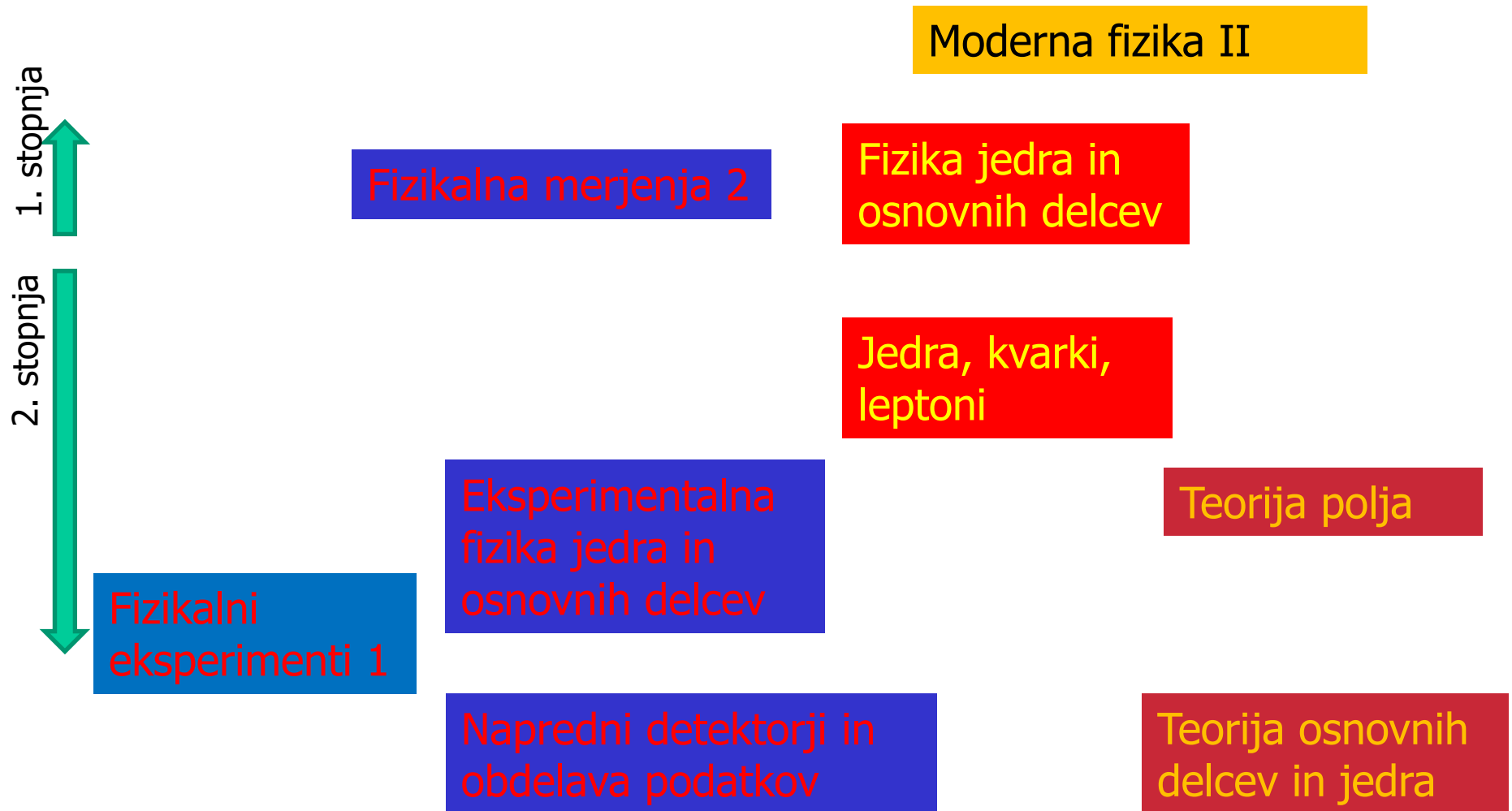




Fizika jedra in osnovnih delcev - uvod

Peter Križan

Fizika jedra in osnovnih delcev na FMF



Vsebina

Uvod

Poskusi v fiziki osnovnih delcev

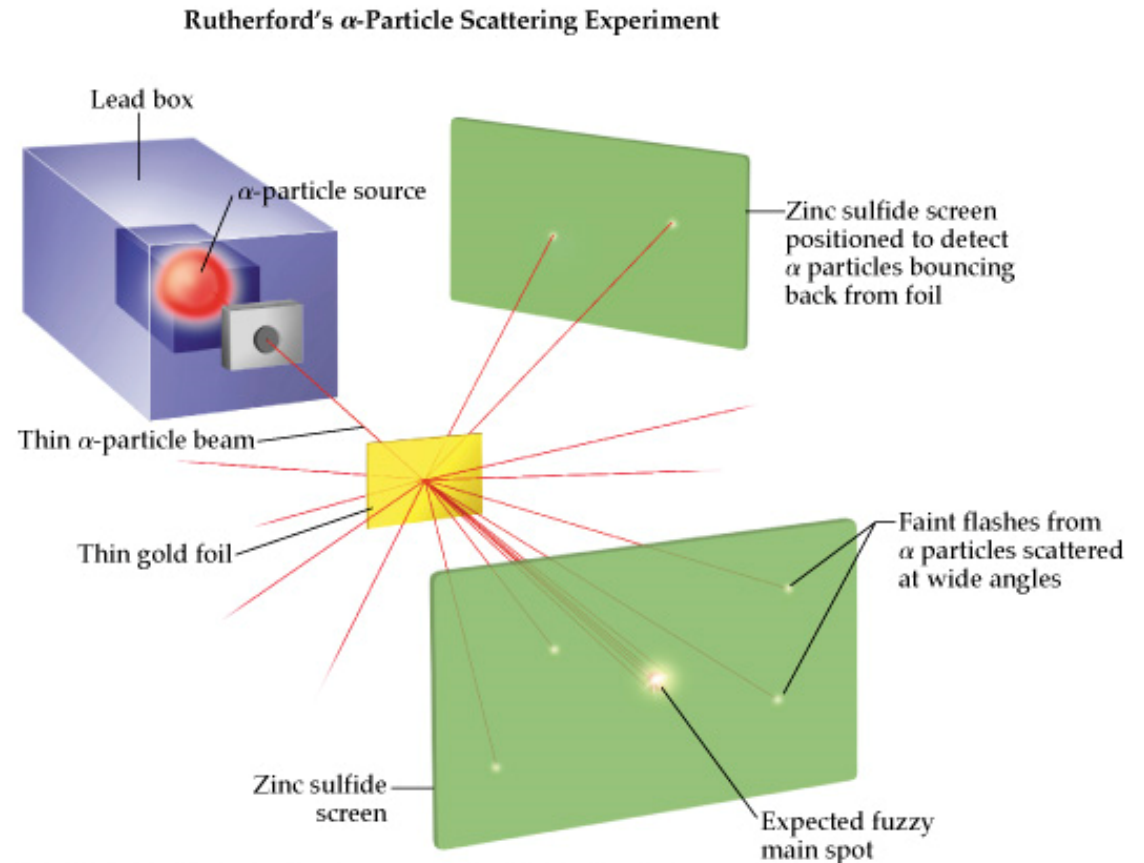
Program predmeta

Pregled literature

Sipanje delcev α na Au foliji



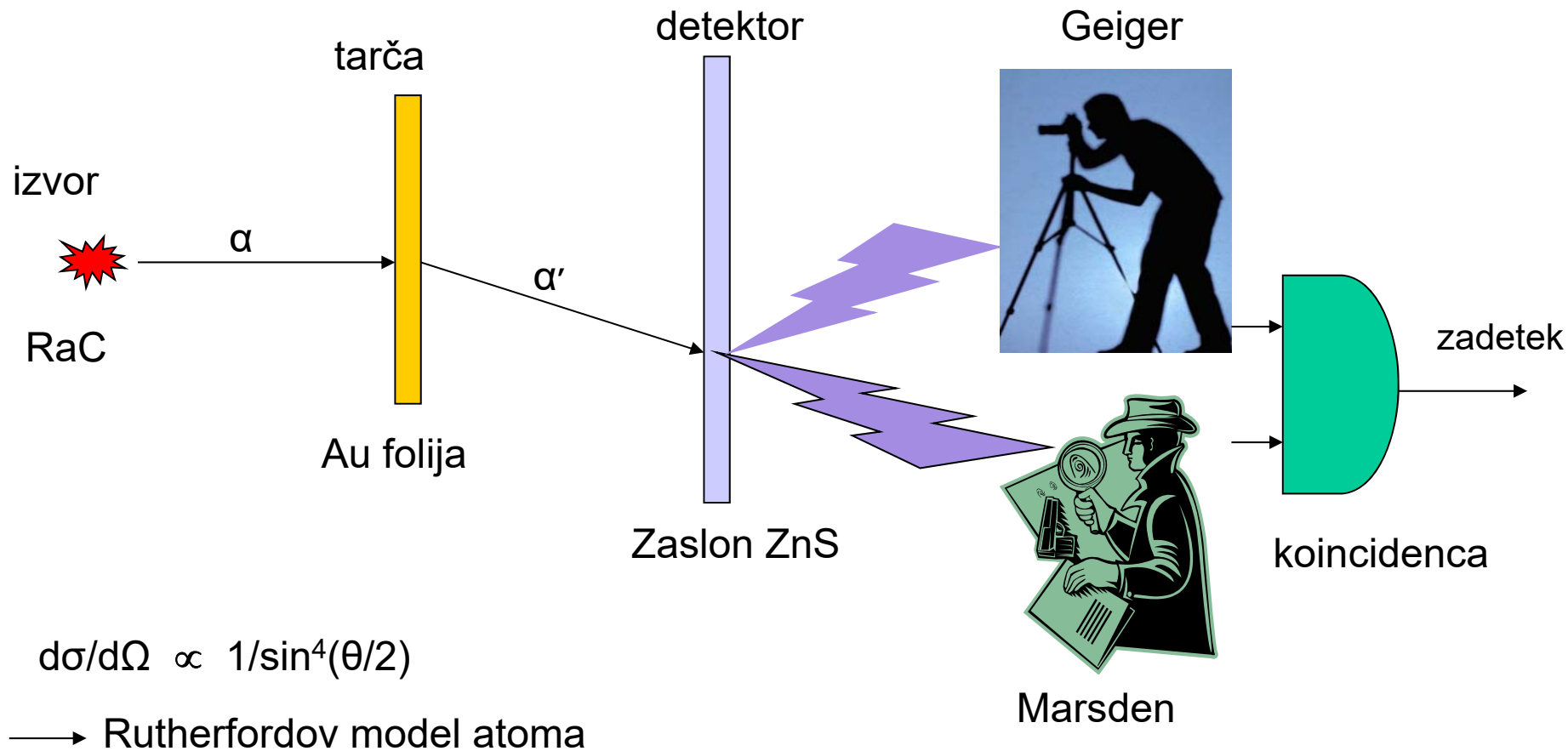
Rutherford, Geiger



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').

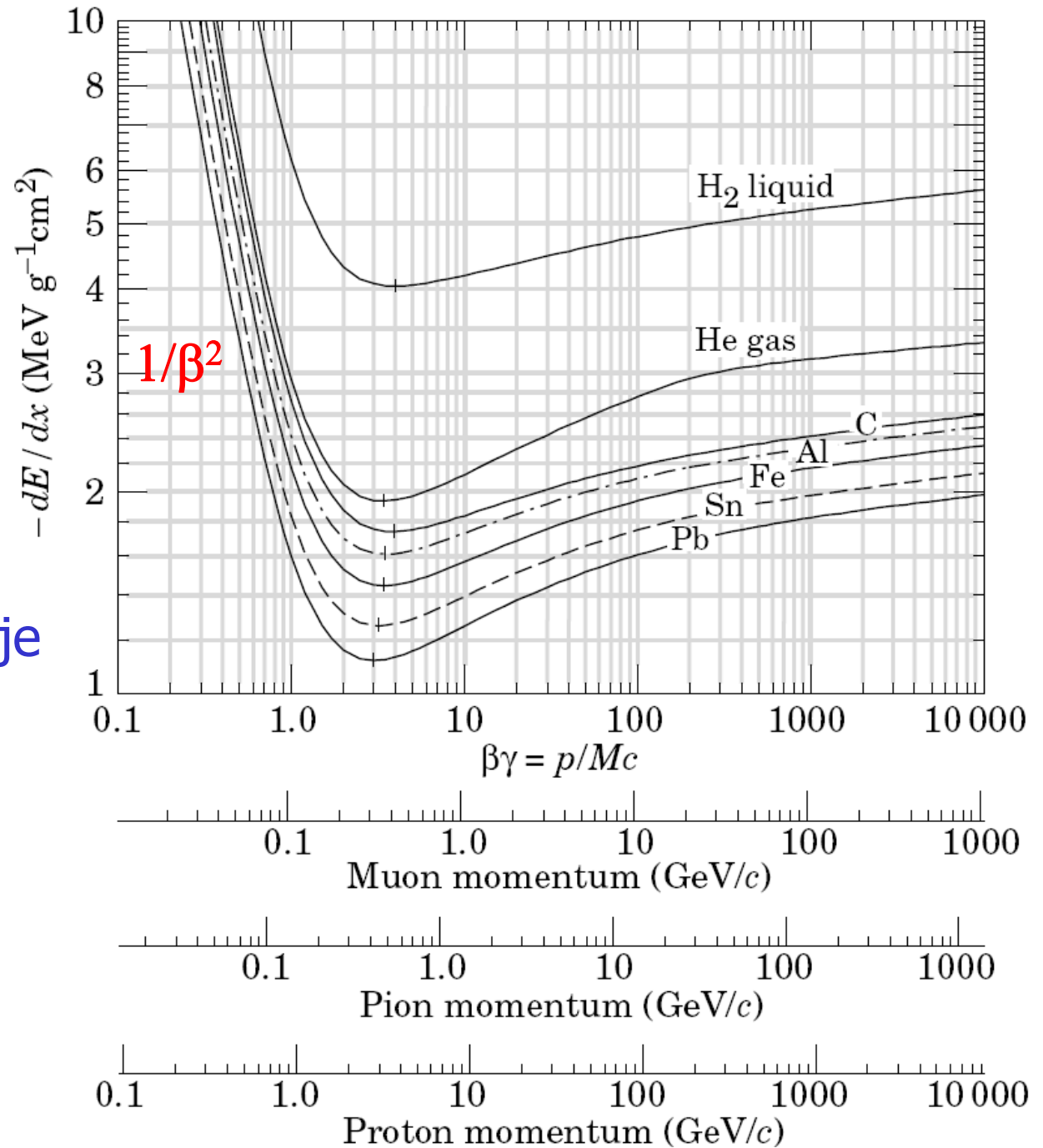
Energijske izgube na enoto poti: formula Betheja in Blocha

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

Detekcija delcev 2

Energijske izgube na enoto poti: formula Betheja in Blocha

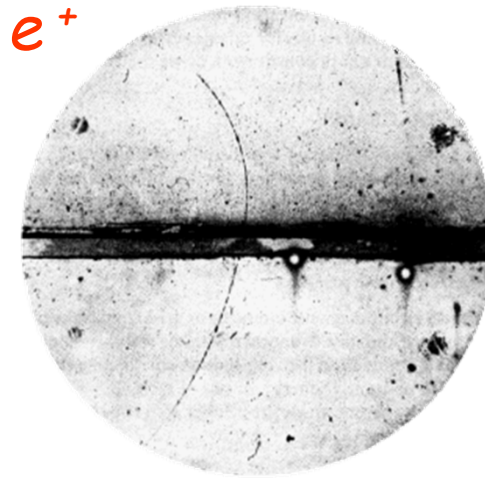
Za $\beta\gamma < 1$: $dE/dx \propto 1/\beta^2$
→ počasnejši delci izgubljajo več energije na enoto poti



Odkritje pozitrona



C. Anderson
(NN 1936)



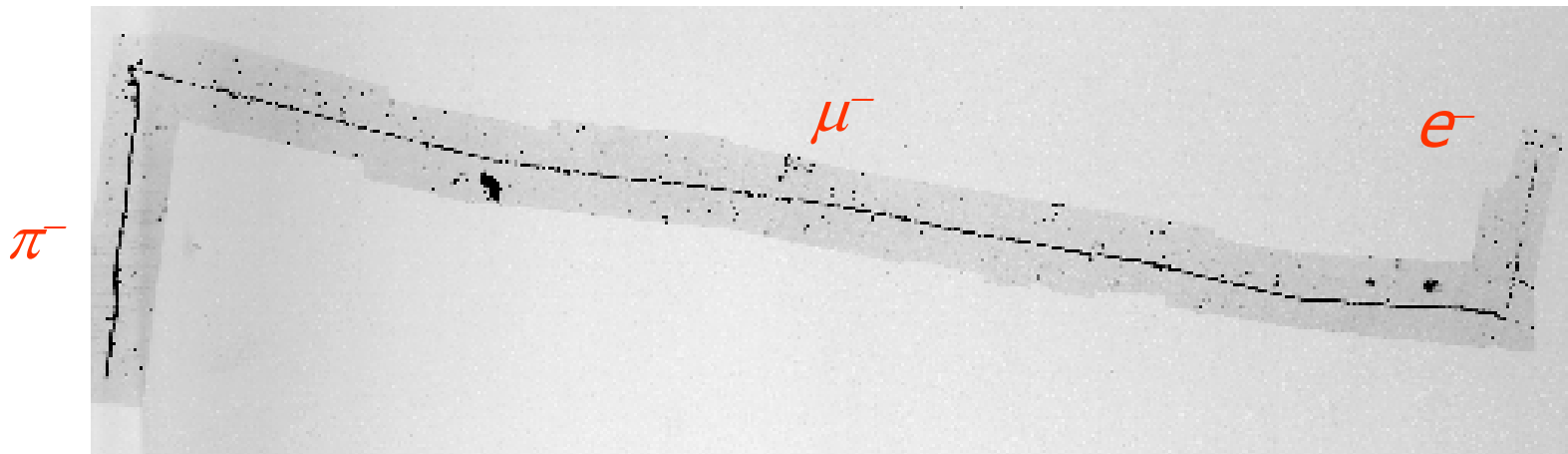
Nabit delec prečka ploščo iz Pb

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)

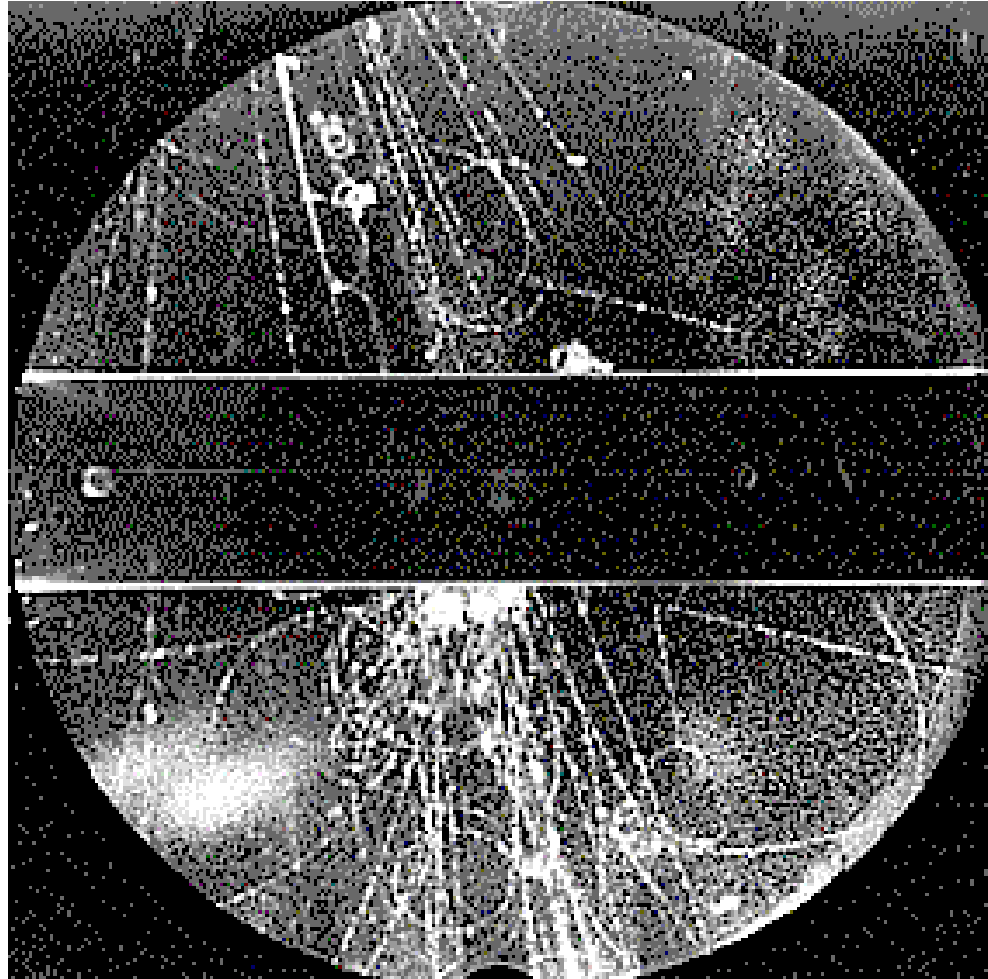
Odkritje piona

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



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

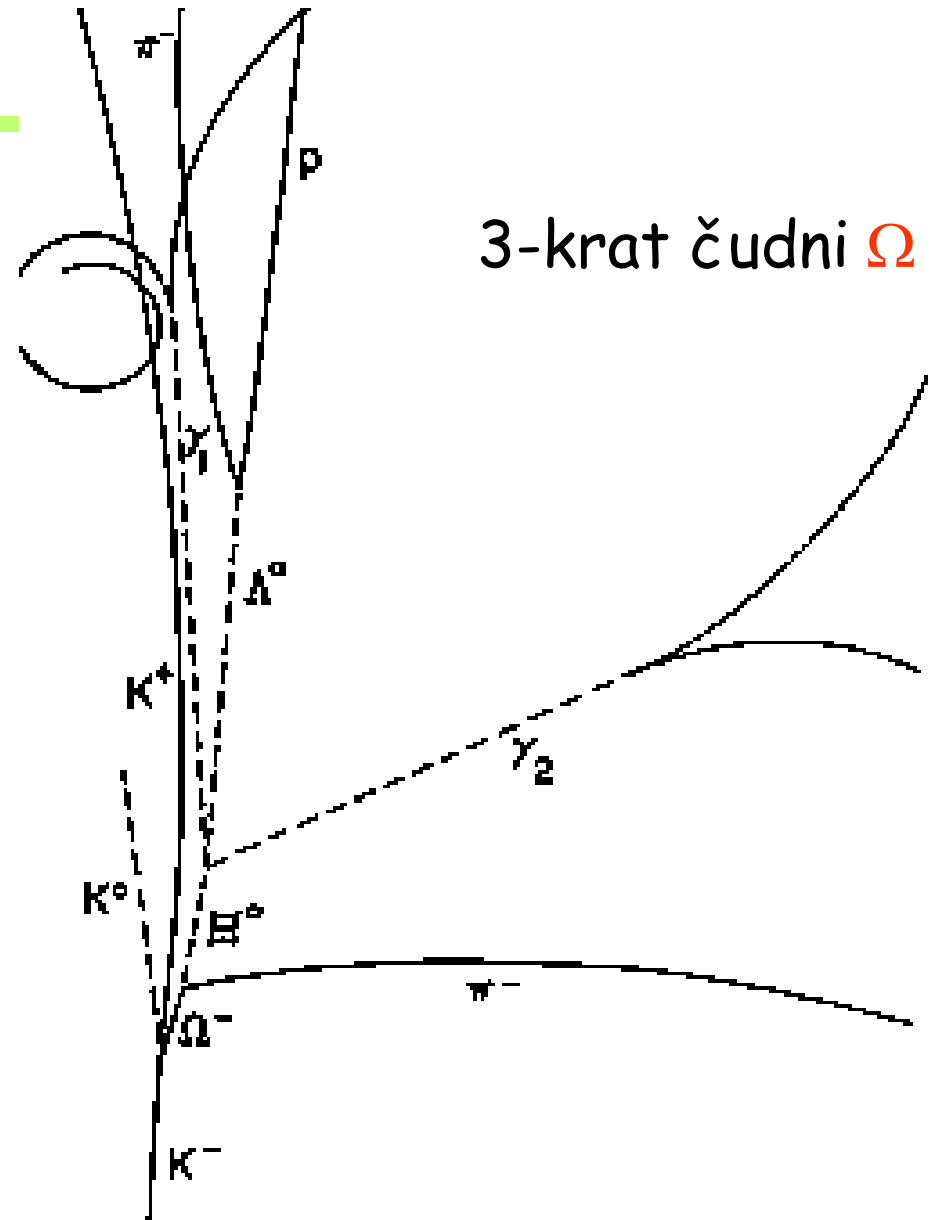
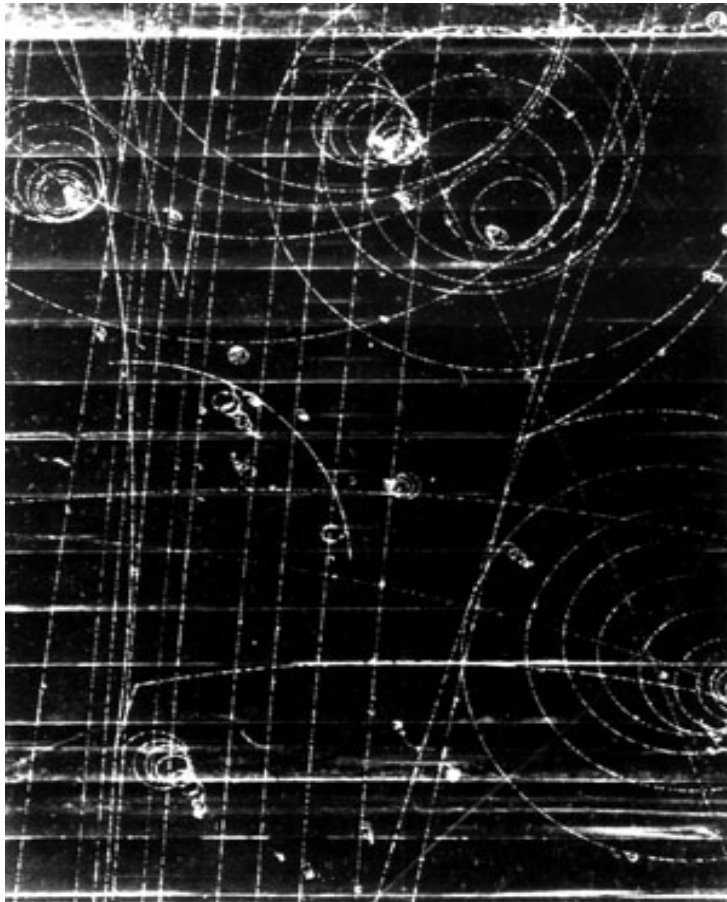
Odkritje kaonov



svinčena plošča



Rochester, Butler (1947)

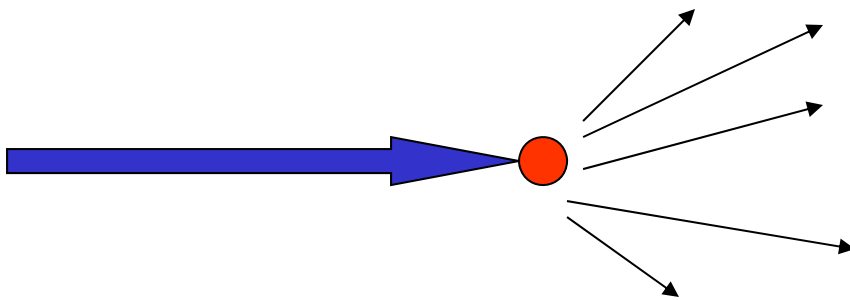


Poskusi v fiziki osnovnih delcev

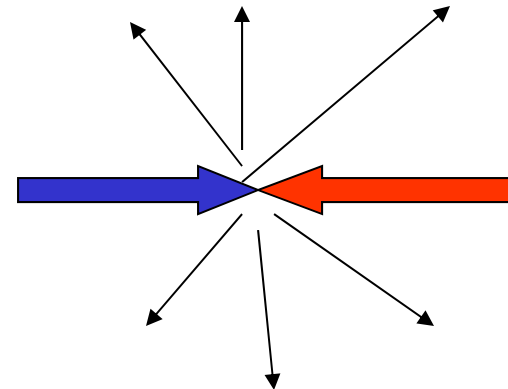
Pospešimo osnovne delce, pri trku se sprosti energija, ta se pretvori v materijo – delce, od katerih so nekateri neobstojni.

Dva načina trkanja:

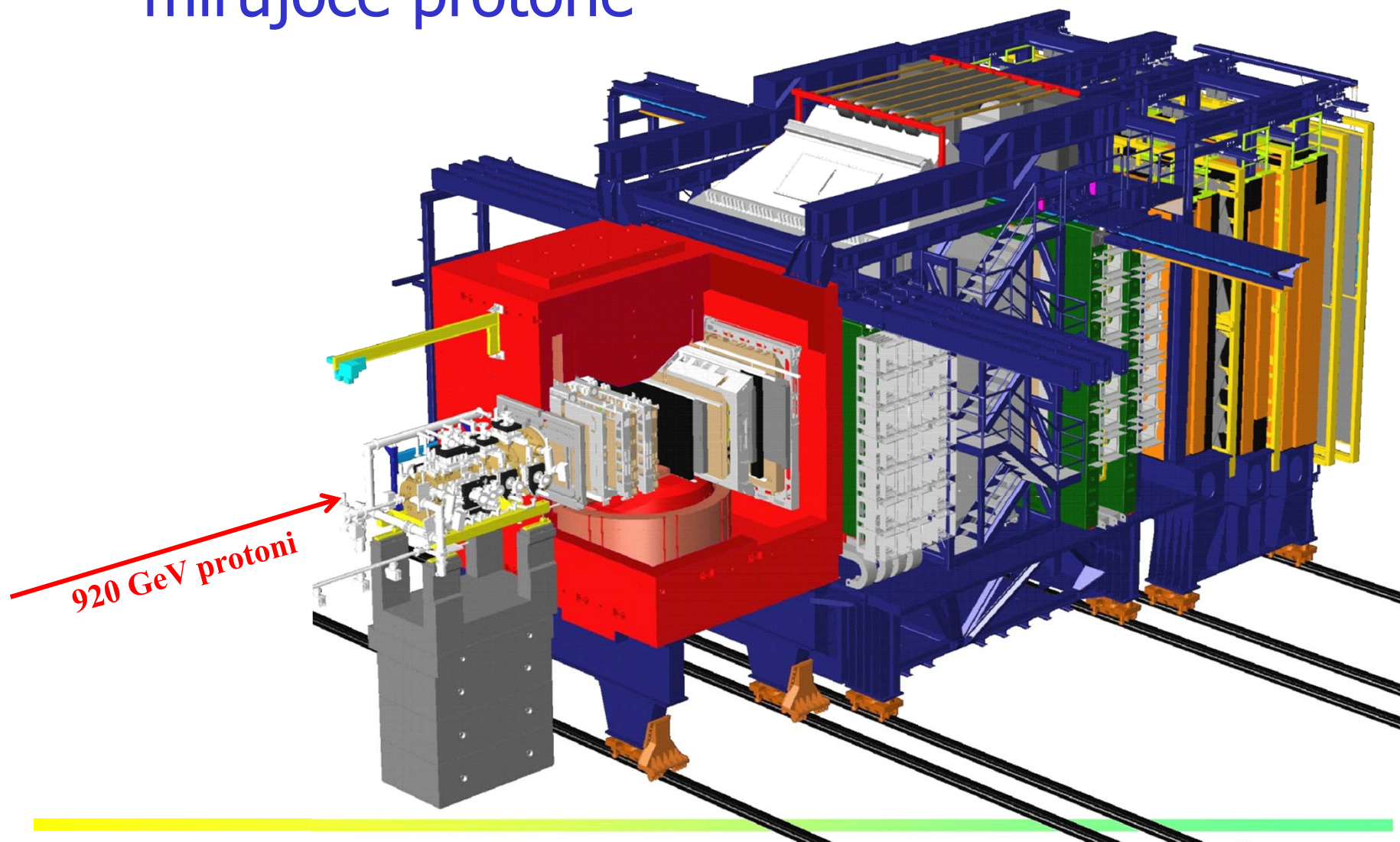
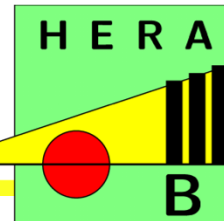
Poskusi s fiksno tarčo



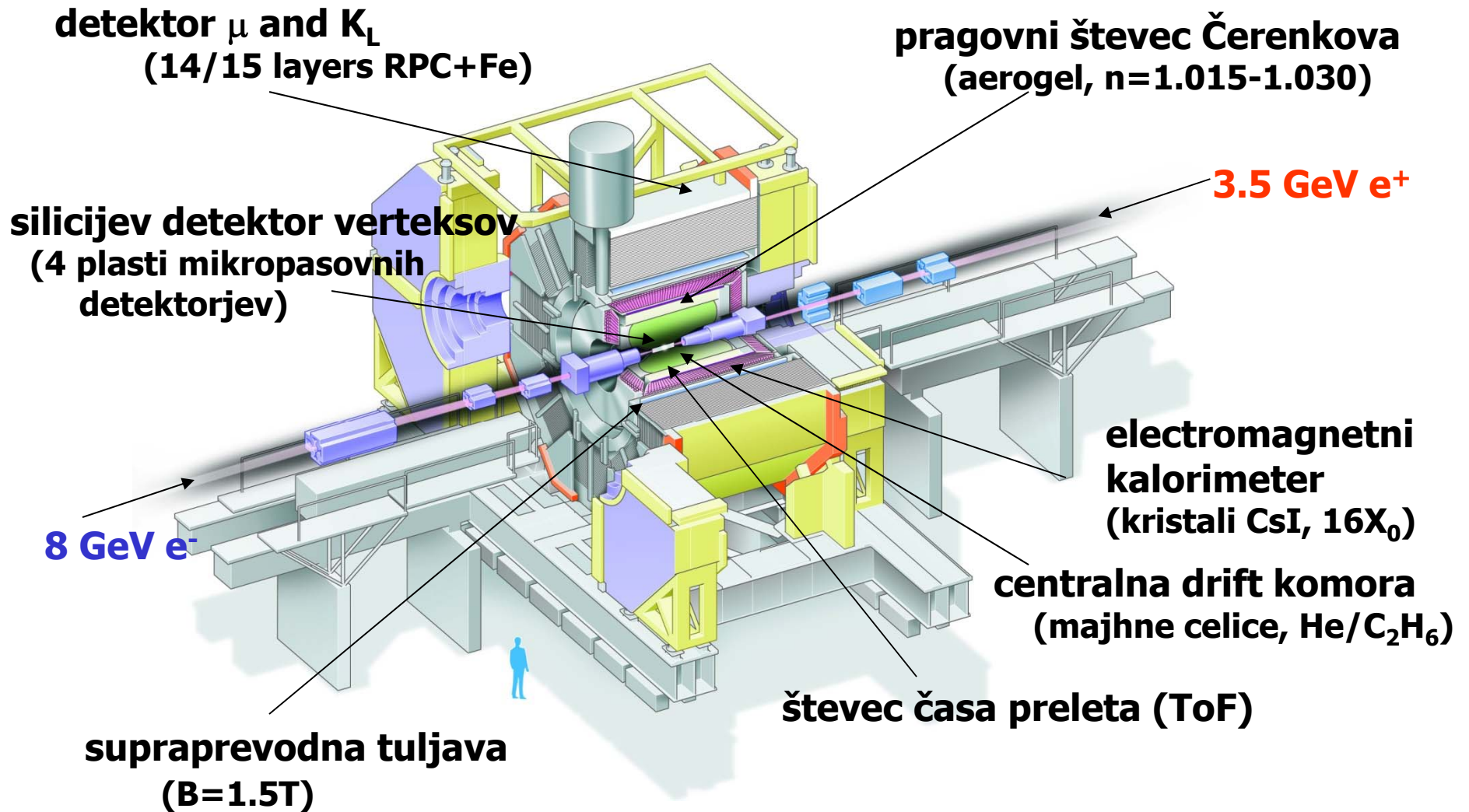
Trkalnik



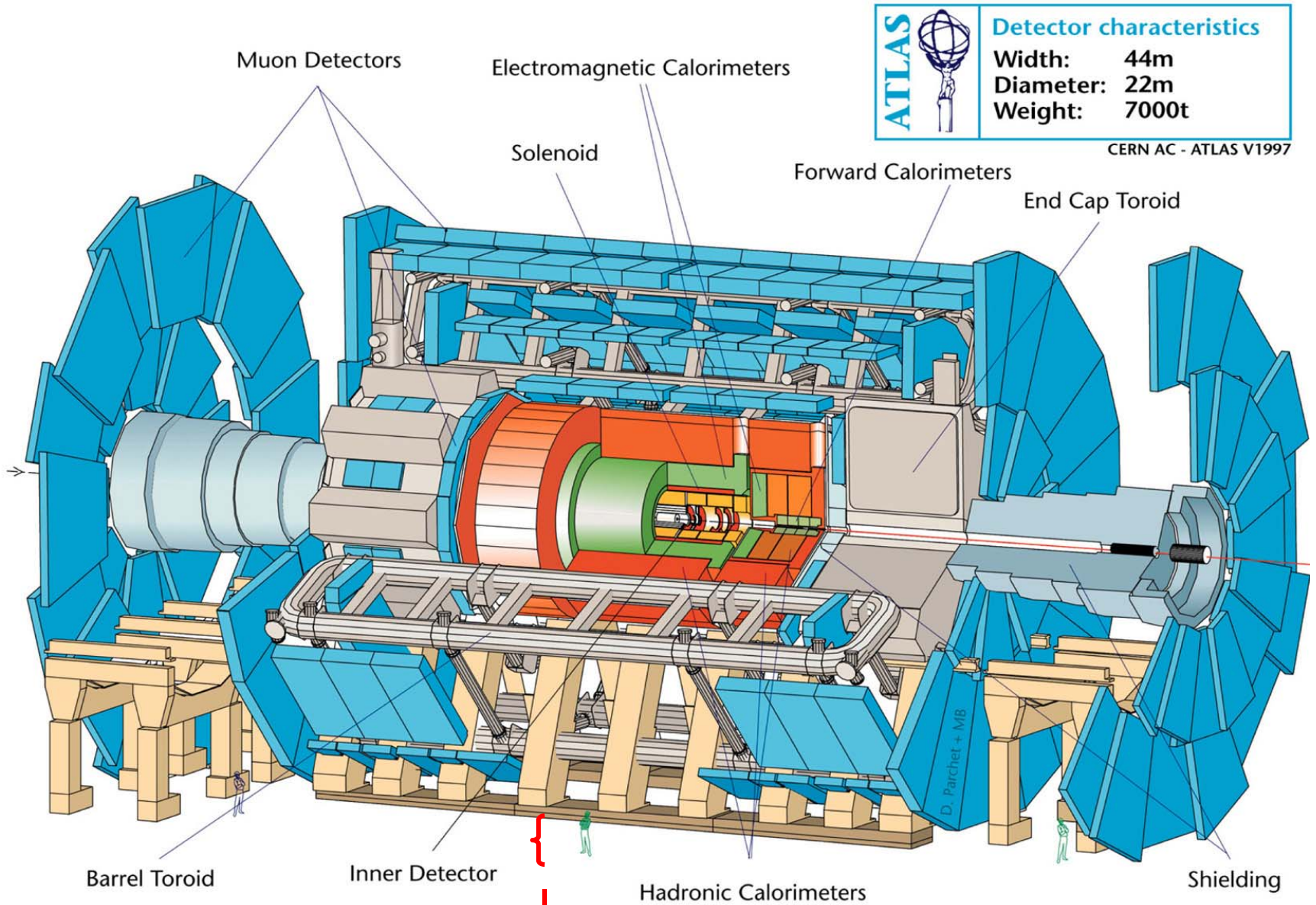
Poskus HERA-B: trki pospešenih protonov v mirujoče protone




Spektrometer Belle



Detektor ATLAS ob LHC



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

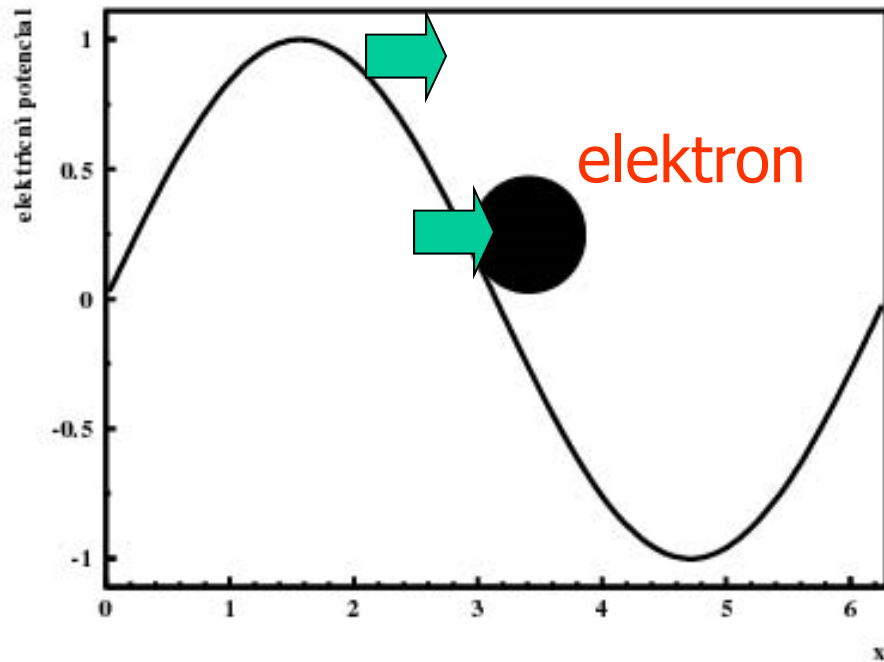
CERN AC - ATLAS V1997

možak..tukaj...

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: $c < c_0$



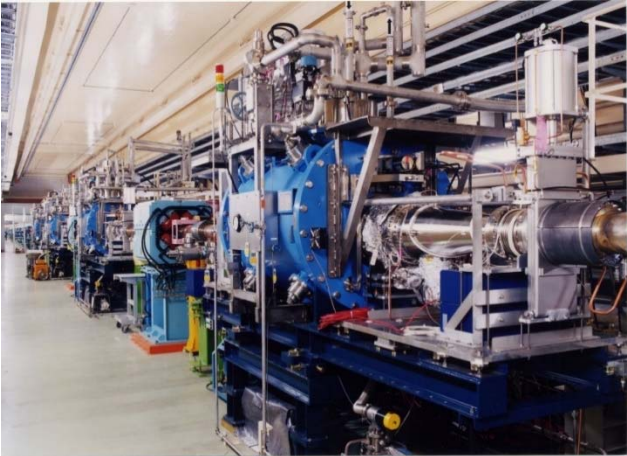
... podobno deskanju na valovih

Trkalnik KEK-B in detektor Belle v Tsukubi

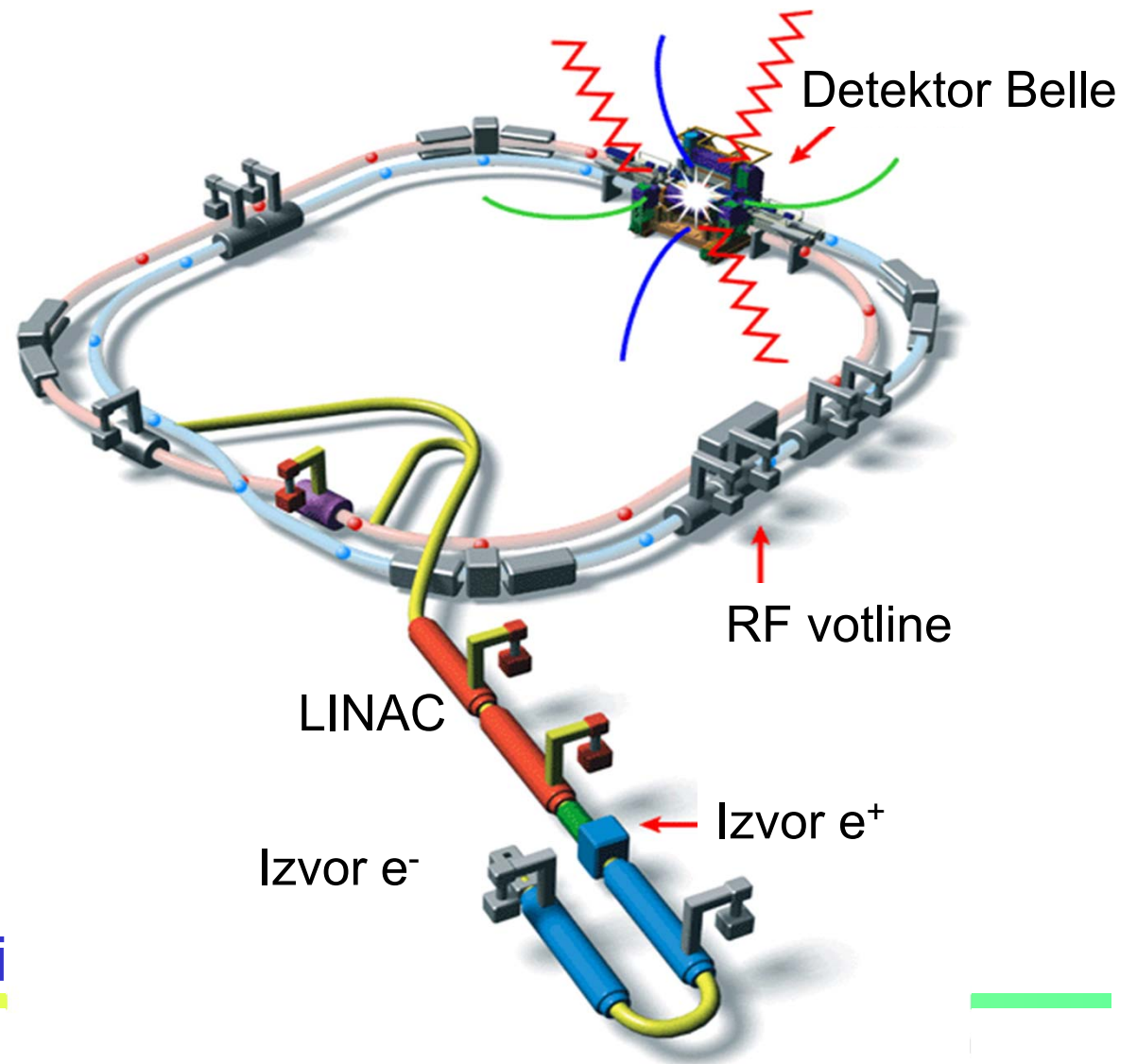


Trkalnik KEK-B

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**.

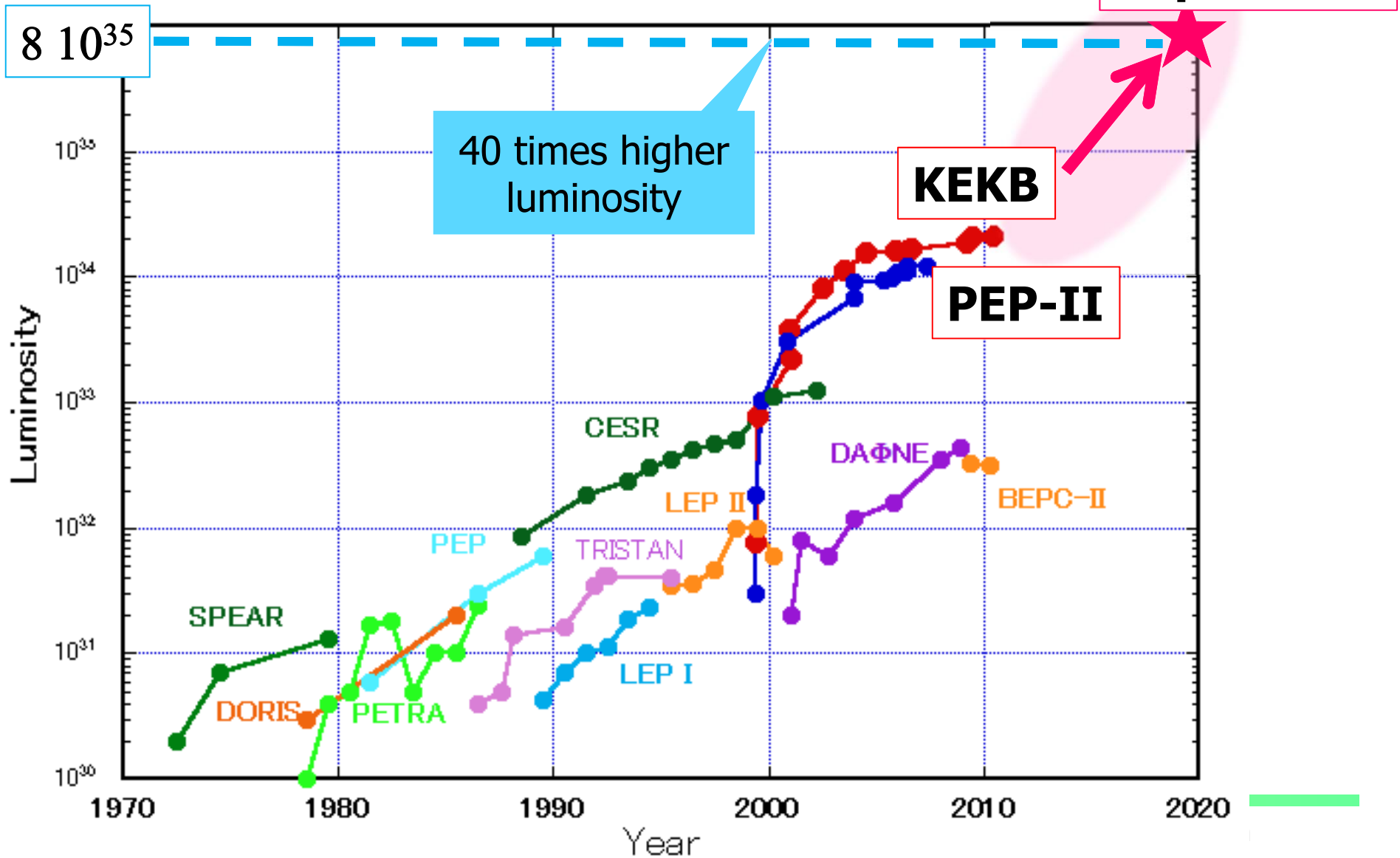
LHC



Belle II

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

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

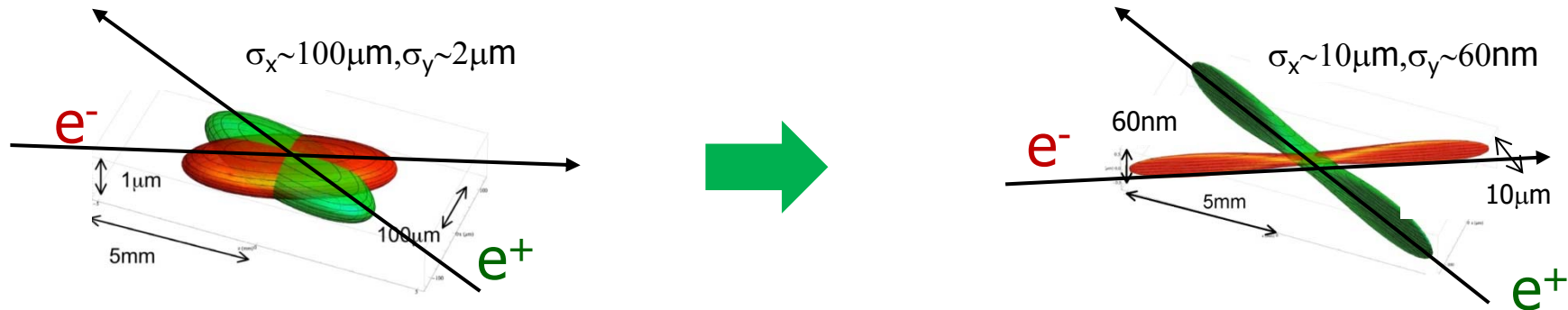


How big is a nano-beam ?



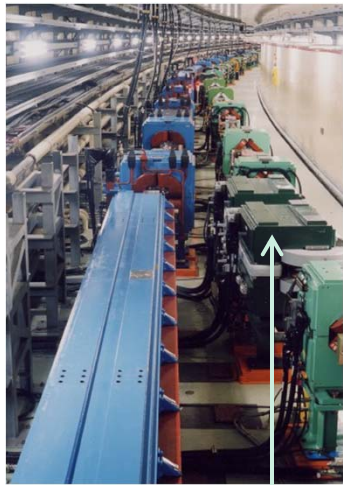
How to go from an excellent accelerator with world record performance – KEKB – to a 40x times better, more intense facility?

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

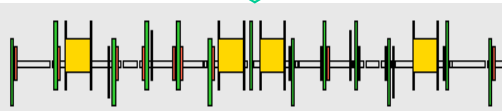
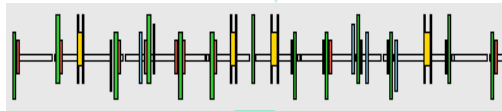


... For a 40x increase in intensity you have to make the beam as thin as a **few x100 atomic layers!**

KEKB → SuperKEKB

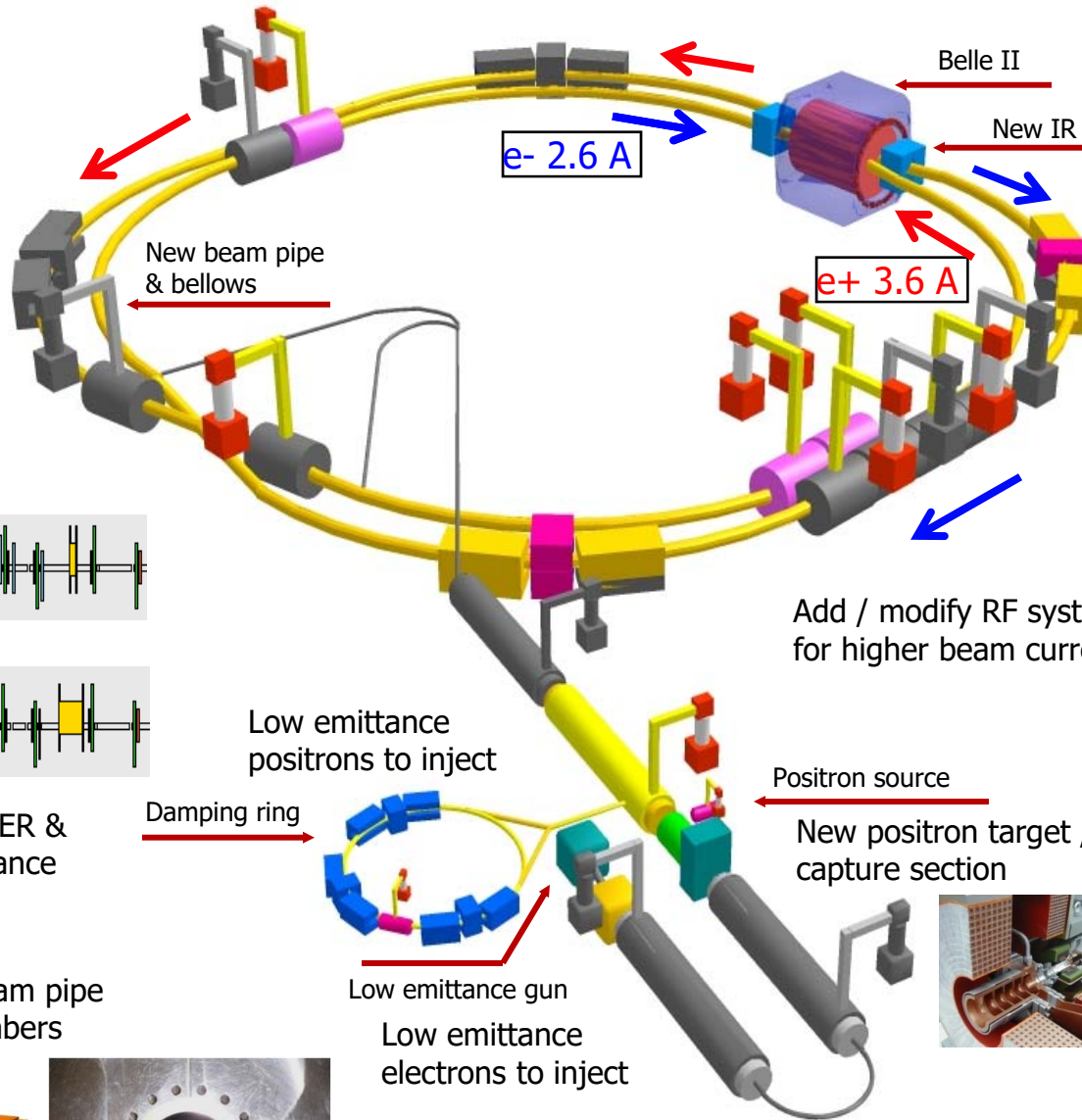
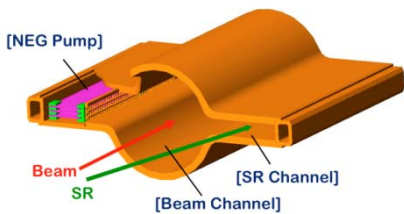


Replace short dipoles with longer ones (LER)



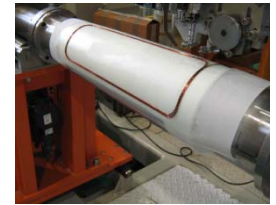
Redesign the lattices of HER & LER to squeeze the emittance

TiN-coated beam pipe with antechambers



Colliding bunches

New superconducting / permanent final focusing quads near the IP



Add / modify RF systems for higher beam current



Positron source

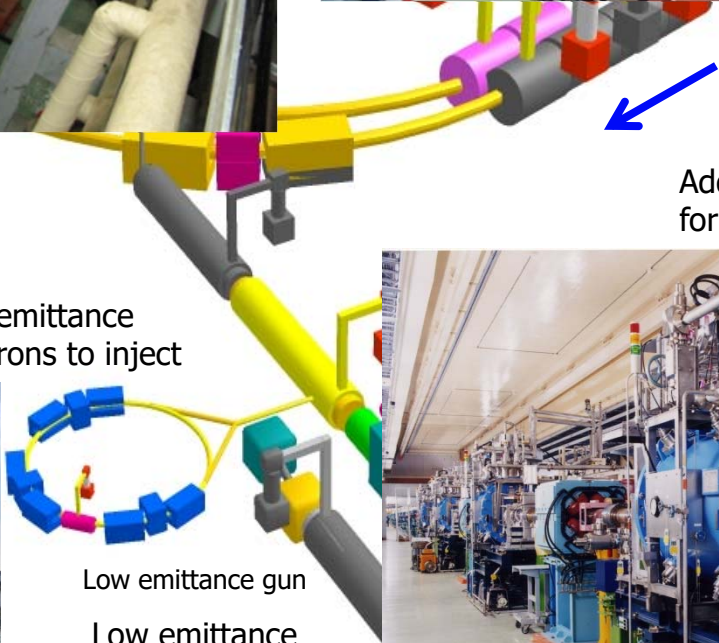
New positron target / capture section



Low emittance gun

Low emittance electrons to inject

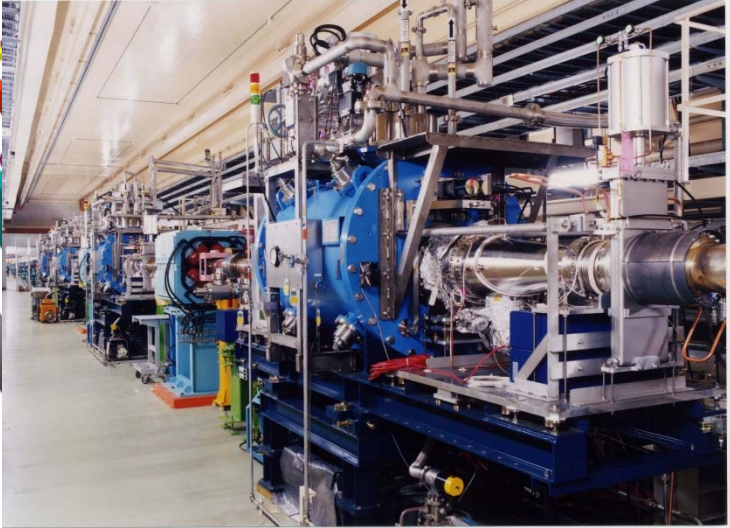
To get x40 higher luminosity



Low emittance positrons to inject

Low emittance gun

Low emittance electrons to inject



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

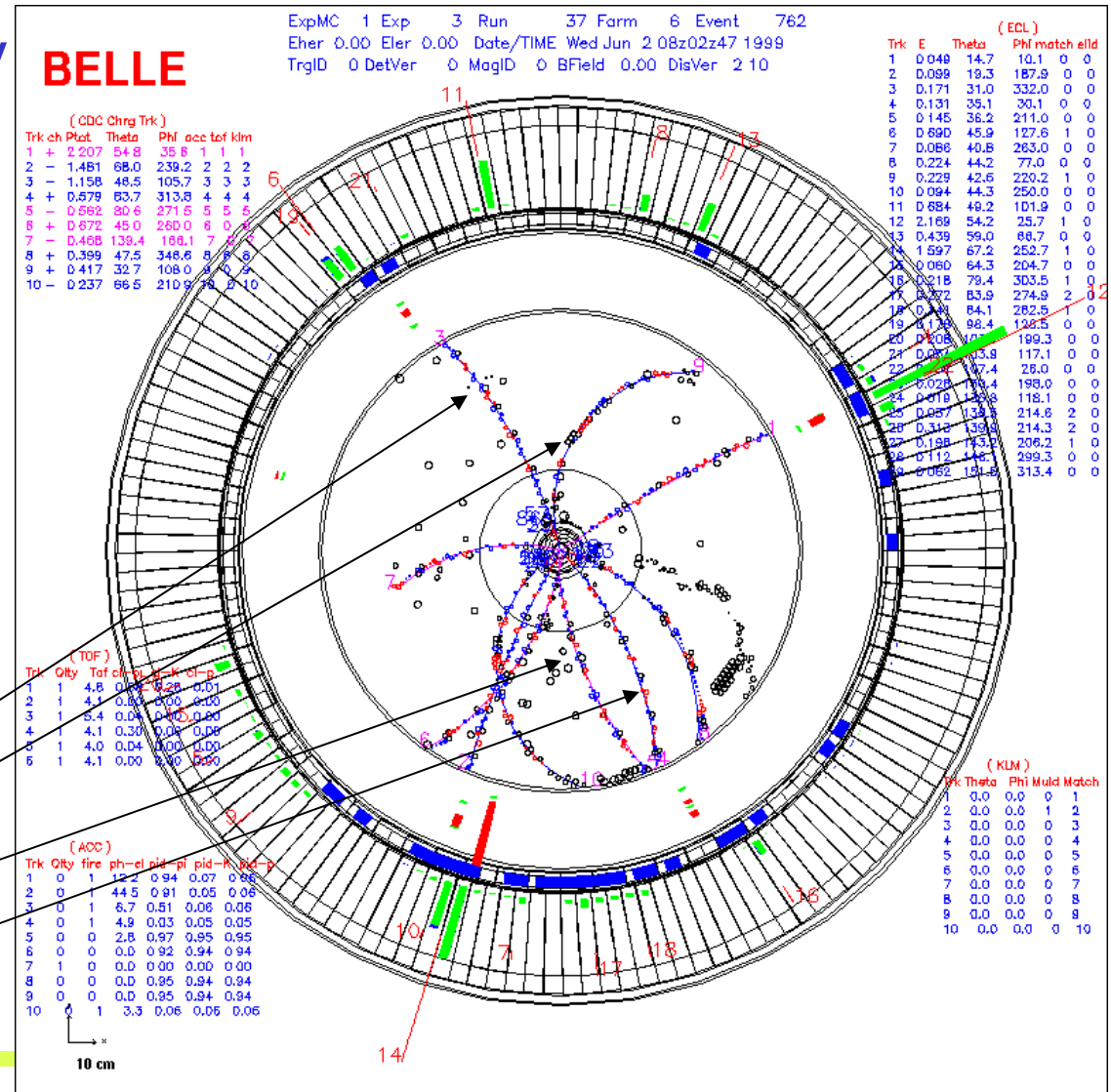
Kaj izmerimo z detektorjem?

- 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?

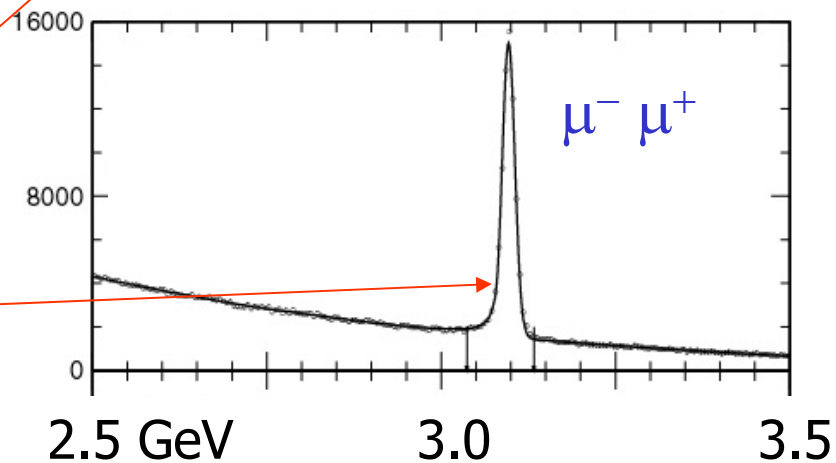
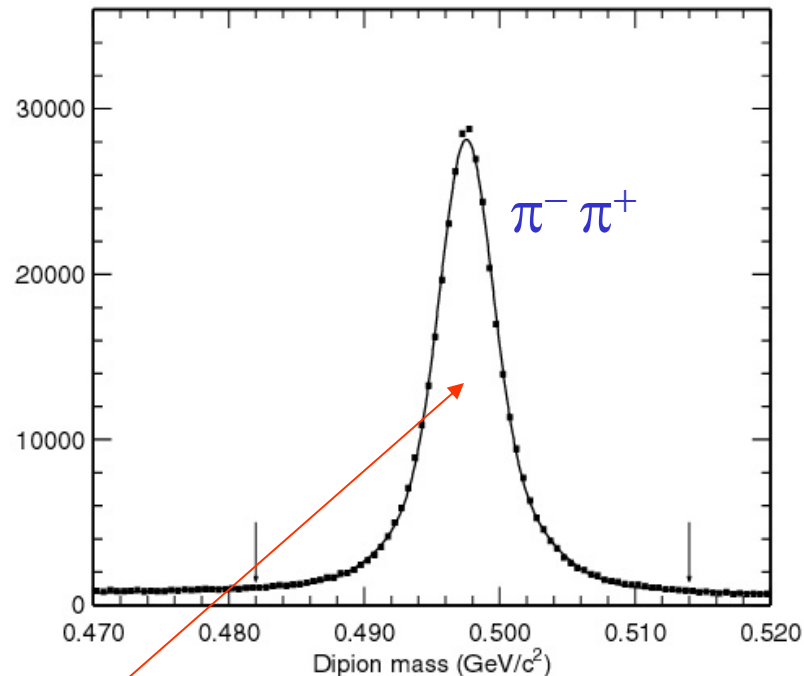


Za pare $\pi^- \pi^+$ in $\mu^- \mu^+$ izračunamo invariantno maso:

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

Mc^2 mora biti za K_S^0 blizu **0.5 GeV**
za J/ψ pa blizu **3.1 GeV**.

Ostalo: naključne kombinacije.

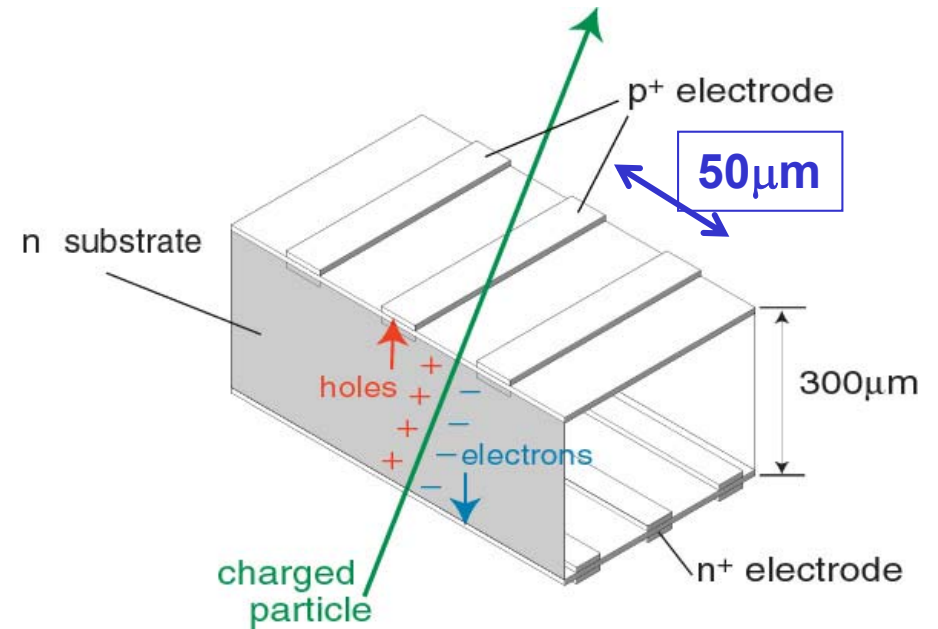
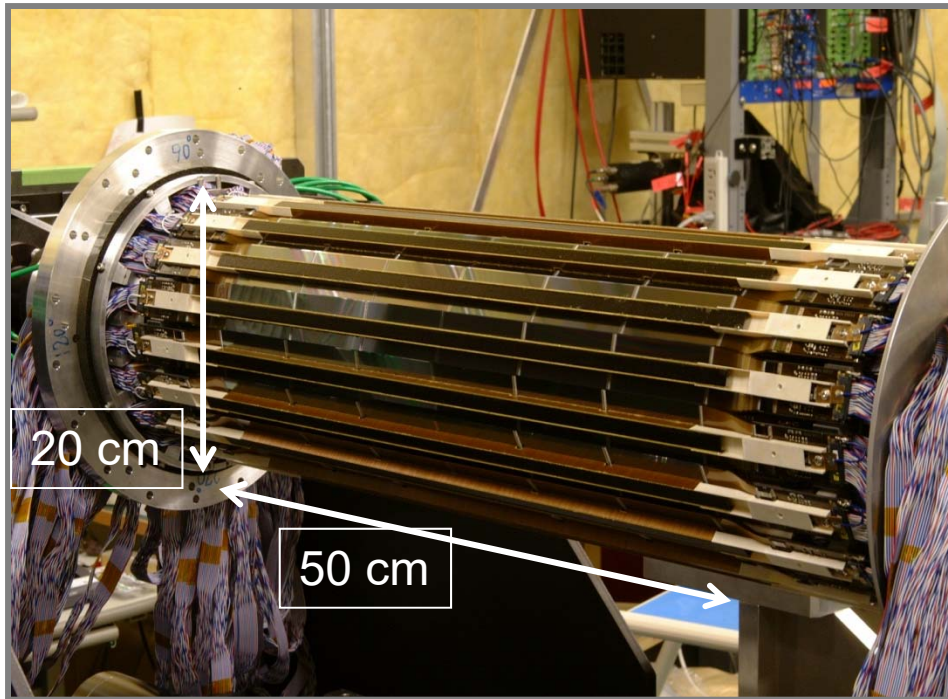


Detektor verteksov

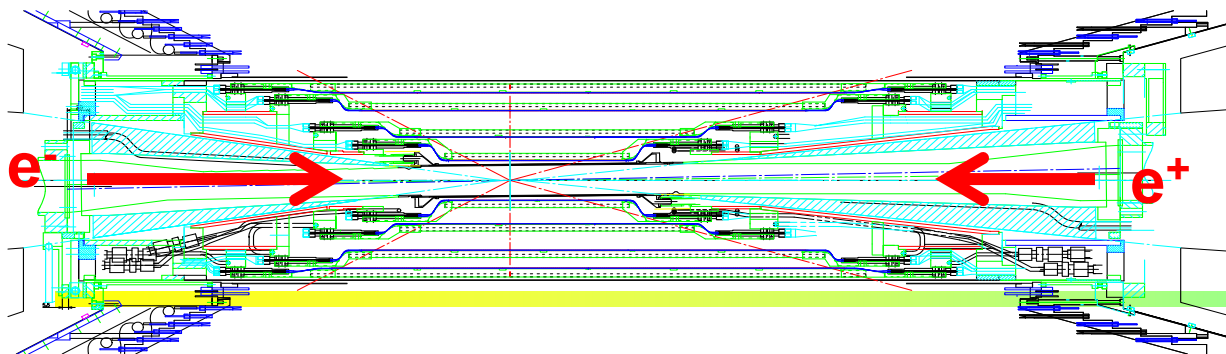
- Eden bistvenih elementov detektorja je detektor verteksa, točke, kjer je mezon B razpadel.
- Zelo občutljiv kos aparature iz $300\mu\text{m}$ debelih silicijevih plošč z gosto nanešenimi elektrodami: natančnost meritve mesta preleta nabitega delca: $10\mu\text{m}$!



Silicijev detektor verteksov



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

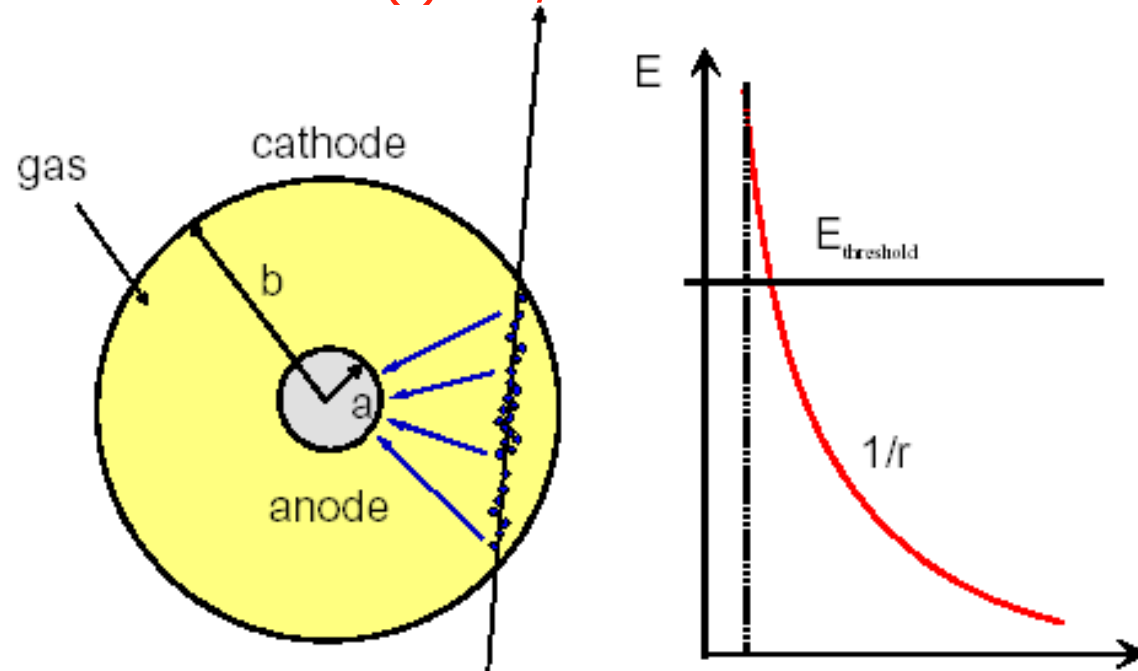


Sledenje delcev v plinu: drift komora

Izkoriščamo ionizacijske izgube nabitih delcev v plinu.

Sproščeni elektroni (iz para elektron-ion) potujejo proti pozitivno nabiti tanki žici, ob površini pomnoževanje \rightarrow 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 \rightarrow pomnoževanje

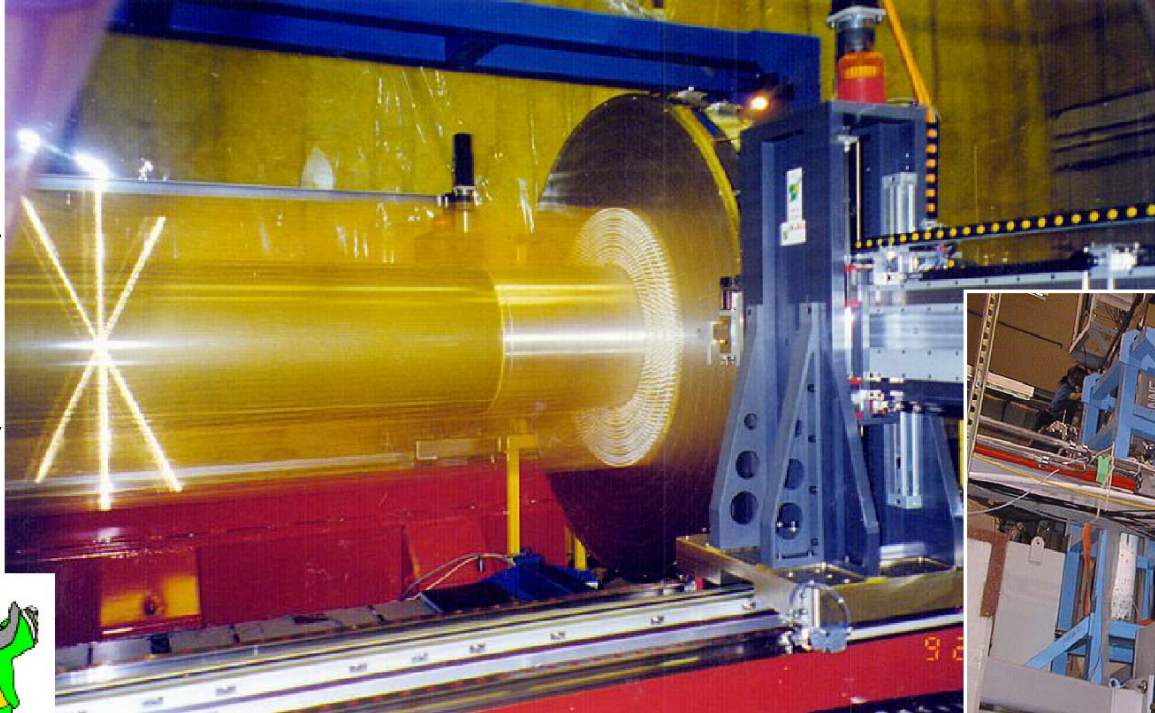
Sledenje delcev: drift komora

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

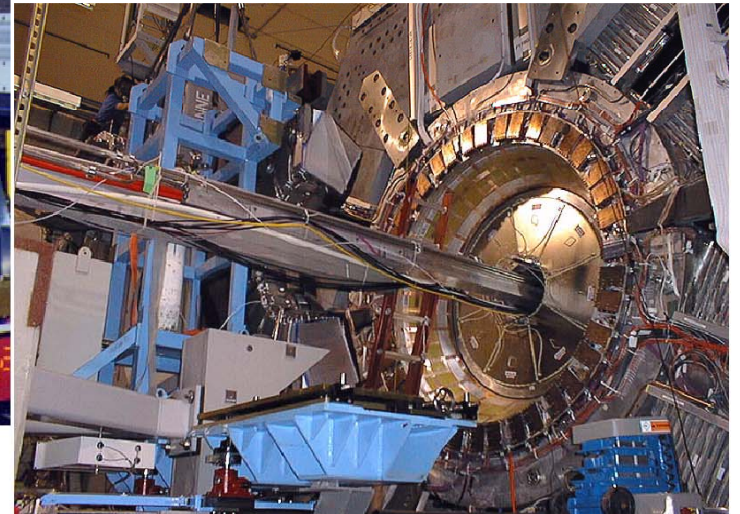
~4m



~2m



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



16 axial, 24 stereo layers



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) →

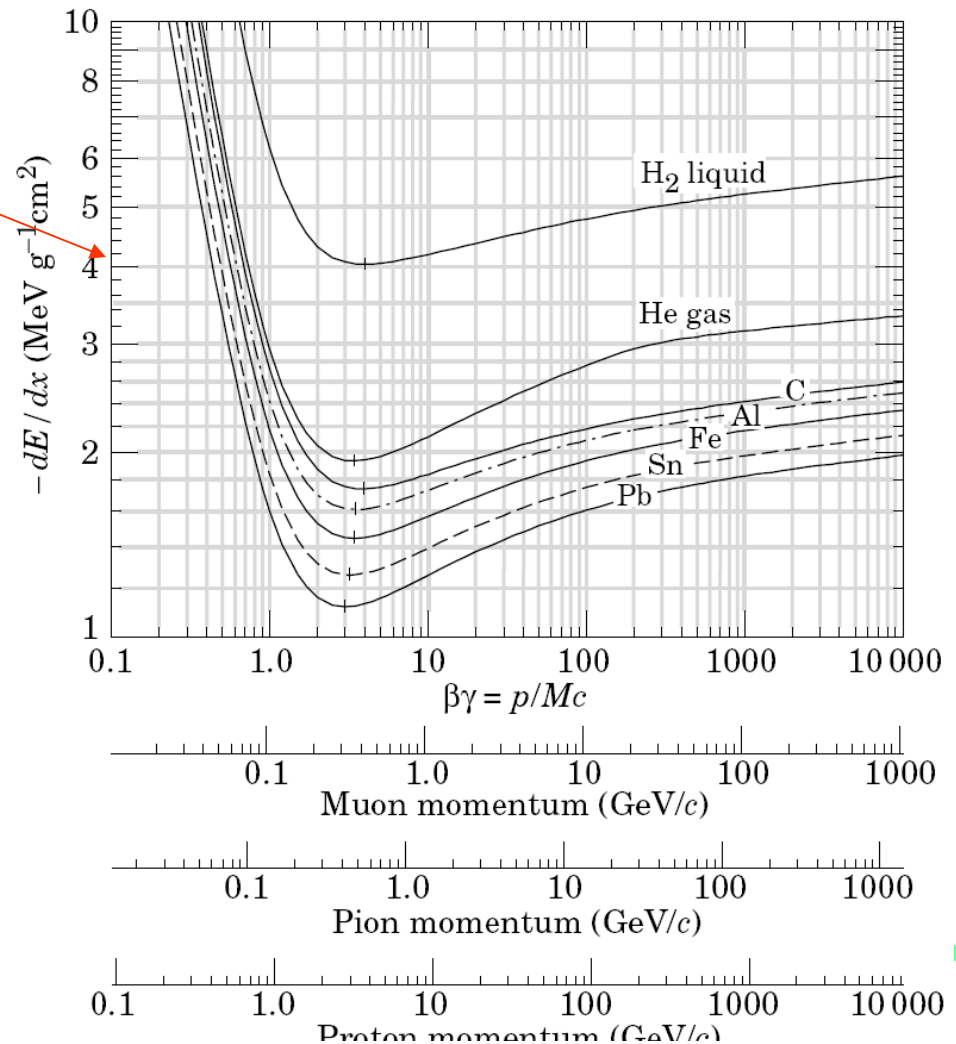
velikost kota Čerenkova →

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

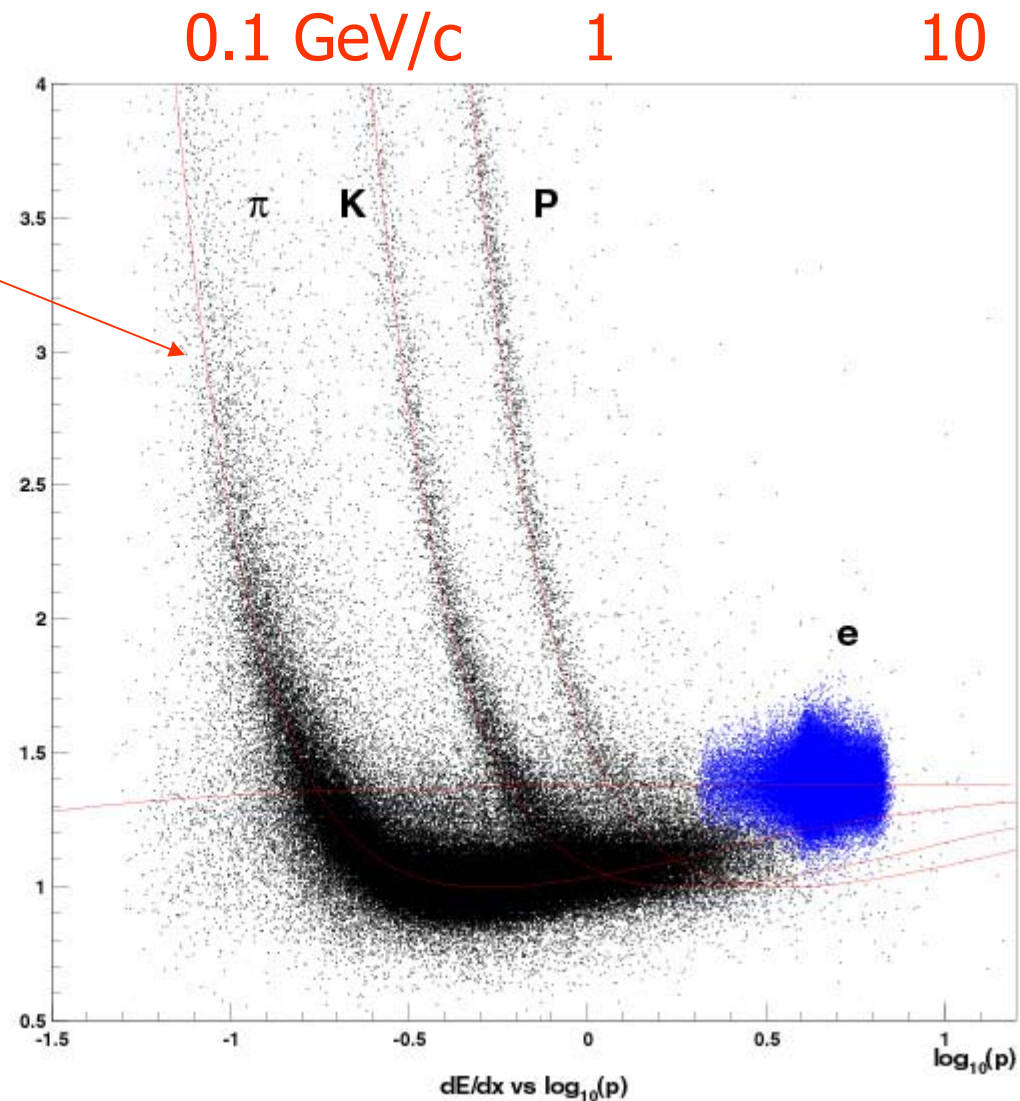


Identifikacija z meritvijo energijskih izgub (dE/dx)

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

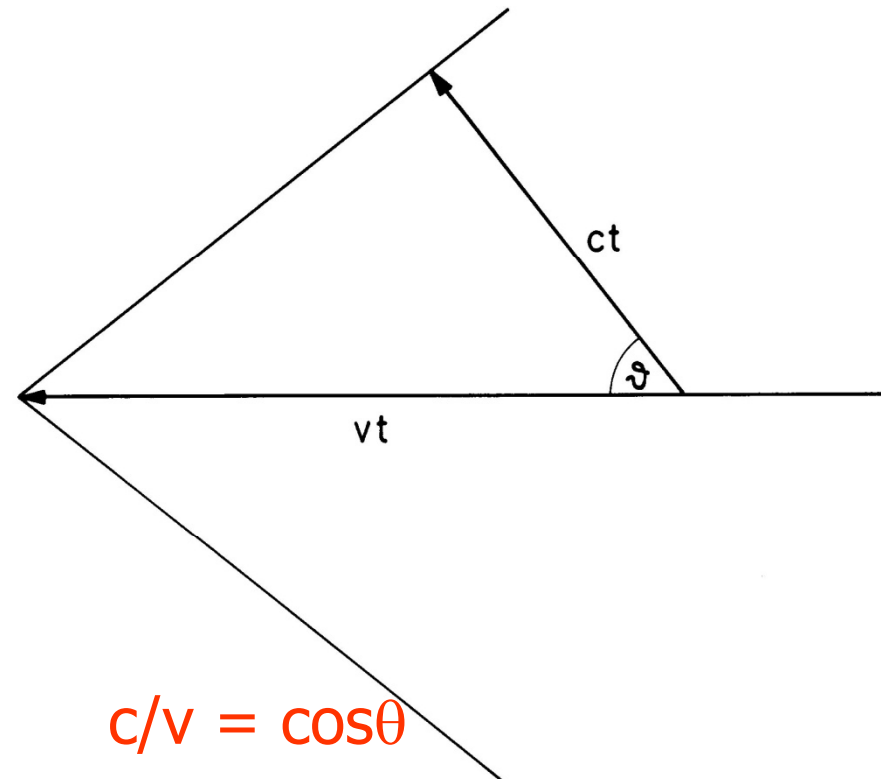
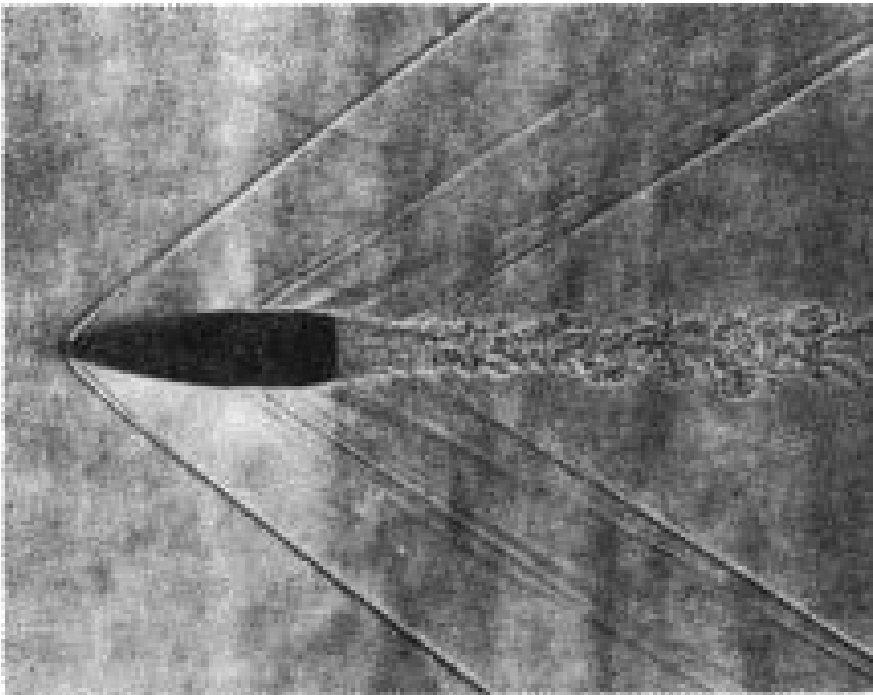
dE/dx izgube v veliki drift
komori \rightarrow

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



Identifikacija preko sevanja Čerenkova

Fronta pri nadzvočnem letu



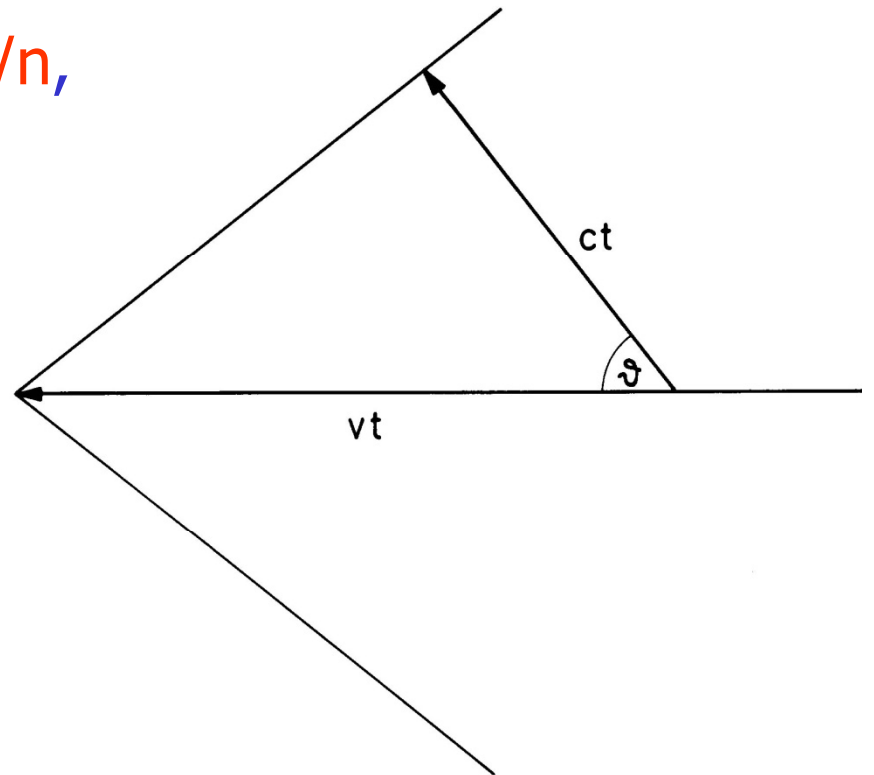
Na sliki: kot 52° , $v = c/\cos\theta = 340\text{m/s} / \cos 52^\circ = 552\text{m/s}$
Iz kota fronte določimo hitrost krogle!

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.

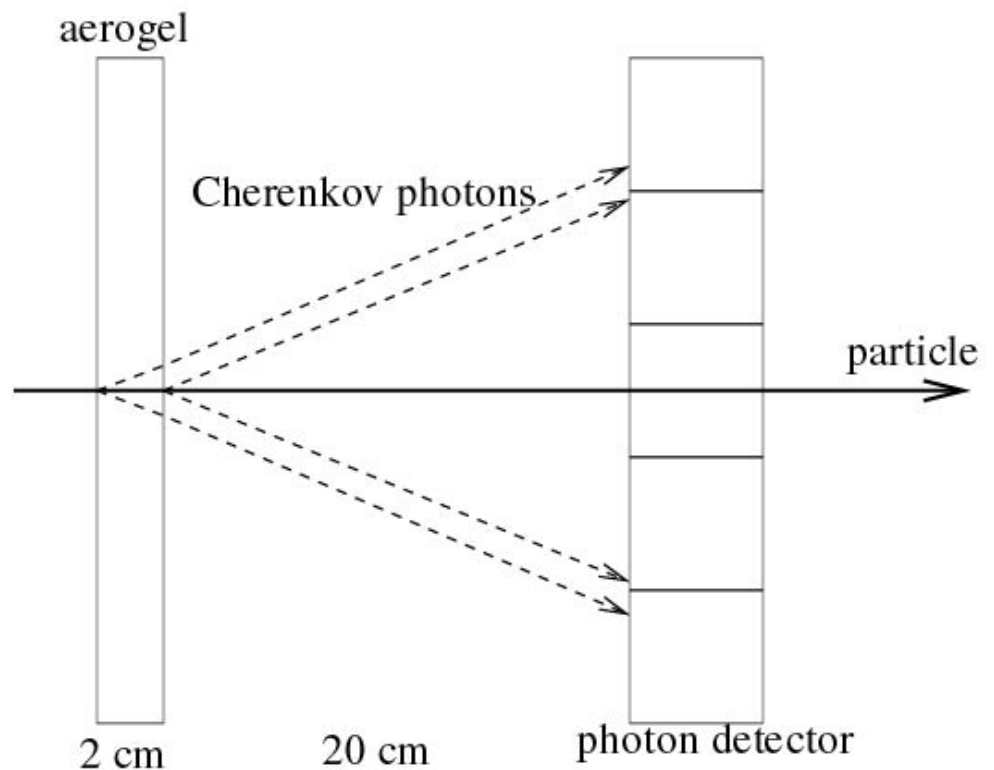


*P. Čerenkov, Nobelova nagrada 1958

Meritev kota Čerenkova

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

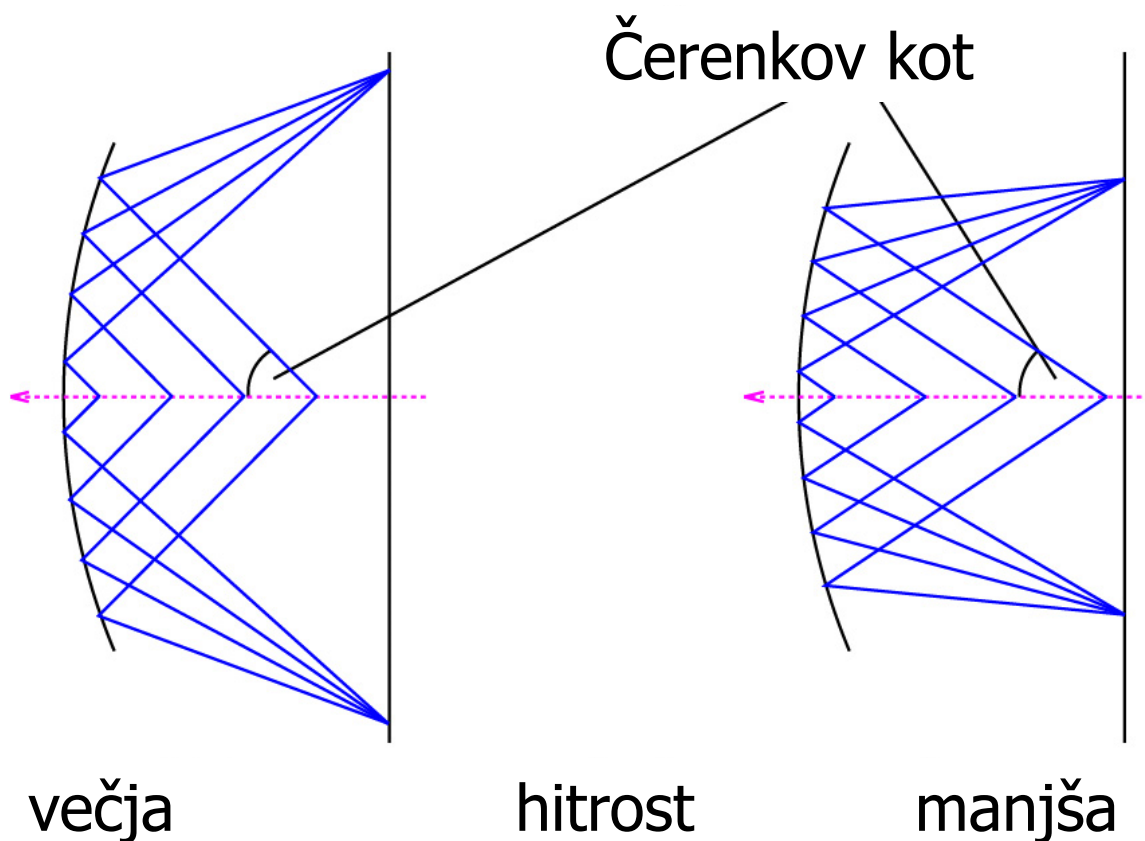
Smer sevanja (fotonov) določimo iz znane točke izseva in izmerjene točke detekcije.

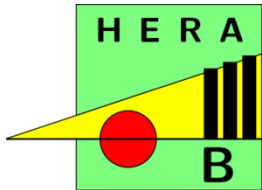


Detektor Čerenkovih obročev 2

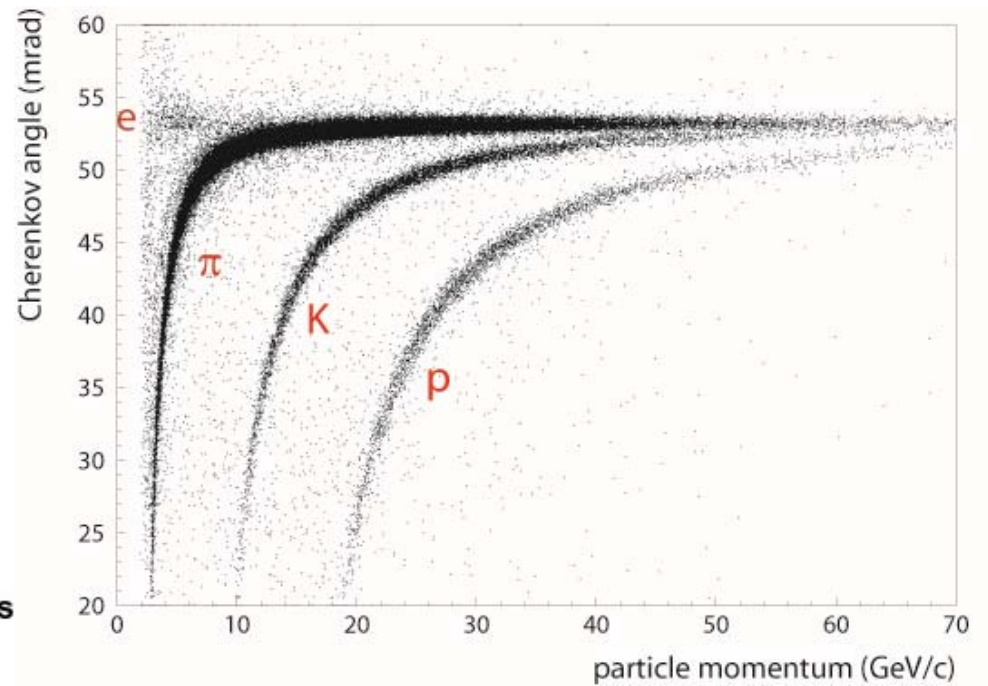
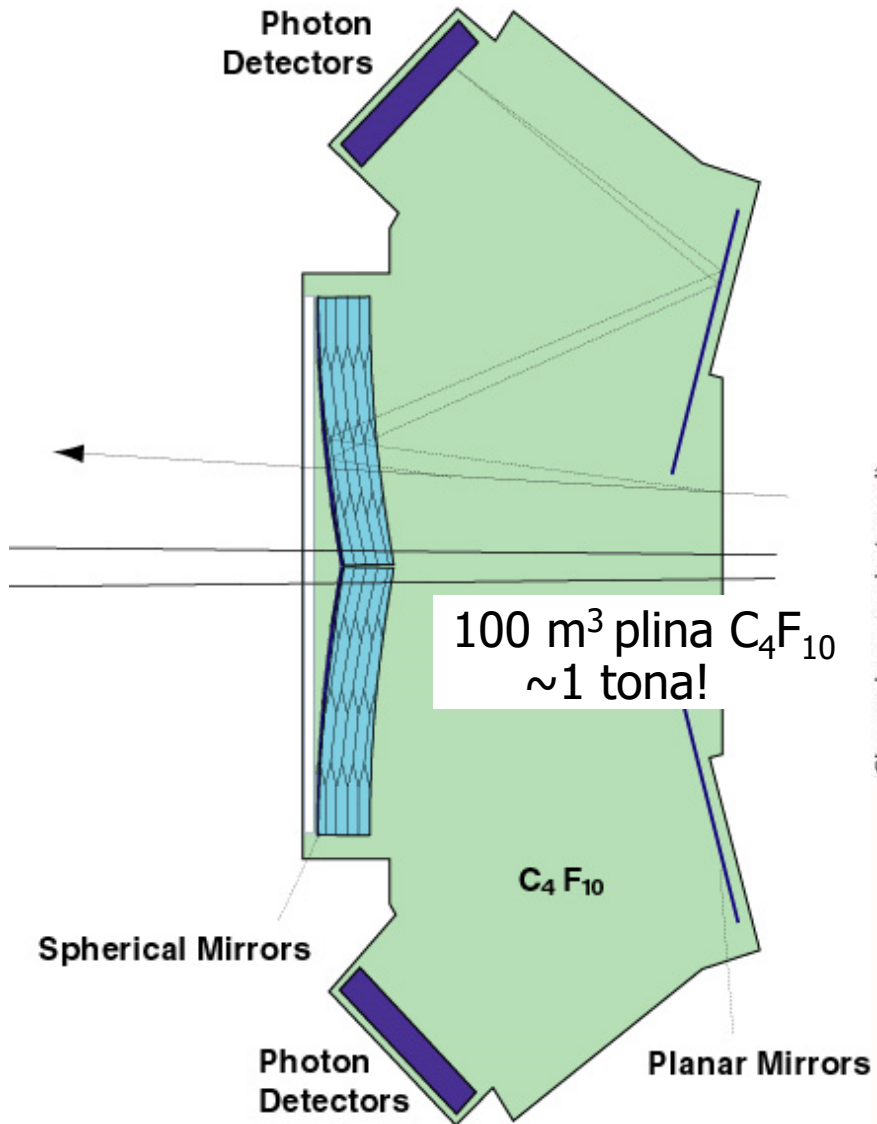
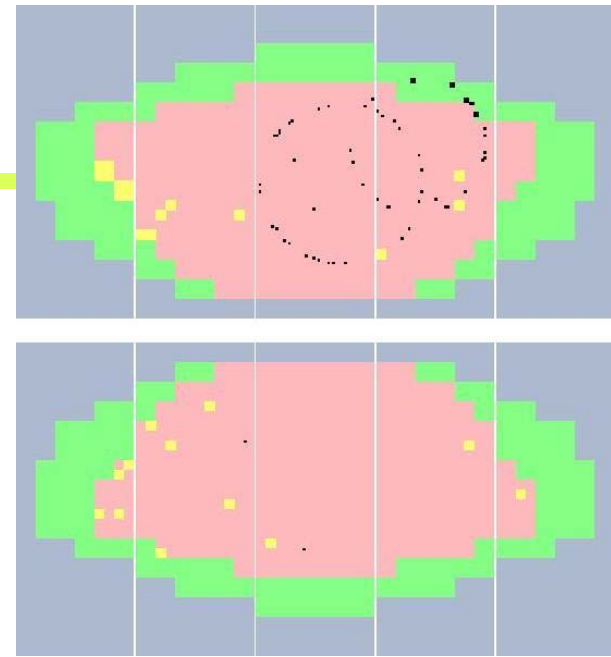
Druga možnost – debel sevalec: pretvoriti **smer** v **koordinato**.

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





HERA-B RICH



Identifikacija nabitih delcev

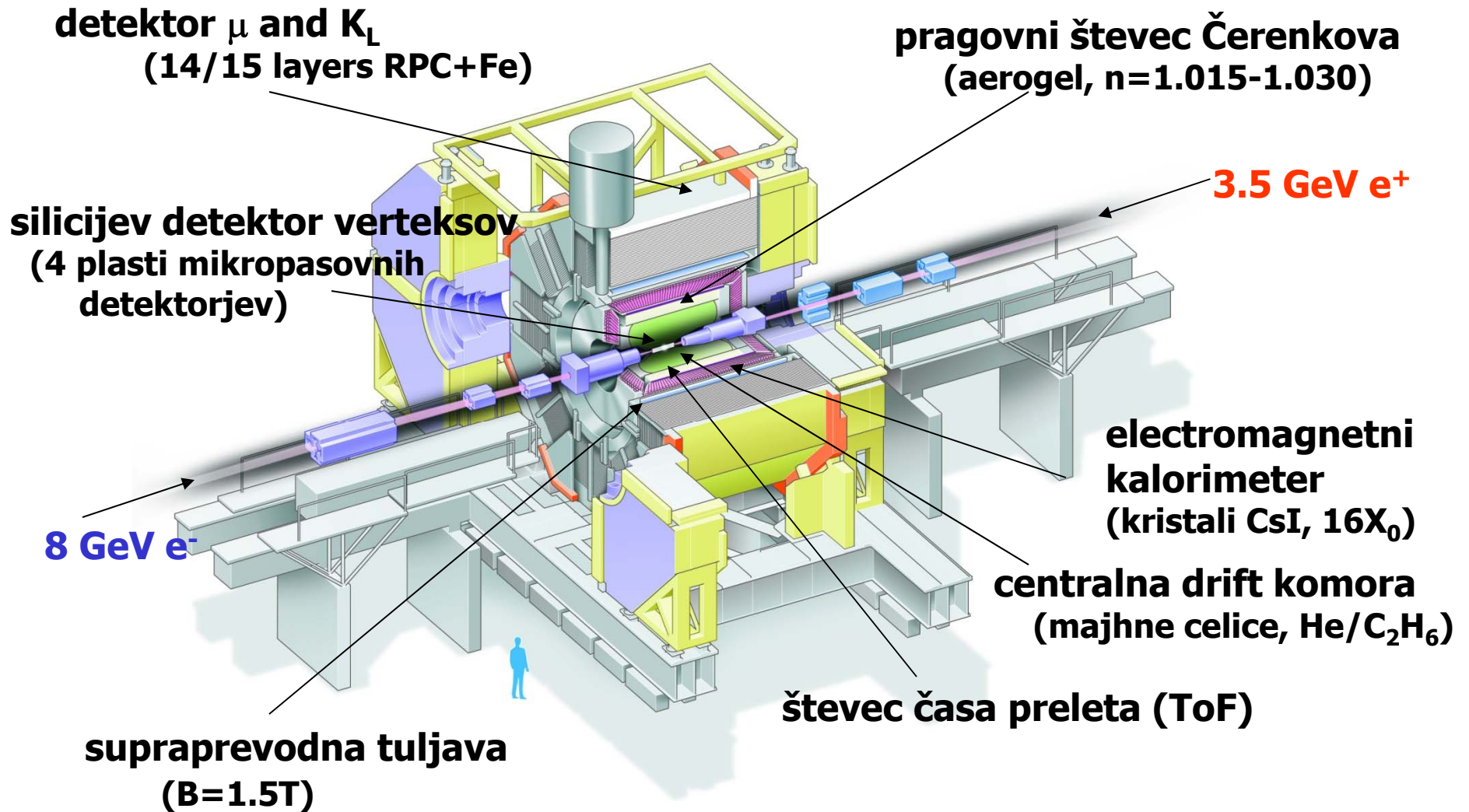
Hadroni (π , K, p):

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

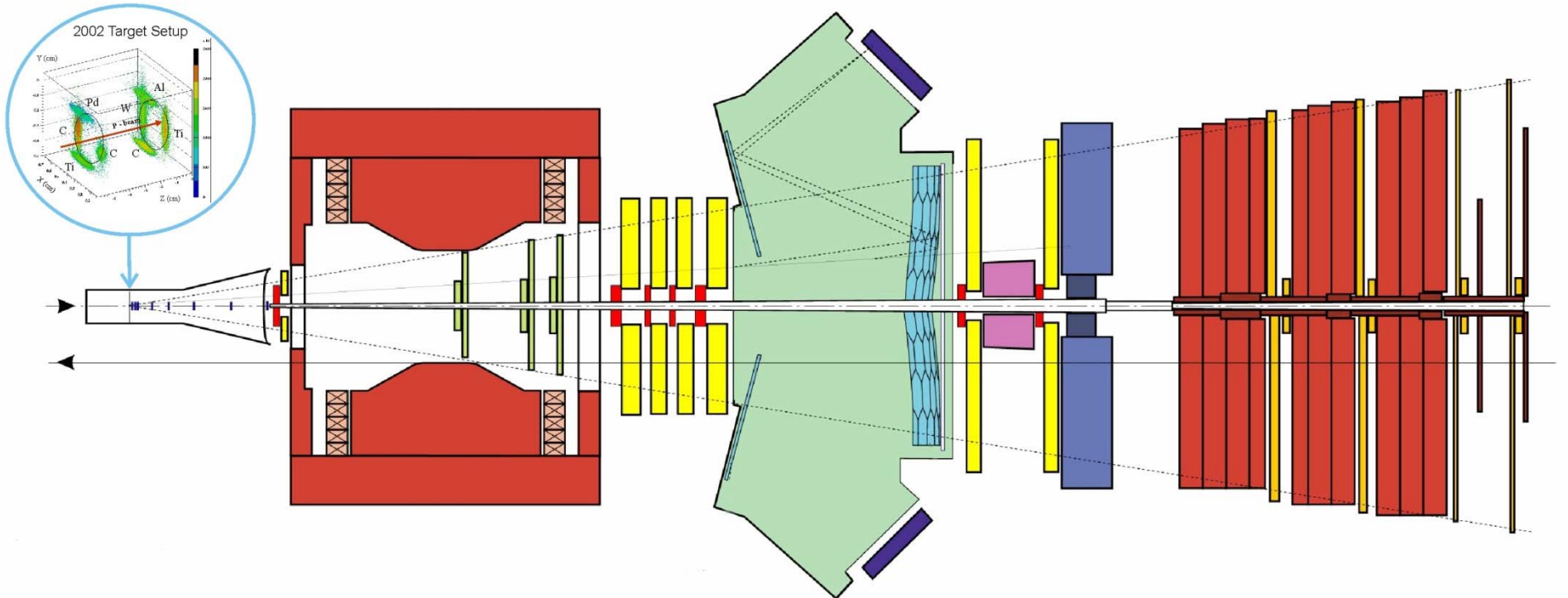
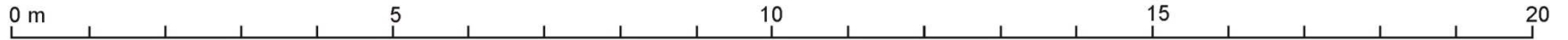
Elektroni: edini zavorno sevajo (dosti manjša masa kot ostali), povzročijo pljusk nabitih delcev v elektromagnetnem kalorimetru (scintilator+fotopomnoževalke)

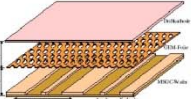
Mioni: interagirajo elektromagnetno, ne sevajo zavorno, preletijo tudi tuljavo magneta in debele železne plošče povratnega jarma.

Spektrometer Belle



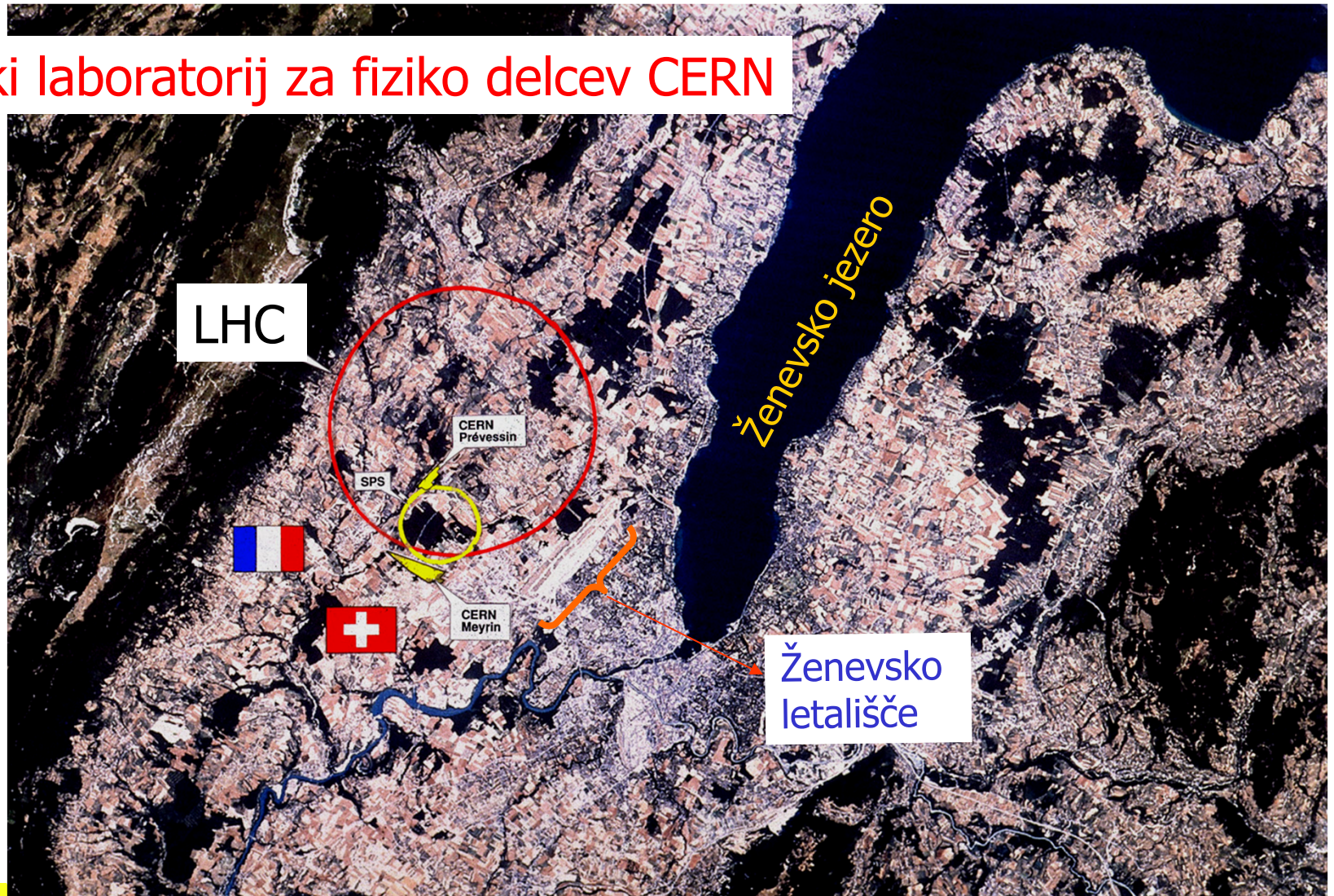
HERA-B: detector ob fiksni tarči



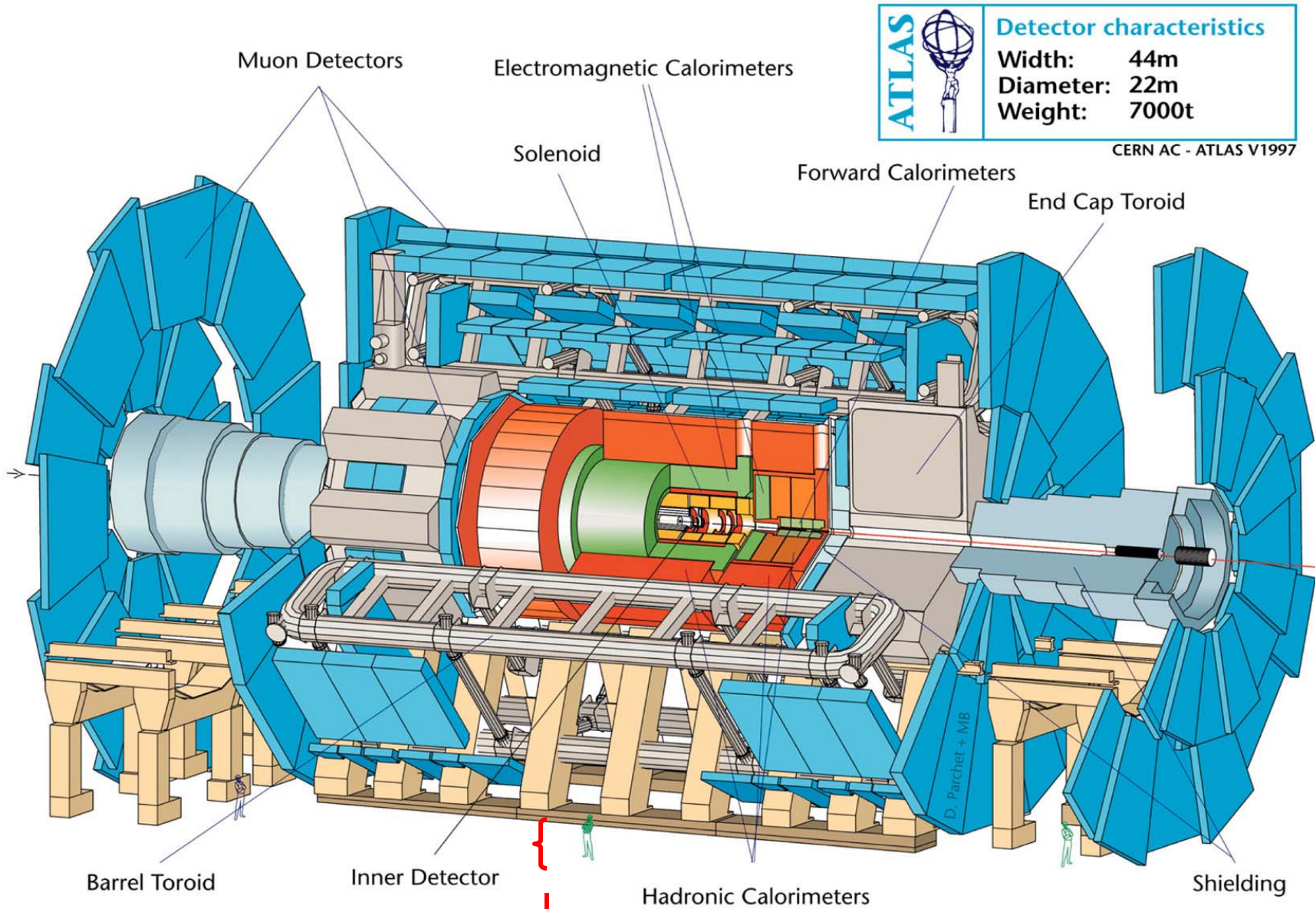
<p>Target & Vertex 8 layers of double-sided Si-microstrips, movable on Roman-Pots; 8 wire-target (see above)</p>	<p>High p_T 3 superlayers gas, pixel and pad chambers; pre-trigger for high p_T tracks</p>	<p>Outer Tracker 7 superlayers of honeycomb drift chambers, 5 and 10mm cells</p>	<p>RICH Spherical mirror inside C_4F_{10} radiator, Lens-enhanced multianode PMT focal plane.</p>	<p>Inner Tracker 7 superlayers of Micro Strip Gas Chambers with GEM-foil</p> 	<p>Electromagnetic Calorimeter W/Pb scintillator sandwich, shashlik WLS readout with PMTs; energy-cluster pre-trigger</p>	<p>Muon System 4 superlayers of gas-pixel, tube & pad chambers; pad-coincidence pre-trigger</p>
---	---	---	---	---	--	--

Meritve lastnosti Higgsovega bozona

Evropski laboratorij za fiziko delcev CERN



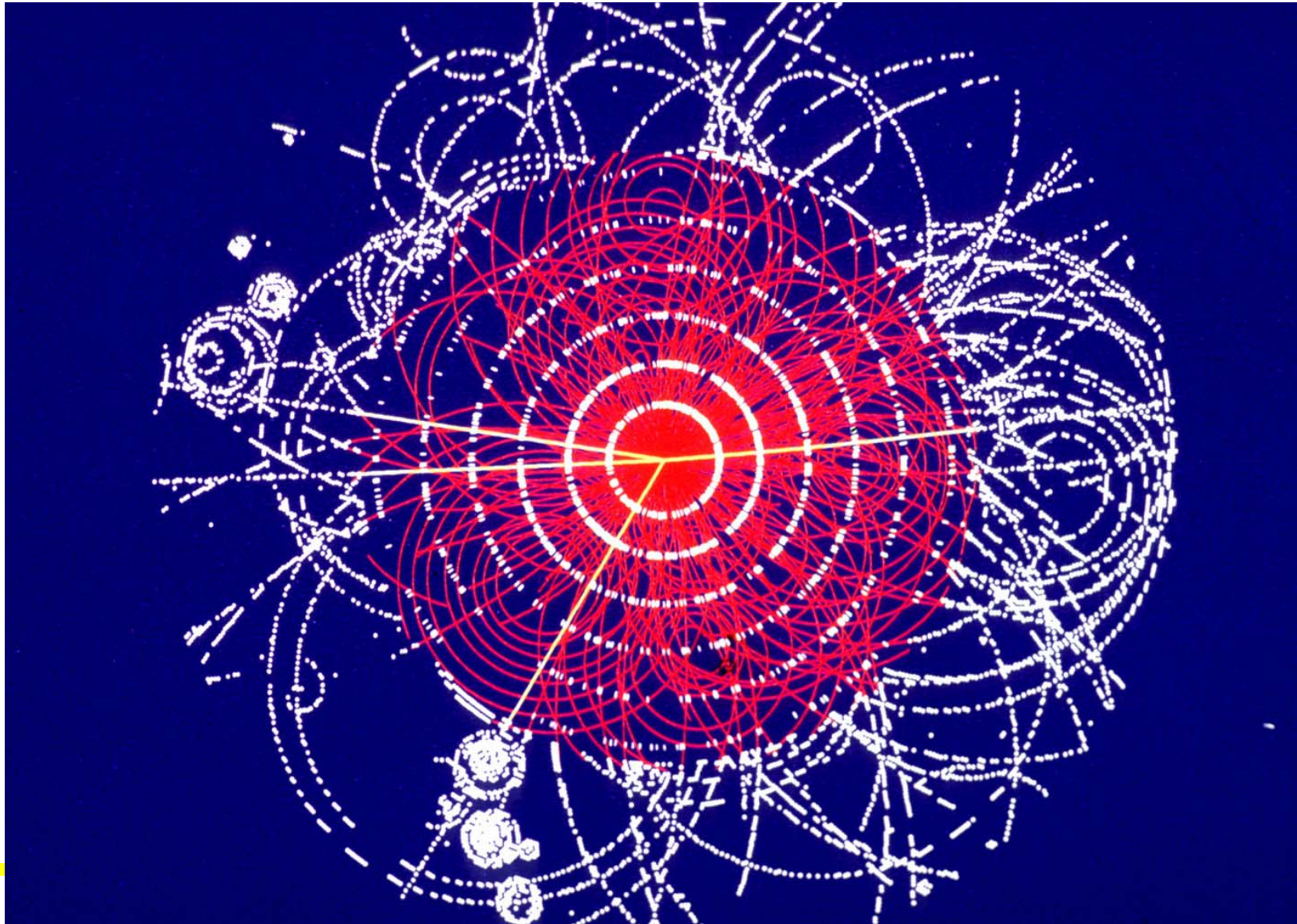
Detektor ATLAS ob LHC



možak..tukaj...

Peter Križan

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



Kako zaznati nevtrine?

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

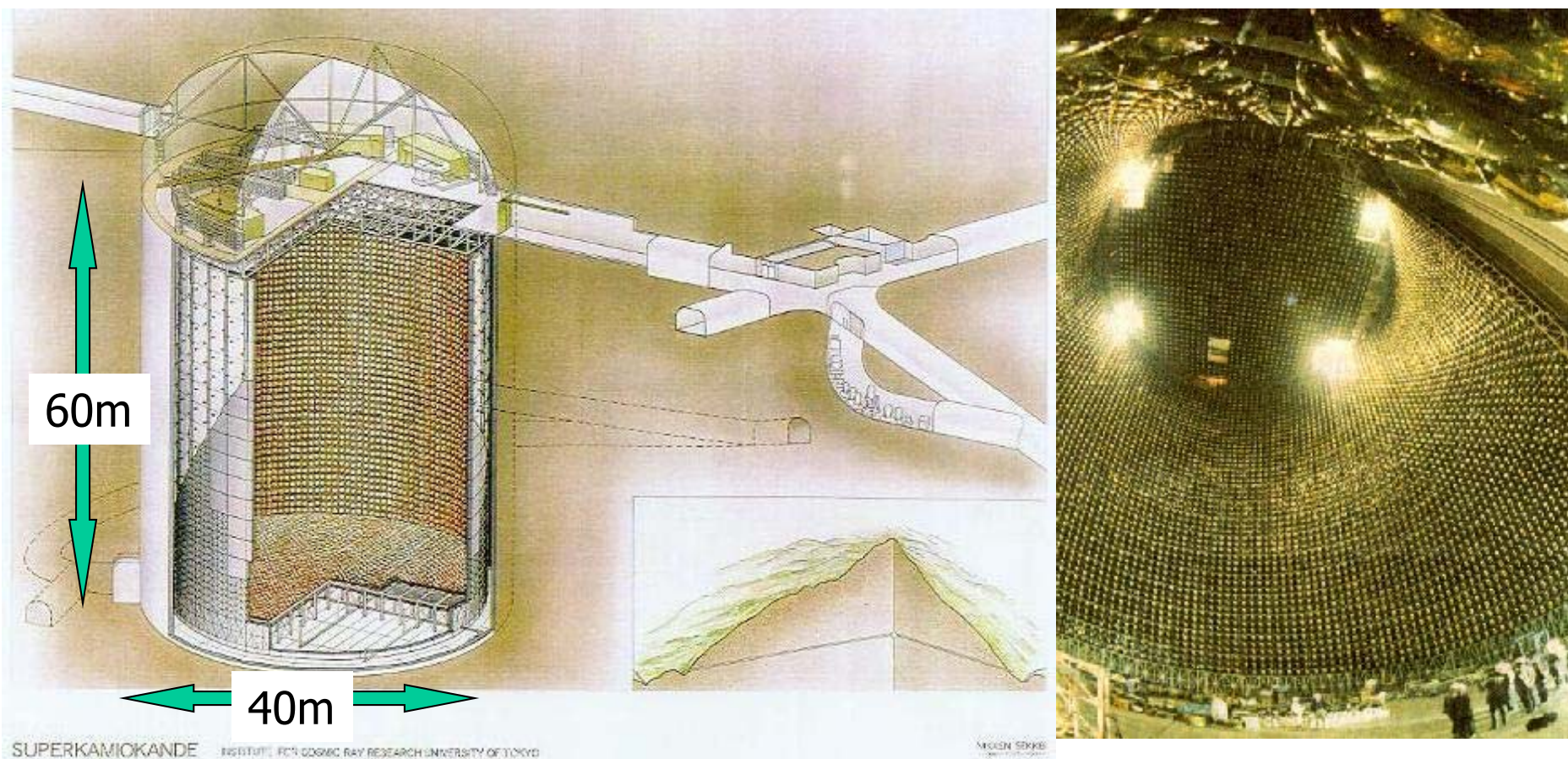


Toda: verjetnost za tako reakcijo v 100m vode je samo $4 \cdot 10^{-16}$

Potrebujemo velikanski detektor in zopet nekaj let za meritve!

Superkamiokande: primer nevtrinskega detektorja

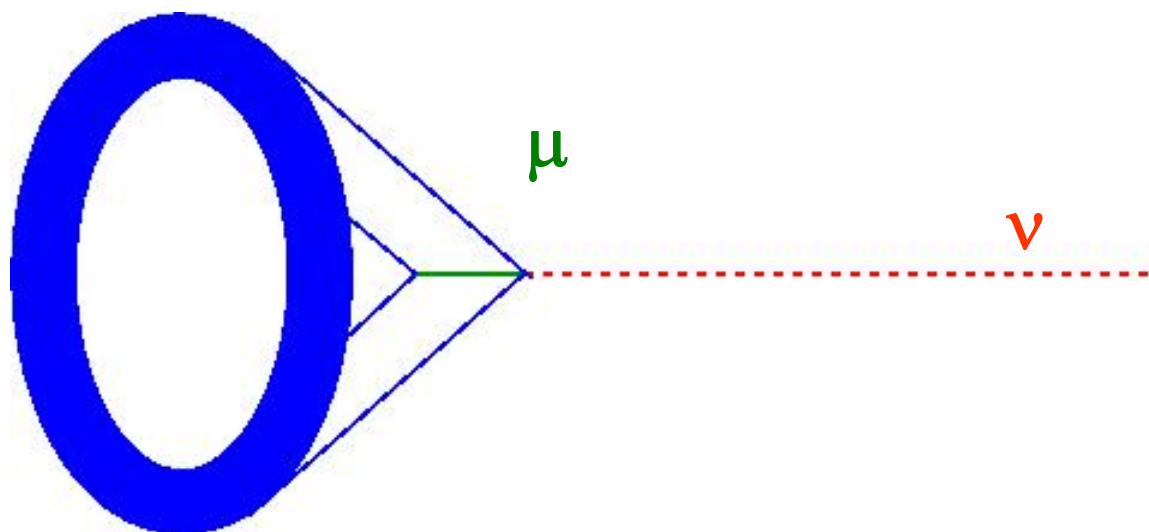
Tudi v tem primeru uporabimo Čerenkovo sevanje



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.

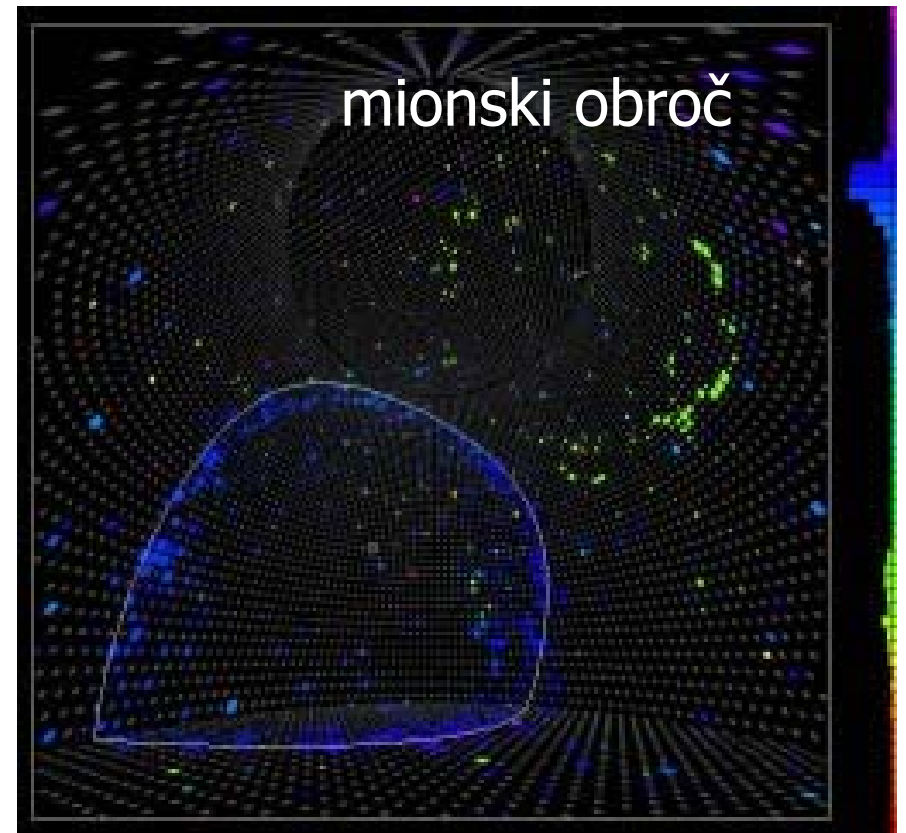
- mionski obroč: ostri robovi
- elektronski: razmazan (zavorno sevanje).

Superkamiokande: zaznavanje elektronov in mionov

Detektorji svetlobe: zelo zelo velike fotopomnoževalke



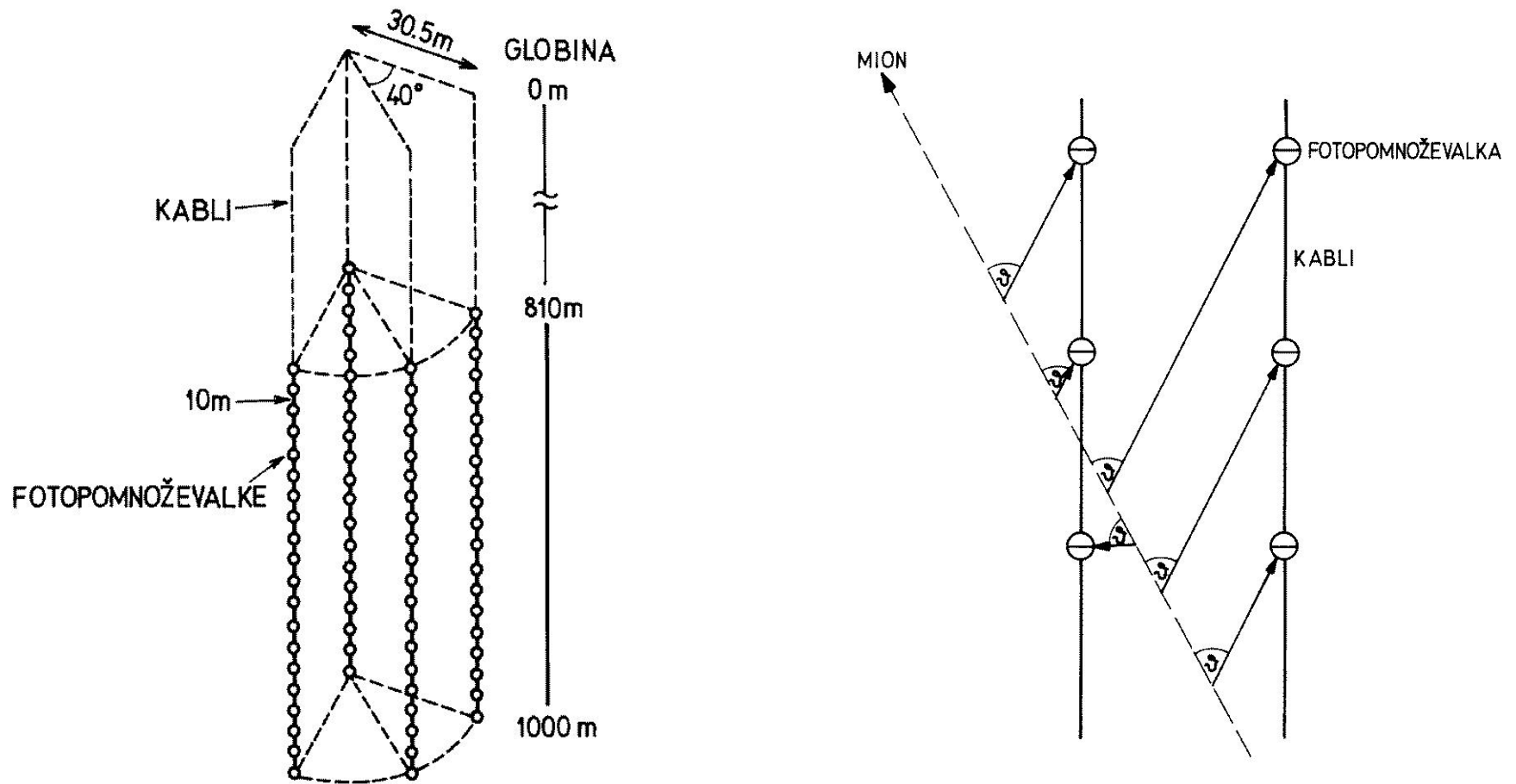
M. Koshihira



Elektrone ločimo od mionov po vzorcu na detektorju svetlobe.

Peter Križan

IceCube: uporabimo led na Antarktiki namesto vode



Fotopomnoževalke merijo čas prihoda Čerenkovih fotonov

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:

- F. Halzen, A. Martin: Quarks & Leptons
- Donald Perkins: Introduction to High Energy Physics
- Boštjan Golob, FJOD zapiski, http://www-f9.ijs.si/~golob/sola/fjod/fizika_delcev-1-pub.pdf, http://www-f9.ijs.si/~golob/sola/fjod/fizika_delcev-2-pub.pdf

Jedro:

- Mitja Rosina: Jedrska fizika, DMFA
- Boštjan Golob, FJOD zapiski, http://www-f9.ijs.si/~golob/sola/fjod/skripta_part1.pdf
- Bogdan Povh, K. Rith, Ch. Scholz, and F. Zetsche: Particles and nuclei

Dodatna literatura

Dodatno čtivo:

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