

Detekcia častíc alebo Stopy neviditeľného

doc.RNDr. J.Vrláková, PhD.

Katedra jadrovej a subjadrovej fyziky

Ústav fyzikálnych vied PF UPJŠ v Košiciach



<https://jadrovka.science.upjs.sk/>

Obsah prednášky:

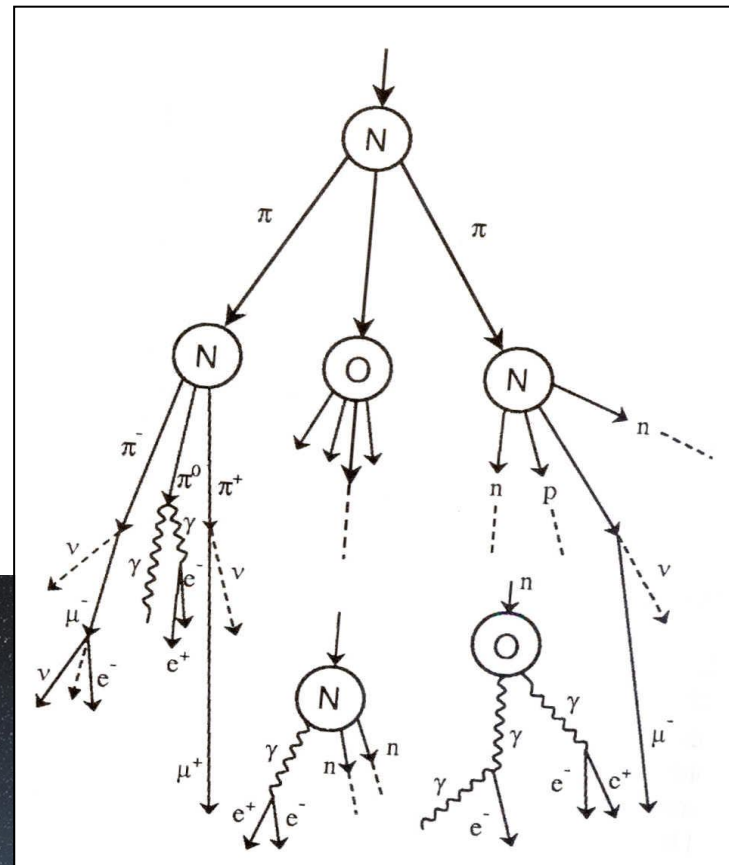
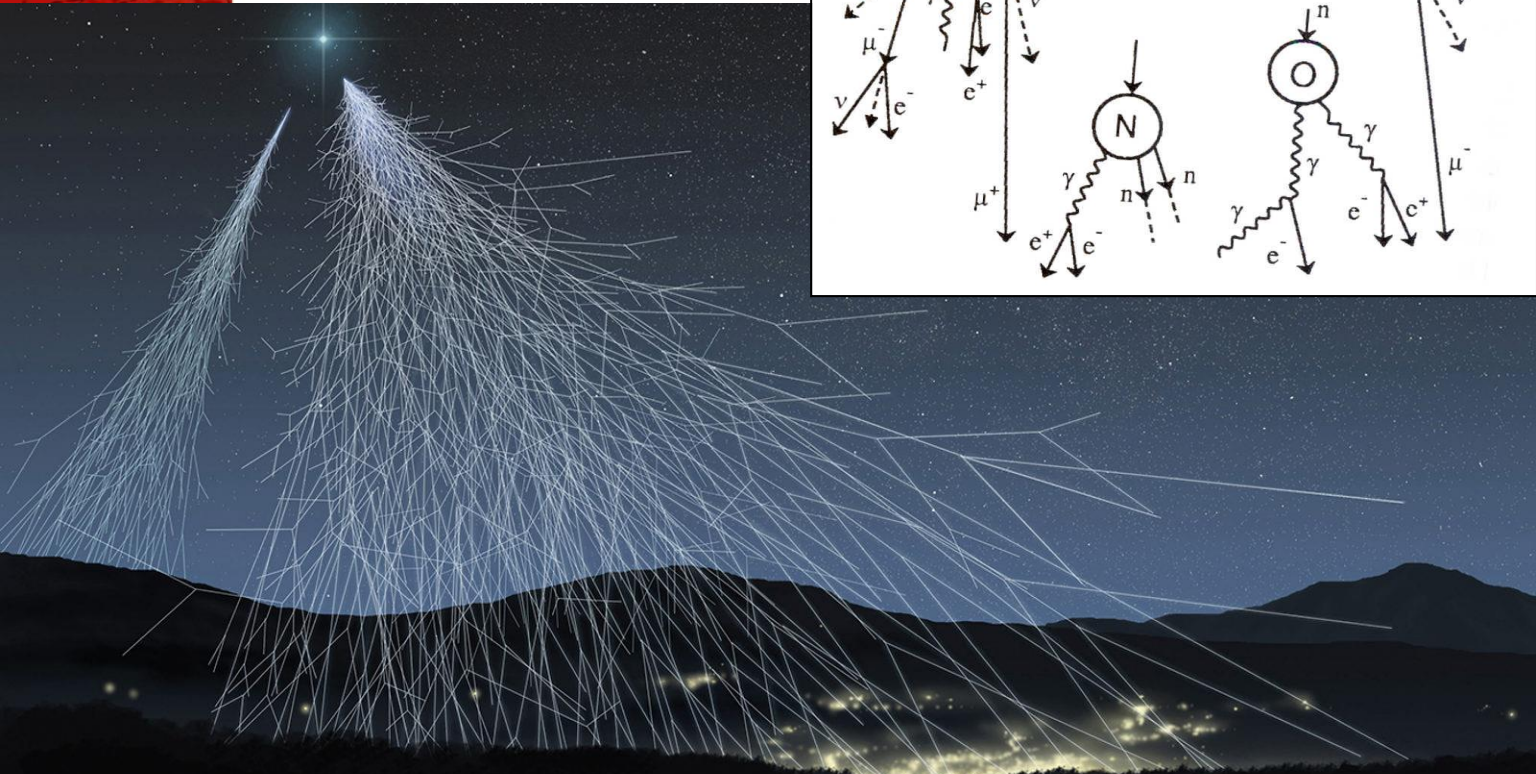
- zdroje častíc
- typy častíc, interakcia s látkou
- detektory – čo je detektor, ako funguje
- typy detektorov
- CERN, LHC, veľké experimenty
- je štúdium častíc potrebné a užitočné?



Zdroje častíc

- prírodné zdroje
 - kozmické žiarenie
 - primordiálne rádionuklidy – prítomné v zemskej kôre (U, Th, Ra, Rn,...)
- umelé zdroje – vyrobené človekom



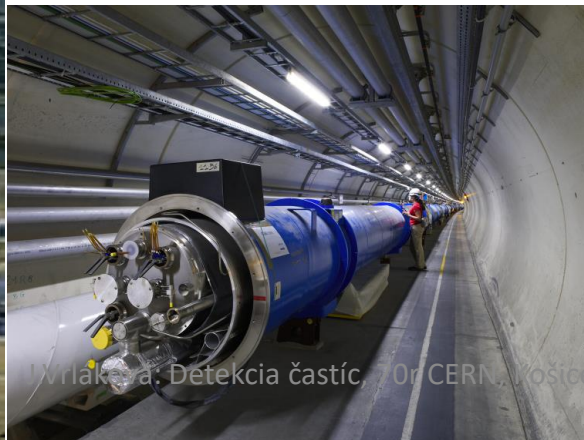


Prírodné zdroje



Umelé zdroje

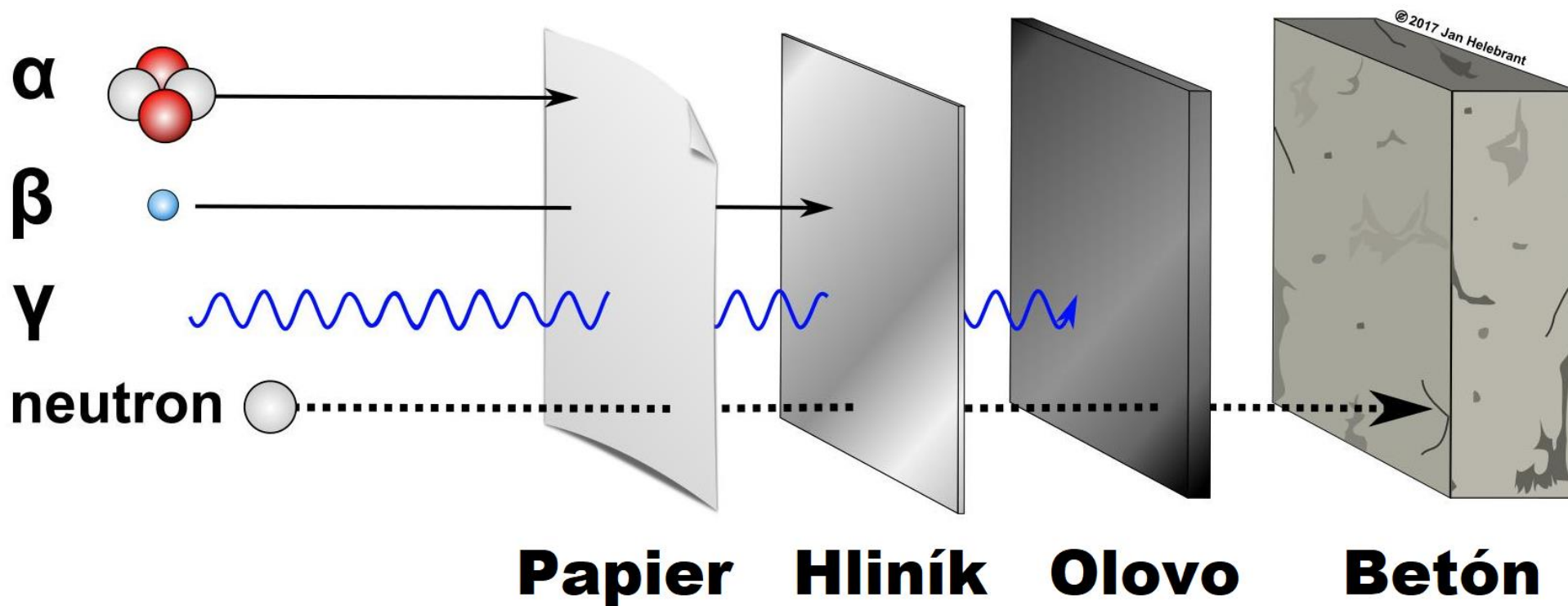
- medicína – diagnostika, liečba
- jadrová energetika, s ňou súvisiace prevádzky
- využitie rádionuklidov vo výskume, priemysle, poľnohospodárstve, geológii....



Jvrlák, a. Detekcia častíc, 70r CERN, Košice, 19.06.2024



Aké častice?



Ako častice „uvidíme“ ?

- ❑ detekcia častíc – hľadanie neviditeľného
- ❑ identifikácia častice, meranie energie, zobrazenie dráhy
- ❑ rozmery meraných objektov $\approx 10^{-15}$ m
- ❑ experimenty na urýchľovačoch – častice s rýchlosťami blízкими k rýchlosti svetla



Ako častice „uvidíme“ ?

- použijeme detektor - zariadenie na registráciu častíc

Ako to funguje?

- hľadáme stopy, ktoré častica zanechá po prechode detektorom a môžeme urobiť rekonštrukciu priebehu udalosti



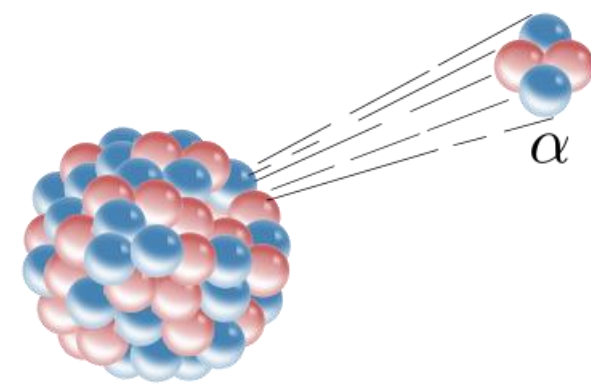
Čo sa stane, keď prechádza častica látkou?

Interakcia častice pri prechode látkovým prostredím závisí od

- typu častice (nabitá-nenabitá, hmotnosť,..)
- energie častice
- prostredia, ktorým častica prechádza

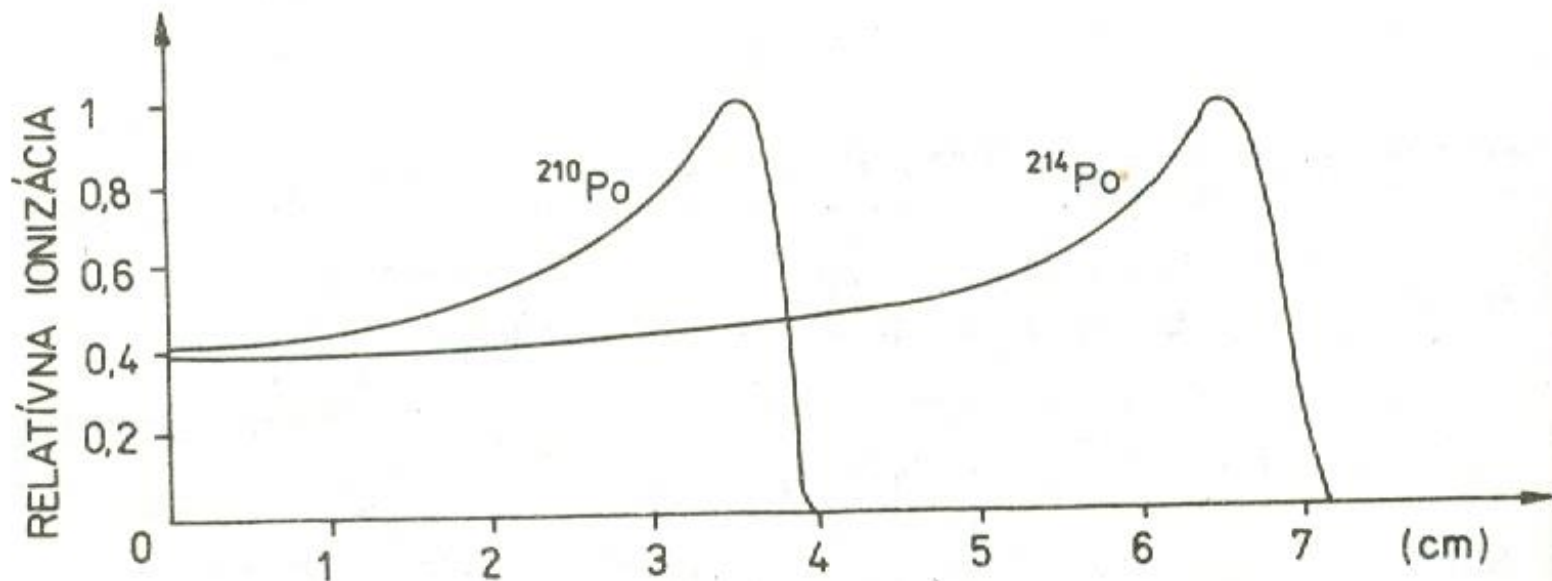


Ako interaguje alfa častica s látkou?



ťažká, nabitá častica - strata energie ionizáciou pozdĺž vlastnej dráhy

Dolet alfa častice s $E=3$ MeV vo vzduchu je $R_\alpha \cong 2,8$ cm (vytvoria – 40000 párov iónov $\cdot \text{cm}^{-1}$)



Obr. 1.5. Relatívna hodnota špecifickej ionizácie vzduchu časticami alfa, emitovanými rádionuklidmi ^{210}Po ($E_\alpha = 5,3$ MeV) a ^{214}Po ($E_\alpha = 7,69$ MeV)



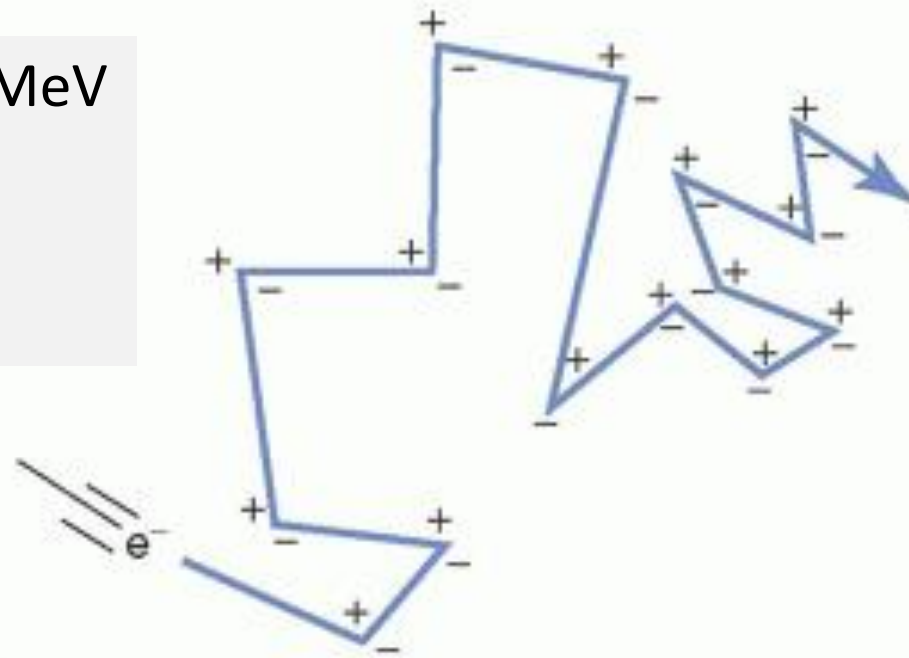
Ako interaguje beta častica s látkou?

Beta častice – elektróny alebo pozitrony

☐ ionizácia, excitácia, radiačné straty

☐ veľký rozptyl e^- na orbitálnych elektrónoch a na jadrách

Dolet beta častice s $E=3$ MeV
vo vzduchu je $R \geq 100$ cm
(vytvoria – 40 párov
iónov cm^{-1})



A

Path > Range



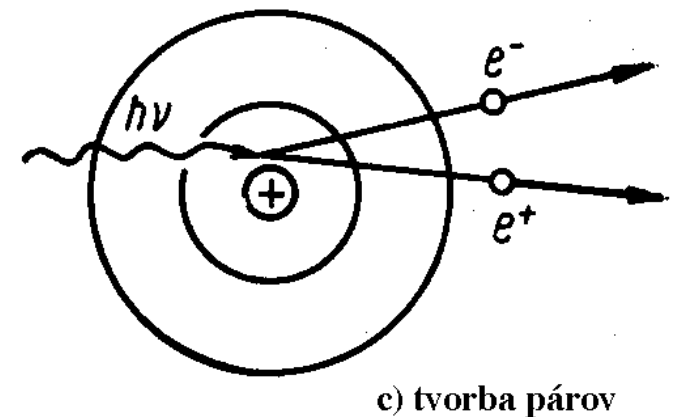
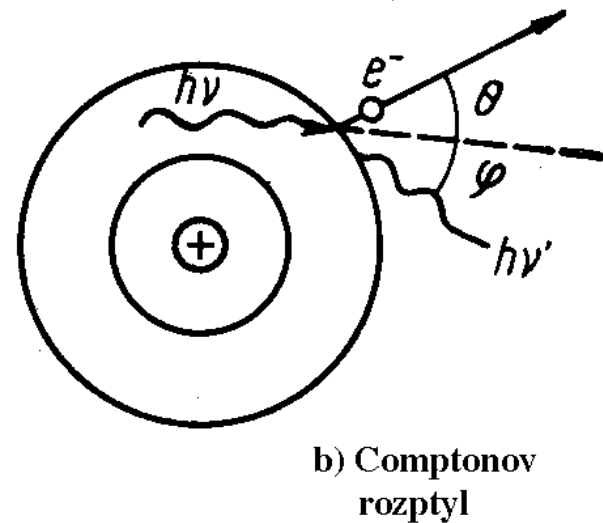
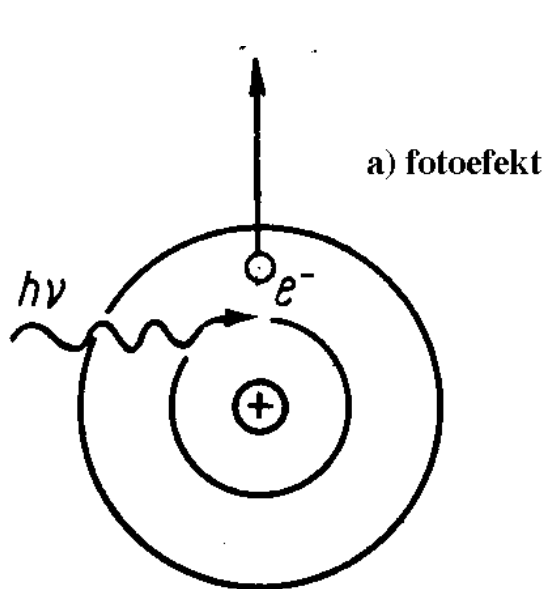
B

Path = Range



Ako interaguje gama žiarenie s látkou?

- ☐ gama žiarenie - najprenikavejšia zložka
- ☐ fotónové žiarenie interaguje s prostredím niekoľkými spôsobmi, a to podľa fyzikálnych vlastností prostredia a energie žiarenia: fotoefekt, Comptonov rozptyl, tvorba párov



Ako funguje detektor častíc ?

Detektor častíc transformuje energiu, ktorá sa v ňom uvoľnila pri prechode častice, na druh energie, vhodný k registrácii.



Detektory častíc – rôzne typy

- ❑ detektory určené na registráciu alfa, beta, gama žiarenia, detektory na registráciu neutrónov, miónov a pod.
- ❑ či a akým spôsobom dokážu detektory merať energiu častíc:
 - detektory, ktoré dokážu častice len registrovať (napr. Geigerov – Müllerov detektor),
 - spektrometrické detektory,
 - kalorimetre

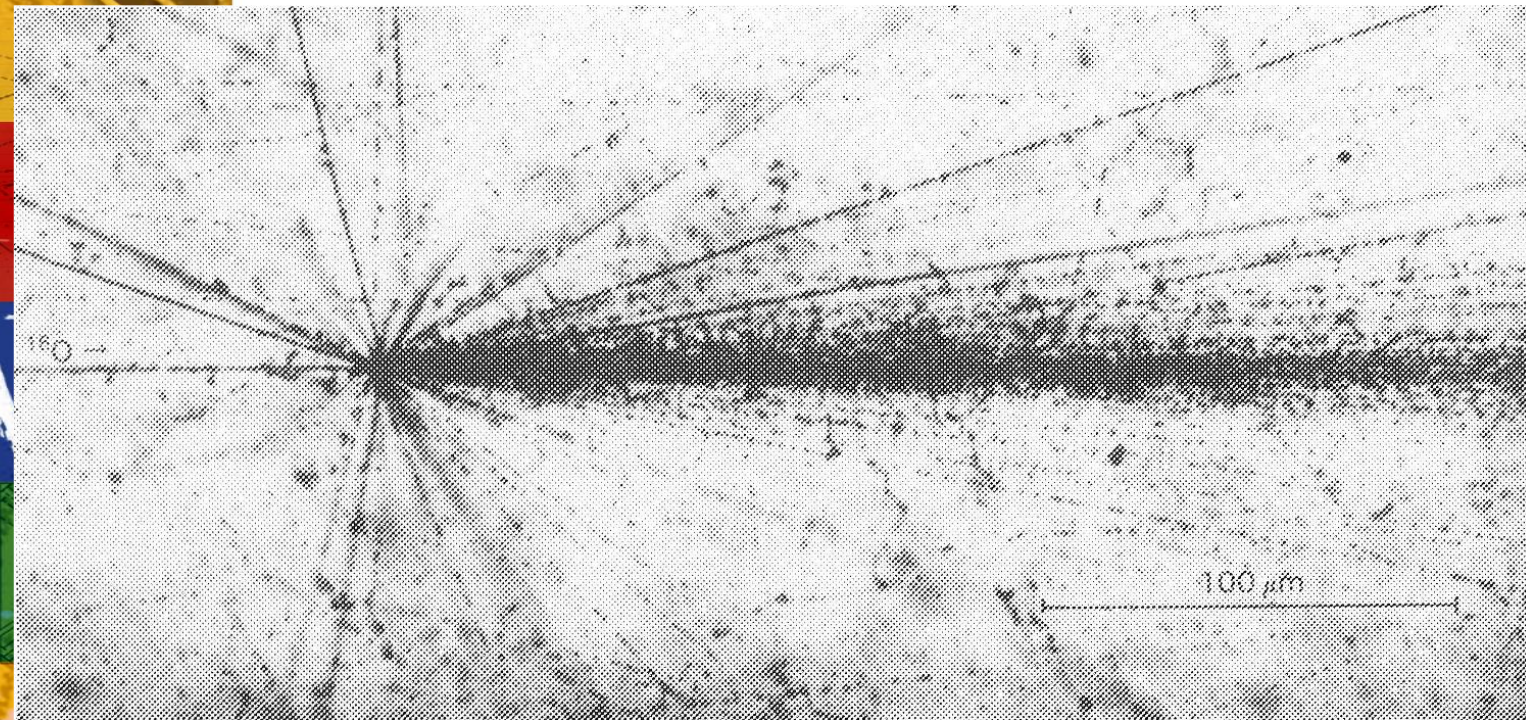


Dráhové detektory

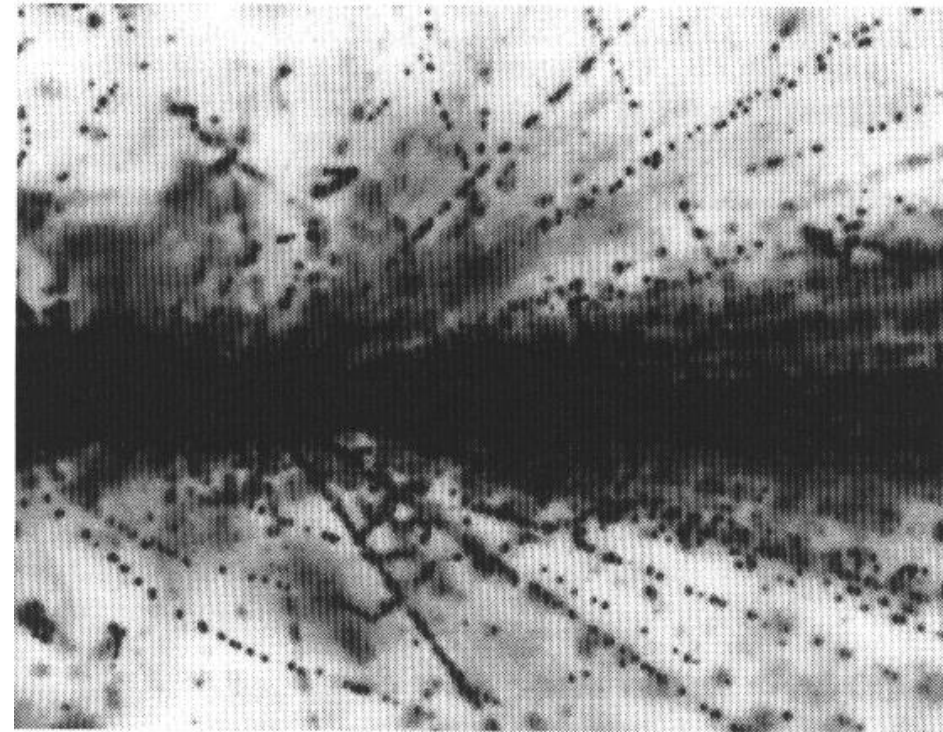
☐ hľadáme stopy častíc



Dráhové detektory – jadrové emulzie

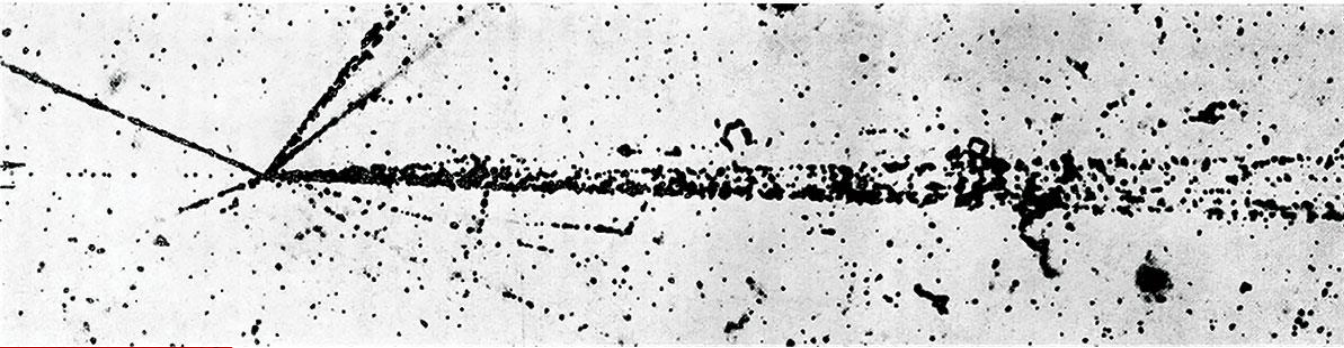


Interakcia primárneho jadra ^{16}O s hybnosťou 200 GeV/c/nukleón s jadrom emulzie

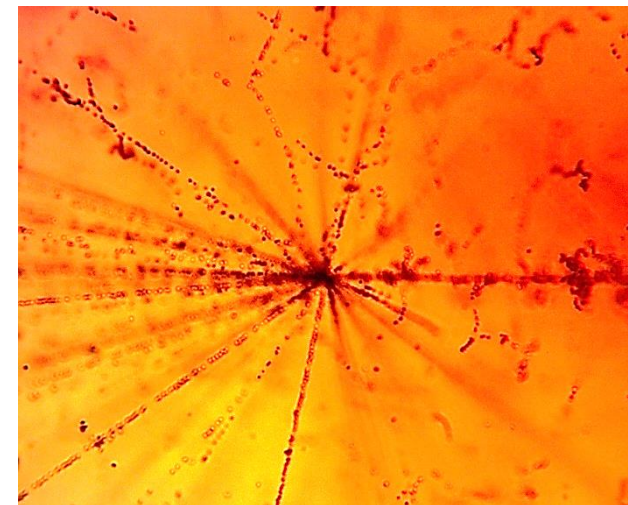
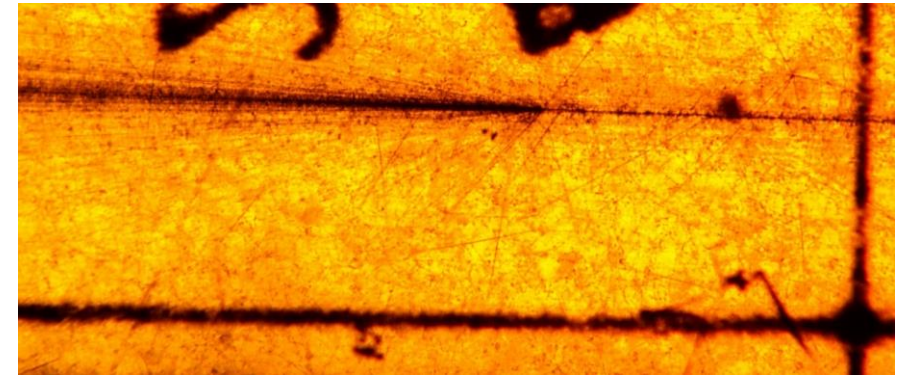


Zrážka primárneho jadra ^{197}Au s hybnosťou 11,6 GeV/c/nukleón s jadrom emulzie

Dráhové detektory – jadrové emulzie



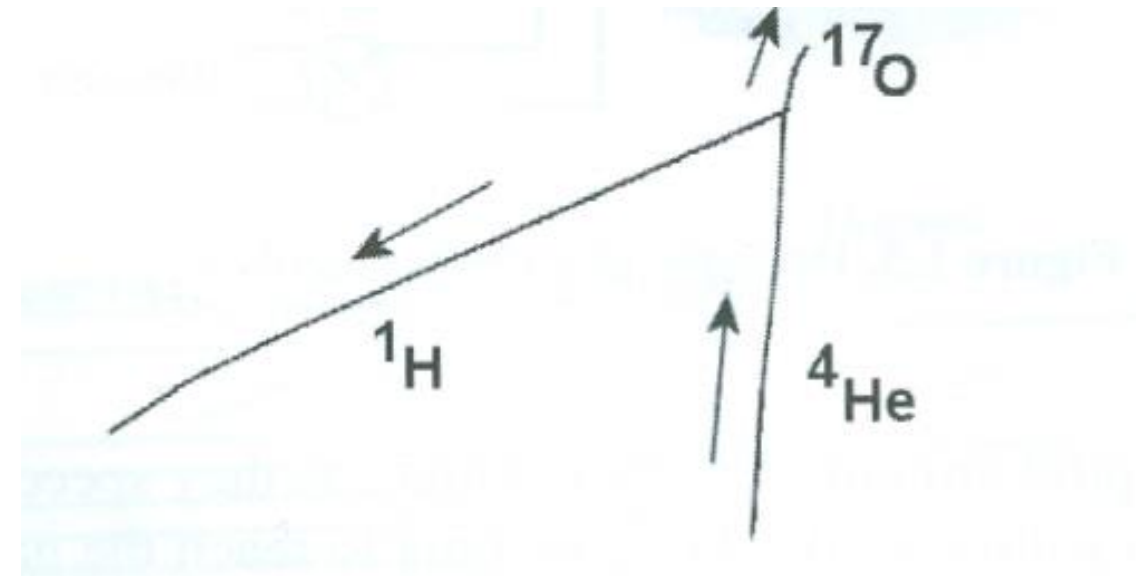
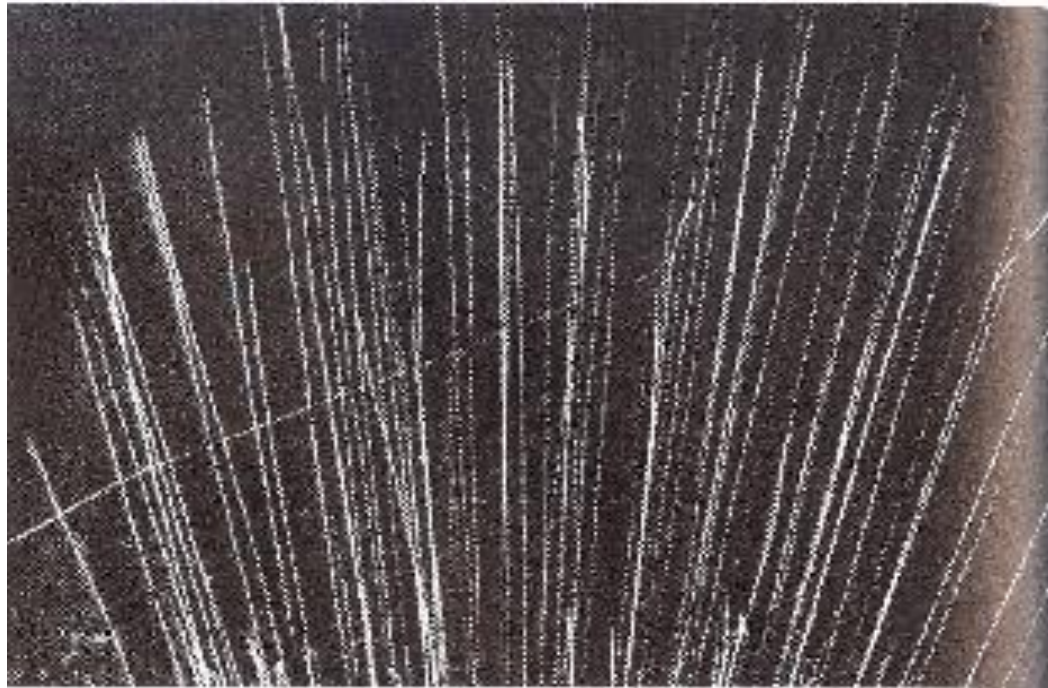
Príklad spršky - „jetu“ sekundárnych častíc pozorovaný v jadrovej emulzii po zrážke častice kozmického žiarenia s veľmi vysokou energiou. V tomto prípade, ktorý v roku 1952 pozorovali Daniel, Davies, Mulvey a Perkins, mala častica odhadovanú energiu 600 GeV.



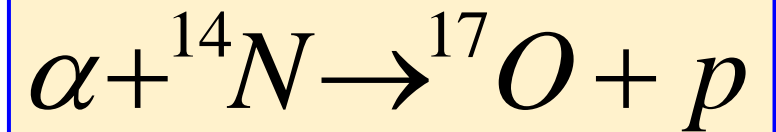
Interakcie primárneho jadra ^{32}S s hybnosťou 4,5 A GeV/c s jadrami emulzie



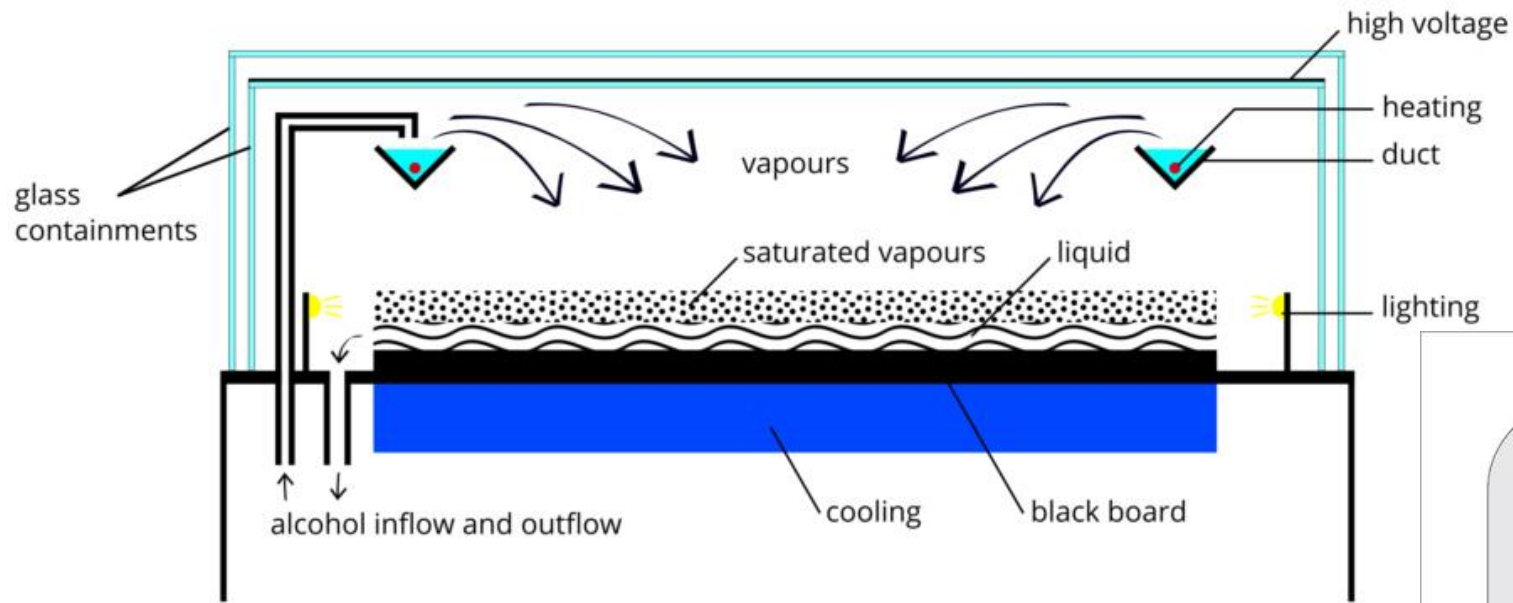
Dráhové detektory – hmlové komory



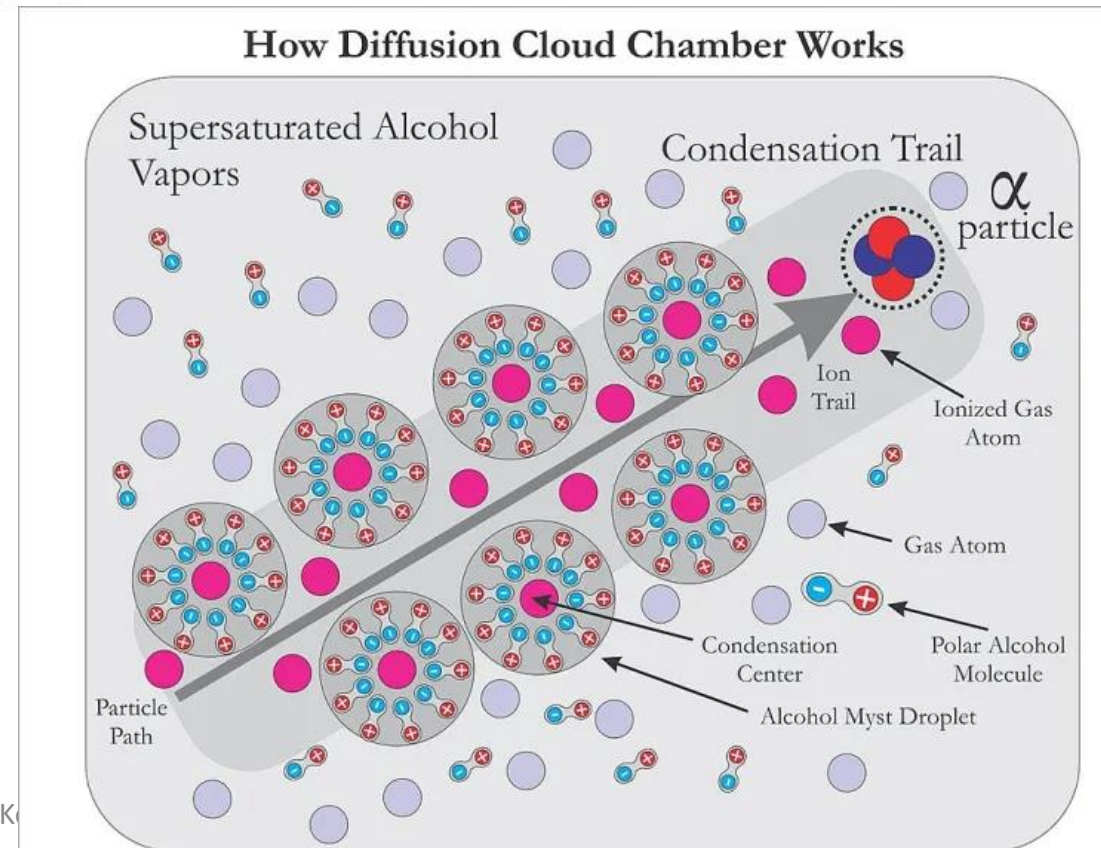
Fotografia z hmlovej komory pre reakciu



Dráhové detektory – hmlové komory

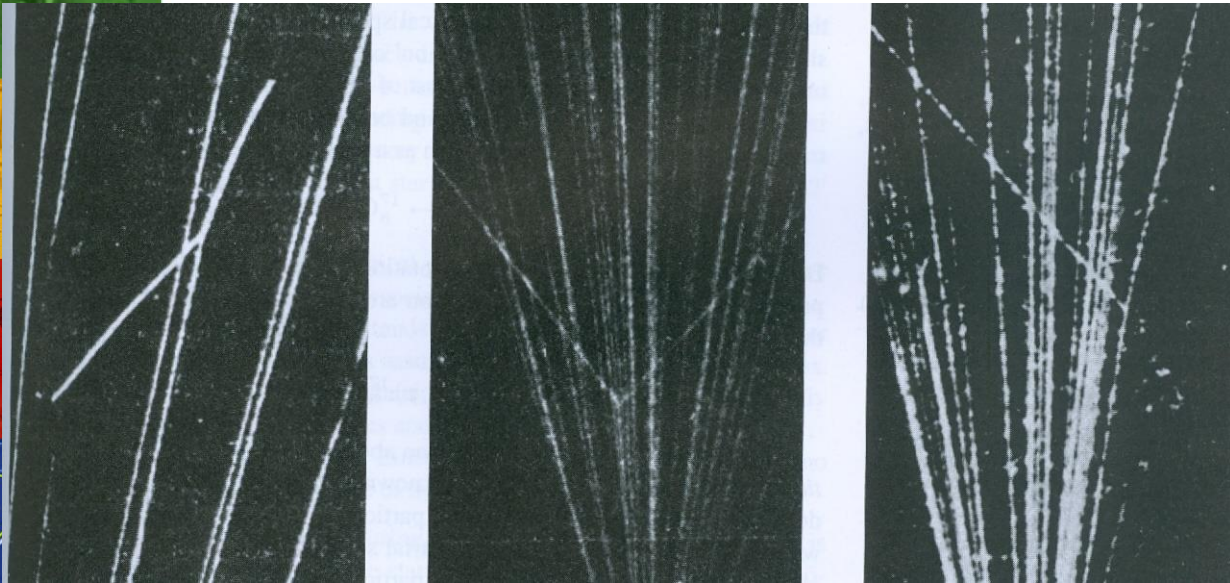


A diffusion-type cloud chamber. Alcohol (typically isopropanol) is evaporated by a heater in a duct in the upper part of the chamber. Cooling vapor descends to the black refrigerated plate, where it condenses. Due to the temperature gradient a layer of supersaturated vapor is formed above the bottom plate. In this region, radiation particles induce condensation and create cloud tracks.



: Detekcia častíc, 70r CERN, K

Dráhové detektory – hmlové komory



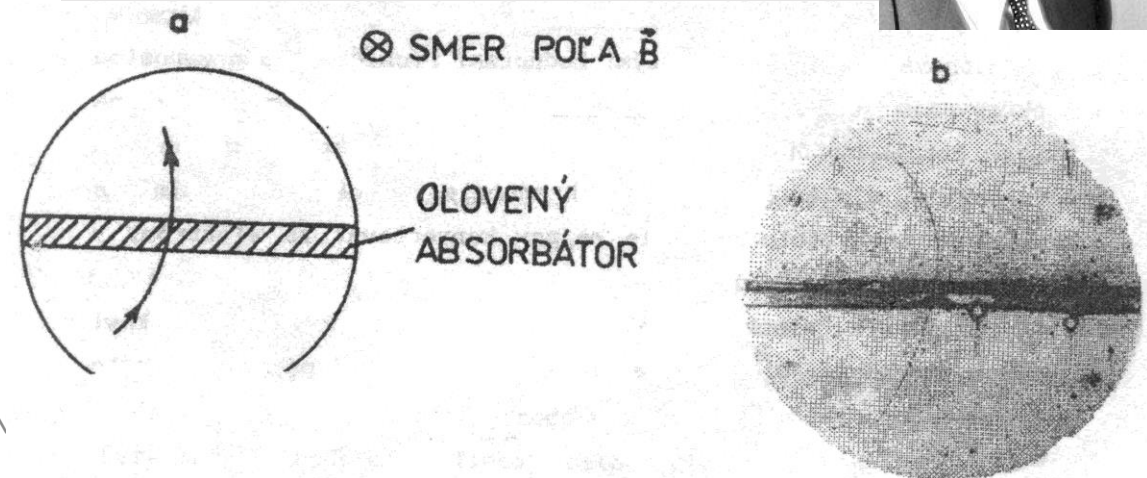
Fotografie hmlovej komory ukazujúce pružný rozptyl alfa častíc na jadrách dusíka (vľavo), hélia (v strede) a vodíka (vpravo)



Patrick M.S. Blackett
1948 Nobelova cena:
štúdium KŽ pomocou
hmlovej komory



Objav prvej antičastice, **pozitrónu**,
C.D. Andersonom -1932, NC 1936.



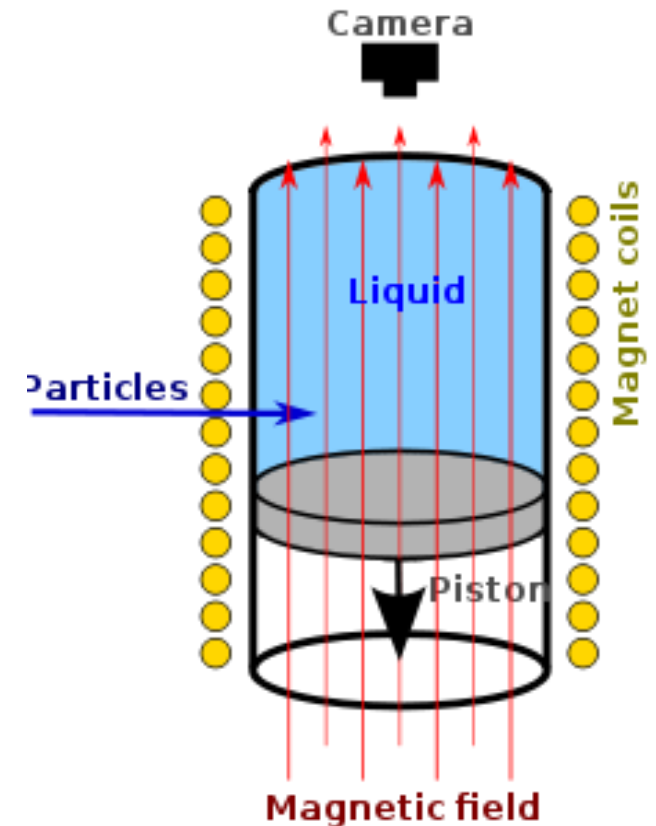
Dráhové detektory – hmlové komory

Dnešná aktivita pre vás skladanie detektora častíc hmlovej komory



Dráhové detektory – bublinové komory

- ❑ komora – valec naplnený kvapalinou, zahriatou tesne pod bod varu
- ❑ pohybom piestu dôjde k poklesu tlaku, kvapalina vstupuje do prehriatej metastabilnej fázy
- ❑ nabitá častica vytvorí ionizačnú stopu, okolo ktorej sa kvapalina vyparuje, pričom sa tvoria mikroskopické bublinky
- ❑ fotografovanie stôp
- ❑ komora je umiestnená v magnetickom poli – zakrivenie dráh
- ❑ opätovné stlačenie kvapaliny piestom, bublinky zmiznú, čím je umožnené ďalšie meranie



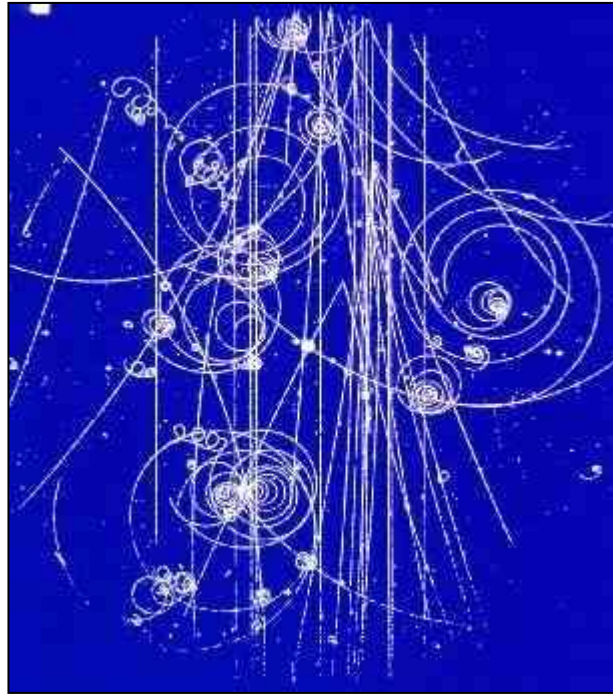
Donald Glaser
NC 1960



Dráhové detektory – bublinové komory



Big European
Bubble Chamber
(BEBC)



Dráhy častíc v bublinovej
komore vyplnenej tekutým
vodíkom



Bublinová komora
Gargamelle

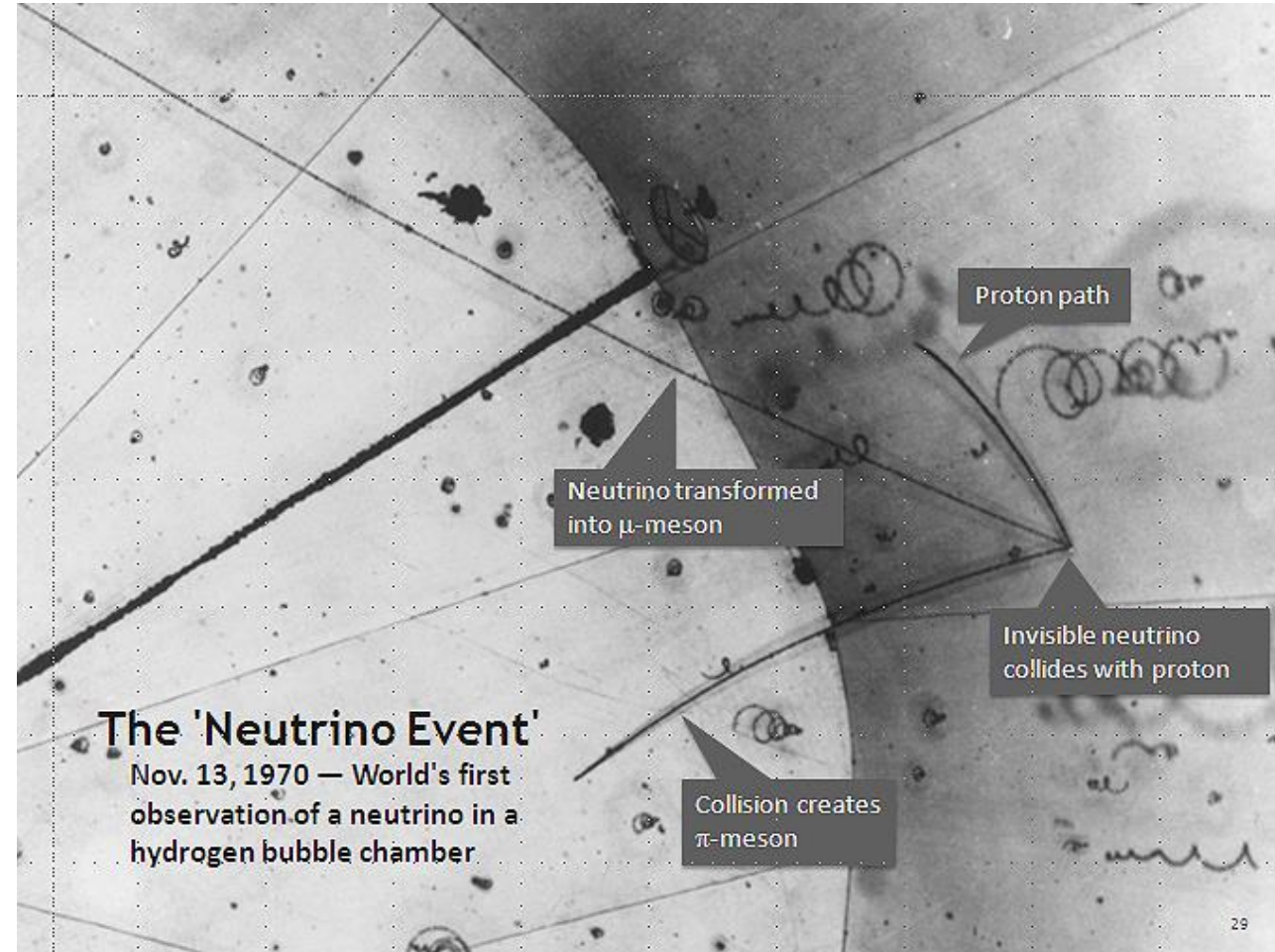


Katedra jadrovej
a subjadrovej fyziky

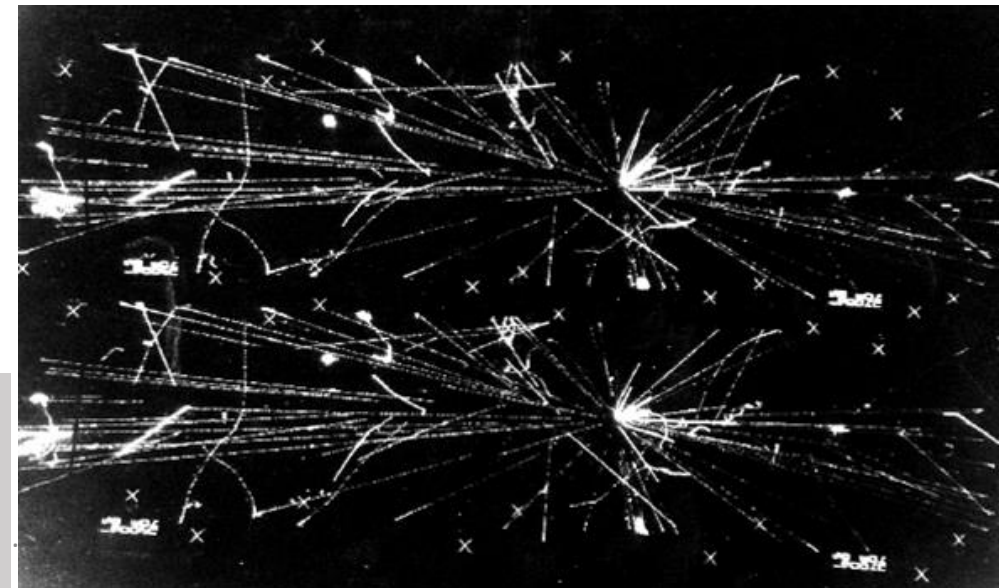
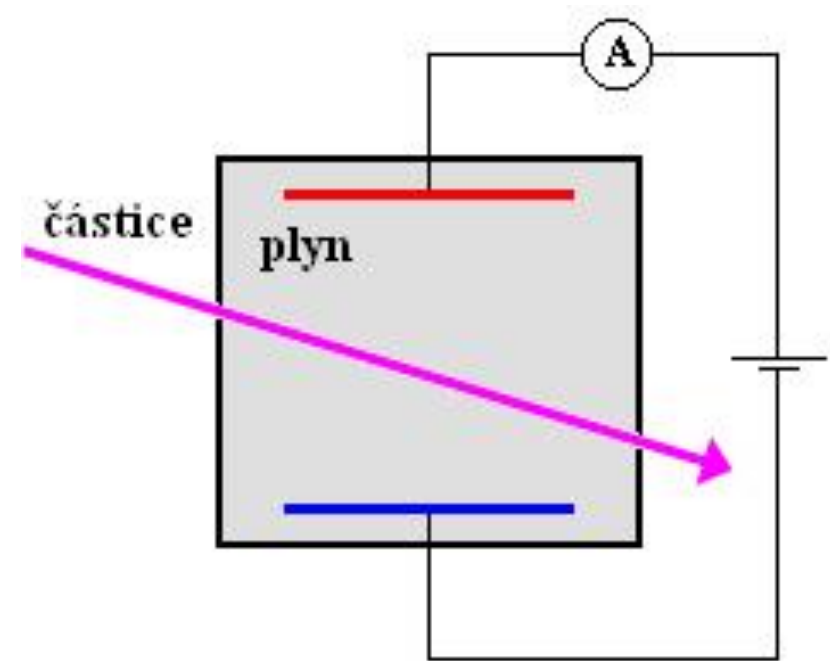
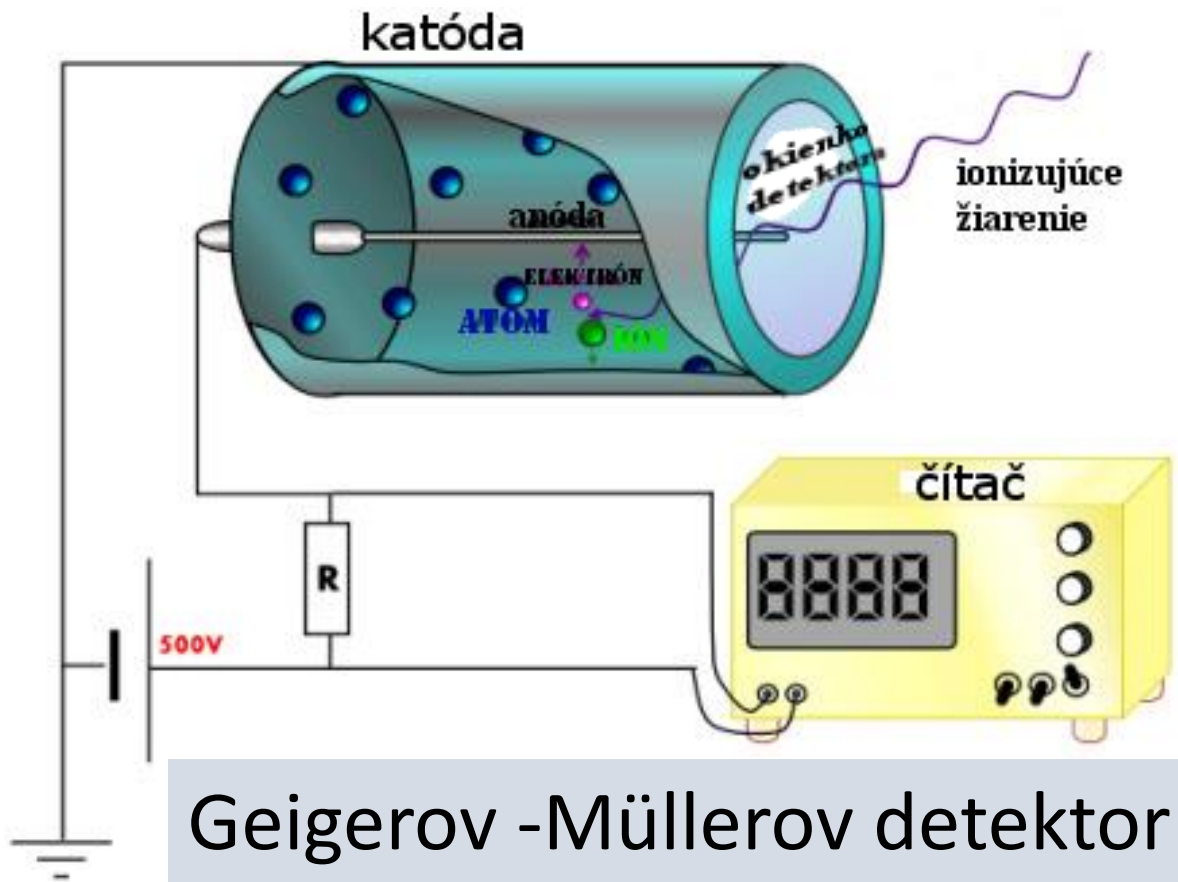
Dráhové detektory – bublinové komory



This photograph of tracks in the Gargamelle bubble chamber provided the first confirmation of the weak neutral-current interaction. A neutrino, which leaves no track, enters from the top and knocks on an electron, giving it enough energy to create the small downward “shower” of curling tracks. The Gargamelle collaboration announced the discovery of the weak neutral current in July 1973 (Image: Gargamelle/CERN)

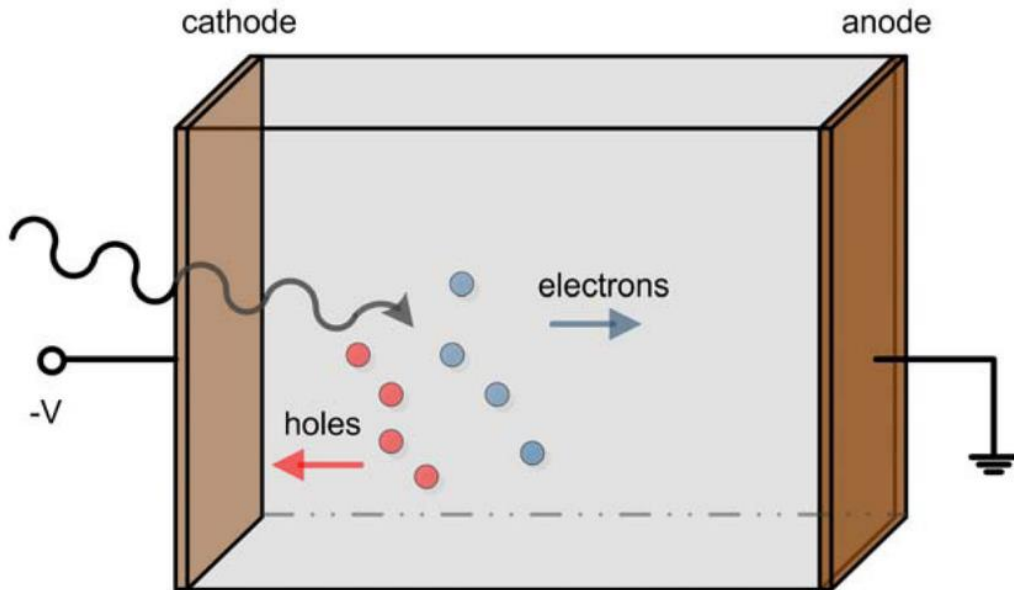


Plynové detektory



Iskrové výboje pozdĺž dráhy častice v iskrovej komore

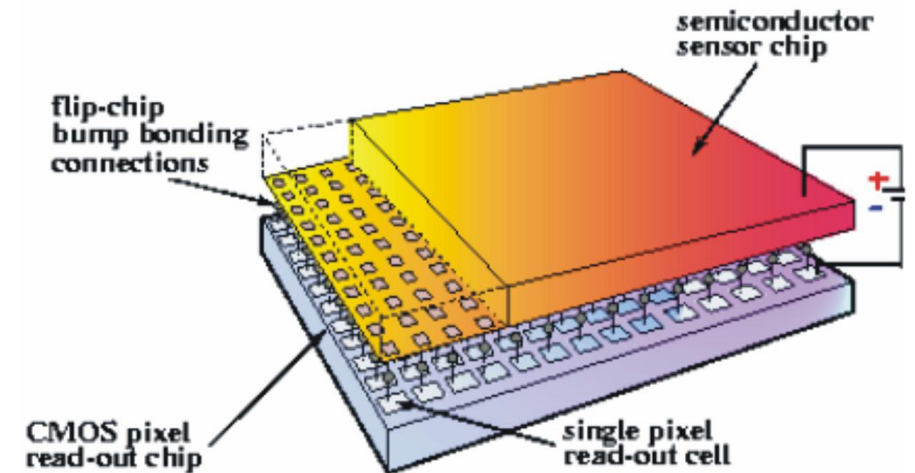
Polovodičové detektory





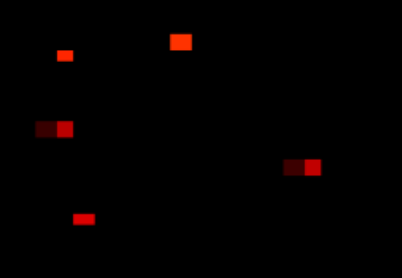
- stredná energia potrebná na vytvorenie páru elektrón – diera je napr. v kremíku len 3,6 eV,
- výhody: vysoké rozlíšenie
- nevýhody: chladenie, vysoká cena

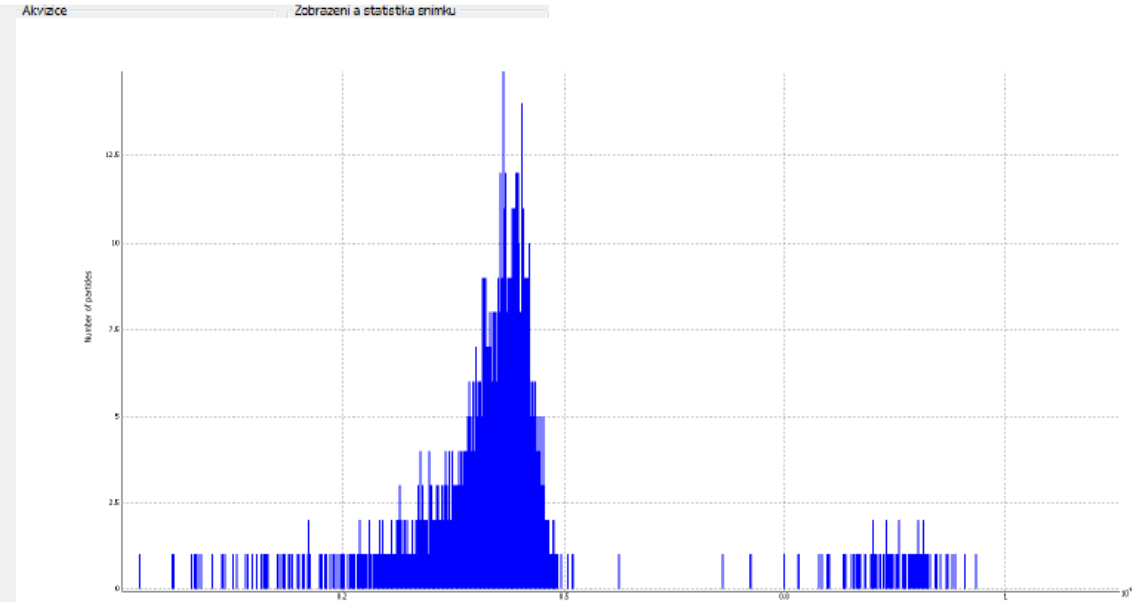
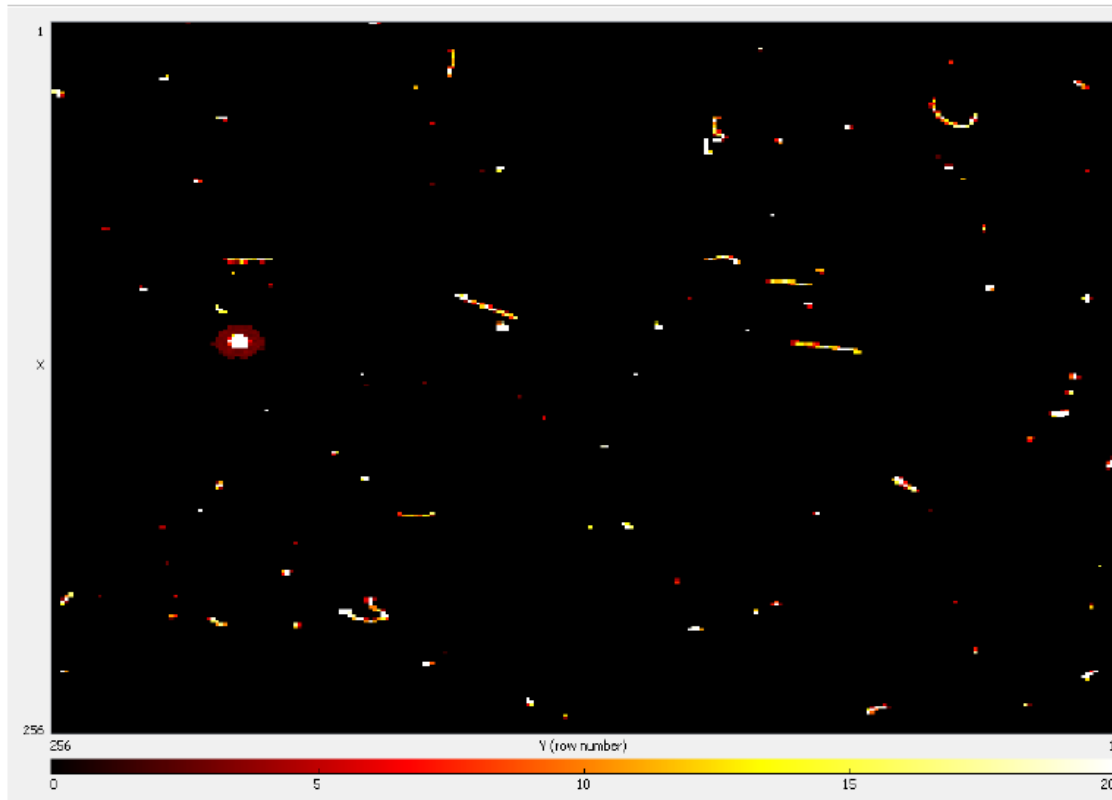
Polovodičové detektory - MEDIPIX

- Unikátny detekčný systém, technológia CERN
- Hybridný polohovo citlivý polovodičový detektor
- 2 časti :
 1. kremíkový senzor (CdTe, GaAs), hrúbka $100\mu\text{m}$, 256×256 štvorcových buniek
 2. elektronická časť: čítací čip – pre každú bunku: zosilovač, 2 diskriminátory, logická jednotka, čítač



MEDIPIX

Typ žiarenia	alfa	beta	gama
Stopa v detektore			




Obr.4 Histogram energie alfa částic emitovaných americiom 241

MEDIPIX

medipix collaboration

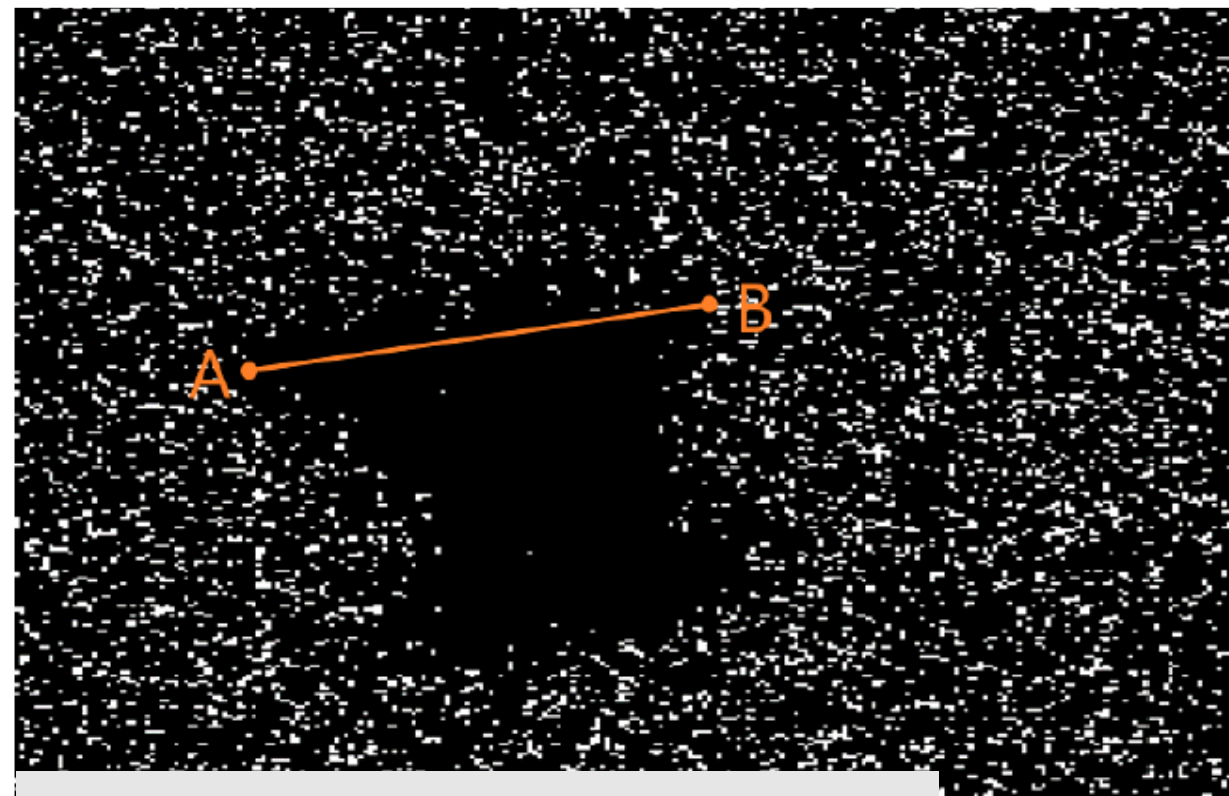
PARTICLE DETECTION AND IMAGING USING THE MEDIPIX AND TIMEPIX CHIPS

Timepix Miniaturized readout



The Timepix chip developed for the Medipix2 collaboration is a really versatile device
This ASIC was designed by CERN Microelectronics section
The active readout system in this vitrine using a Timepix detector is from ADVACAM.
ADVACAM a spin-off of IEAP, Czech Technical University

<https://medipix.web.cern.ch/>



rádiografia

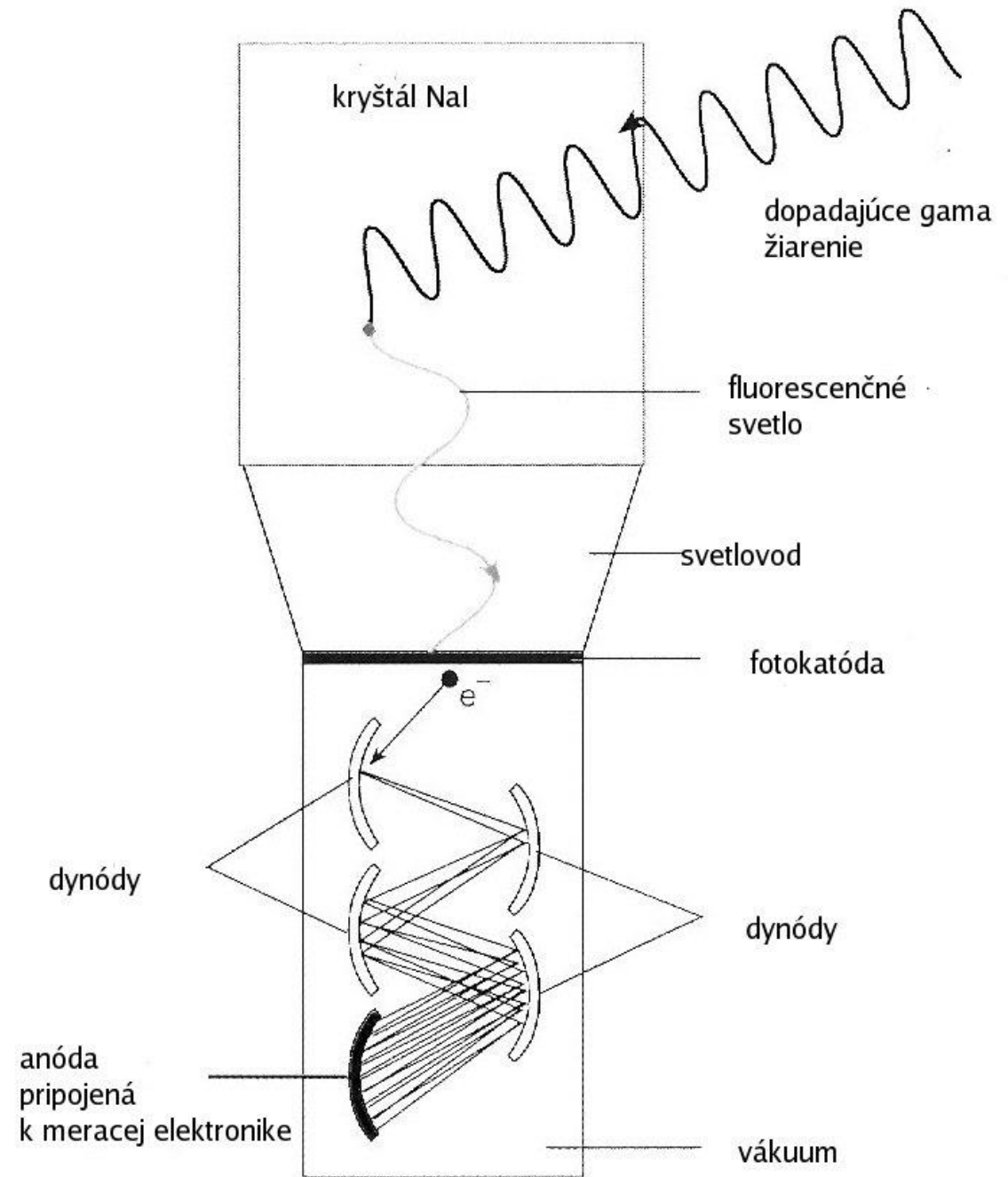


Katedra jadrovej
a subjadrovej fyziky

J.Vrláková: Detekcia častíc, 70r CERN, Košice, 19.06.202

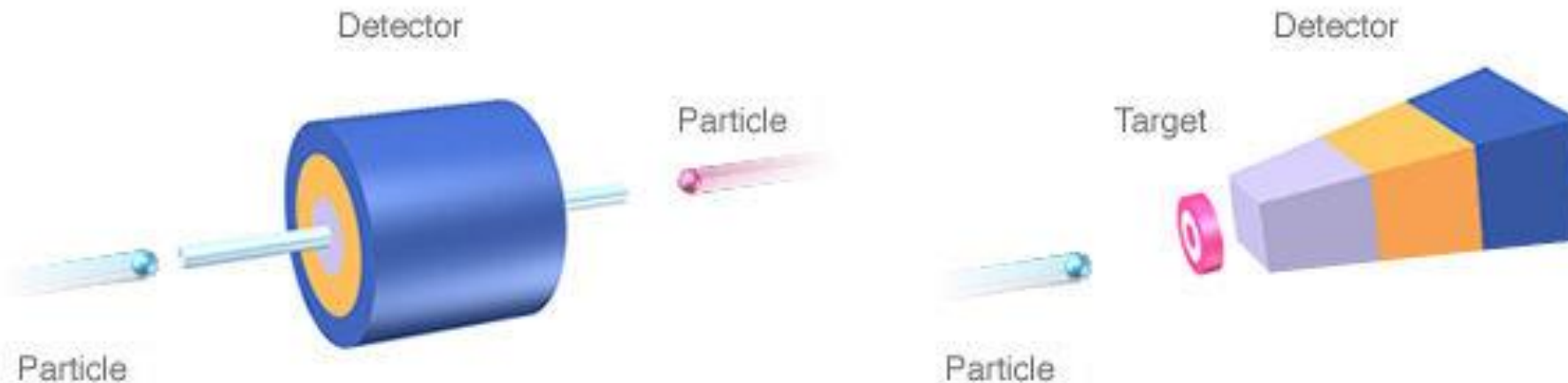
Scintilačný detektor

- ❑ kvapalné scintilátory
- ❑ tuhé látky – kryštály
- ❑ spektrometria



Experimenty na urýchľovačoch

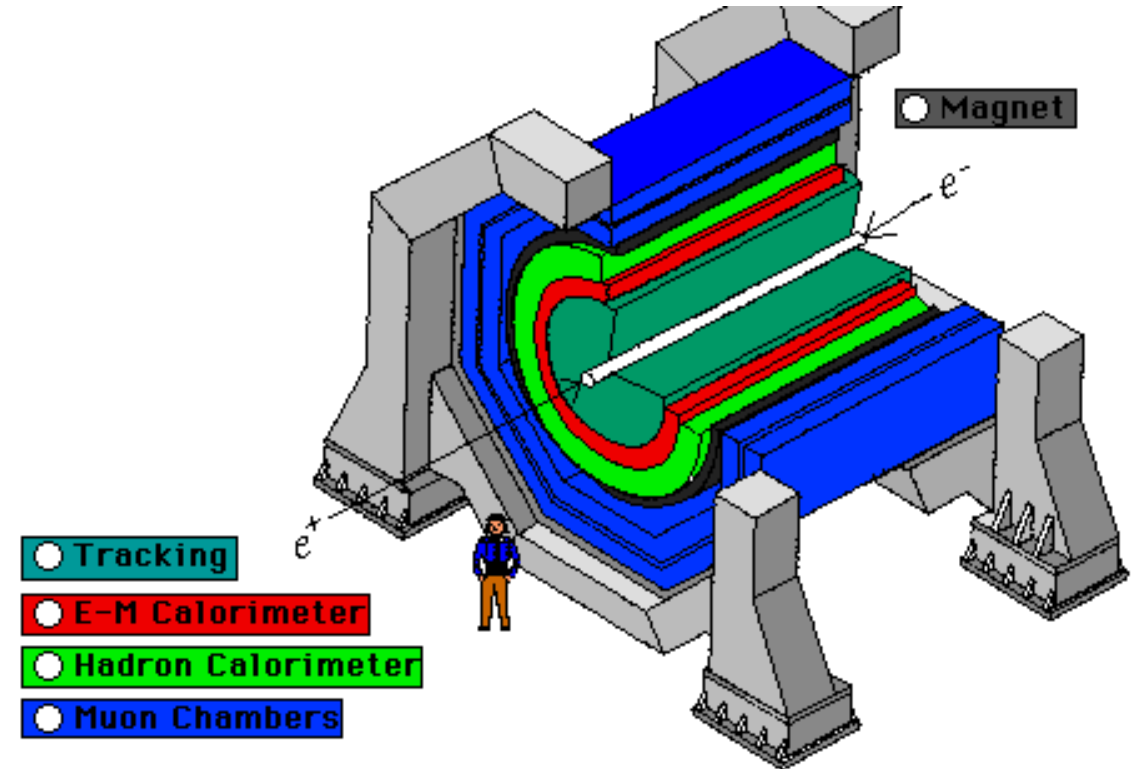
- Štúdium zrážok častíc pri vysokých energiách
- Analýza množstva nových častíc, ktoré vznikajú po zrážke
- Experimenty:
 - s pevným terčikom
 - protibežné zväzky



Detekčné systémy na veľkých experimentoch

Cieľ: „hľadanie“
neviditeľného

- rozmery $\sim 10^{-15}$ m
- rýchlosť $\sim c$
- mikroskop ???



Súčasný detekčný systém pozostáva z dráhového detektora, elektromagnetického a hadrónového kalorimetra a miónovej komory.

V strede sa nachádza zväzková trubica.

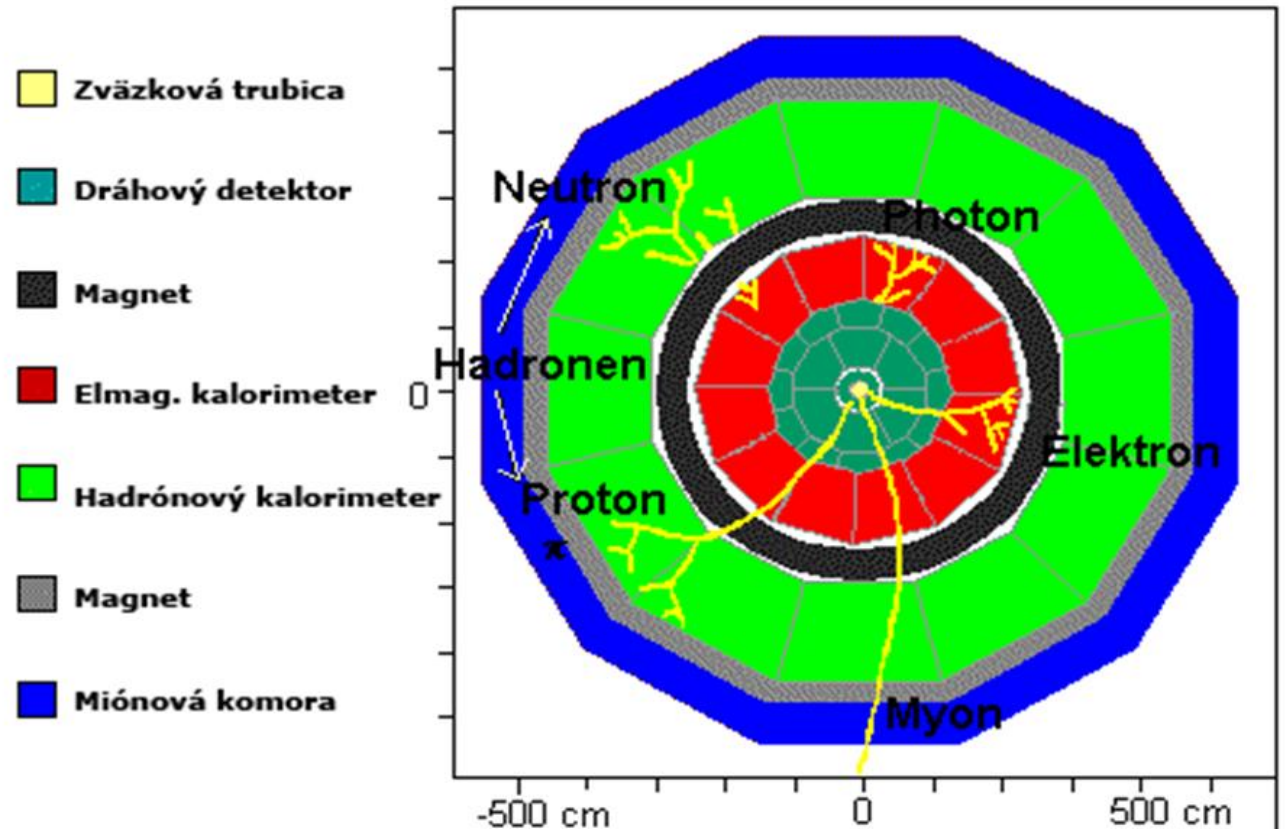


Katedra jadrovej
a subjadrovej fyziky

Detekčné systémy na veľkých experimentoch

Analyzovaním vlastností a typov častíc vznikajúcich v zrážkach sme schopní získať veľa poznatkov o hmote na základnej úrovni.

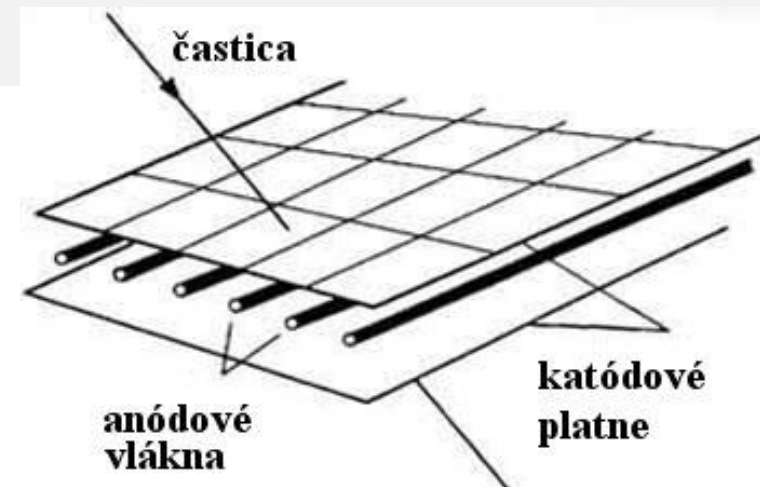
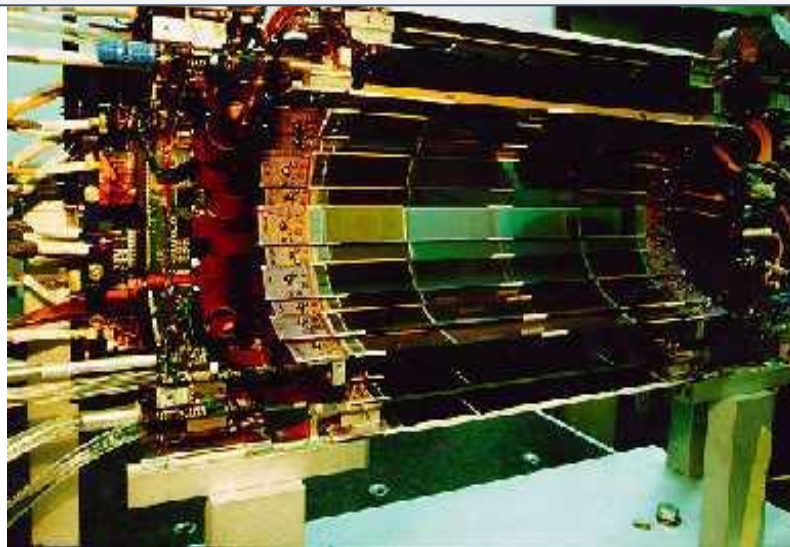
Prierez detektorom so zaregistrovanými časticami



Detekčné systémy na veľkých experimentoch

Dráhové detektory - zviditeľňujú dráhy častíc, ktoré vznikli v zrážke, môžu zistiť prítomnosť len nabitých častíc - polovodičové detektory a vláknové proporcionálne komory.

Polovodičový detektor – experiment DELPHI CERN



Mnohovláknová proporcionálna komora. Anódové vlákna sú pripojené medzi dve katódové platne.

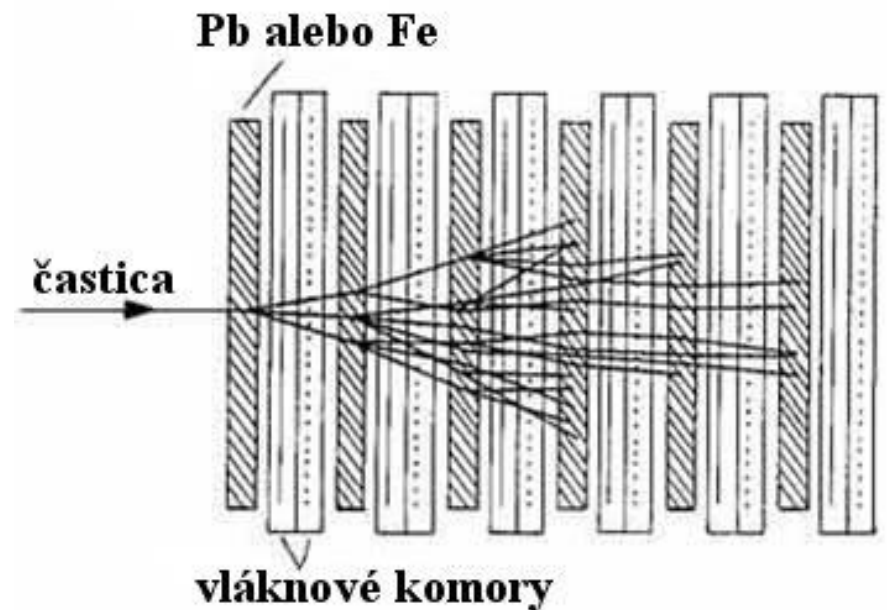
G. Charpak - r.1992 Nobelova cena - prínos v rozvoji časticových detektorov, konkrétne mnovláknových komôr.



Detekčné systémy na veľkých experimentoch

Kalorimetre - meranie energie neutrálnych a aj nabitých častíc. Kalorimetre pozostávajú z platní hustého materiálu (olovo alebo železo) a vláknových, resp. scintilačných komôr

Hadrónový
kalorimeter,
experiment
DELPHI

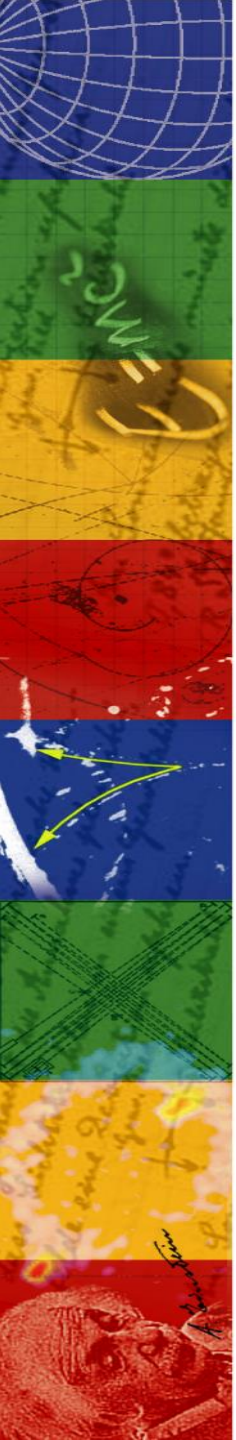


Detekčné systémy na veľkých experimentoch

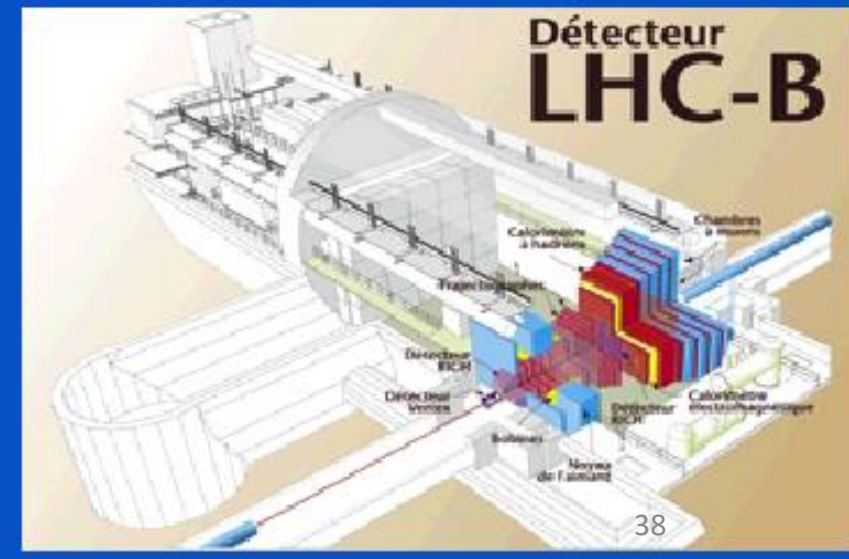
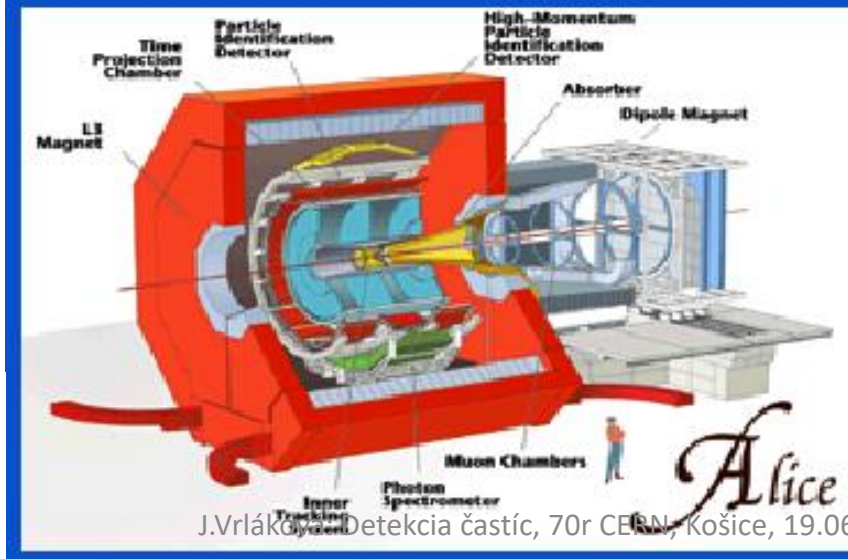
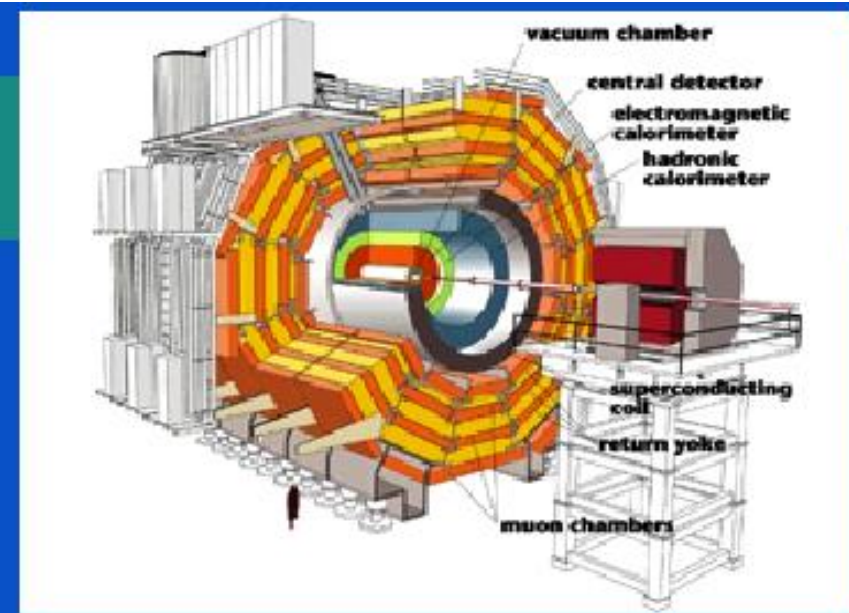
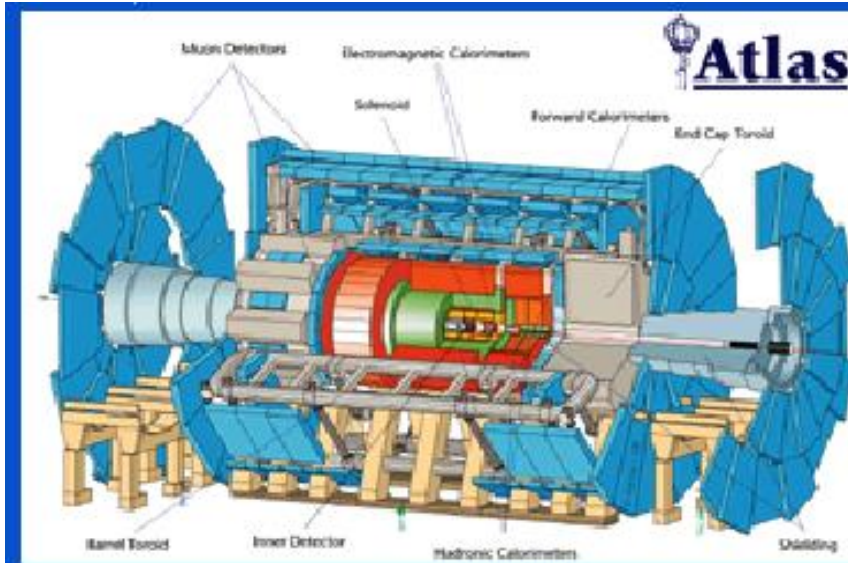
Miónové detektory- určené na registráciu miónov – častíc s vysokou prenikavou schopnosťou, miónové detektory pozostávajú z vrstiev železa preložených dráhovými detektormi

Miónový
detektor,
experiment
DELPHI

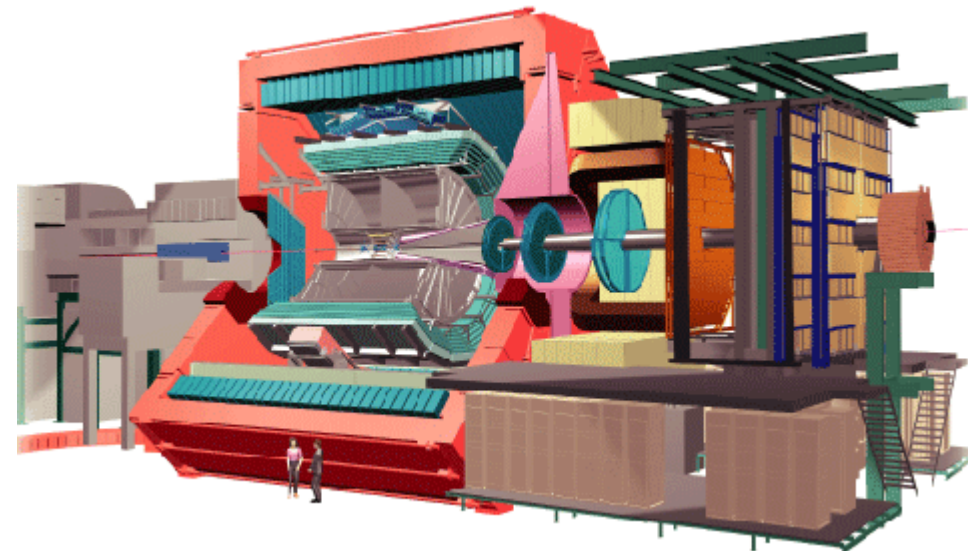
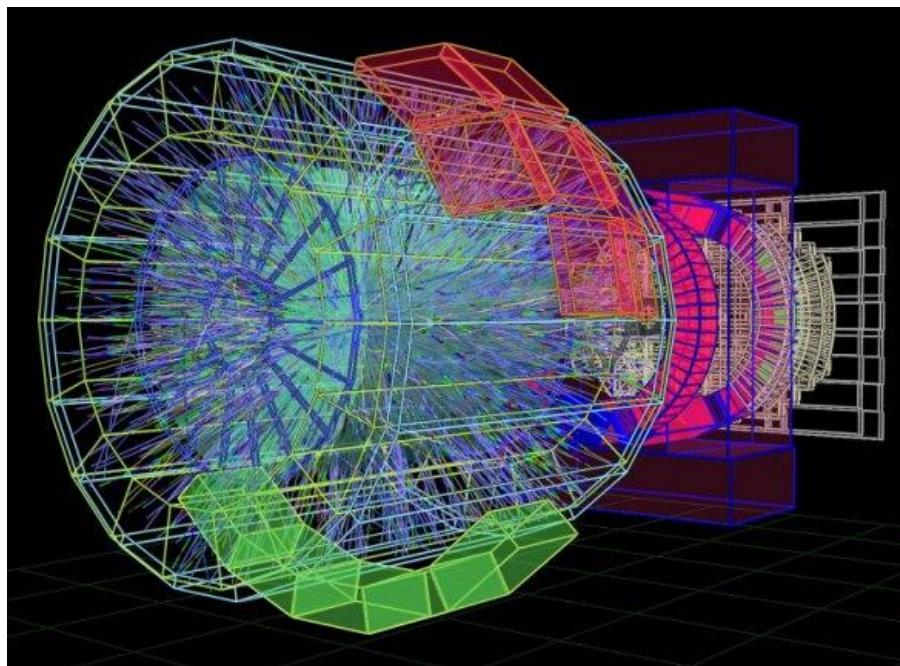




experiments@CERN

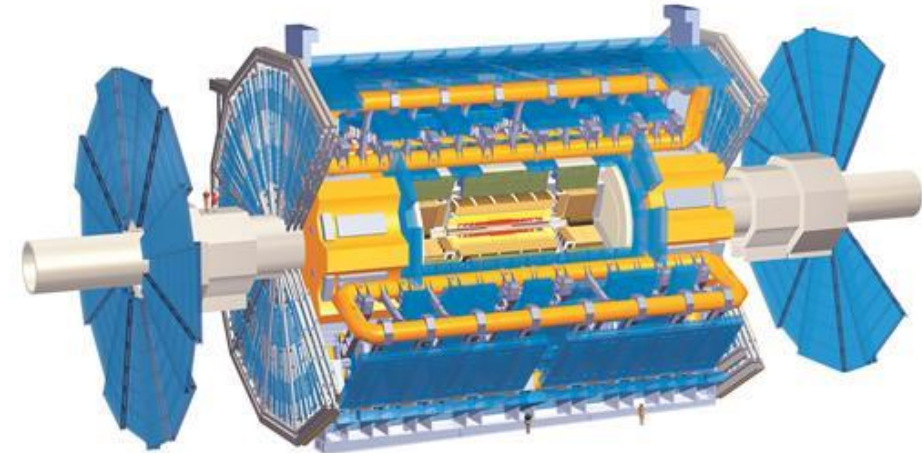
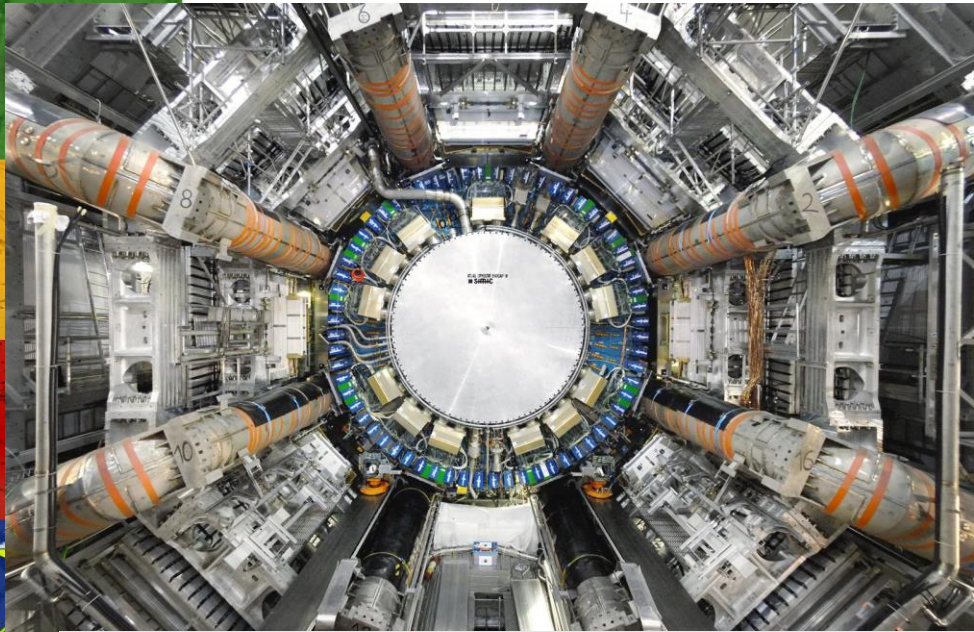


ALICE - A Large Ion Collider Experiment



- ❖ Štúdium zrážok ťažkých iónov (Pb+Pb) v extrémnych podmienkach, hľadanie kvarkovo-gluónovej plazmy
- ❖ Kolaborácia: viac ako 2000 vedcov, 174 inštitúcií, 40 krajín (apríl 2022)
pracovníci Katedry jadrovej a subjadrovej fyziky ÚFV PF UPJŠ a ÚEF SAV Košice
- ❖ Detektor ALICE: dĺžka 26 m, výška 16 m, šírka 16 m, hmotnosť 10 000 t
- ❖ Lokalizácia: St Genis-Pouilly, Francúzsko

ATLAS - A Toroidal LHC ApparatuS



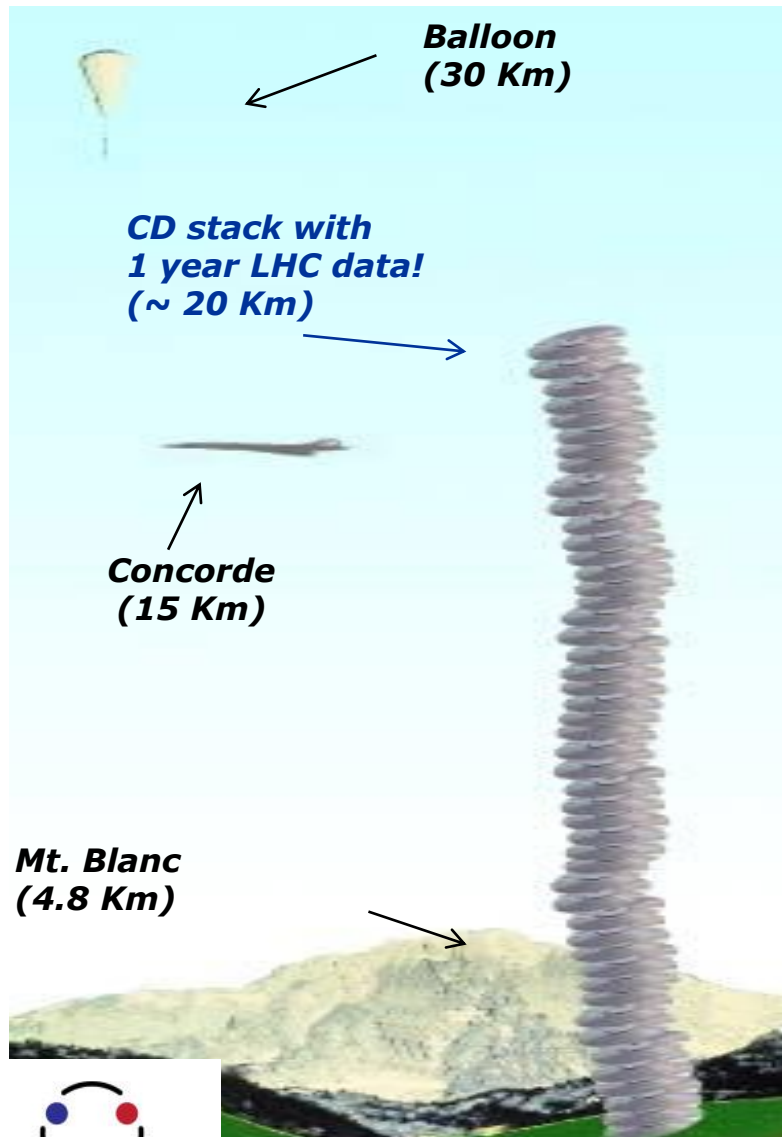
- Fyzikálny program: štúdium vlastností hmoty, hľadanie Higgsovej častice, štúdium tmavej hmoty...
- Kolaborácia : 3000 vedcov, 182 inštitútov, 42 krajín, **pracovníci ÚEF SAV Košice**
- Detektor ATLAS: dĺžka 46 m, výška 25 m, šírka 25 m, najväčší detektor
- Hmotnosť: 7000 ton
- Lokalizácia : Meyrin, Švajčiarsko

experiments@CERN

detektor – zber dát – spracovanie - analýza



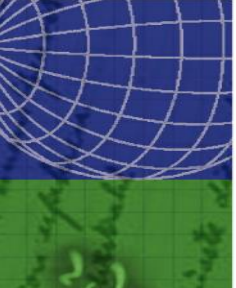
experiments@CERN



Spracovanie údajov

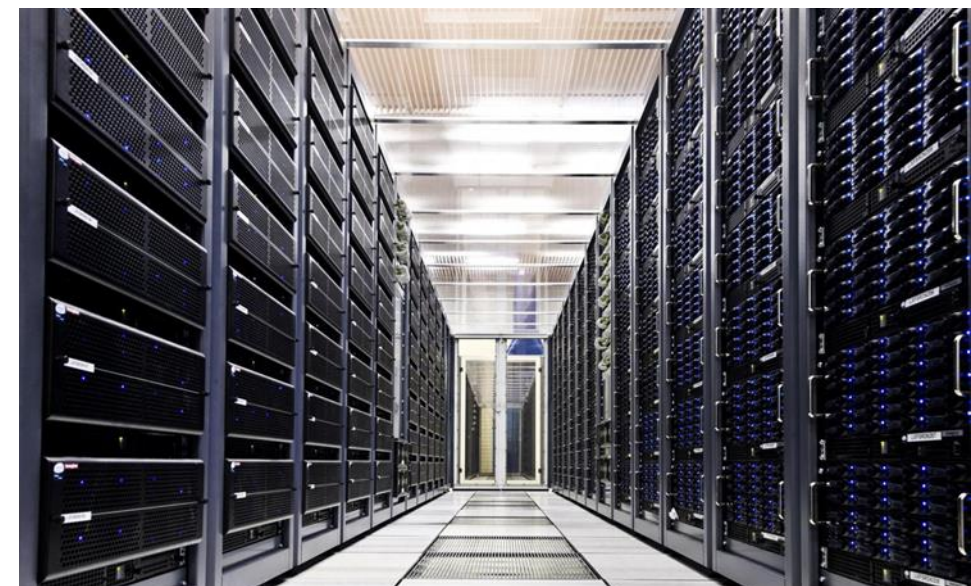
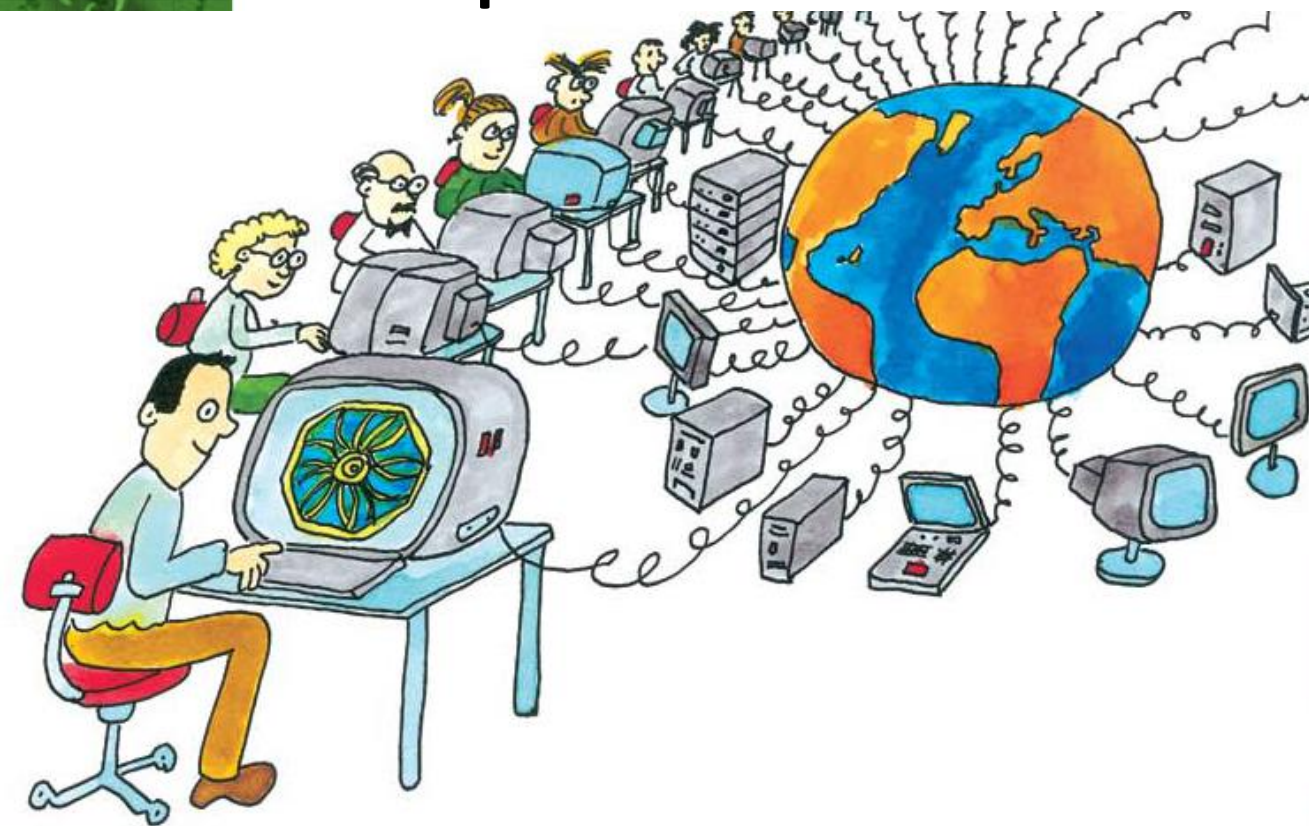
- za rok jeden detektor potrebuje uložiť asi 5,5 PB (Petabyte=1000 TB=1 mil. GB= 1 miliarda MB), čo je asi 8,5 mil. CD + podobné množstvo simulovaných dát,
- sú to údaje pre jeden detektor (ATLAS), pre celkový objem z LHC treba ich vynásobiť asi 4 krát,
- najväčší problém nie je v úložisku dát, ale ich sprístupnení tak, aby mnoho fyzikov mohlo s nimi naraz pracovať.





experiments@CERN

spracovanie a analýza údajov - GRID



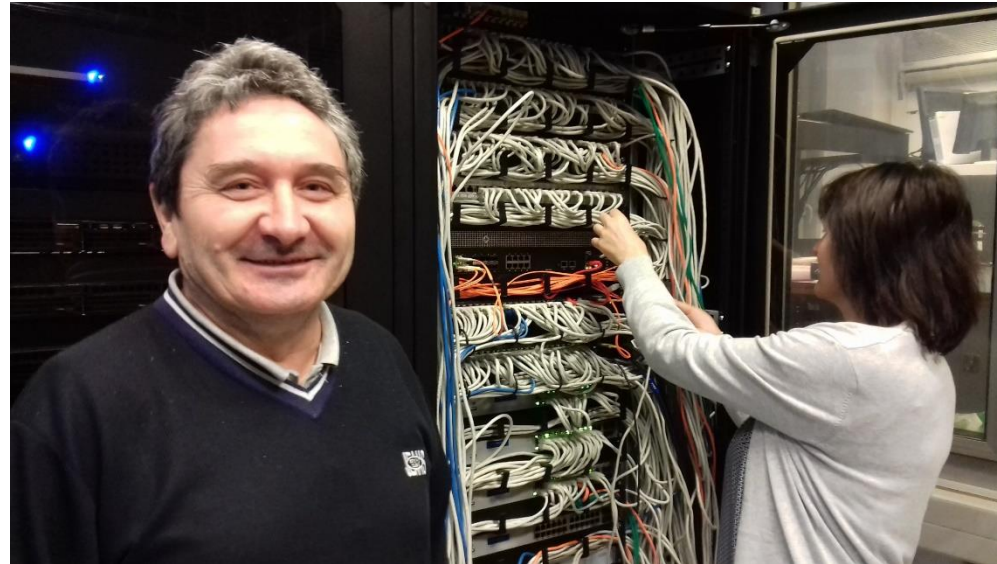
Servers at the CERN Data Centre

Technické riešenie spracovania a analýzy dát sa našlo v Grid computing (virtuálne výpočtové centrum, založené na distribuovanom systéme centier)



experiments@CERN

spracovanie a analýza údajov - GRID



GRID na OSF ÚEF SAV
v Košiciach
pre výpočty experimentov
fyziky elementárnych častíc

J.Vrláková: Detekcia častíc, 70r CERN, Košice, 19.06.2024



foto: archív M. Straka, ÚEF SAV

Je štúdium častíc potrebné a užitočné?

Základný výskum: skúmanie štruktúry hmoty, vlastností...

Aplikácie:

- **Medicína :** diagnostika (zobrazovacie metódy) a terapia
- **Priemysel:** technologické aplikácie
- **Informačno-komunikačné technológie** (www, ...)
- **Jadrová energetika**
- **Radiačná bezpečnosť a ochrana pred žiarením**
- **Iné aplikácie**



Je štúdium častíc potrebné a užitočné?

Dotykový displej

Prvý dotykový displej skonštruovali Frank Beck a Bent Stumpe z CERN na začiatku 70. rokov a v roku 1973 bol uvedený do prevádzky pre potreby urýchľovača SPS (fungoval až do spustenia LHC).



Bent Stumpe, vynálezca dotykového displeja CERN s jedným so svojich prvých prototypov.

<http://cds.cern.ch/record/1248908>

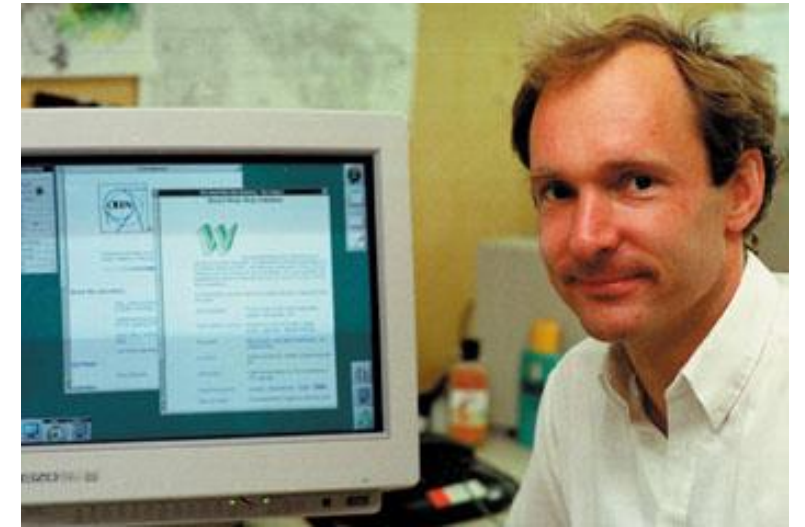
<http://cerncourier.com/cws/article/cern/42092>



Je štúdium častíc potrebné a užitočné?

World Wide Web

- Tim Berners-Lee - 1989 - spustený prvý webový server s prvou webovou stránkou v CERN (<http://info.cern.ch>)
- V súčasnosti existuje okolo 60 miliárd webových stránok

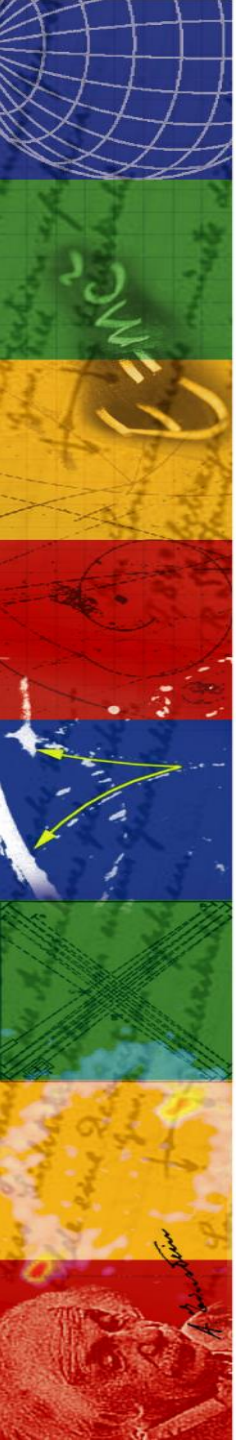


<http://cds.cern.ch/journal/CERNBulletin/2009/12/News%20Articles/1165312?ln=en>



http://cerncourier.com/cws/article/cern/28069/1/web2_9_99

J.Vrláková: Detekcia častíc, 70r CERN, Košice, 19.06.2024

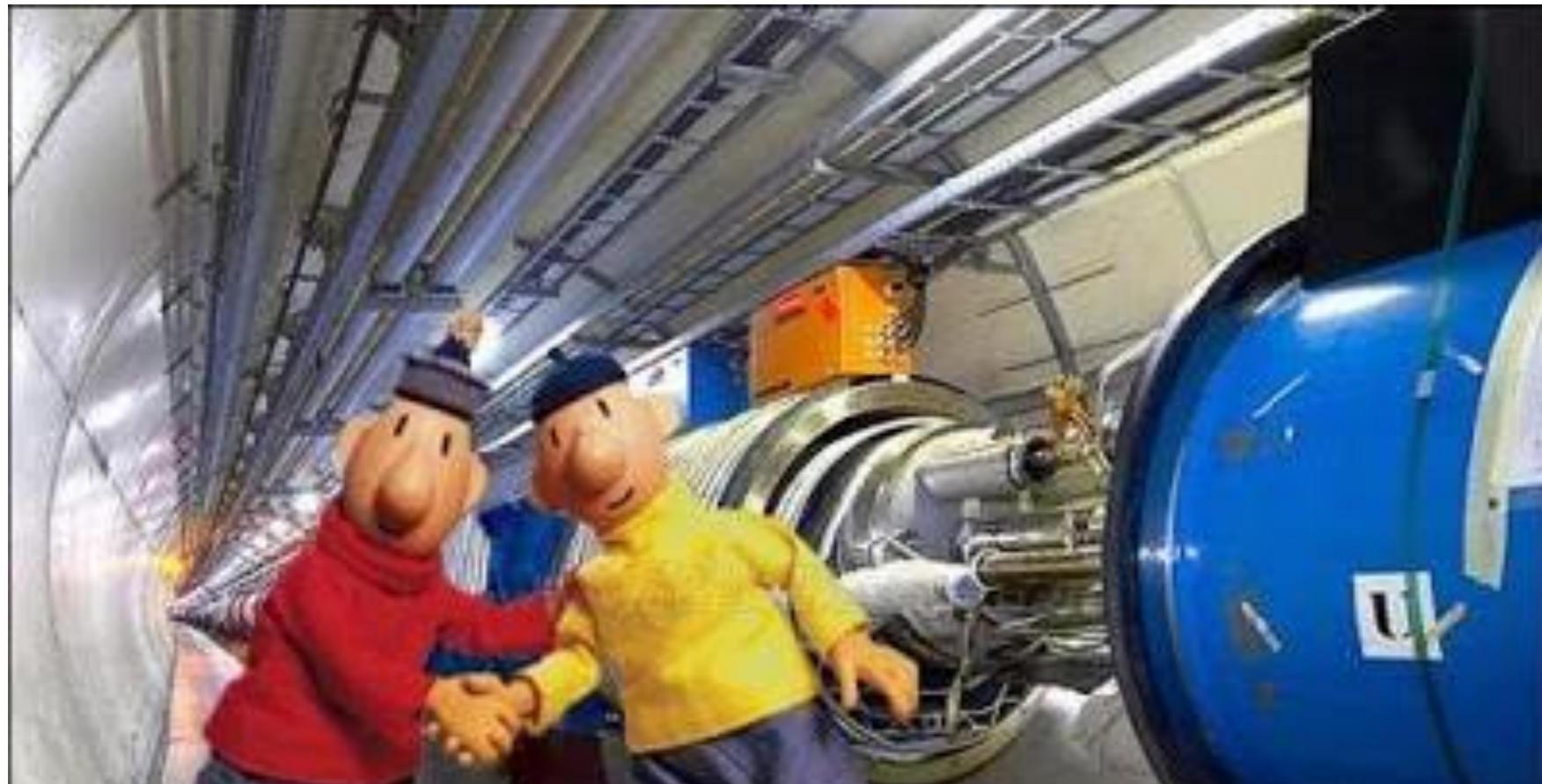
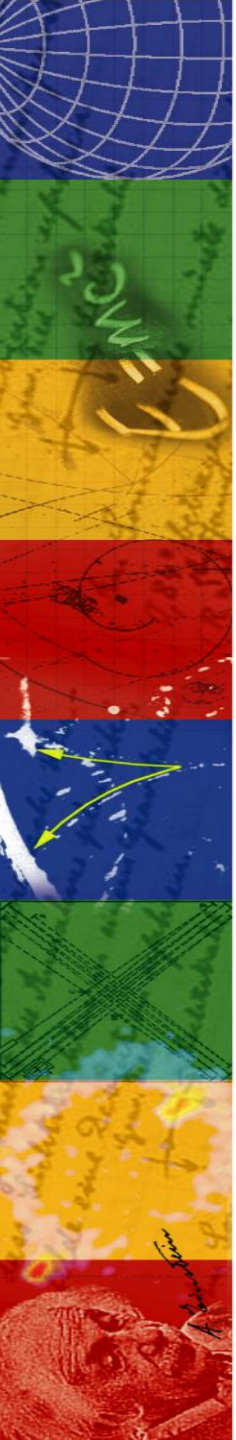


Ďakujem za pozornosť 😊



Katedra jadrovej
a subjadrovej fyziky

J.Vrláková: Detekcia častíc, 70r CERN, Košice, 19.06.2024



Nezabudnite si urobiť selfie v LHC tuneli – náš baner na výstave v budove Steelpark 😊😊😊



Použité zdroje:

- www.cern.ch
- <http://physicsmasterclasses.org/>
- www.tuke.sk/feikf/castice/index.html
- <http://www.osel.cz/3921-tevatron-a-lhc.html>
- <http://www.svetcastic.sk/cms/>
- <http://www.quantumday.com/2012/11/light-pulses-from-quark-gluon-plasma-to.html>
- Wikipédia
- Linky uvedené v prezentácii
- Vlastné fotografie