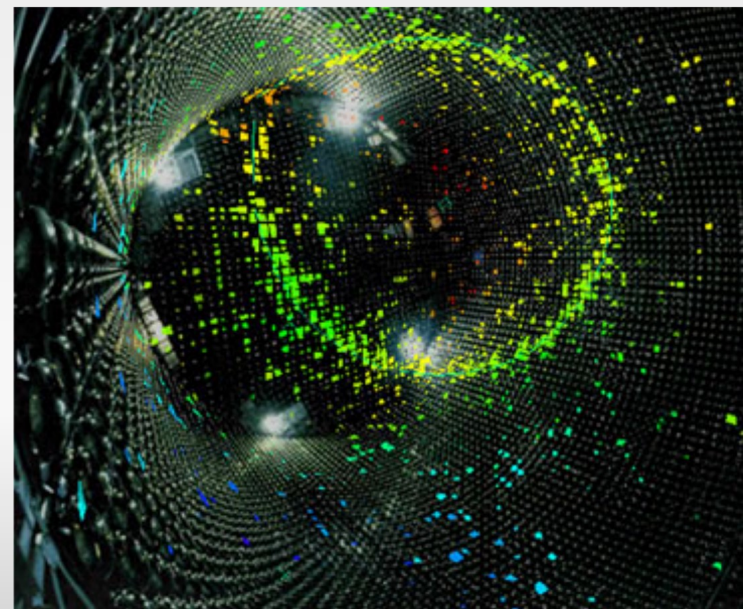


A részecskefizika kísérleti eszközei (Gyorsítók és Detektorok)

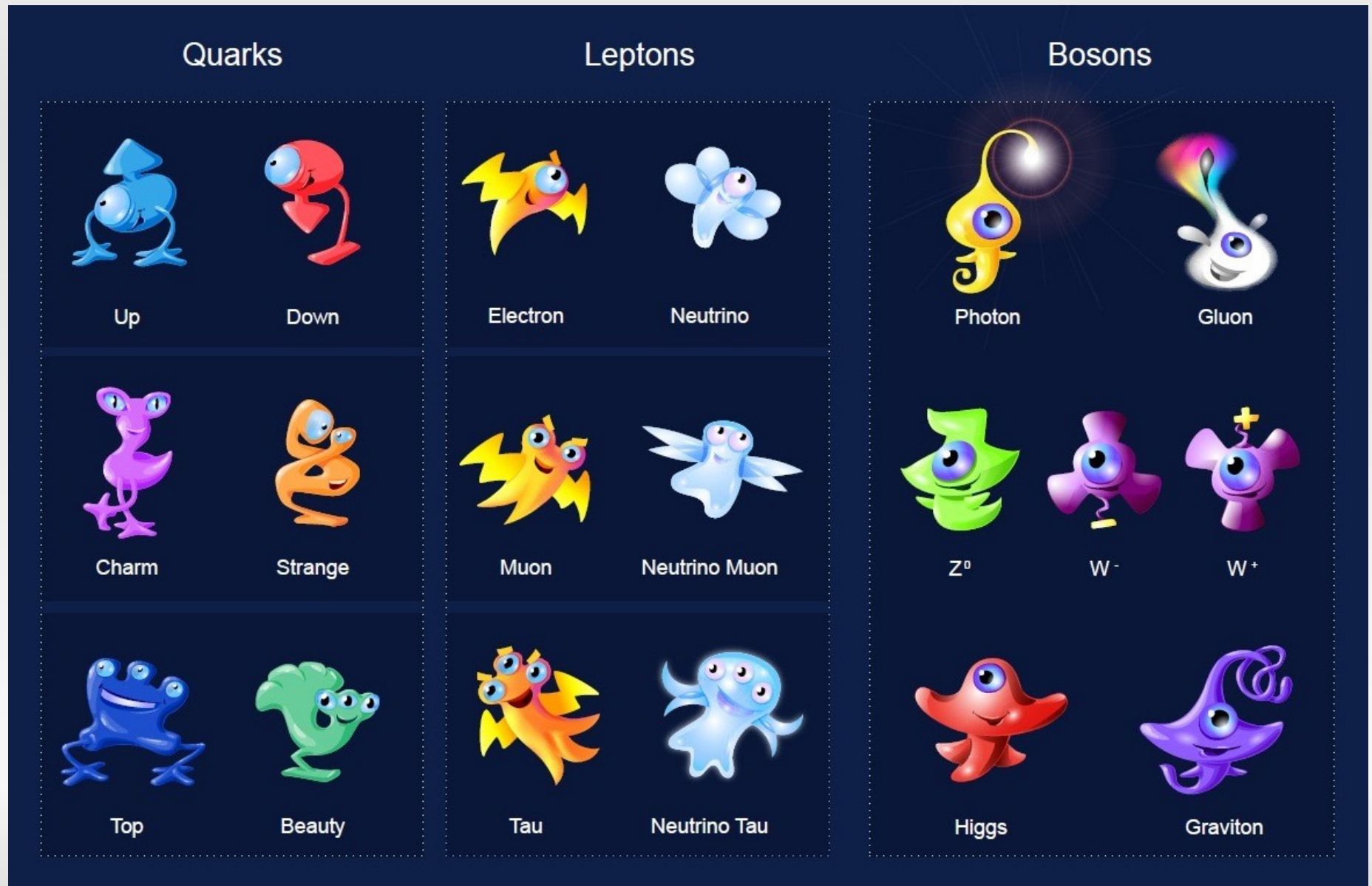
Hamar Gergő
MTA Wigner FK



Tartalom

- **Mit kell/lehet mérni egy részecskén?**
miben különböznek? hogyan és mit mérünk?
- **Részecskegyorsítók, CERN**
mire jó a gyorsító? hogyan gyorsít? hogy néz ki?
- **Detektorok és működésük**
hogyan mérünk láthatatlan villámgyors részecskéket?
- **Óriási kísérletek**
LHC-n. mi még? van gyorsító nélküli?
- **Alkalmazás gyakorlatban**
tudjuk ezeket bármi másra is használni?

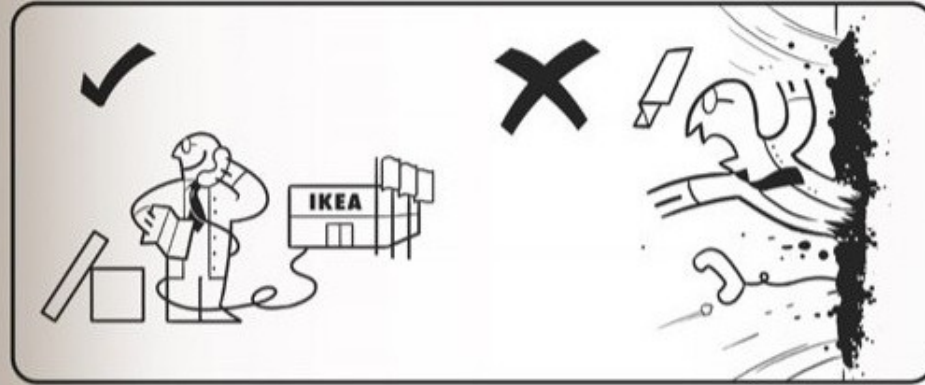
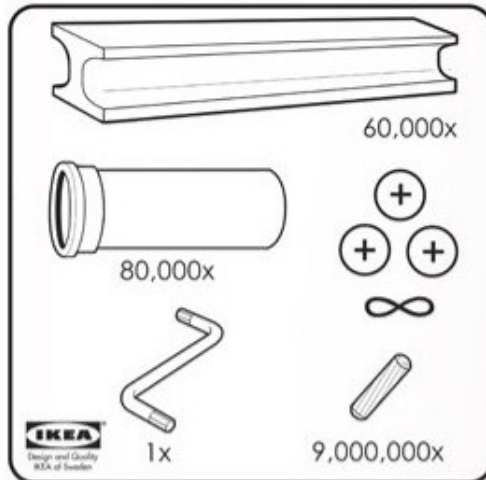
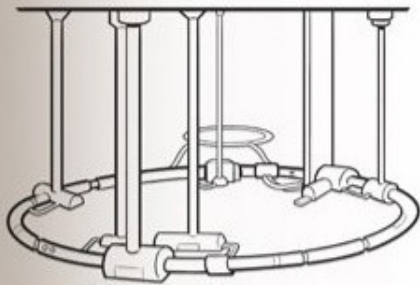
Standard modell



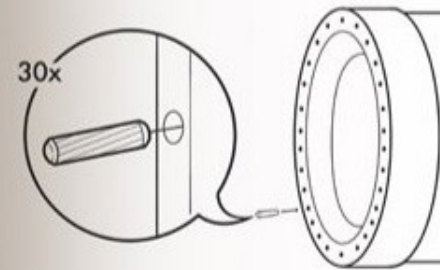
Részecskegyorsítók, ütköztetők

- Miért kell gyorsítani ?
- Mennyire kell gyorsnak lennie ?
- Milyen részecskéket lehet / kell használni ?
- GSI, DUBNA, CERN, BNL, ...
Debrecen, WignerFK, ..
- Technológiai fejlődés

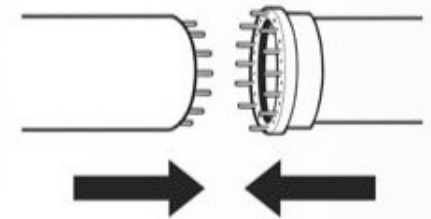
HÄDRÖNN CJÖLIDDER



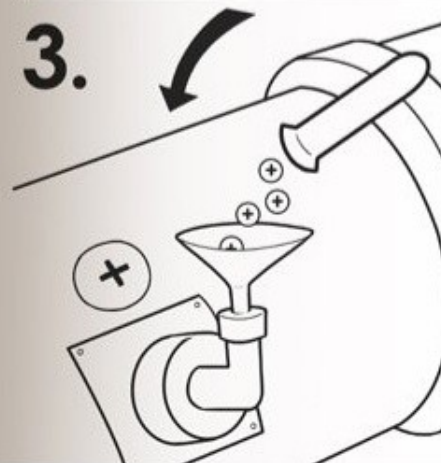
1.



2.



3.

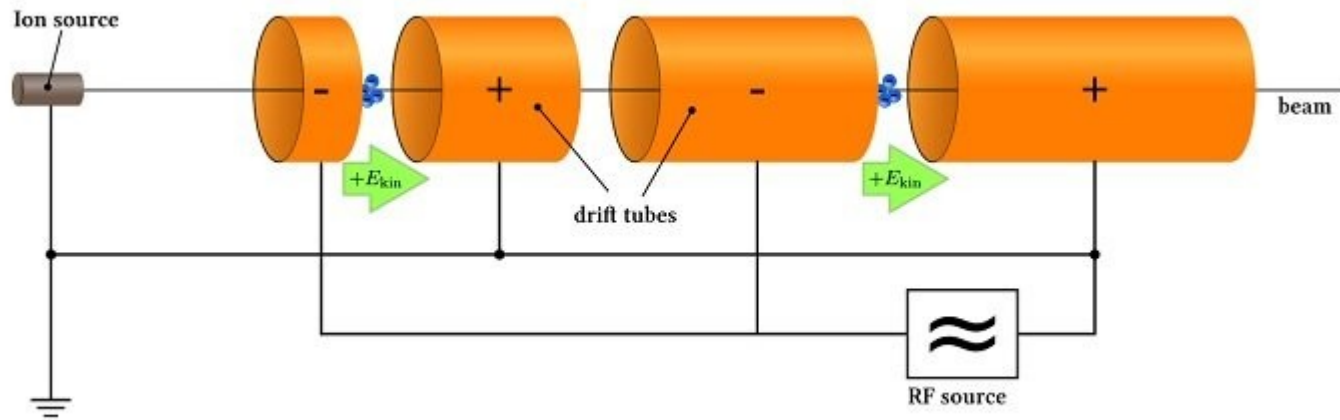


4.



Lineáris gyorsító

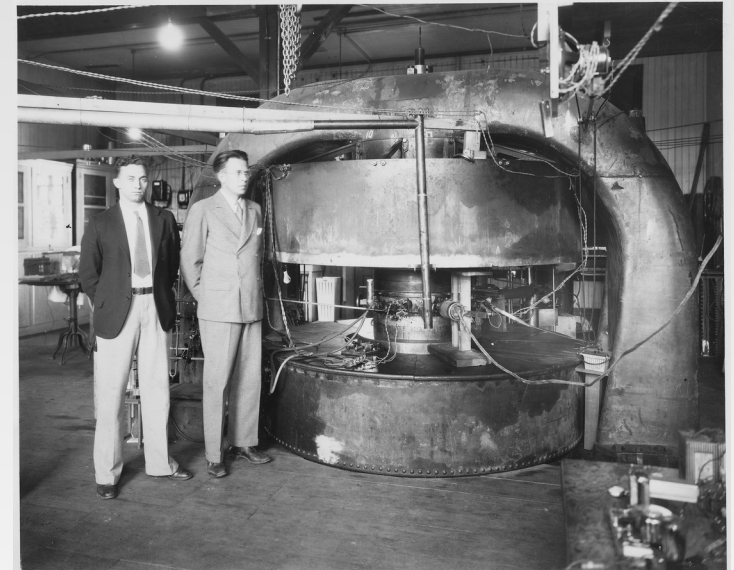
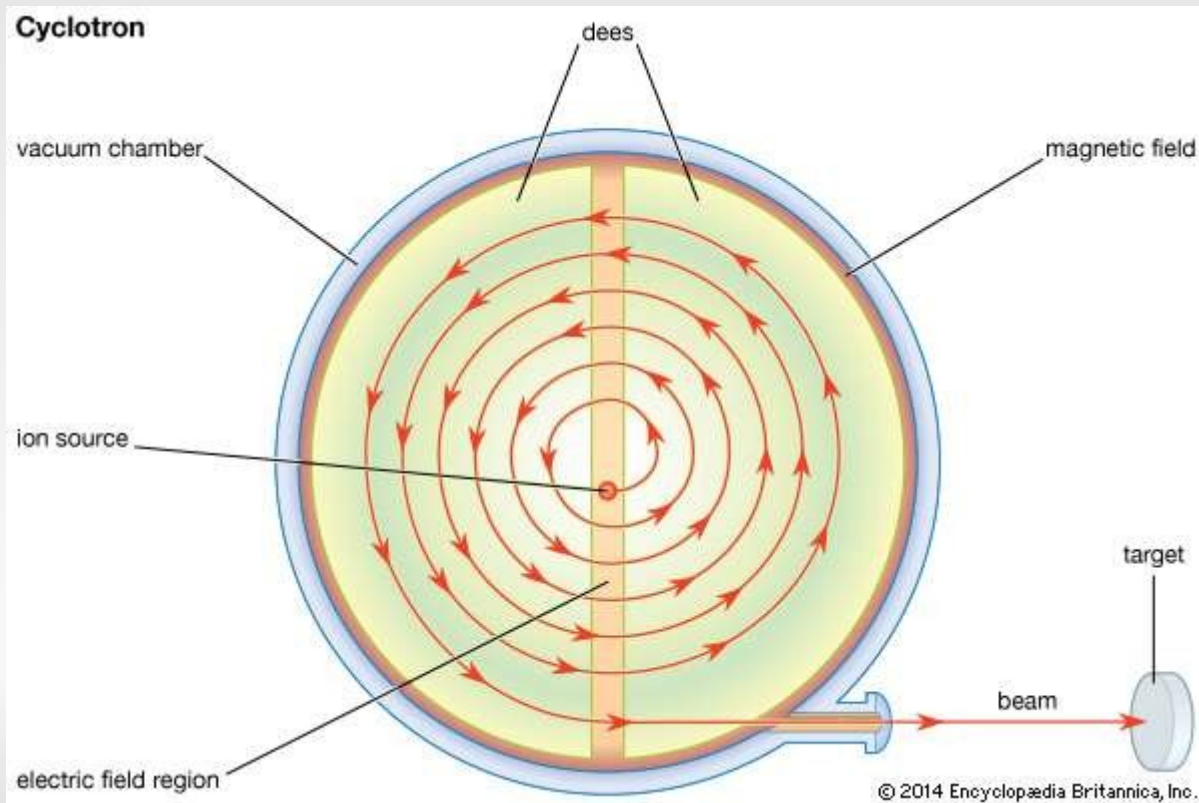
- Elektromosan töltött részecskét
- Lyukas kondenzátor
Katódsugárcső (régi TV)
- Többlépcsős gyorsítás
- Váltakozó feszültséggel
- Milyen hosszú lesz?



A „régimódi” képcsöves TV-ben vagy monitorban egy részecskegyorsító rejtőzik

Ciklotron, Szinkrotron

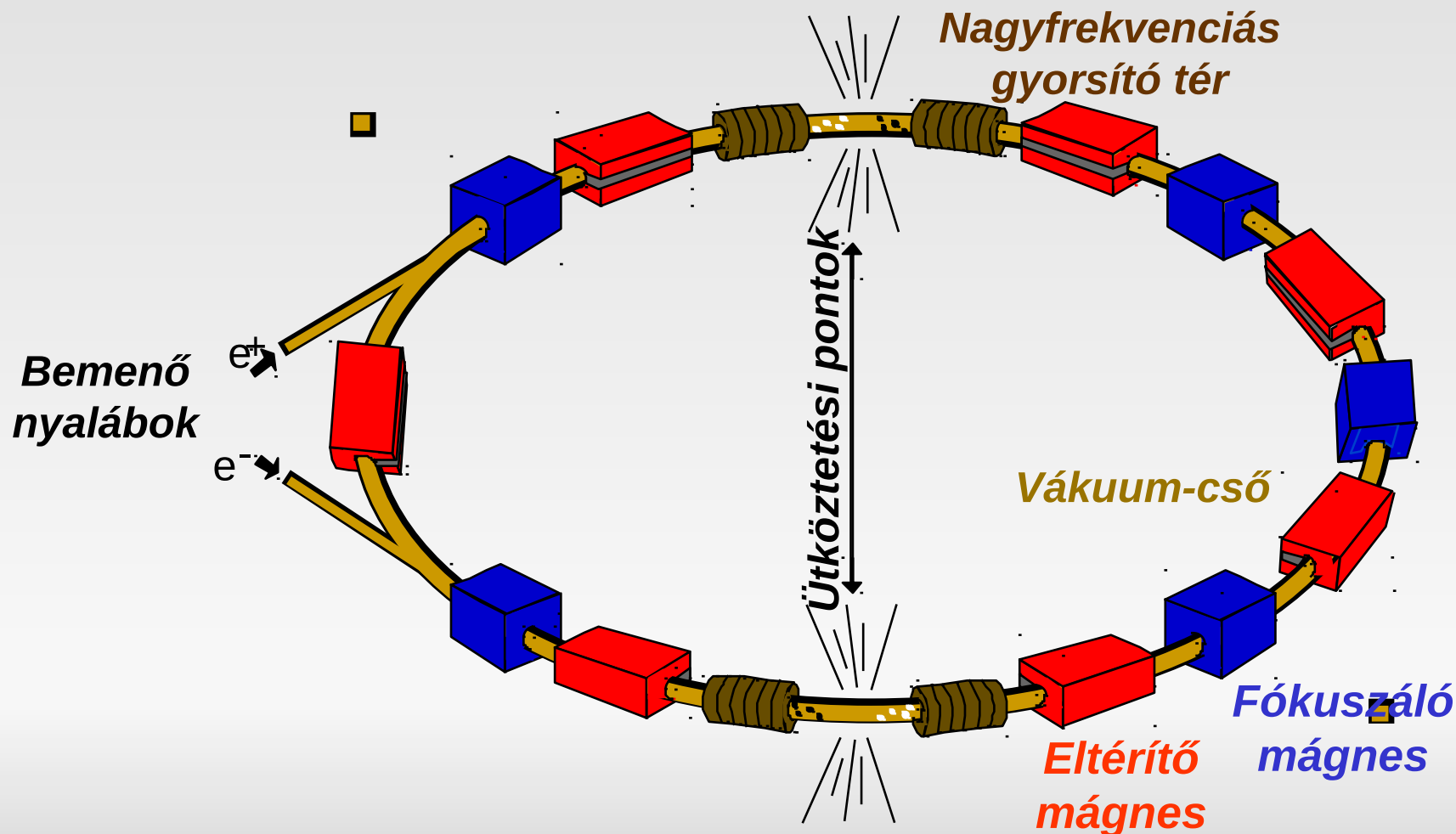
- Mágneses térrel görbített pálya
- Ciklotron



Nagyenergiás gyorsító

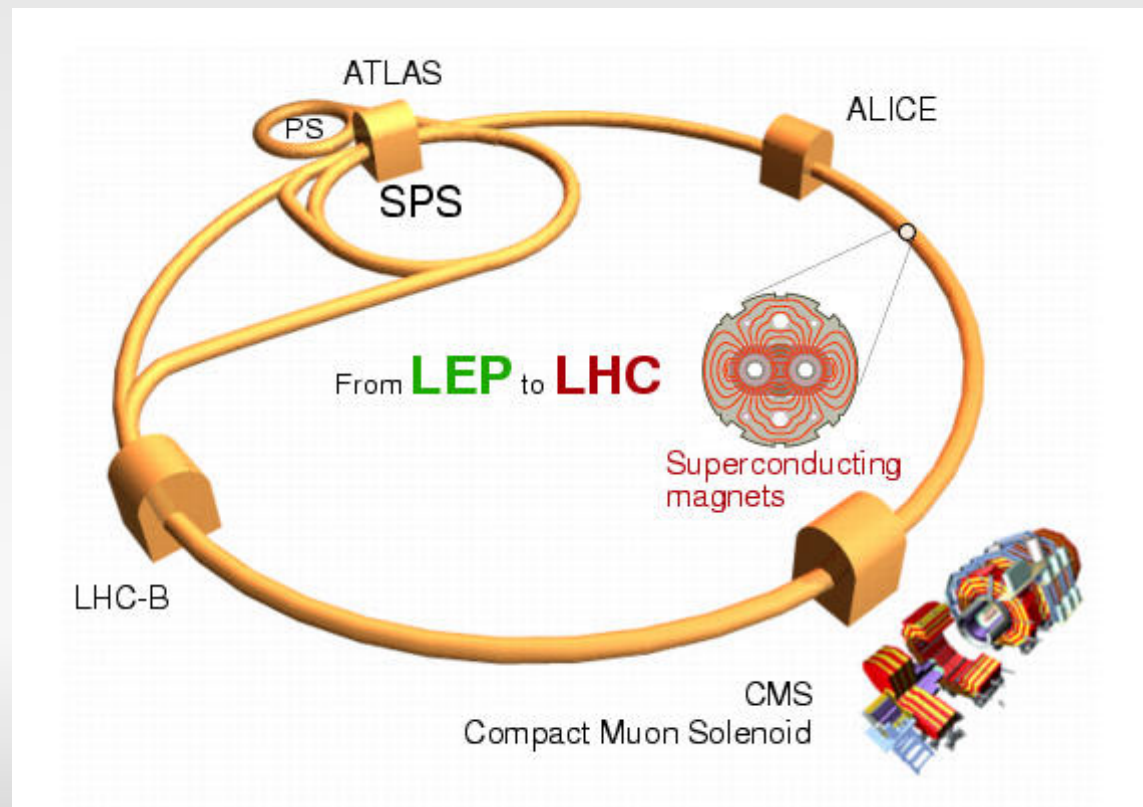
(korábbi ötletek együtt)

- Mágneses térrel körpályán
- Elektromos térrel gyorsít (váltakozó feszültség, RF)

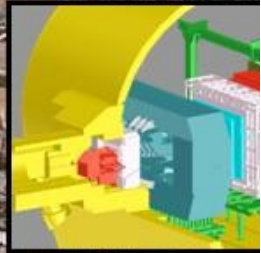
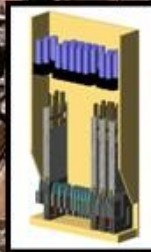
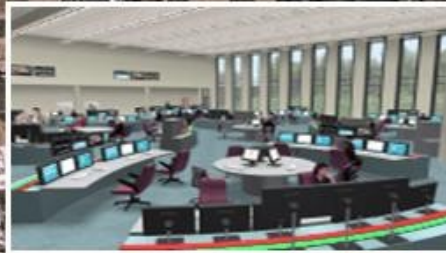
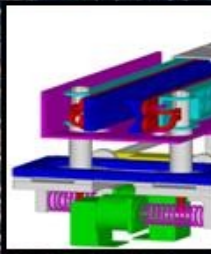
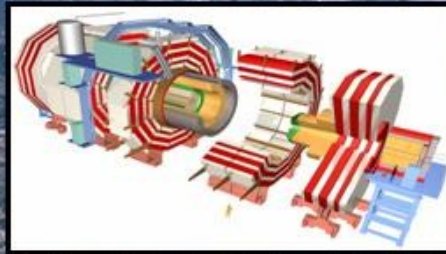
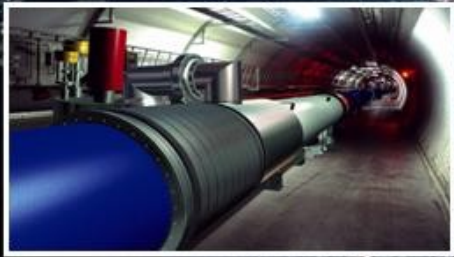


Lépcsőzetes gyorsítás

- CERN:
Hidrogén palack (eV)
 - LINAC (50 MeV)
 - PSBooster (1.4 GeV)
 - PS (25 GeV)
 - SPS (450 GeV)
 - LHC (7 TeV)



LHC (Large Hadron Collider)

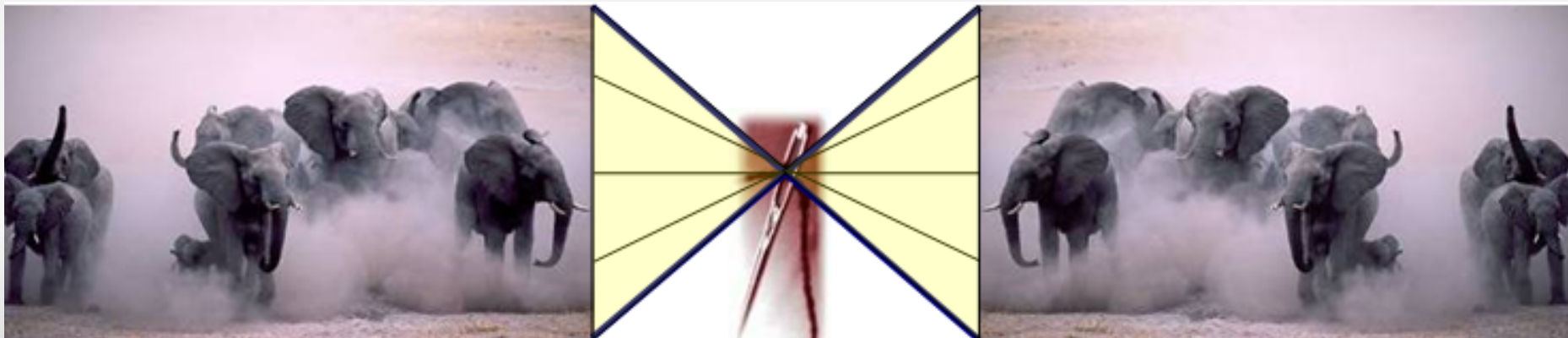
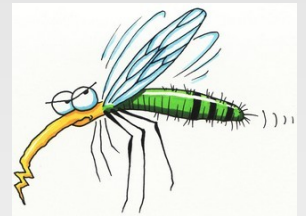


LHC gyűrű



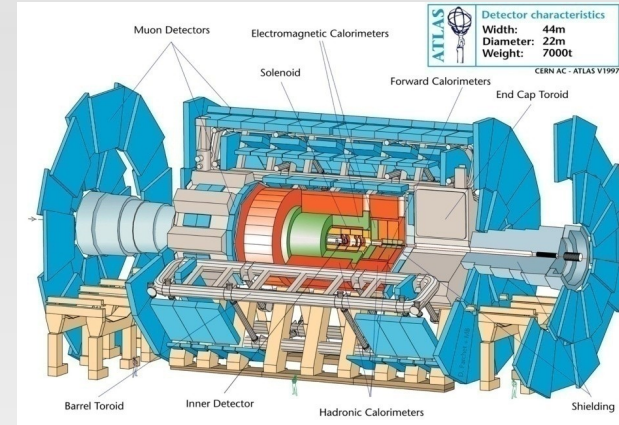
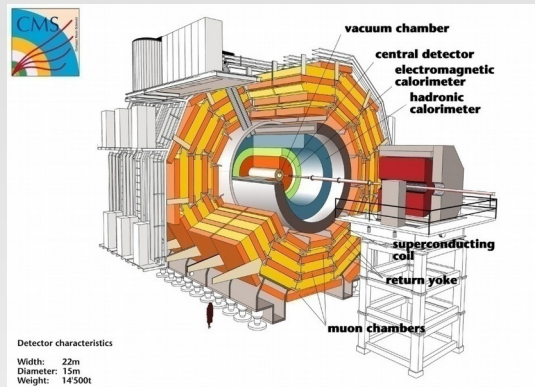
Ütközési energia

- Energiaskála mértékegysége : $\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{J}$
egy elektron által felvett energia 1V hatására
elektron fénysebesség 90%-ával : 660keV (210keV)
 $m_e = 511 \text{keV}$, $m_p = 1 \text{GeV}$
- Egyetlen LHC proton : 7 TeV (=7000 GeV)
~ repülő szúnyog
- Az LHC-ben keringtő összes proton
~ száguldó elefántcsorda (100 elefánt, 40 km/h)

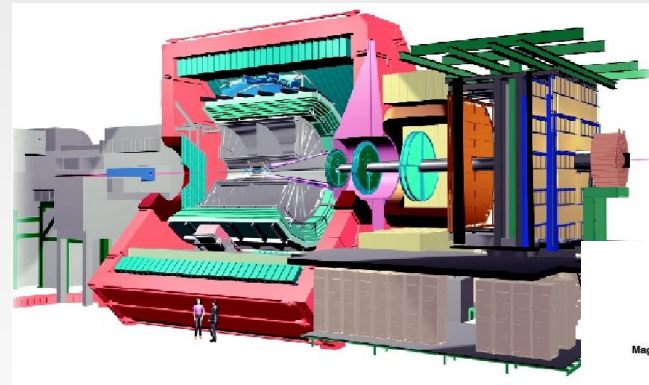


LHC nagy kísérletei

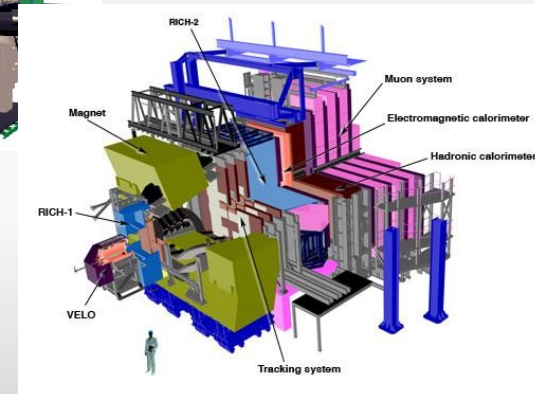
- CMS és ATLAS
 - Higgs, Extra dimenziós elméletek, Szupeszimmetria



- ALICE
 - Kvark-gluon-plaza, Kozmológia, Magfizika



- LHCb
 - Standard modell, Bájos kvark fizikája



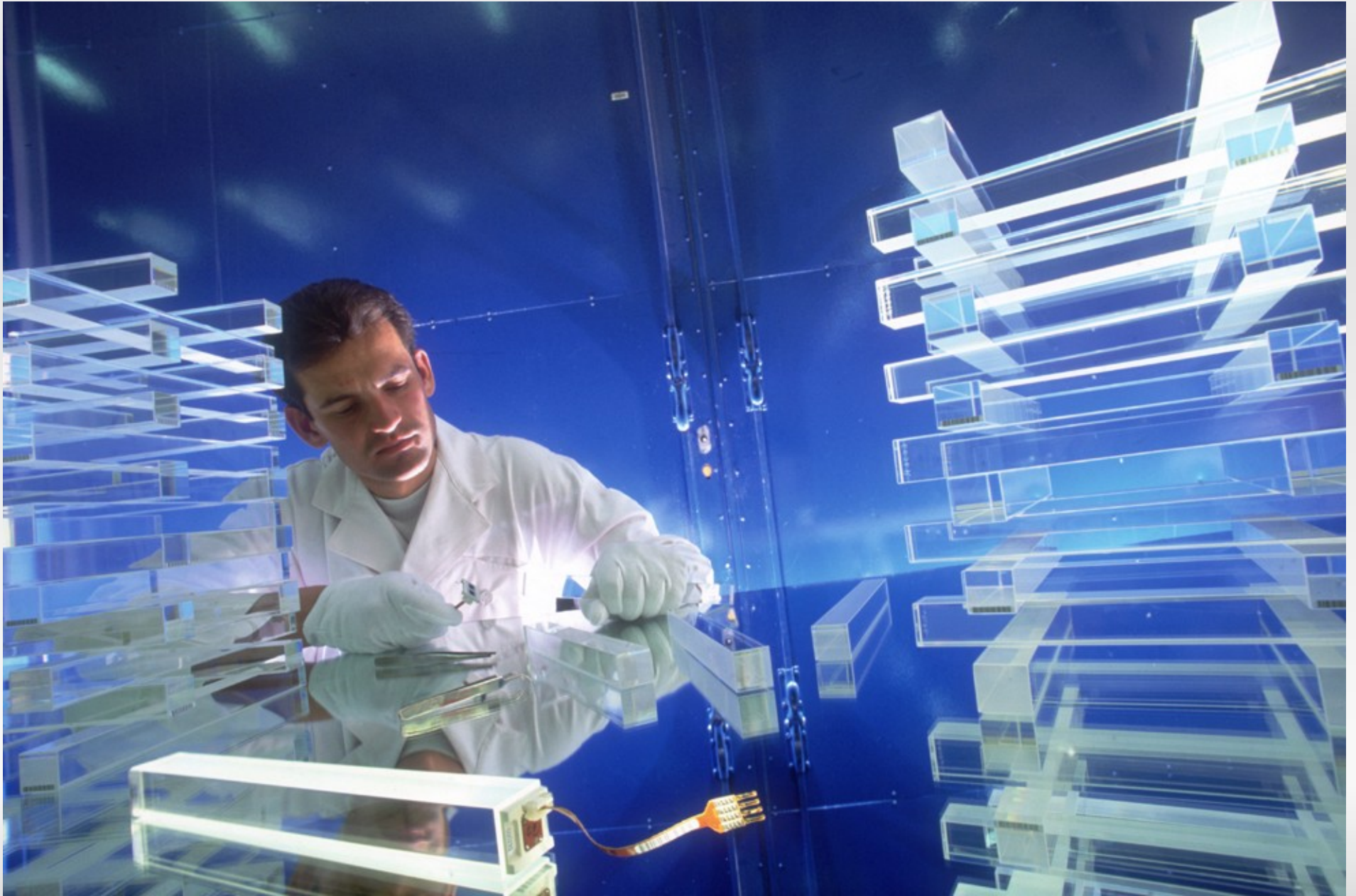
- + TOTEM, MOEDAL, CASTOR

Detektorok

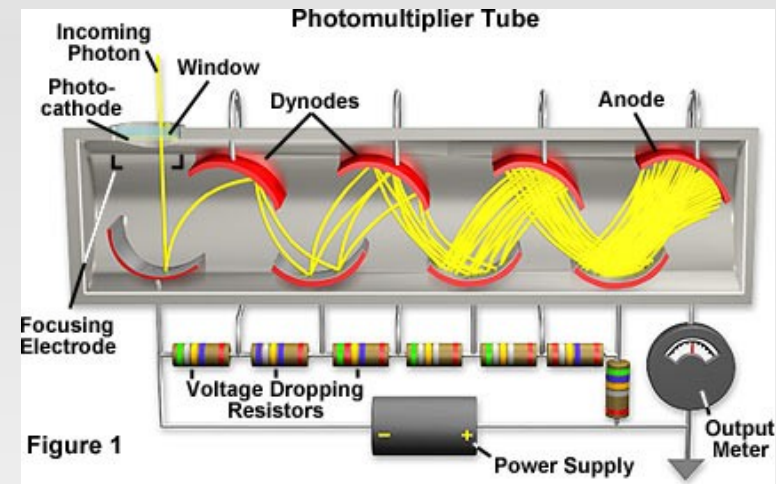
Detektorok

- Mit akarunk mérni?
- Mit lehet mérni?
 - tömeg
 - töltés
 - lendület
 - energia
 - részecske fajtája
 - ...
- Hogyan?

Szcintillátor – a fénylő detektor

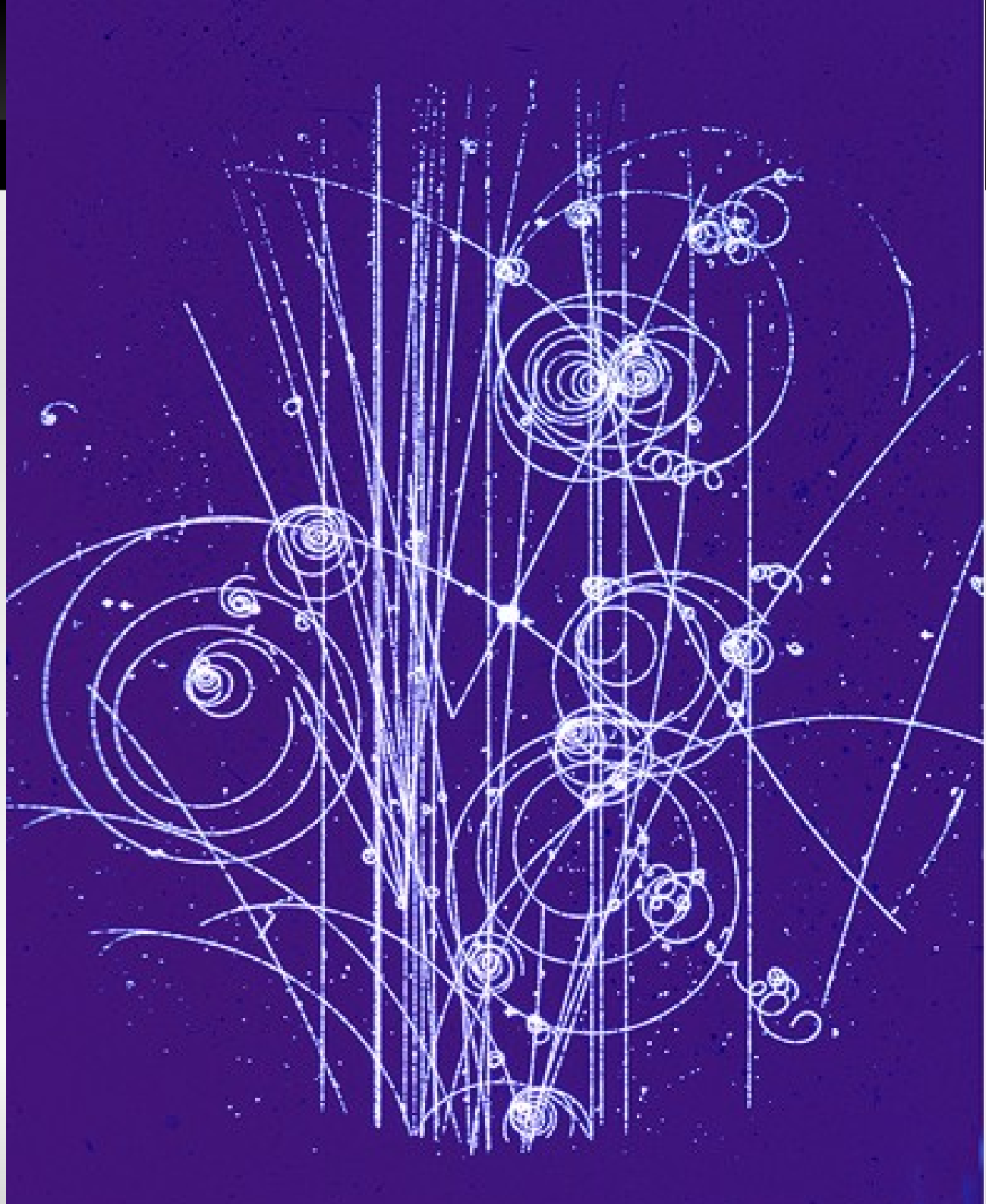


Szcintillátor és fénydetektálás



Pályák vonala

- **Köd-kamra**
- **Buburék-kamra**
- fázisátalakulás közeli állapotban vannak
- töltött részecske
- ionizáció
- lokális fázisátalakulás
- kamerával figyelhető

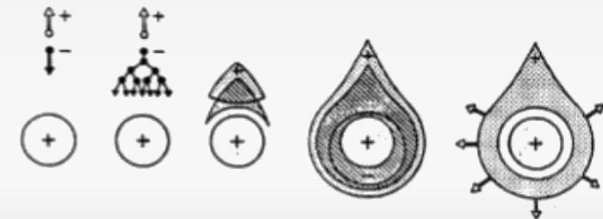
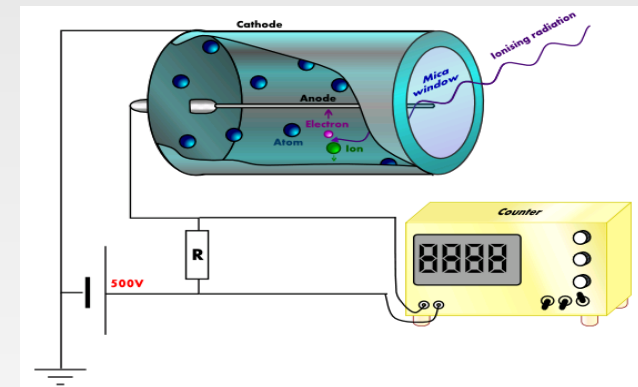
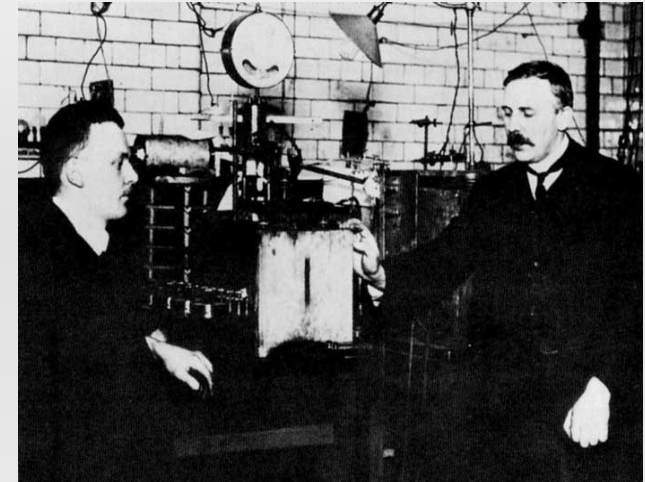


Buborék-kamrák



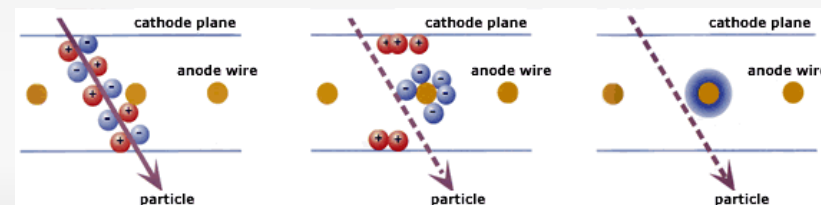
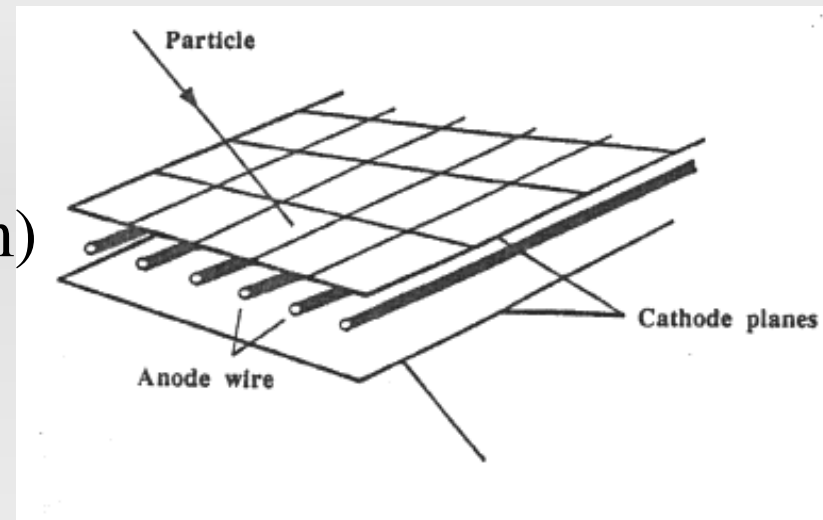
Gáztöltésű detektorok – GM cső

- Geiger-Müller számláló
 - H. Geiger, E. Rutherford W. Müller
 - 1908 H. Geiger-cső
 - 1928 W. Müller tökéletesíti
- Működési elv
 - Töltött részecske ionizálja a gázt
 - ~ 100 elektron-ion pár / cm
 - Kevés a detektáláshoz
 - Nagytérerősség $\rightarrow$ elektronlavina
 - Utaztatás + sokszorozás !
(nagyfeszültséggel)

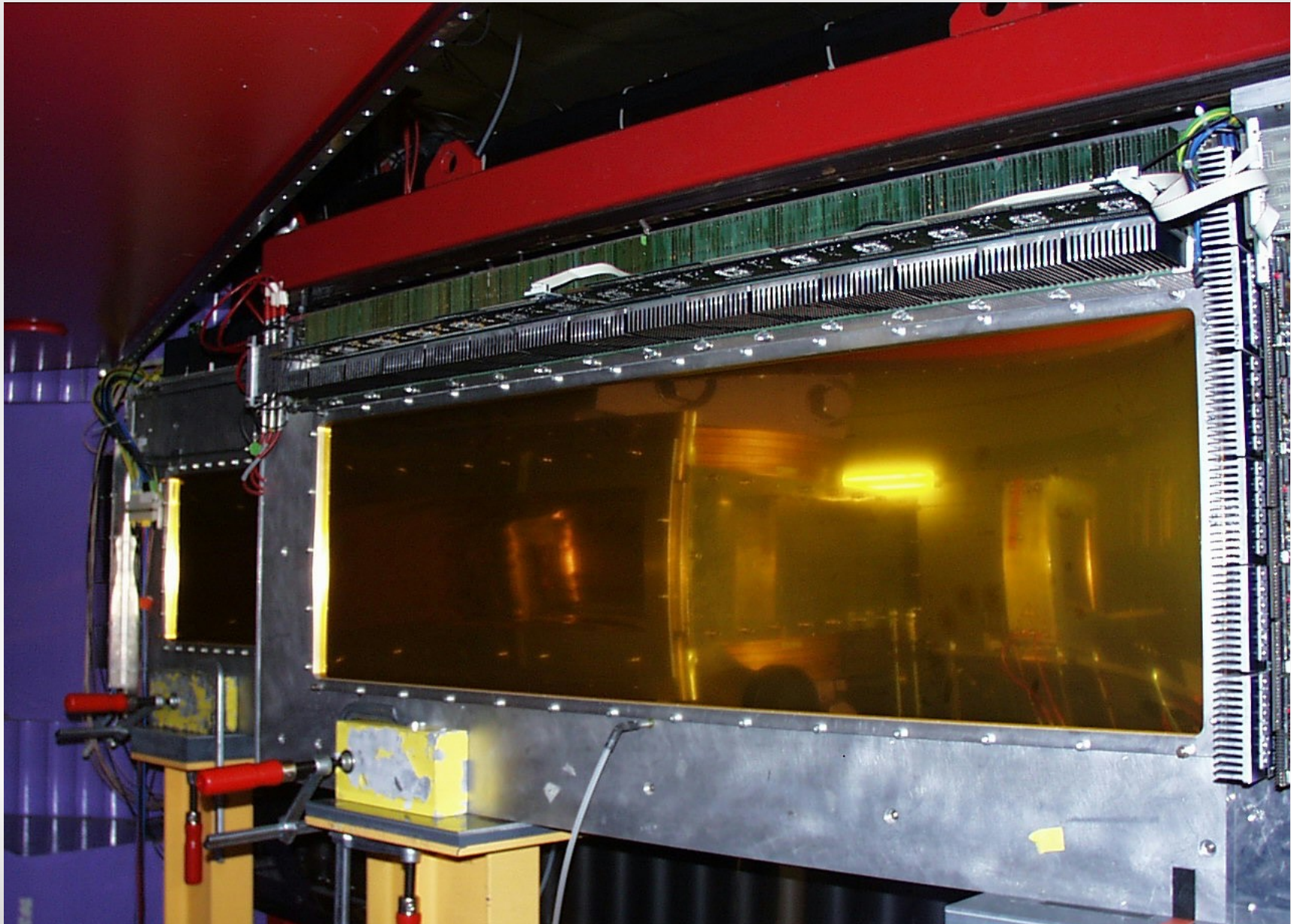


Sokszálas kamra (MWPC)

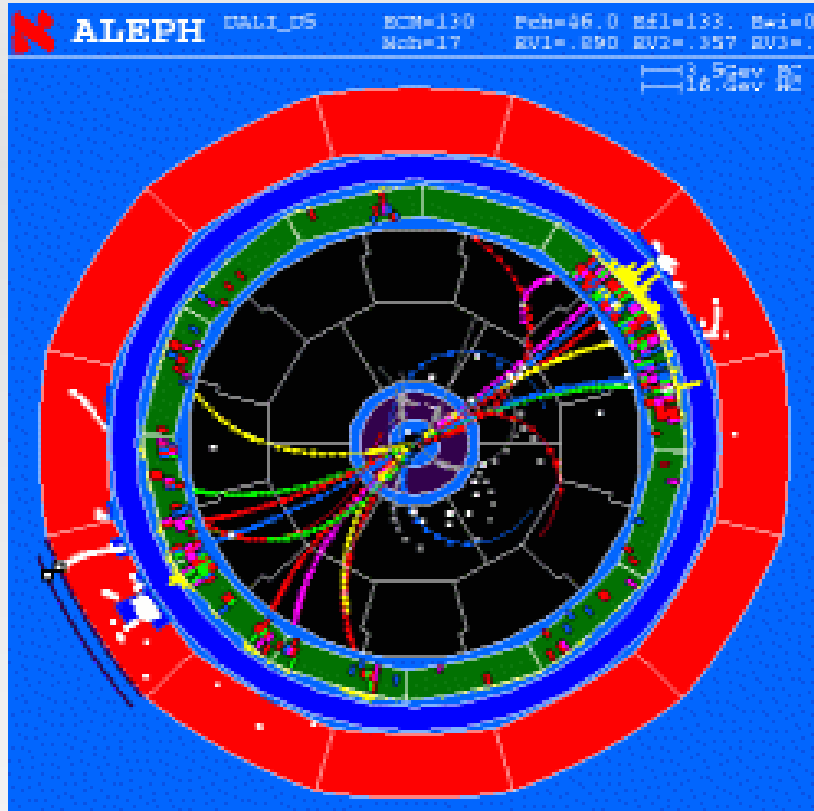
- Párhuzamos katódsíkok
- Köztük vékony szálak ($\sim 20 \mu\text{m}$)
- Nagyfeszültség $\rightarrow$ nagy térerősség a szálak körül
- Energetikus elektron-gáz ütközések
- Lavina alakul ki a szál mellett, erősítés $\sim 10^4$ - 10^6
- Parkettázható katódok, felbontás $\sim 1\text{mm}$
- 2 dimenziós adat
- Ionizáció nagysága mérhető



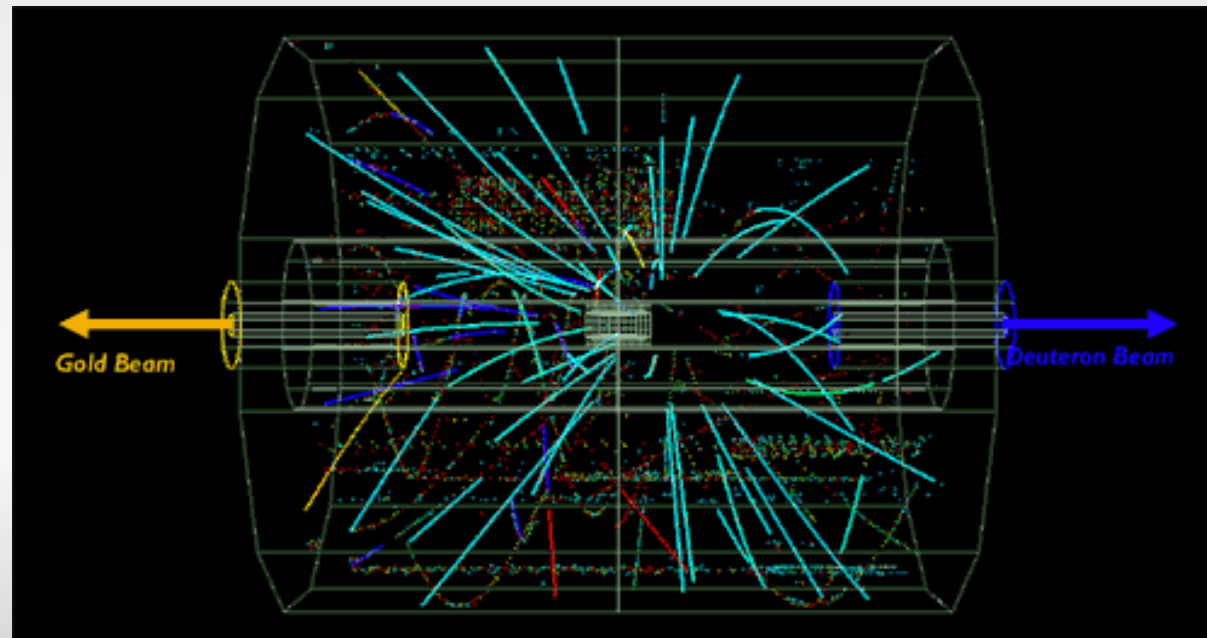
Sokszálas kamra - 2D (MWPC)



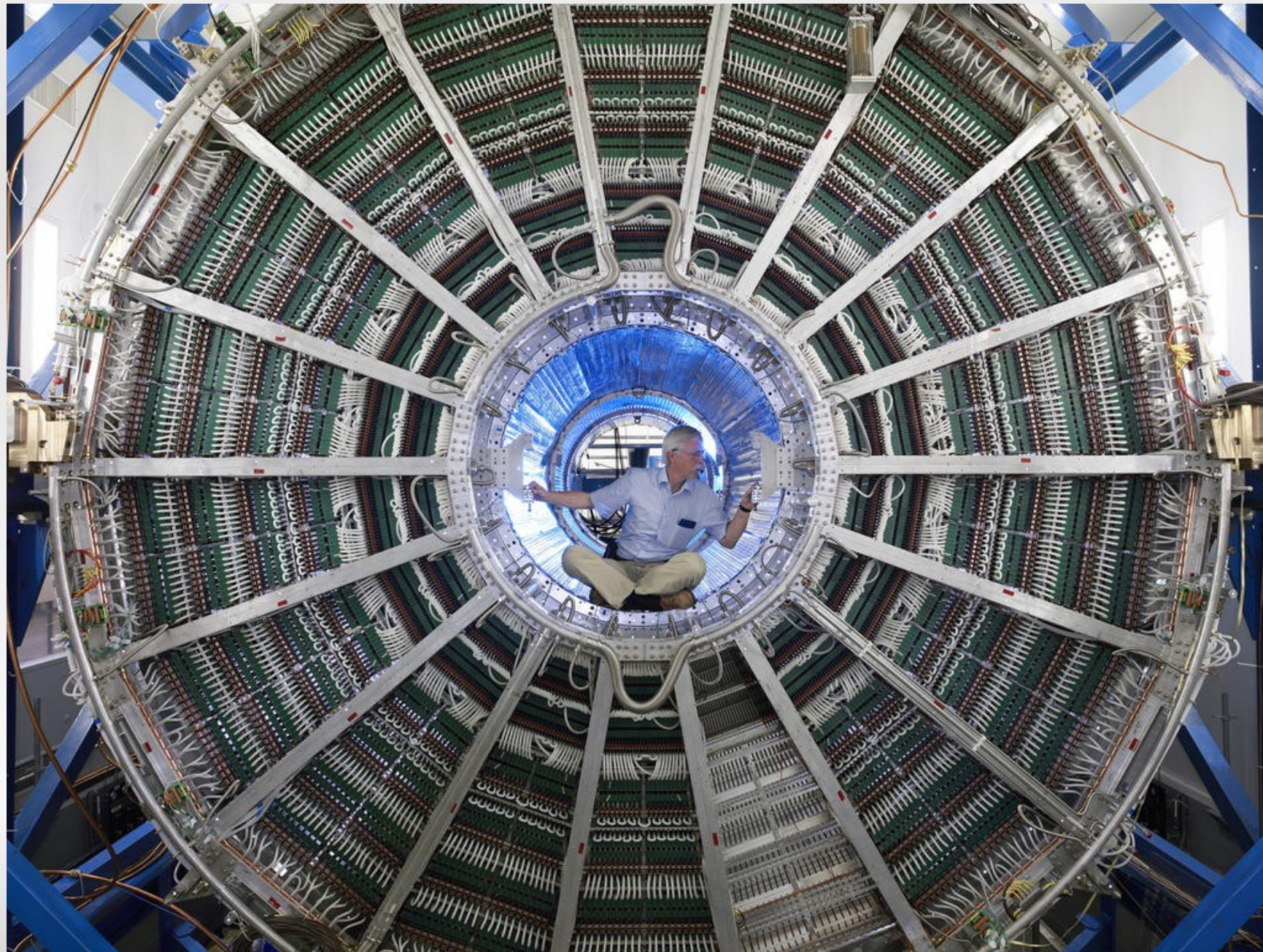
Háromdimenziós nyomkövetés



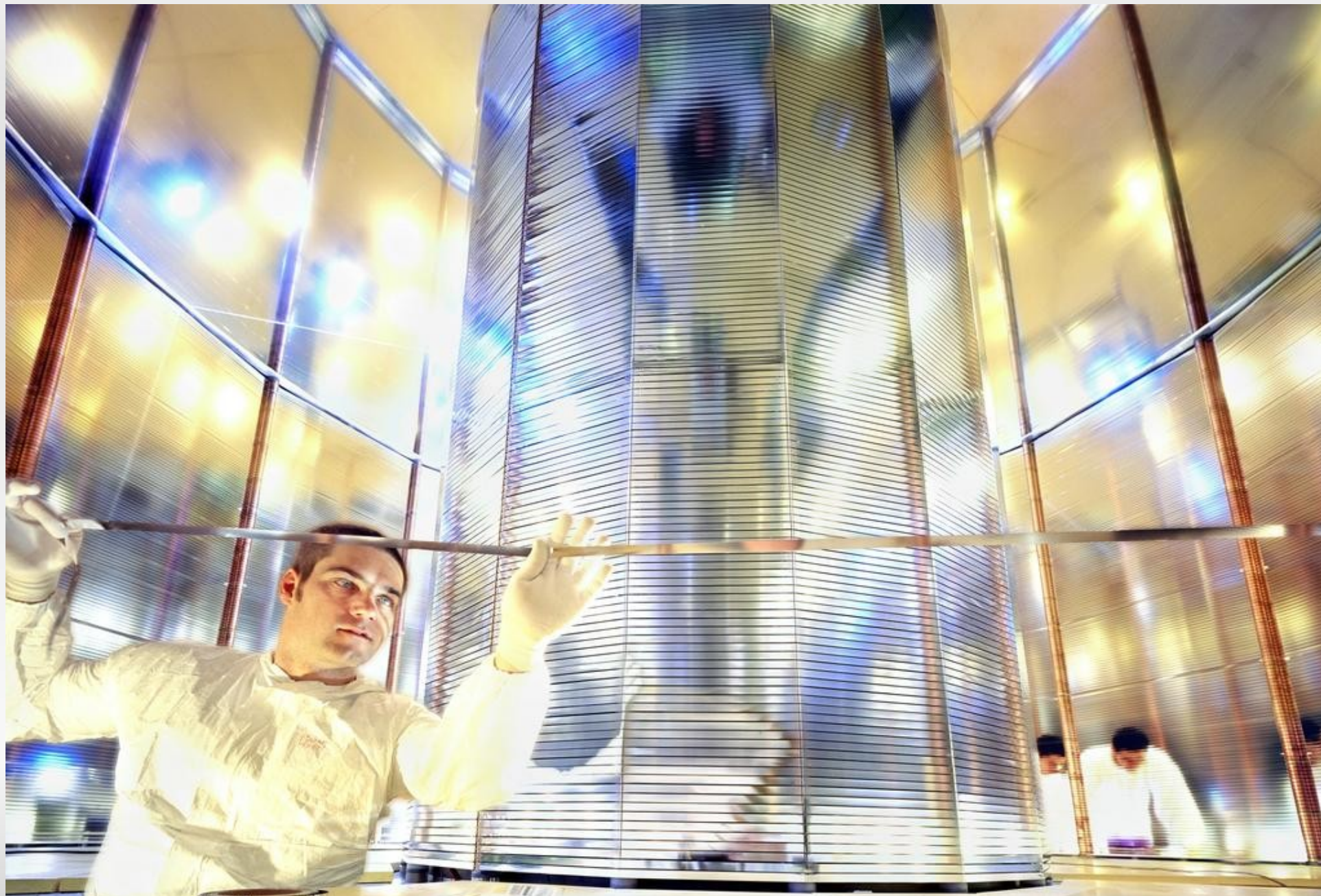
- Több réteg vagy inkább :
- Sodródási idő mérése → 3 dimenziós mérés



Sokszálas kamra - 3D (TPC)

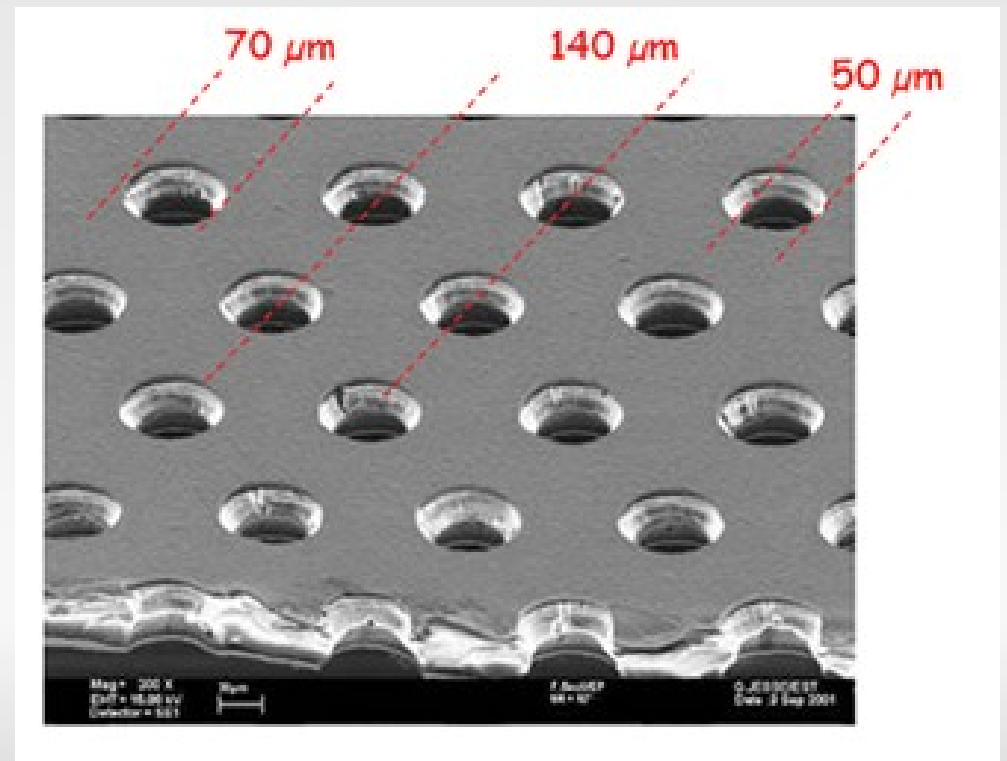
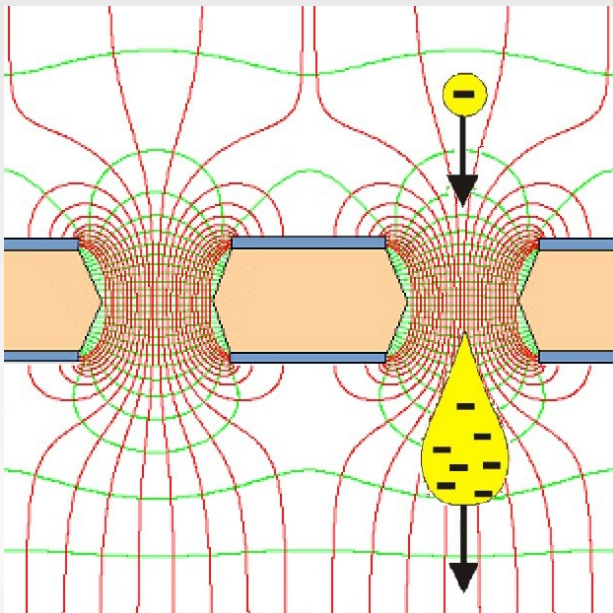


Sokszálas kamra - 3D (TPC)

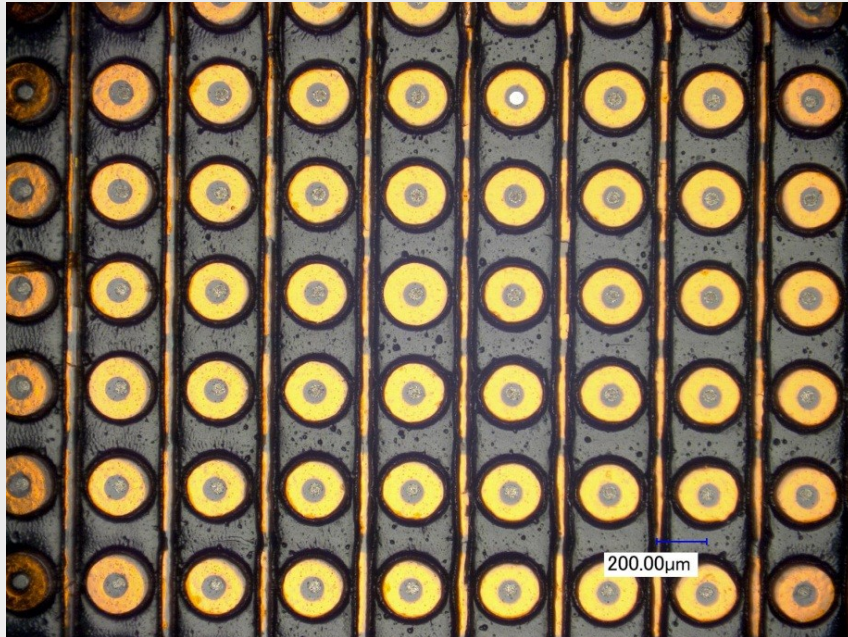


Mikrostruktúrák detektorok

- Modern technikai / kémiai módszerek
Nyomtatott áramköri lapok gyártása
- **GEM**, ThGEM, MicroMegash, InGrid, ...

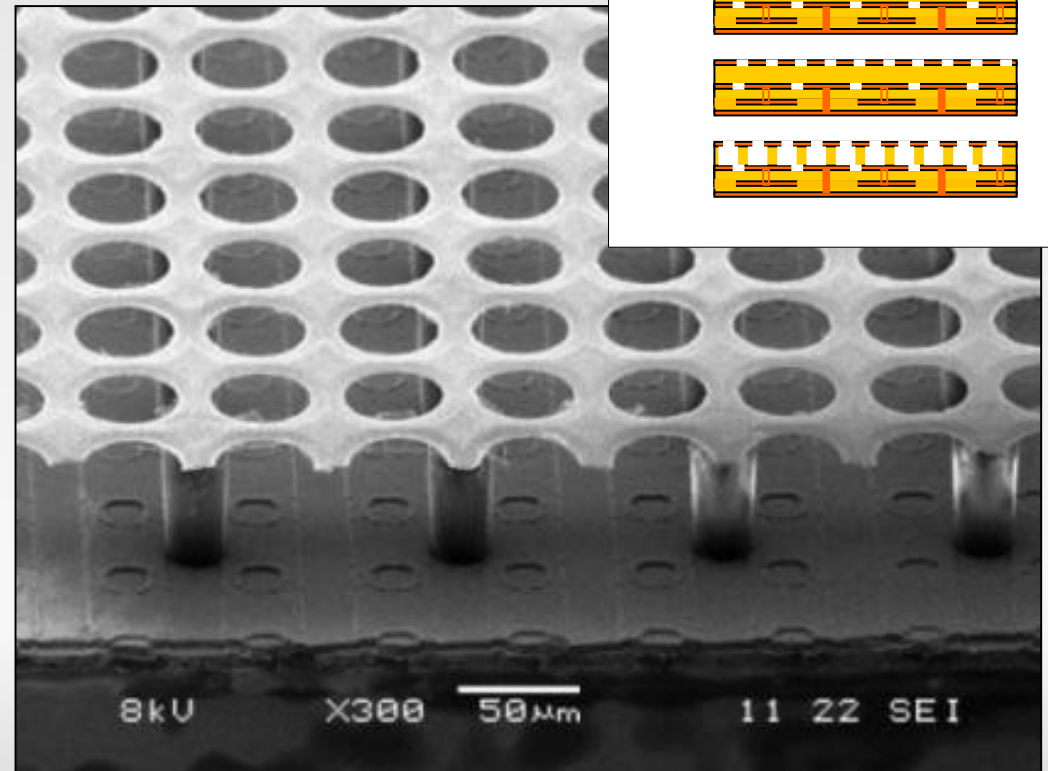
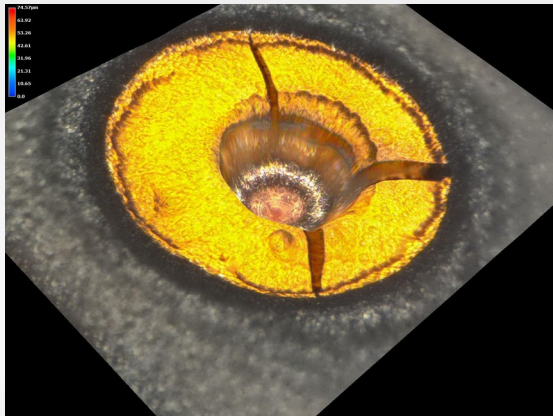
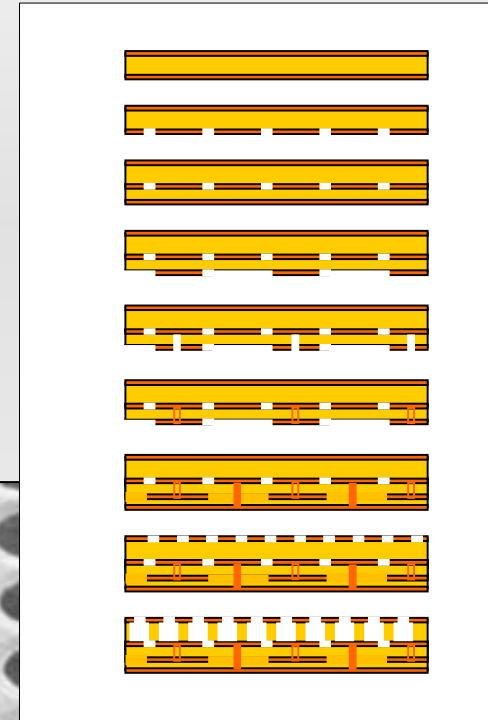


Mikrostruktúrák detektorok



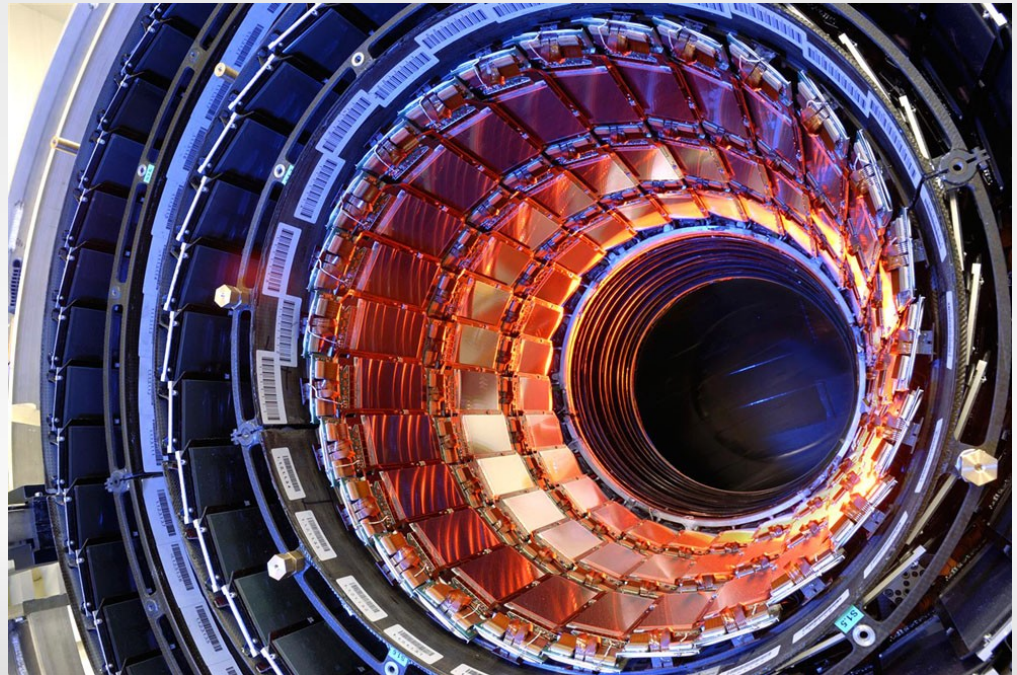
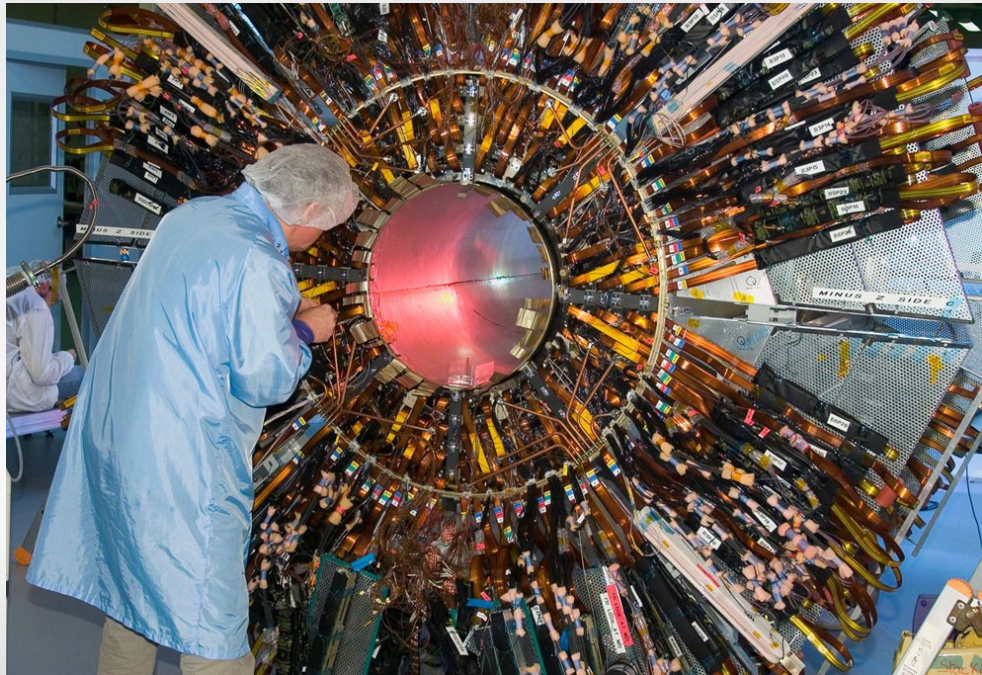
mPIC

MM, InGrid



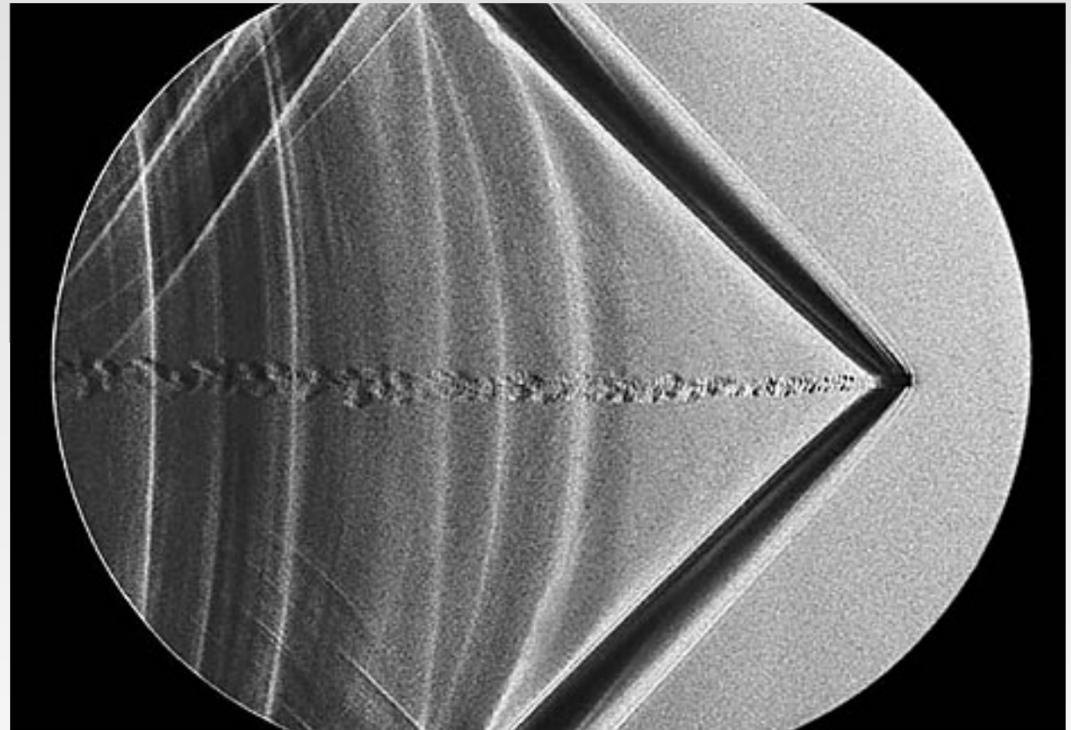
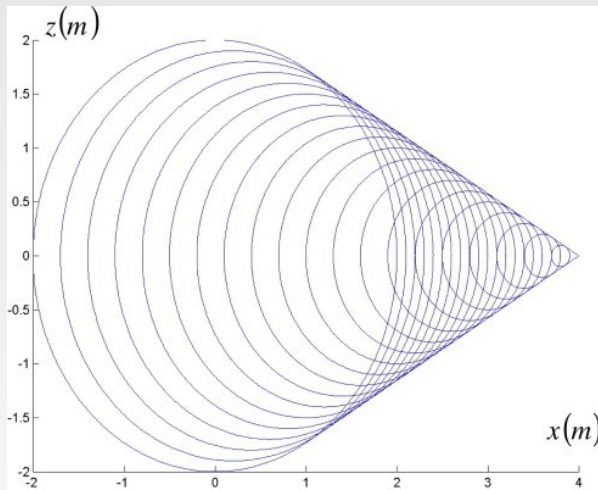
Félvezető detektorok

- Szilícium lapkák, integrált struktúrák
- Pár-tíz mikrométeres felbontás
- Kiváló az ütközési pont közelében



Cserenkov sugárzás

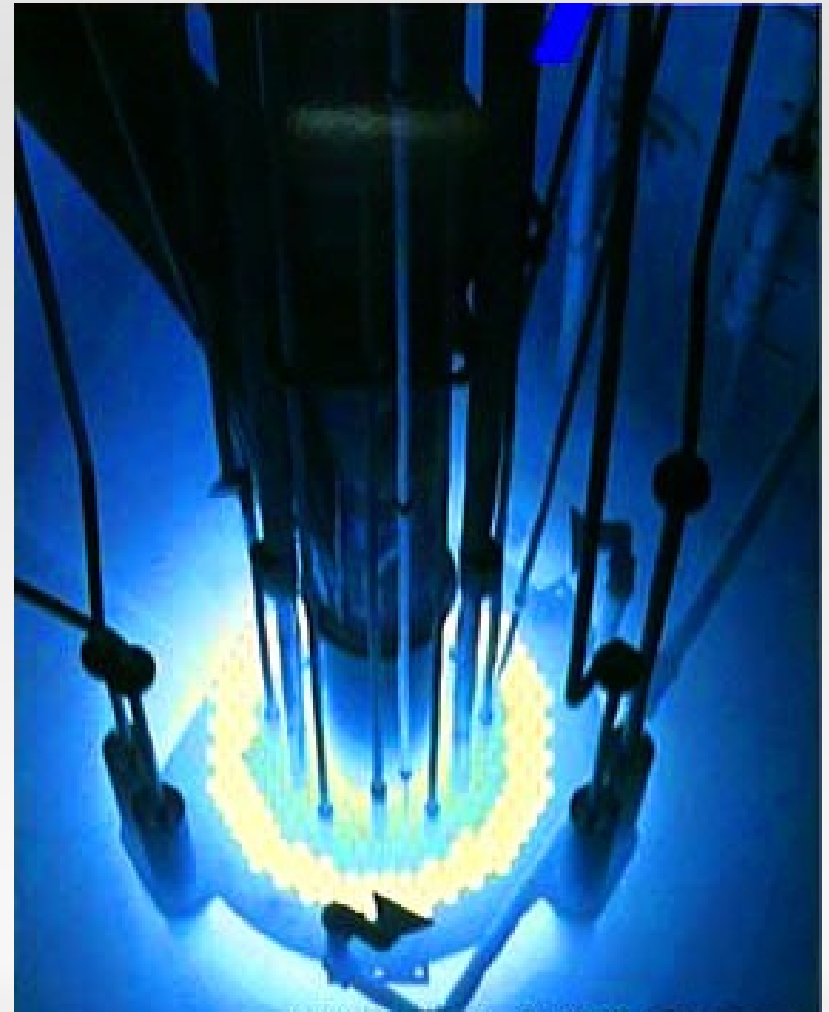
- Hangrobbanás
- Fényrobbanás ?



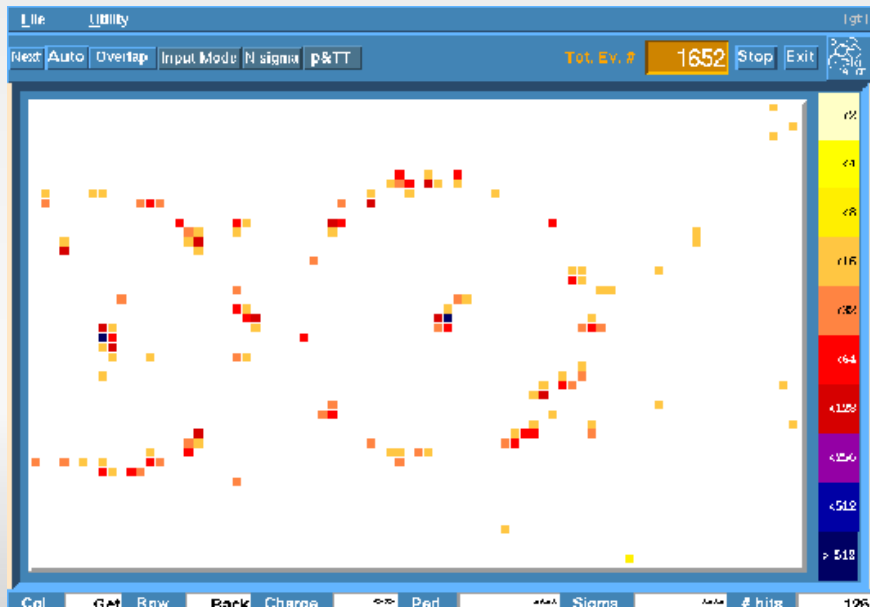
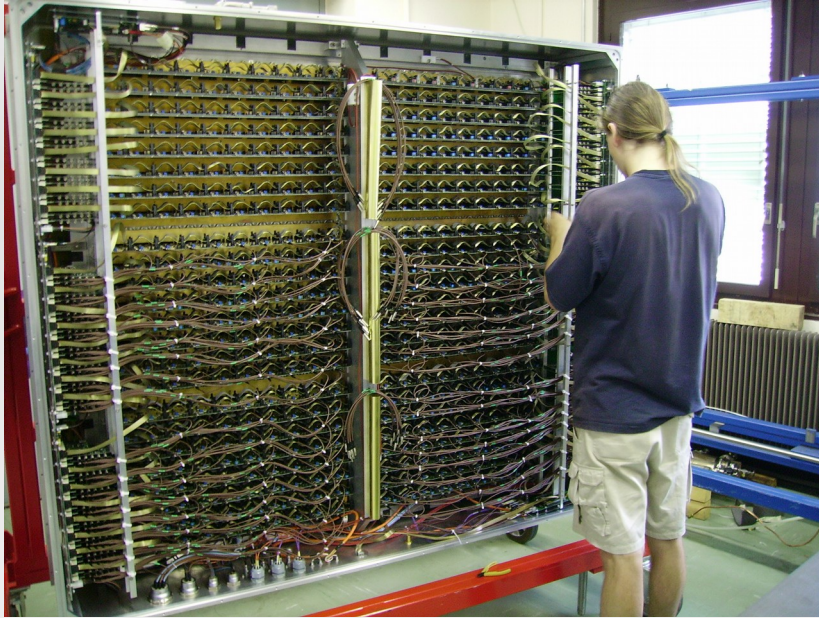
- Hogyan detektáljuk ?

Cserenkov sugárzás

- Hangrobbanás
- Fényrobbanás?
van, a neve:
Cserenkov sugárzás:
- Töltött részecske
a közegbeli
fénysebességnél
gyorsabban megy
fényt sugároz
- Hogyan detektáljuk ?

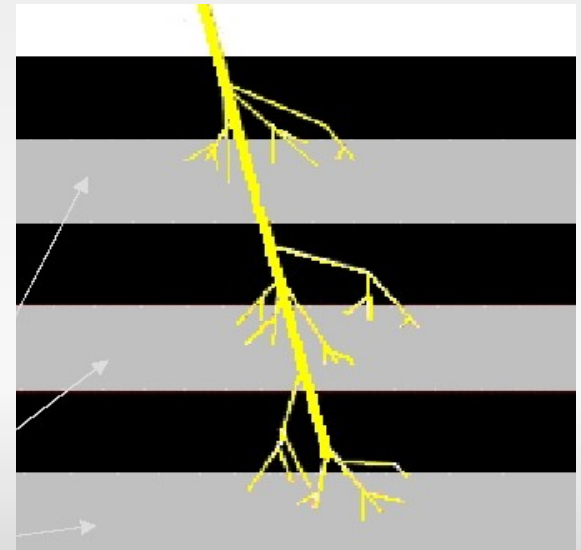
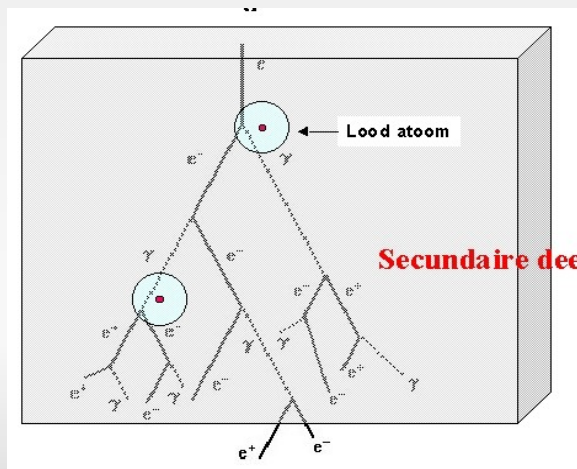


Cserenkov detektor

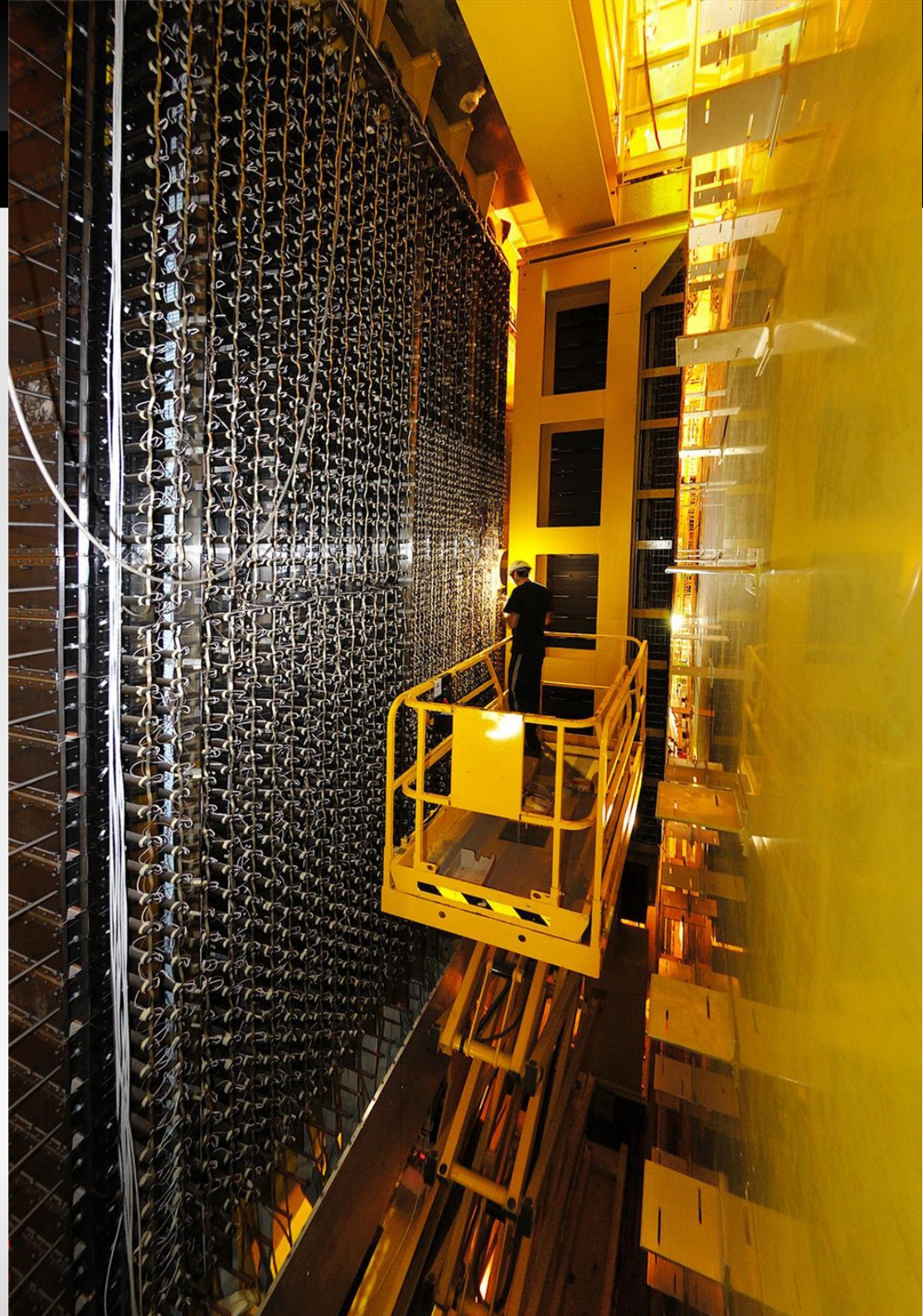
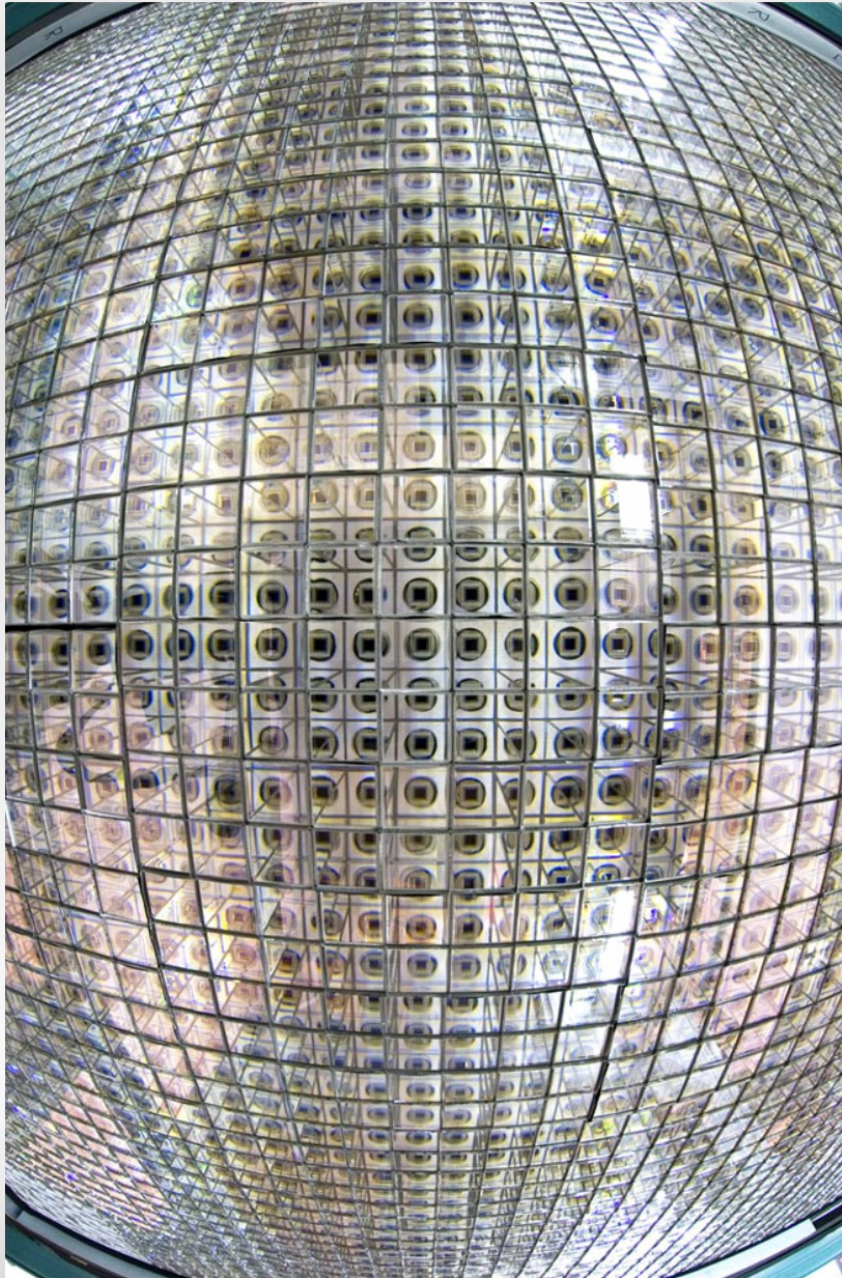


Kaloriméterek

- Részecske teljes energiáját méri
- Záport kelt (kölcsönhatás: EM,Hadr.)
- Elektromágneses kaloriméter
elektron, foton
- Hadronikus kaloriméter
hadronok (pion, proton, ...)

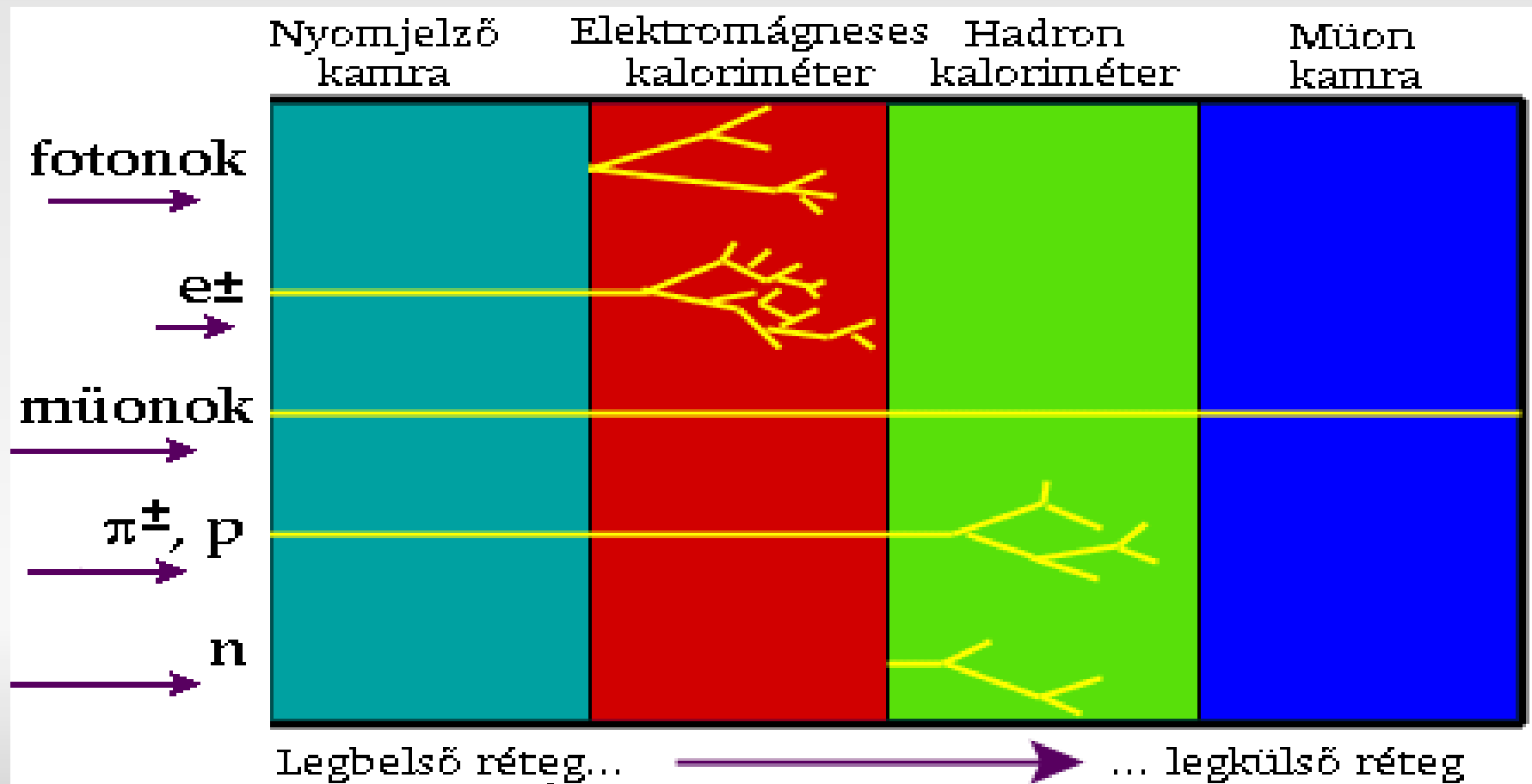


Kaloriméterek



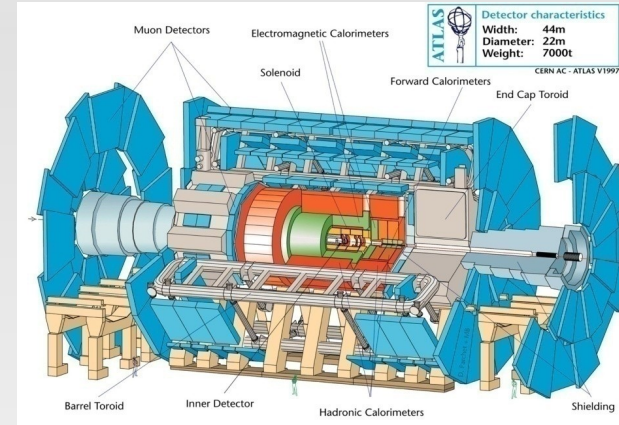
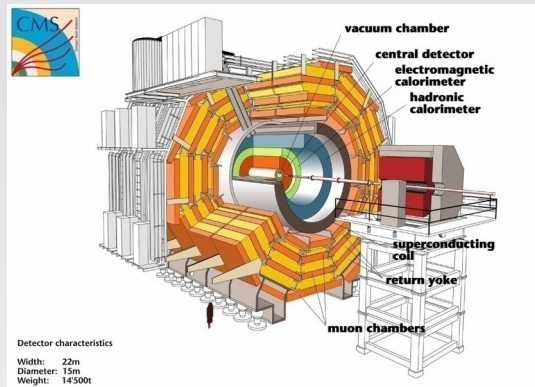
Részecskék azonosítása

- Réteges struktúra (hagyma/torta)
- + Speciális detektorok
(tipikusan sebességhez: Cserenkov, TimeOfFlight, ..)

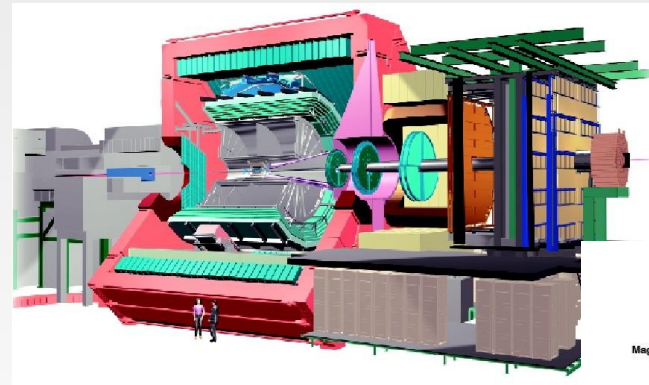


LHC nagy kísérletei

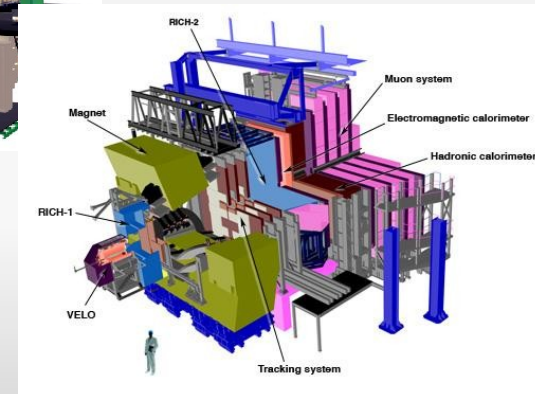
- CMS és ATLAS
 - Higgs, Extra dimenziós elméletek, Szupeszimmetria



- ALICE
 - Kvark-gluon-plaza, Kozmológia, Magfizika

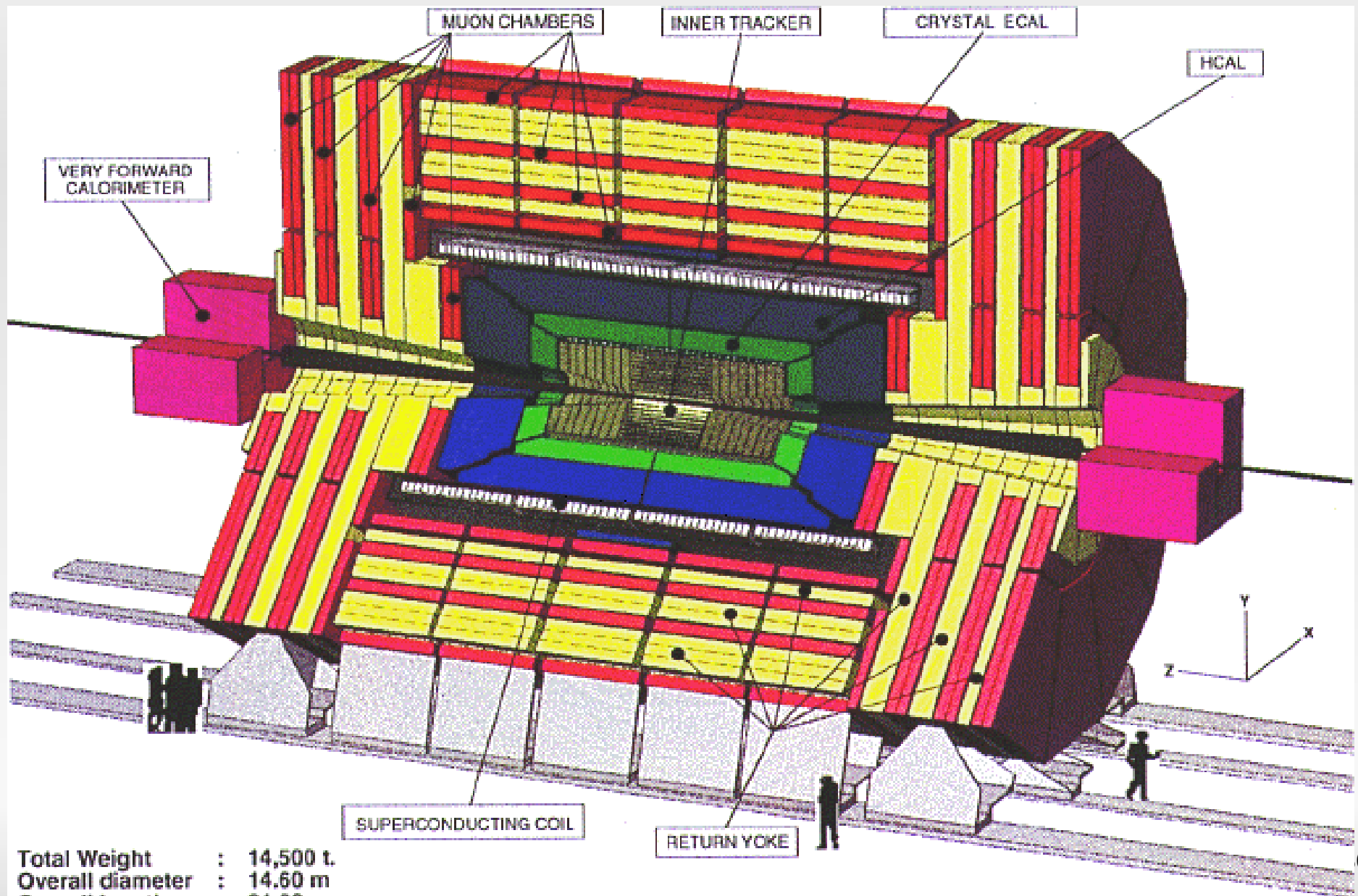


- LHCb
 - Standard modell, Bájos kvark fizikája

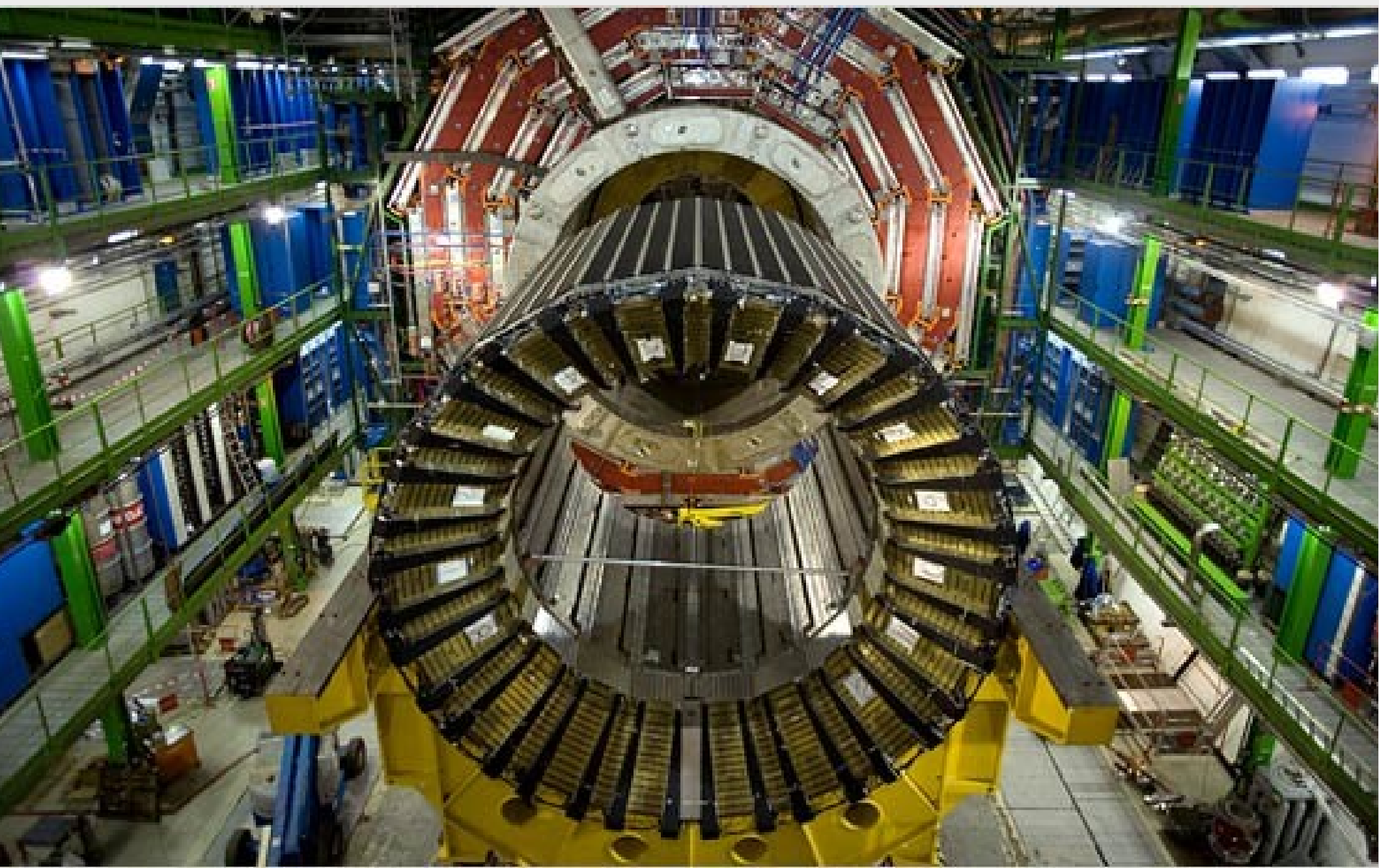


- + TOTEM, MOEDAL, CASTOR

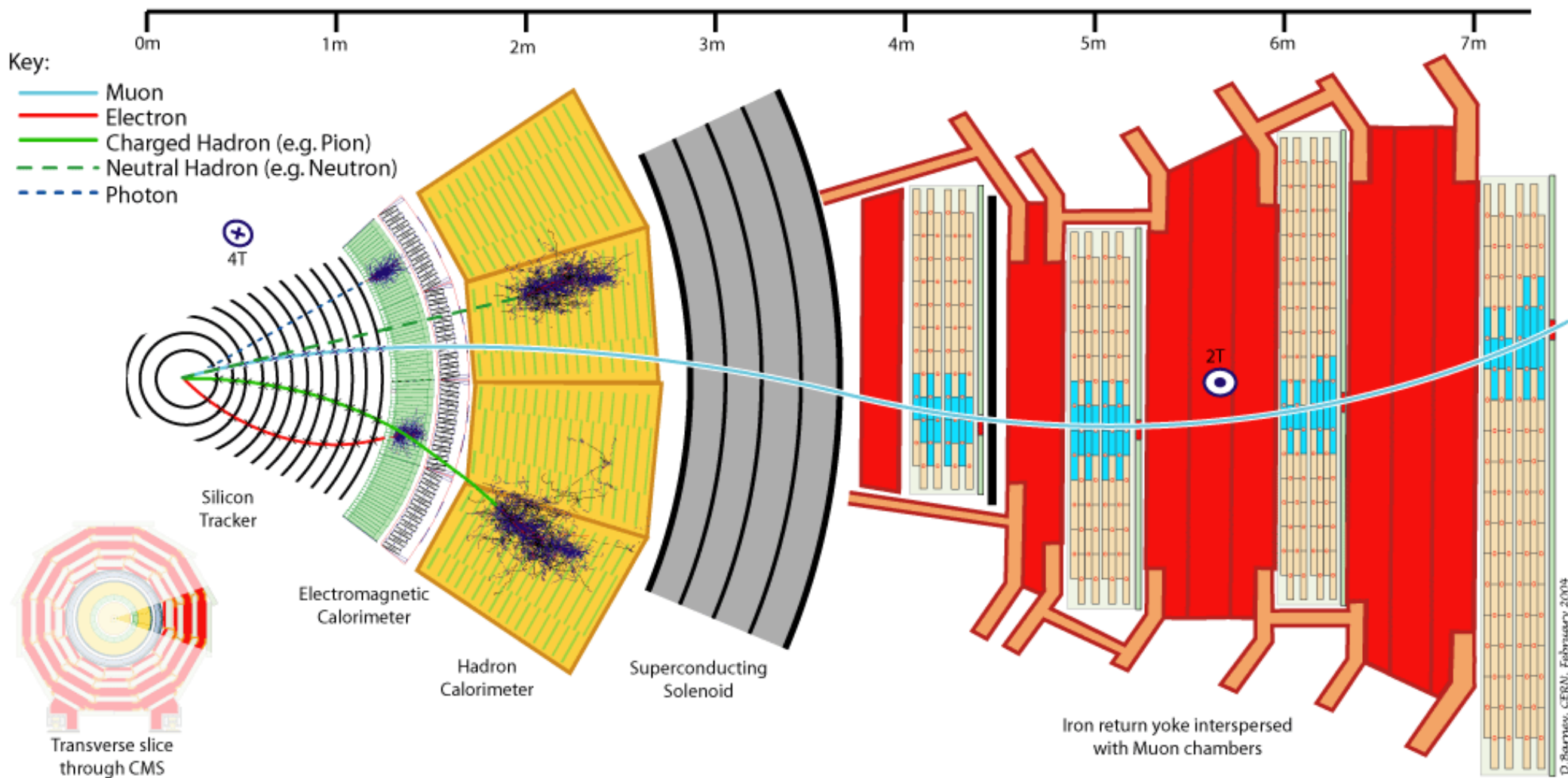
CMS az LHC-ban



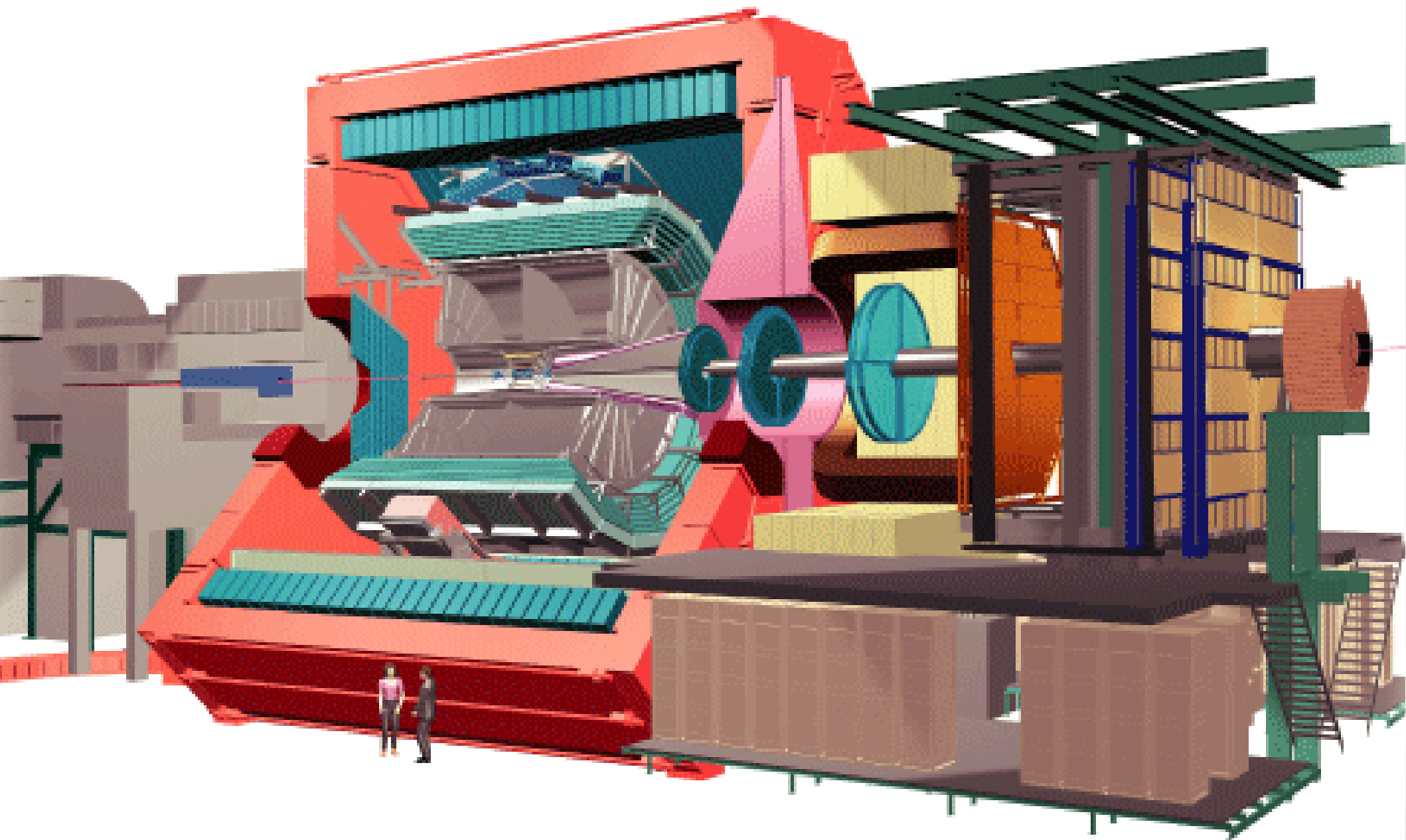
CMS az LHC-ban



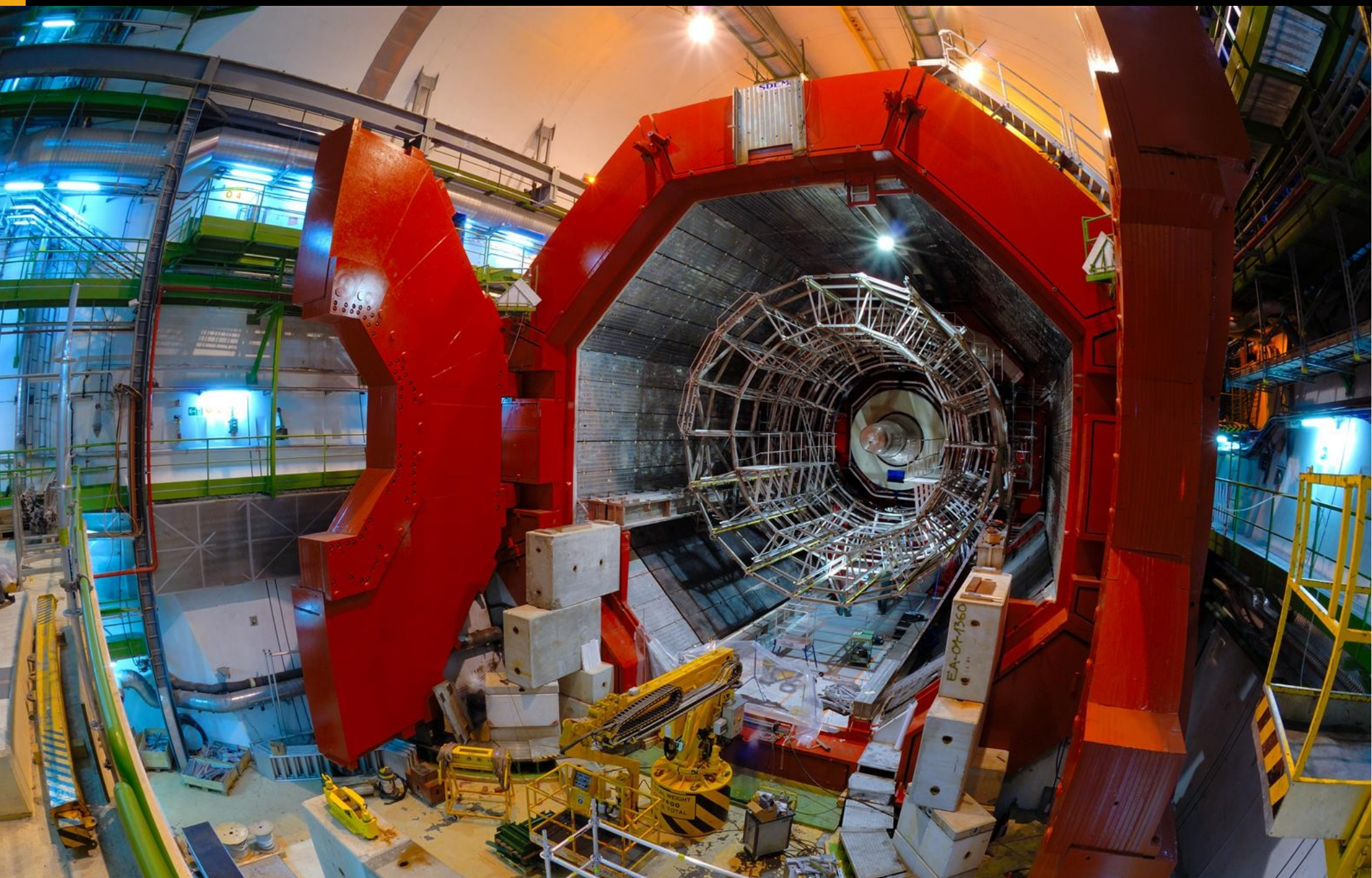
CMS részecskeazonosítása



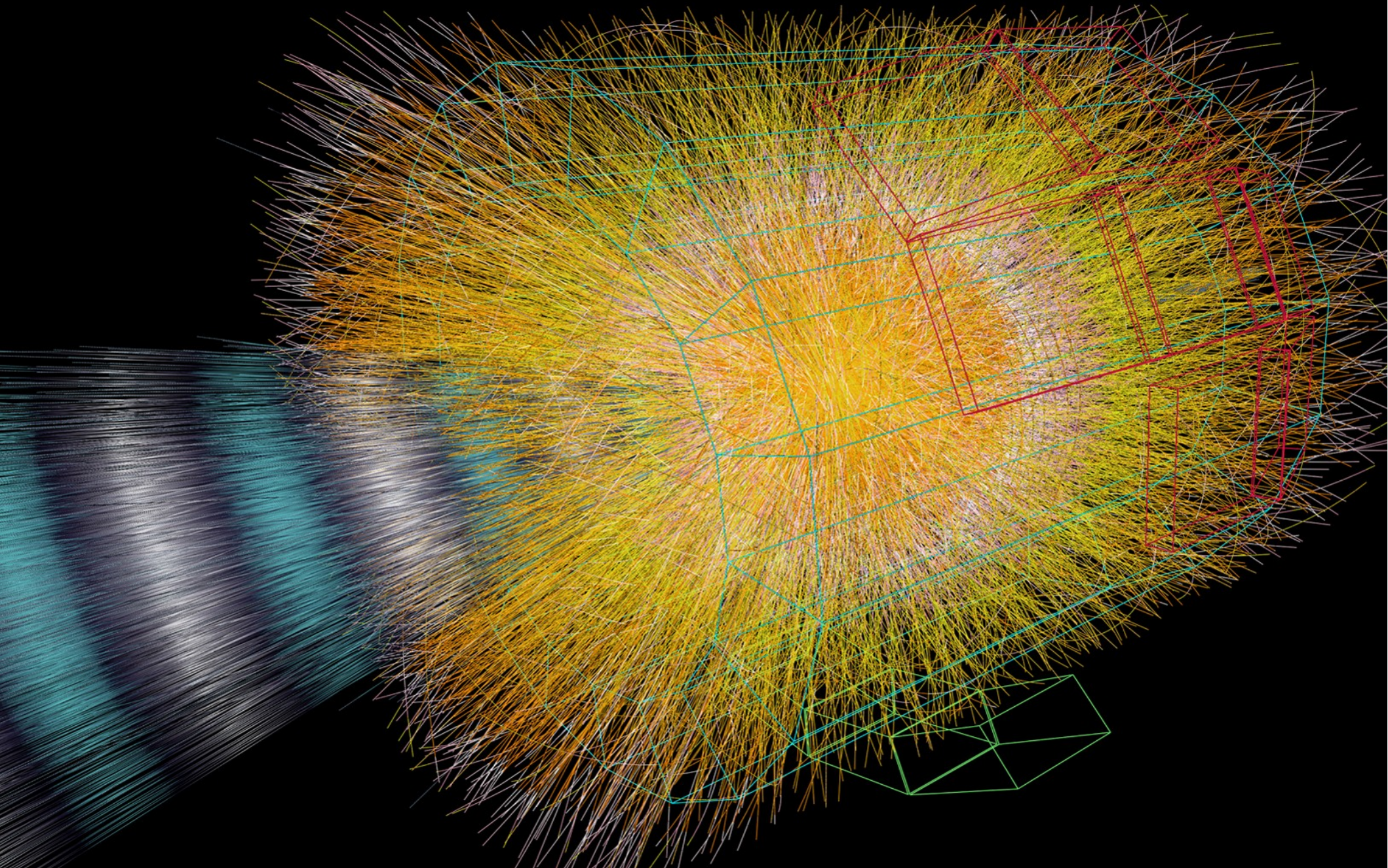
ALICE az LHC-ban



ALICE az LHC-ban

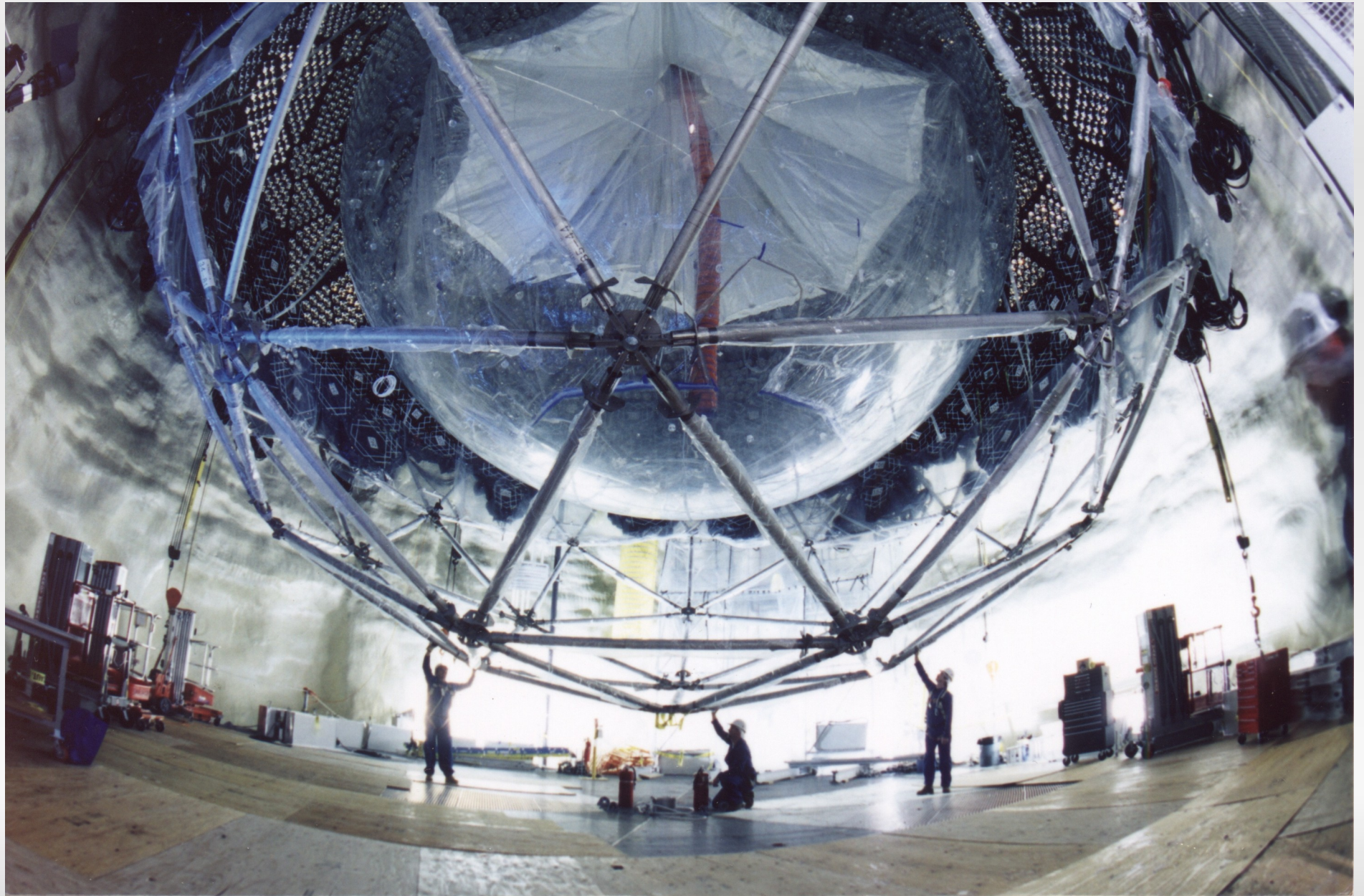


ALICE ólom-ólom esemény

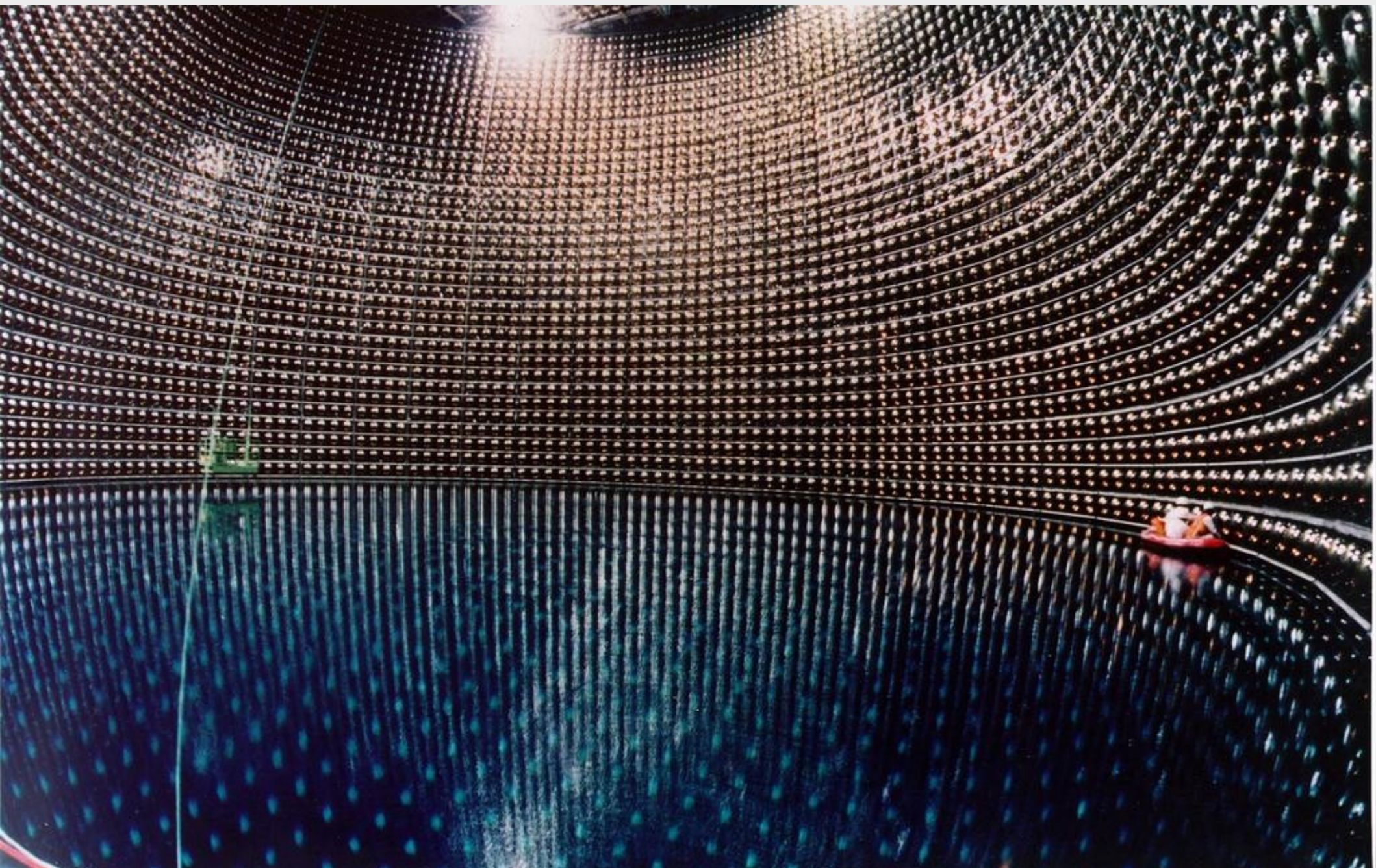


Neutrínó kísérletek

Neutrínó detektorok - SNO



Neutrínó detektorok - SK



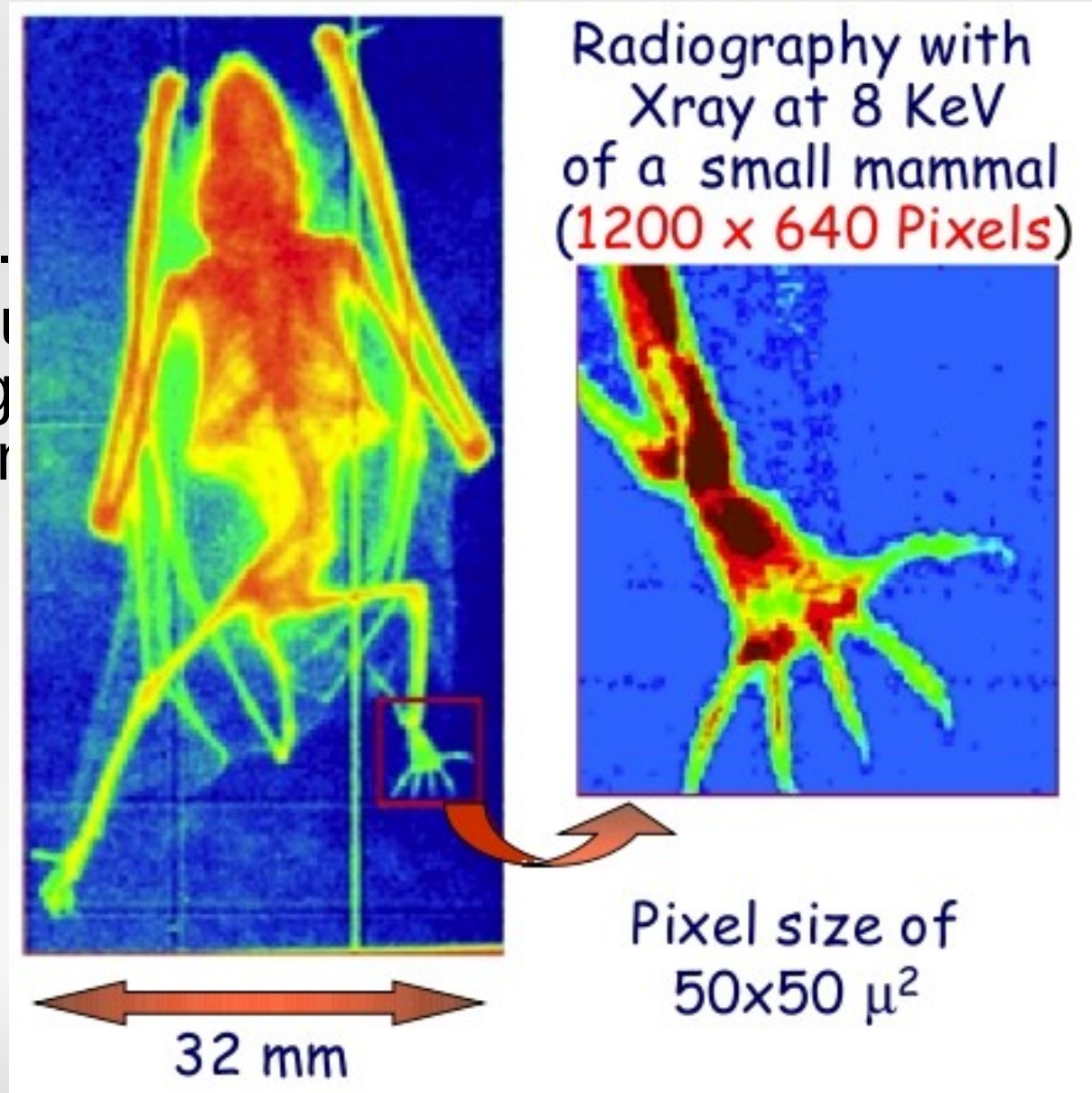
Létezik-e a
részecskefizikának gyakorlati
haszna / alkalmazása?

Gyakorlati alkalmazások

- Elméleti modellek
anyagfizika, ...
- Szupravezetők
orvosi alk : MR, ...
- Detektorok sokoldalú alkalmazása
orvosi alk : Röntgen, CT, PET, ...
ipar, reaktor technika, ...

Gyakorlati alkalmazások

- Elméleti modellek anyagfizika, ...
- Szupravezetők orvosi alk : MR, ..
- Detektorok sokoldalú orvosi alk : Röntg ipar, reaktor technika



Gyakorlati alkalmazások

- Elméleti modellek
anyagfizika, ...
- Szupravezetők
orvosi alk : MR, ...
- Detektorok sokoldalú alkalmazása
orvosi alk : Röntgen, CT, PET, ...
ipar, reaktor technika, ...
- Gyorsítók
orvosi alk: Sugárterápia, Ionterápia, ...

Gyakorlati alkalmazások

- Elméleti modellek

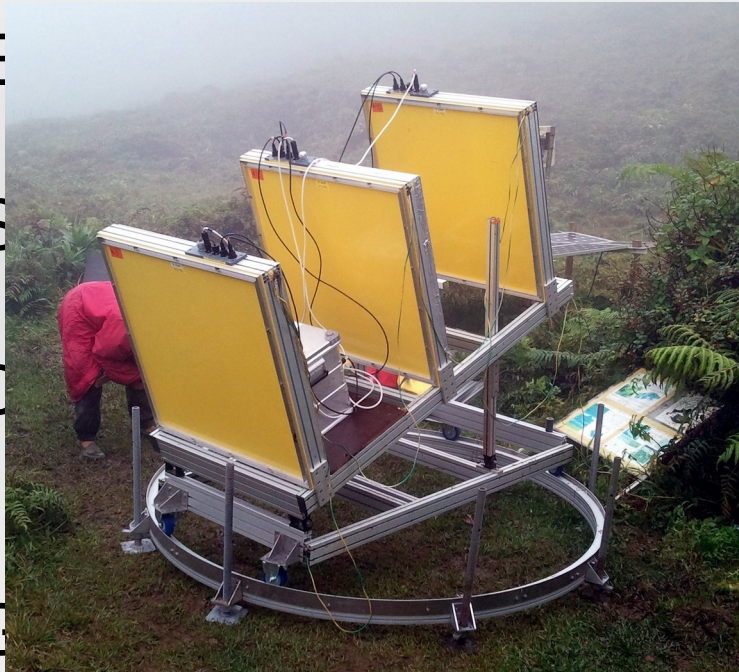


Gyakorlati alkalmazások

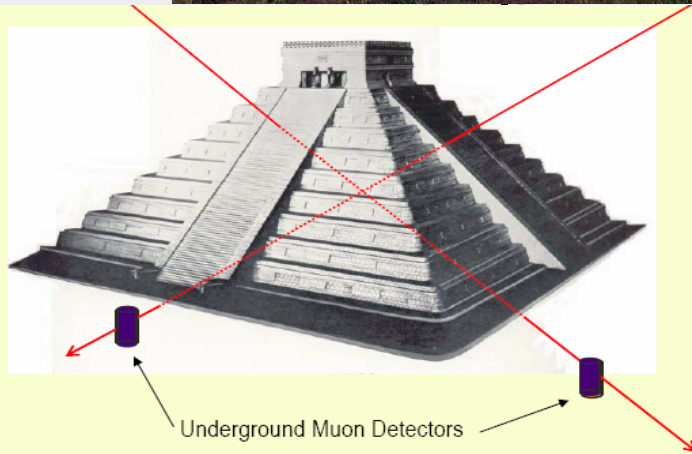
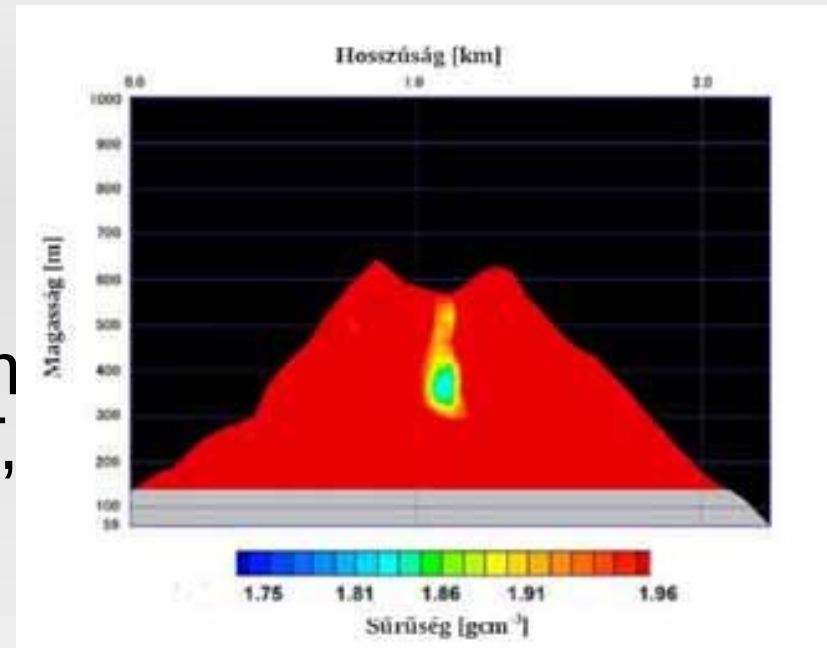
- Elméleti modellek
anyagfizika, ...
- Szupravezetők
orvosi alk : MR, ...
- Detektorok sokoldalú alkalmazása
orvosi alk : Röntgen, CT, PET, ...
ipar, reaktor technika, ...
- Gyorsítók
orvosi alk: Sugárterápia, Ionterápia, ...
- Kozmikus sugárzás
szerkezetvizsgálat, nemzetvédelem, ...

Gyakorlati alkalmazások

- E
- S
- D
- C



káln
CT,
a, ...



Gyakorlati alkalmazások

- Elméleti modellek
anyagfizika, ...
- Szupravezetők
orvosi alk : MR, ...
- Detektorok sokoldalú alkalmazása
orvosi alk : Röntgen, CT, PET, ...
ipar, reaktor technika, ...
- Gyorsítók
orvosi alk: Sugárterápia, Ionterápia, ...
- Kozmikus sugárzás
szerkezetvizsgálat, nemzetvédelem, ...
- IT háttér
grid, www, genom számítások, ...
- Analízis + szimulációs módszerek
orvosi eszközfejlesztés, ...

Köszönöm a figyelmet

