

www.cern.ch

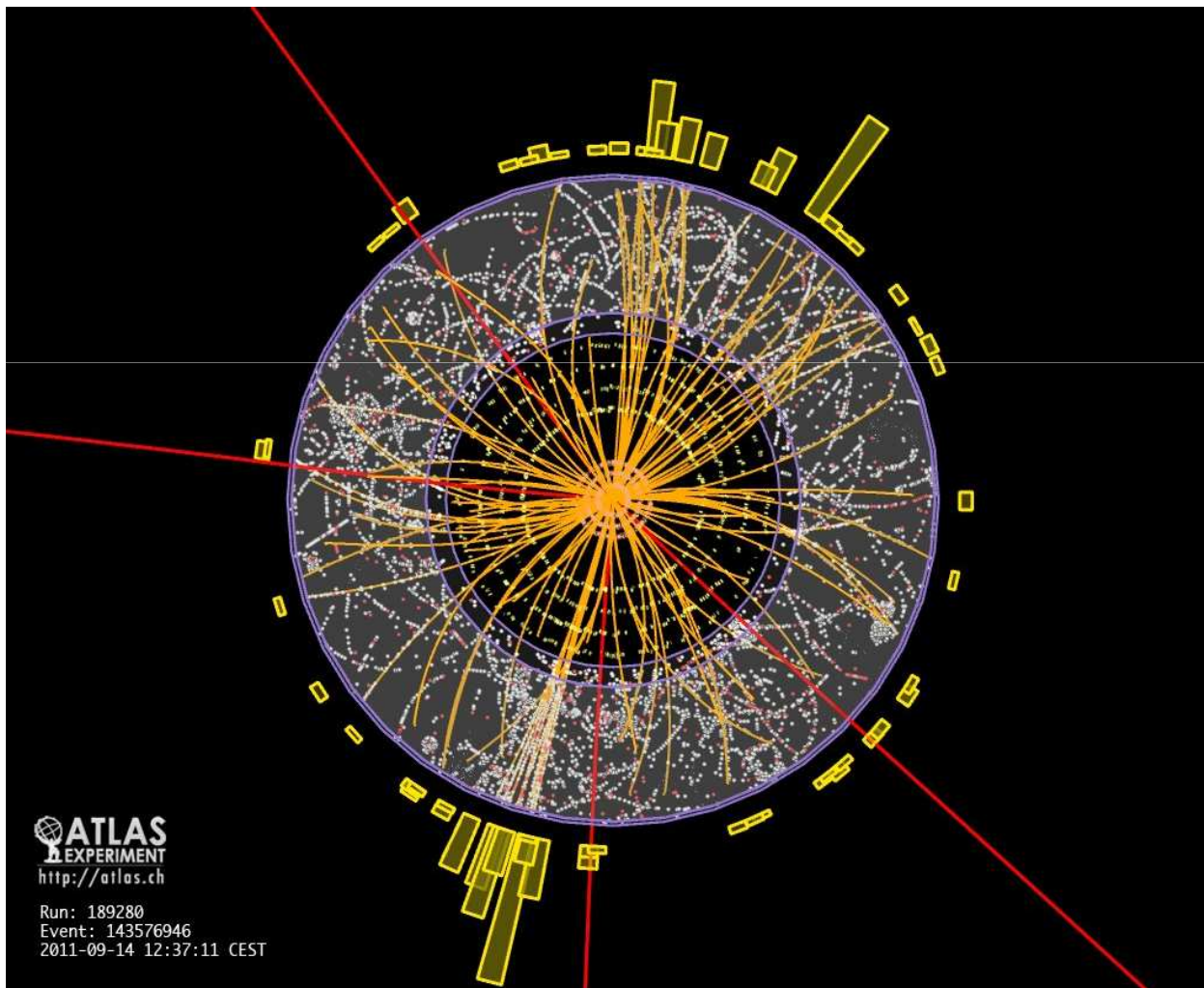


# Detektory částic vo fyzike a aj mimo nej...

Peter Chochula

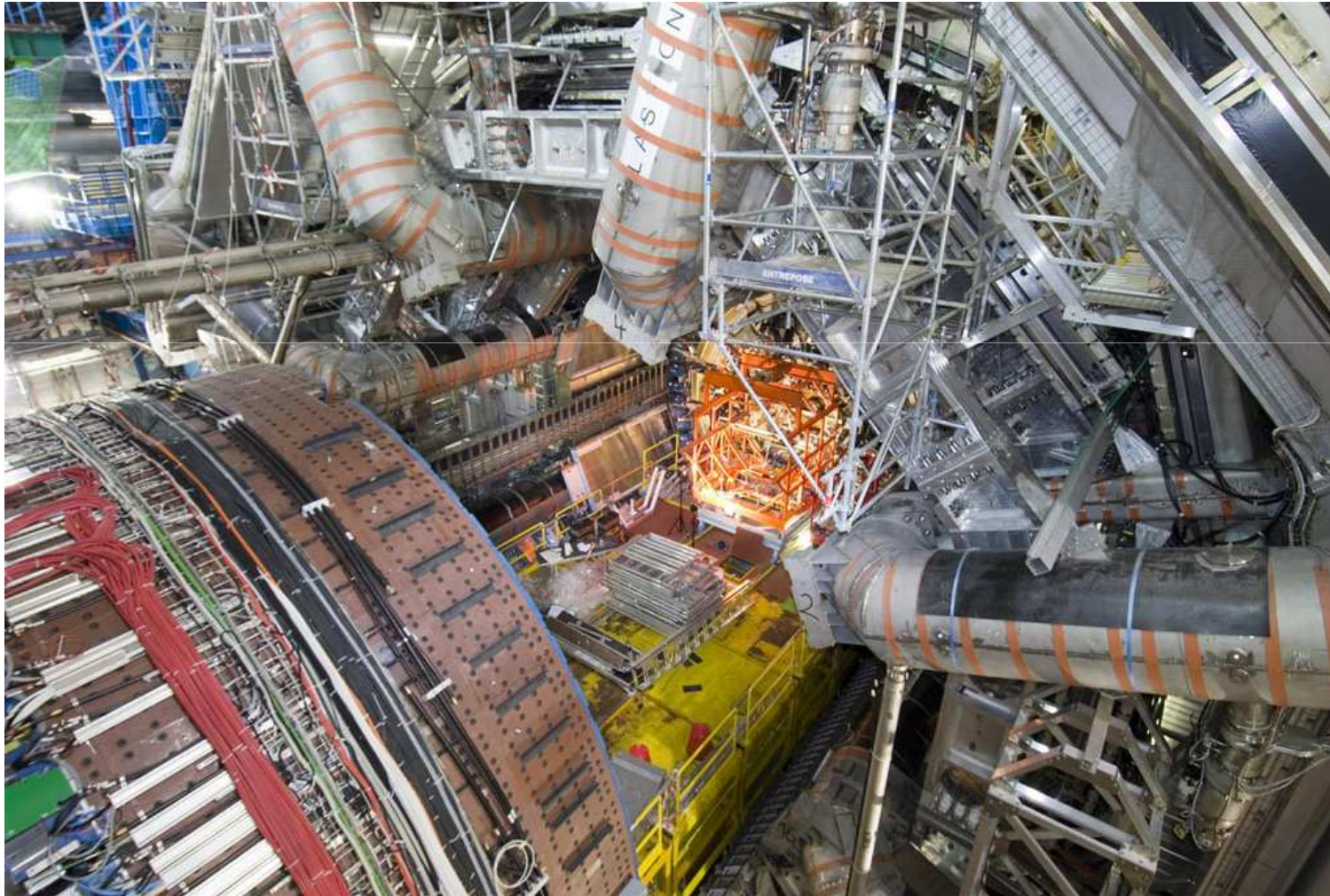
Európske Centrum Jadrových Výskumov – CERN, Ženeva

# Toto je pravdepodobne rozpad Higgsovho bozónu



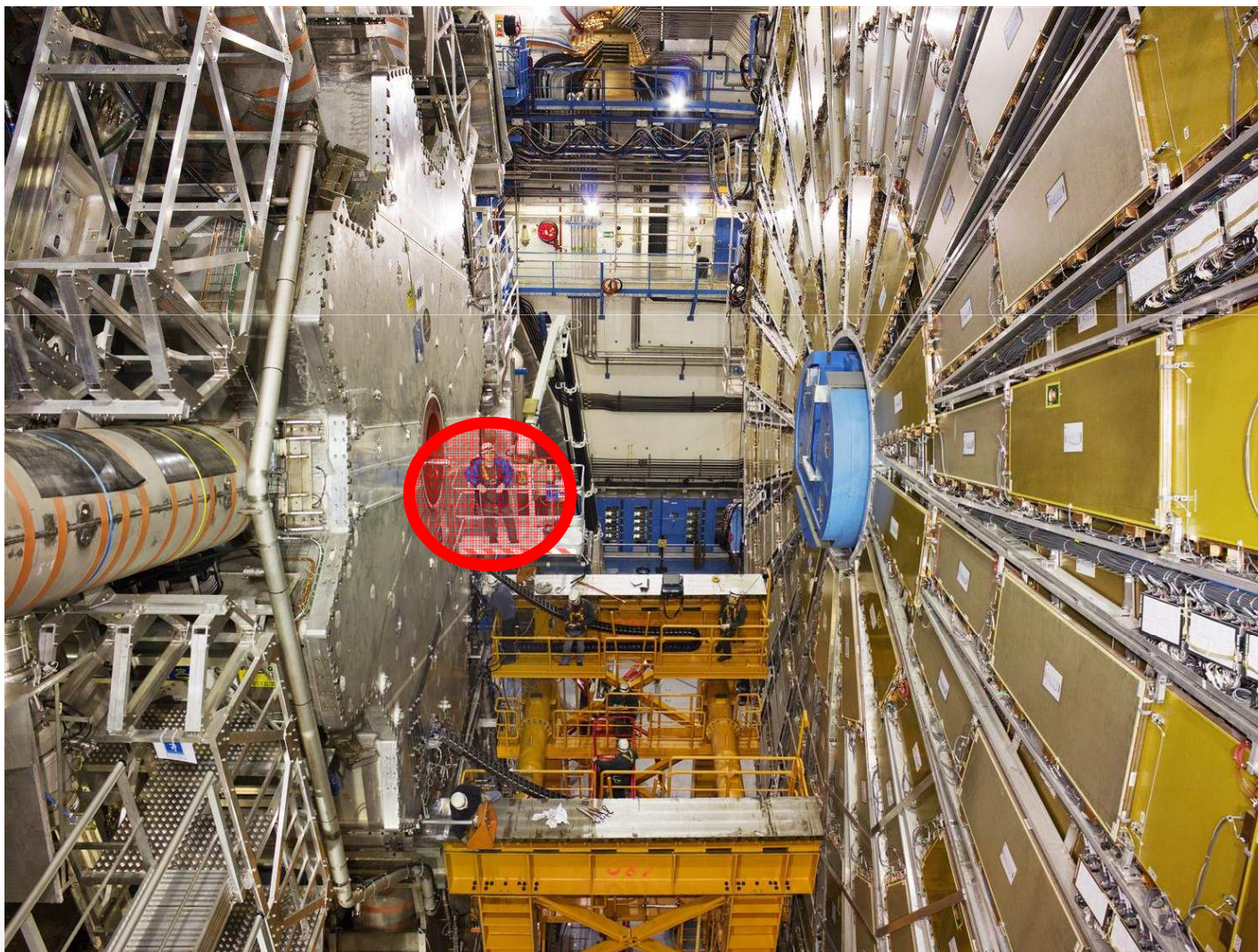


A toto je kamera, ktorá to videla (ATLAS - CERN)



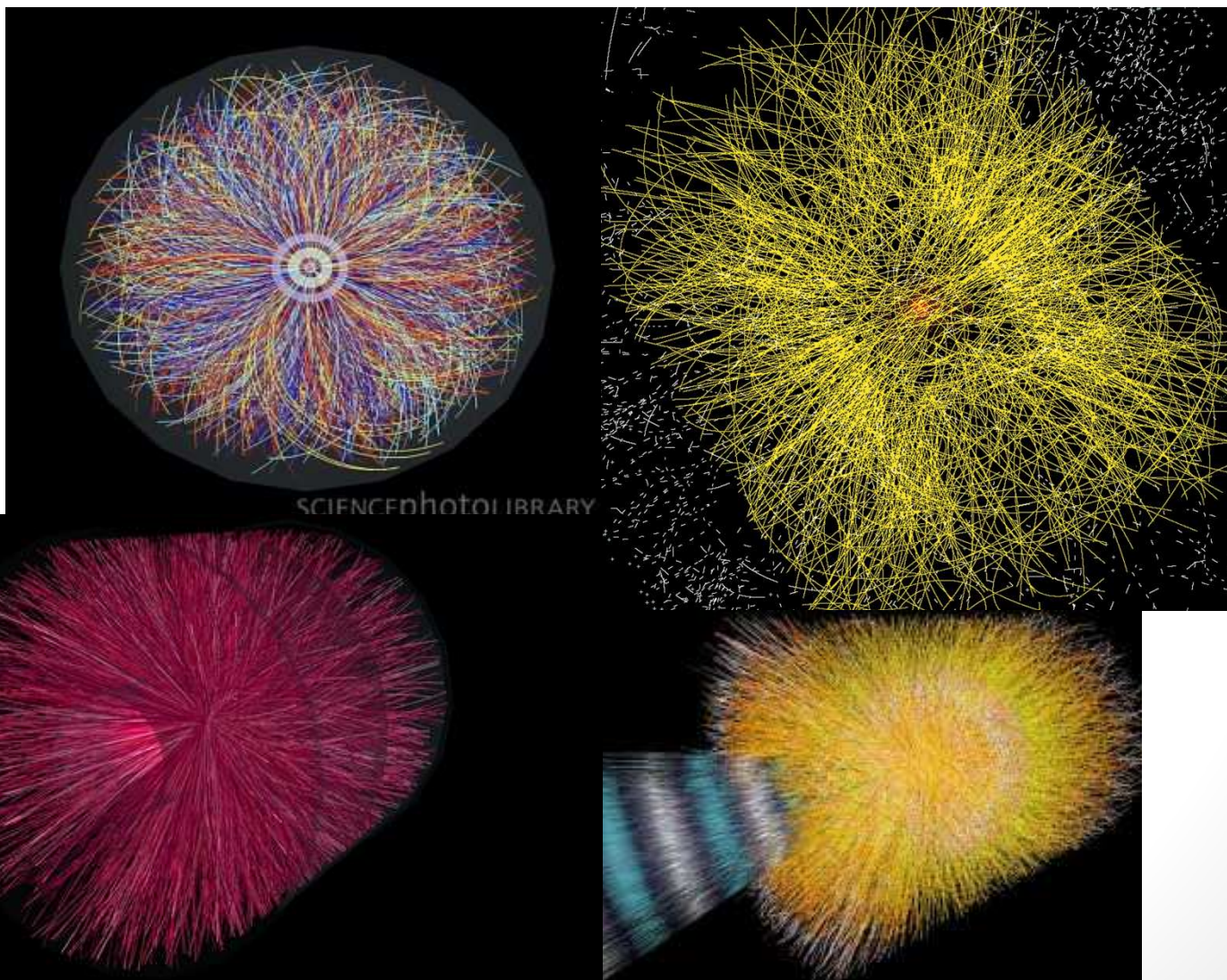


Aj toto je kamera, ktorá to videla (ATLAS - CERN)



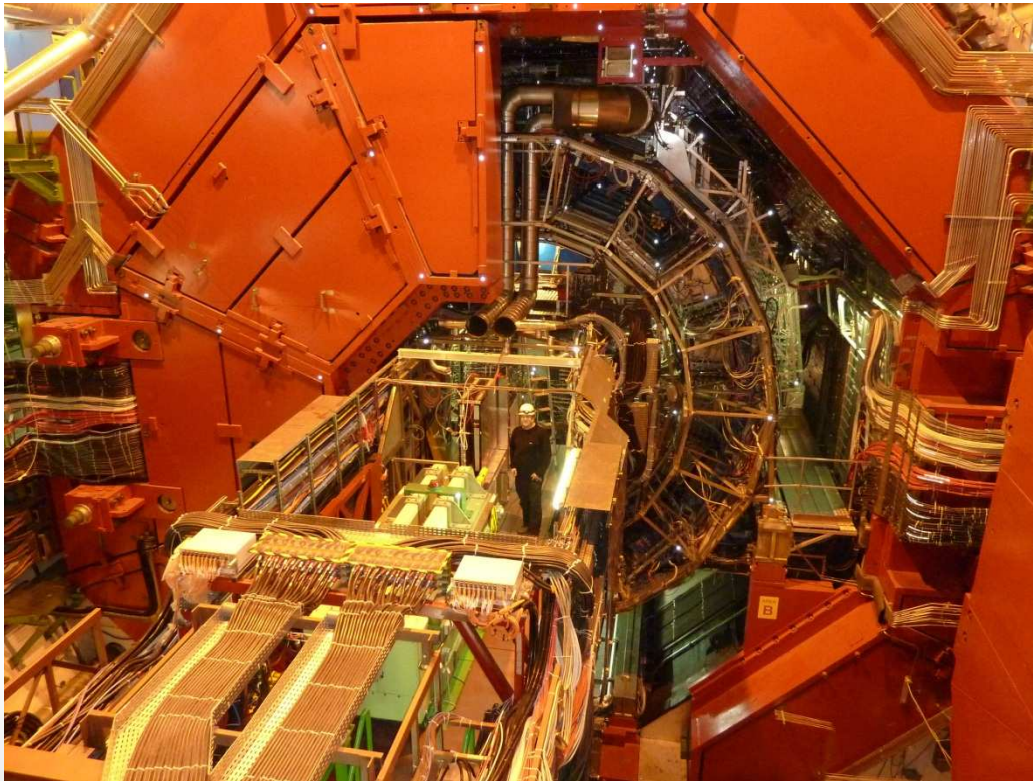


Takto vyzeral Vesmír miliardtinu sekundy po svojom vzniku (pri teplote 100 000 krát vyššej než v strede hviezd)





# A táto kamera to zaznamenala (ALICE- CERN)





Ako to funguje?



# Zobrazovanie neviditeľného

- V tejto prednáške budeme hovoriť o detekcii častíc, meraní ich energie a zobrazovaní dráh
- Detekcia častíc sa líši od iných meracích postupov, pretože máme do činenia s objektami **s rozmerom rádovo  $10^{-15}$  m**, prípadne s bezrozmernými (bodovými) objektami
- Navyše, najmä vo fyzike vysokých energií, sa tieto objekty pohybujú **rýchlosťou blízkou rýchlosti svetla**
- Je zrejmé, že bežné finty ako mikroskop nám nepomôžu a musíme sa obzrieť po neštandardných technikách. Na úvod si pomôžeme analógiou s vyšetrovaním dopravnej nehody

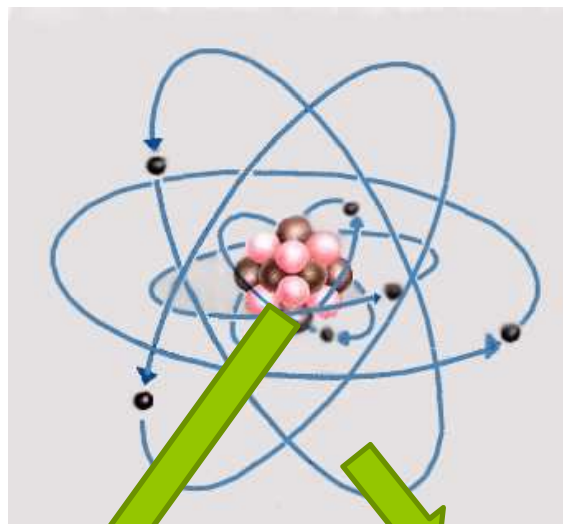
# Čo to vlastne detekujeme?

- V súvislosti s detektormi sa používajú pojmy ako
  - Rádioaktivita
  - Ionizujúce žiarenie
  - Alfa, beta, gamma žiarenie/častice/lúče....
- Častice sa vyskytujú všade okolo nás. Pochádzajú
  - Z prirodzených rádioaktívnych zdrojov
  - Z Vesmíru (kozmicke žiarenie)
  - Z ľudskej činnosti (umelé nuklidy, lekárske prístroje, experimenty...)



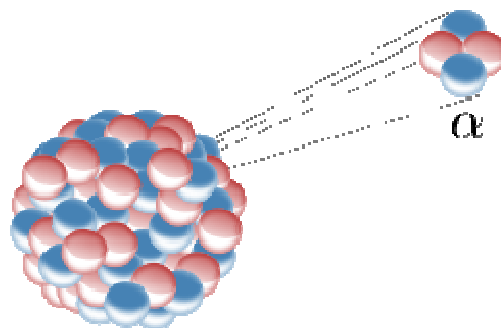
# Rádioaktivita – zbavenie sa energie

## Atóm

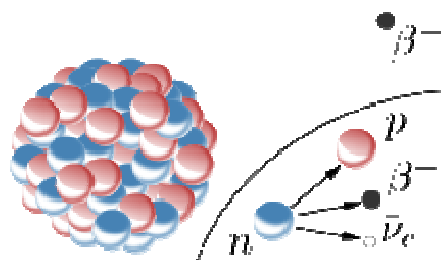


jadro

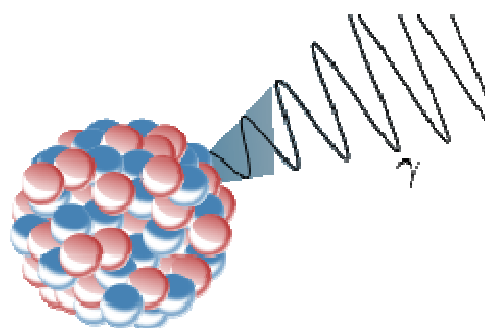
obal



**Alfa** alebo  
jadro hélia  
(2p2n)

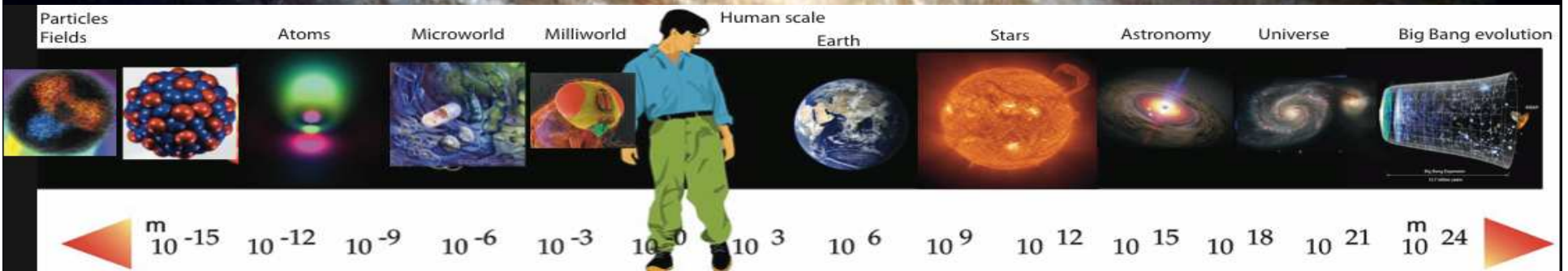
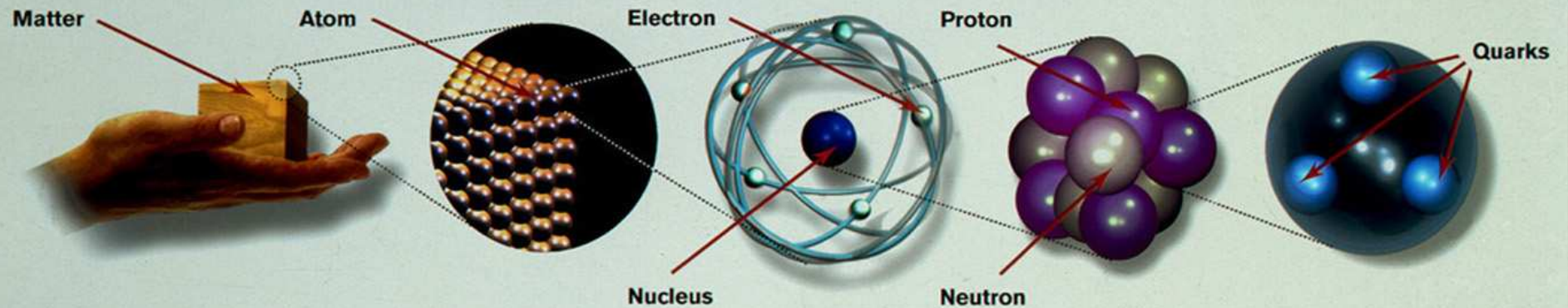


**Beta** alebo  
elektrón



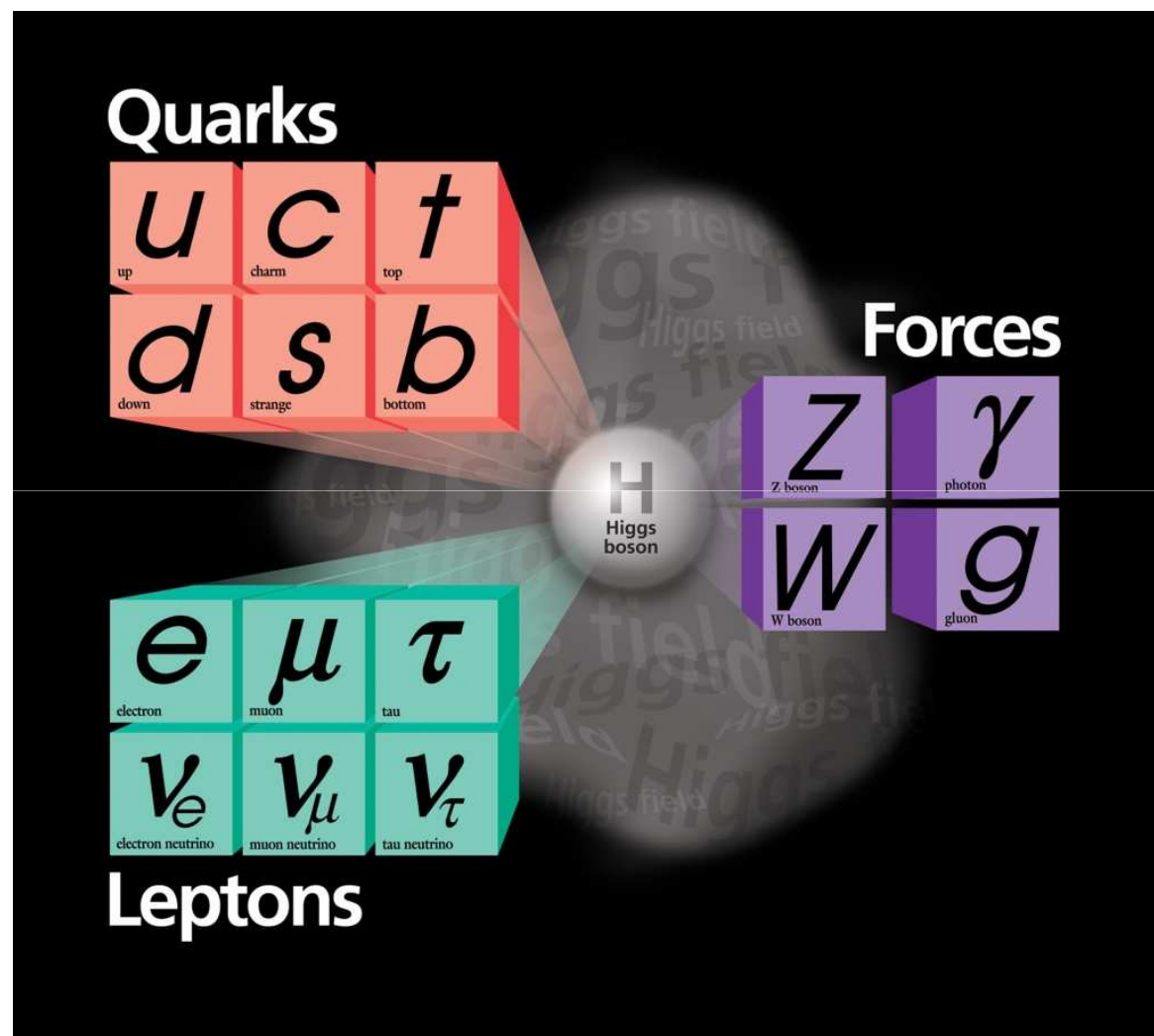
**Gamma** alebo  
fotón

# Kozmické LEGO





# Základné LEGOkocky



# ... A teda častice , ktoré chceme detekovať sú

- Bud'
  - samotné LEGO kocky (fotón, elektrón, mión)
- Alebo
  - Väčšie kocky, postavené zo základných (protón, neutrón...)
- Častice často žijú iba krátku dobu a potom sa rozpadnú na objekty, ktoré dokážeme zaregistrovať:
  - Fotóny
  - Neutróny
  - Iné nabité častice

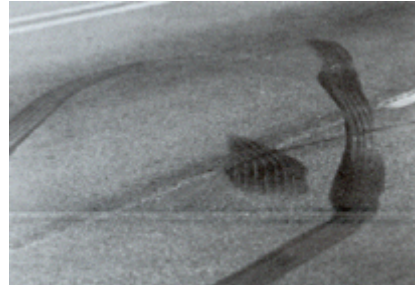


# Ako registrujeme častice?

- Všímame si stopy, ktoré častice zanechali po prechode detektorom
- Z týchto stôp zrekonštruujeme zaznamenanú udalosť

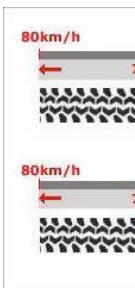


Pri vyšetovaní nehody často vidíme len jej dôsledok



Detekcia častíc vychádza z podobných myšlienok

V prednáške sa budeme venovať stopám, ktoré častice zanechávajú a metódam, akými môžeme tieto stopy registrovať



... a aplikácii fyzikálnych zákonov, poznatkov o stave a vybavení vozidla, stave vozovky...

... dokážeme zistiť príčinu



# Čo sa stane ak častica preletí látkovým prostredím ?

- Prechod častíc látkovým prostredím sa riadi presnými pravidlami, ktoré závisia od
  - **Typu častice**
    - Nabité Častice reagujú inak ako neutróny, či fotóny
  - **Energie Častice**
  - **Samotného prostredia**
    - Neutrón sa v parafíne spomalí, v betóne rozptýli a v uráne vyvolá jadrovú reakciu
- Ako teda častice interagujú ?



# Bethe-Blochov vzťah pre ionizačné straty

## Bethe-Bloch Formula

FOR HEAVY CHARGED PARTICLES:

$$-\frac{dT}{dX} = \frac{4\pi e^4 Z^2}{m_0 v^2} NB$$

where

$$B \equiv Z \left[ \ln \frac{2m_0 v^2}{I} - \ln \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right) - \frac{v^2}{c^2} \right]$$

with the following definitions:

- v velocity of the charged particle
- ze charge of the charged particle
- N number density of absorber atoms
- Z atomic number of absorber atoms
- m electron rest mass
- e electron charge
- I A parameter, treated as experimentally determined, representing average excitation and ionization potential
- B is known as the stopping number (atomic number scaled for stopping)

FOR ELECTRONS:

$$-\frac{dT}{dX} = \frac{2\pi e^4}{m_0 v^2} NB$$

where

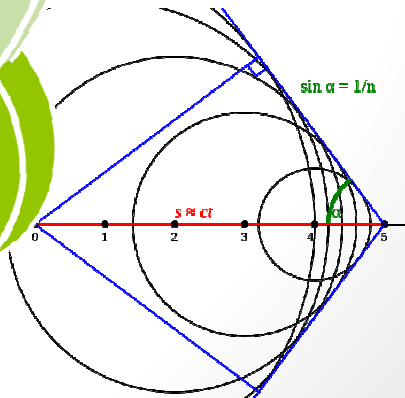
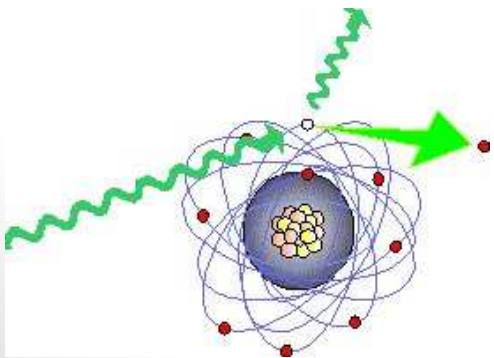
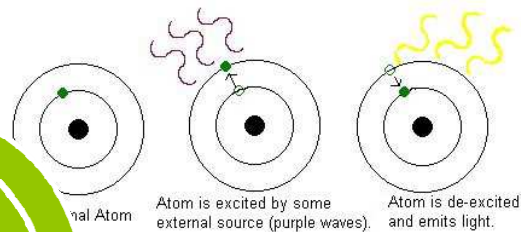
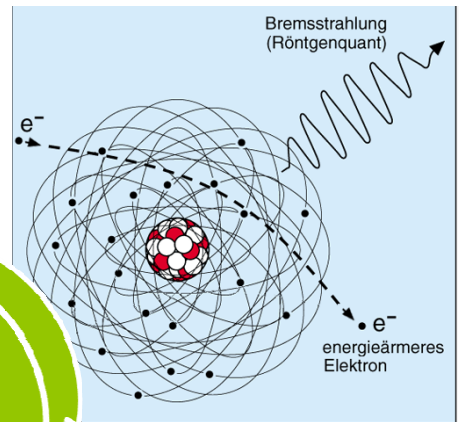
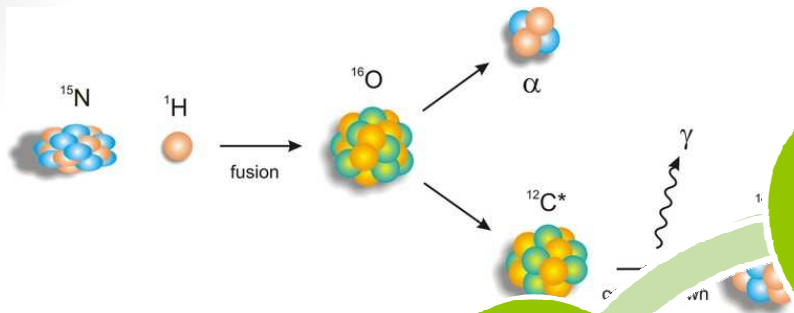
$$B \equiv Z \left[ \ln \frac{m_0 v^2 T}{2I^2(1-\beta^2)} - (\ln 2) (2\sqrt{1-\beta^2} - 1 + \beta^2) + 1 - \beta^2 + \frac{1}{8}(1 - \sqrt{1-\beta^2})^2 \right]$$

where  $\beta = \frac{v}{c}$



OK, to bol iba žart.

Pre pochopenie funkcie  
detektorov nepotrebujeme  
ísť príliš do detailov

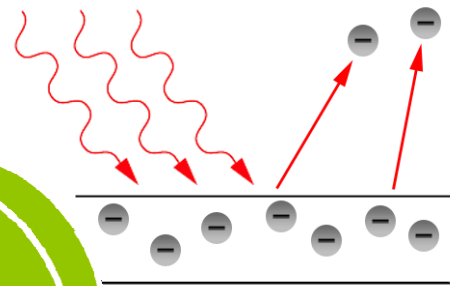




# Čo si zapamätáme?

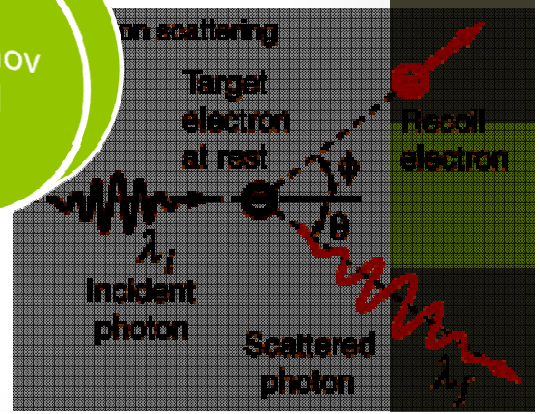
- Pre prechode nabitých častíc prostredím vzniknú
  - Voľné elektróny
  - Excitované atómy
  - Fotóny
  - Produkty jadrových reakcií
- Nabitá častica po sebe zanechala stopu v podobe iných častíc

Fotoefekt

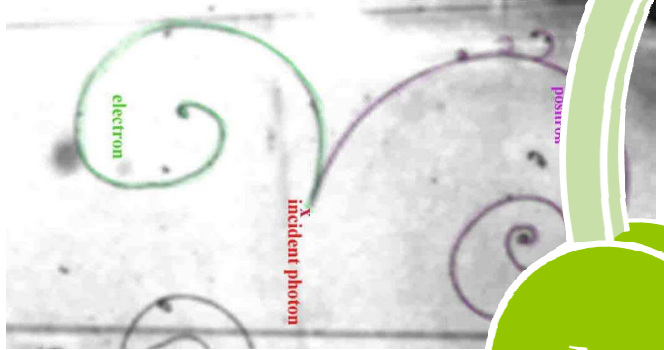


Fotón

Comptonov rozptyl



Tvorba párov



# Čo si zapamätáme?

- Fotón zanechá za sebou stopu vo forme elektrónov
  - Elektrón je nabitá častica, o tých sme si práve hovorili



# Neutrón

## Pružný rozptyl

- Energia sa rozdelí medzi jadro a rozptýlený neutrón, pričom jadro ostáva v nevzbudenom stave (analogia s biliardom)

## Nepružný rozptyl

- Odrazené jadro sa vzbudí a následne deexcituje vyžiareníím neutrónov a/alebo fotónov

## Radiačný záchyt

- Neutrón je pohltený v jadre a vyžiari sa fotón

## Záchyt a uvoľnenie nabitých častíc

- Jadro sa deexcituje vyžiareníím nabitých častíc, ktoré musia mať dostatočnú energiu na prekonanie coulombovskej bariéry

## Štiepenie

- Jadro sa rozštiepi na fragmenty a uvoľní sa neutróny

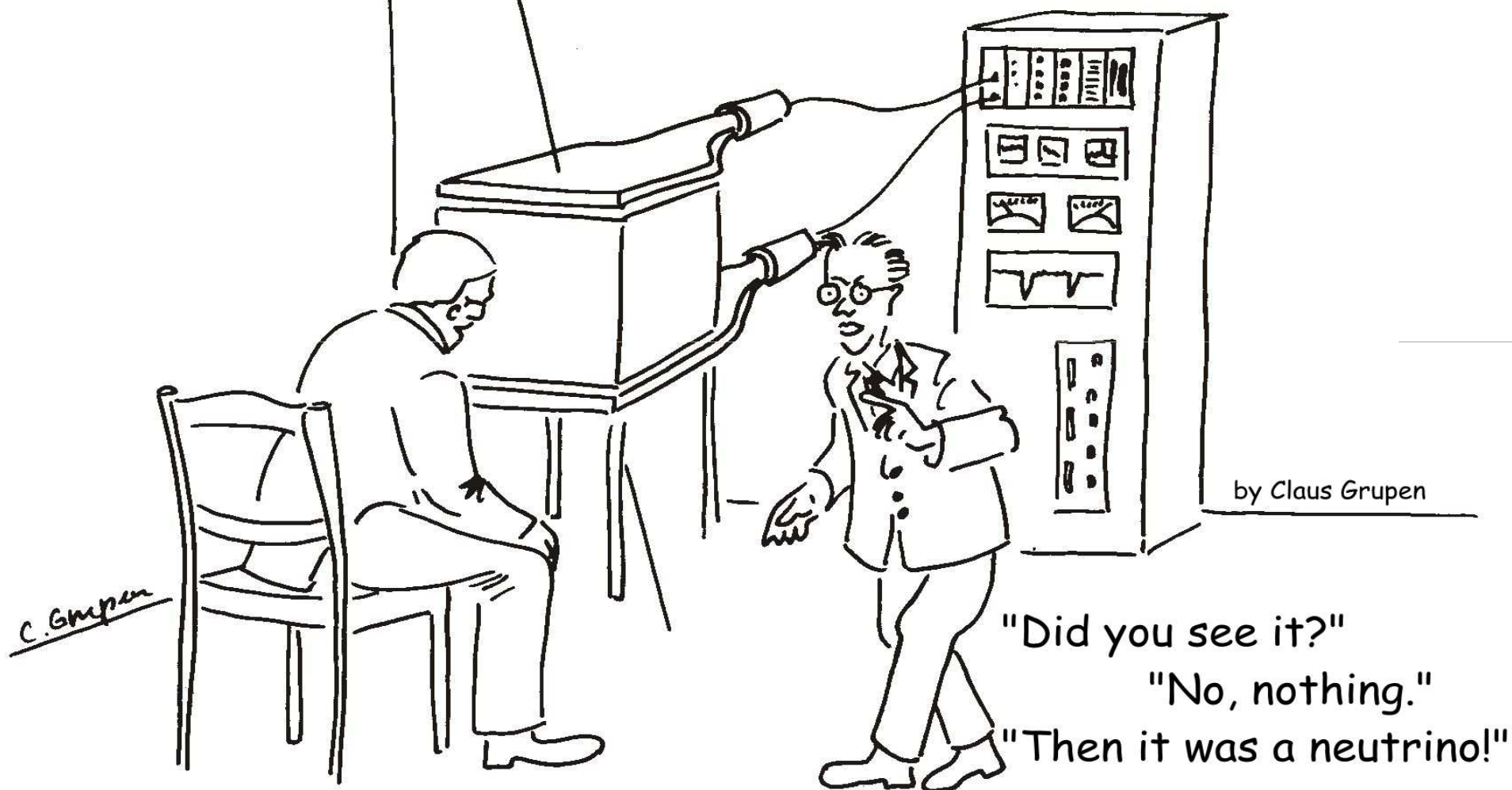
## Deje pri vysokých energiách

- Vysokoenergetické neutróny triestia jadrá na množstvo fragmentov

# Čo si zapamätáme?

- Neutrón zanechá za sebou stopu vo forme nabitých častíc a fotónov

Paradoxne, niektoré častice môžeme detekovať tým, že ich nevidíme  
Napríklad neutrína zvyčajne nezanechávajú stopu v detektore, detekujeme ich nepriamo,  
s využitím zákonov zachovania



*Claus Grupen, Particle Detectors, Cambridge University Press,  
Cambridge 1996 (455 pp. ISBN 0-521-55216-8)*

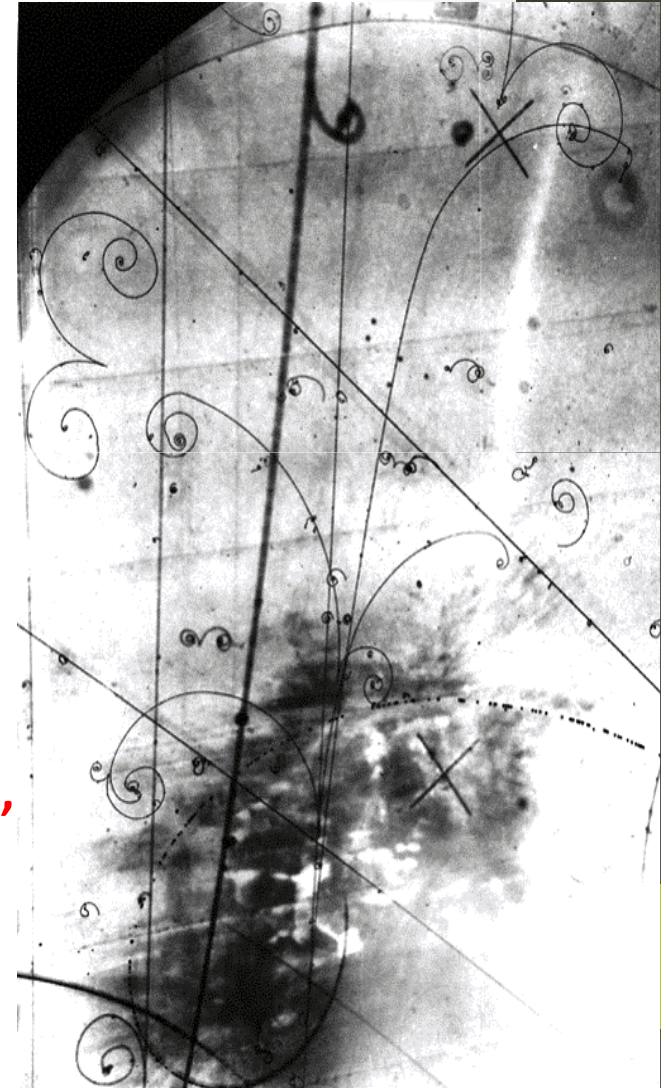


# Čo si zapamätáme?

- Neutríno za sebou zanechá takú stopu, že nezanechá stopu
  - Ak je detektor dobre navrhnutý, dokáže sa s týmto faktom vyrovnáť

# Pohyb nabitých častíc v elektrickom a magnetickom poli

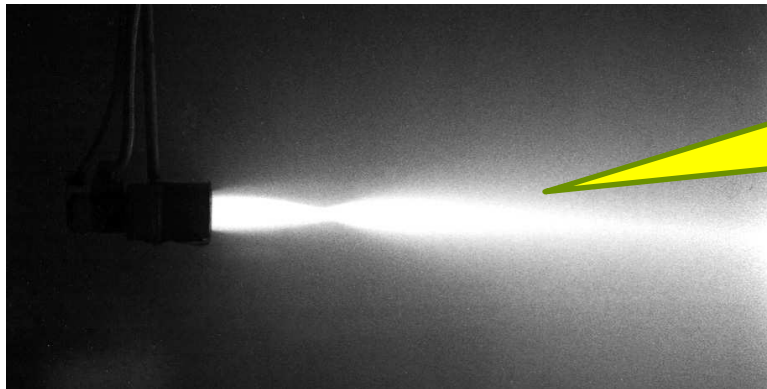
- V závislosti na polarite poľa a náboji je častica urýchľovaná alebo spomaľovaná
- Dráha nabitej častice v magnetickom poli je zakrivená
  - Smer a polomer zakrivenia závisí od:
    - Náboja častice
    - Hybnosti častice
    - Orientácie magnetického poľa
- **Čiže, ak poznáme orientáciu magnetického poľa,**
  - **Zo smeru zakrivenia vieme určiť náboj častice**
  - **Z polomeru zakrivenia vieme určiť hybnosť**
  - **... Čo vysvetľuje posadnutosť časticových fyzikov magnetmi...**



# Príklad pohybu častice v elektrickom a magnetickom poli

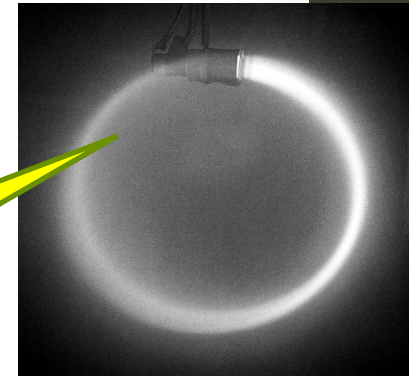
Elektrónový zväzok je emitovaný z katódy.

Viditeľné žiarenie je produkované pri deexcitácii atómov argónu



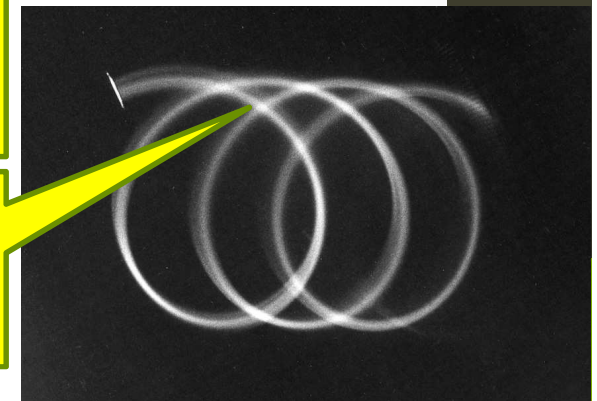
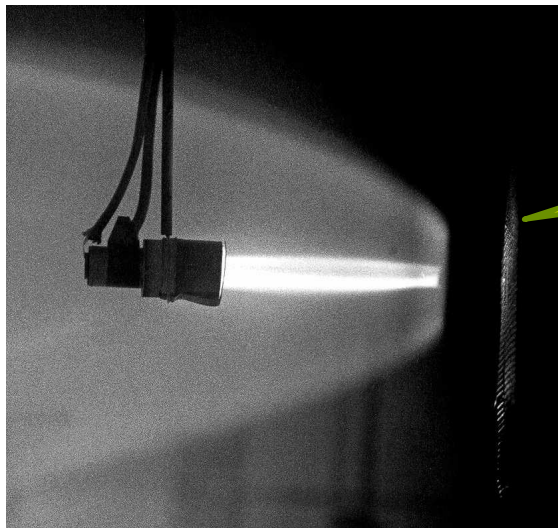
Zväzok je emitovaný v prostredí bez elektrického a magnetického poľa

Magnetické pole je zapnuté

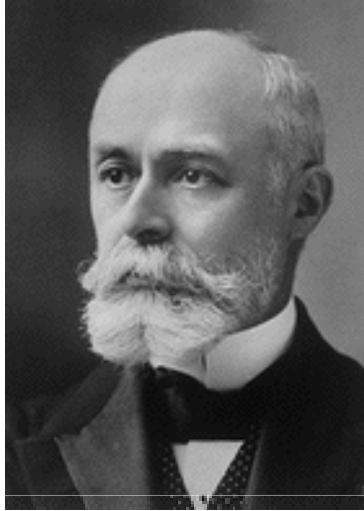


Zväzku je postavená do cesty negatívne nabitá mriežka

Zväzok sa pohybuje v elektrickom aj magnetickom poli

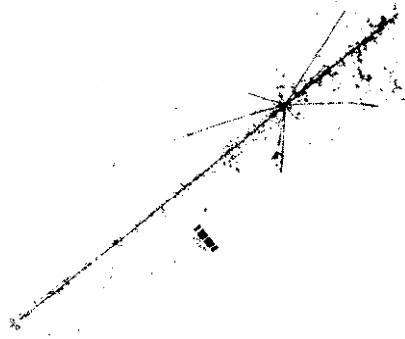


# Jadrové emulzie



Henri Becquerel  
(1852-1908)

Nobelova cena za fyziku 1903  
Spoločne s Pierre and Marie  
Curie



- Henri Becquerel si všimol, že ak položí na fotografickú platňu uranové soli, na platni sa objavia po vyvolaní škvrny
  - tento jav pripísal novému žiareniu, ktoré sa líšilo od čerstvo objavených X lúčov (Rontgen)
  - Neskôr Becquerel ukázal, že toto žiarenie ionizuje plyny
- Fotografická platňa bola vlastne predchodcom emulzných detektorov
  - Ionizujúca častica pri prechode emulziou v ktorej sa nachádzajú zrnká bromidu strieborného uvoľňuje striebro
  - Po vyvolaní emulzia sčerná pozdĺž dráhy častice
  - Meranie dĺžky dráhy poskytlo informáciu o energii častice

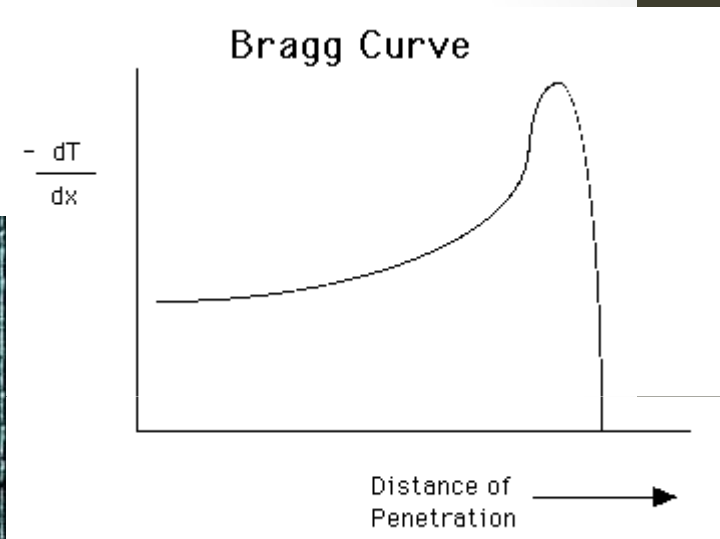


Niektoré parametre emulzií:

Priemer zrníkov halogénov striebra  $\sim 0.2 \mu\text{m}$

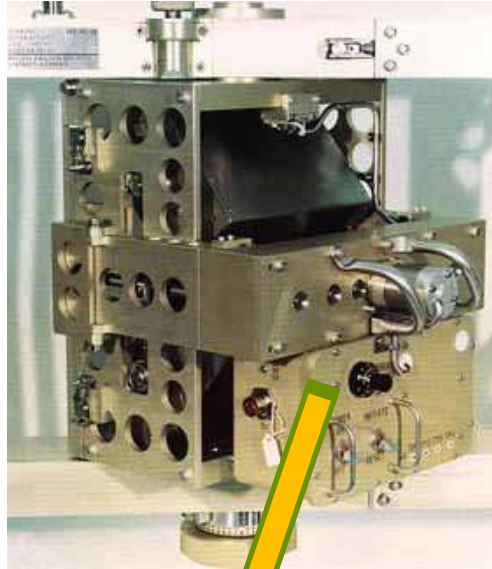
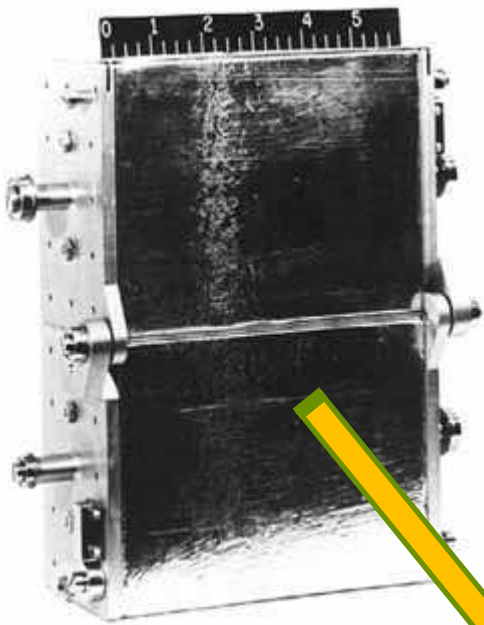
Typická hrúbka emulzie  $\sim 600 \mu\text{m}$

Presnosť merania polohy  $\sim 1 \mu\text{m}$



Energetické straty častice narastajú ko koncu jej dobehu

Tento efekt je pekne viditeľný v emulzii, ku koncu dráhy je sčernanie väčšie



History.nasa.gov

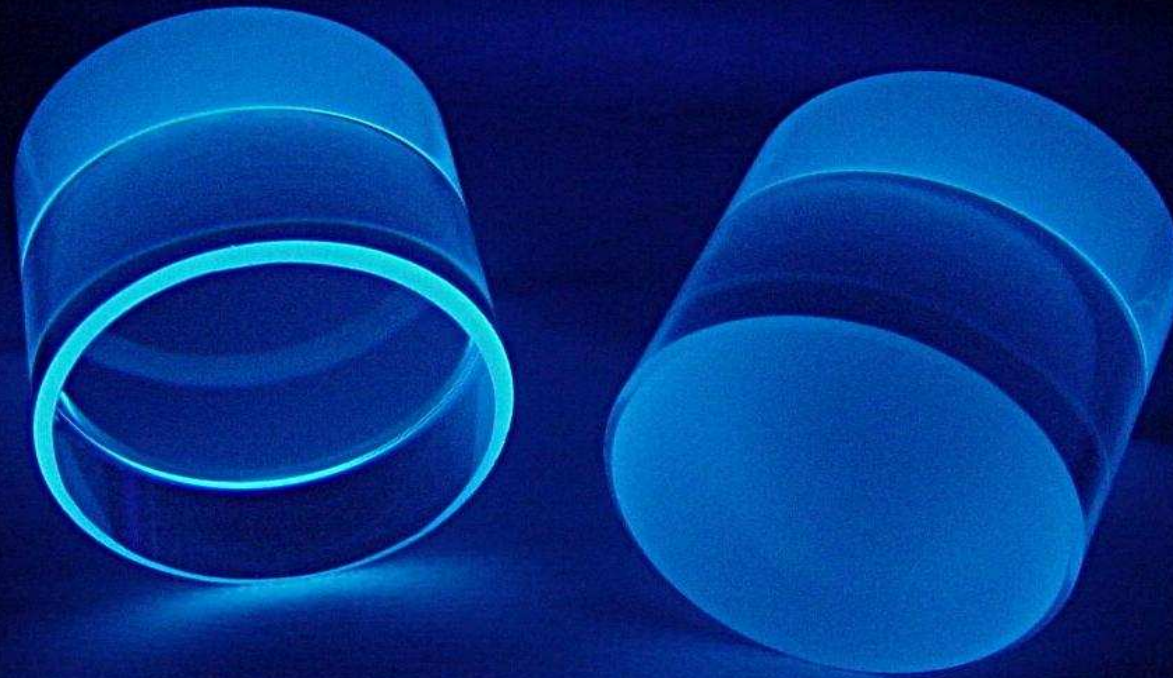
- Už v počiatkoch sa jadrové emulzie využívali v experimentoch s kozmickým žiarením



- V modernej dobe sa objavili pre tento istý účel aj v na palube kozmického laboratória Skylab



# Scintilačné detektory



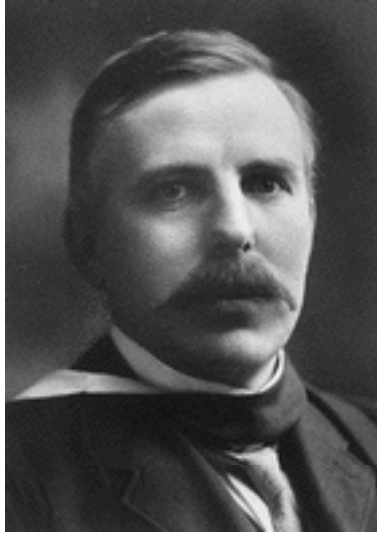
# Scintilačný detektor

- **Niektoré materiály vyžarujú pri prechode častice detekovateľné svetlo**
  - Fotóny sú emitované pri deexcitácii vzбудených molekúl
- Vhodný scintilátor musí:
  - Vyžarovať fotóny správnej vlnovej dĺžky s vysokou účinnosťou a „hlavne rýchlo“
  - Byť transparentný pre tieto fotóny
- Svetlo z prvých scintilátorov sa registrovalo priamo okom
- Dnešné scintilátory bývajú čítané elektronicky (napríklad fotonásobičmi)





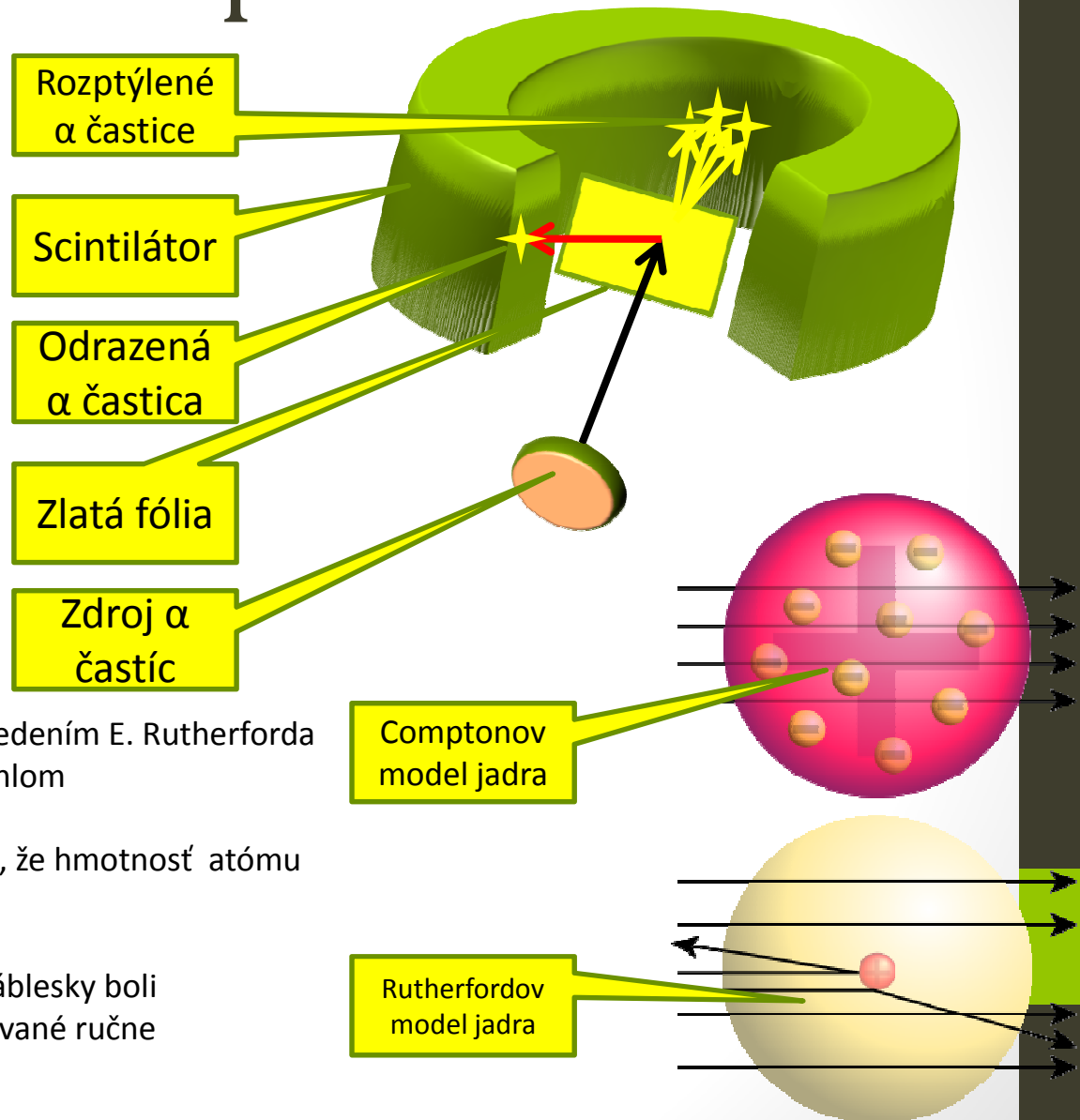
# Rutherfordov experiment



Ernest Rutherford  
(1871-1937)

Nobelova cena za chémiu 1908

- Hans Geiger and Ernest Marsden pod vedením E. Rutherforda pozorovali rozptyl  $\alpha$  častíc pod veľkým uhlom
- Rutherford tento fakt interpretoval tým, že hmotnosť atómu musí byť sústredená v jeho jadre
- V experimente bol použitý scintilátor, záblesky boli pozorované pod mikroskopom a registrované ručne



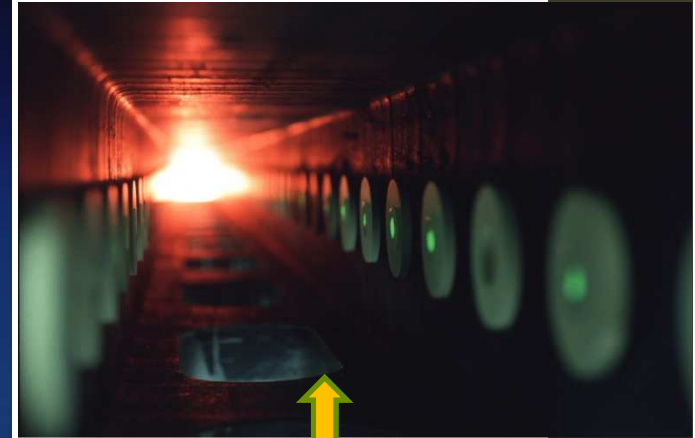
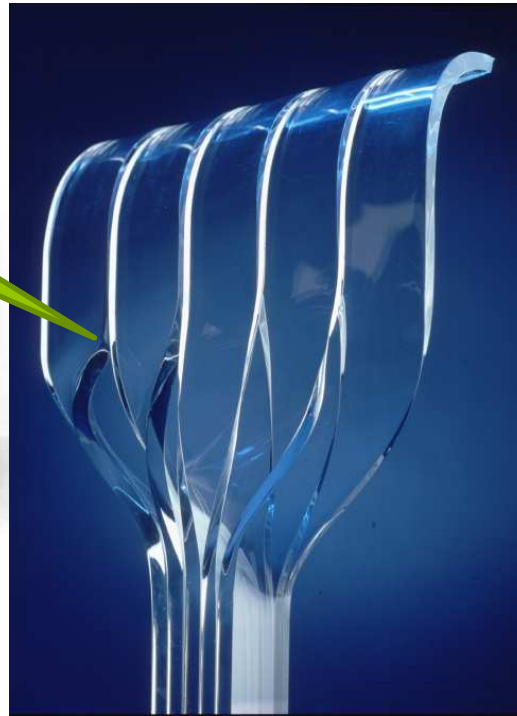
# Komponenty scintilačného detektora



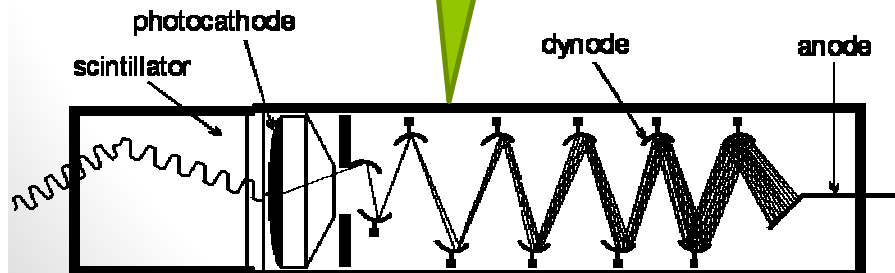
svetlovod

scintilátor

Fotonásobič  
(zariadenie na konverziu fotonov na elektróny)

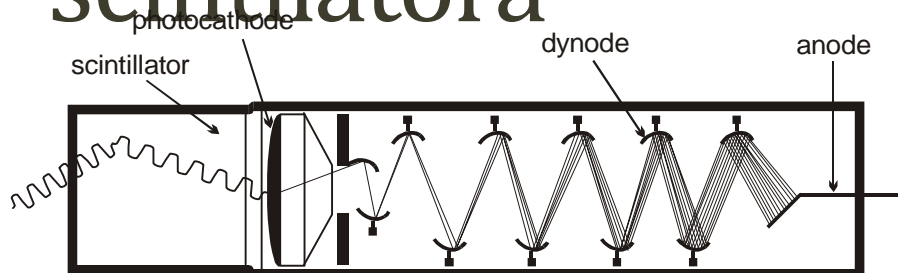


ATLAS  
Modul scintilačného  
kalorimetra



<http://www.reak.bme.hu>

# Elektronické čítanie informácie zo scintilátora

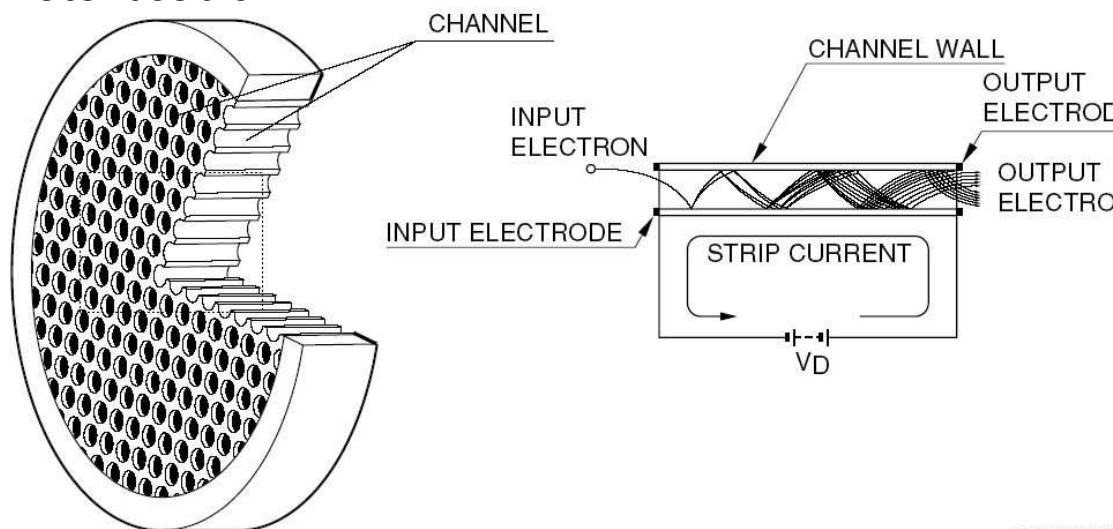


Na dynódach sa znásobuje počet elektrónov

Faktor zosilnenia býva  $10E6$

Typická doba formovania signálu  
200 ps

Mikrokanálové doštičky zosilňujú signál podobne ako fotonásobič



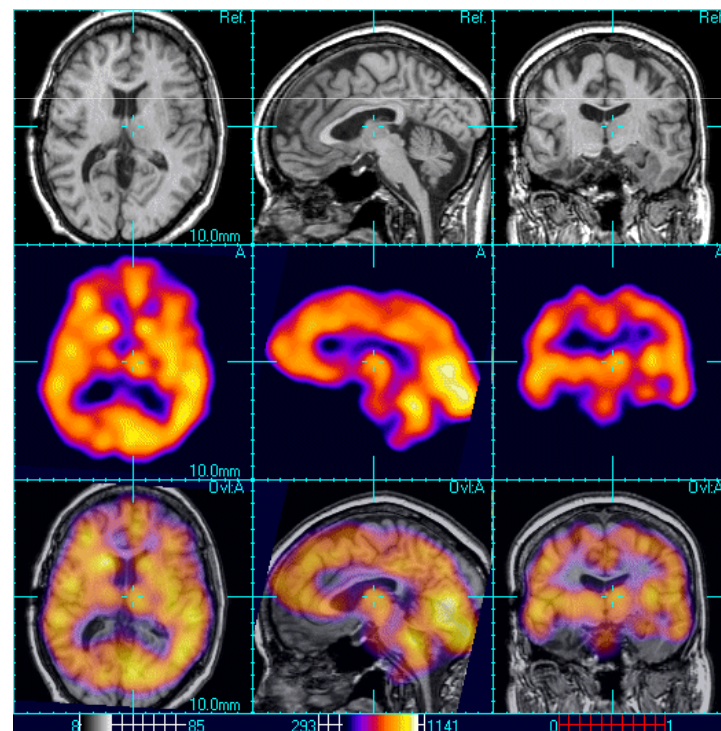
Pore  $\varnothing$ : 2  $\mu\text{m}$

Pitch: 3  $\mu\text{m}$

(Burle Industries)

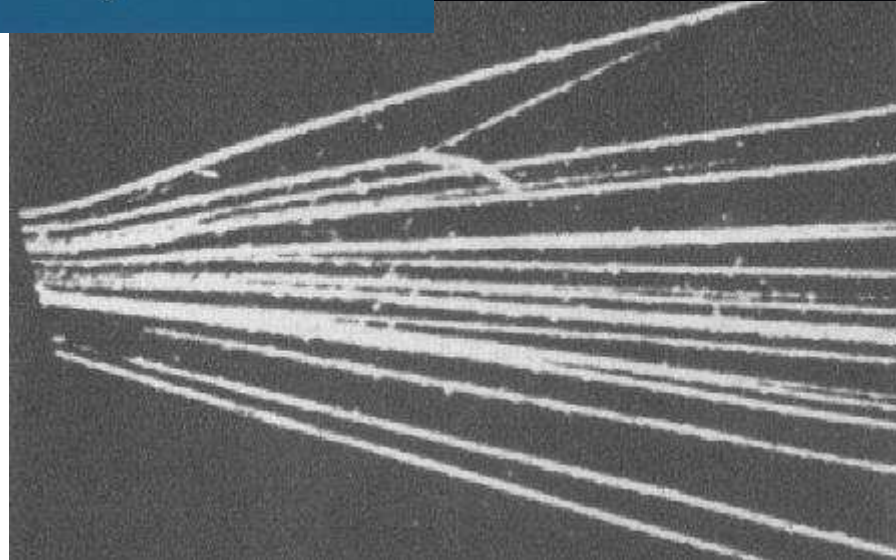
TMPC000ELU

# Scintilačné detektory nájdeme napríklad v medicíne





# Hmlová komora



# (Wilsonova) Hmlová komora

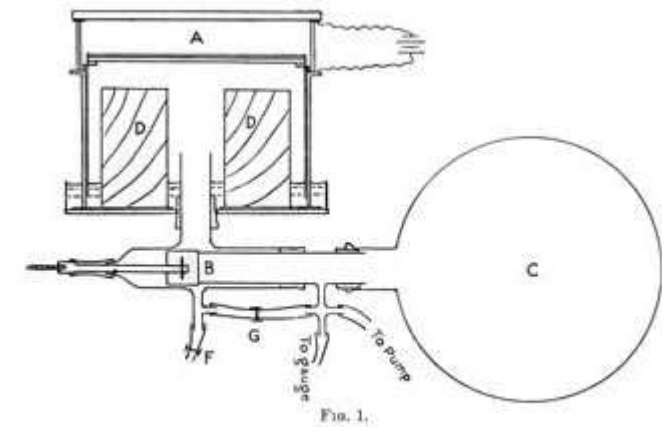
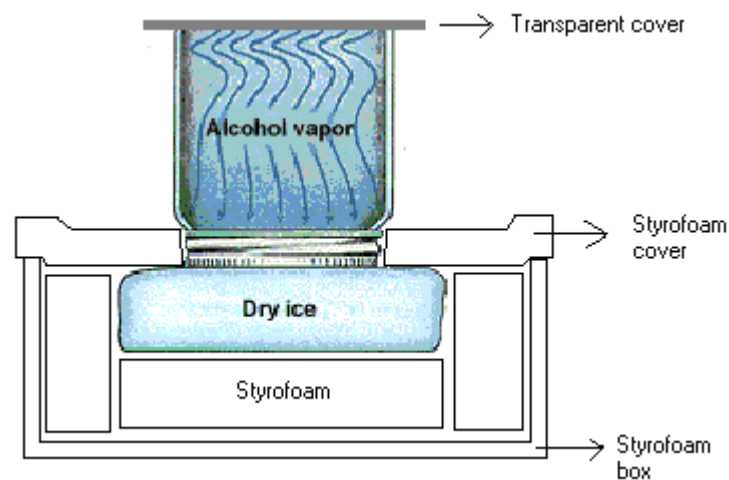
Ernst Rutherford: Hmlová komora bola najoriginálnejším a najkrásnejším prístrojom v dejinách fyziky



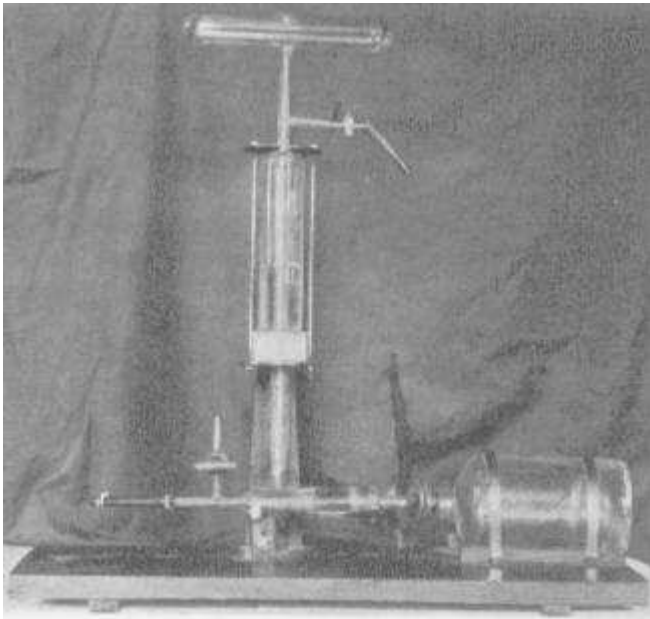
Charles T.R. Wilson  
(1869-1959)

Nobelova cena za fyziku 1927  
(spoločne s Comptonom)

- nádoba s piestom naplnená čistým vzduchom a vodnou parou
- pri prudkom pohybe piestu dôjde k expanzii polynu a poklesu jeho teploty
  - Para je presýtená ale nemá na čom kondenzovať
  - ióny vytvorené preletom častice fungujú ako kondenzačné jadrá
  - Pozdĺž dráhy častice sa vytvorí hmlová stopa
- V difúznej komore sa presýtenie dosahuje pomocou teplotného gradientu (nepotrebuje expanziu, je pripravená k registrácii neustále)

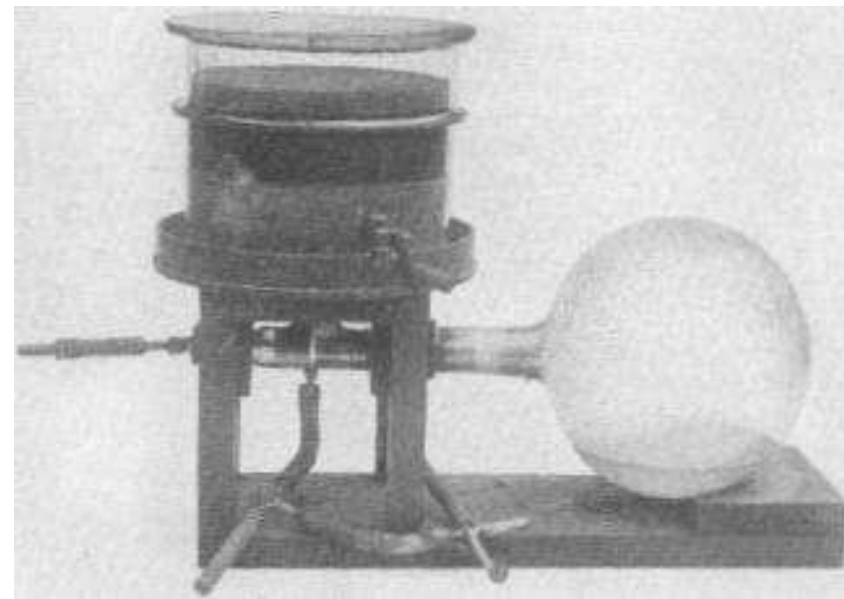


A diagram of Wilson's apparatus. The cylindrical cloud chamber ('A') is 16.5cm across by 3.4cm deep.

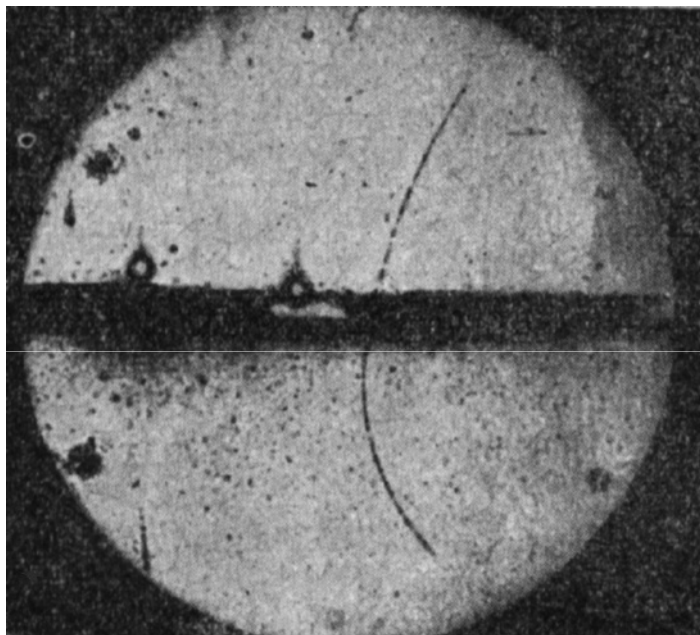


Prvá expanzná komora z roku 1899  
Určená na štúdium hmly

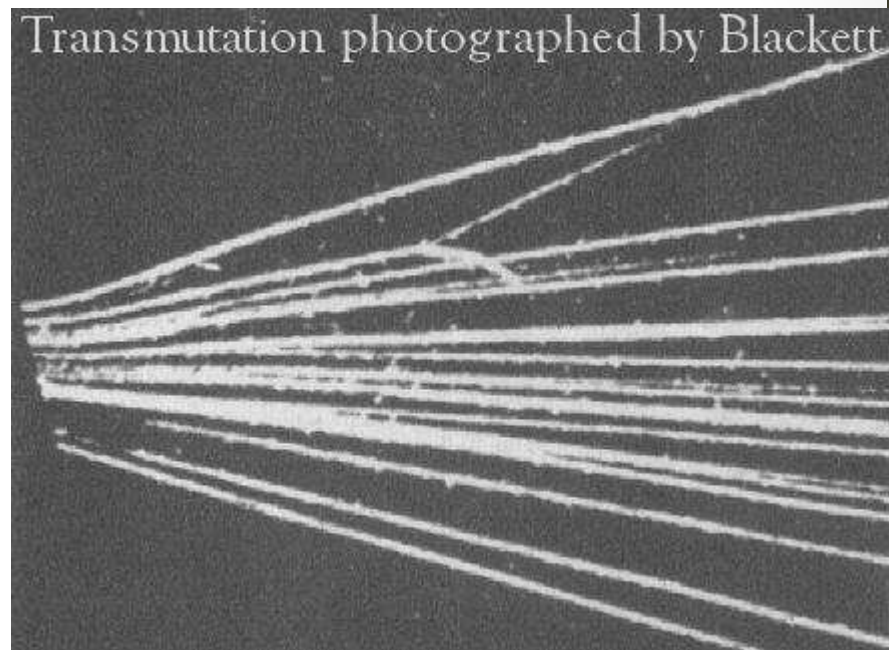
Originál komory z roku 1911



# V hmlovej komore bolo urobených mnoho objavov



Objav pozitronu



Vizualizácia jadrovej premeny

$\alpha + N \rightarrow O + p$

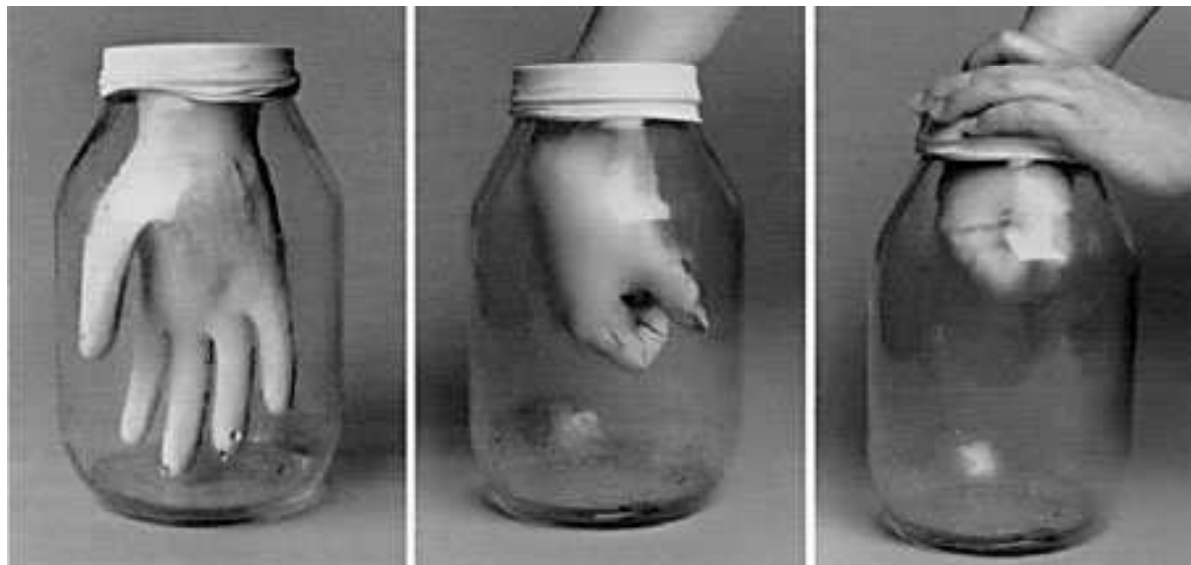
Použitá komora bola schopná „neuveriteľnej rýchlosti“

(expandovať mohla až trikrát za sekundu)

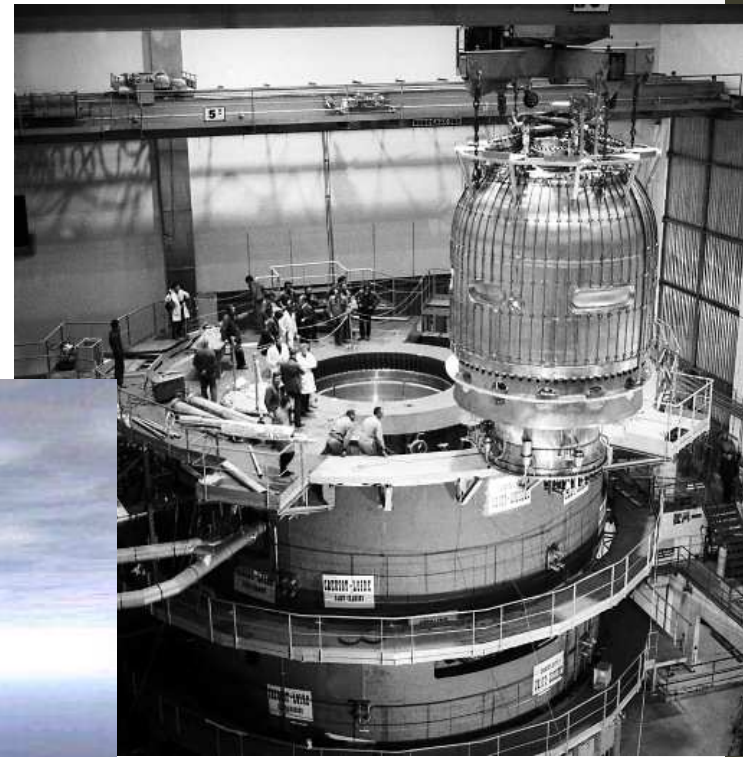


Hmlové komory dodnes fascinují lidi

Na webe je možné najít množství návodů na domácí pokusy



# Bublinové detektory



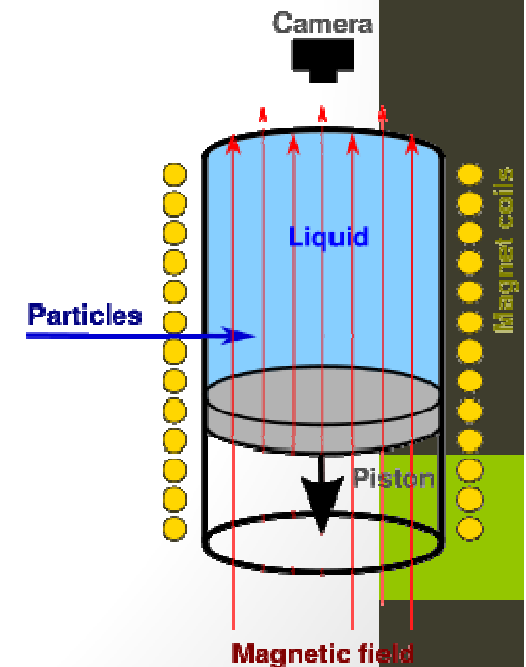
# Bublinová komora

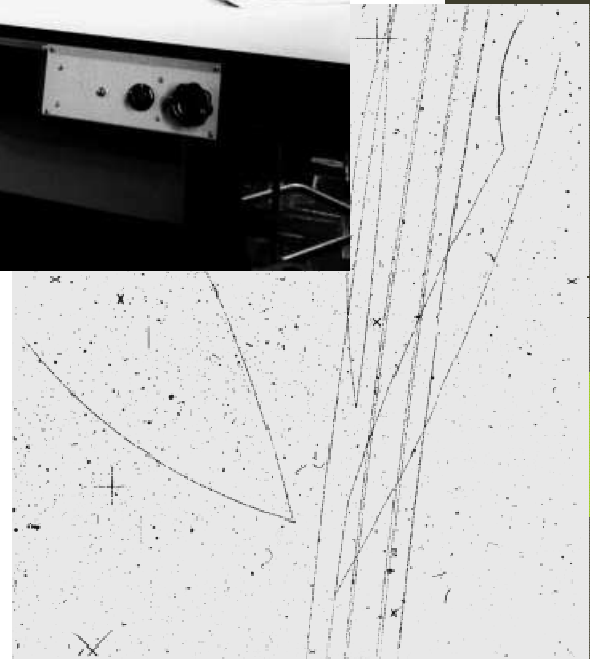
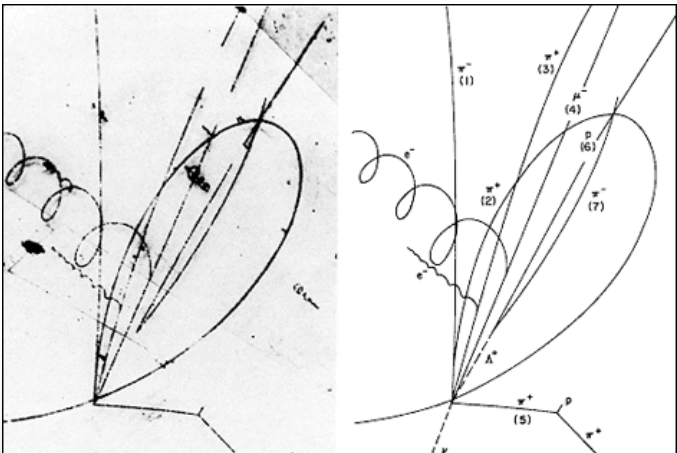
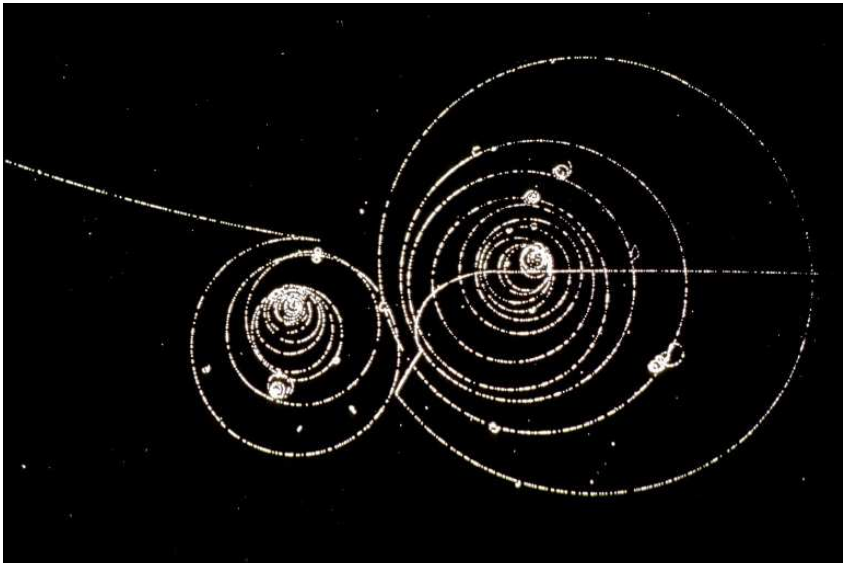


Donald Arthur Glaser  
(1926)

Nobelova cena za fyziku 1960

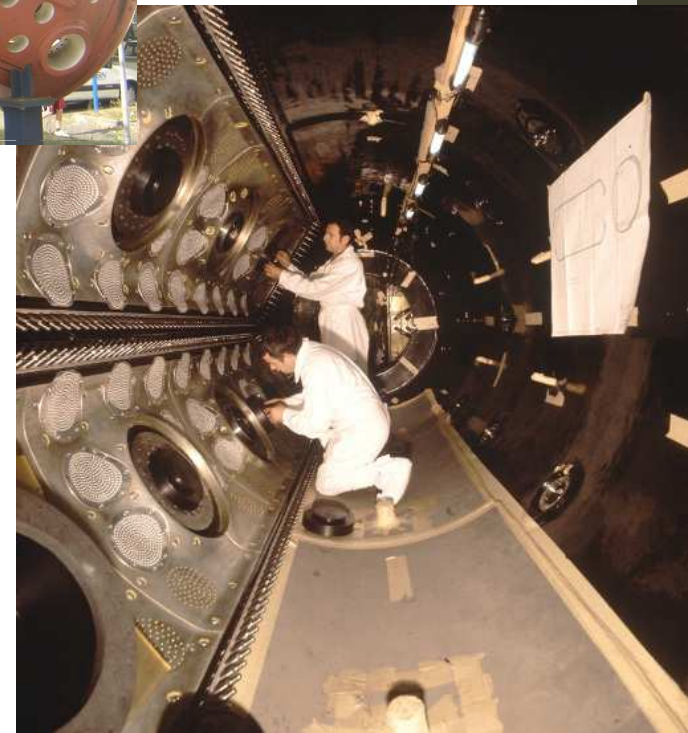
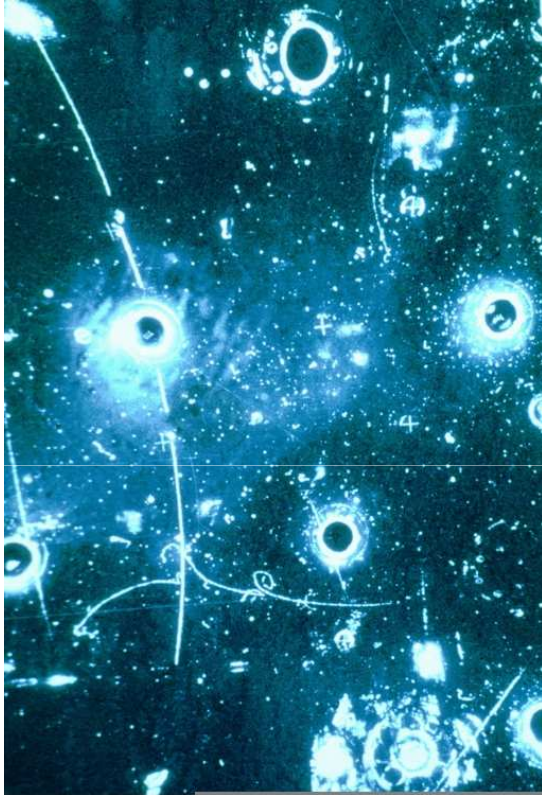
- princíp činnosti je veľmi podobný hmlovej komore
- V najznámejšej konfigurácii je nádoba detektora naplnená kvapalinou ohriatou tesne pod bod varu
  - Pohyb piestu zníži tlak kvapaliny a privedie ju do metastabilného stavu
  - Energia uložená prelietavajúcou časticou privedie kvapalinu do varu
    - Bublinky s priemerom  $\sim 10 \mu\text{m}$  sa tvoria pozdĺž dráhy
  - piestom sa kvapalina opäť stlačí a bublinky skolabujú, komora je pripravená na ďalšie meranie





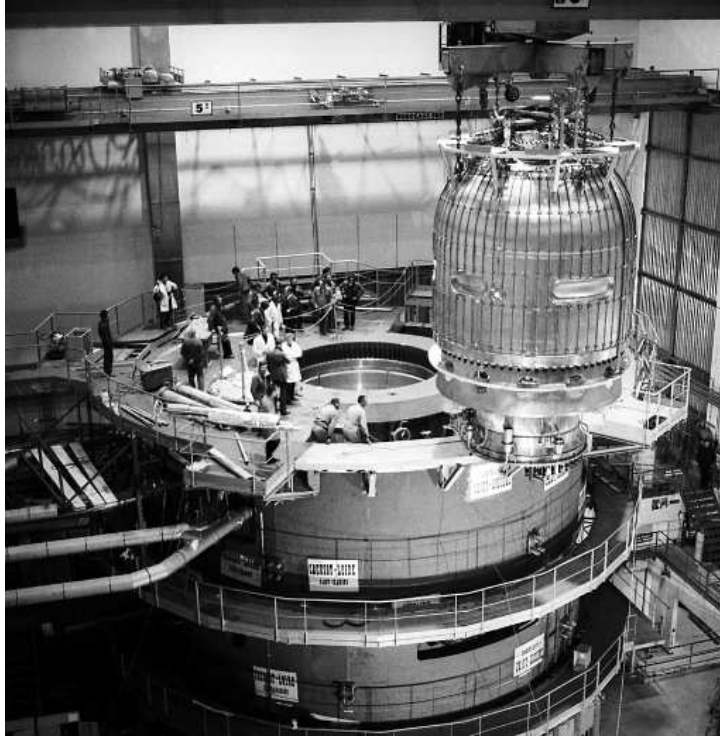


# Gargamelle (CERN)



Neutrálne prúdy boli objavené v Gargamelle v roku 1972.  
Objav potvrdil teóriu, že elektromagnetická sila a slabá sila sú prejavmi tej istej interakcie.  
Na obrázku je prvý event dokazujúci ich existenciu  
Tento event bol jediný svojho druhu v kolekcii viac než 300 000 analyzovaných fotografií

# Big European Bubble Chamber (BEBC)



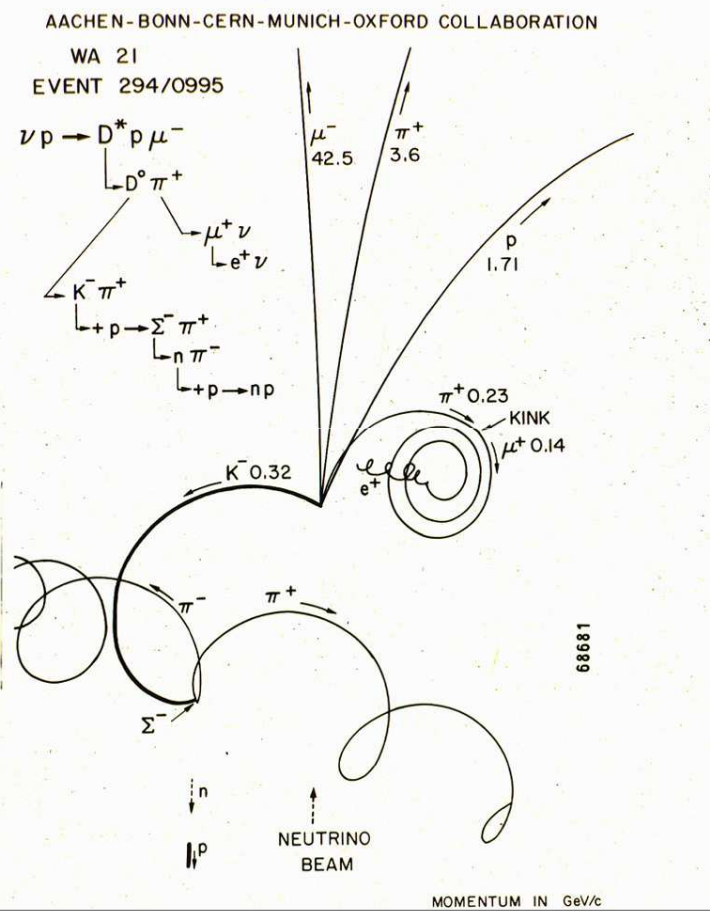
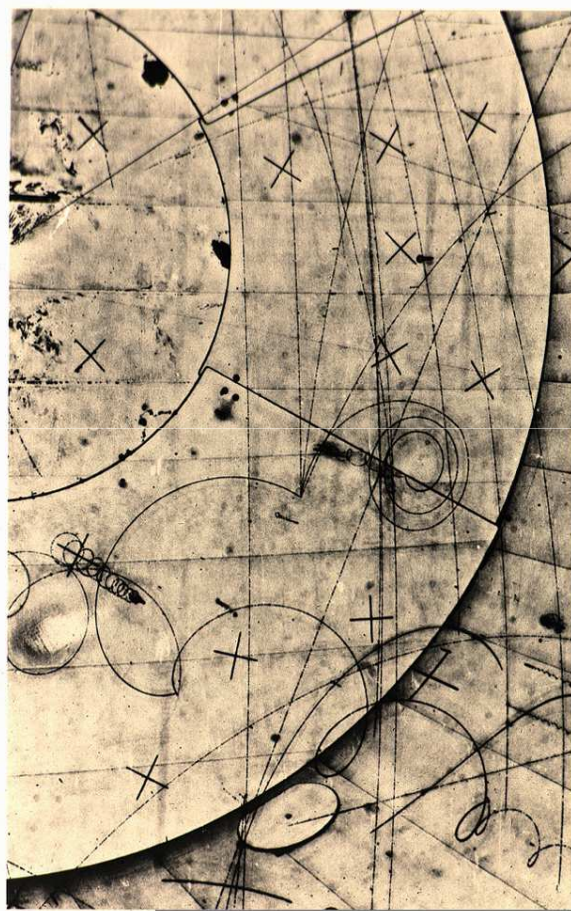
Inštalovaná v roku 1973-1984  
3,7 m priemer, 4 m výška, 35m<sup>3</sup> kvapaliny  
22 experimentov, 600 vedcov z 50 laboratórií  
6,3 milóna fotografií  
3000 km filmového materiálu





# BEBC

## D\* event v BEBC



# Meranie uhlu dráh



1958



# Analýza filmov



1961

# Analýza filmov

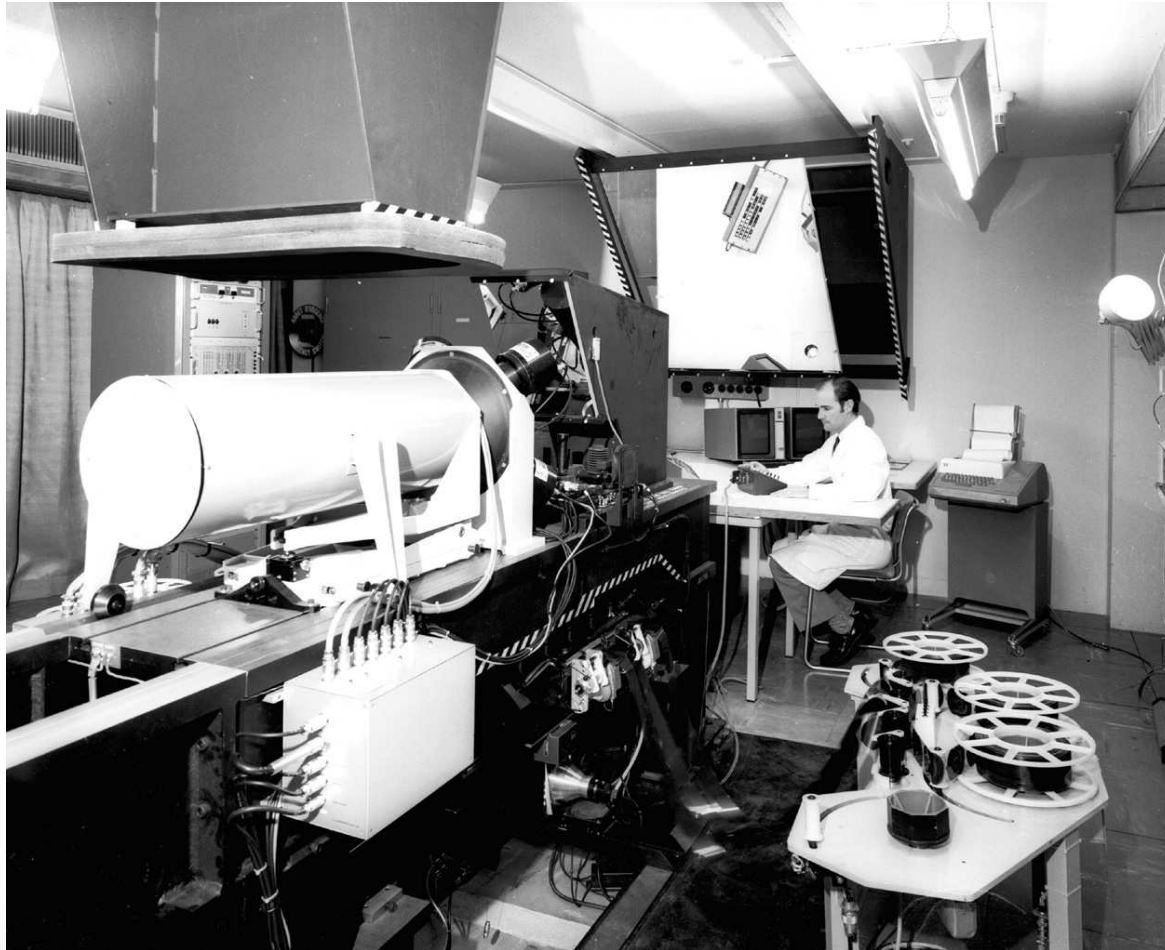
Digitalizácia snímok na CDC3100



April 1967

# Measuring films

ERASME merací systém pre **BEBC**



Feb. 1974



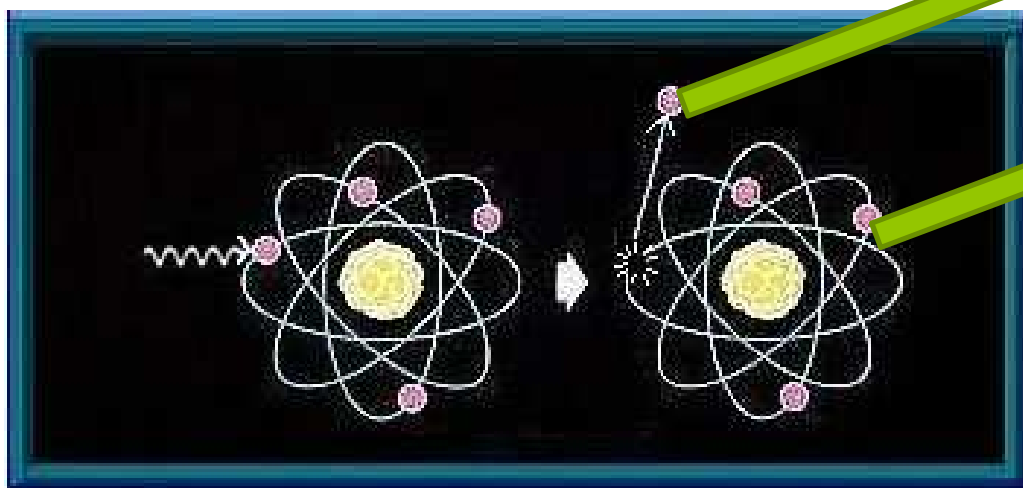
# Plynové detektory





# Ionizácia – odtrhnutie elektrónu z atómu

- Ak dodáme elektrónu energiu, môže sa uvoľniť a zanechá po sebe kladne nabitý ión



Voľný elektrón

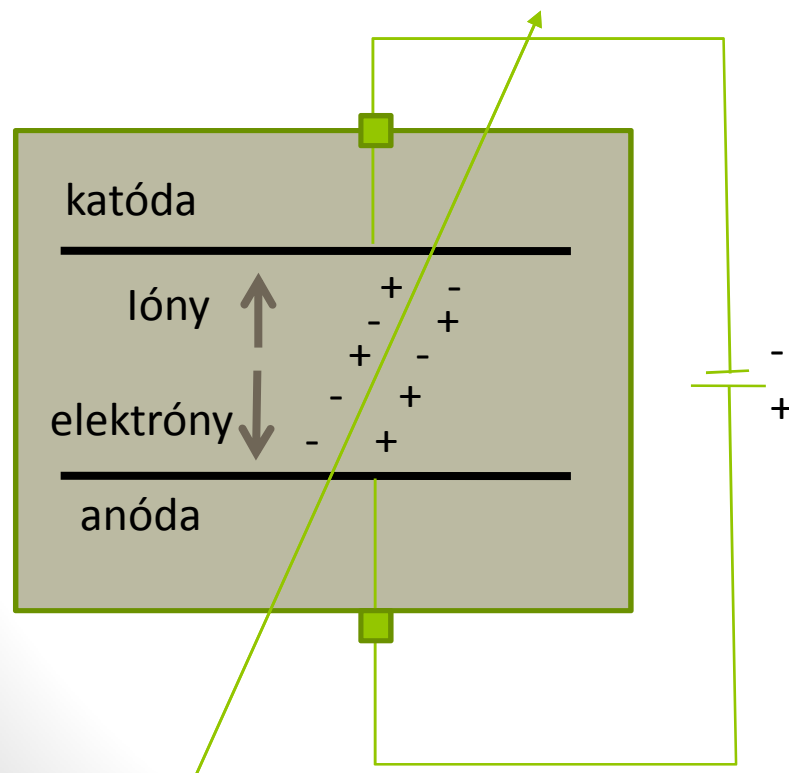
Ión

- Pri prechode nabitej častice plynným prostredím dochádza k ionizácii pozdĺž jej dráhy
  - Elektróny a kladne nabité ióny tvoria základné komponenty detekovaného signálu



# Ionizačný detektor

- Plynový ionizačný detektor pozostáva z dvoch elektród vožených do plynu.
  - Elektróny a ióny driftujú k elektródam a vytvoria merateľný impulz



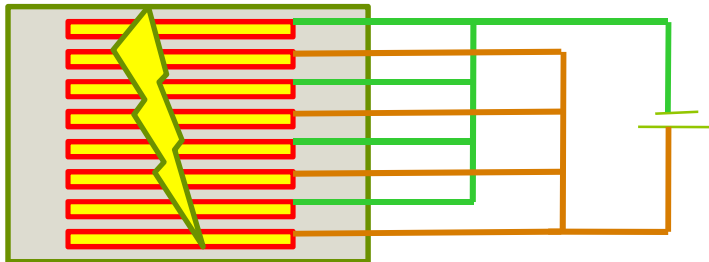
## Kde sme sa už stretli s ionizačnou komorou?

*V detektore dymu (požiarnom hlásiči)*

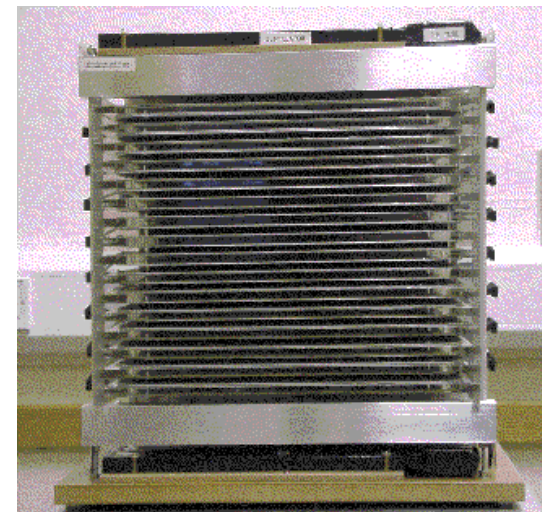
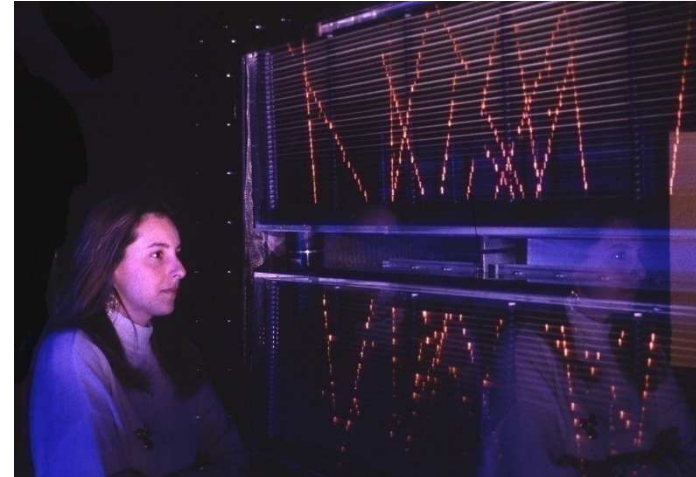
- Dve ionizačné komory naplnené vzduchom obsahujú  $\alpha$  žiarič (Am)
- Referenčná komora je uzavretá a meria sa na nej ionizačný prúd
- Detekčná komora nasáva vzduch z okolia
  - Častice dymu znižujú ionizáciu a tým aj meraný prúd
- Veľký rozdiel prúdu v referenčnej a meracej komore spustí alarm

# Iskrová komora

- Ak to „preženieme“ s napätím na elektródach ( $\sim 20000$  V), preskočí medzi nimi (pozdĺž ionizačnej stopy častice) iskra
- Ak naukladáme vrstvy elektrón na seba, môžeme sledovať dráhu častice

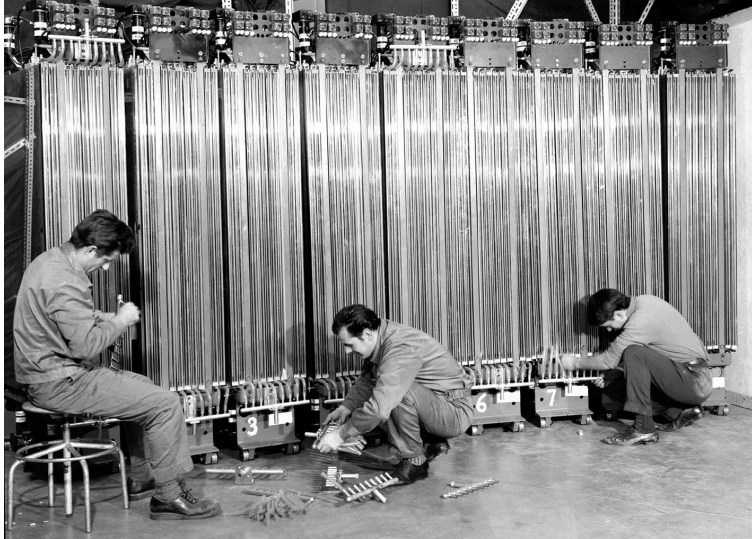


Iskrová komora v expozícii Microcosm CERN



# Iskrová komora

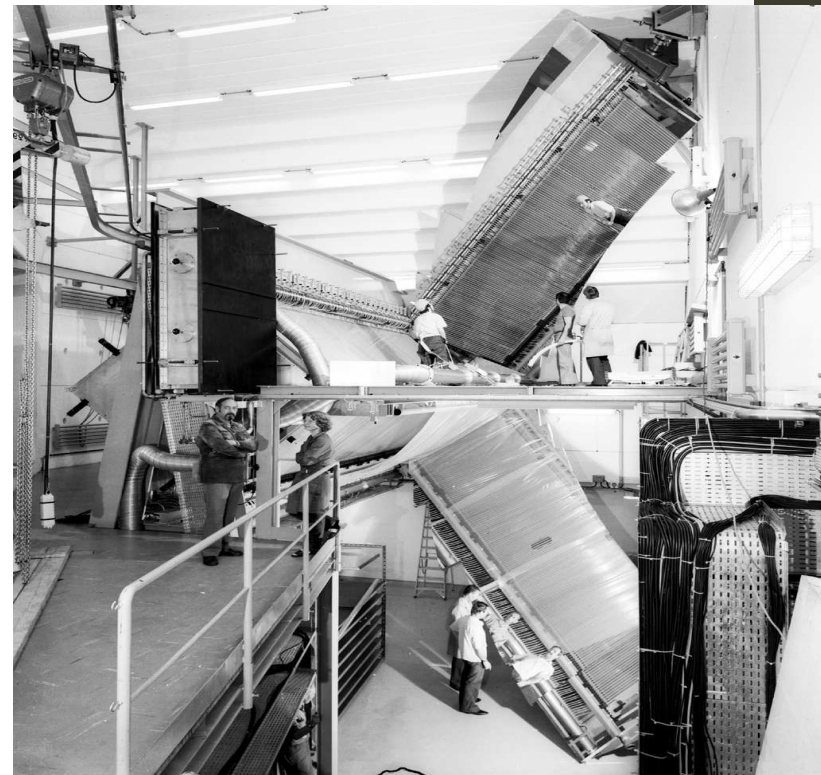
Signál z iskrových komôr sa dal registrovať  
elektronicky ale aj akusticky  
Polohové rozlíšenie bolo na úrovni 300  $\mu\text{m}$



Iskrová komora pre neutrínové experimenty (CERN 1962)



Iskrová komora spektrometra OMEGA (CERN 1971)



Experiment s iskrovými komorami (CERN 1974)



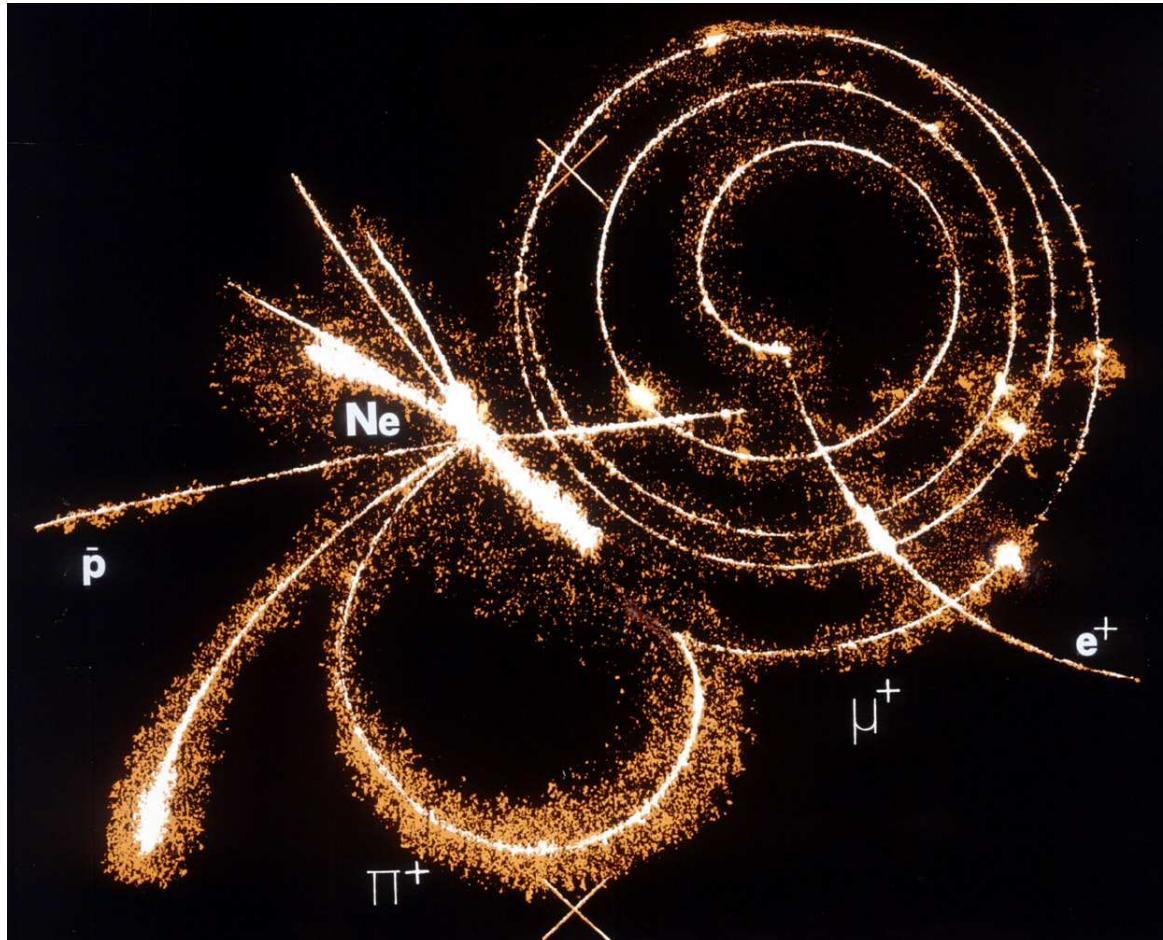
# Streamerová komora

- Streamerová komora funguje podobne ako iskrová
  - Veľmi vysoké napätie (500 000 V) je aplikované na veľmi krátky čas (15 ns)
  - iskra nemá čas preskočiť až k elektróde, ale vyvinie sa iba v blízkosti dráhy častice
  - dráhy častíc boli obvykle fotografované

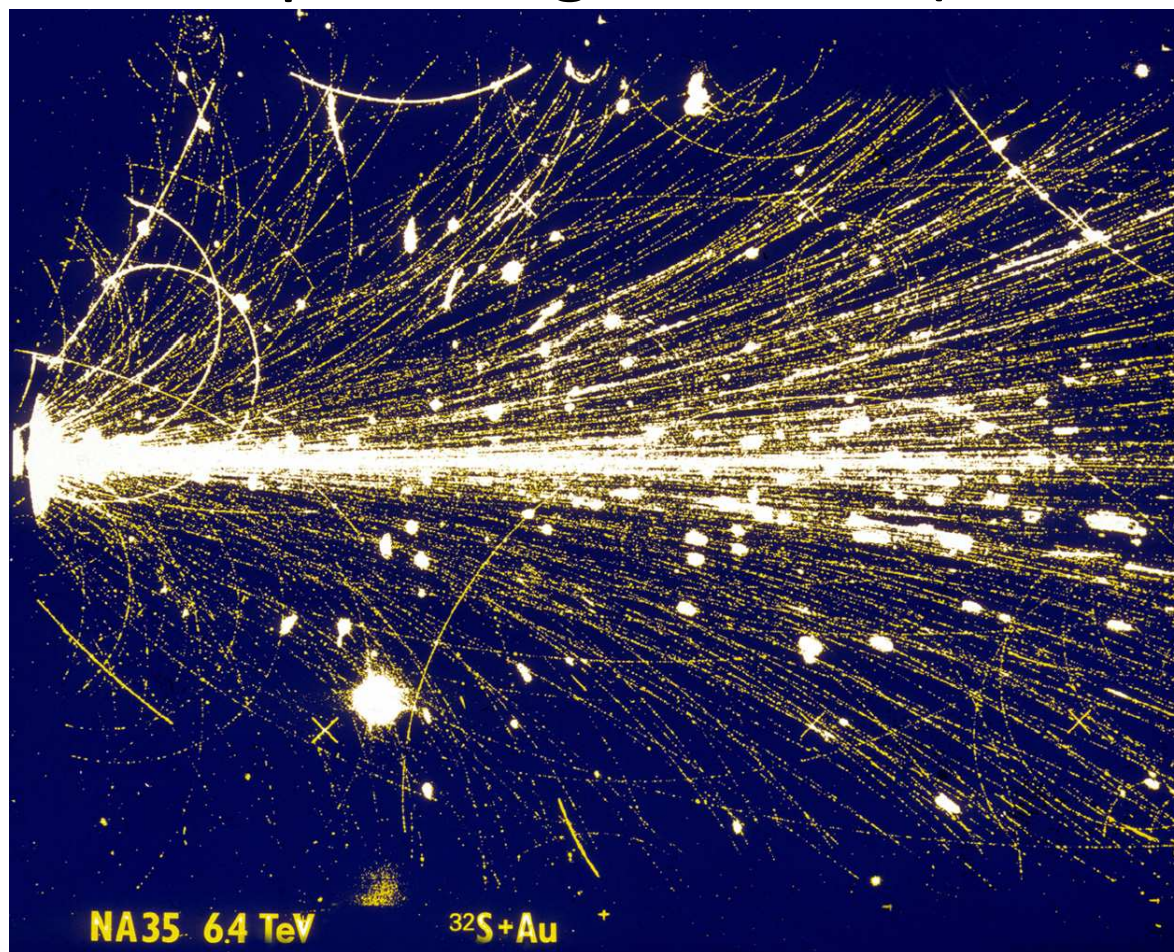


Streamerová komora v CERNe 1974

Rozpad  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$  v streamerovej komore (1984)



# Event pri energii 6.4 TeV (Síra - Zlato) (NA35)

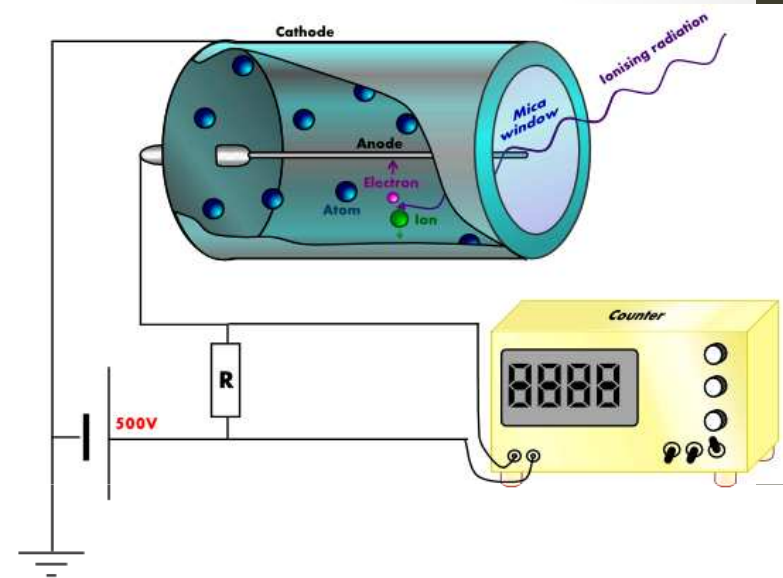


Júl 1991



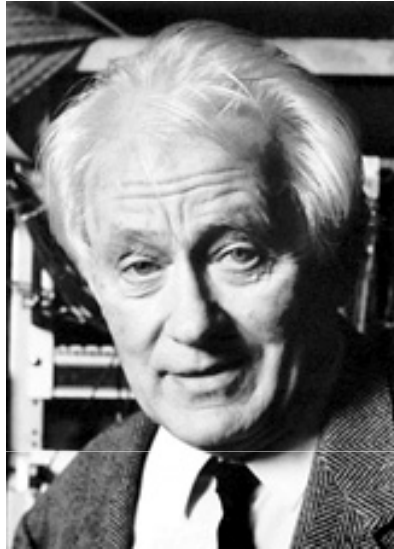
# Geiger-Muellerov detektor

- Pravdepodobne najznámejší detektor (podľa mena)
  - Prvý detektor tohto typu vyvinul Alexander Geiger spoločne s E. Rutherfordom v roku 1908
  - Spoločne s Waltherom Muellerom ho Geiger ďalej zdokonalil v roku 1928
- GM trubice pracujú v oblasti, kde veľkosť impulzu nazávisí od energie častice
  - používajú sa na meranie aktivity (počet impulzov za jednotku času)
- Vhodnou voľbou náplne a materiálu detektora je možné dosiahnuť citlivosť na široké spektrum detekovaných častíc (e,  $\gamma$ , n...)



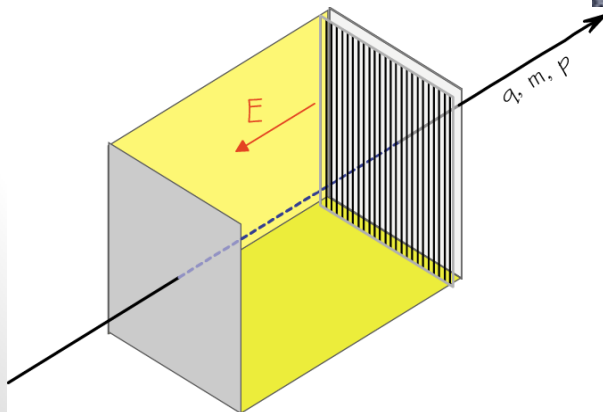


# Mnohovláknové detektory



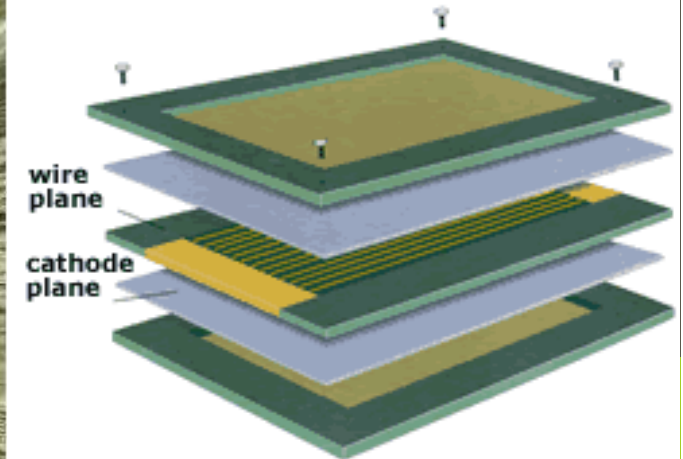
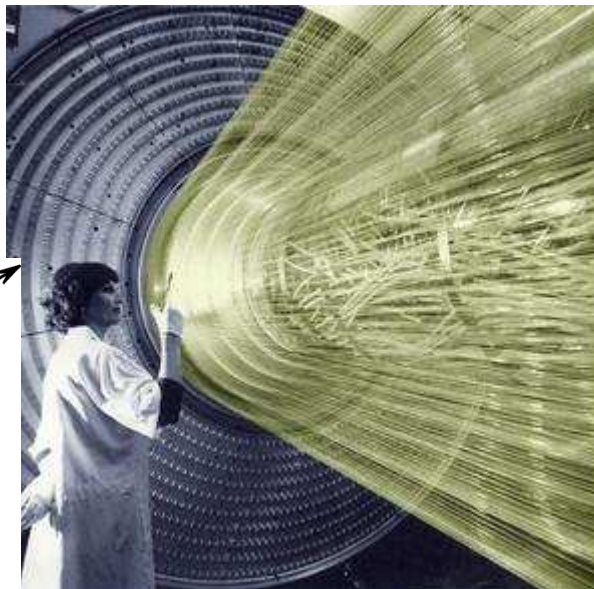
Georges Charpak  
(1924)

Nobelova cena za fyziku 1992  
(za objav mnohovláknových komôr)

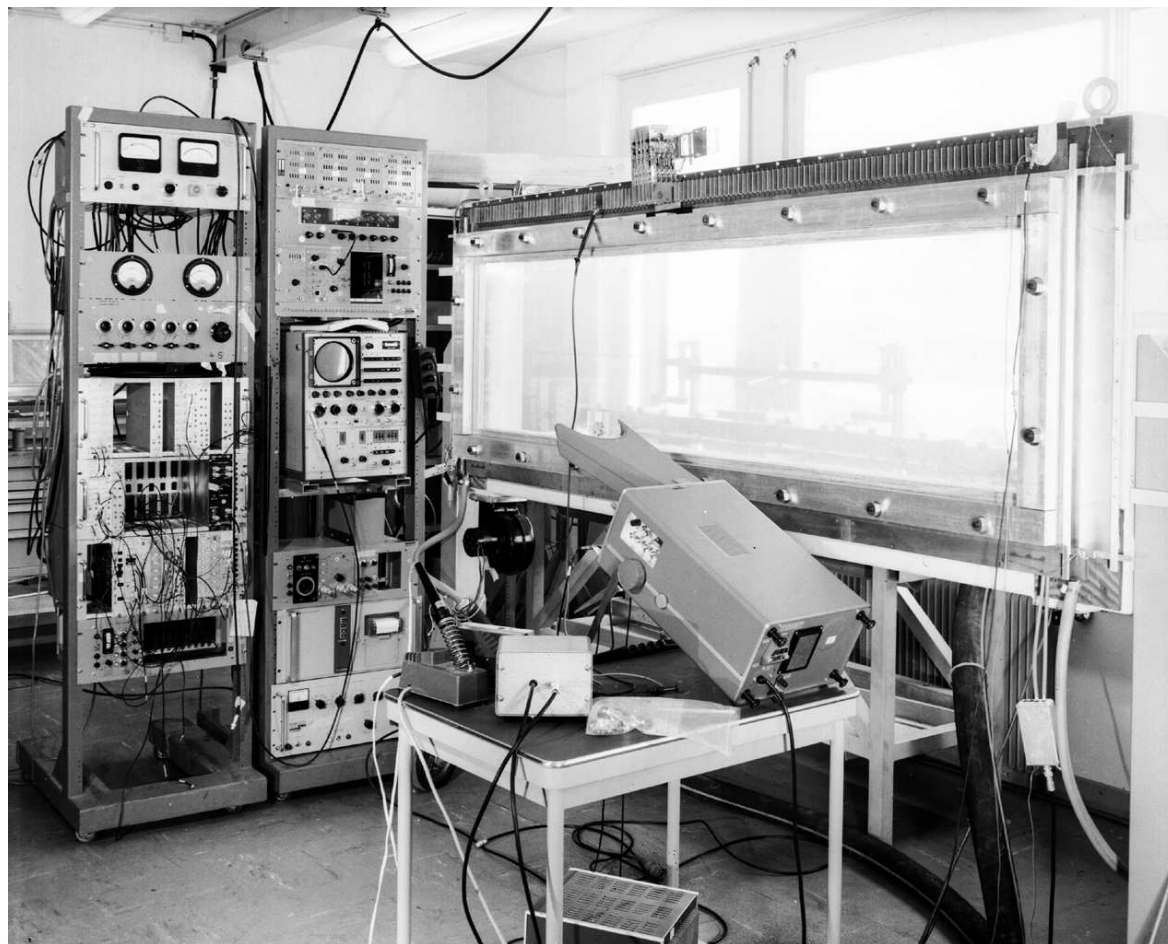


G. Charpak vyvinul mnohovláknový detektor

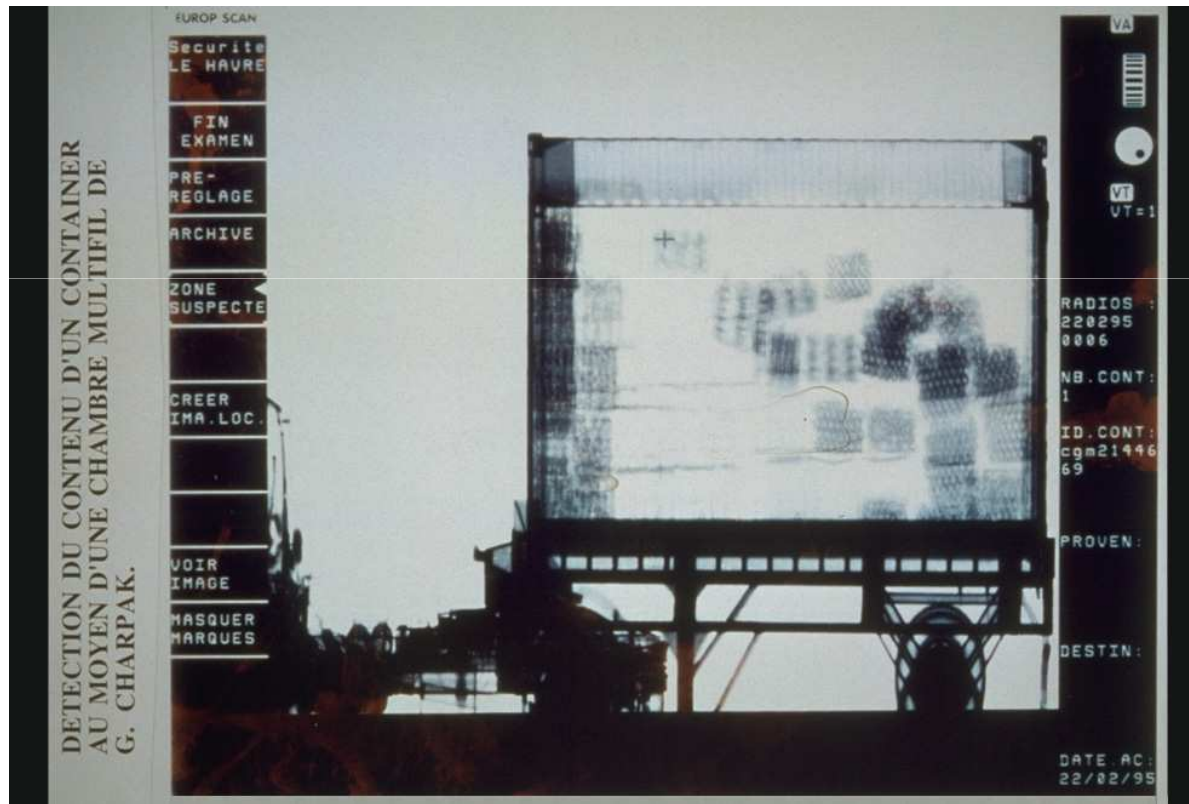
- Anóda bola nahradená množstvom paralelných vlákien
  - získali sme tak vlastne „mnoho detektorov v jednom“, pretože signál z každého vlákna môže byť meraný samostatne
  - Fyzikom sa otvorila cesta na meranie dráh častíc s vysokou presnosťou
  - Lekári (ale aj colníci) získali nástroj na presné zobrazovanie



## Mnohovláknová proporcionálna komora (1970)

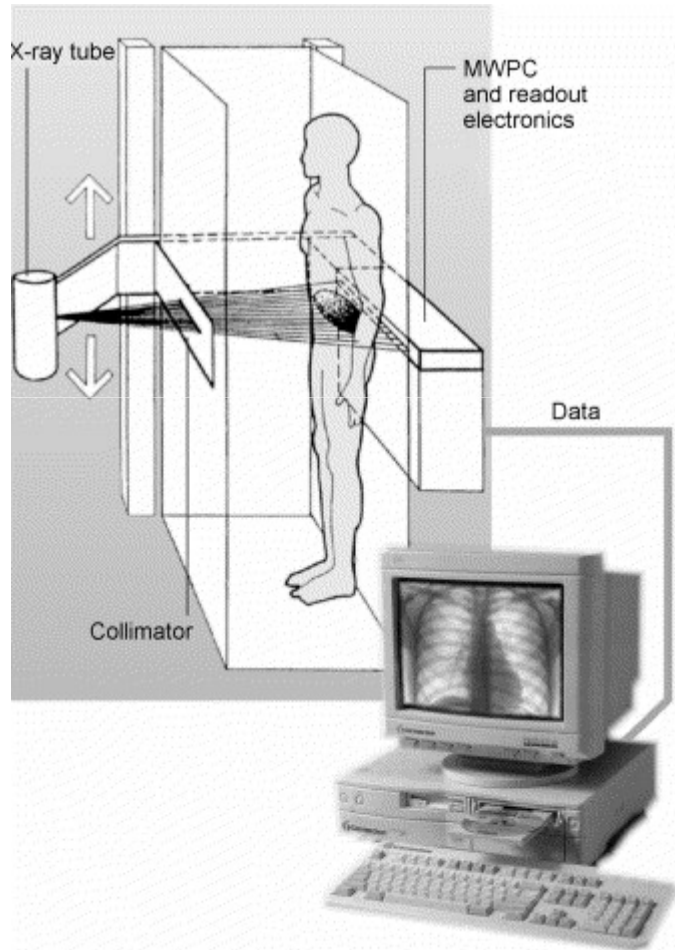


# Aplikácia mnohovláknovej komory na colnici

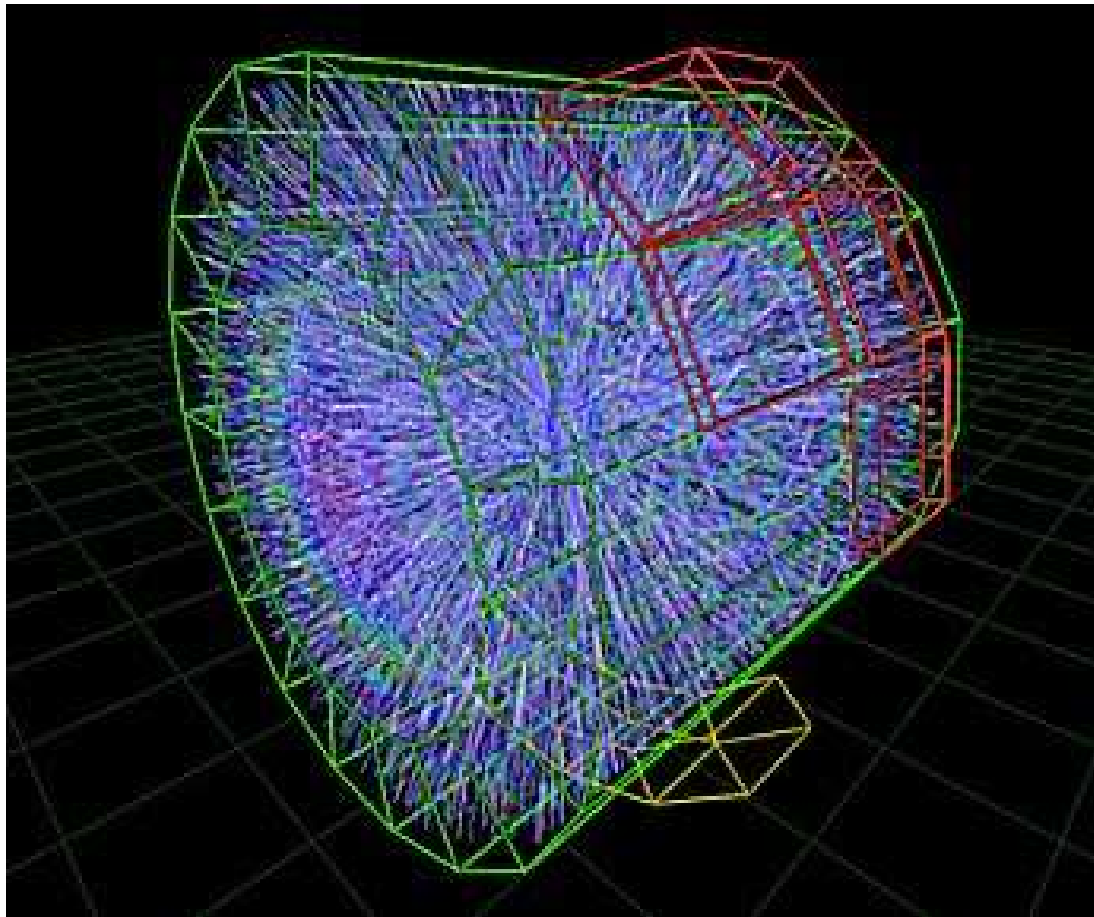


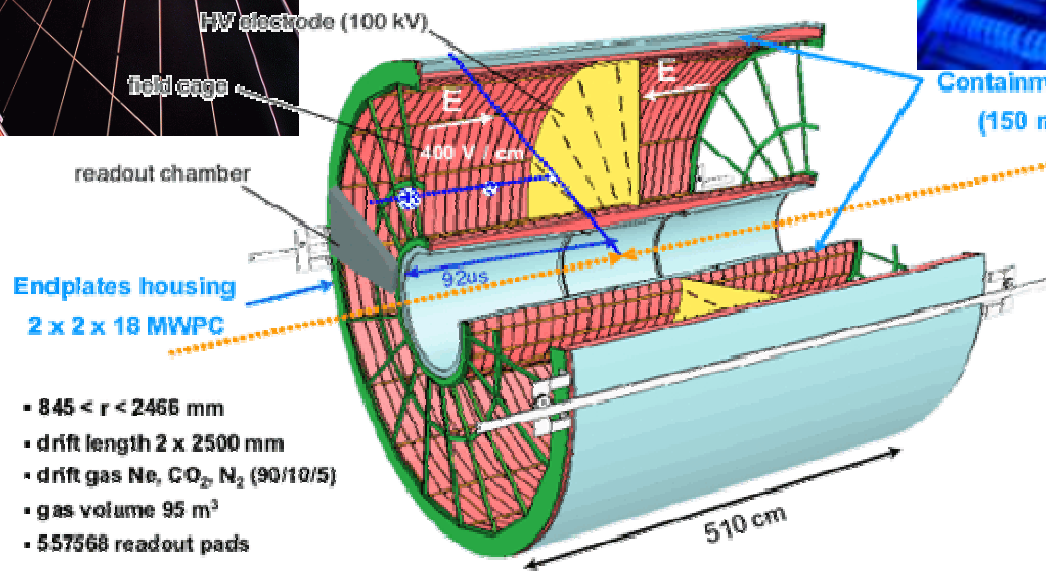


# ... alebo v medicíne



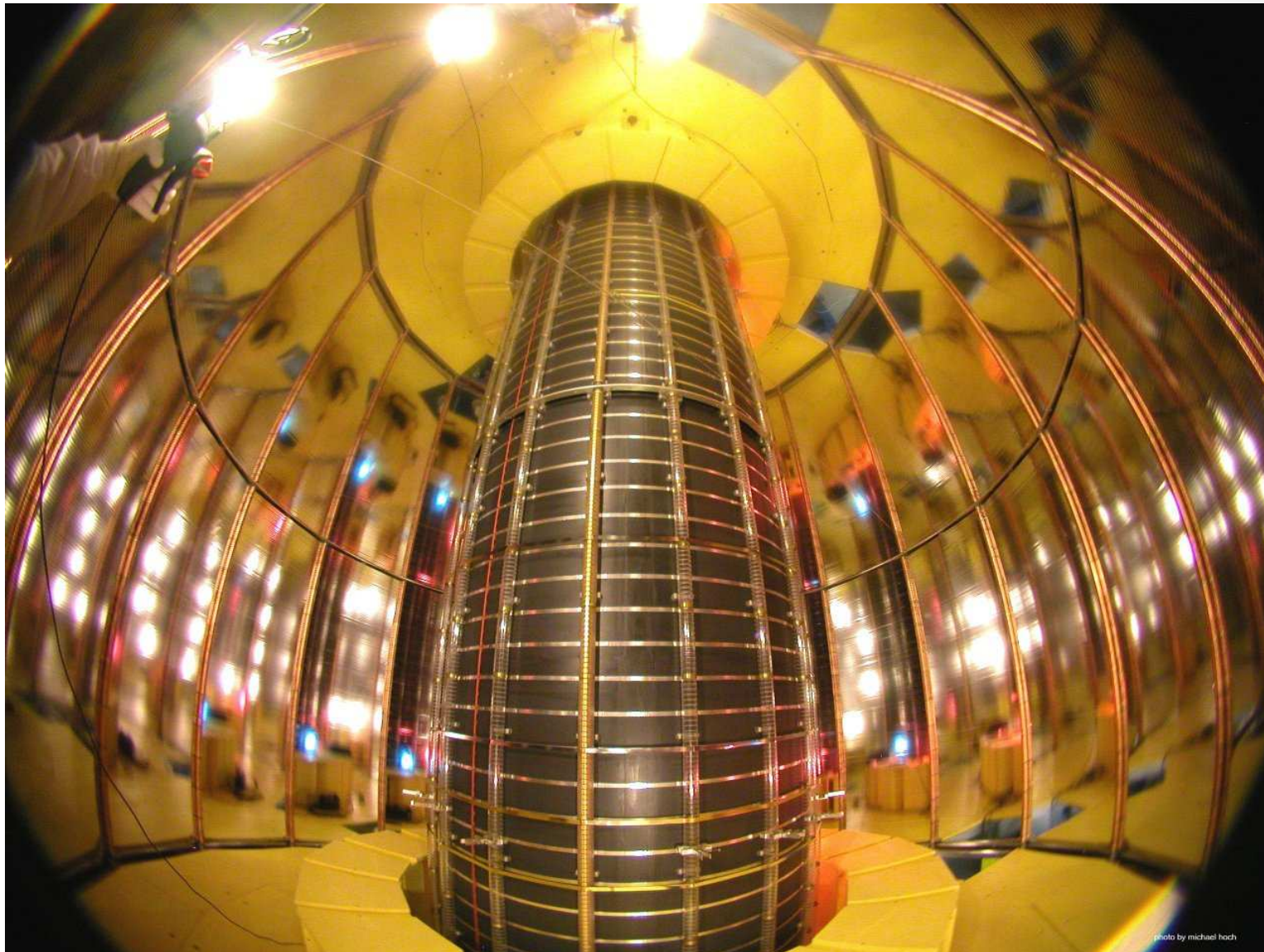
... a samozrejme v fizike





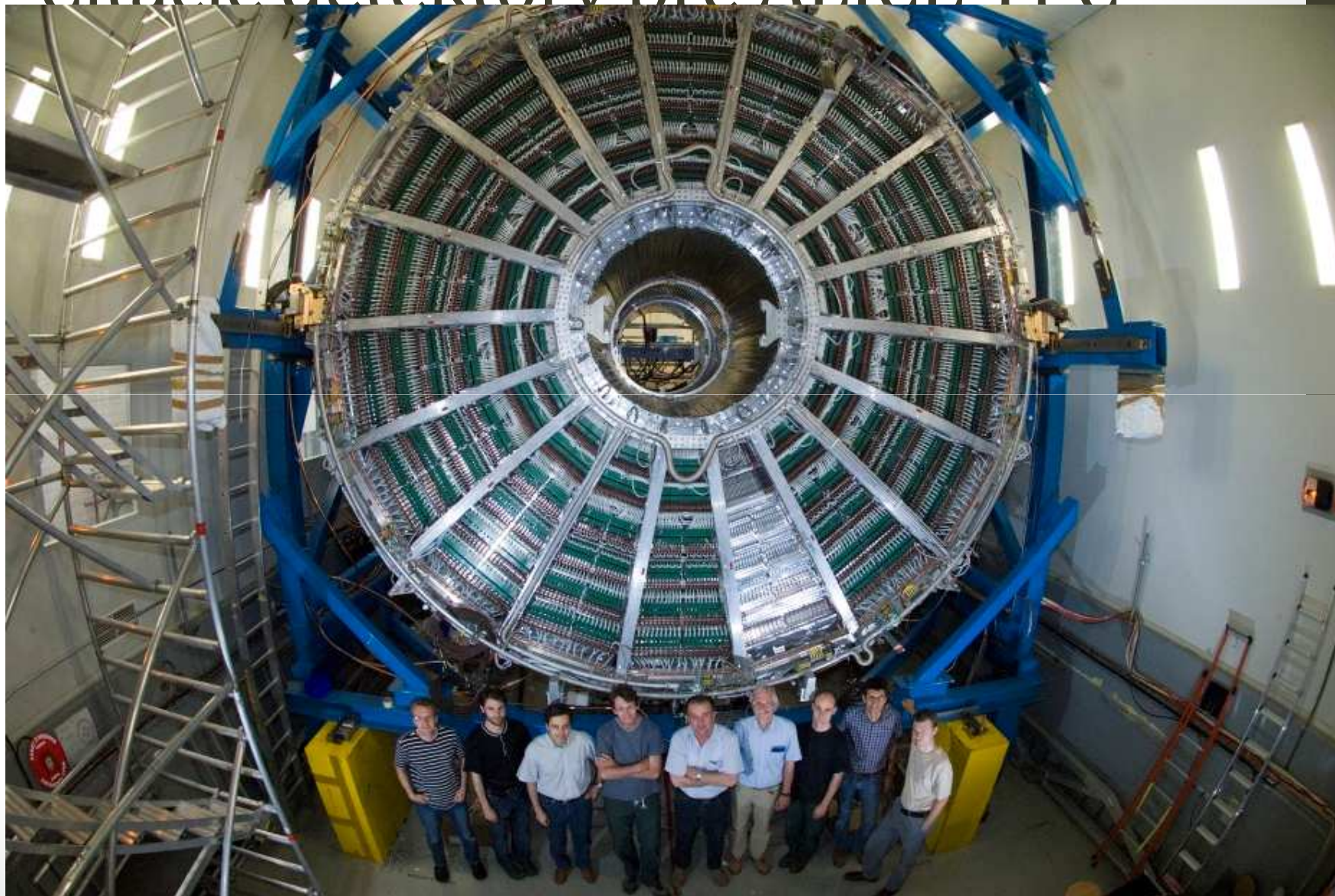


# Driftový priestor ALICE TPC





# Čítacie detektory pre ALICE TPC





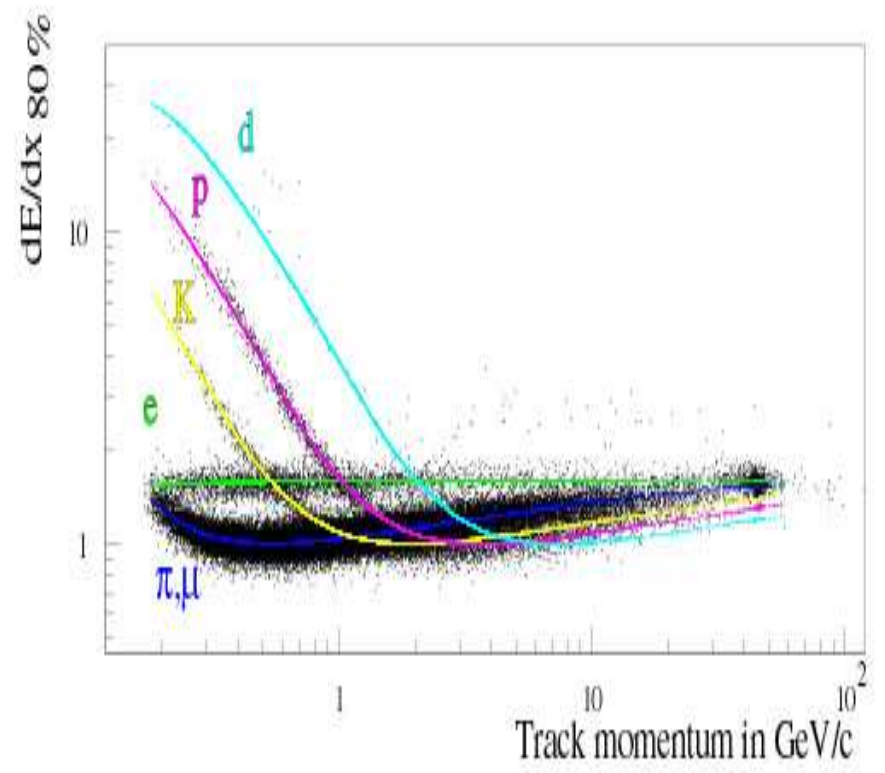
# Transport ALICE TPC





# Identifikácia typu častíc

- Ak sú detektory proporcionálne, meraný impulz je úmerný energetickej strate častice na jednotku dráhy  $dE/dx$
- Tieto energetické straty sú špecifické pre jednotlivé častice
- Ak poznáme hybnosť častice (napríklad zo zakrivenia dráhy) a jej energetické straty, môžeme pri troche šťastia identifikovať jej typ



- Na tomto mieste naše rozprávanie o plynových detektoroch zastavíme
- Chceme dať ešte šancu iným technikám
- Žiaľ musíme vynechať množstvo veľmi zaujímavých plynových detektorov

Multi Wire Proportional Chambers MWPC  
Time Projection Chambers  
Time Expansion Chambers  
Proportional Chambers  
Thin Gap Chambers  
Drift Chambers  
Jet Chambers  
Straw Tubes  
Micro Well Chambers  
Cathode Strip Chambers  
Resistive Plate Chambers  
Micro Strip Gas Chambers  
GEM - Gas Electron Multiplier  
Micromegas – Micromesh Gaseous Structure

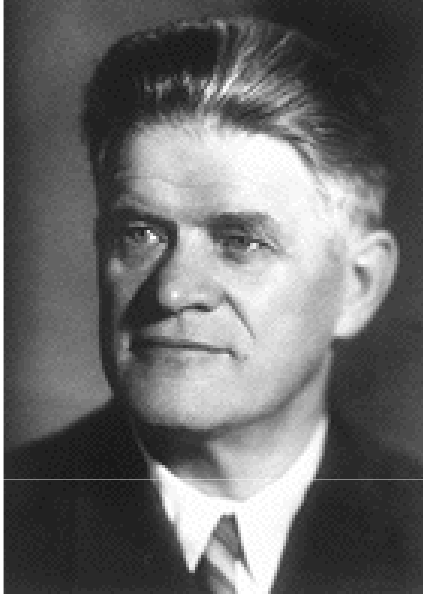
# Čerenkovovo žiarenie



Historicky prvá fotografia čerenkovovho žiarenia z Pb zväzku v CERNe  
(J.Ružička a spol.)



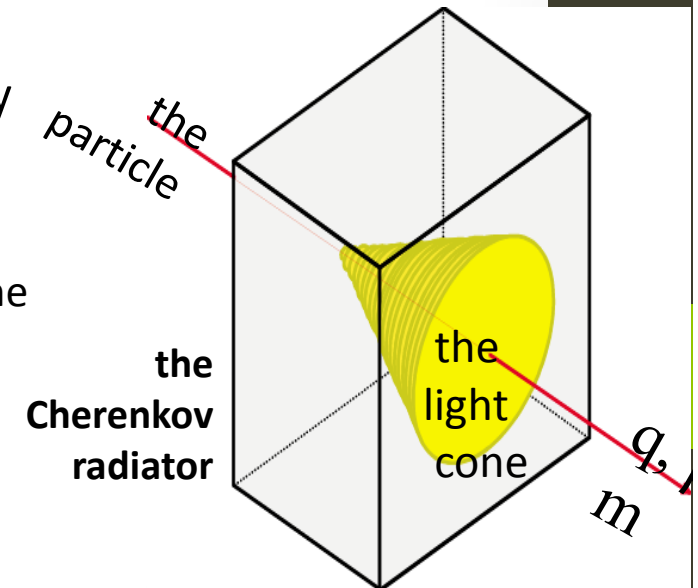
# Čerenkovovo žiarenie



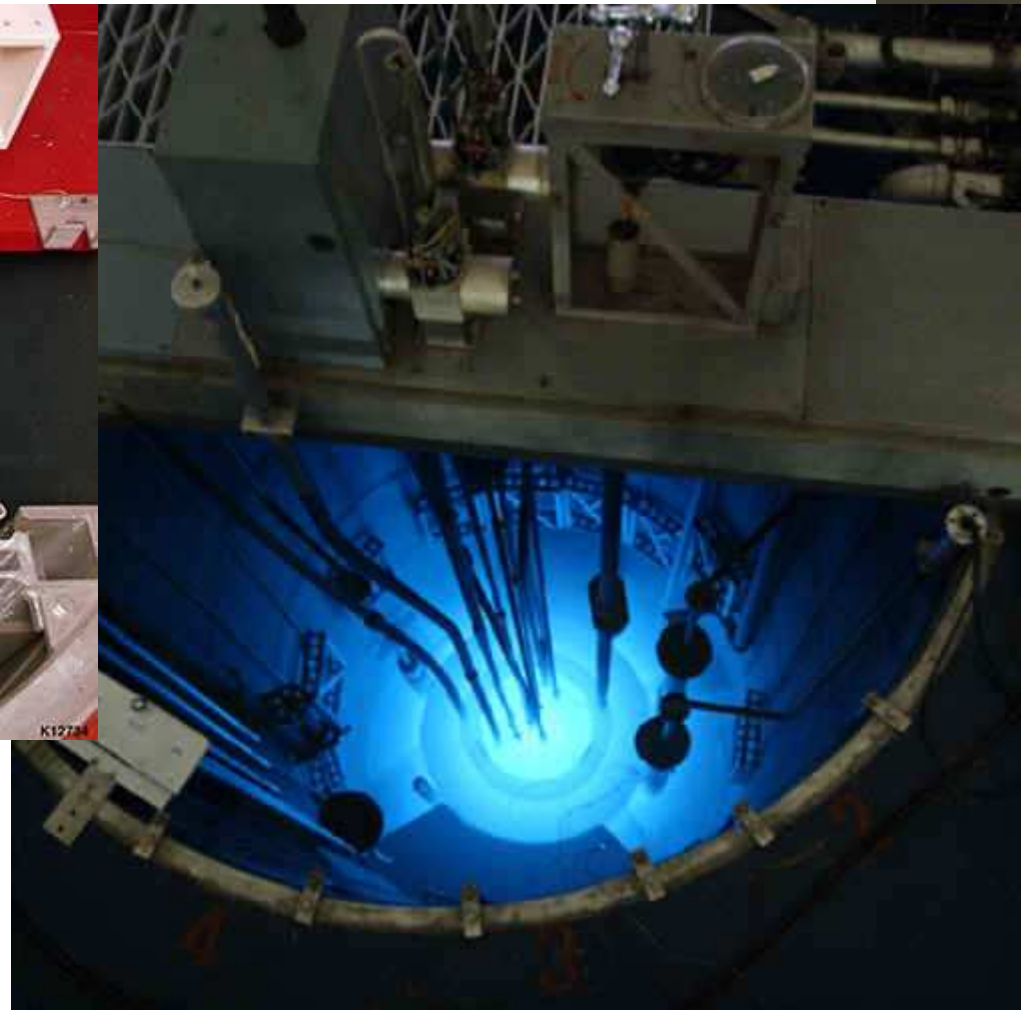
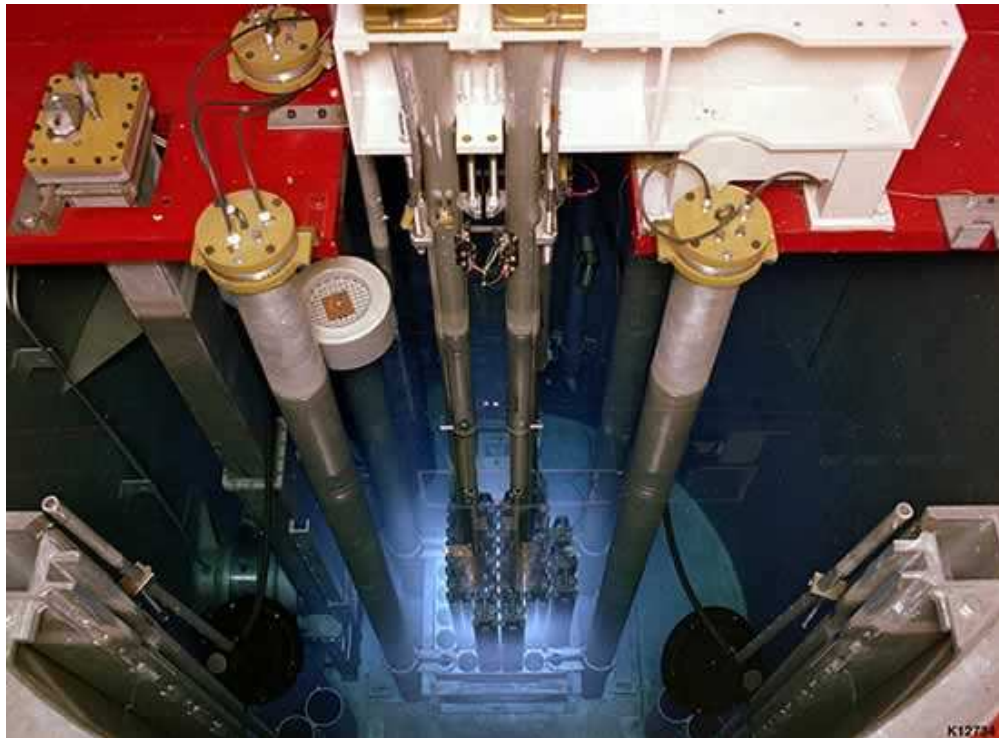
Pavel Aleksejevič Čerenkov  
(1904-1990)

Nobelova cena za fyziku 1958  
(spoločne s Frankom a  
Tammom)

- Čerenkovovo žiarenie vzniká pri prechode nabitej častice dielektrikom ak je rýchlosť častice vyššia než rýchlosť svetla v tomto prostredí
- Podobný efekt možno pozorovať ak objekt prekročí rýchlosť zvuku
  - Zvukové vlny nedokážu uniknúť „dostatočne rýchlo“ od objektu, ktorý ich vyvoláva a dôjde k vytvoreniu rázovej vlny
- Pri prechode nabitej častice dielektrikom sa vzbudené elektróny vracajú do pôvodného stavu vyžiarením fotónov.
  - Tieto sa pohybujú pomalšie, ako porucha, ktorá ich vyvoláva a vznikne rázová vlna

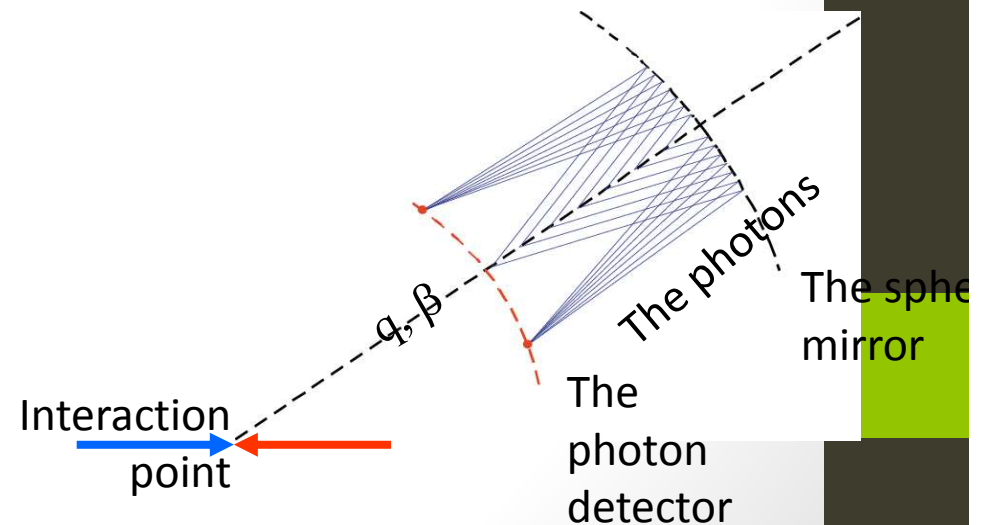
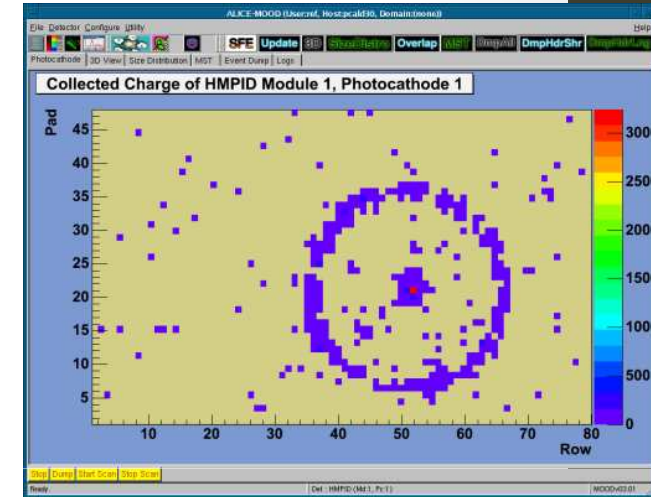
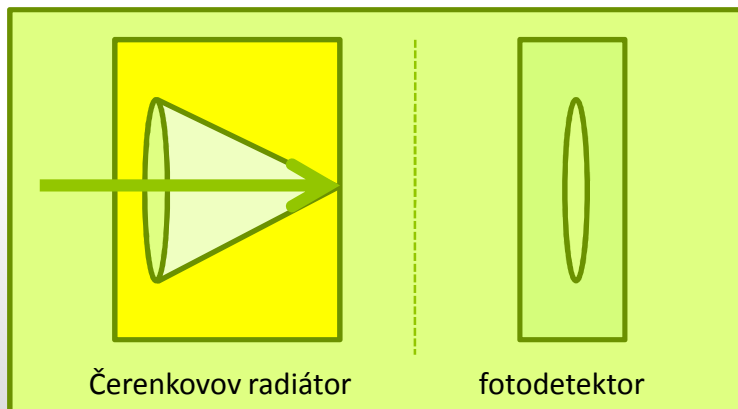


# Čerenkovovo žiarenie v jadrovom reaktore TRIGA MarkII (reaktor je naplnený vodou)



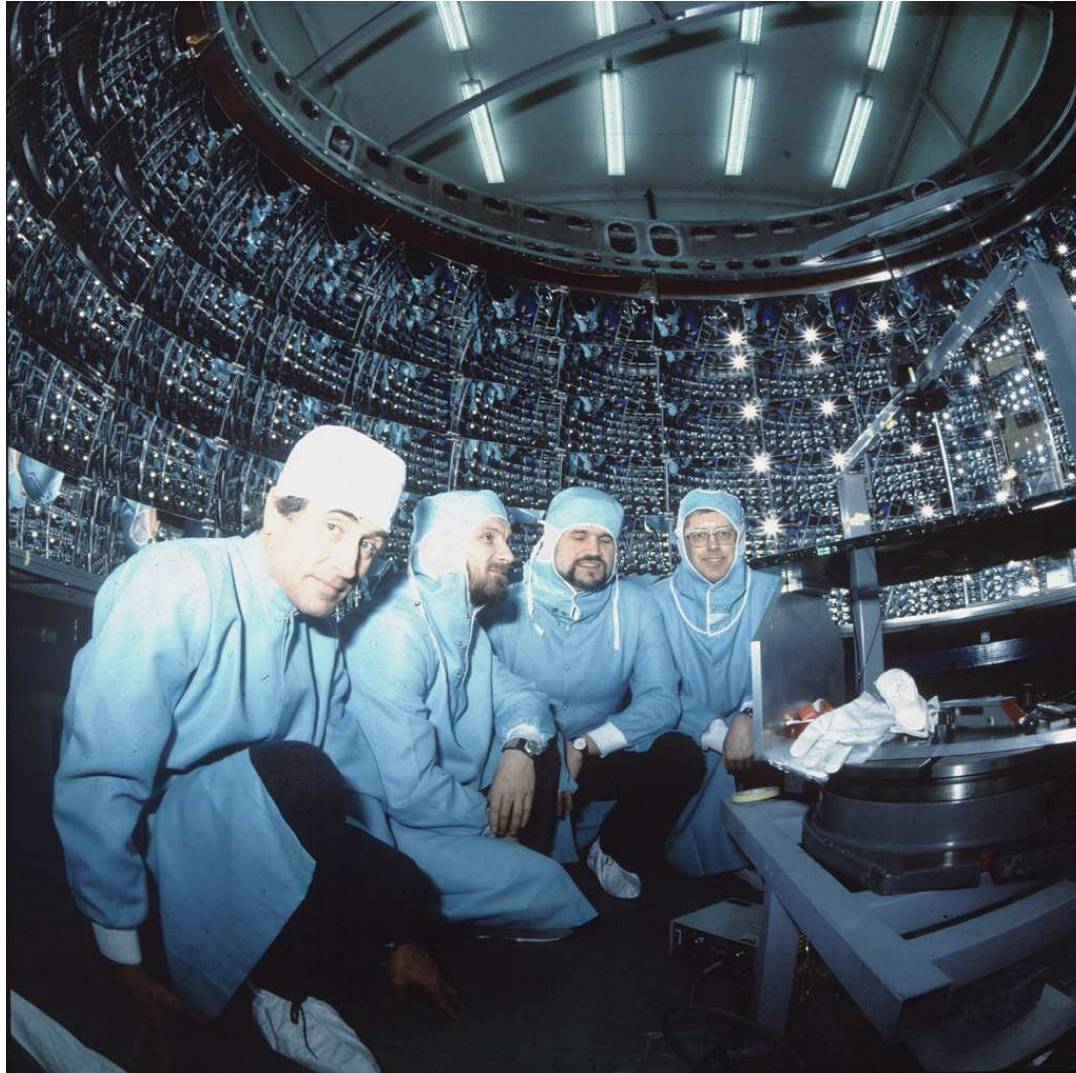
# Čerenkovove počítače

- Čerenkovové počítače sa používajú na detekciu rýchlych častíc
- Najvýznamnejšia aplikácia čerenkovových počítačov v tzv. RICH konfigurácii (Ring Imaging Cherenkov)
  - Čerenkovovo žiarenie sa vytvára v radiátore
  - Polohovo citlivý detektor zobrazí vzniknutý kruh
  - Polomer registrovaného kruhu závisí od rýchlosti častice

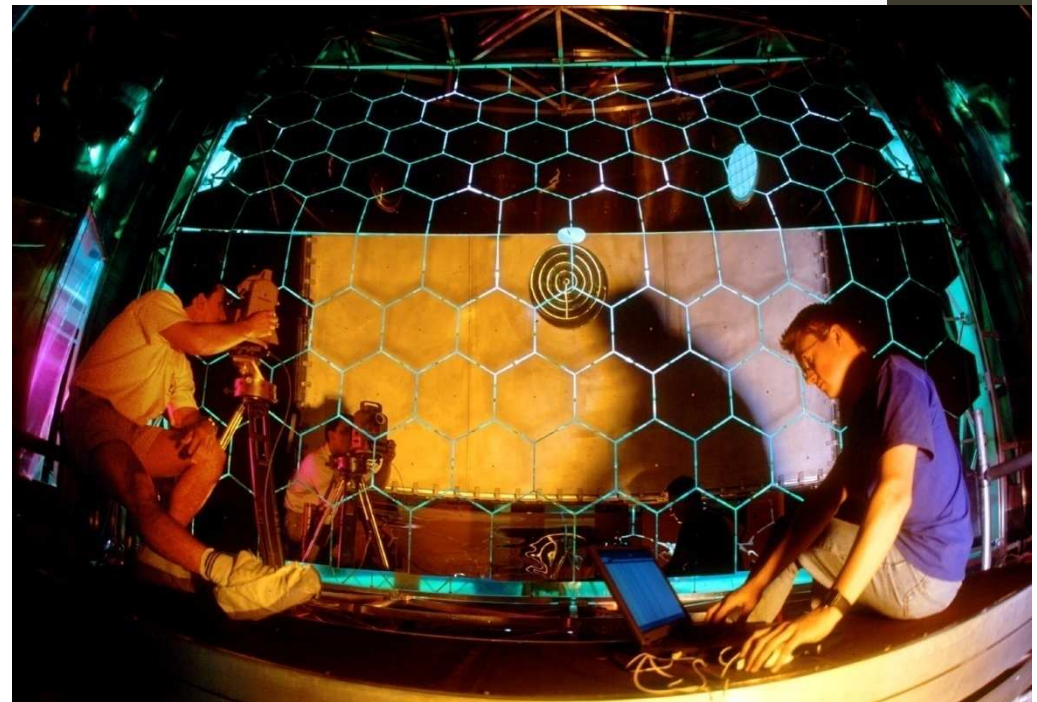




# DELPHI RICH (1989)



# COMPASS RICH (2001)





# ALICE HMPID (2007)

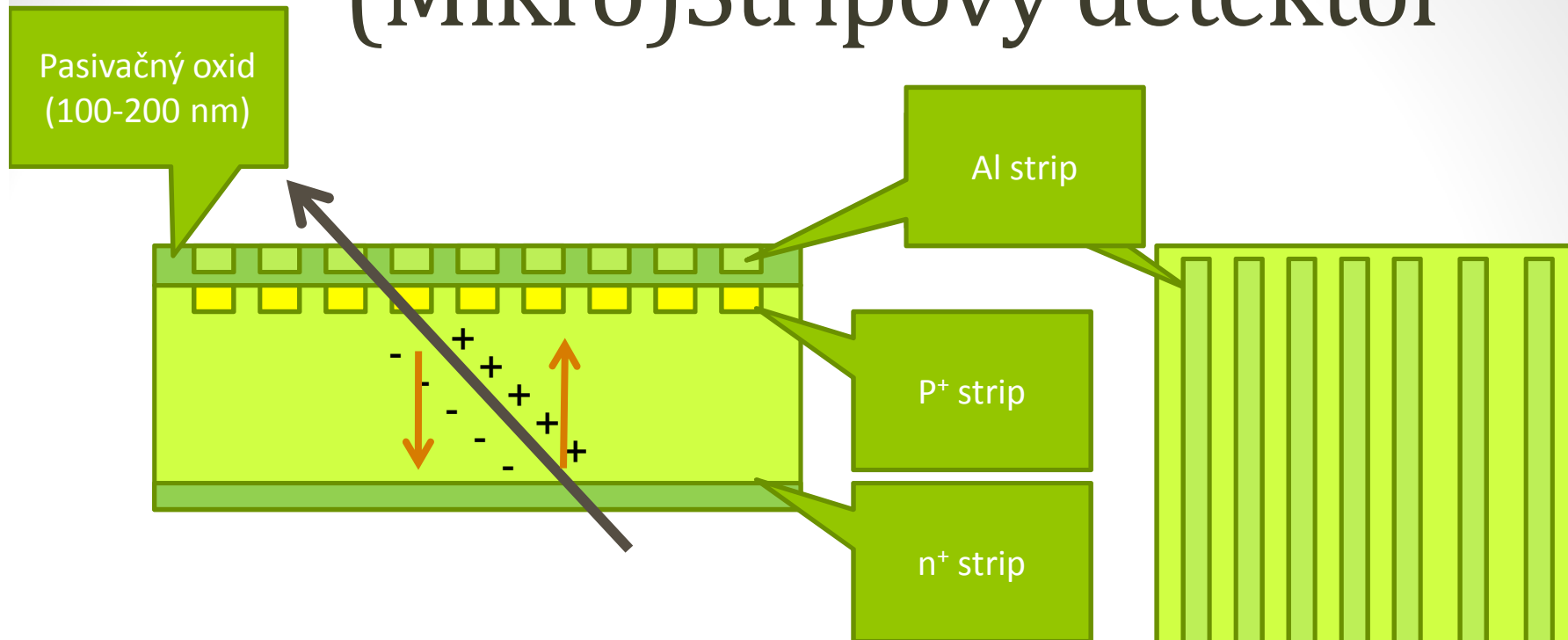




# Polovodičové detektory

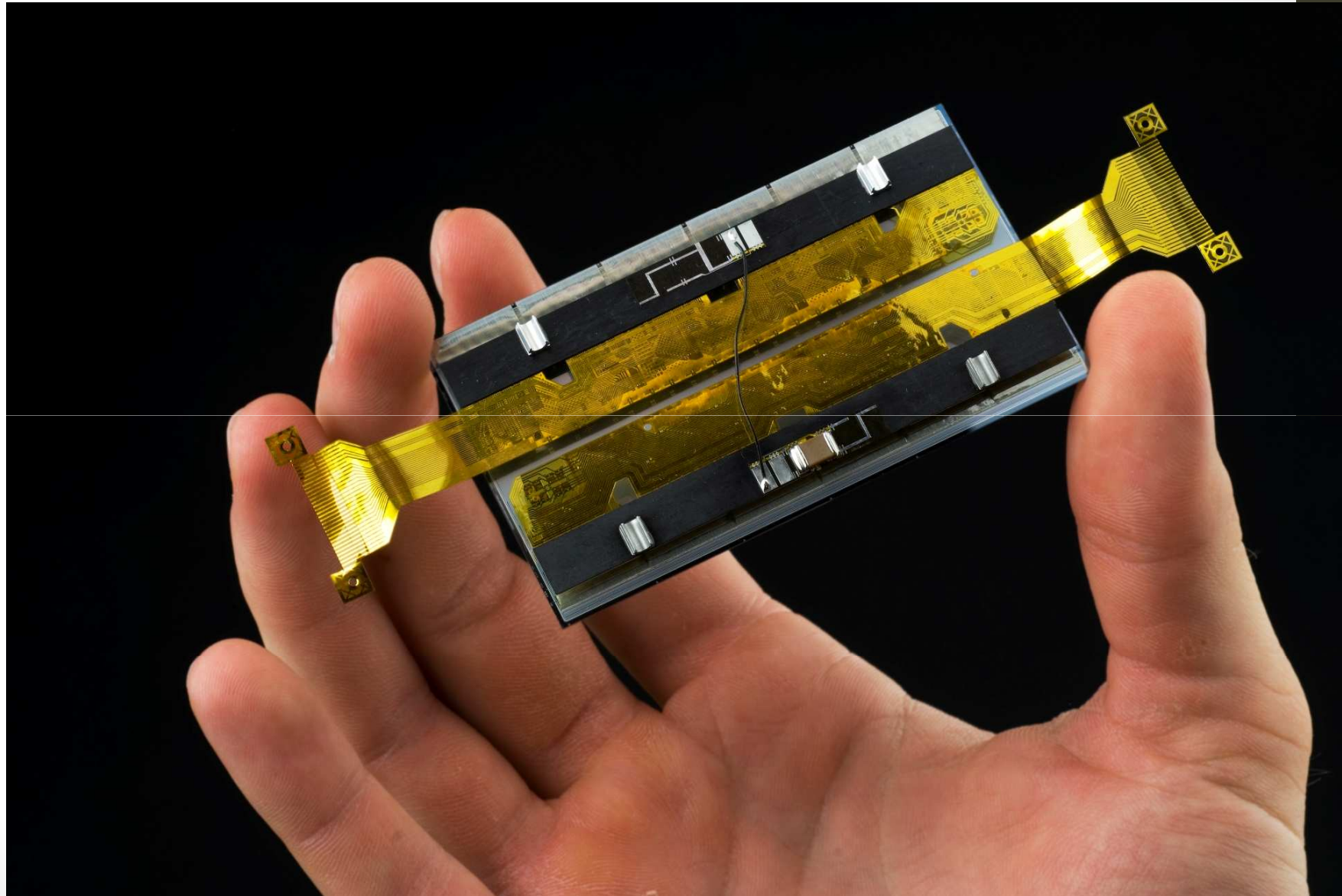
- Princíp polovodičových detektorov sa podobá plynovým:
  - Častica odovzdá energiu elektrónu, ktorý sa uvoľní a putuje detektorom
  - Oproti plynu je táto energia asi 10krát nižšia

# (Mikro)Stripový detektor



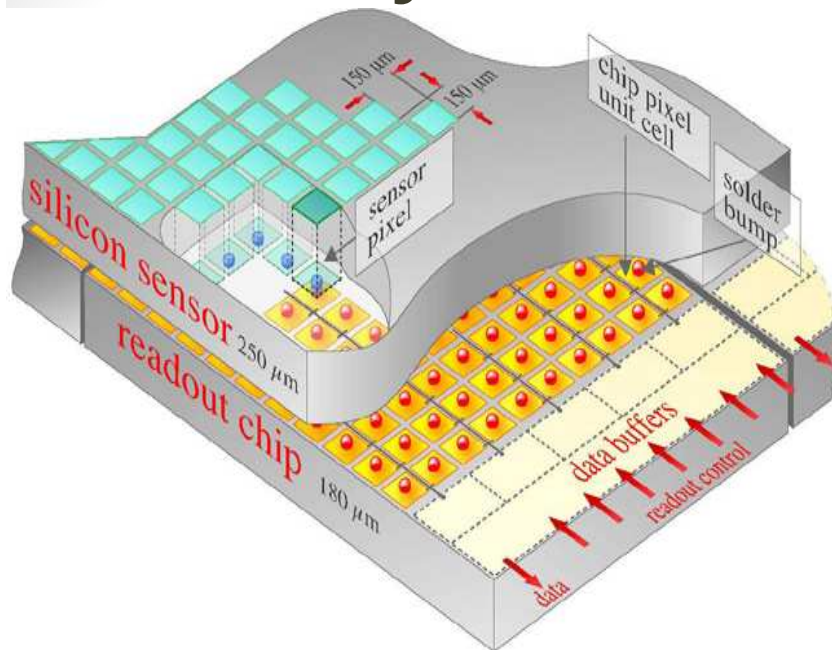
- Vzdialenosť medzi implantovanými stripmi býva obvykle niekoľko  $\mu\text{m}$
- Pasivačný oxid chráni detektor
- Al stripy sú naparené na povrchu oxidu a zbierajú náboj kapacitnou väzbou
  - Al stripy bývajú spojené s odčítavacou elektronikou
- Polohové rozlíšenie stripových detektorov je na úrovni  $\mu\text{m}$
- Doba zberu náboja býva niekoľko ns
- Ak vyrobíme stripy na oboch stranách detektora, môžeme merať dve koordináty naraz

# Modul stripového detektora pre





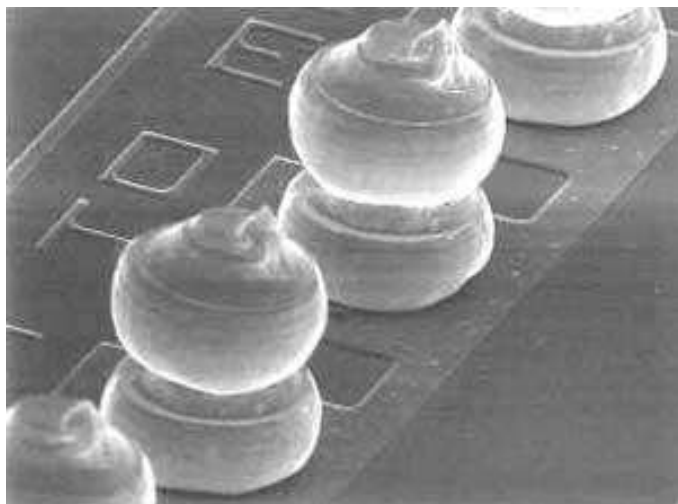
# Pixlový detektor, polovodičový



- pixlové detektory sú momentálne najpokročilejšie polovodičové detektory
- Elektródy v tvare malých plôšok, čiže poskytujú priamo dvojrozmernú informáciu

• Na rozdiel od stripov, nemôžu byť pripojené k elektronike na okraji detektora, elektronika musí „sediť“ priamo nad pixlami

• Prepojenie pixlu s elektronikou sa realizuje prostredníctvom mikro gulôčiek (bumps) s priemerom niekoľko mikrometrov

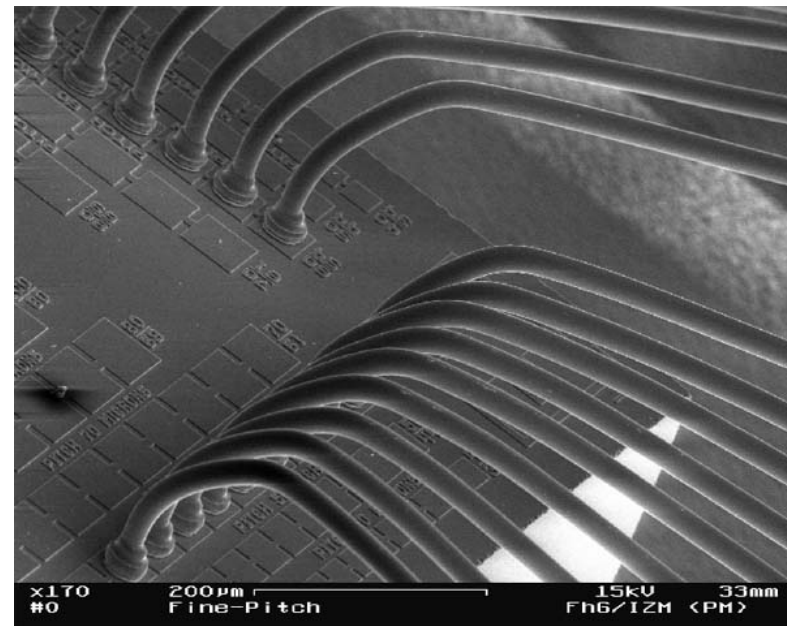
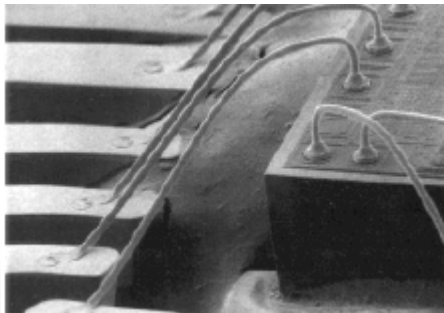


Pixlový čip  
pre ALICE

8192 pixlov!

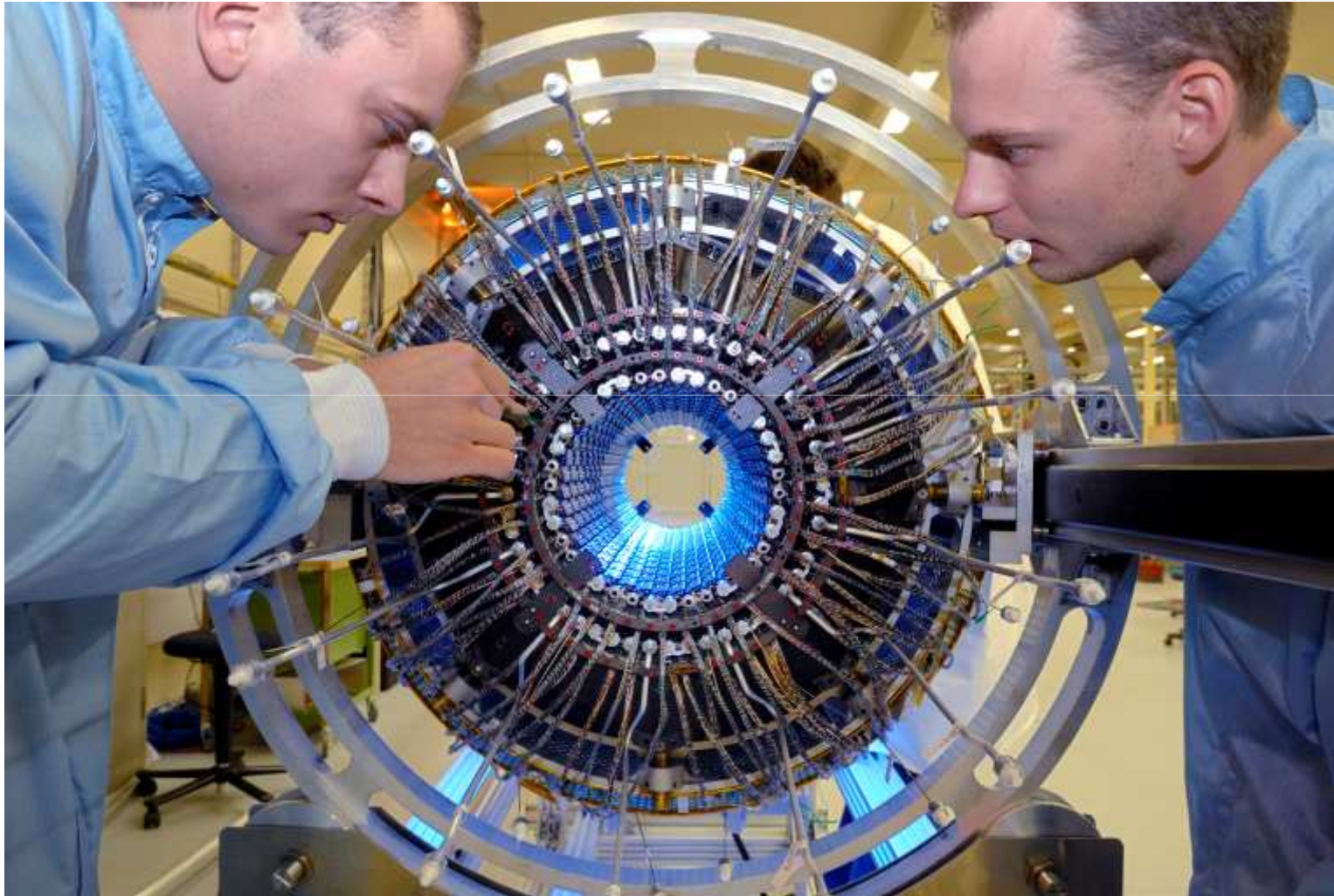


- Prepojenie detektora s elektronikou sa realizuje väčšinou pomocou kovových (hliníkových) mikrodrôtikov s priemerom asi 20mikrometrov
- Spojenie drôtika s kontaktom sa robí ultrazvukom



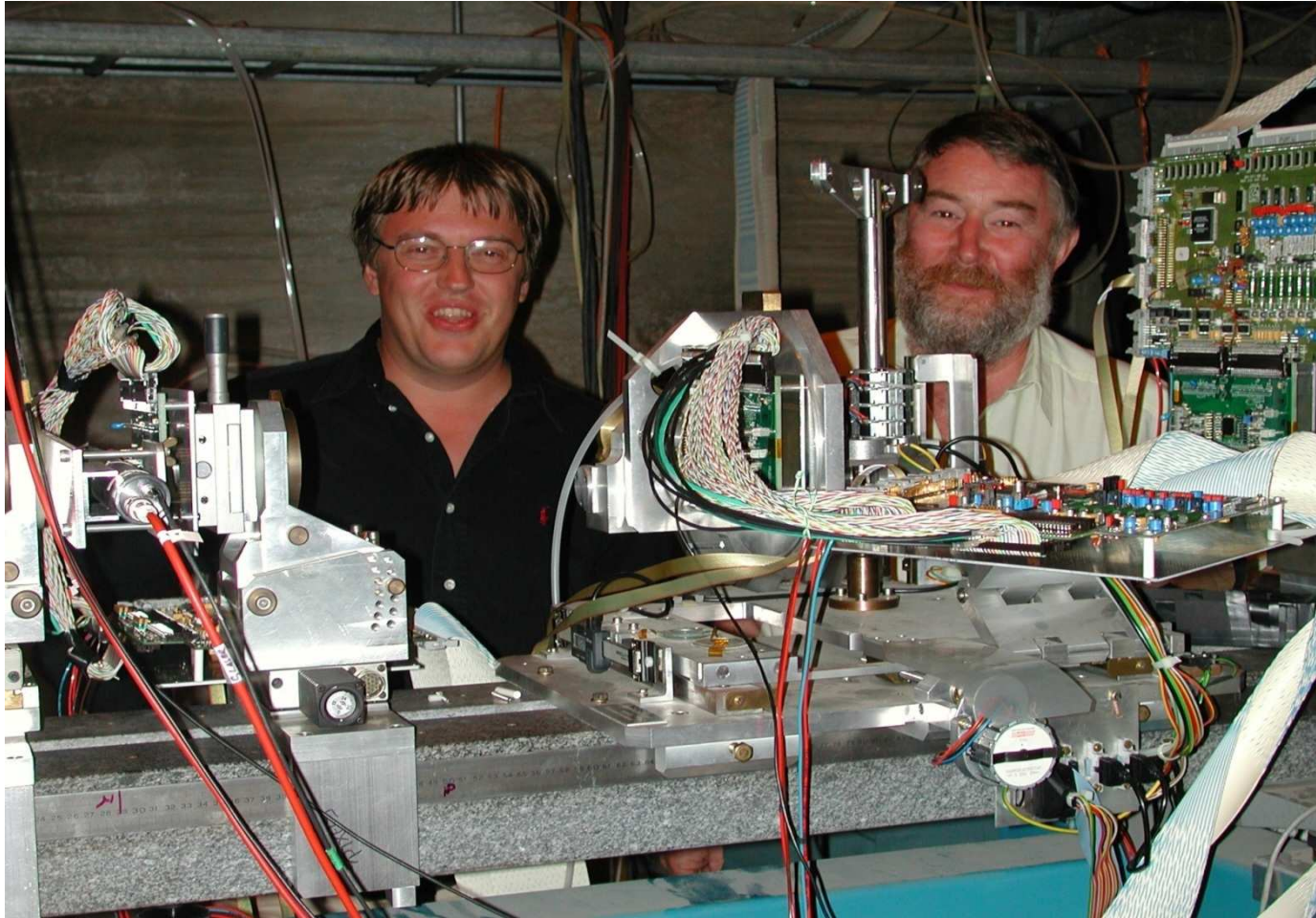


# Pixlový detektor experimentu ATLAS

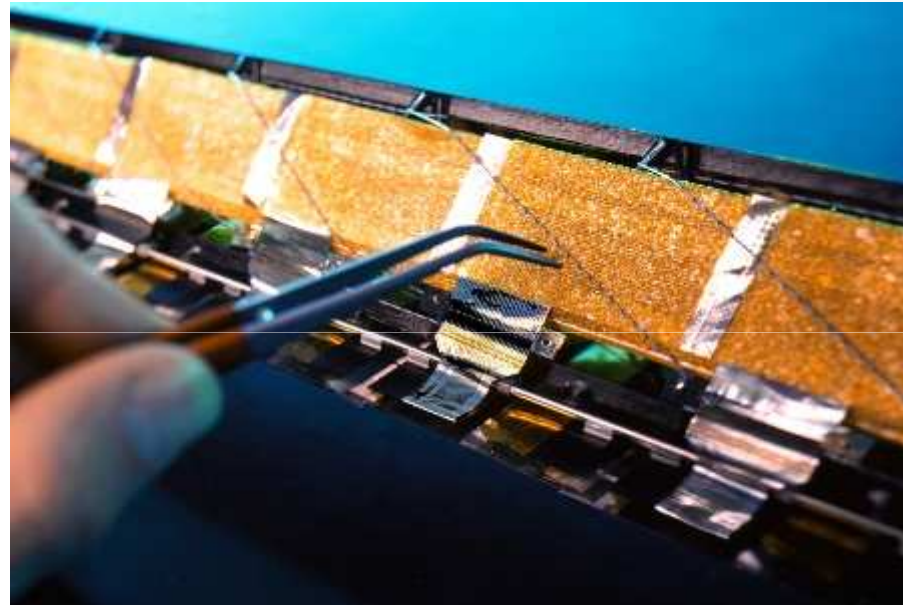
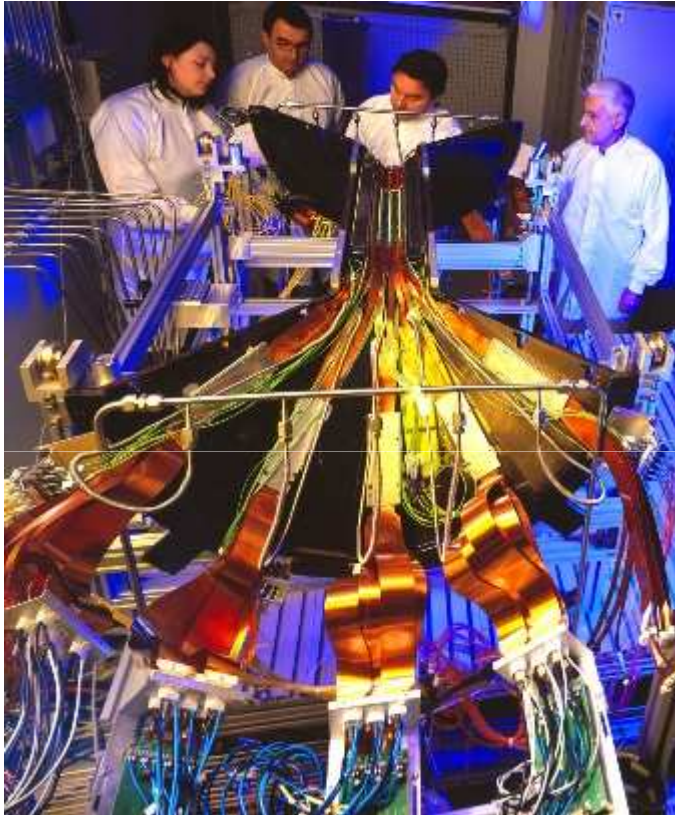




# Testy pixlového detektora pre ALICE

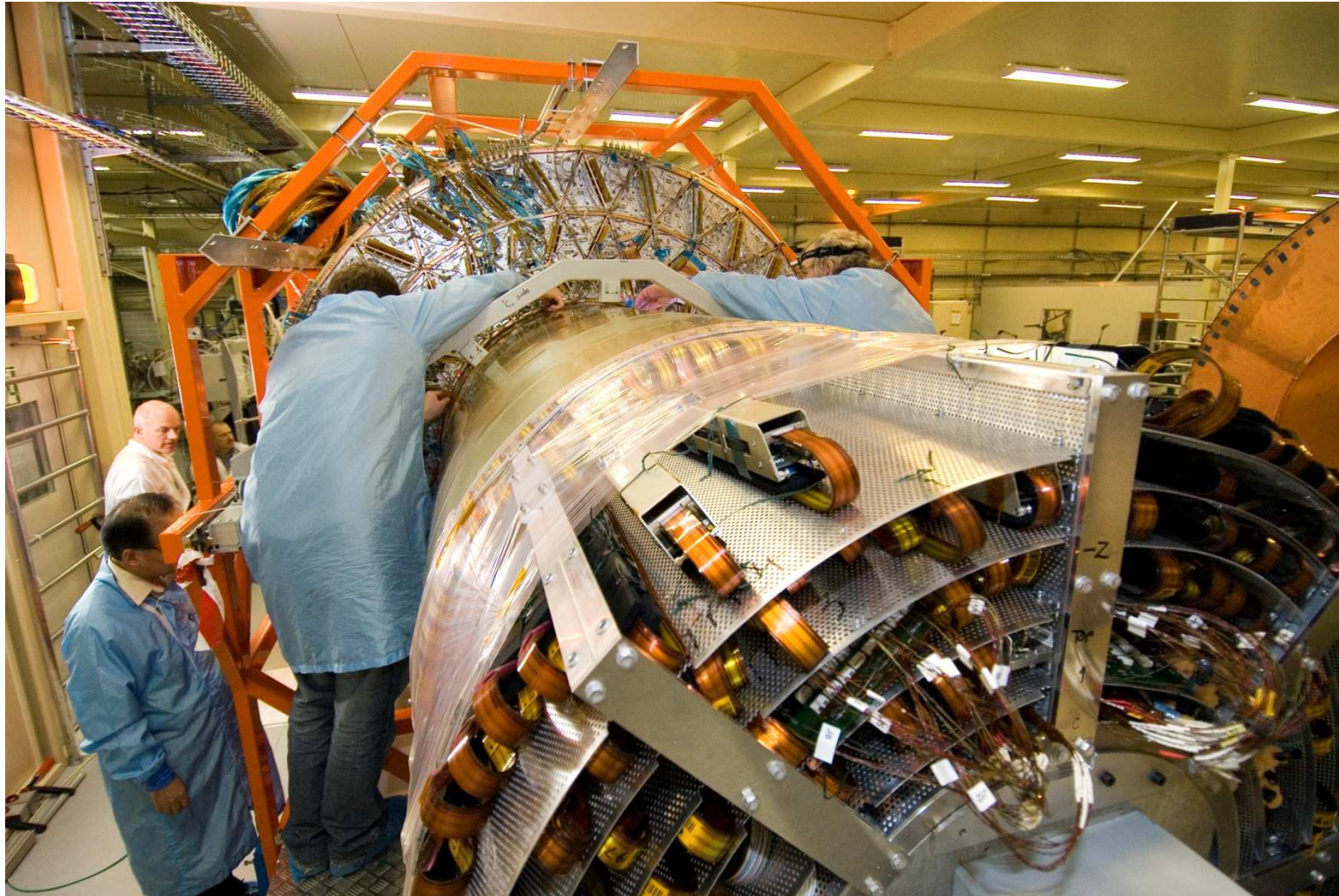


# ALICE





# Kremíkový dráhový detektor experimentu ATLAS



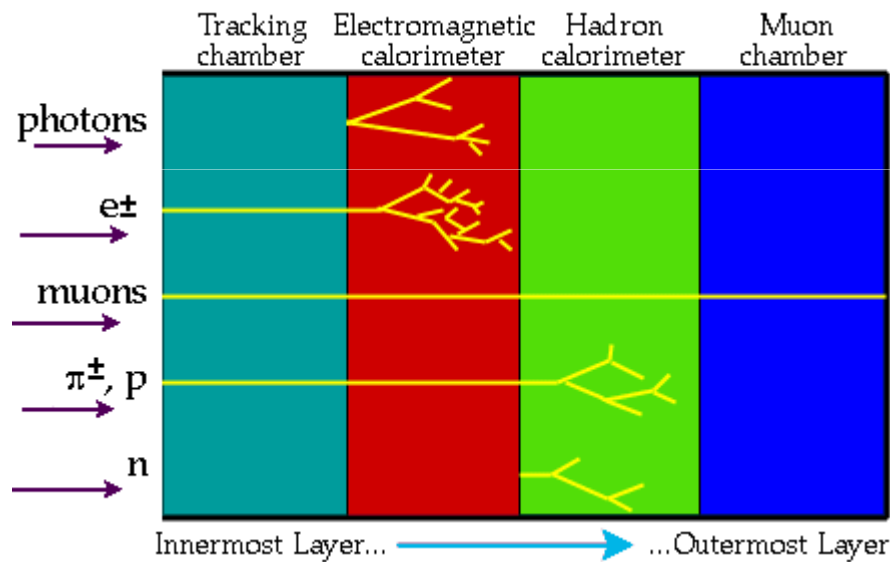


# A ako to dáme všetko dokopy?

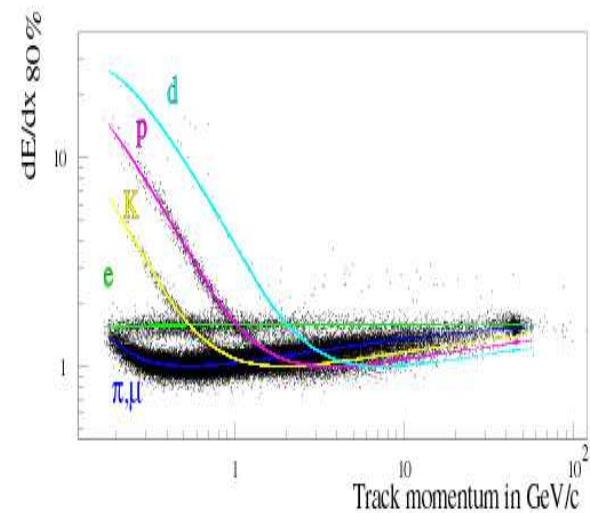
- Veľké experimenty využívajú detektory zložené z mnohých komponentov
  - Každý subdetektor poskytne kúsok informácie
    - Typ častice
    - Dráha častice
    - Hybnosť častice
  - Úloha online systémov je tieto kúsky poskladať do uceleného obrazu, vhodného na analýzu

# Ako určíme typ častice?

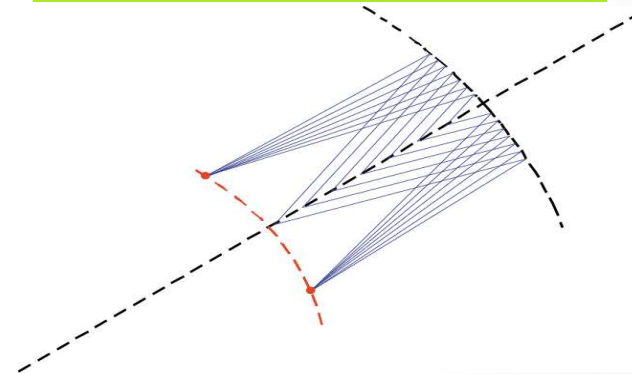
Kombináciou údajov (ako CSI)



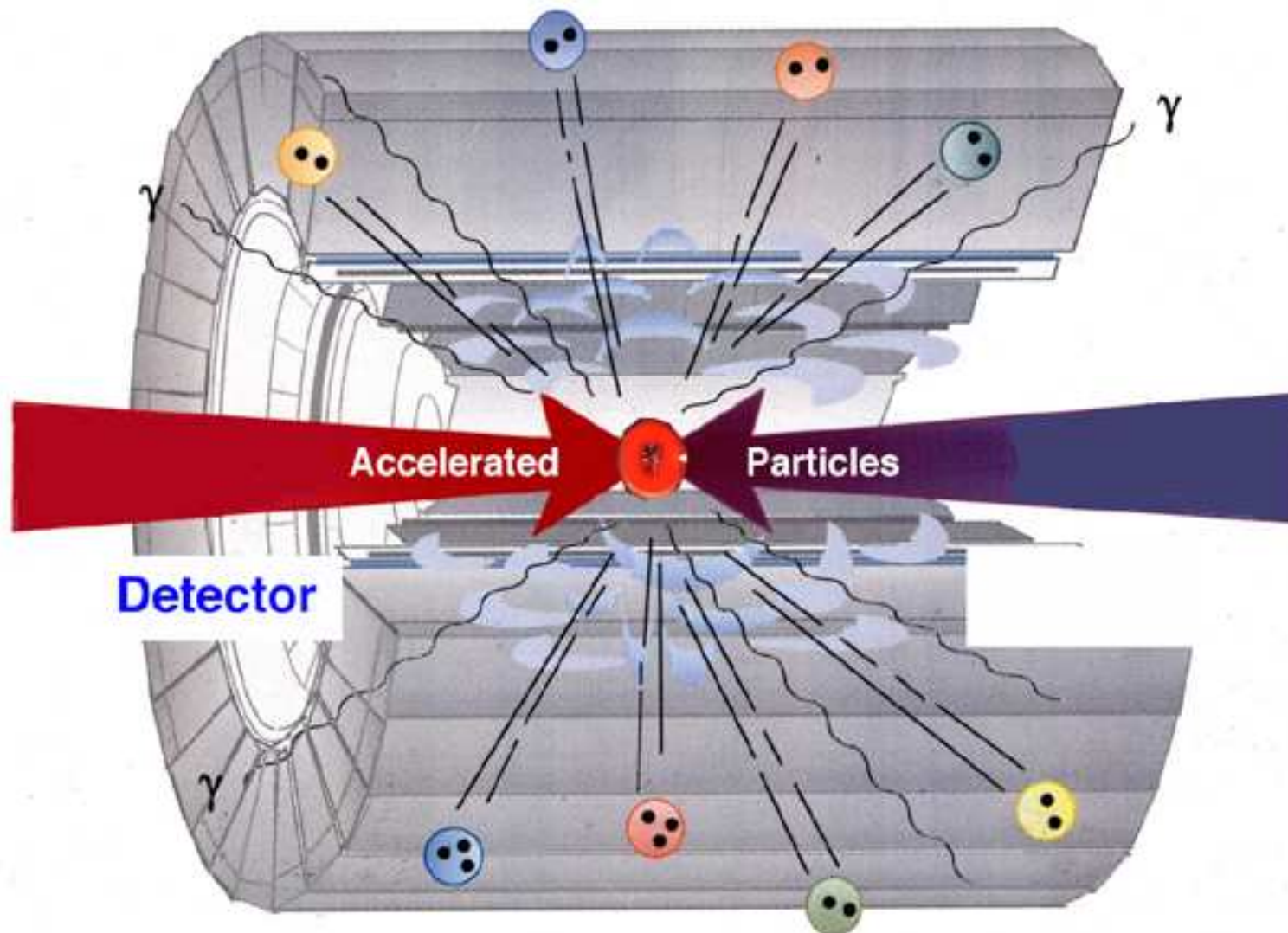
... odlišné interakcie s rôznymi detektormi...



... charakteristika interakcie...

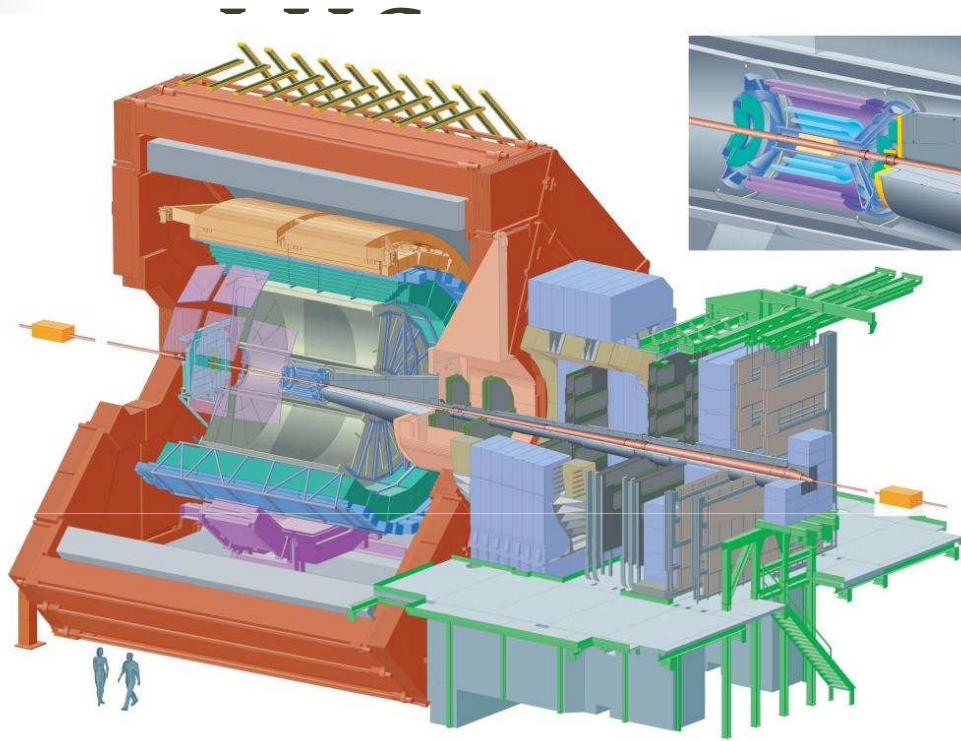


**Každá vrstva experimentu poskytne kúsok informácie**





# ALICE – Heavy Ion Experiment



**Detector:**

**Size:** 16 x 26 m (some components installed >100m from interaction point)

**Mass:** 10,000 tons

**Sub-detectors:** 18

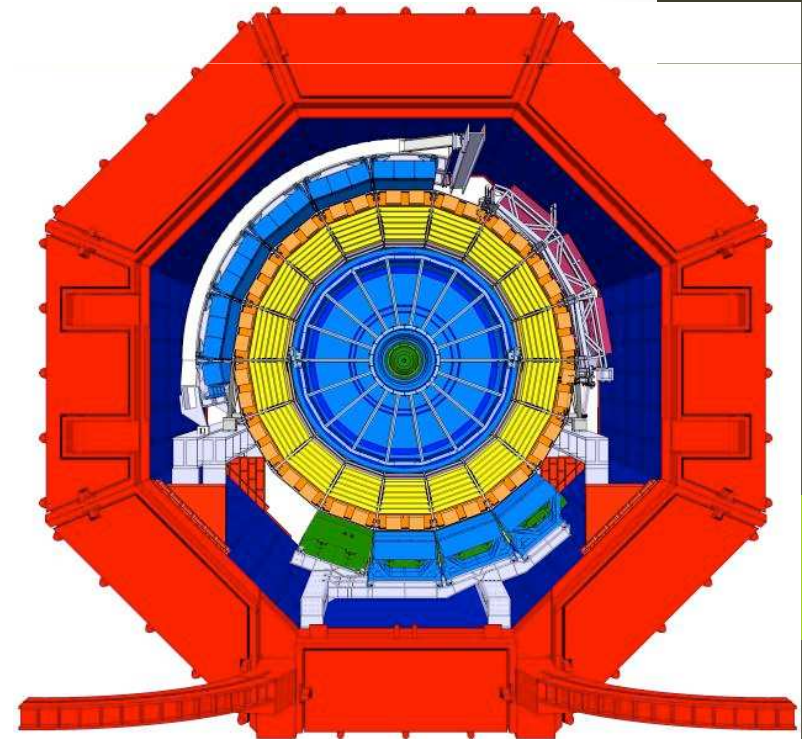
**Magnets:** 2

**Collaboration**

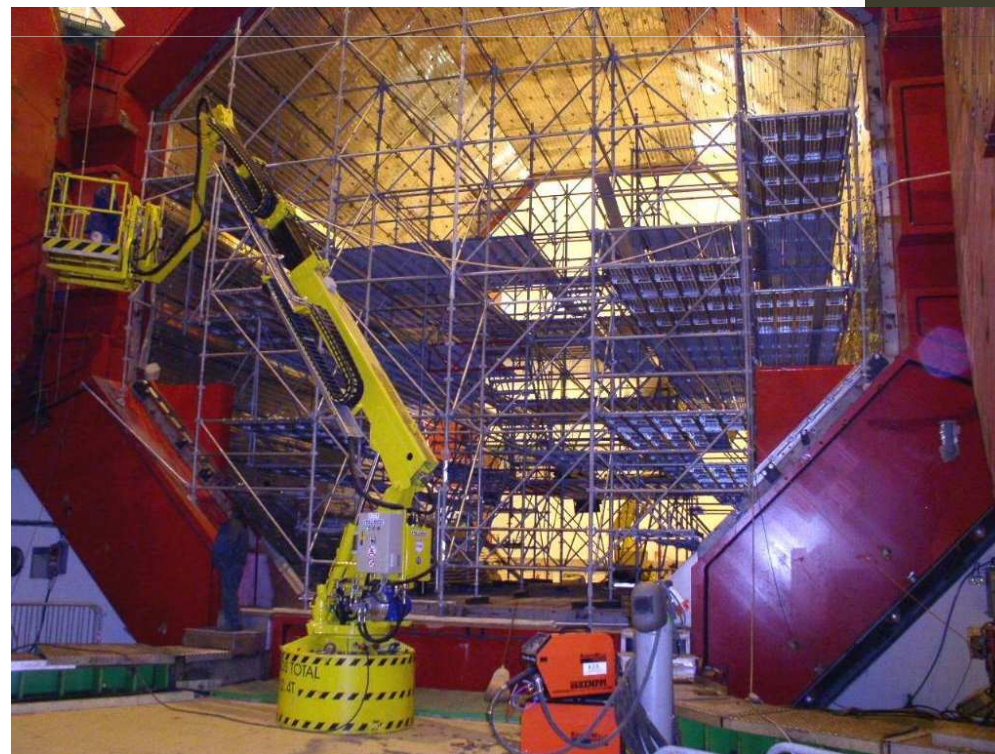
**Members:** 1500

**Institutes:** 120

**Countries:** 35



# Al nosná konštrukcia detektorov

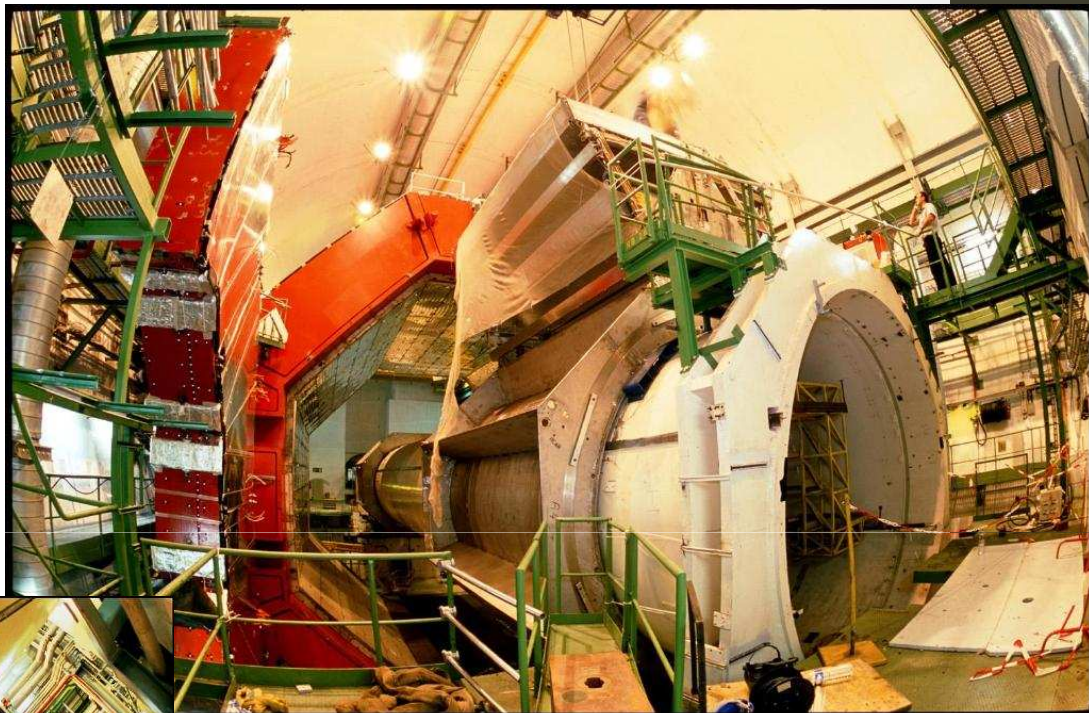




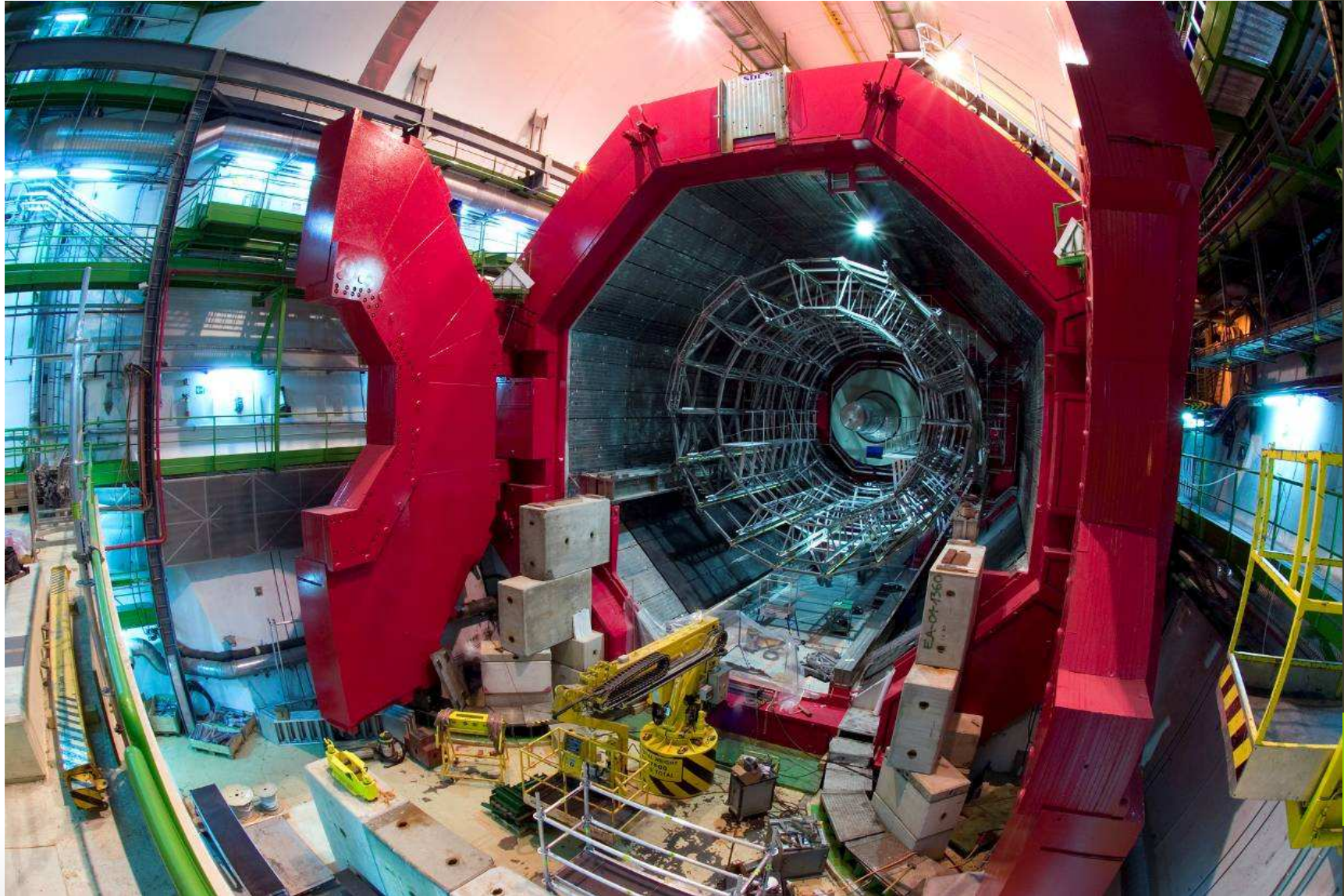
# Tienenie trubice so zväzkom





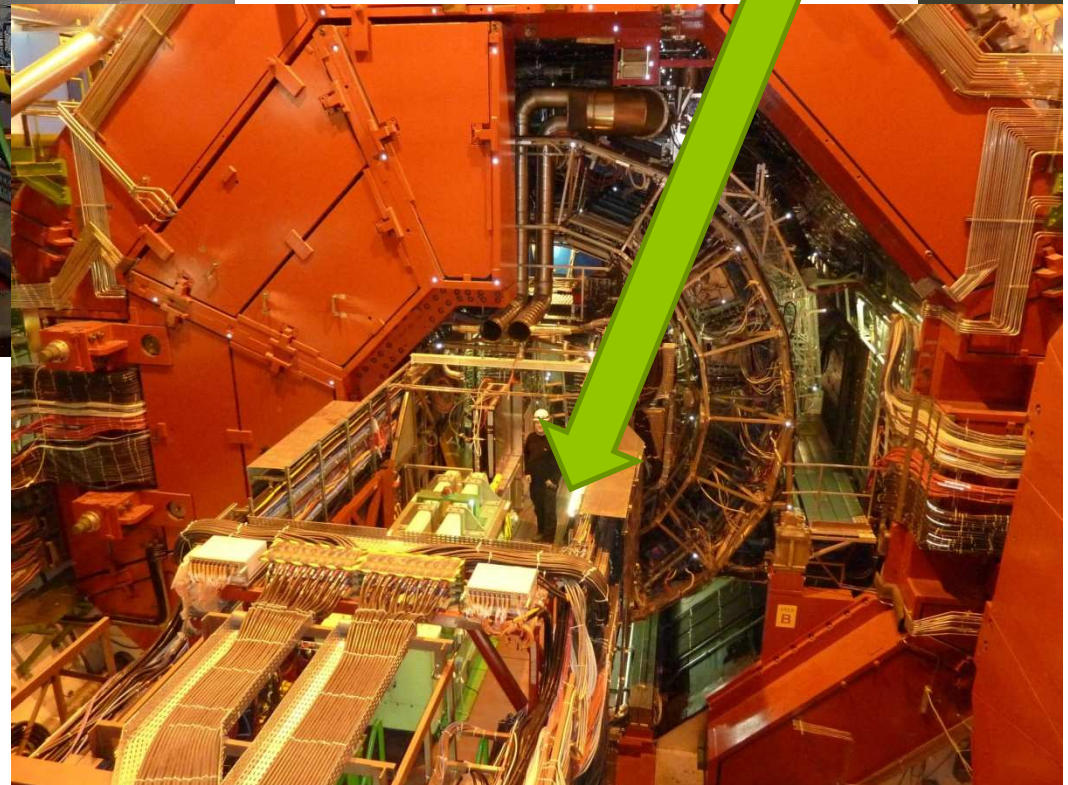
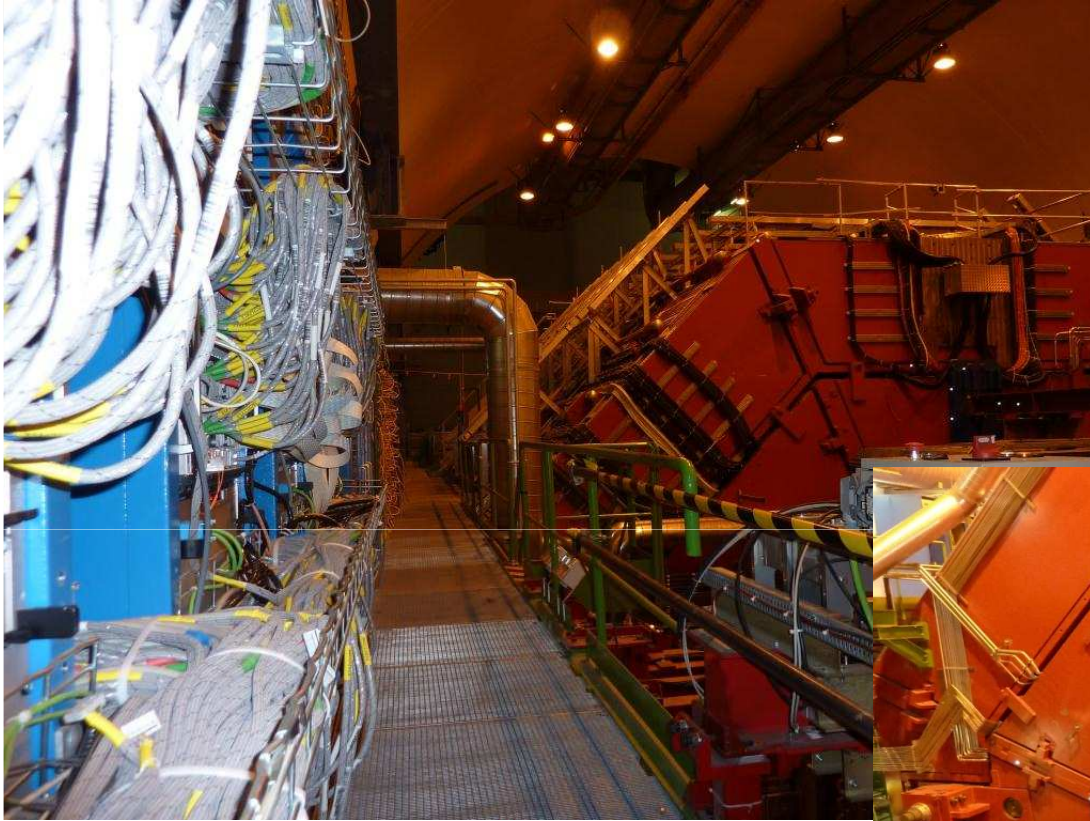






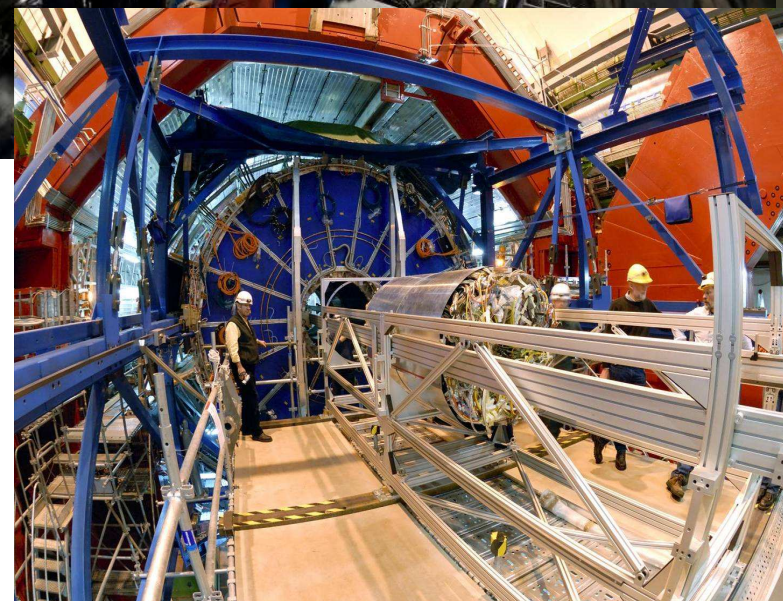
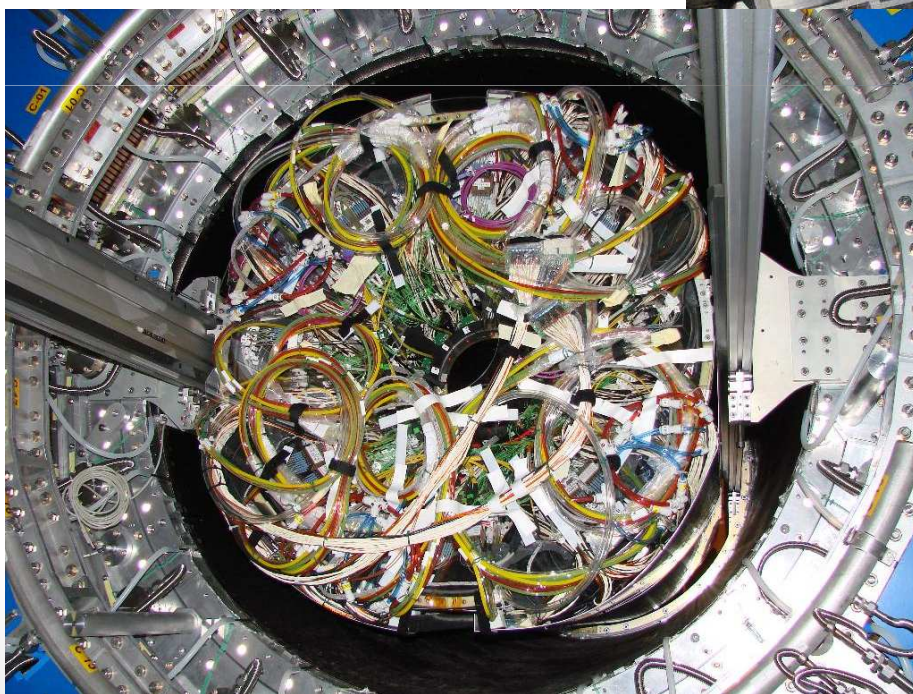


# Detektor experimentu ALICE



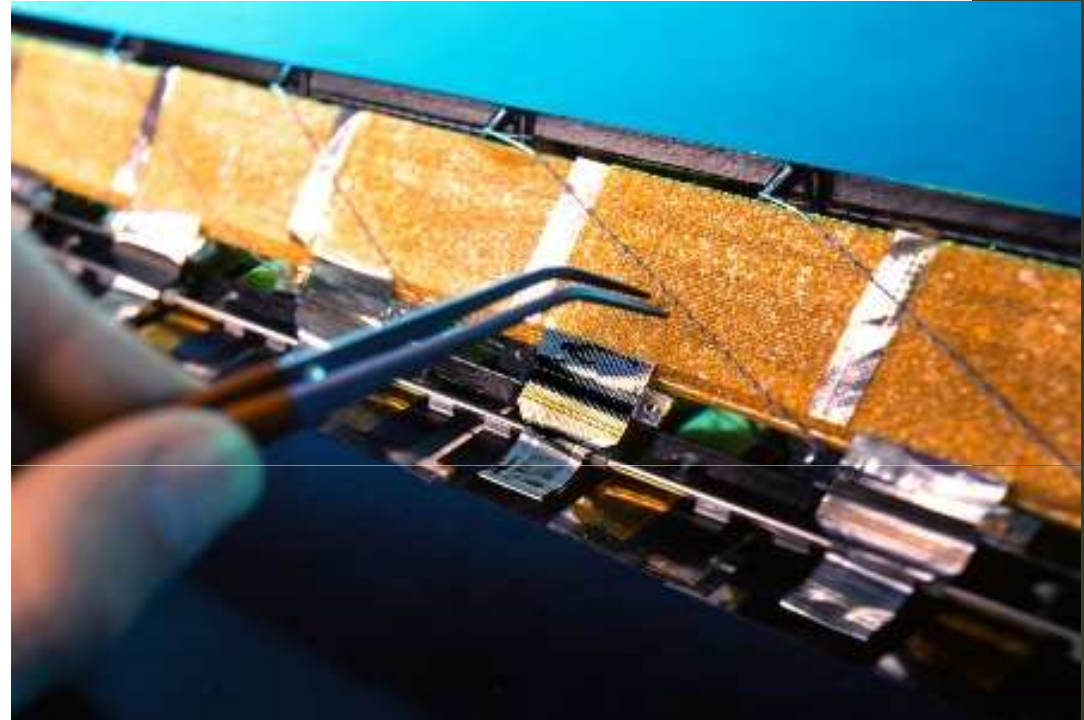
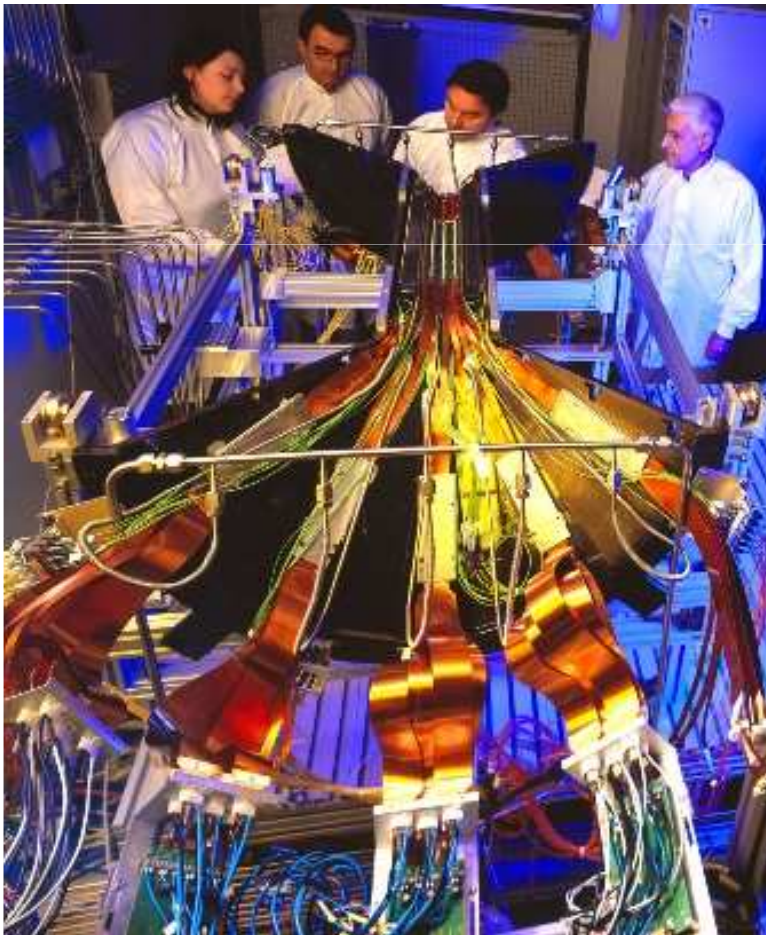


# Kremíkové detektory v Alice



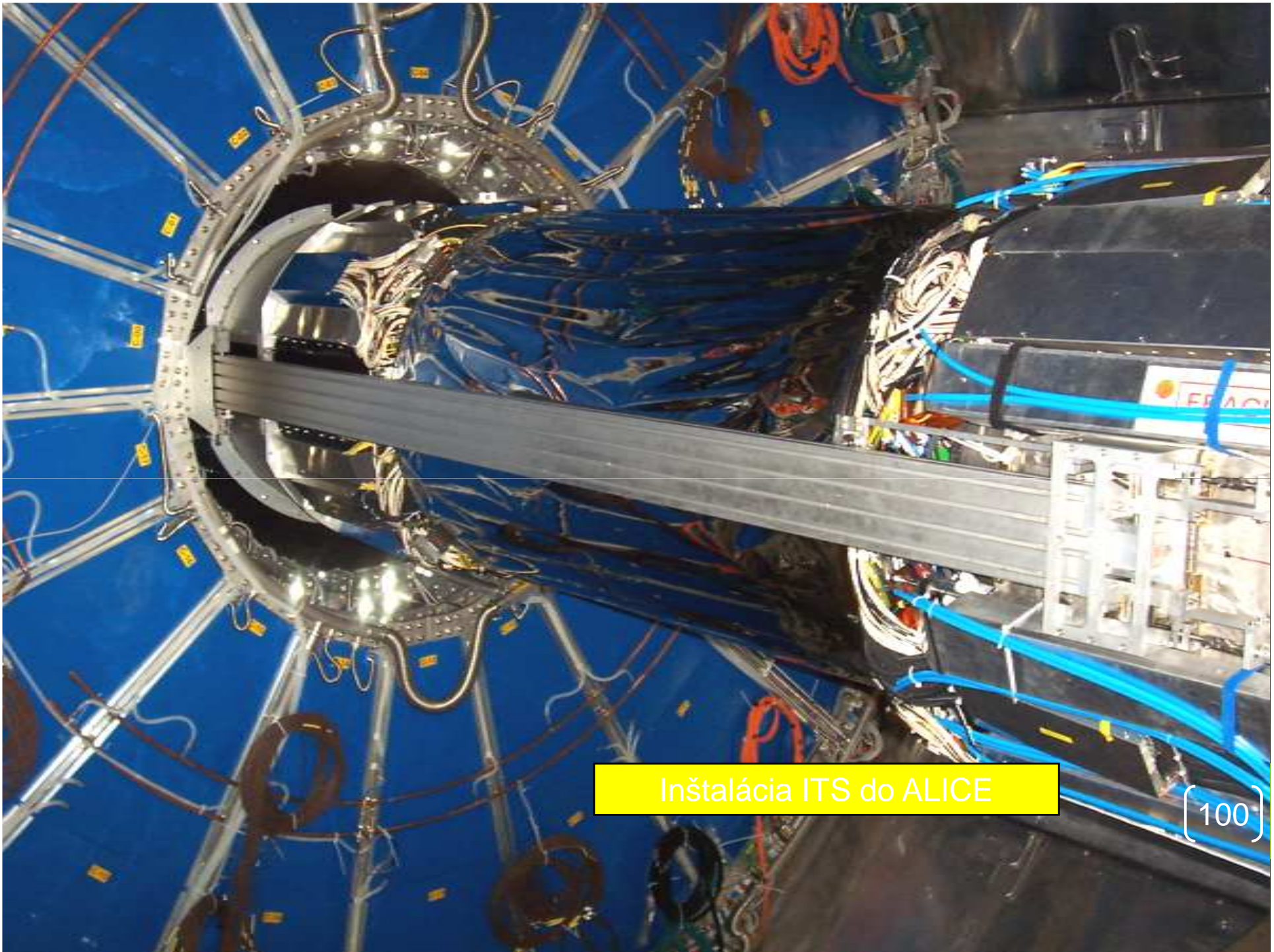


# ALICE SPD (Silicon Pixel Detector)



10 000 000 elektronických kanálov





Inštalácia ITS do ALICE



# ALICE Transition Radiation Detector (TRD)

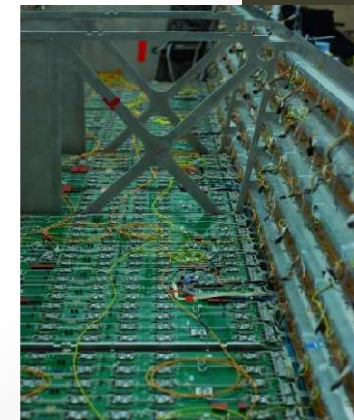


- > 500 driftových detektorov, 760 m<sup>2</sup>
- 28 m<sup>3</sup> plynu na báze Xe
- 1.2M elektronických signálov
  - 65000 MCM
  - **250 000** procesorov
  - 17TB/s (136 Tb/s) dát
- 89 LV napájacích zdrojov
- ~65 kW tepelné straty

1 of 65000 MCMs

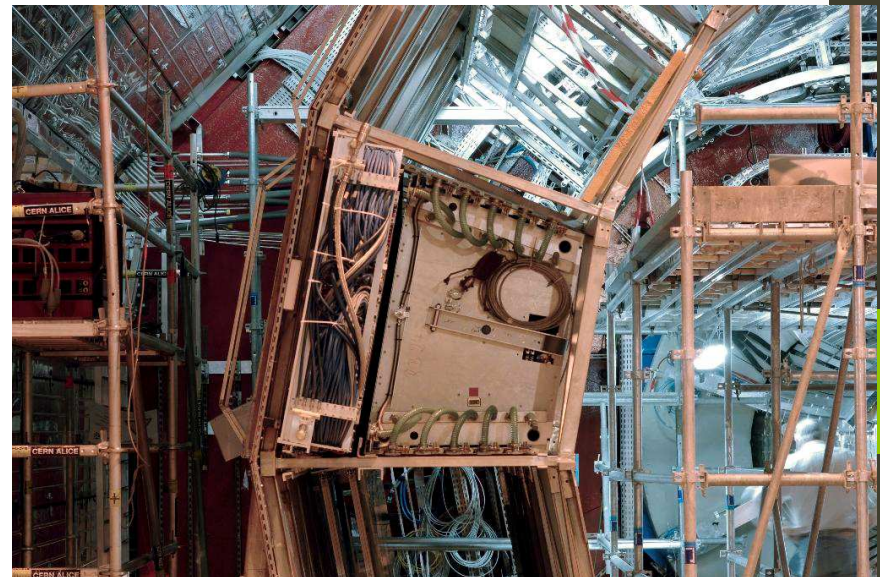


DCS control board (~750 used in ALICE)



Readout boards







Veľmi Vysoké napätie (100 kV)

25 $\mu$ m VVN membrána

Odčítavacia elektronika  
namontovaná priamo  
na komorách

Plyn(88 m<sup>3</sup>)

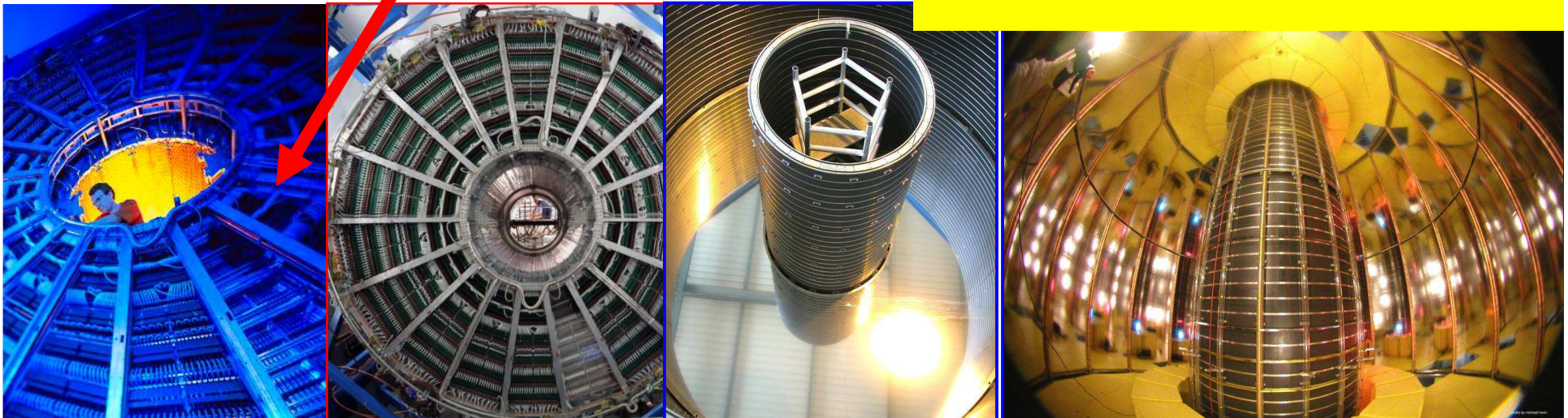
Chladienie  
0.1 °C stabilizácia

Vysoké napätie (3 kV)

Nízke napätie  
(60 kW)

## ALICE TPC Time Projection Chamber

$l = 5.1 \text{ m}, d = 5.6 \text{ m}$   
570 k odčítavaných kanálov





# Inštalácia ALICE TPC



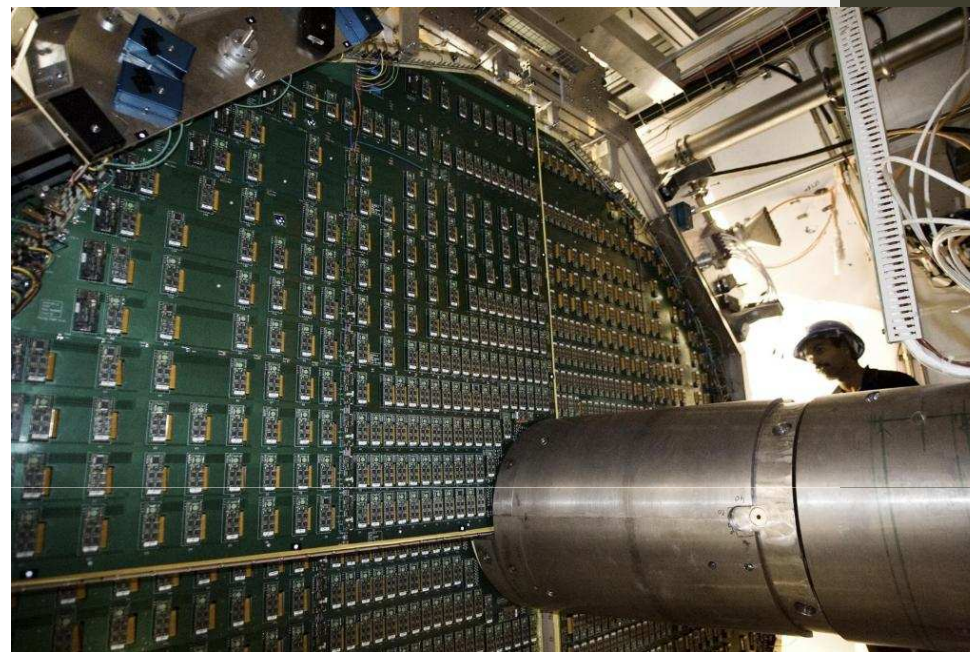
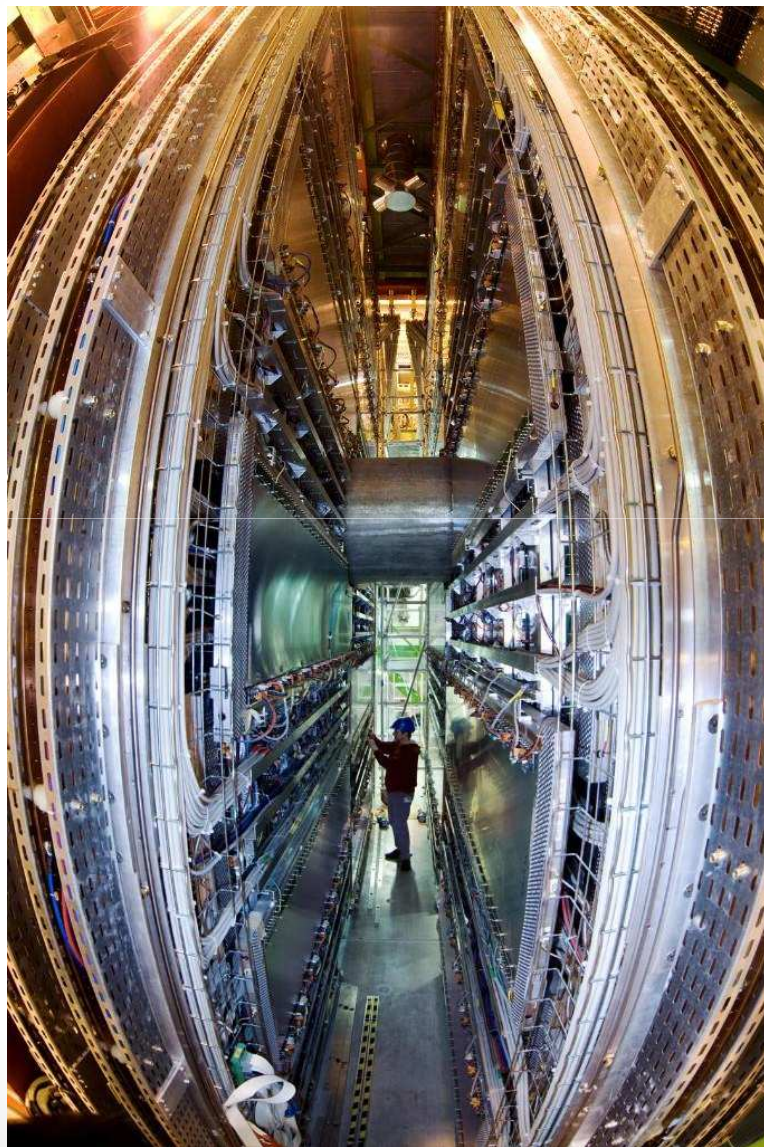
Inštalácia komôr v CERNe

# Čerenkovov detektor





# Miónové detektory





# Kontrolný systém




- 170 servers
- 700 embedded computers
- Oracle DB with 144TB raw storage
- 1200 network attached devices

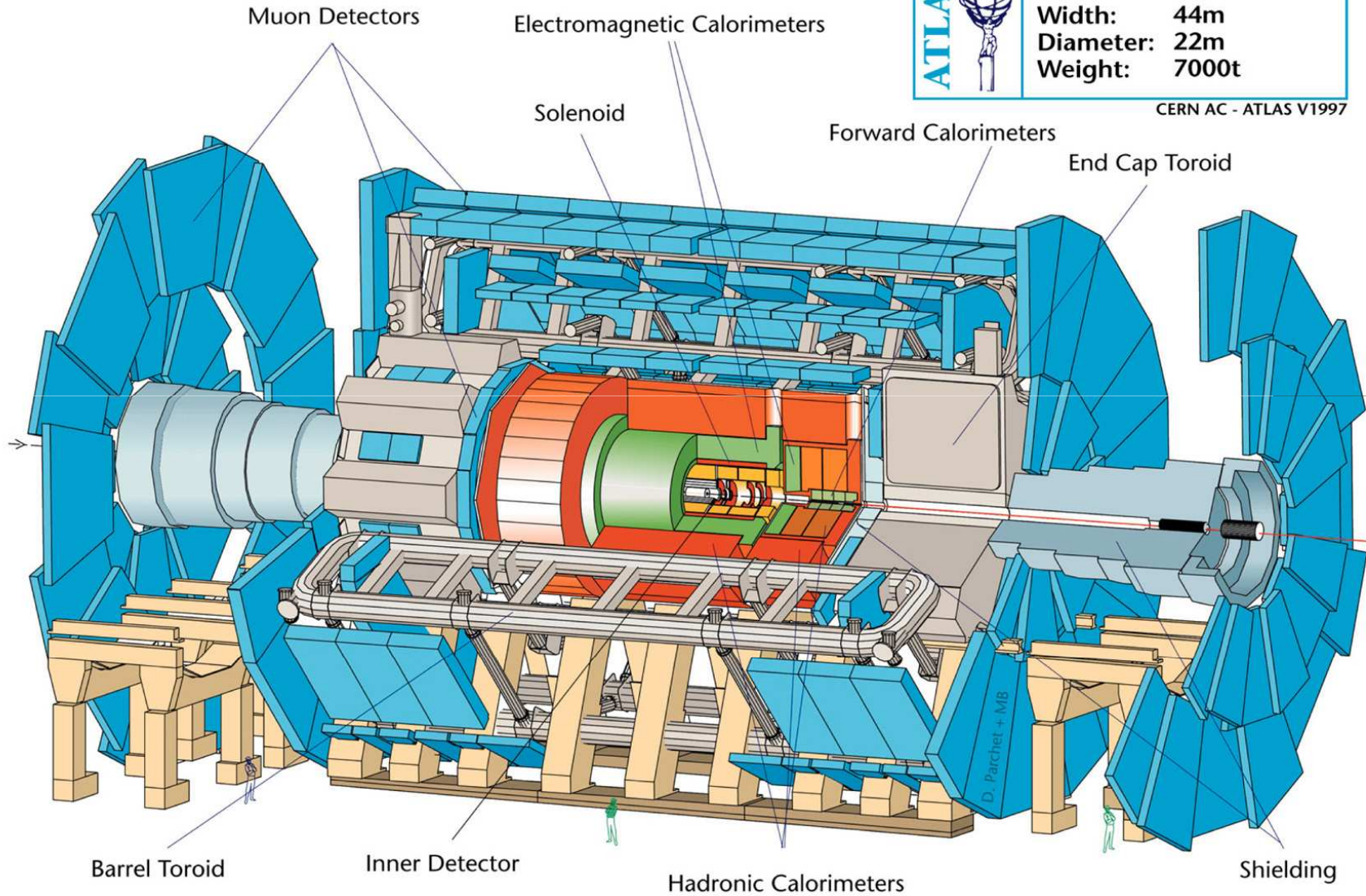




# Experiment ATLAS

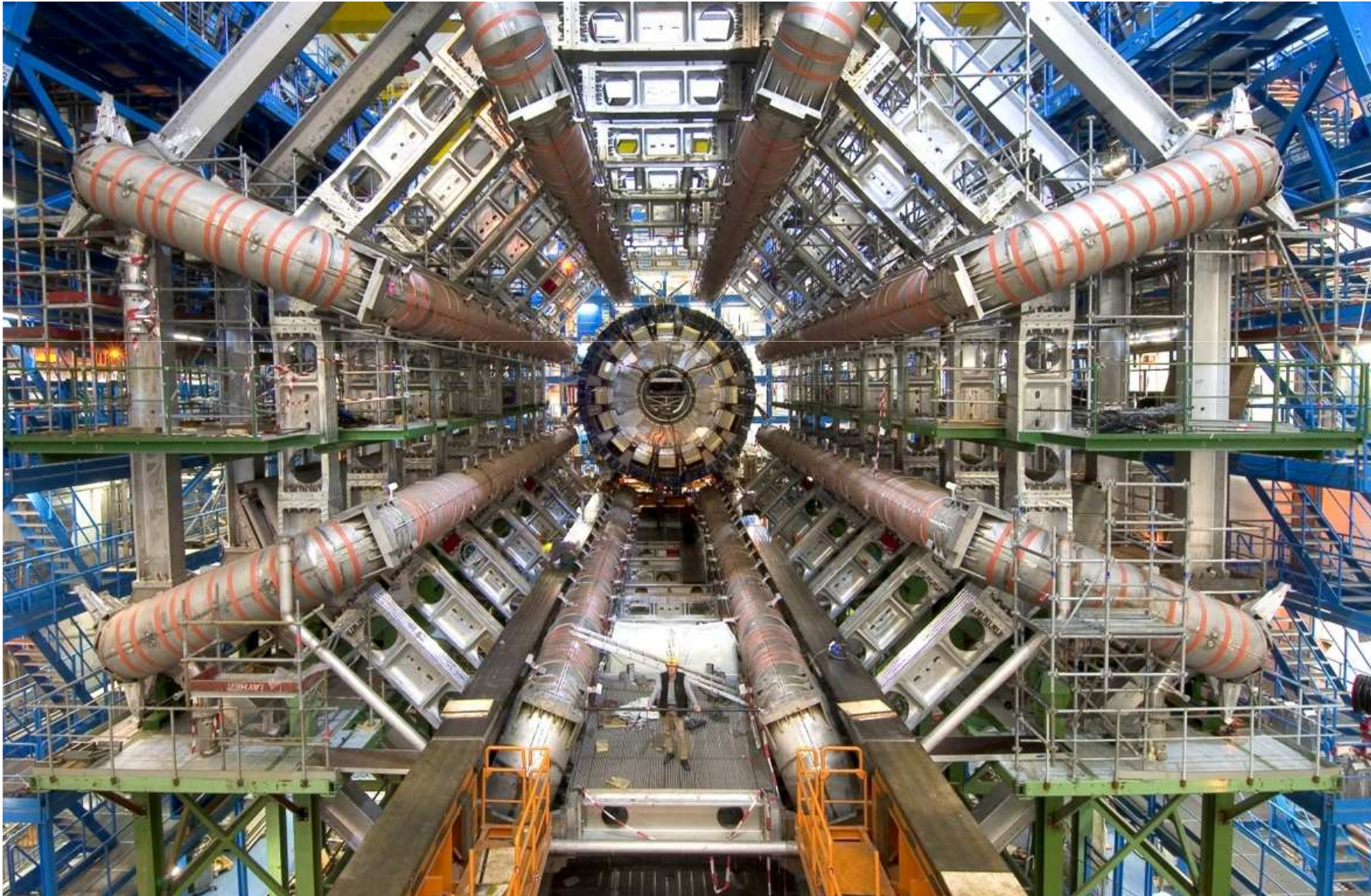
<b>ATLAS</b> 	<b>Detector characteristics</b>	
	<b>Width:</b>	<b>44m</b>
	<b>Diameter:</b>	<b>22m</b>
	<b>Weight:</b>	<b>7000t</b>

CERN AC - ATLAS V1997





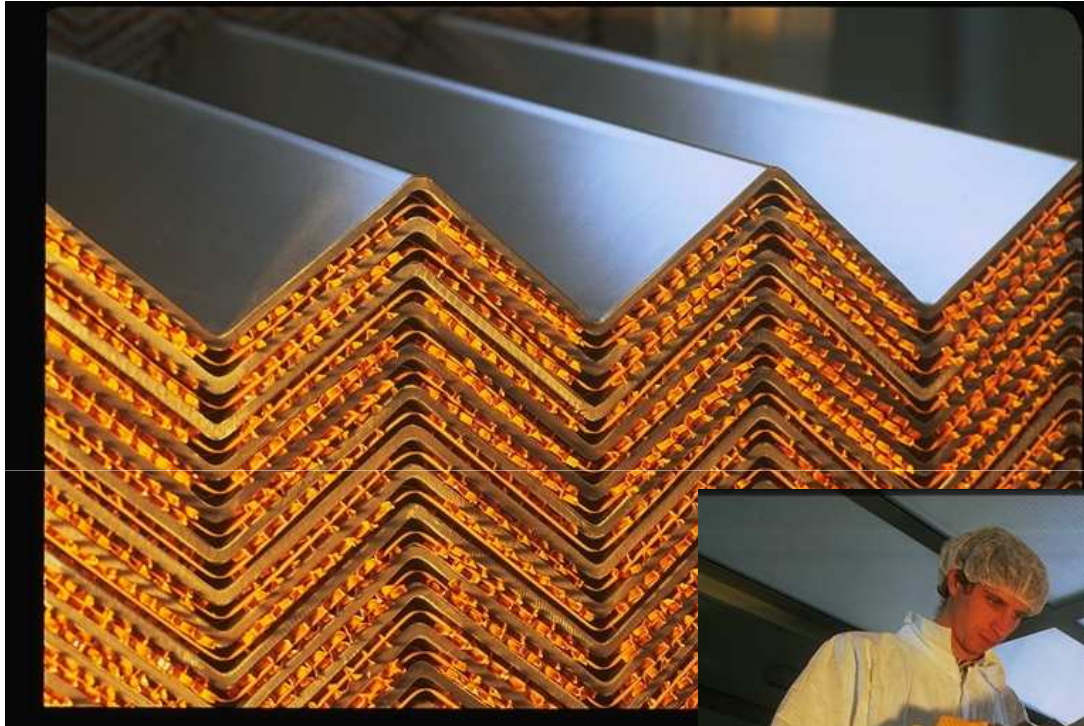
# Magnet experimentu ATLAS





# Elektromagnetický kalorimeter ATLASu

Vrstvy kalorimetra  
Zaliate tekutým argónom

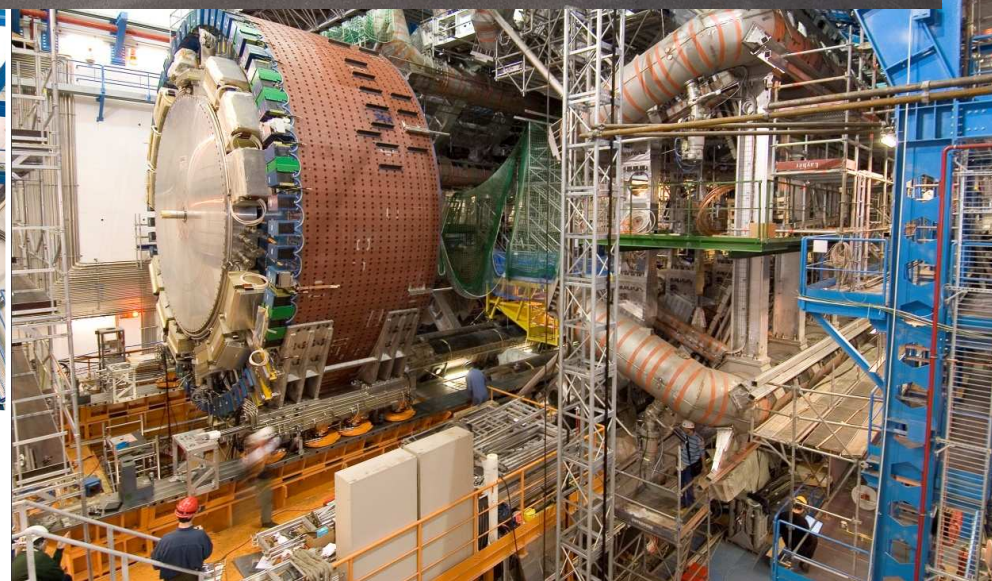


Barrel part made of 32  
modules,  
“endcaps” - of 8 modules

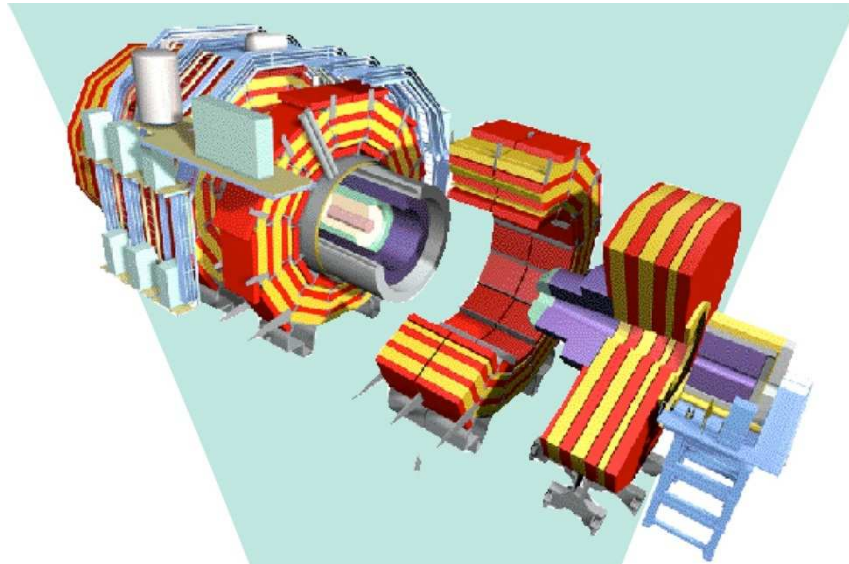




# Inštalácia kalorimetra



# LHC detektory robia 40 miliónov snímok každú sekundu



40 MHz,  $10^9$  events/sec, < 1 Peta Byte/sec (equivalent FE)

Level 1 – special hardware

75 KHz

level 2 – embedded processors

5KHz

level 3 – PCs, Event Filter

100 Hz, 100 events/sec, 100 Mega Byte/sec

data recording,  $10^7$  sec/year,  
1Peta Byte/year & offline analysis

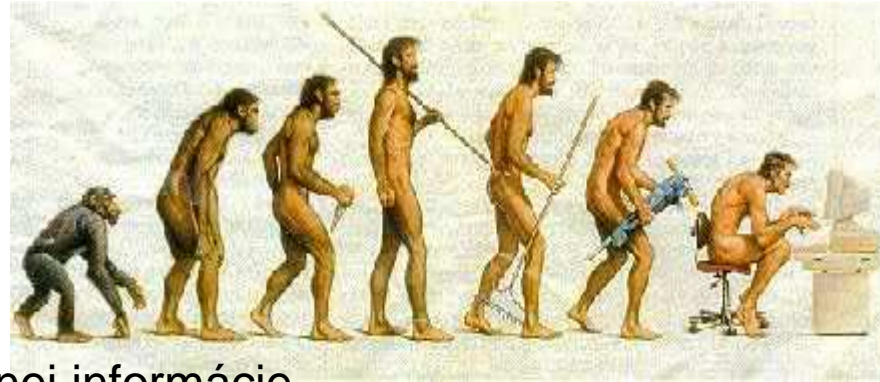
**Dátový tok:**

**1,000,000 GB za sekundu**

**Po odfiltrovaní:**

**1 GB za sekundu**





CERN produkuje 1% celosvetovej digitálnej informácie  
Computing GRID: 25 Peta-Byte / rok analyzovaných v reálnom čase



**Analýza dát:  
250,000 CPU**



**Data GRID:  
Distribúované úložisko dát  
Vysokorýchlostné linky 100 Gb/s**

... Tol'ko na úvod....