

# Detektorok

Fodor Zoltán

MTA Wigner FK RMI

Hungarian Teachers Programme 2013



- A természetben is lejátszódó eseményeket ismételjük meg kontrollált módon, hogy meg tudjuk figyelni
- Mi kell hozzá:
  - Gyorsítók, amelyek a vizsgálandó részecskéknek elegendő energiát adnak.
  - Detektorok, amelyekkel megfigyeljük, hogy mi is történt, ezek a mini világ mikroszkópjai.

A **CERN**-ben ezeket találjuk meg:  
Gyorsító komplexumot és  
Detektorokat

- **Mit is nevezünk detektornak?**
  - Az egyszerű részecske áthaladást kimutató műszert
  - Összetettebb nyomkövető egységet
  - Egész, akár egy épületnyi, detektorrendszert, amely az előzőkből épül fel.
- A nagyobb detektor rendszerek a CERN-ben:
  - LHC: **CMS**, ATLAS, **ALICE**, **TOTEM**, LHCb, LHCf
  - SPS: **NA61/SHINE**, COMPASS, NA62

Magyar részvétellel

## Minden keletkező részecskére

- kilépési iránya
- tömege
- töltése
- sebessége
- energiája
- bizonyos esetekben a hiányzó energia

## Használt mennyiségek

lendület:  $p = m \cdot v$ , egysége GeV/c

mágneses térben való eltérülésnél ez határozza meg a görbületet

relativisztikus energia egysége: GeV

tömeg: GeV/c<sup>2</sup>

- Görbület méréséből  $\rightarrow q \cdot m \cdot v$
- Fajlagos energia veszteségből  $\rightarrow q^2 \cdot v$   
 /A detektálható részecske energia vesztesége anyagon való áthaladásakor/
- Repülési idő méréséből  $\rightarrow v$

- A mérés kezdete: a bombázó részecske belépése a rendszerbe
- A mérés vége: a részecske becsapódása a detektorba
- A bombázó részecske repülési ideje a céltárgyig állandó
- A keletkezett részecske által megtett út az impulzusától függ a mágneses tér miatt
- A mérés relatív, mert csak a különböző részecskék között repülési idő különbséget kell mérni.
- Az NA49/NA61-es kísérletnél a repülési út  $\sim 14\text{m}$ , a szükséges pontosság 60-80 ps, az egyik rendszert a KFKI készítette és ezért BUDAFAL a neve.

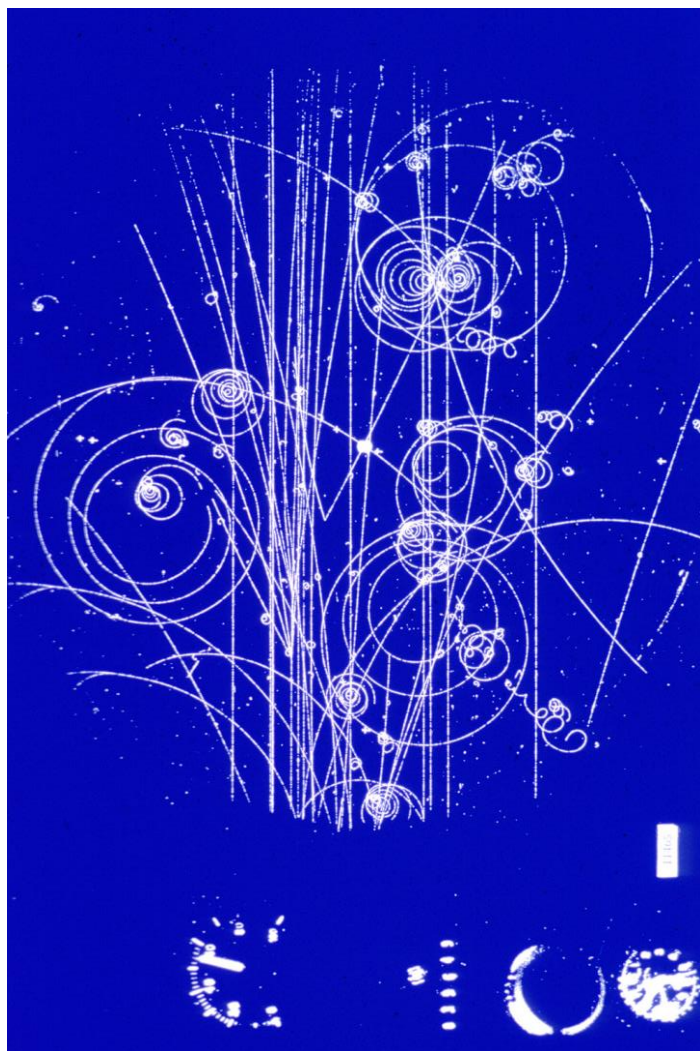
- **Nyaláb**
  - a gyorsítóval előállított felgyorsított részecskék vagy kölcsönhatásban keletkező részecskékből kialakított részecske folyam
- **Detektor elemek**
  - a reakcióban keletkezett részecskéket megfigyelő rendszer
- **Trigger rendszer**
  - kiválasztja a megfigyelni kívánt ütközéseket
- **Adatgyűjtő rendszer**
  - összegyűjti a detektorok adatait a különböző detektorokról és csoportosítja az egy adott ütközéshez tartozókat.
- **Adatfeldolgozás**
  - A mért adatokból /feszültség, áram, töltés idő,.. / meghatározza a detektált részecskék tulajdonságait, majd azokból további mennyiségeket származtat és analizálja azokat.

- **Töltött részecskék esetén felhasznált folyamatok:**
  - Ionizáció
  - Cserenkov sugárzás
  - Határátmeneti sugárzás
  - Reakciókban keletkezett termékek
- **Semleges részecskék esetén:**
  - $\gamma$  részecskék, fotonok – az anyag gerjesztése, majd fény kibocsátással való legerjedése
  - Neutron – kölcsönhatás után keletkezett részecskék detektálásával, leginkább np szórás
  - Bomló részecskék – bomlási termékek detektálásával, amit a nyomdetektorokban látható tipikus alakja után  $V_0$  hívnak
  - Neutrínó – az elektronnal való kölcsönhatásban keletkező töltött részecskék detektálásával.

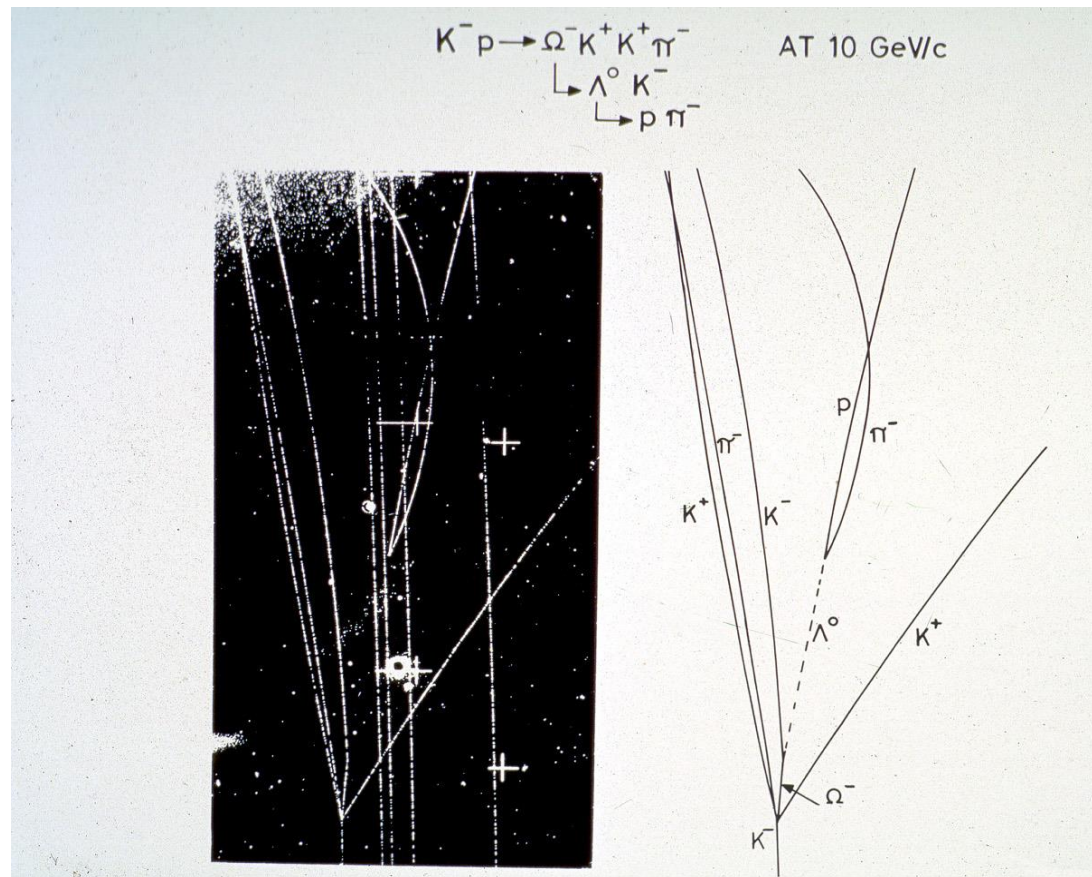


- Részecske detektálása adott anyagon való áthaladás után
- Részecske áthaladásának detektálása mágneses térrel kombinálva
- Részecske energia leadásának és sebességének mérése
- Korrelációk mérése több detektorral, amikor legalább 2 részecskét megmérnek egy ugyanazon ütközésben
- Nyomdetektálás
  - Fényképezéssel /ködkamra, buborékkamra, streamer kamra, ...../
  - Elektronikusan /TPC,.../
- Kinematikailag teljes mérés /az összes keletkezett részecskét detektáljuk, nagy energián szinte megvalósíthatatlan/

- Nyomdetektorok
  - Emulziók, köd-, buborék, szikra kamrák
  - A keletkezett ionizációs elektronokat teszik láthatóvá különböző módokon
- Gázalapú detektorok
  - Ionizációs, proporcionális, idő projekciós kamrák, ....
  - Az ionizációban keletkezett elektronokat mérik meg
- Félvezető alapú detektorok
  - Pixel vagy csík detektorok
- Szcintillációs detektorok
  - A gerjesztett vagy ionizált atomok legerjesztődésénél keletkezett fényt mérjük meg.
- Kaloriméterek
  - A beeső részecske energiájával arányos másodlagos részecskét keltenek és a jel arányos ezzel a számmal

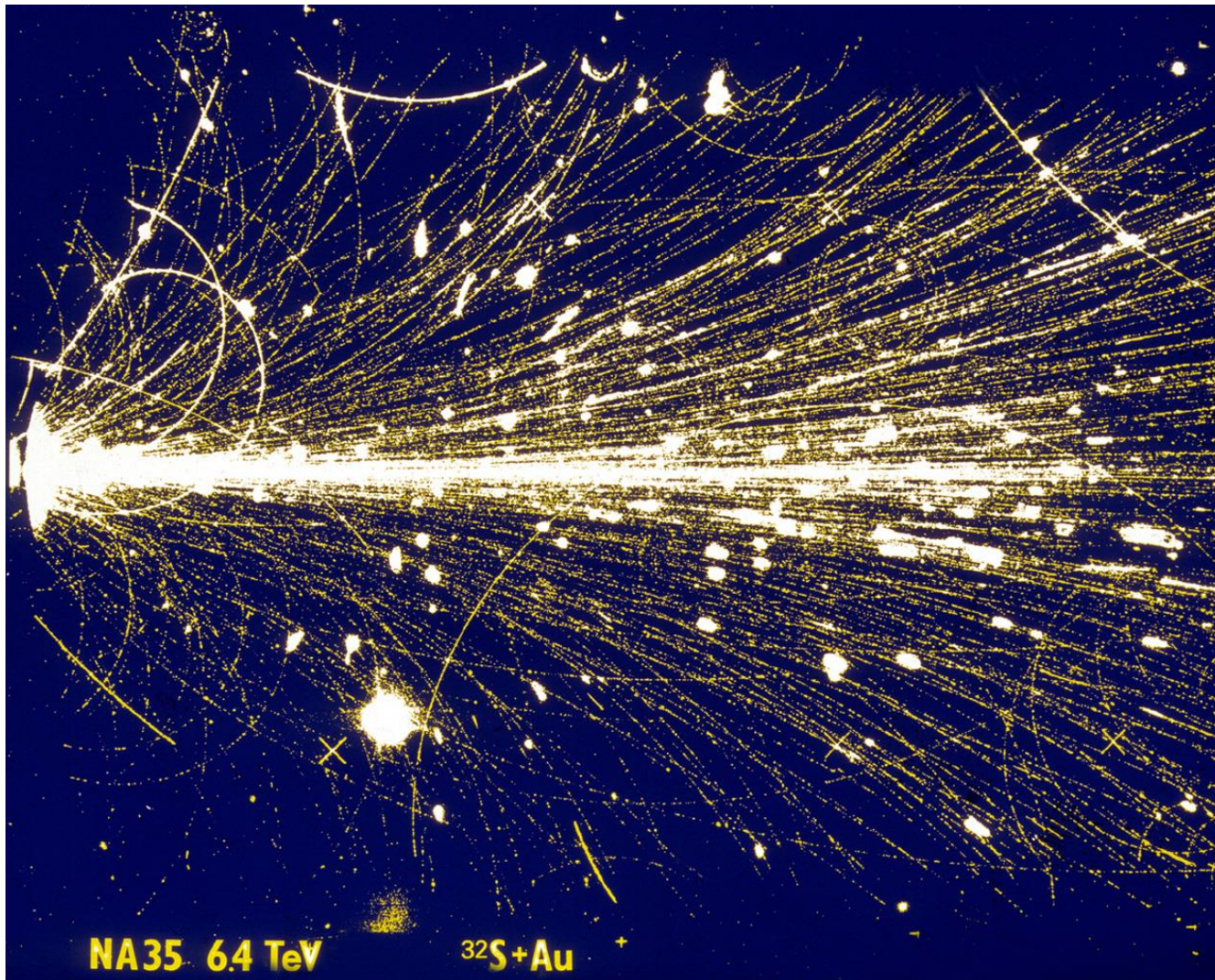


16 GeV –  $\pi^-$  nyaláb, folyékony hidrogén buborékkamrás felvétel



Az  $\Omega^-$  részecske keltése és bomlása, buborékkamrás felvételen

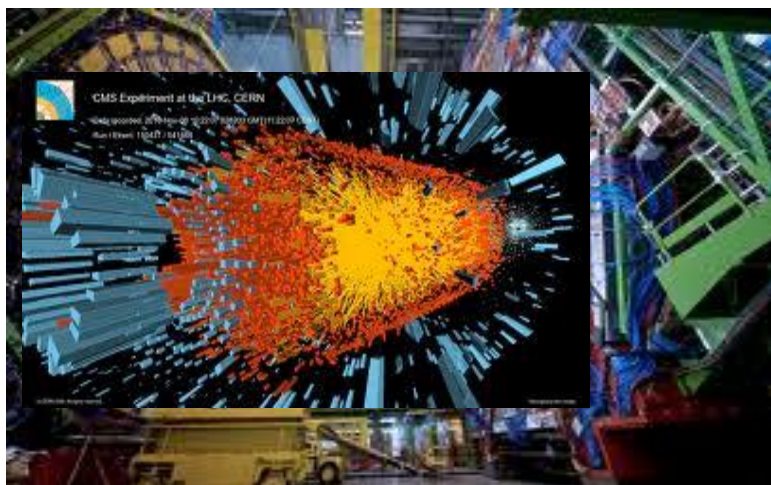




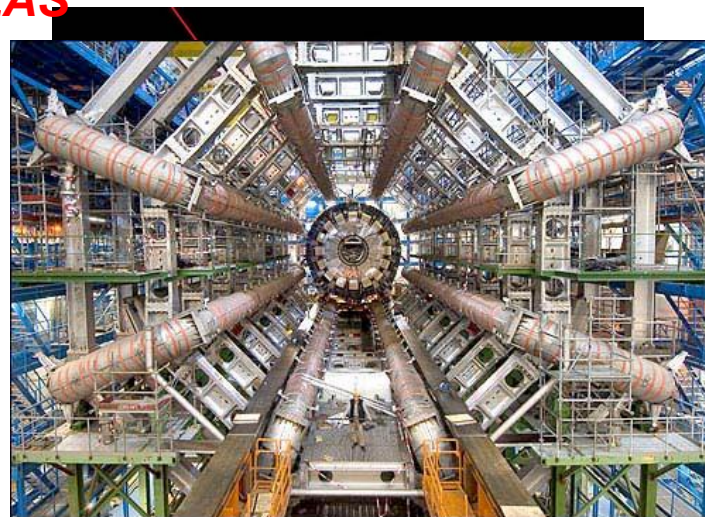
6400 GeV energiájú kénmagok arany céltárgyon



# CMS



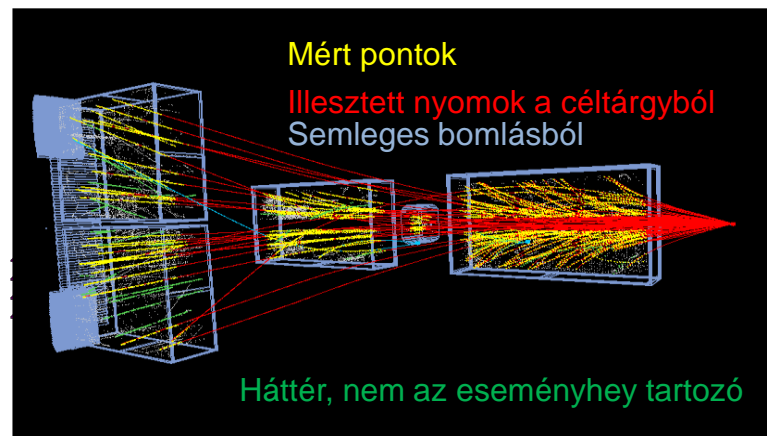
# ATLAS

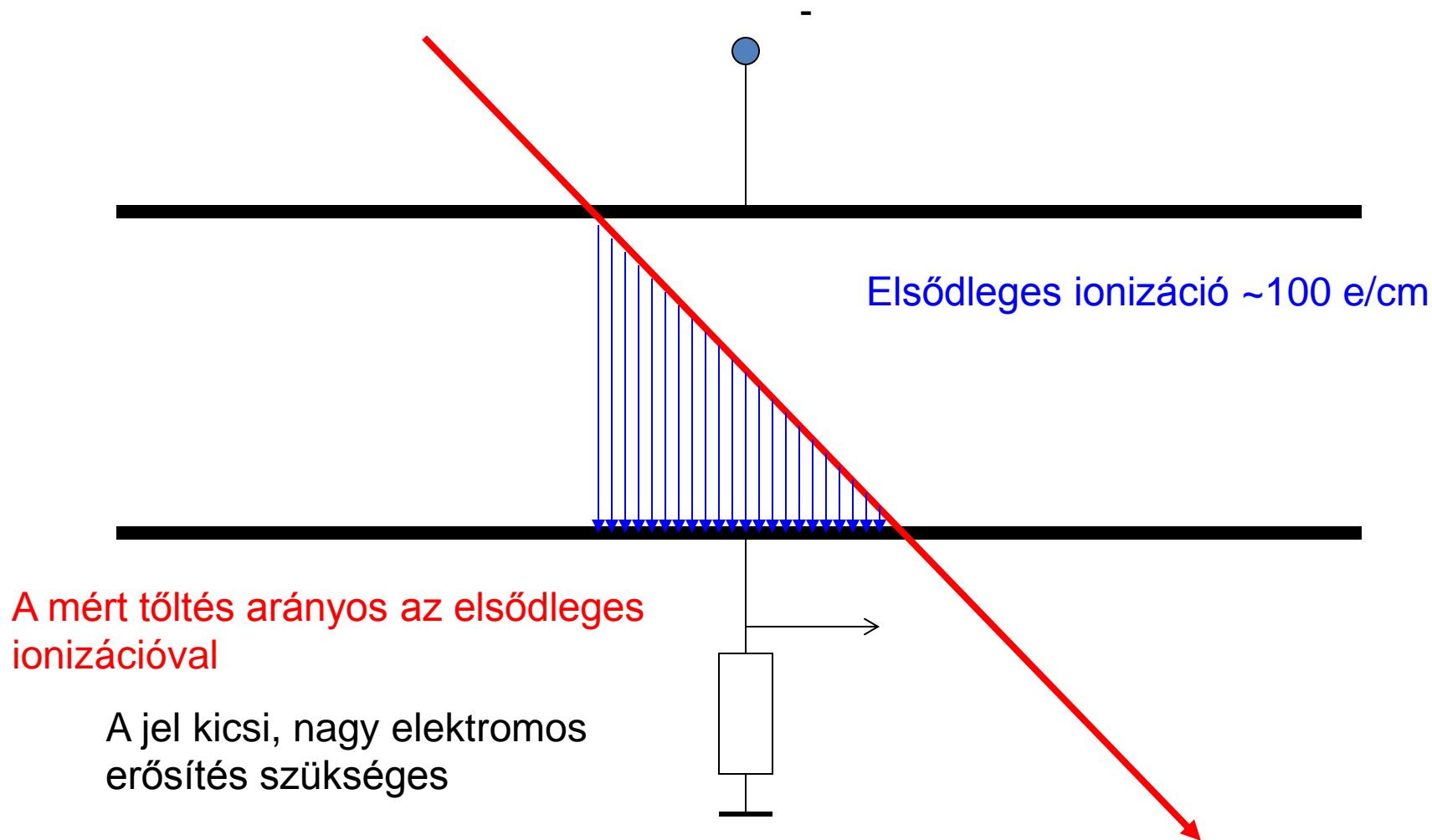


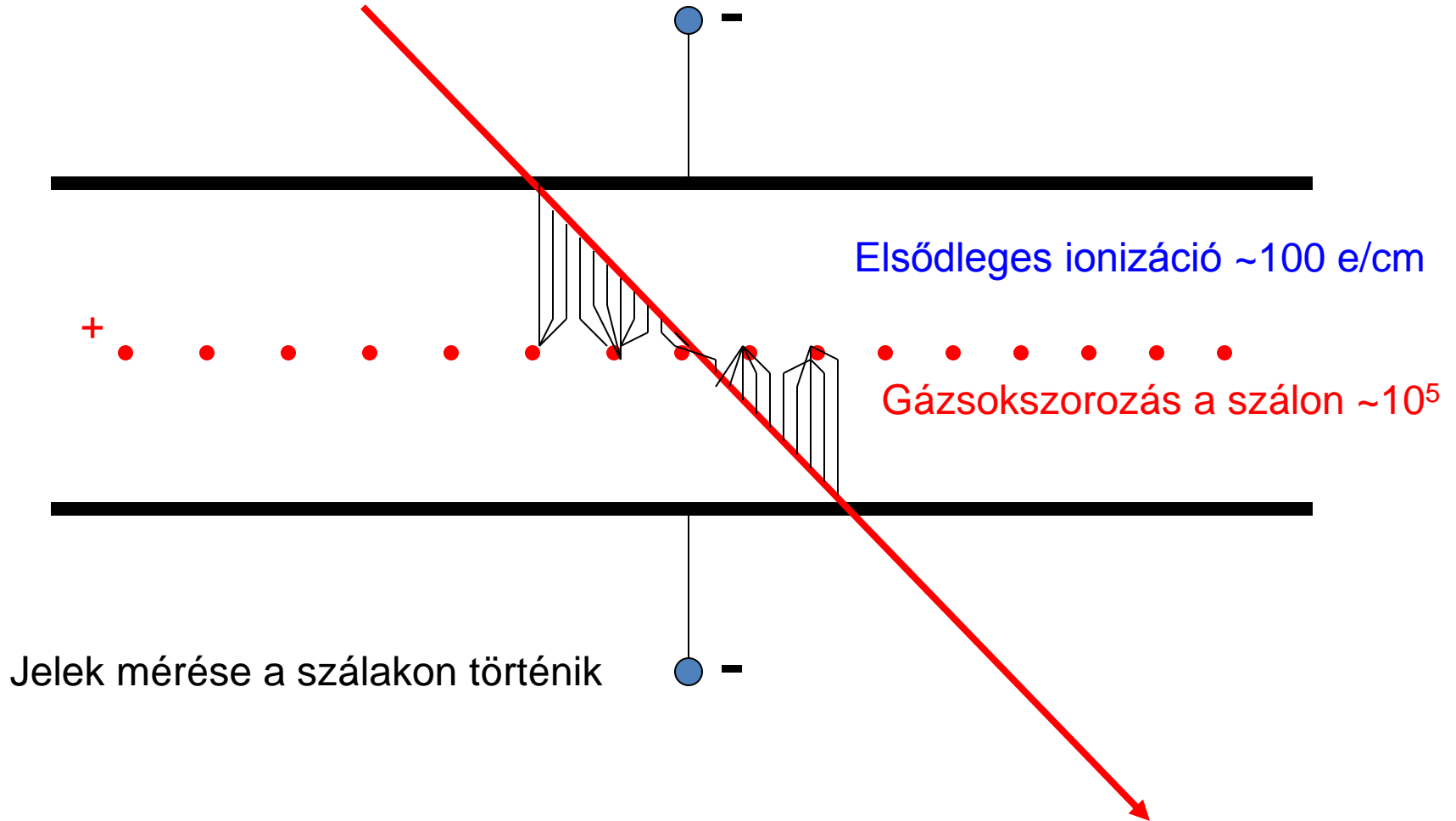
# ALICE

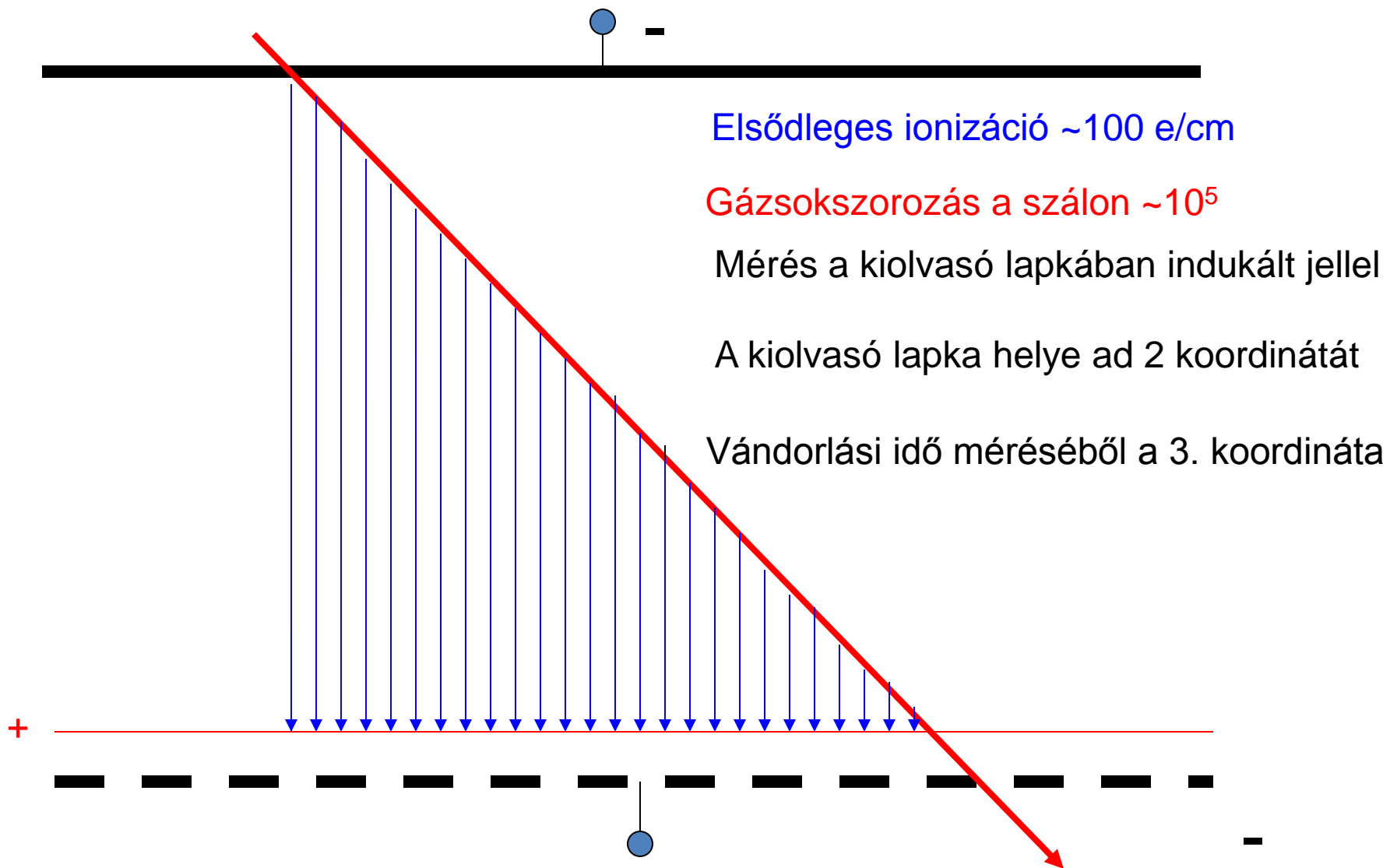


# NA61/SHINE









Elsődleges ionizáció  $\sim 100$  e/cm

Gázsokszorozás a szálon  $\sim 10^5$

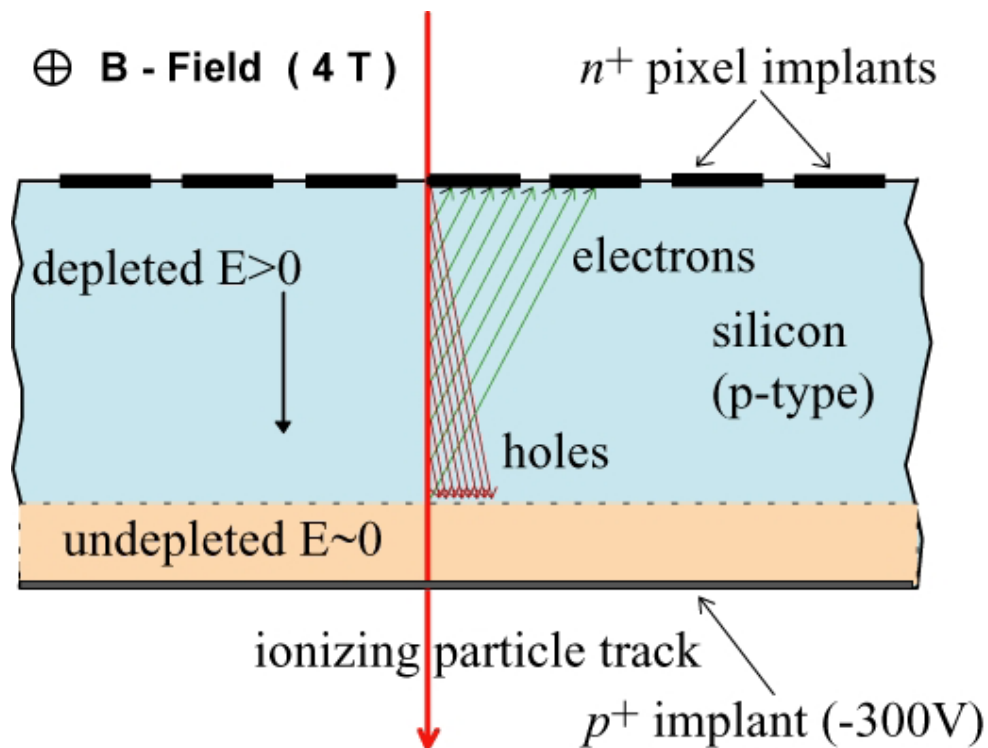
Mérés a kiolvasó lapkában indukált jellel

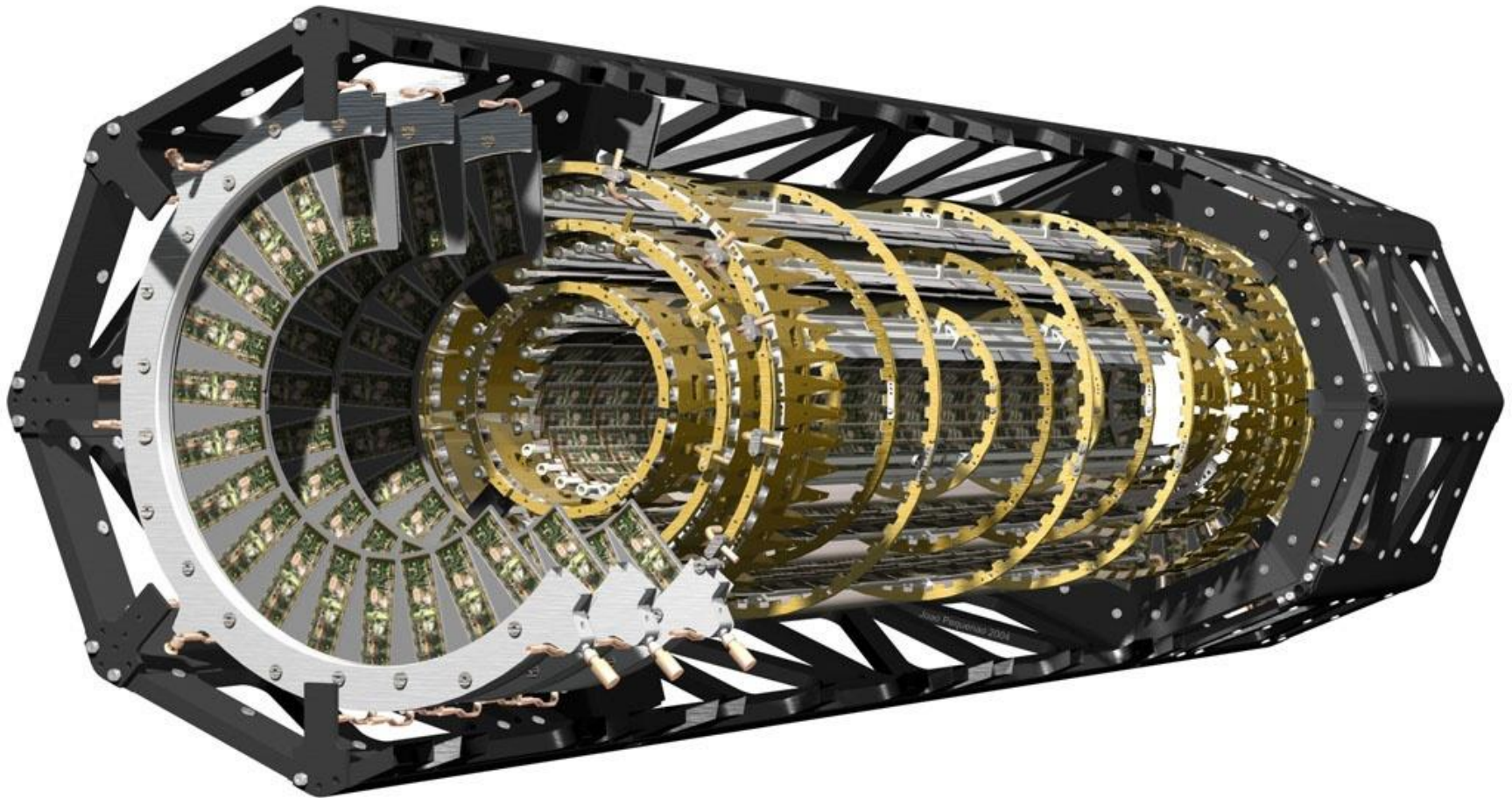
A kiolvasó lapka helye ad 2 koordinátát

Vándorlási idő méréséből a 3. koordináta



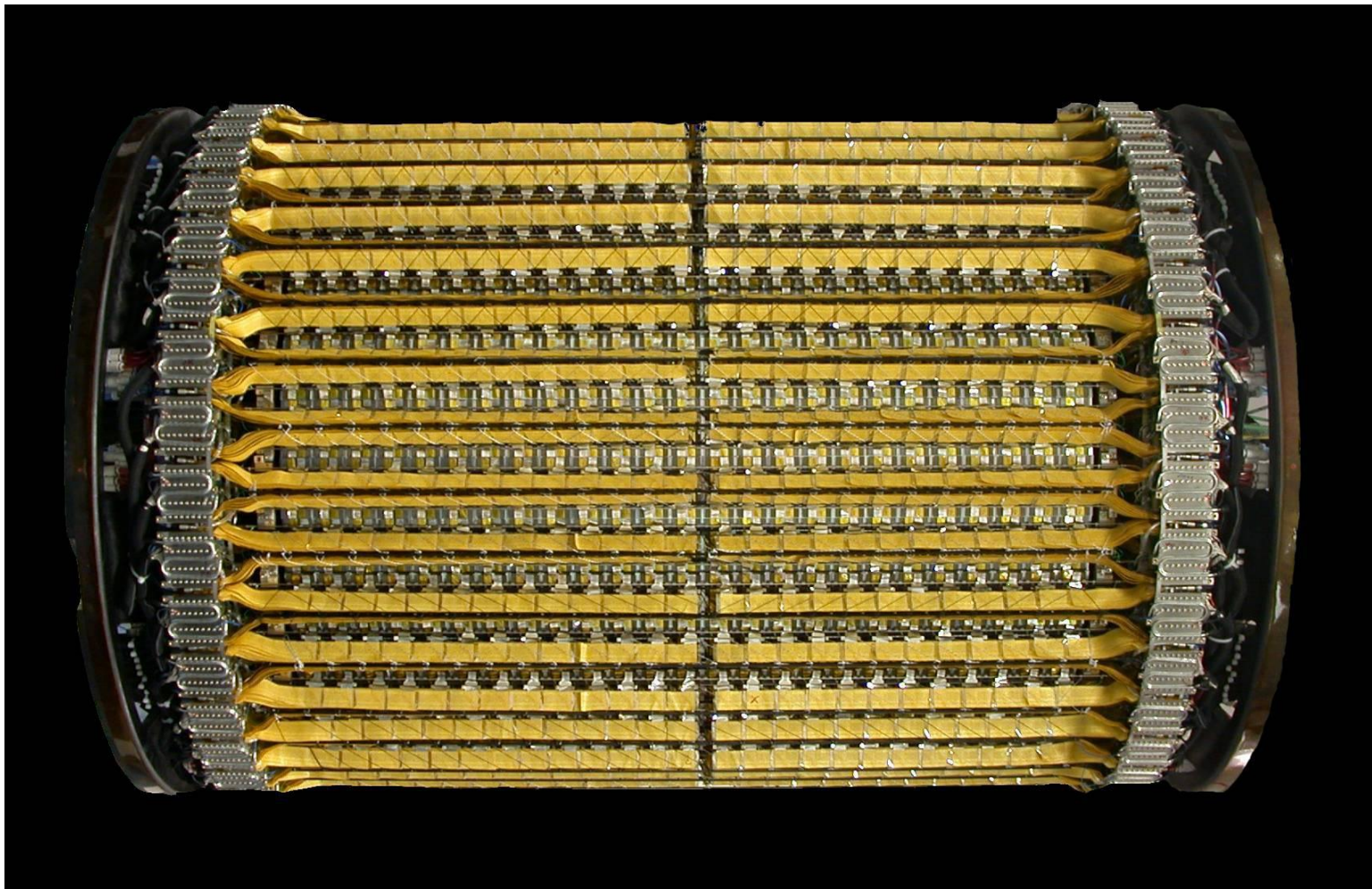
- Nagyfelbontású vertex és nyomkövető detektorokhoz
- Anyagok: szilícium, germánium, gallium-arszenid, gyémánt
- Kis sűrűsége és kis ionizálása miatt megfelelő nagyságú jelek 100-300  $\mu\text{m}$  vastagsággal elérhetők, gyors jelek  $O(10\text{ ns})$
- Dióda p – n átmenettel, inverz kapcsolásban



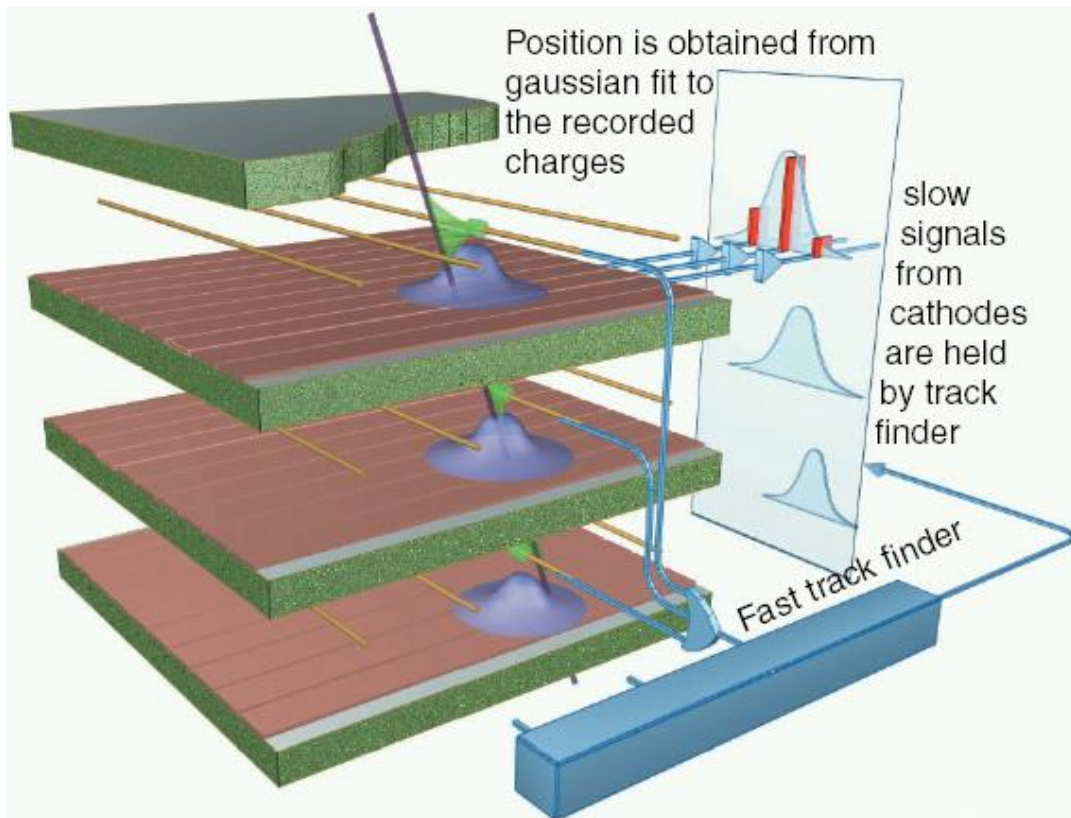


5, 9 és 12 cm sugár, 3 henger és 3 körlap 80 millió pixel



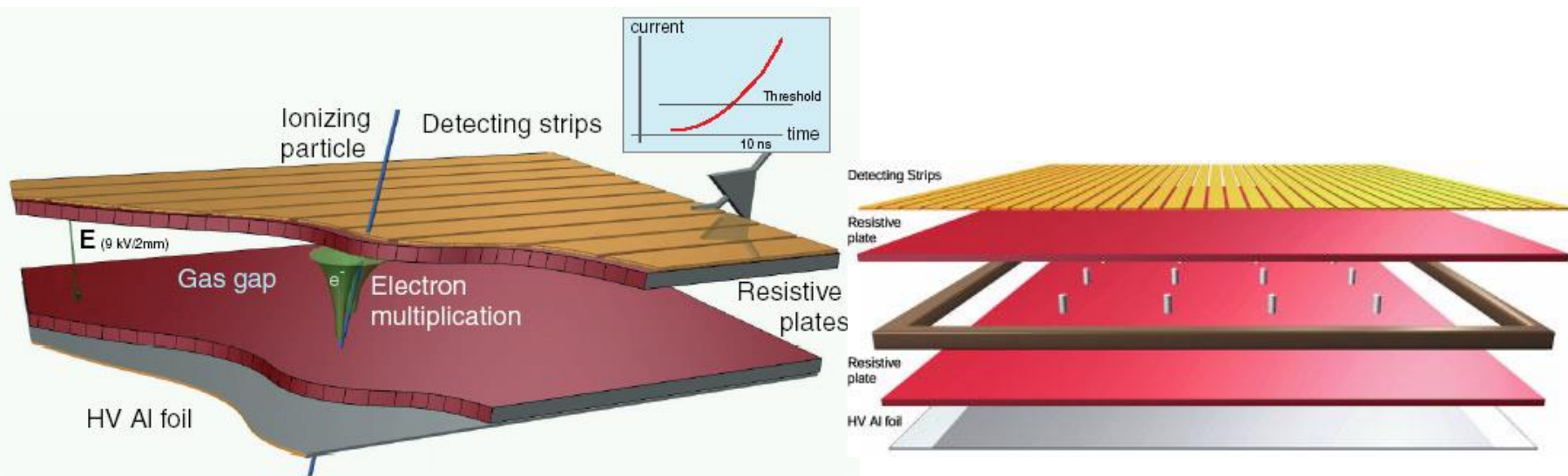


Pixel/drift/strip detektor (SPD, SDD, SSD)



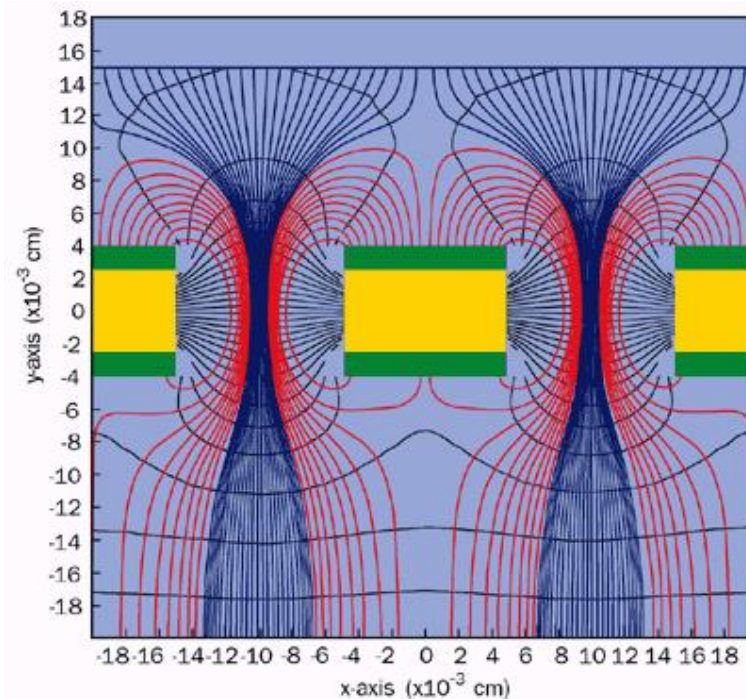
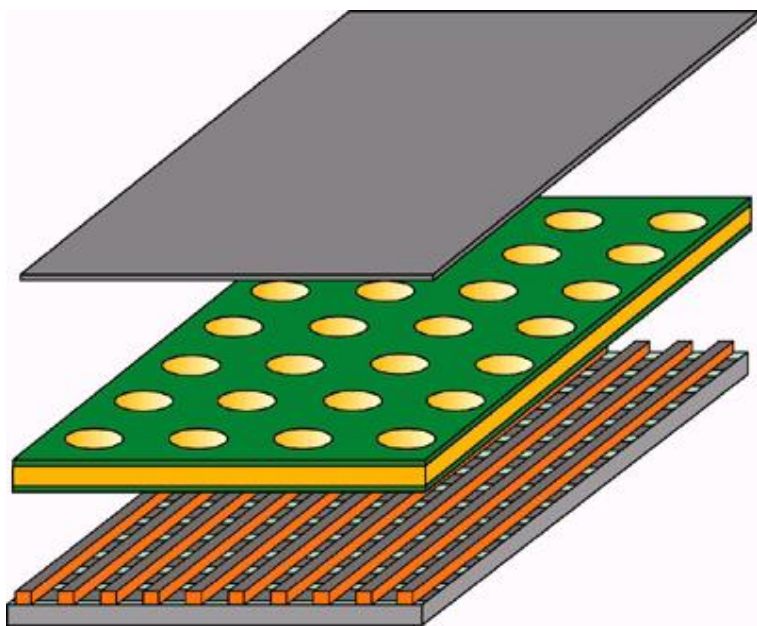
- Töltött részecske ionizál
  - Lavina az anódszálak körül
  - Indukált töltéses a katódon
- CMS

- Jó helyfelbontás és jó időfelbontás
- Hely és idő együttes mérése, nyomkövetés, pl müonok
- Nincsenek benne drótok, egyszerű megépíteni

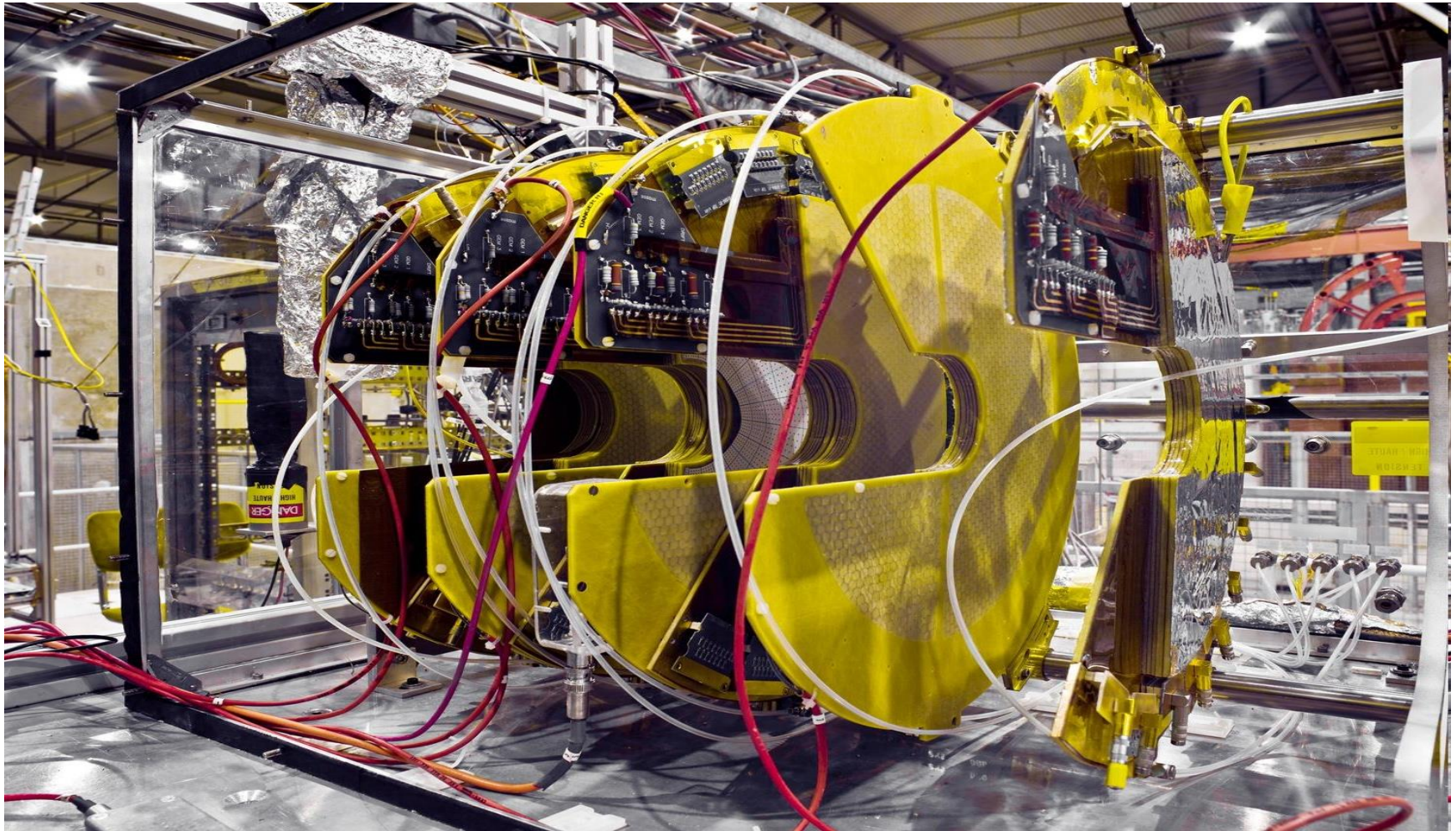




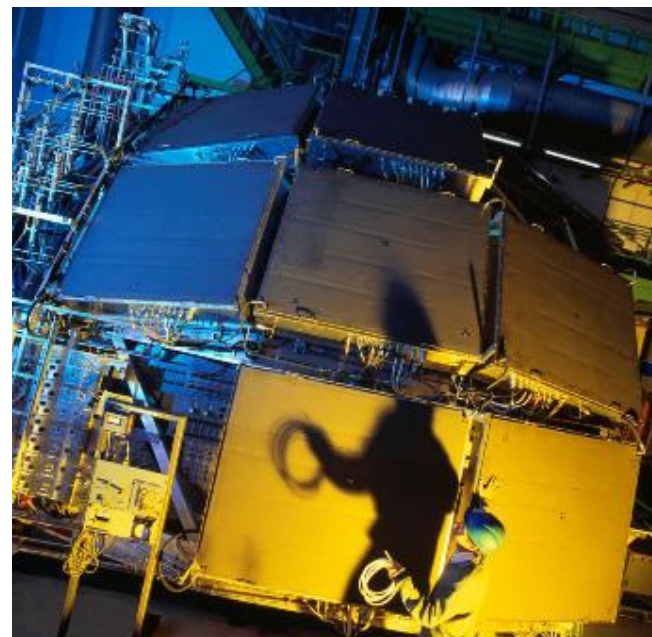
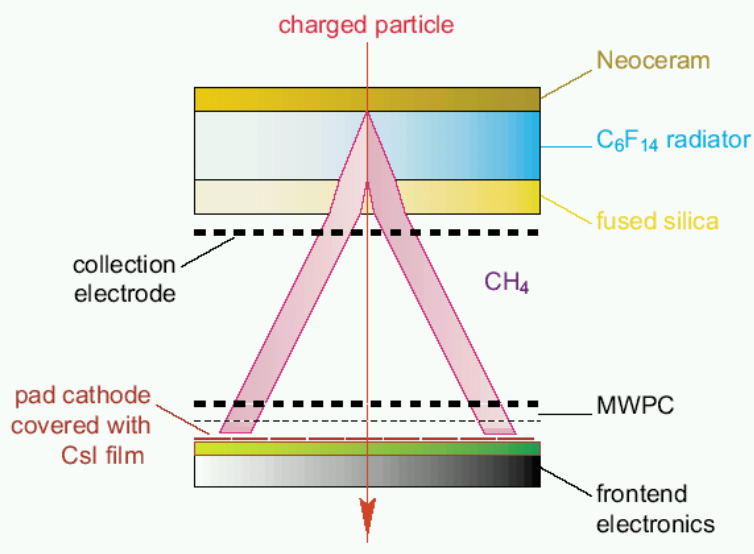
Vékony polimer lap (50-70  $\mu\text{m}$ ), mindkét oldalán réz bevonattal  
Nagy elektromos tér a lyukakban (30-50  $\mu\text{m}$ ), lavina  
100-1000-szeres erősítés, az elektronokat kilövi





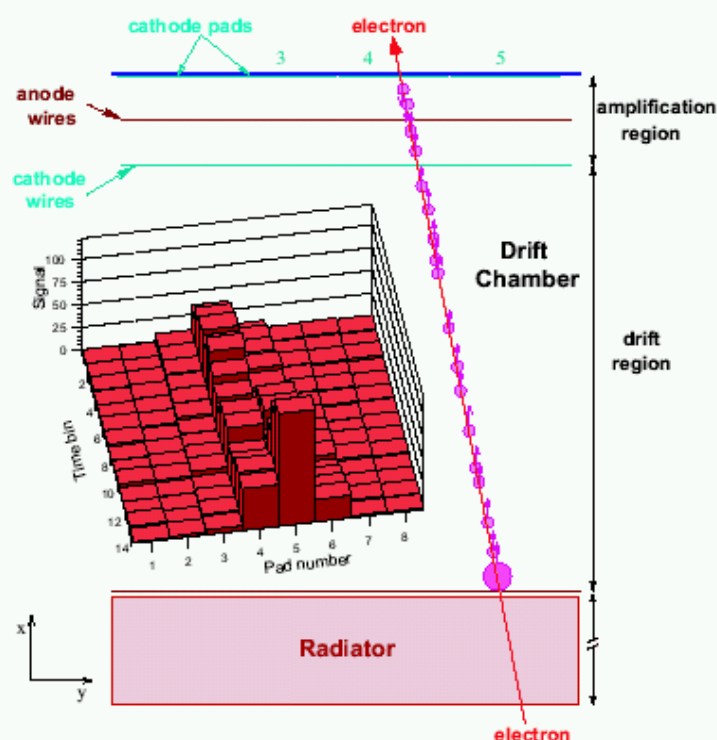
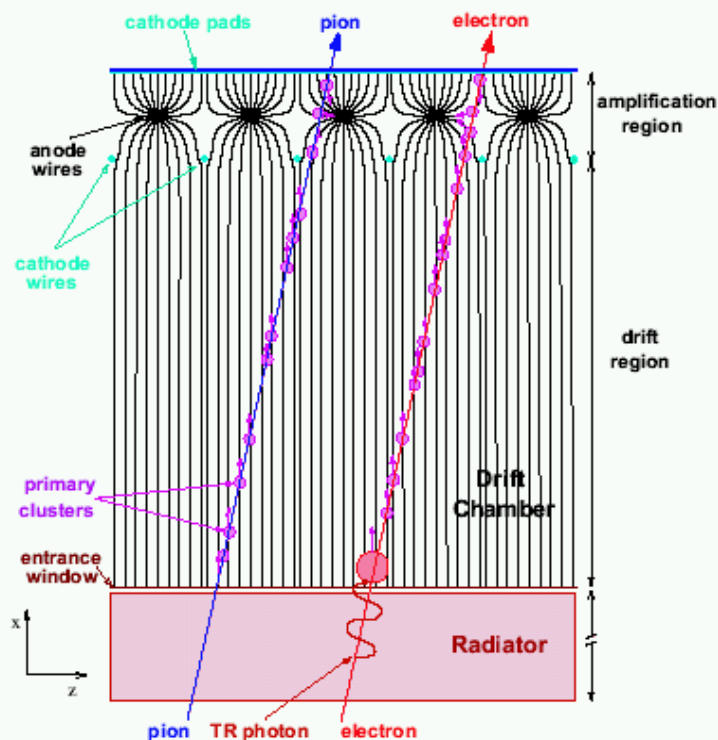


- Szög  $\theta_c = \arccos(1/n\beta)$ , küszöbsebesség  $\beta_t = 1/n$
- Elemek: a sugárzó, melyen a töltött részecske áthalad, valamint a fotodetektor
- Küszöbdetektorok: igen/nem válasz, a részecske a  $\beta_t = 1/n$  küszöb felett?
- Képképző detektorok: pl Ring-Imaging Cherenkov (RICH)

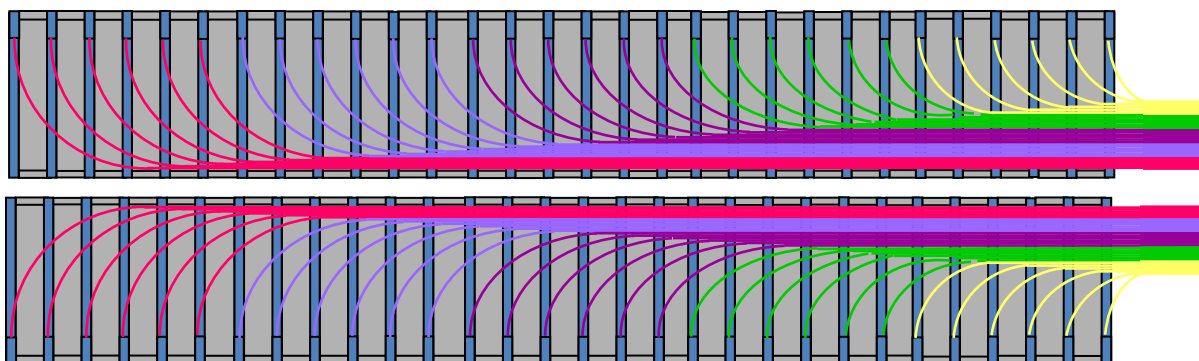
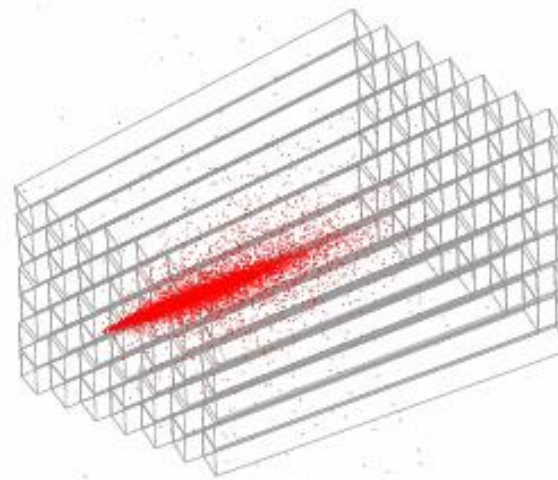
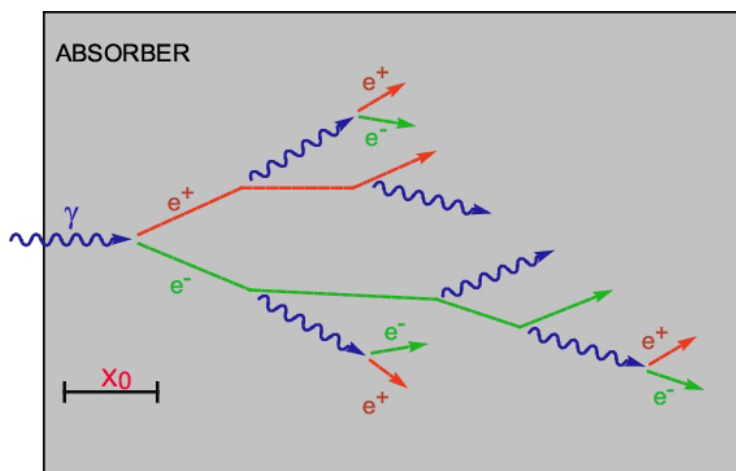




- A részecske két különböző anyag (vákuum és anyag) közti határon halad át
- A kisugárzott energia  $I \sim z^2 \gamma \omega_p$
- Röntgensugár (2-20 keV) a részecske haladási irányában
- A sugárzás esélye 1% átmenetenként, több száz határfelület alkalmazása
- Fóliák, szálak, alacsony Z-jű anyagok (polipropilén, lítium) gázban



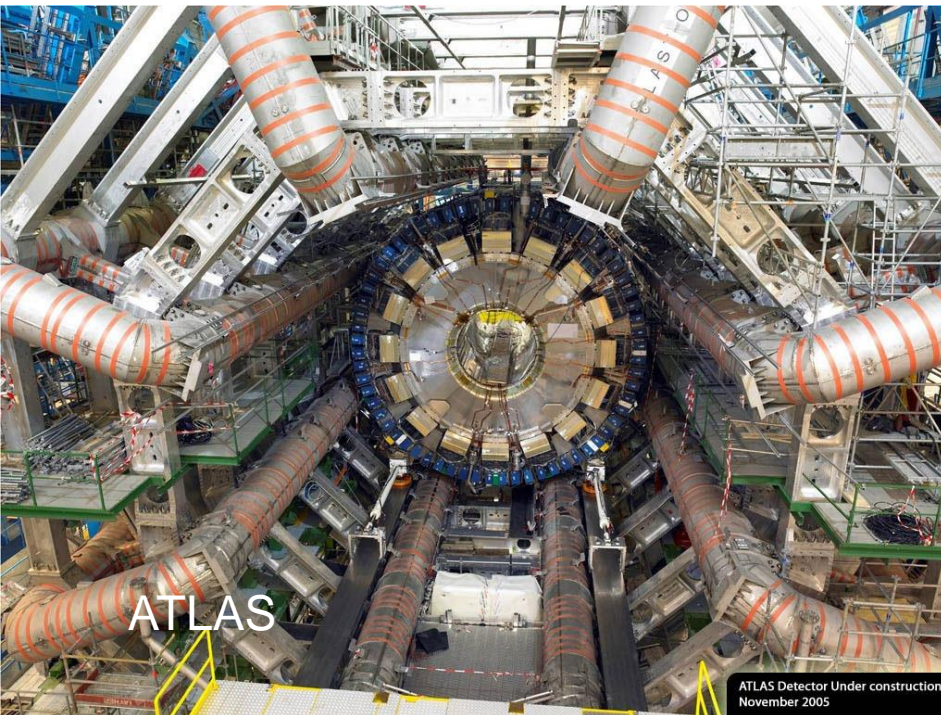
- Elektromágneses záporok: párkeltés és fékezési sugárzás
- Homogén: az egész térfogat érzékeny (pl BGO, Csl, NaI, ólomüveg)
- Mintavevő: aktív anyag (szcintillátor, "nemes" folyadék) és passzív elnyelő (ólom, vas, réz, urán) síkok egymás után



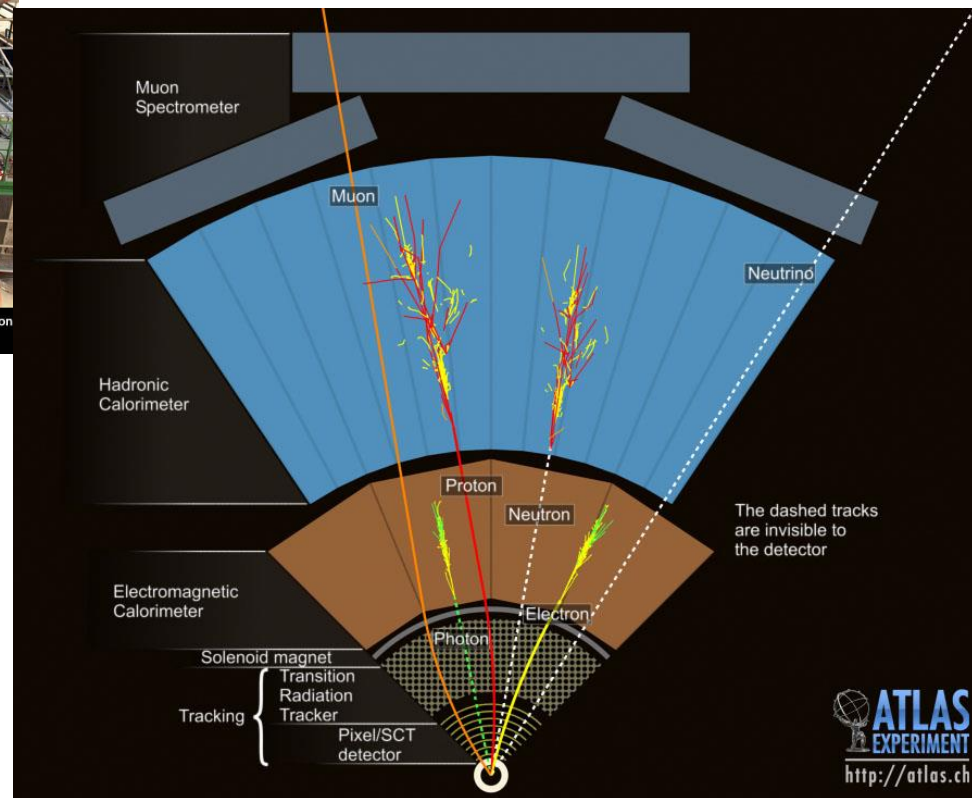
- Többféle lehetőség (ólom lapok + szcintillátor, vas + kvarc szálak)
- Hosszanti energia leadás eloszlása: két komponens
- Éles csúcs az első kölcsönhatás pontja körül (az ott keltett  $\pi^0$ k miatt)
- Lassabb az alacsony energiás hadronikus összetevő



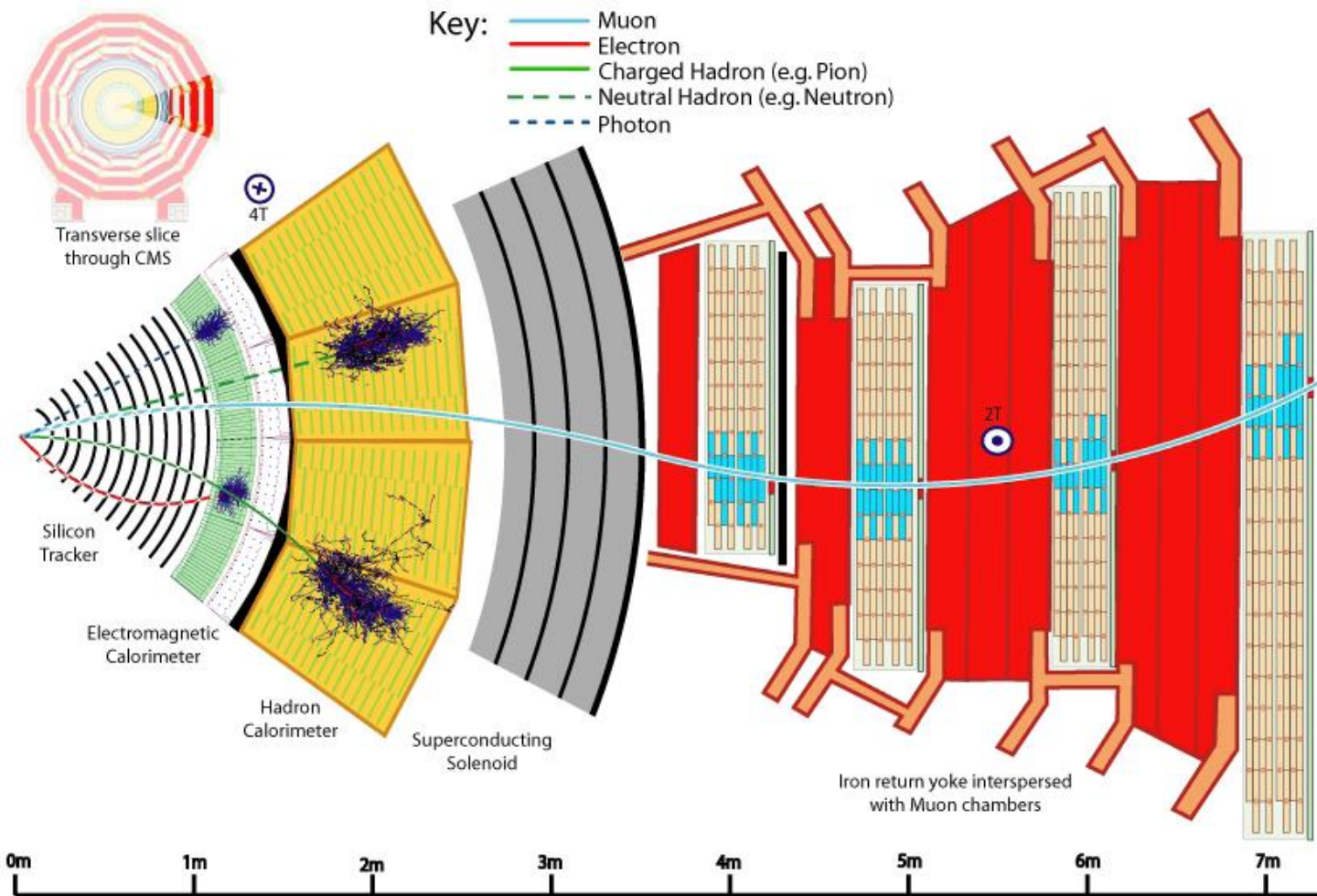




Szolenoid, vagy szolenoid + toroid



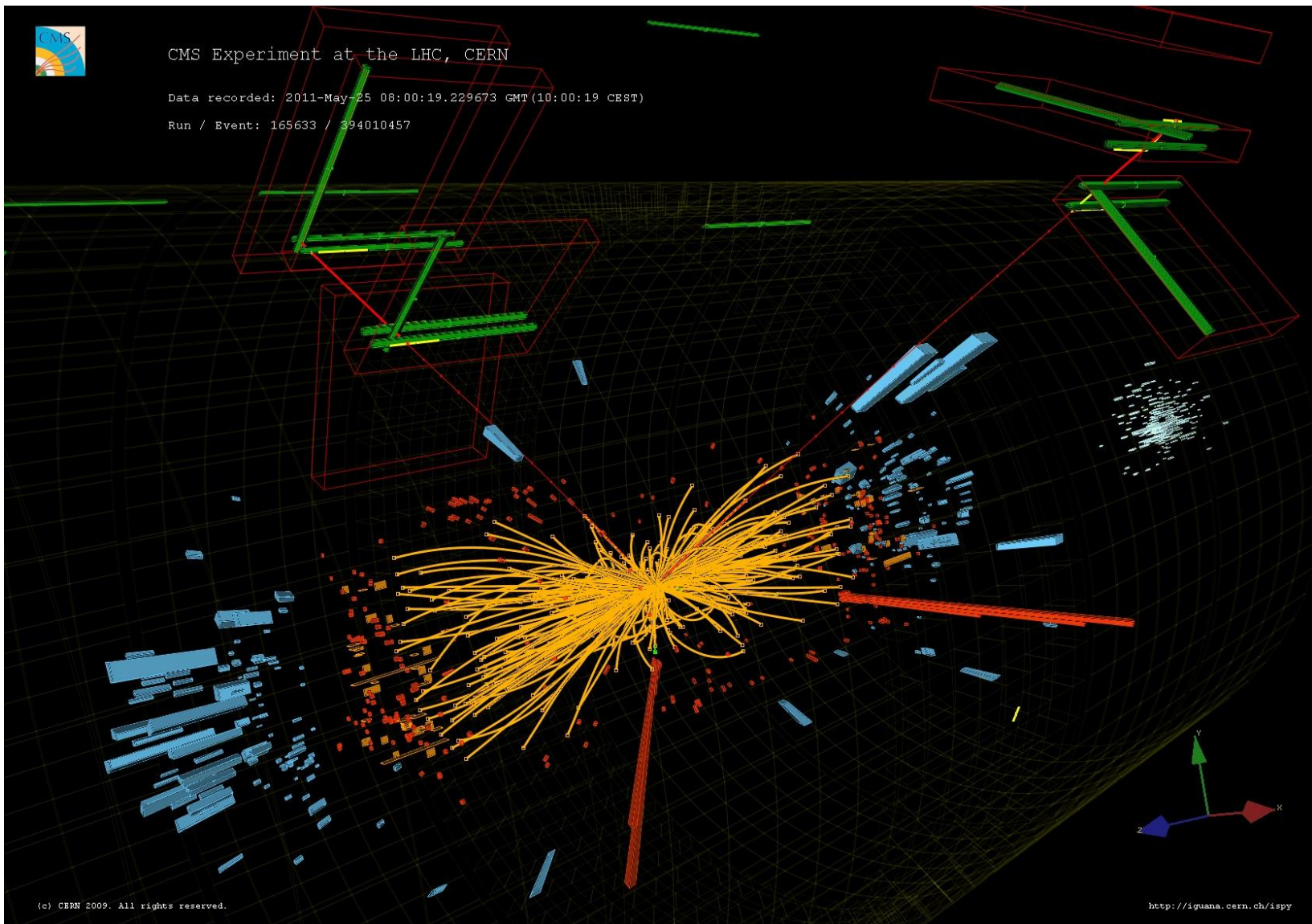
Szilícium nyomkövető: pixelek és csíkok  
 Elektromágneses és hadronikus  
 kaloriméterek, müon kamrák



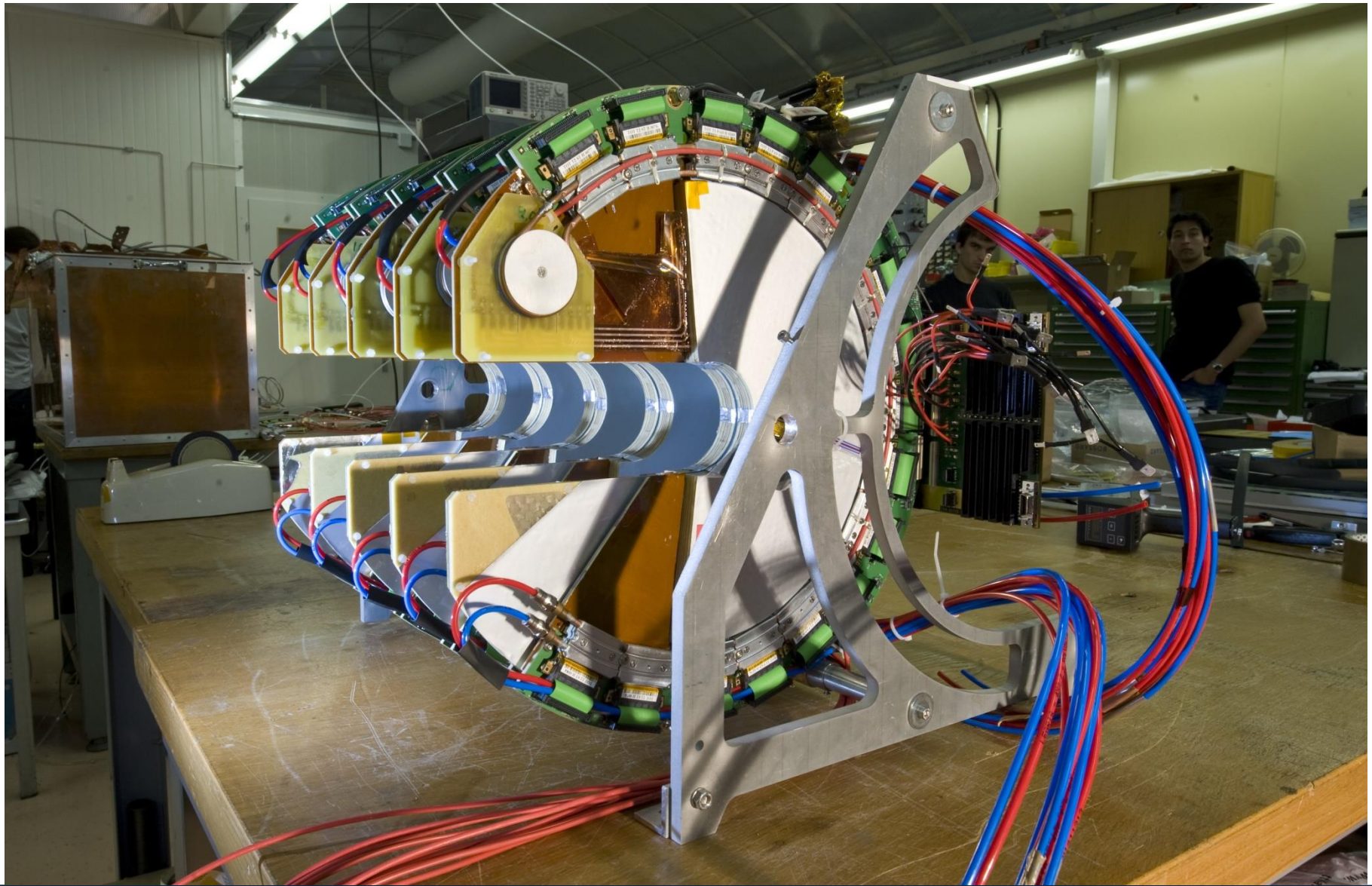
Szilícium nyomkövető: pixelek és csíkok

Elektromágneses és hadronikus kaloriméterek, müon kamrák











Szolenoid mágnes 0.5 T Kozmikus sugárzás trigger

„Forward” detectorok

- PMD
- FMD, T0, V0, ZDC

Specializált detektorok

- HMPID
- PHOS

Központi nyomkövető rendszer

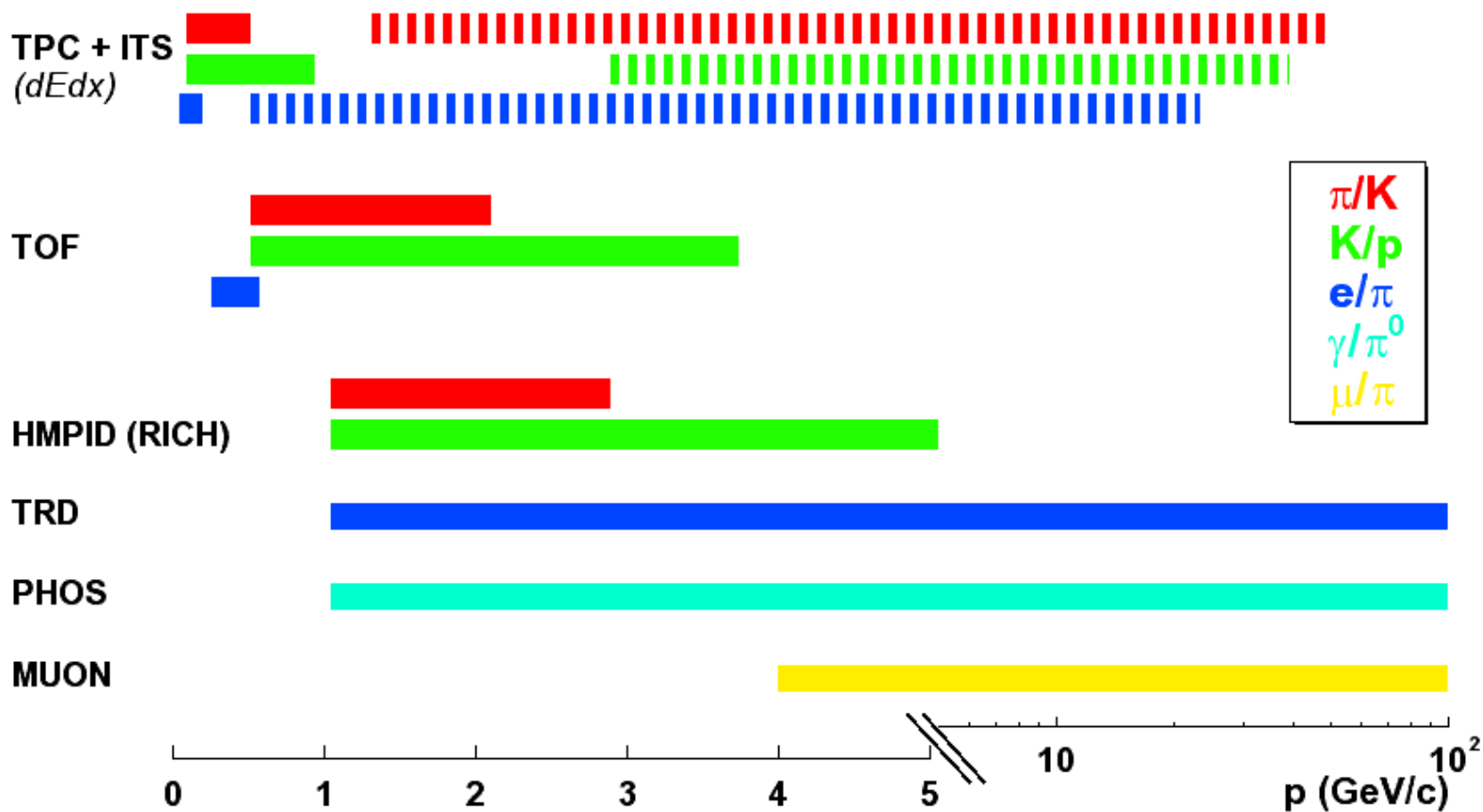
- ITS
- TPC
- TRD
- TOF

MUON Spektrométer

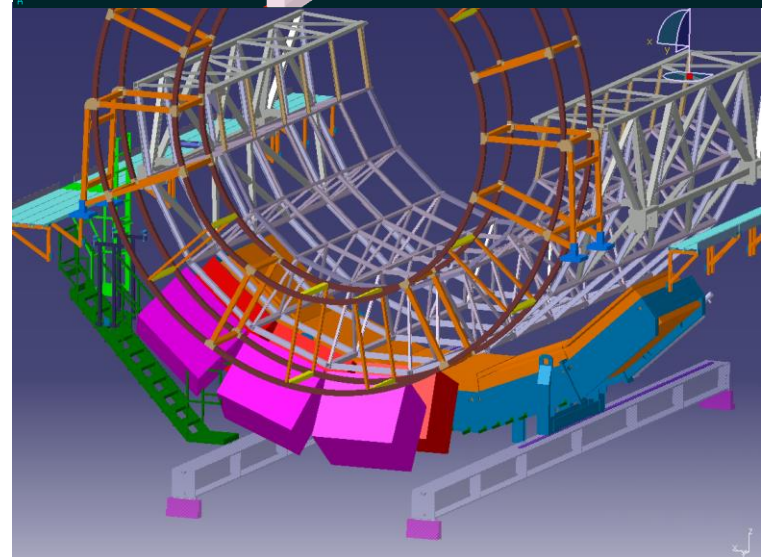
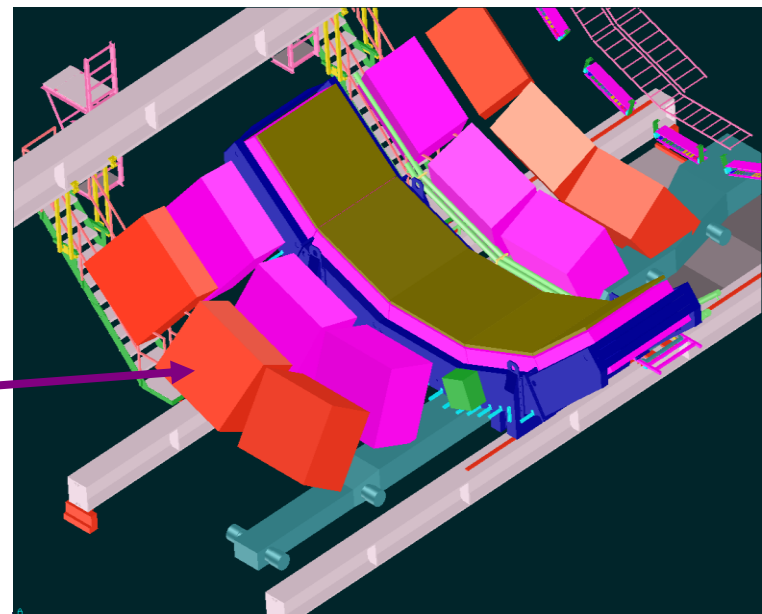
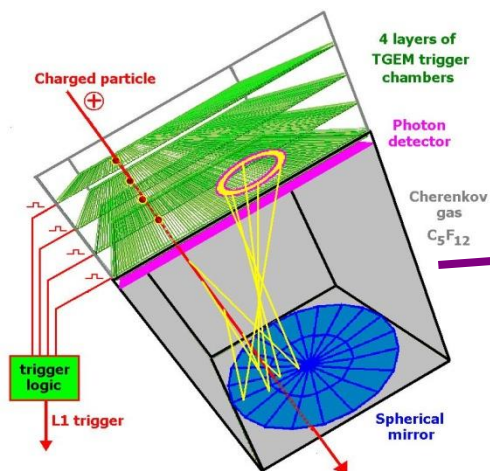
- elnyelő anyagok
- nyomkövető állomások
- trigger kamrák
- dipól mágnes







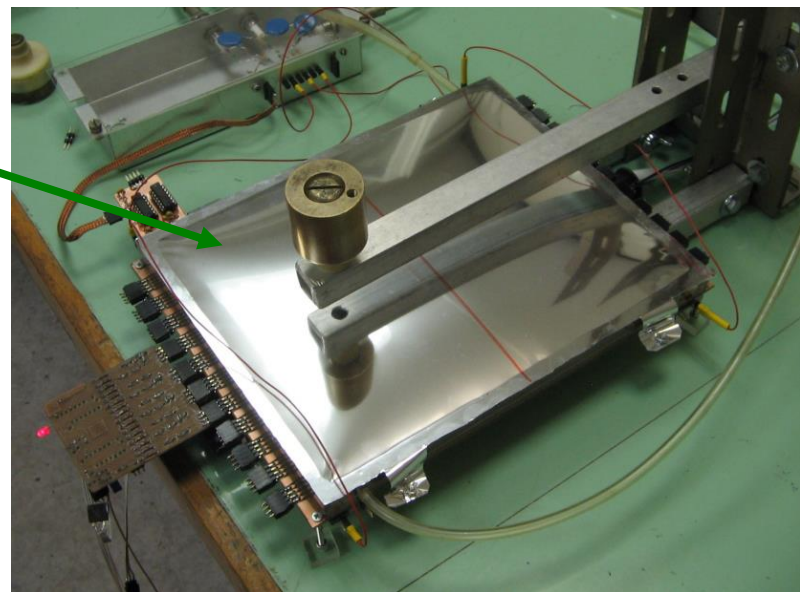
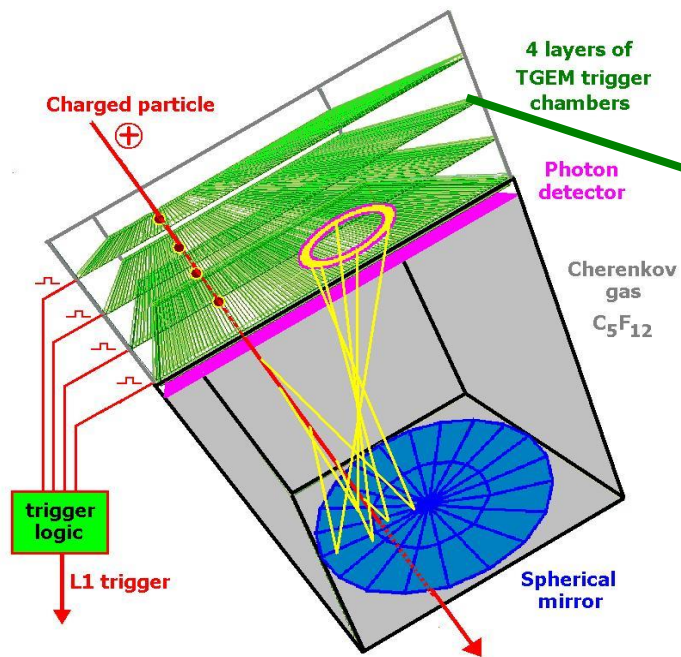
## VHMPID: Very High Momentum Particle Identification Detector



- A nagyimpulzusú részecskéket tartalmazó események ritkák: trigger szükséges!
- Így csak érdekes eseményeket írunk ki szalagra !
- A Bp ALICE csoport építi a VHMPID trigger-detektorát (HPTD).

## HPTD: High-pT Trigger Detector

Nagyimpulzusú részecskék gyors felismerése digitális padminták alapján.  
 Minden 20. esemény kerül kiírásra nehézion ütközésekben!



Az első prototípus beépítése az ALICE-ba: **2011!**

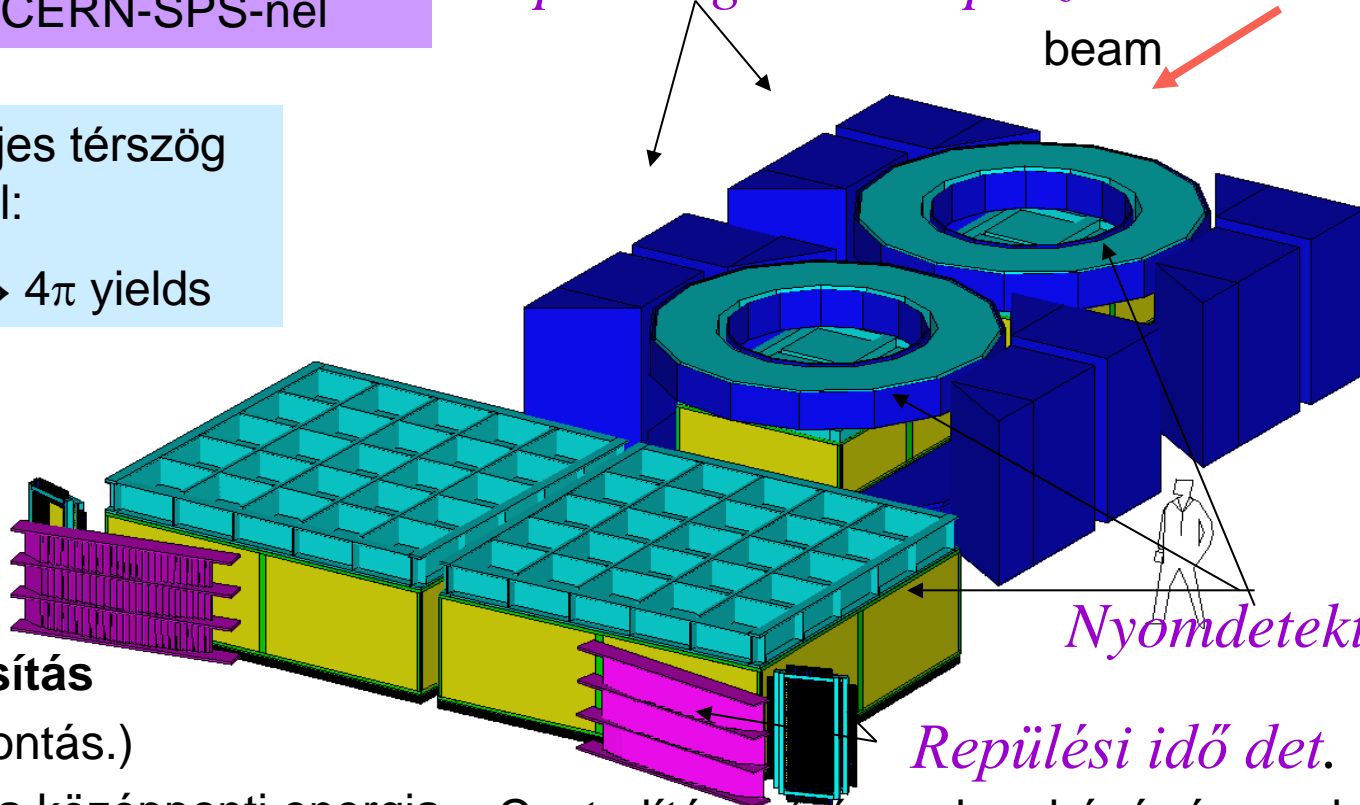
nagy térszögű hadron spektrométer a CERN-SPS-nél

Az előremenő teljes térszög le lett fedve ebből:

$(y, p_t)$ -spektrum  $\rightarrow 4\pi$  yields

*Dipol mágnesek impulzus mérésre*

beam



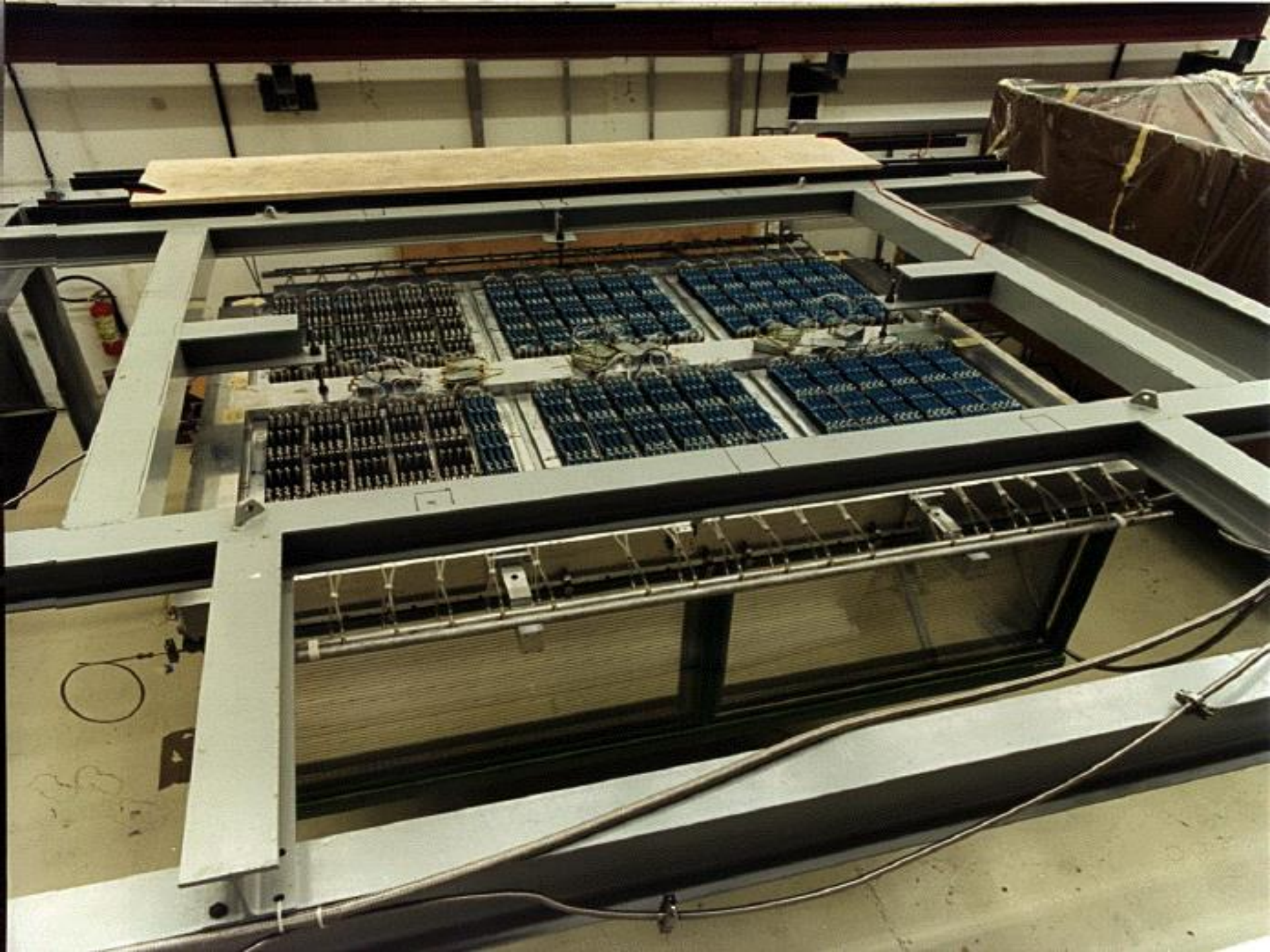
*Nyomdetektorok*

*Repülési idő det.*

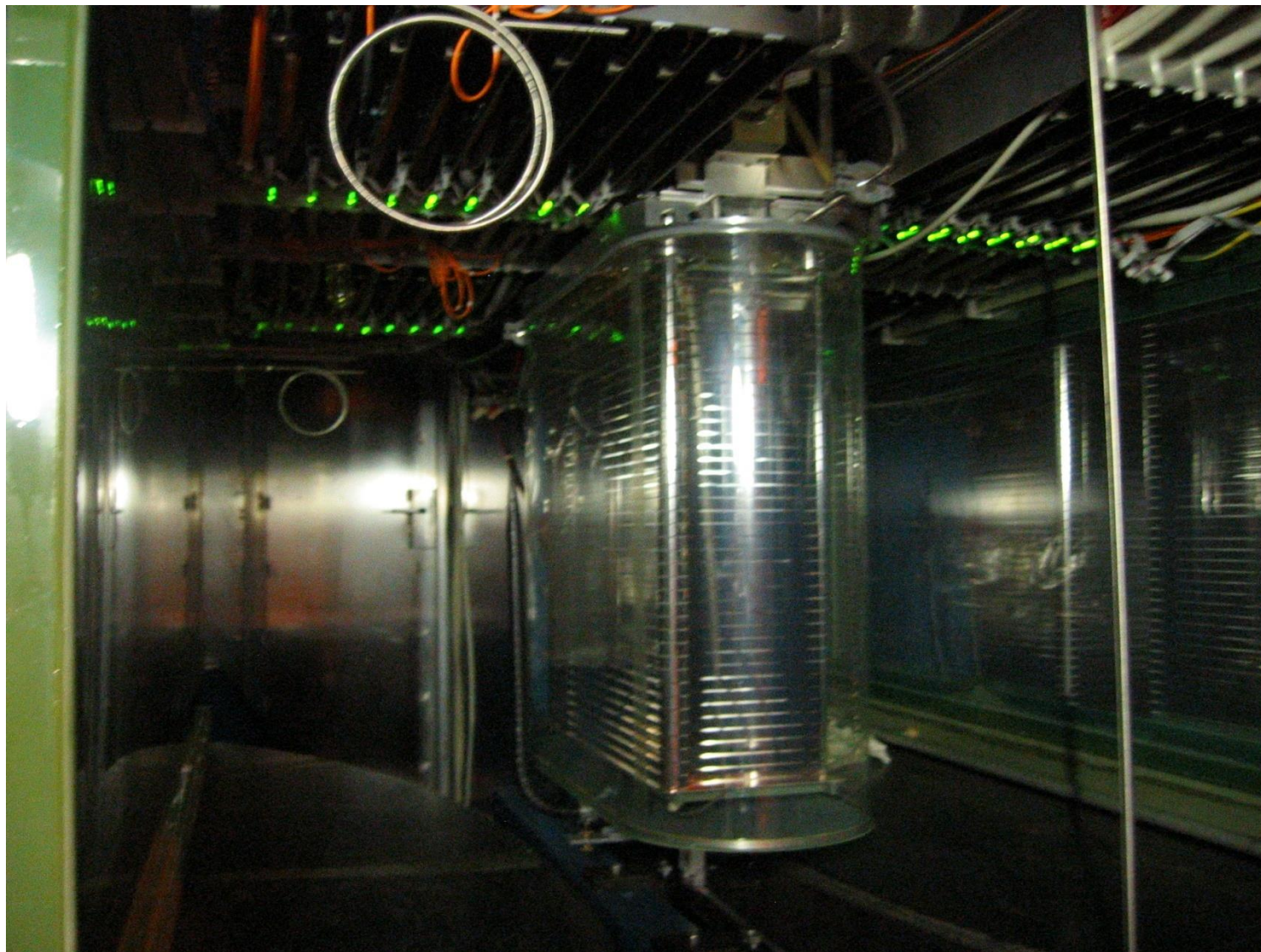
## részecske azonosítás

- $dE/dx$  (3-6% felbontás.)
- TOF (60 ps res.) a középponti energia körül
- invariant mass + topology (5-10 MeV res.)
- Centralitás mérése a bombázó részecske fragmentumai energiáinak alapján AA esetén
- könnyebb bombázó részecskék az ólom atommag hasításából







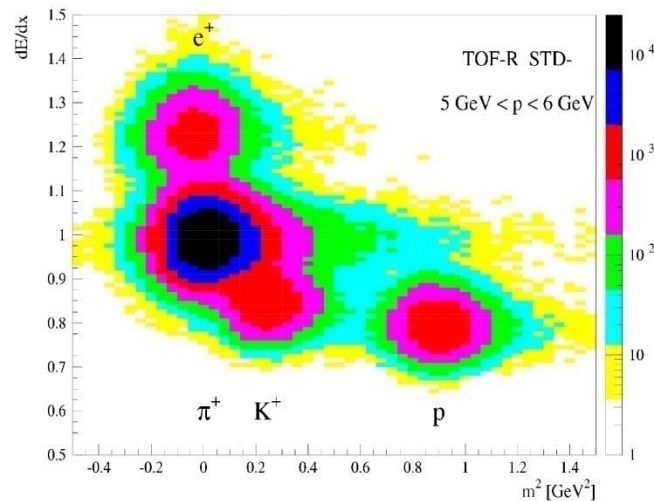
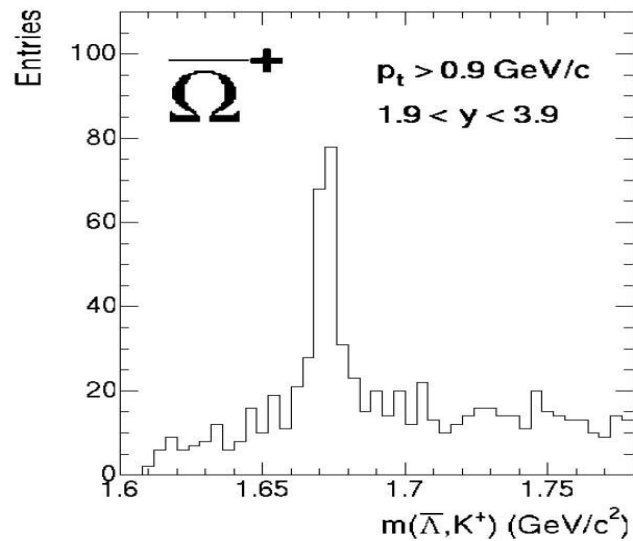
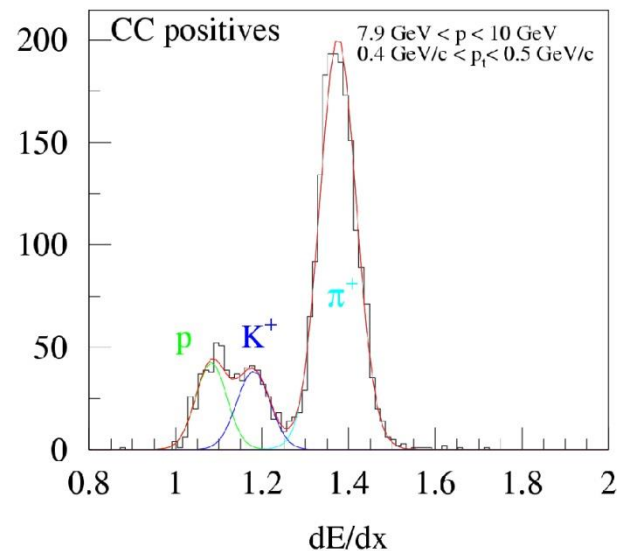
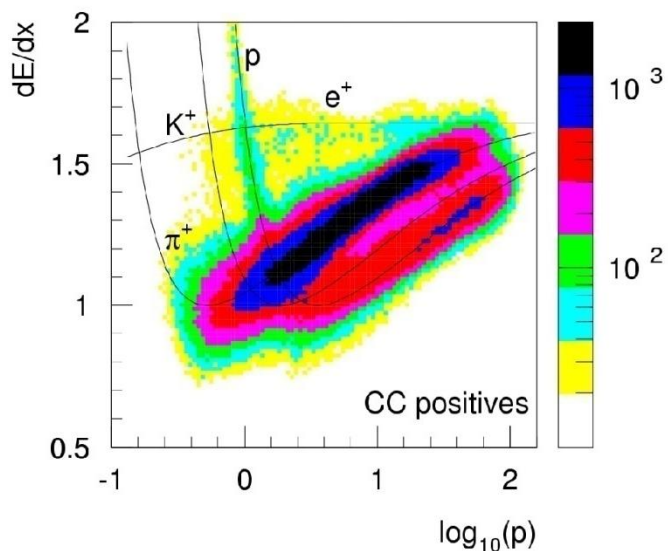






*Budafal*

momentum  
dE/dx





- Azonosítás a bomlás topológiája alapján (lásd az 1970-es felvételt)
- rapiditás [-0.5, 0.5], centralitás: 0-23.5 %

