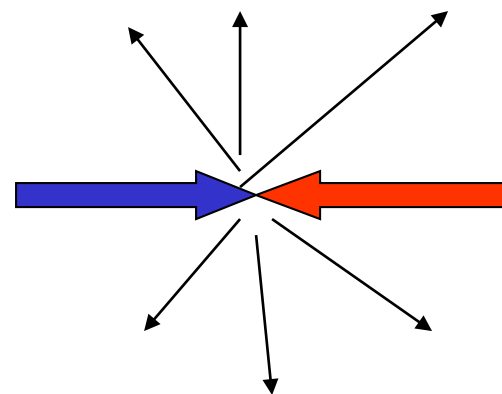
Pospešimo osnovne delce, pri trku se sprosti energija, ta se pretvori v materijo – delce, od katerih so nekateri neobstojni.

Dva načina trkanja:

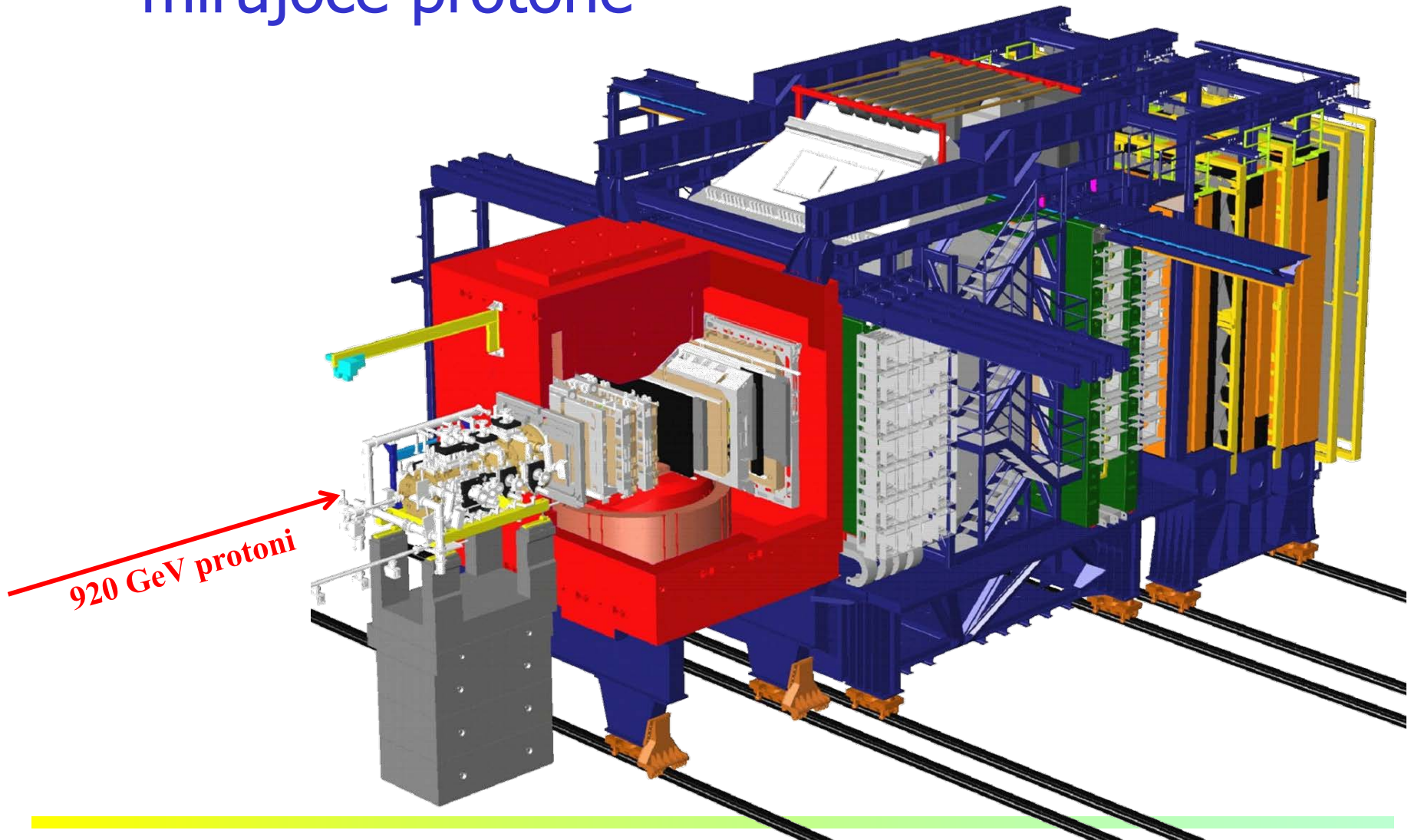
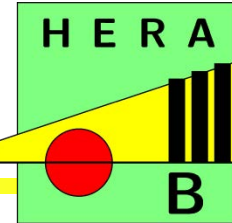
Poskusi s fiksno tarčo



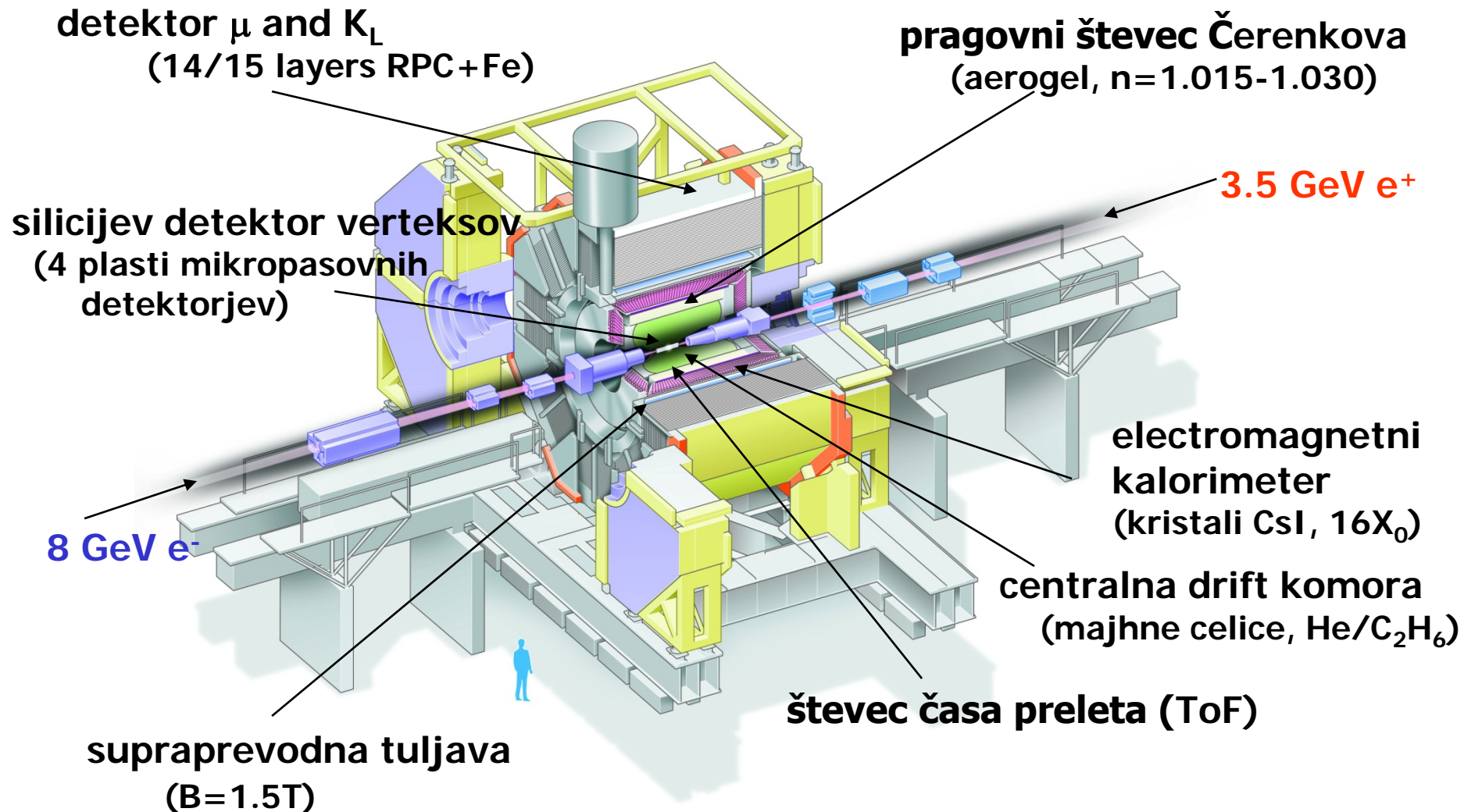
Trkalnik




Poskus HERA-B: trki pospešenih protonov v mirujoče protone



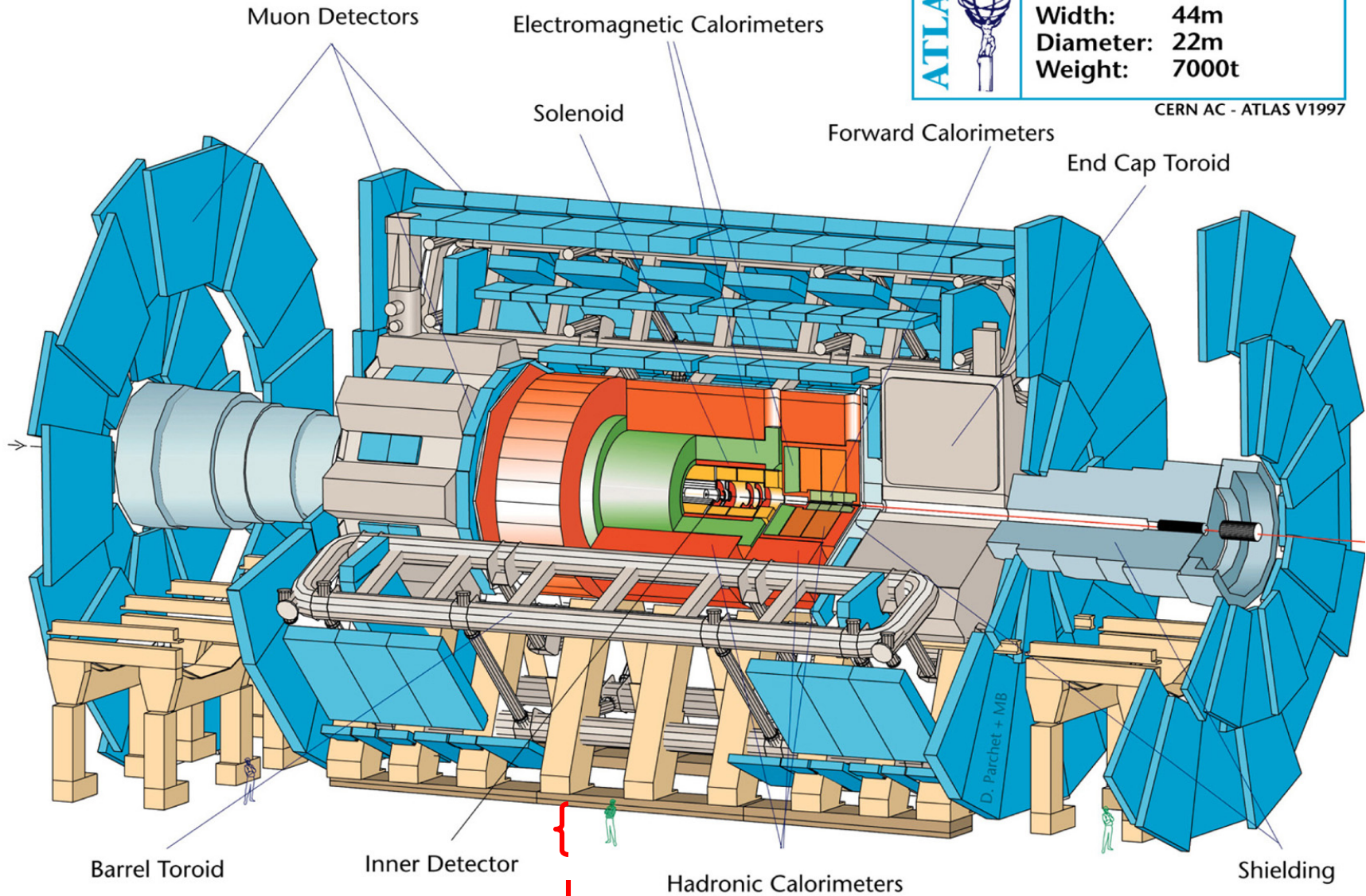
Spektrometer Belle



Detektor ATLAS ob LHC

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

CERN AC - ATLAS V1997



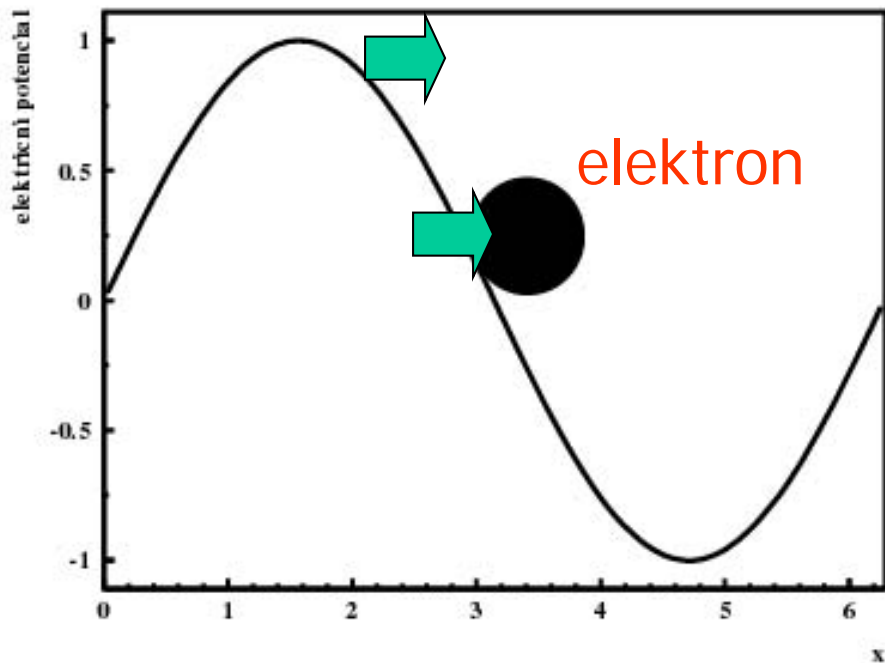
možak..tukaj...

1. oktobra

Peter Križan

Kako pospešujemo nabite delce?

- Pospeševanje z elektromagnetnim valovanjem (tipična frekvenca 500 MHz – mobilni telefoni delujejo pri 900 oz. 1800 MHz)
- Valovanje v radifrekvenčni votlini: $c < c_0$



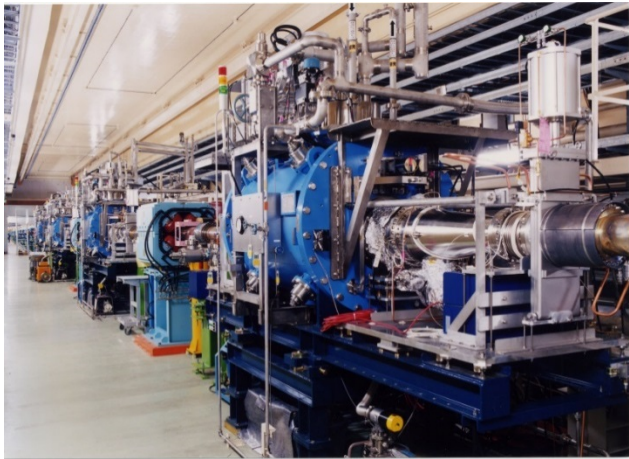
... podobno deskanju na valovih

Trkalnik KEK-B in detektor Belle v Tsukubi

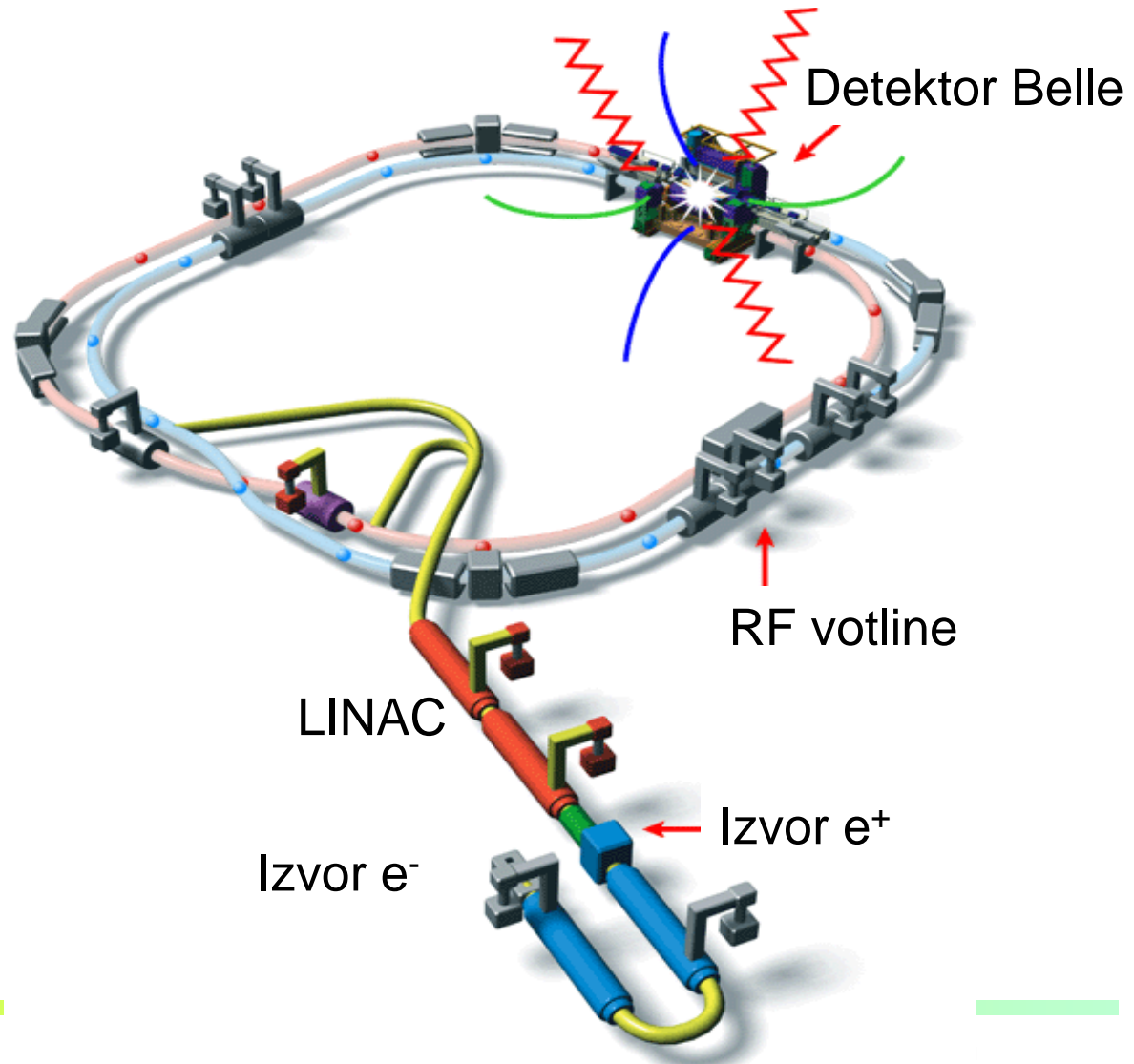


Trkalnik KEK-B

pospešuje elektrone in pozitrone do trka



Del obroča trkalnika:
magneti in
pospeševalni elementi



Primerjava dveh 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

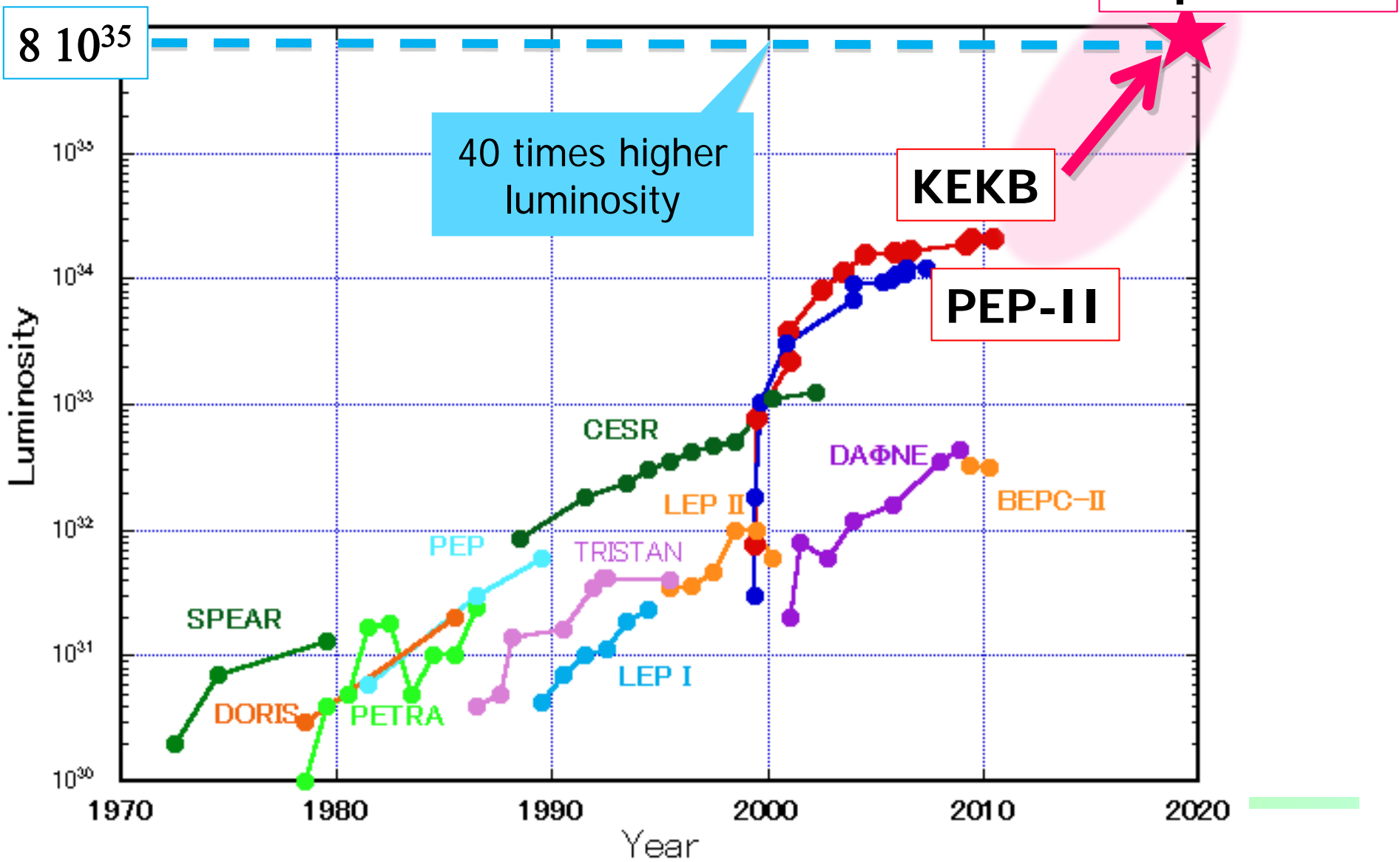


Belle II

Need $O(100x)$ more data \rightarrow Next generation B-factories

Peak Luminosity Trends (e^+e^- collider)

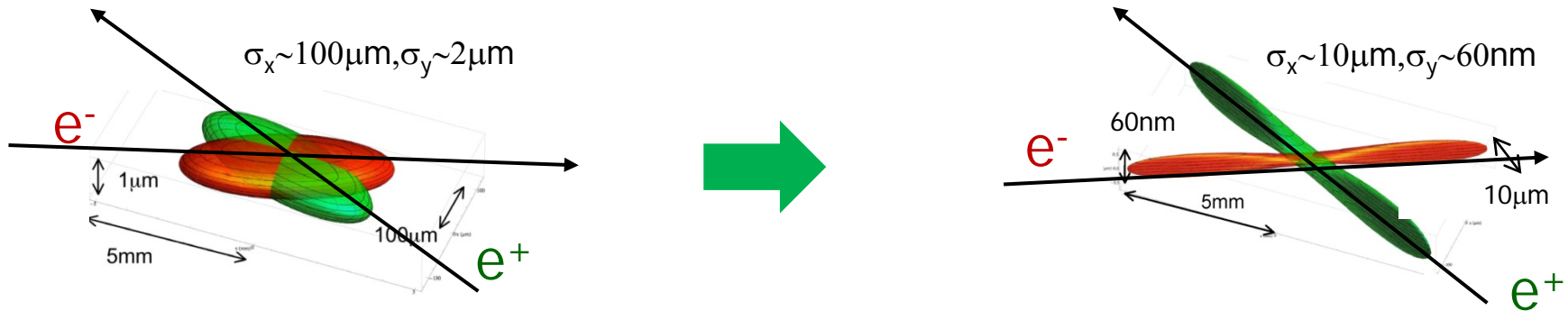
SuperKEKB



How big is a nano-beam ?

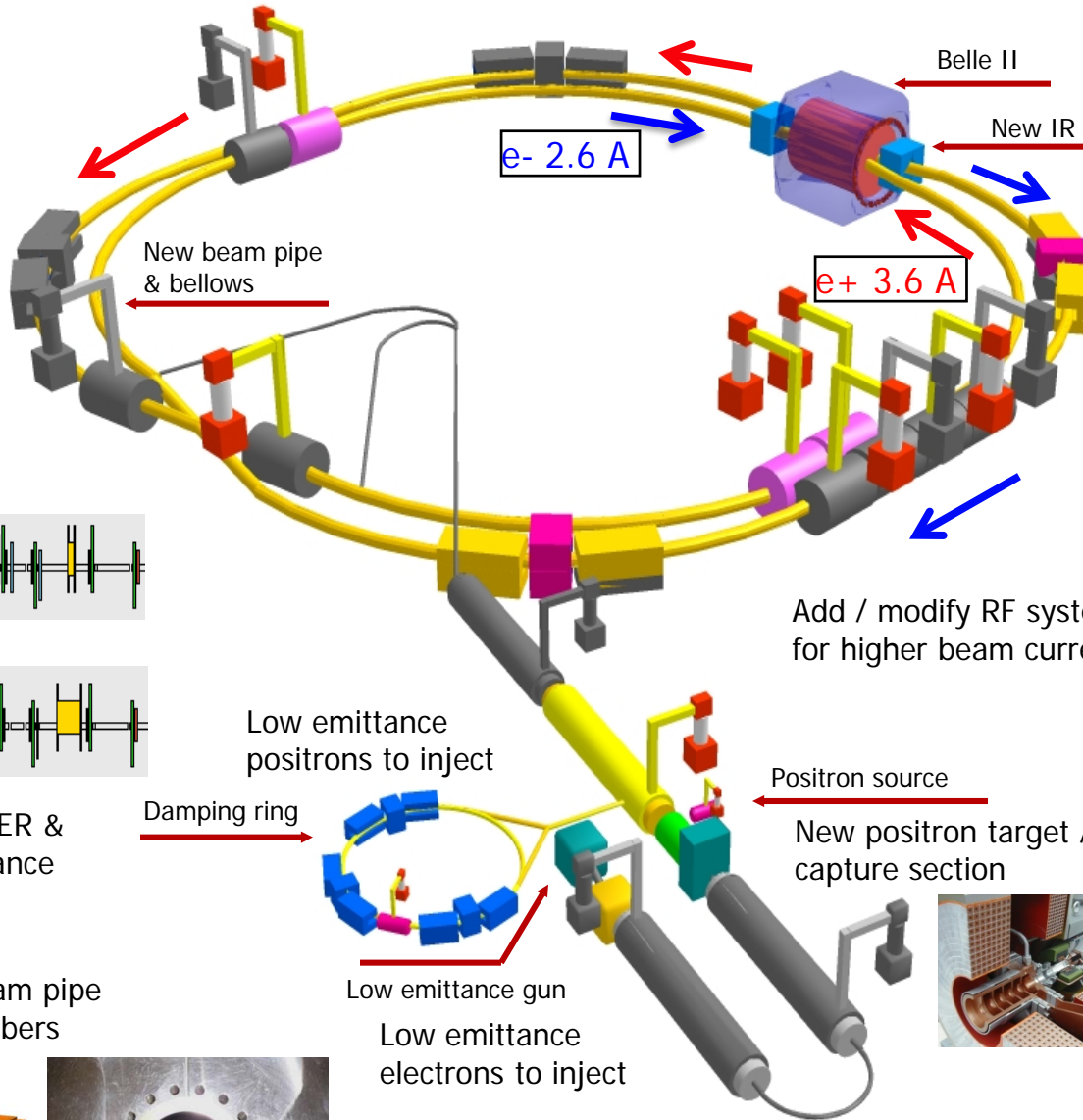
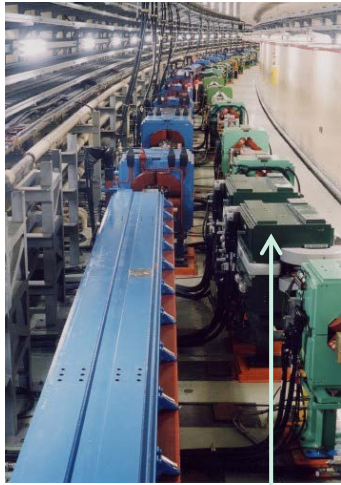
How to go from an excellent accelerator with world record performance – KEKB – to a 40x times better, more intense facility?

In KEKB, colliding electron and positron beams are **much thinner than a human hair...**



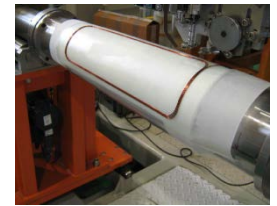
... For a 40x increase in intensity you have to make the beam as thin as a **few x100 atomic layers!**

KEKB → SuperKEKB

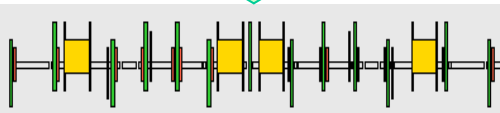
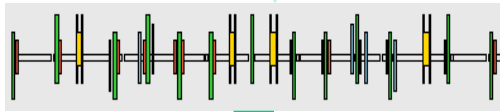


Colliding bunches

New superconducting / permanent final focusing quads near the IP



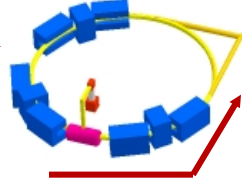
Replace short dipoles with longer ones (LER)



Add / modify RF systems for higher beam current

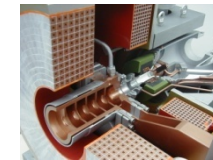
Low emittance positrons to inject

Damping ring



Positron source

New positron target / capture section

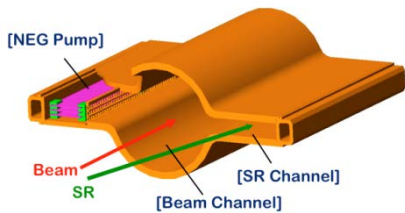


Low emittance gun

Low emittance electrons to inject

Redesign the lattices of HER & LER to squeeze the emittance

TiN-coated beam pipe with antechambers

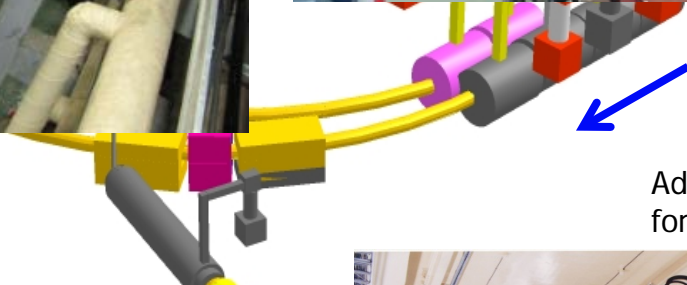


To get x40 higher luminosity

Installation of 100 new long LER bending magnets

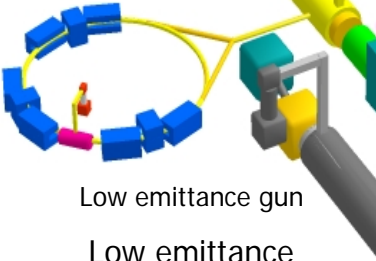


Installation of HER wiggler chambers



Add / modify RF systems for higher beam current

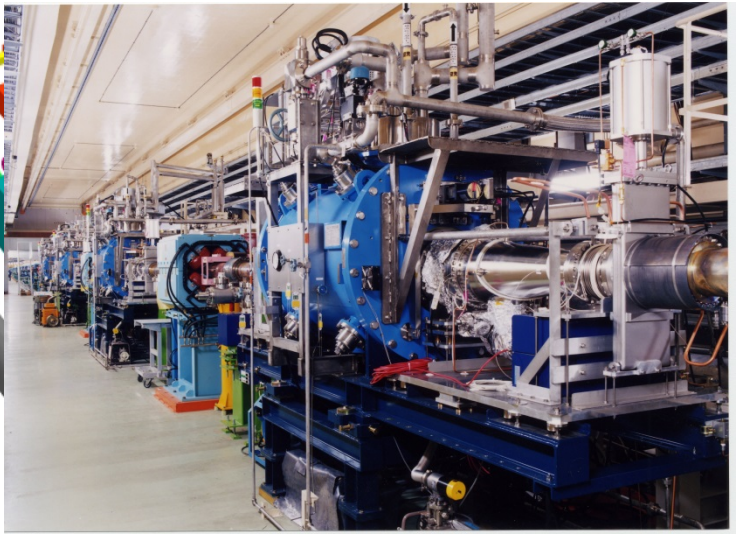
Low emittance positrons to inject



Low emittance gun

Low emittance electrons to inject

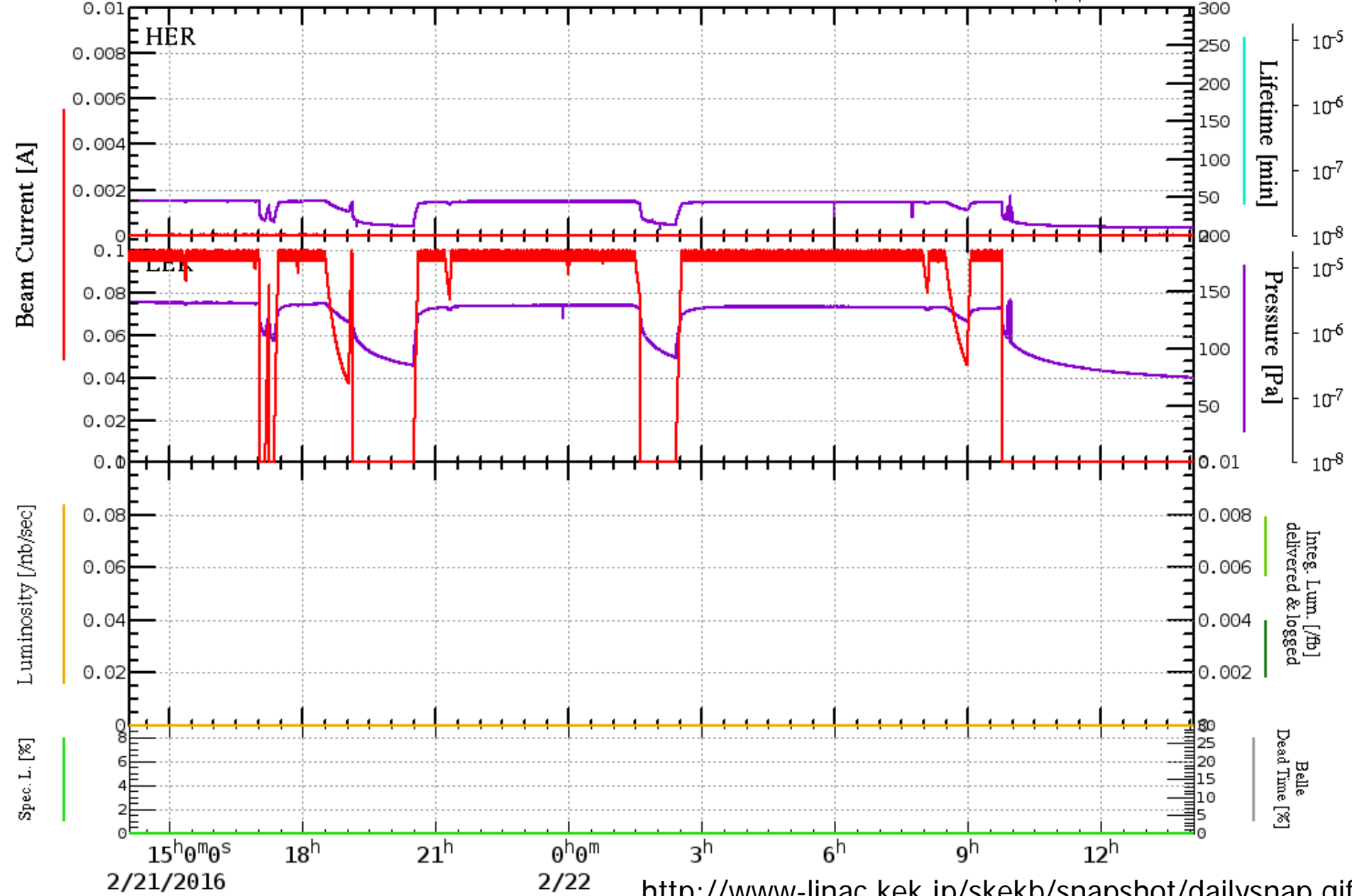
Damping ring tunnel



HER .000 [A] 1182 [bunches]
 LER .000 [A] 1181 [bunches] Vacuum Scrubbing
 Luminosity .000 (now) .000 (peak in 24H @1:40) [/nb/sec]
 Integ. Lum. .0 (Fill) .0 (Day) .0 (24H) [/pb]

2/8 We will start LER commissioning.
 2/9 We got 130 turns of the positron beam in LER.
 2/10 Positron beam was stored in LER.

2/22/2016 14:05 JST



Kako ugotovimo, kaj se je zgodilo pri trku?

- Izmerimo koordinato točke (verteksa), kjer je potekla reakcija: izmerimo položaj in smer sledi nabitih delcev v bližini te točke.
- Izmerimo gibalno količino nabitih delcev: v močnem magnetnem polju ($\sim 1\text{T}$) izmerimo ukrivljenost sledi, ki jo pustijo nabiti delci.
- Določimo identiteto nabitih delcev (e, μ, π, K, p)
- Izmerimo energijo visokoenergijskih fotonov γ

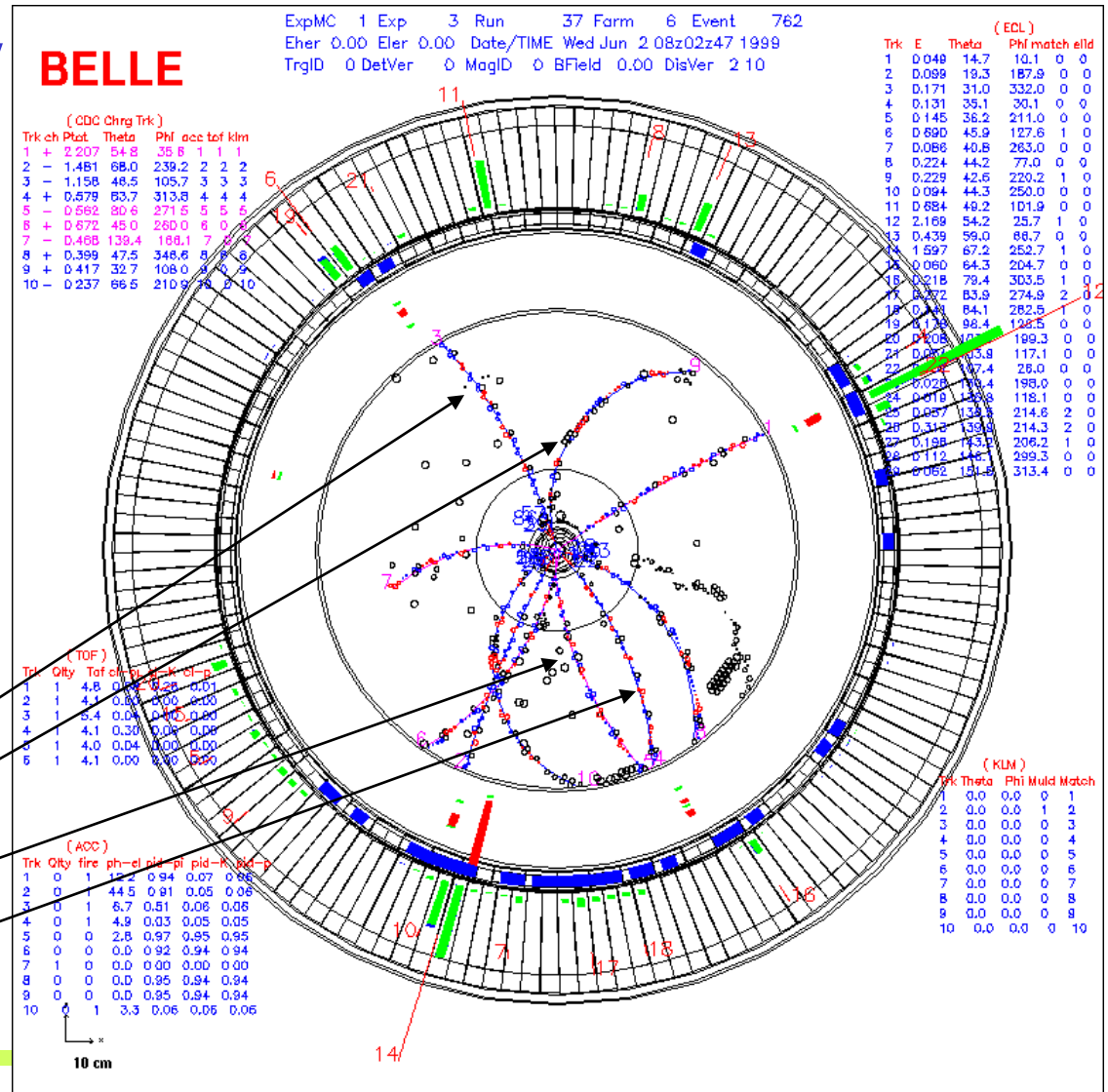
Kaj izmerimo z detektorjem?

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

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

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

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



Kaj izmerimo z detektorjem? -2

Kako vemo, da je potekla spodnja reakcija?

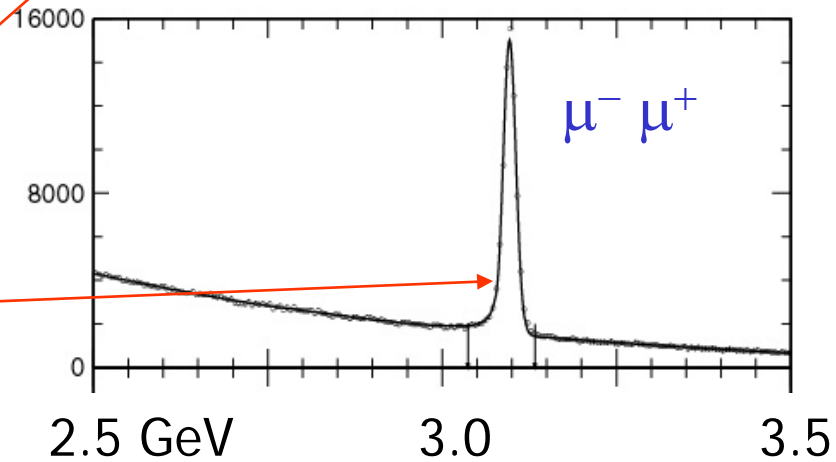
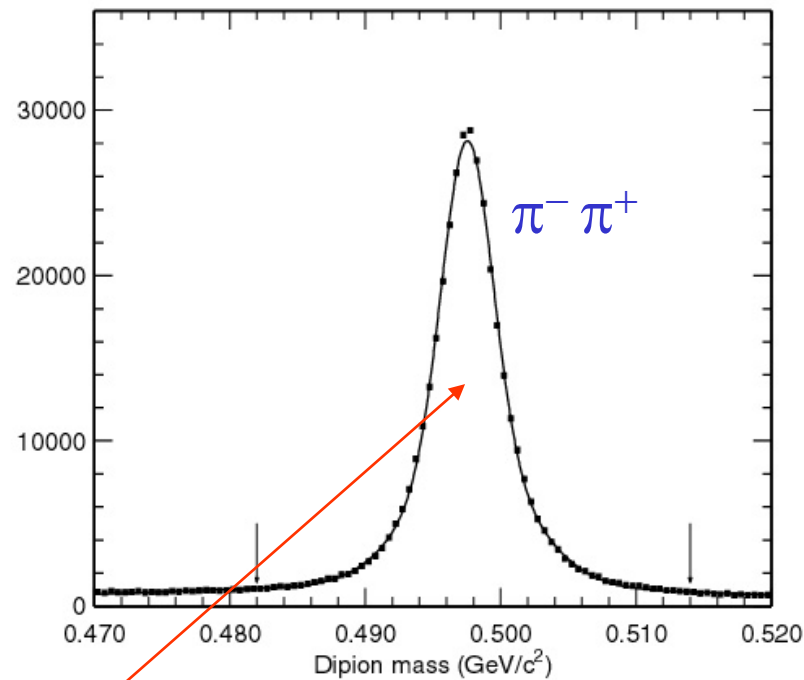


Za pare $\pi^- \pi^+$ in $\mu^- \mu^+$ izračunamo invariantno maso:

$$M^2 c^4 = (E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2$$

$M c^2$ mora biti za K_S^0 blizu 0.5 GeV
za J/ψ pa blizu 3.1 GeV.

Ostalo: naključne kombinacije.

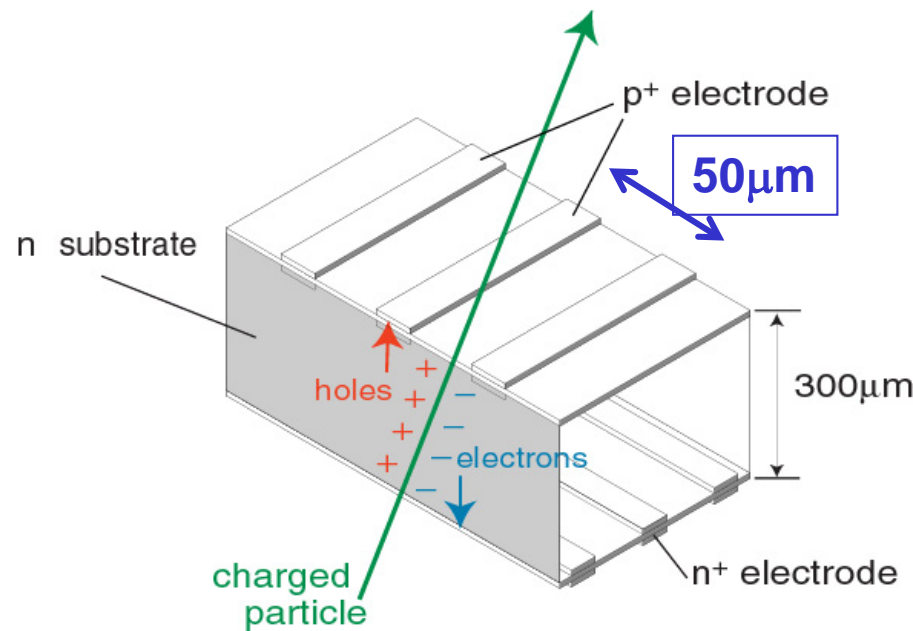
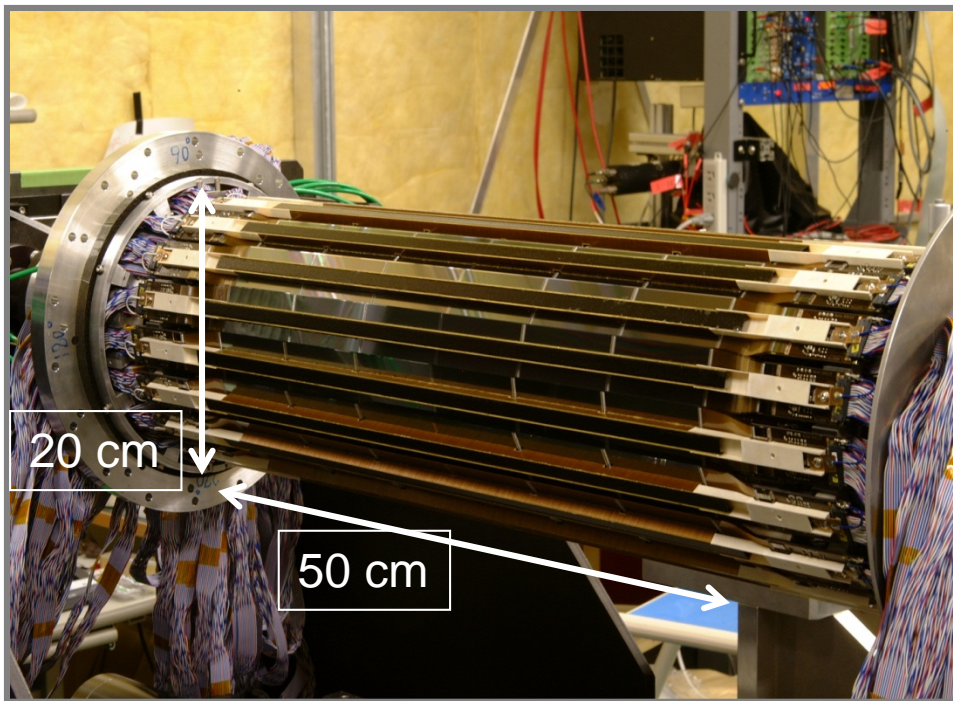


Detektor verteksov

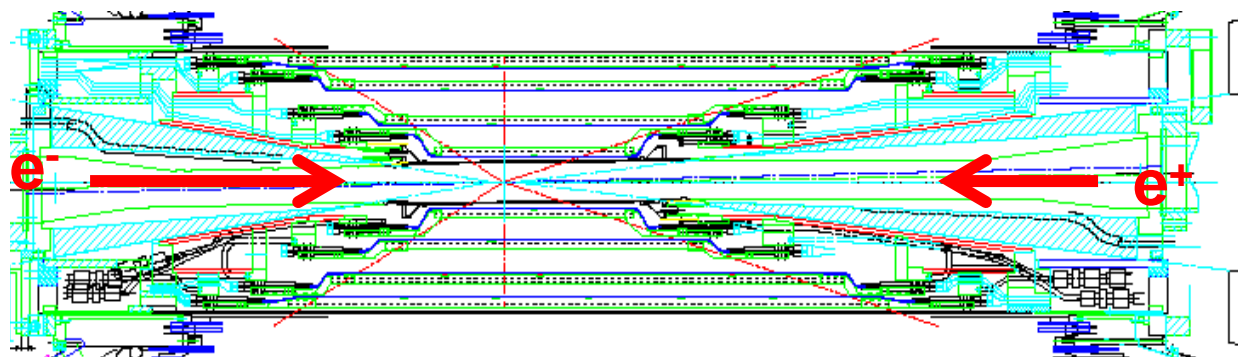
- Eden bistvenih elementov detektorja je detektor verteksa, točke, kjer je mezon B razpadel.
- Zelo občutljiv kos aparature iz $300\mu\text{m}$ debelih silicijevih plošč z gosto nanešenimi elektrodami: natančnost meritve mesta preleta nabitega delca: $10\mu\text{m}$!



Silicijev detektor verteksov



Dve koordinati merimo istočasno (na spodnji in zgornji površini).

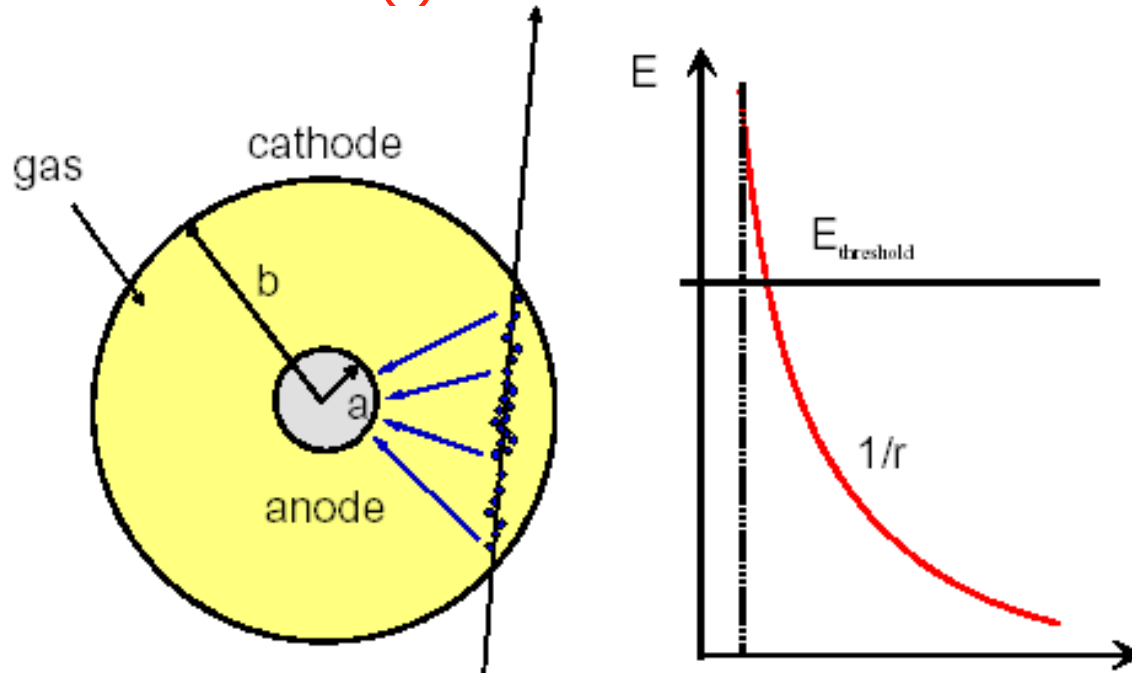


Sledenje delcev v plinu: drift komora

Izkoriščamo ionizacijske izgube nabitih delcev v plinu.

Sproščeni elektroni (iz para elektron-ion) potujejo proti pozitivno nabiti tanki žici, ob površini pomnoževanje → električni signal.

V bližini tanke nabite žičke: $E = E(r) \propto 1/r$

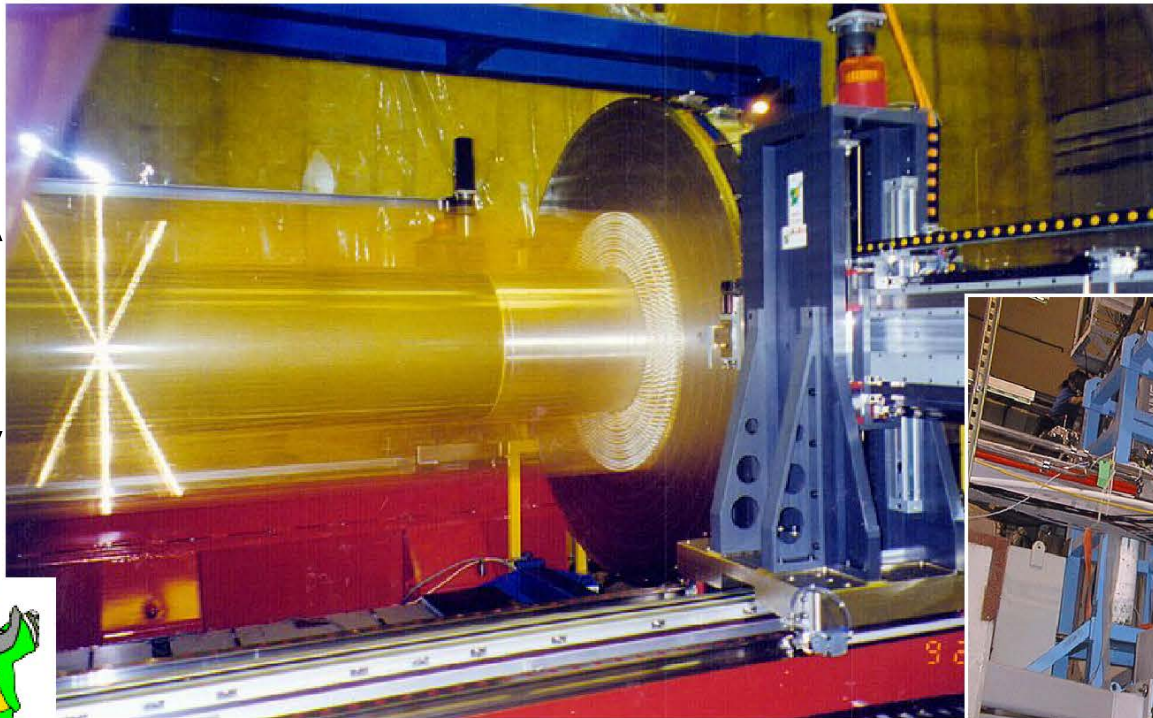


Če elektron na prosti pot l dobi dovolj energije ($eEl > E_{\text{ionizacija}}$), izbije pri trku z atomom elektron → pomnoževanje

Sledenje delcev: drift komora

40 plasti žic, plinska mešanica recimo He-izobutan ali He-etan.

~4m

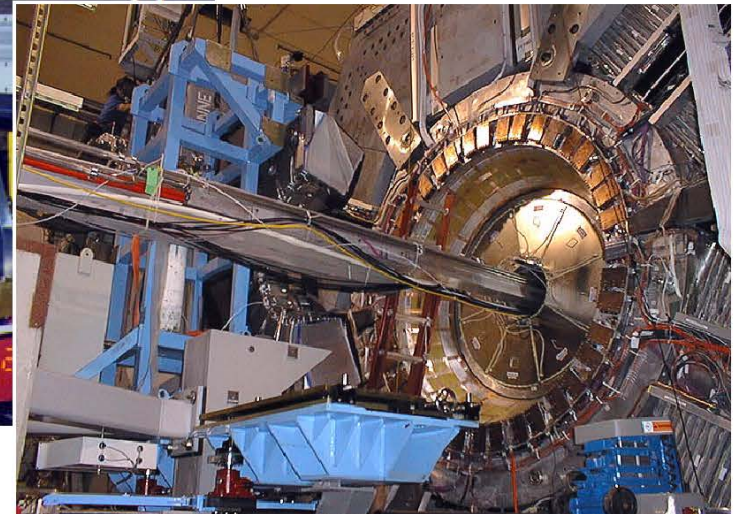


~2m



16 axial, 24 stereo layers

$$\frac{\sigma(p_T)}{p_T} = 0.13\% \times p_T + 0.45\%$$



Identifikacija nabitih delcev

Delce identificiramo po njihovi **masi**. Kako določiti maso brez tehtanja?

→ Iz zveze med gibalno količino in hitrostjo: $p = \gamma m v$

Ločeno izmerimo

- gibalno količino **p** (ukrivljenost tira v magnetnem polju)
- hitrost **v**

čas preleta (\sim štoparica)

ionizacijske izgube (odvisne od hitrosti) →

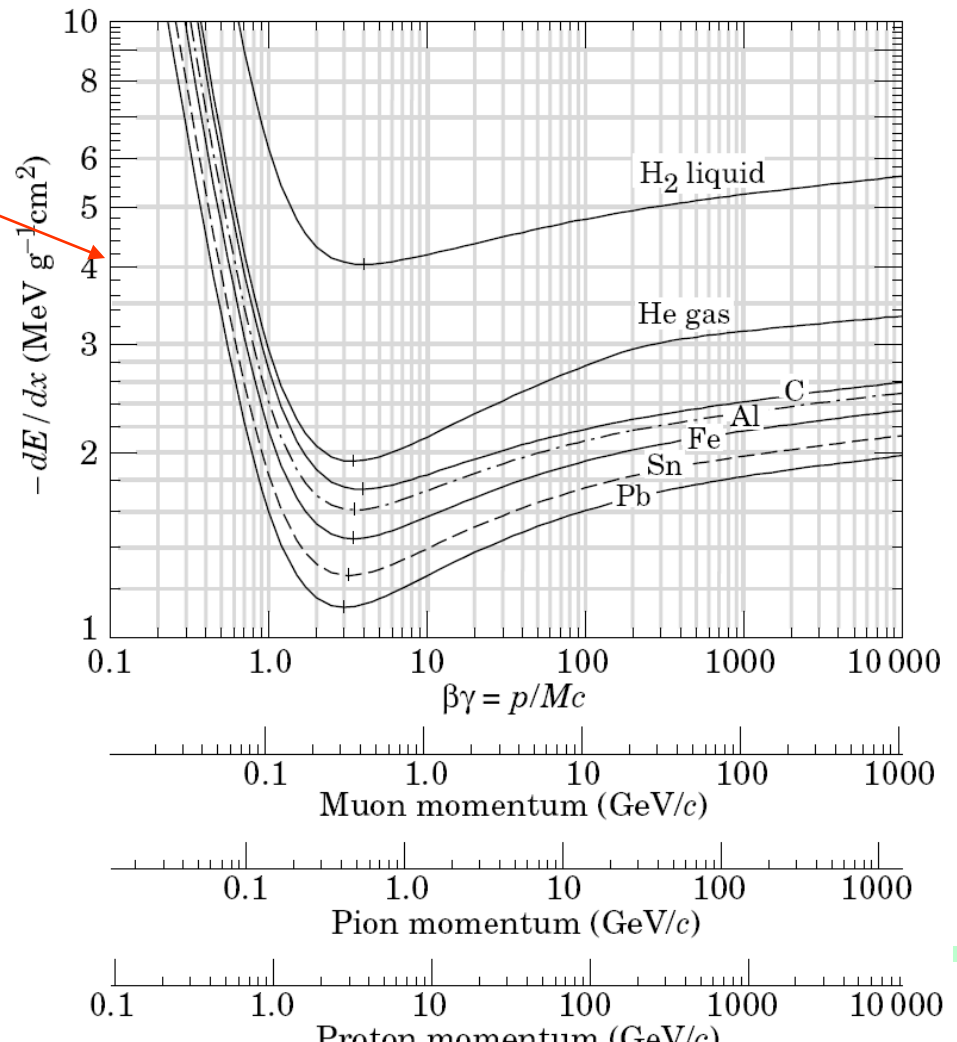
velikost kota Čerenkova →

Identifikacija z meritvijo energijskih izgub (dE/dx)

Pri dovolj majhni hitrosti β

$$dE/dx \sim \beta^{-2}$$

dE/dx : merimo energijske izgube v veliki drift komori

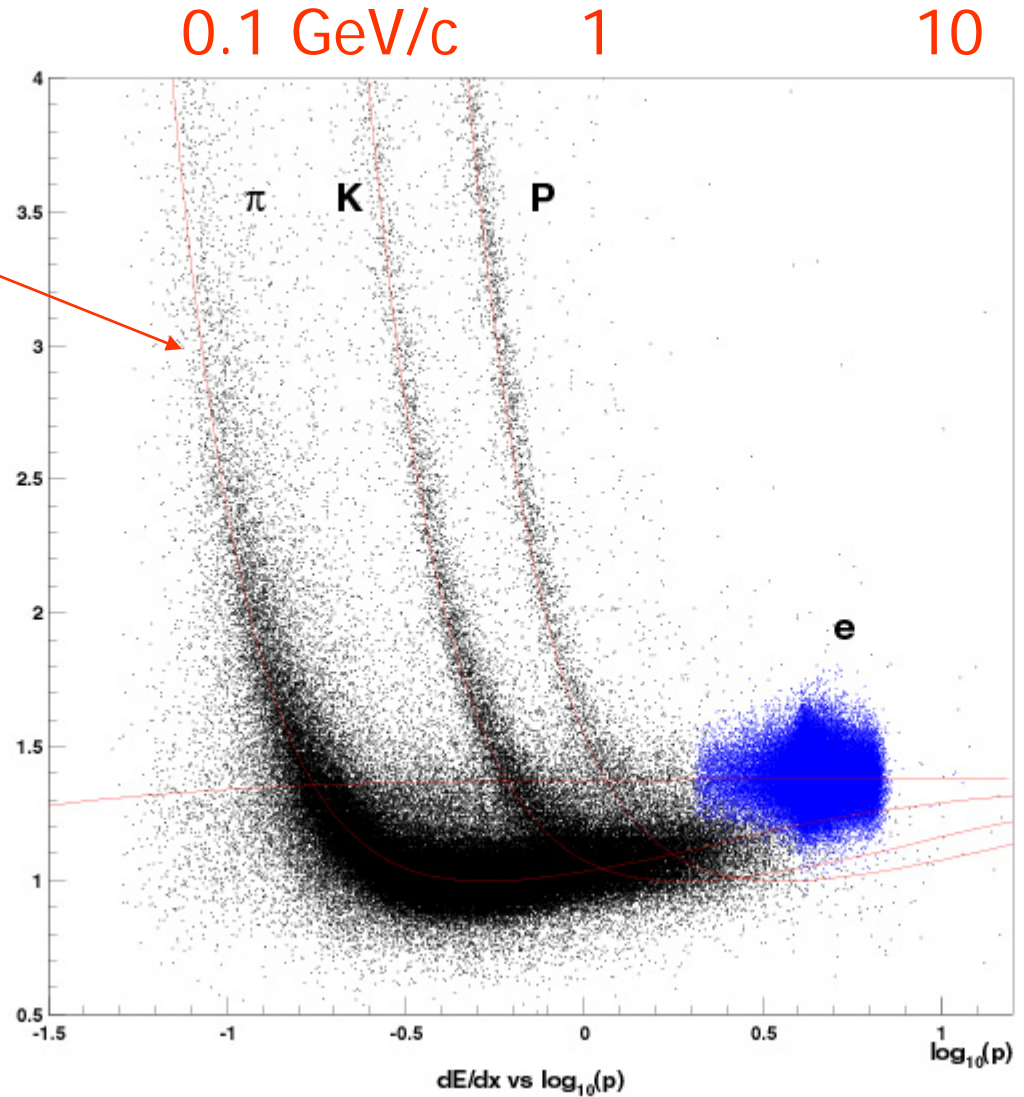


Identifikacija z meritvijo energijskih izgub (dE/dx)

Pri dovolj majhni hitrosti β
 $dE/dx \sim \beta^{-2}$

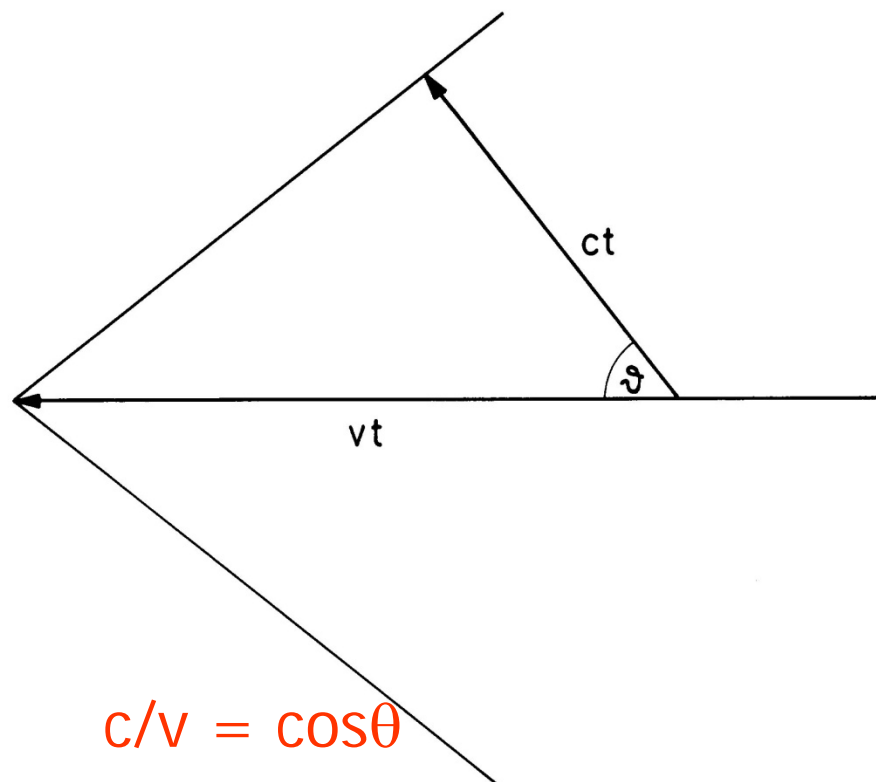
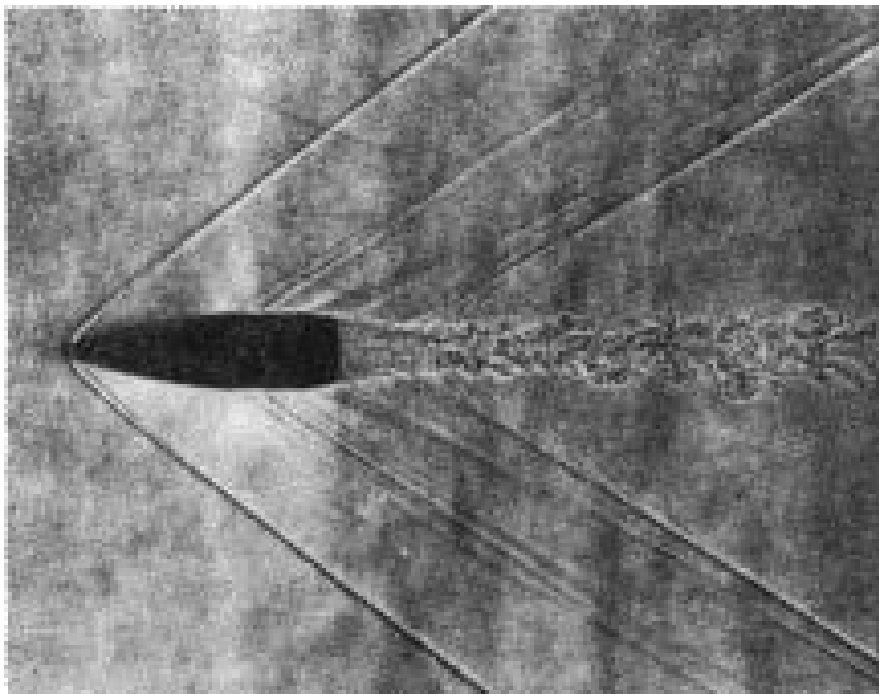
dE/dx izgube v veliki drift
komori \rightarrow

Bistveno za identifikacijo
nabitih delcev pri
 $p < 1 \text{ GeV}/c$



Identifikacija preko sevanja Čerenkova

Fronta pri nadzvočnem letu



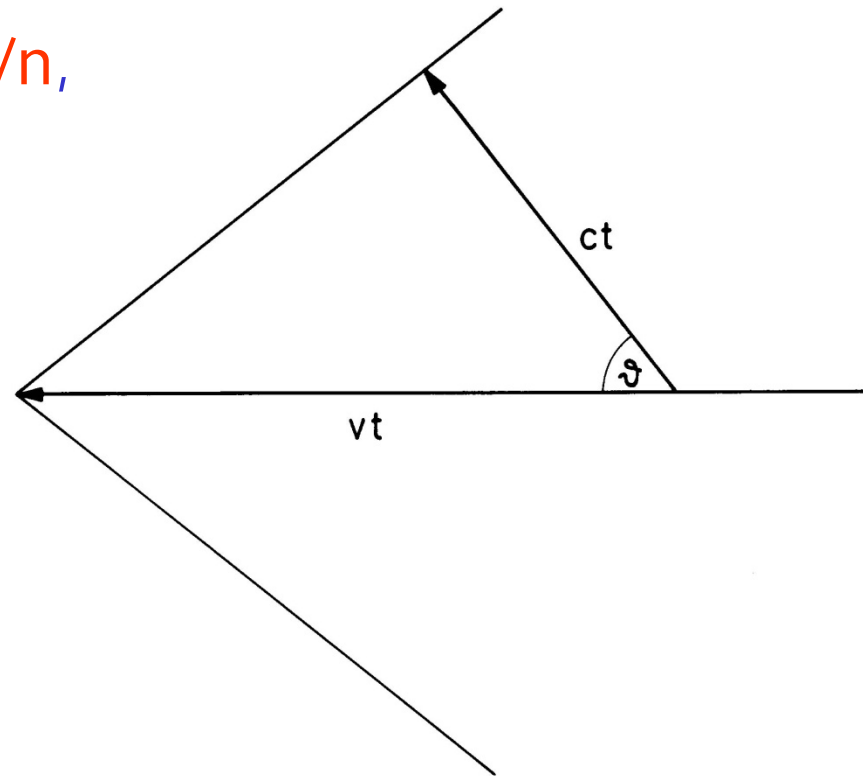
Na sliki: kot 52° , $v = c/\cos\theta = 340\text{m/s} / \cos 52^\circ = 552\text{m/s}$
Iz kota fronte določimo hitrost krogle!

Sevanje delca, ki leti hitreje od svetlobne hitrosti v sredstvu

Nabiti delci s hitrostjo $v > c = c_0/n$, sevajo: sevanje Čerenkova*.

Ponovno: $c/v = \cos\theta$

Iz kota, pod katerim je izsevana svetloba, lahko določimo hitrost delca.

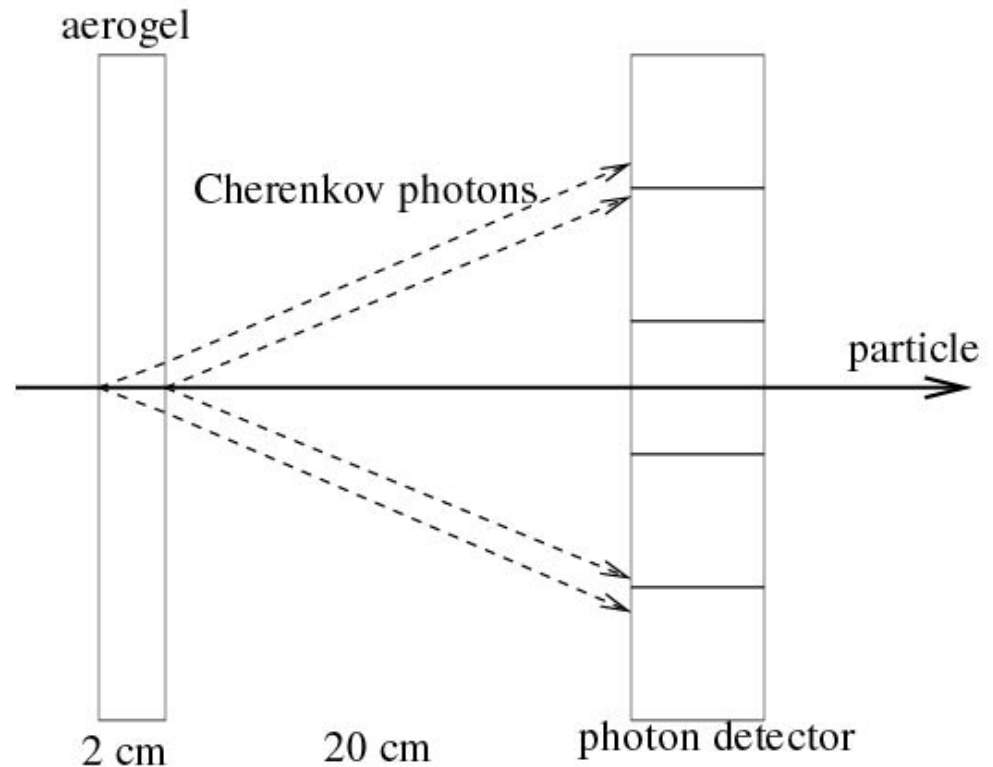


*P. Čerenkov, Nobelova nagrada 1958

Meritev kota Čerenkova

Nabit delec prečka sredstvo z lomnim količnikom $n \rightarrow$ seva svetlobo Čerenkova, to pa zaznamo z detektorji (fotopomnoževalkami).

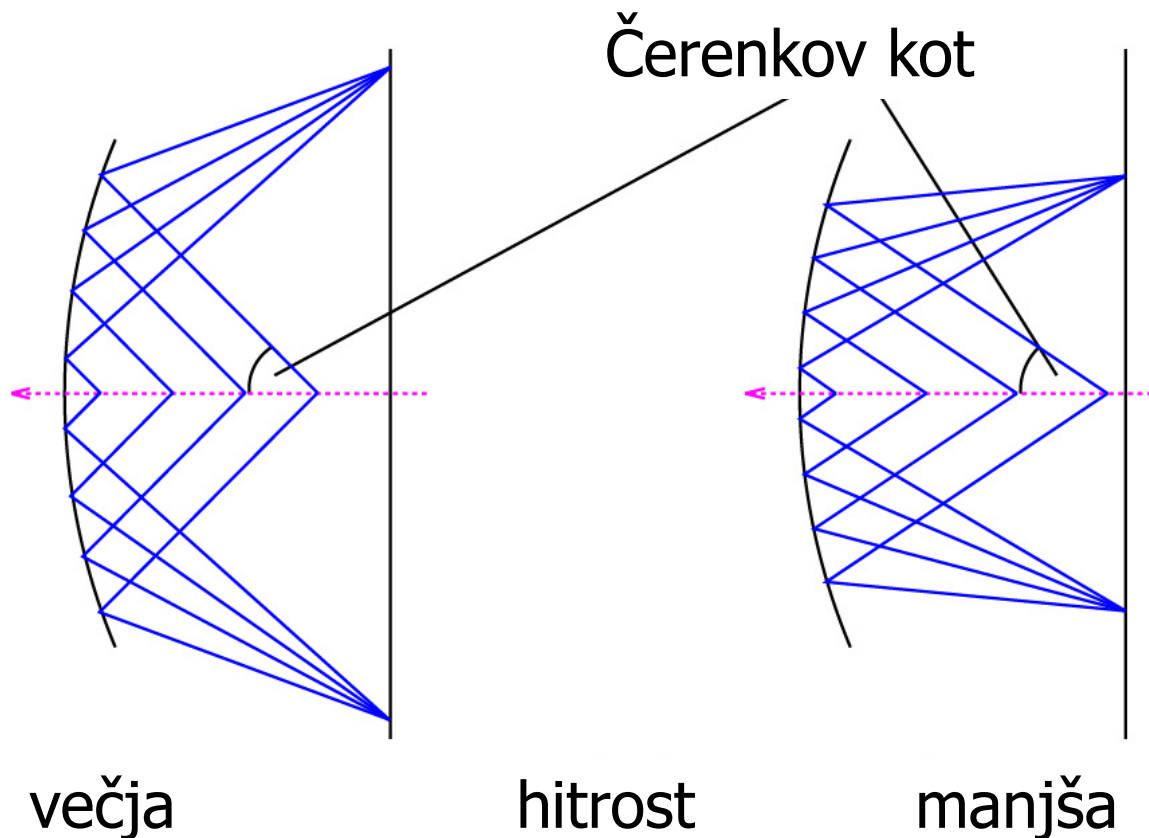
Smer sevanja (fotonov) določimo iz znane točke izseva in izmerjene točke detekcije.

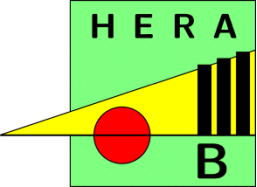


Detektor Čerenkovih obročev 2

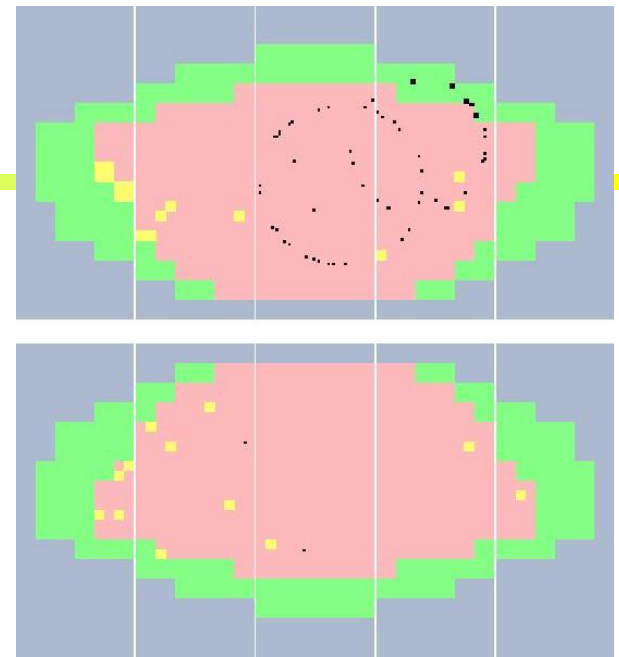
Druga možnost – debel sevalec: pretvoriti smer v koordinato.

Uporabimo sferično zrcalo: paralelni žarki se sekajo v goriščni ravnini.

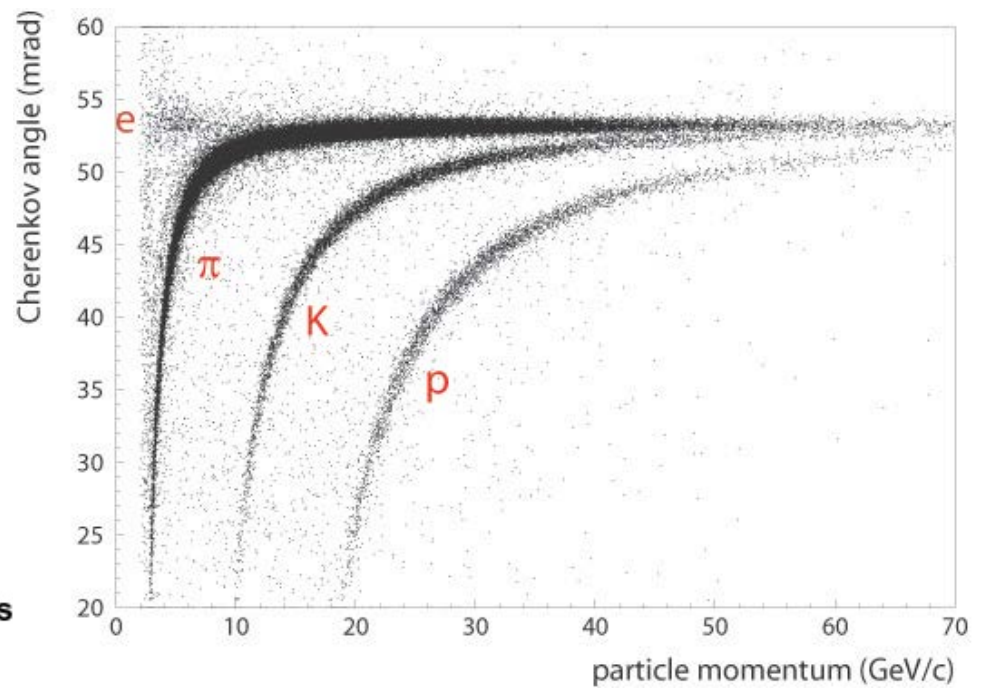
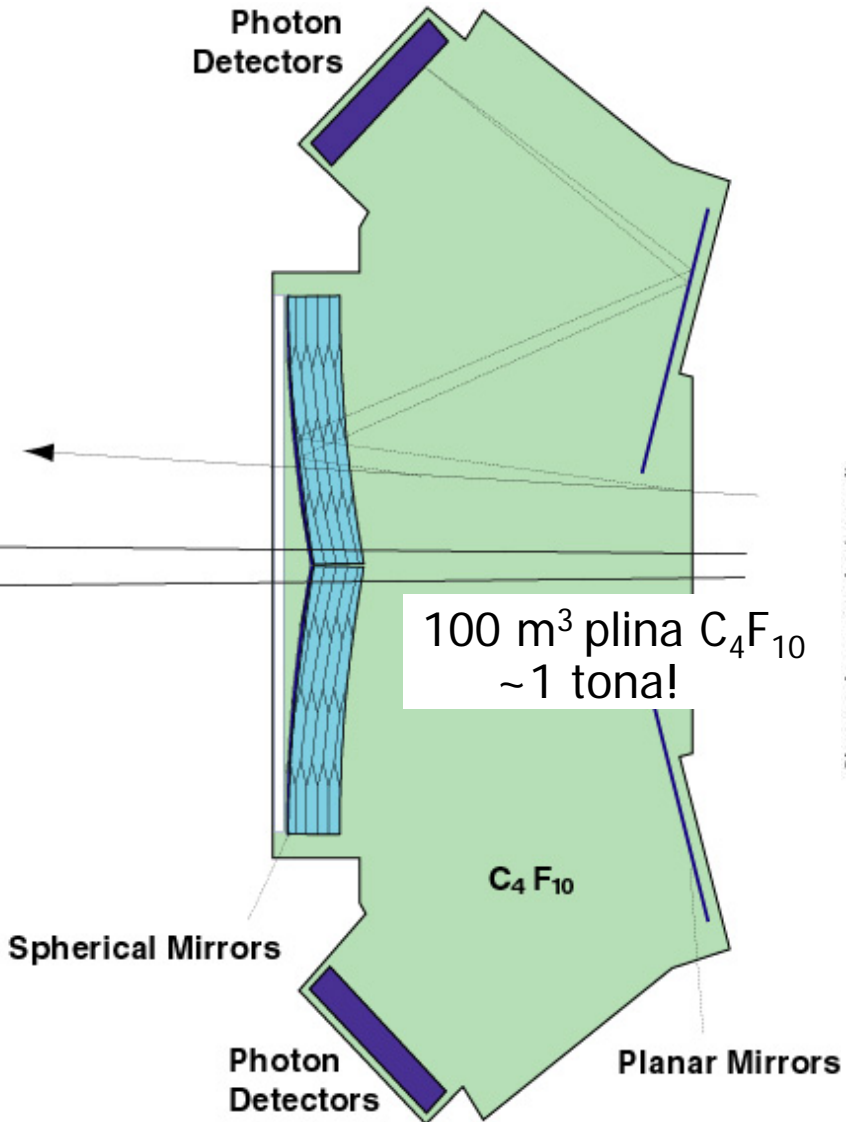




HERA-B RICH



Photon Detectors



Identifikacija nabitih delcev

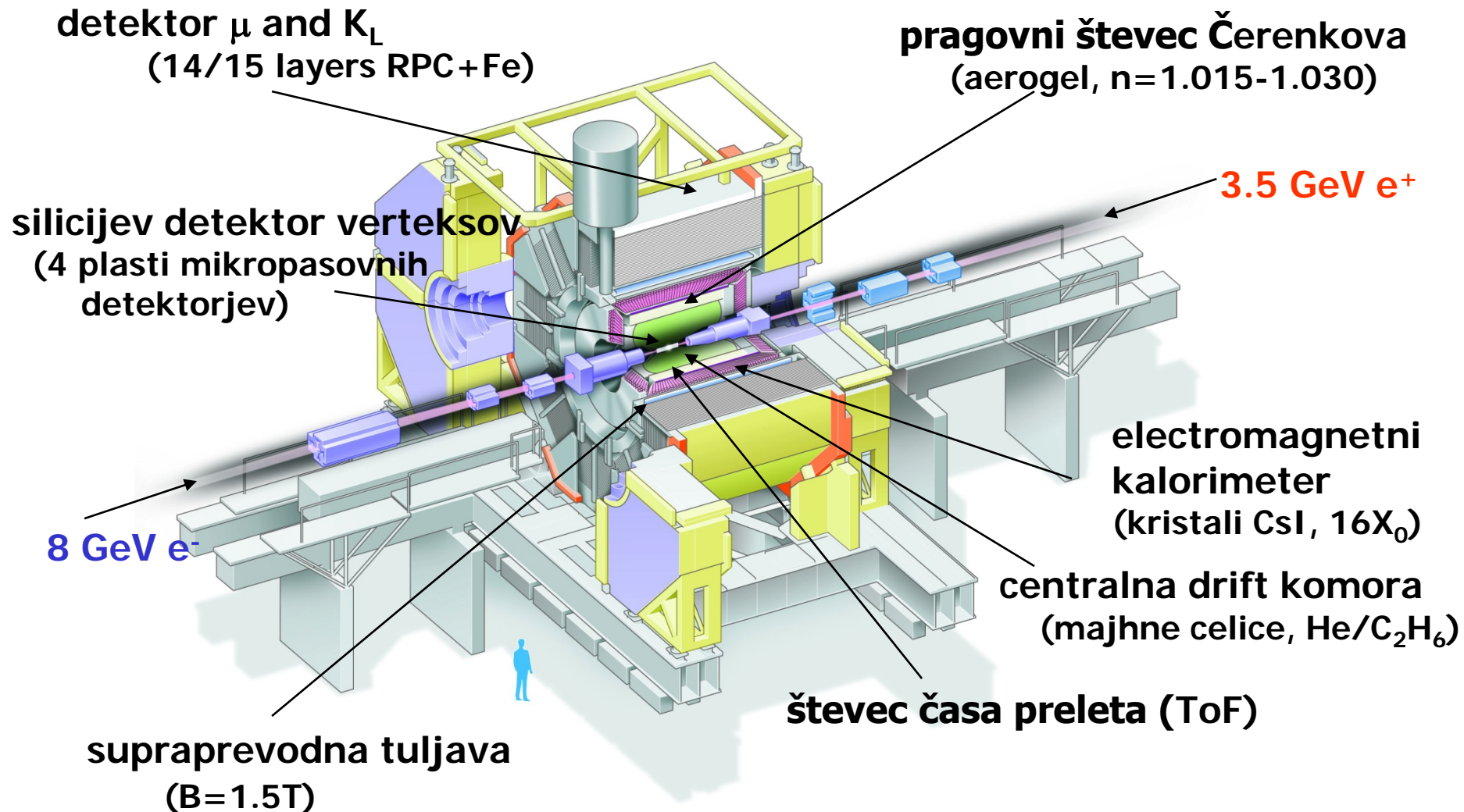
Hadroni (π , K, p):

- Čas preleta (Time-of-flight, TOF)
- dE/dx v sledilni drift komori
- Čerenkovi detektorji

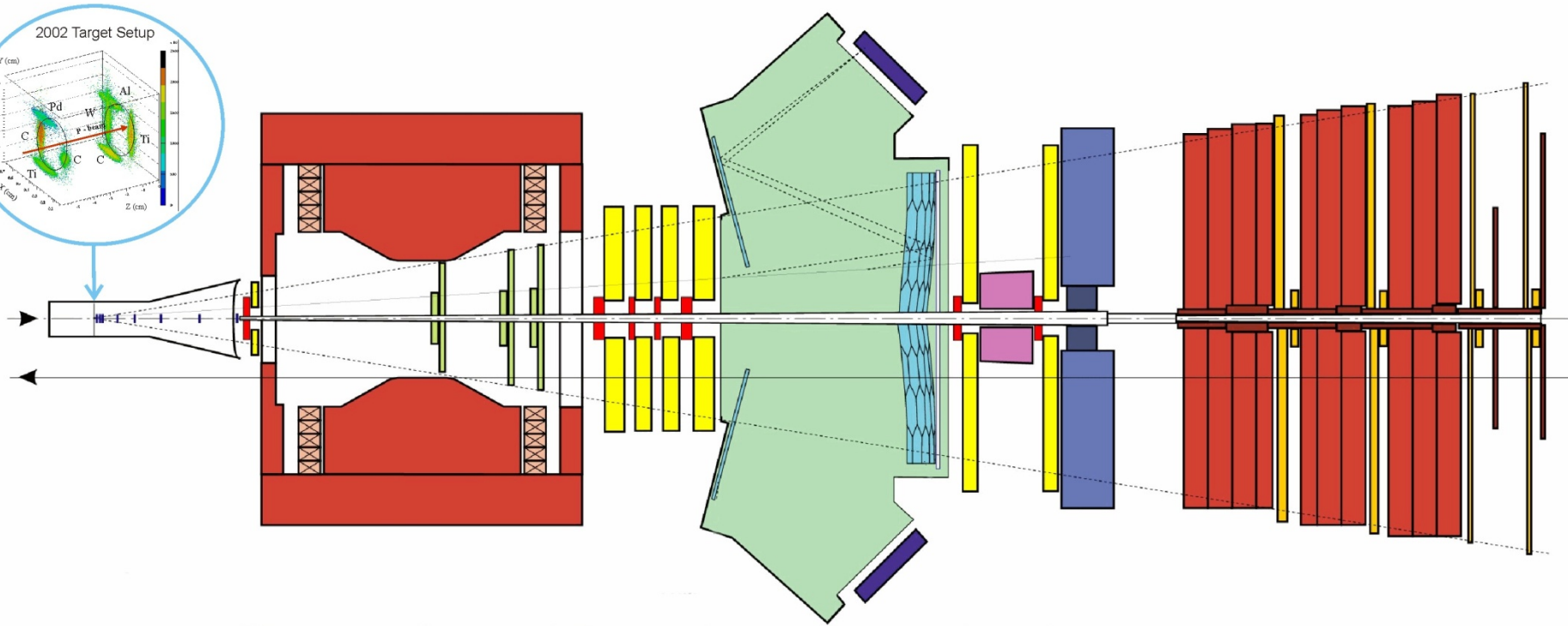
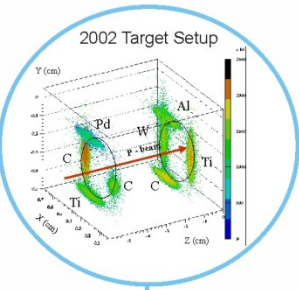
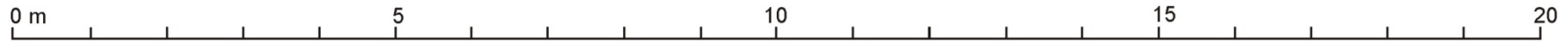
Elektroni: edini zavorno sevajo (dosti manjša masa kot ostali), povzročijo pljusk nabitih delcev v elektromagnetnem kalorimetru (scintilator + fotopomnoževalke)

Mioni: interagirajo elektromagnetno, ne sevajo zavorno, preletijo tudi tuljavo magneta in debele železne plošče povratnega jarma.

Spektrometer Belle



HERA-B: detector ob fiksni tarči



Target & Vertex
8 layers of double-sided Si-microstrips, movable on Roman-Pots; 8 wire-target (see above)

High p_T
3 superlayers gas, pixel and pad chambers; pre-trigger for high p_T tracks

Outer Tracker
7 superlayers of honeycomb drift chambers, 5 and 10mm cells

RICH
Spherical mirror inside C_4F_{10} radiator, Lens-enhanced multianode PMT focal plane.

Inner Tracker
7 superlayers of Micro Strip Gas Chambers with GEM-foil

Electromagnetic Calorimeter
W/Pb scintillator sandwich, shashlik WLS readout with PMTs; energy-cluster pre-trigger

Muon System
4 superlayers of gas-pixel, tube & pad chambers; pad-coincidence pre-trigger

Kako zaznati nevtrine?

Zaznamo jih posredno: elektronski nevtrino povzroči nastanek elektrona, mionski nevtrino nastanek miona,

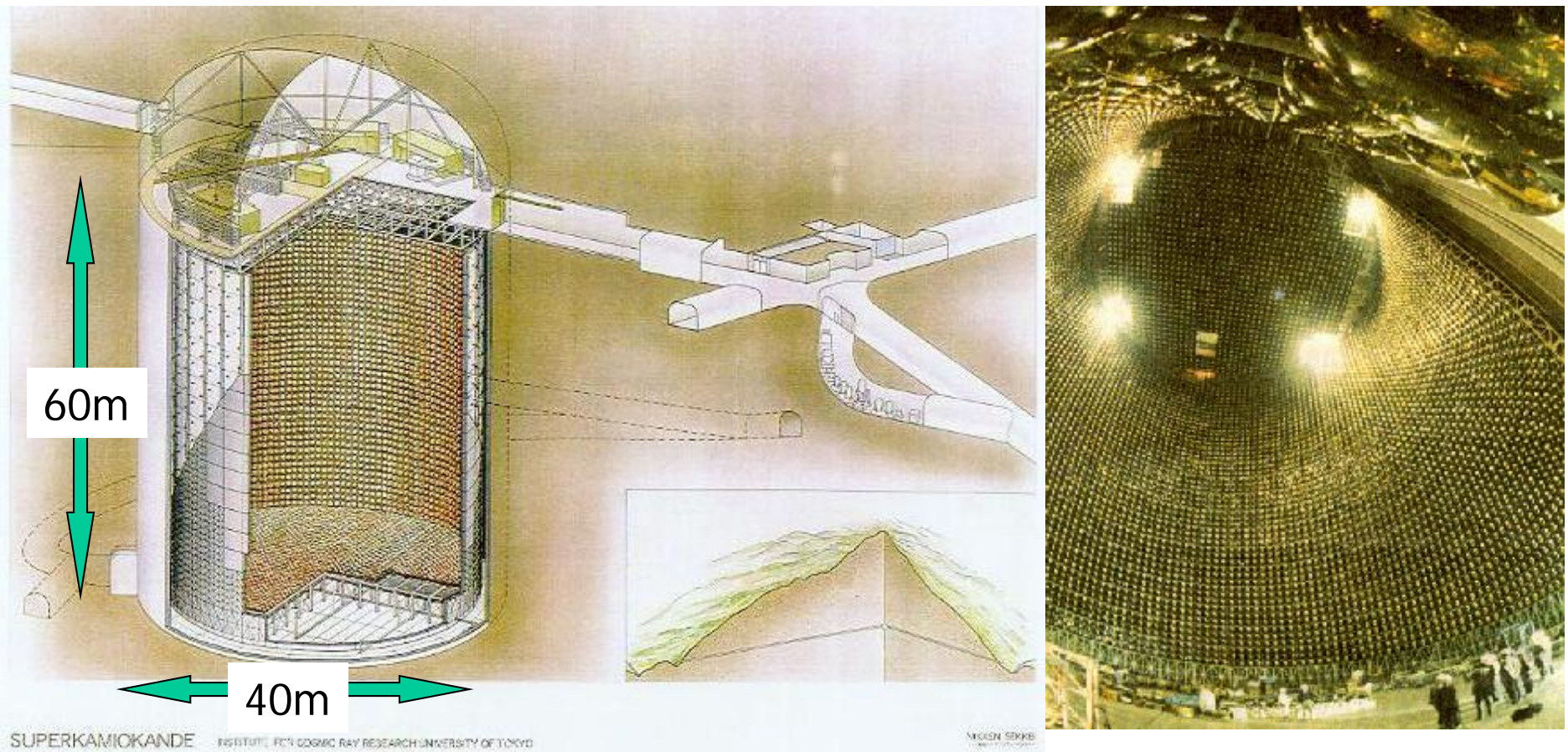


Toda: verjetnost za tako reakcijo v 100m vode je samo $4 \cdot 10^{-16}$

Potrebujemo velikanski detektor in zopet nekaj let za meritve!

Superkamiokande: primer nevtrinskega detektorja

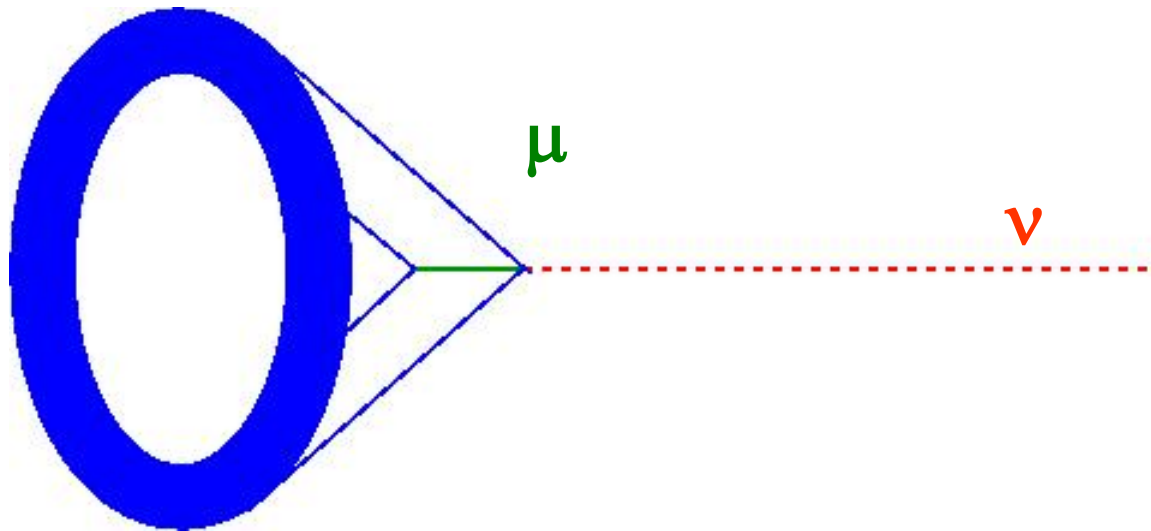
Tudi v tem primeru uporabimo Čerenkovo sevanje



11.000 fotonoževalk premera 50cm!

Superkamiokande: zaznavanje elektronov in mionov

Kako zaznamo mion ali elektron? Ponovno preko Čerenkovega sevanja, tokrat v vodi.



Nastali mion oz. elektron seva fotone Čerenkova → obroč na steni posode.

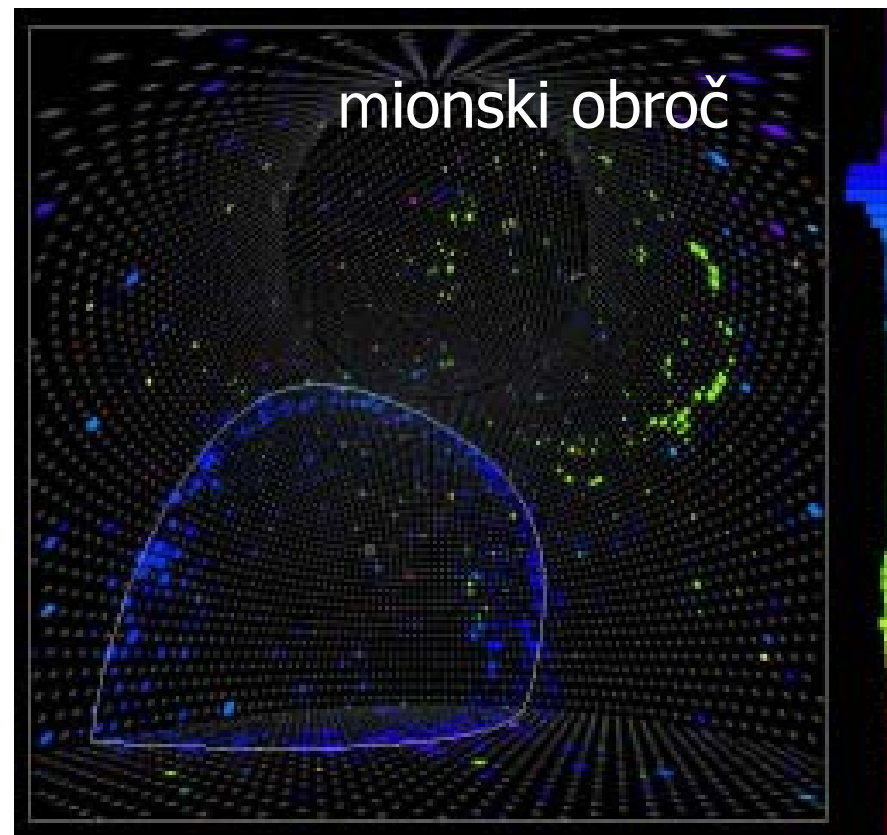
- mionski obroč: ostri robovi
- elektronski: razmazan (zavorno sevanje).

Superkamiokande: zaznavanje elektronov in mionov

Detektorji svetlobe: zelo zelo velike fotopomnoževalke

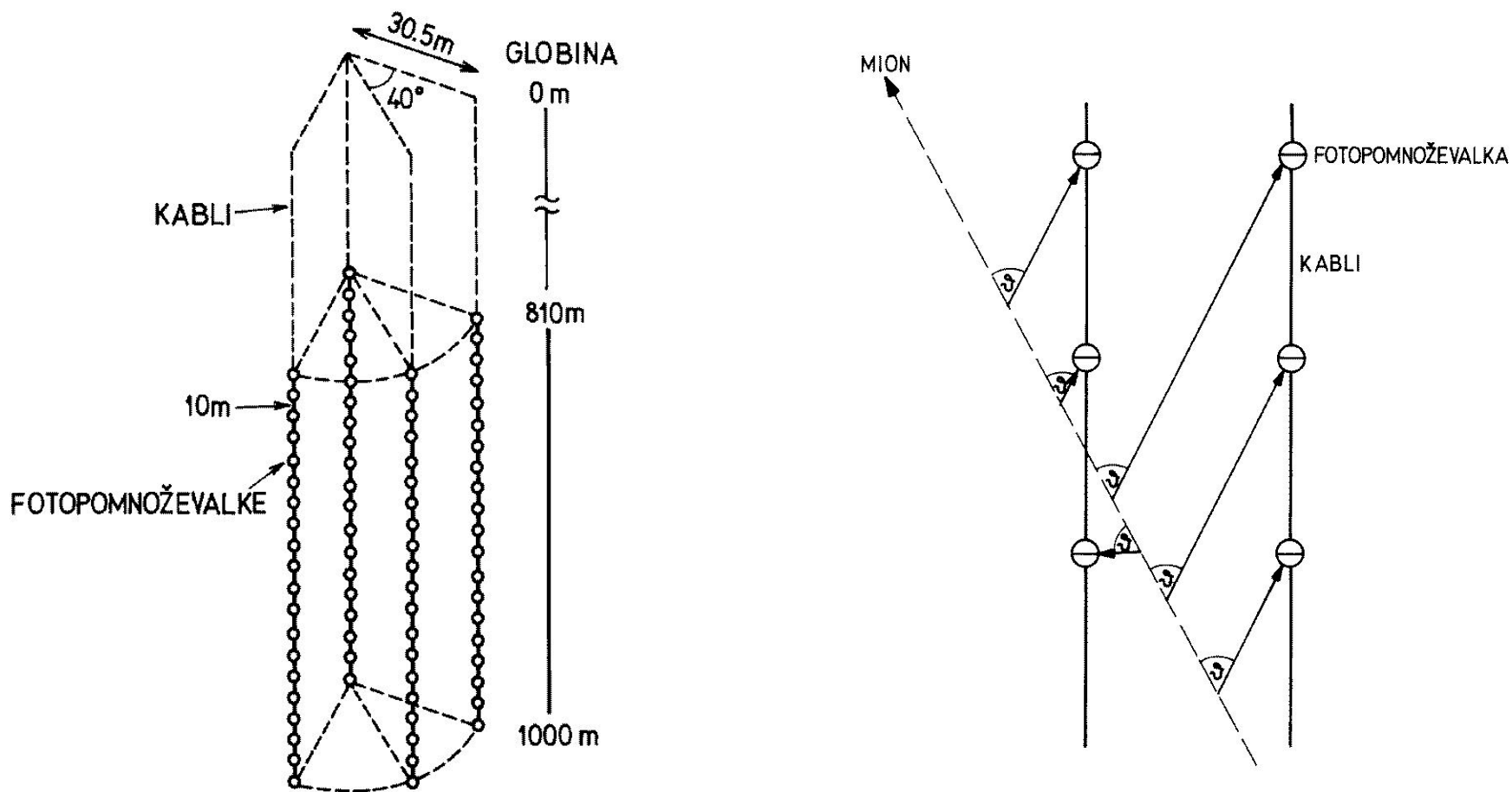


M. Koshihira



Elektrone ločimo od mionov po vzorcu na detektorju svetlobe.

IceCube: uporabimo led na Antarktiki namesto vode



Fotopomnoževalke merijo čas prihoda Čerenkovih fotonov

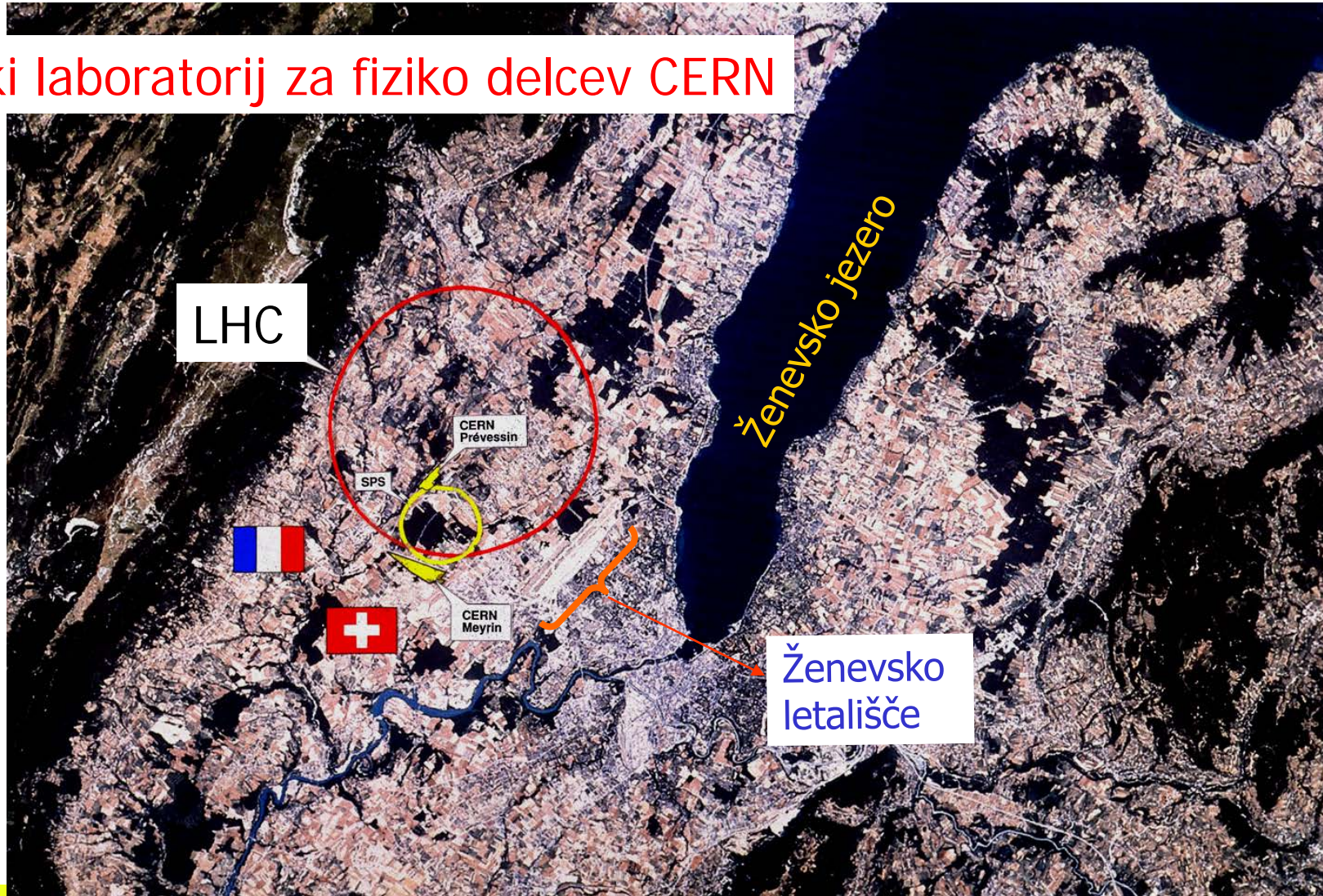
IceCube

Primer dogodka, ki so ga
zaznale
fotopomnoževalke.


Mion prihaja v detekcijski
sistem od spodaj.

Na lovu za Higgsovimi delcem

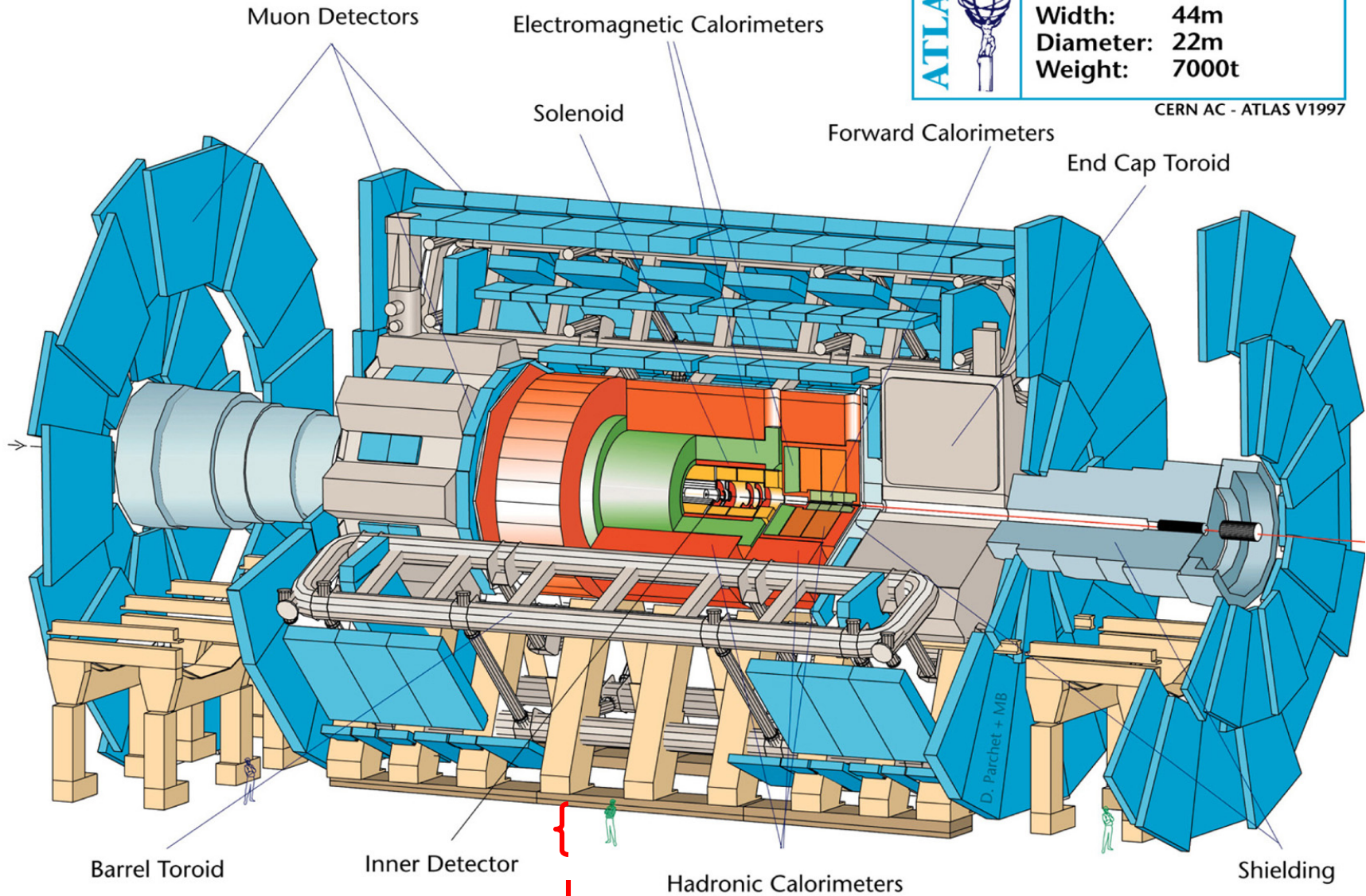
Evropski laboratorij za fiziko delcev CERN



Detektor ATLAS ob LHC

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

CERN AC - ATLAS V1997

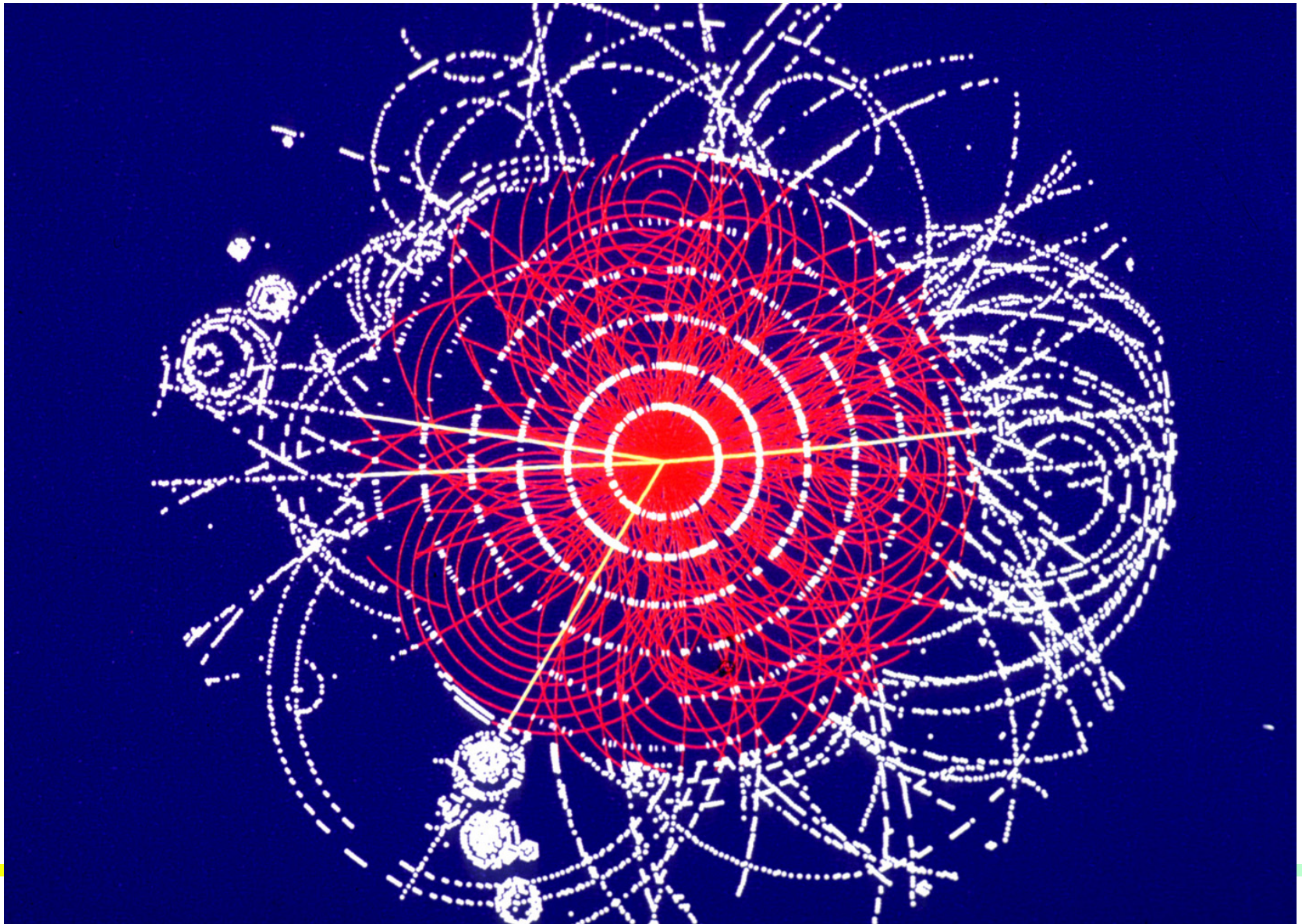


možak..tukaj...

1. oktobra

Peter Križan

Računalniška simulacija: $H \rightarrow 4 \mu$ (ATLAS)



Literatura

Spletna stran teh predavanj je na:

<http://www-f9.ijs.si/~krizan/sola/fjod/fjod.html>

Pri predavanjih si bom pomagal z naslednjimi knjigami:

- Delci: Donald Perkins: Introduction to High Energy Physics
- Jedro: M. Rosina: Jedrska fizika, DMFA

Zelo uporabna je tudi:

- Bogdan Povh, K. Rith, Ch. Scholz, and F. Zetsche: Particles and nuclei, Springer 2004

Dodatna literatura

Dodatno čtivo:

- B. Povh, M. Rosina: Scattering and Structures, Essentials and Analogies in Quantum Physics, Springer (2005)

~