

Az LHC nagy kísérletei

Részecskek, gyorsítók, detektorok

Siklér Ferenc

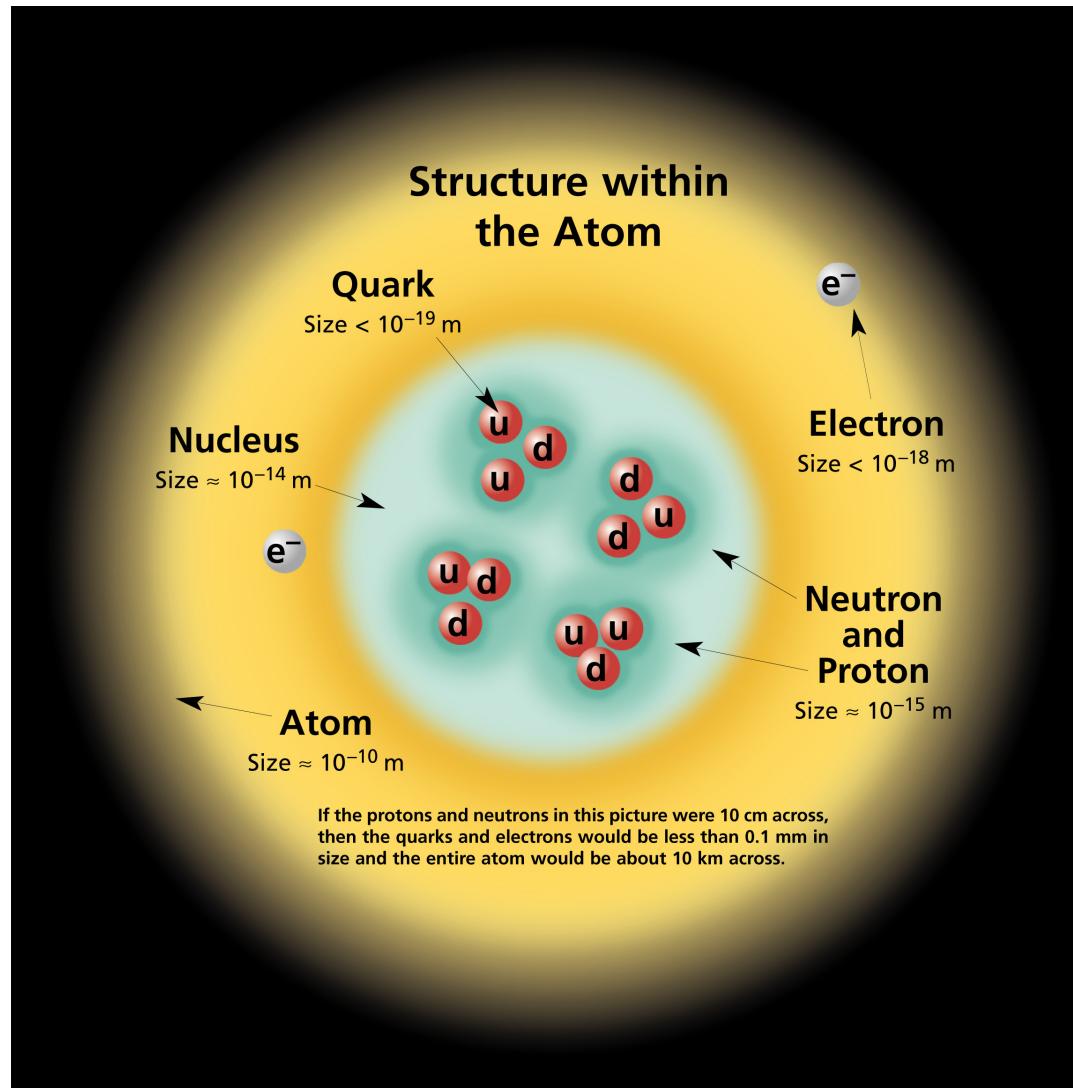
sikler.ferenc@wigner.mta.hu

*MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont RMI
Budapest*



Mafihe, Részecskefizika Téli Iskola
2013. február 8.

Atom



Elektronok az atommag körül, protonok és neutronok

Elemi részecskék és kölcsönhatások

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

Leptons spin = 1/2			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	<1x10 ⁻⁸	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \cdot 10^{-25}$ GeV s = 1.05×10^{-34} J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is $1.60 \cdot 10^{-19}$ coulombs.

The energy unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. Masses are given in GeV/c² (remember $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = $1.60 \cdot 10^{-10}$ joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c² = $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg.

If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

BOSONS

Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^-	80.4	-1	Color Charge		
W^+	80.4	+1	Each夸克 carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These colors are red, green, and blue, with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.		
Z^0	91.187	0	Quarks Confined in Mesons and Baryons		

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called hadrons. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons, which are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: mesons q-q and baryons qqq.

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and $\eta_c = c\bar{c}$, but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Figures

These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.

A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β decay.

An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and \bar{B}^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.

Two protons colliding at high energy can produce various hadrons plus very high mass particles such as Z bosons. Events such as this one are rare but can yield vital clues to the structure of matter.

The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature [The Particle Adventure](http://ParticleAdventure.org) at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:
U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particles and Fields
BUREL INDUSTRIES, INC.

©2000 Contemporary Physics Education. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>

Tömegvonzás, gyenge, elektromágneses, erős

Elemi részecskék és kölcsönhatások

FERMIOS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

BOSONS			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^-	80.4	-1			
W^+	80.4	+1			
Z^0	91.187	0			

Property	Interaction	Gravitational		Weak (Electroweak)		Strong	
		Fundamental	Residual	Electric Charge	Color Charge	Quarks, Gluons	Hadrons
Acts on:	Mass – Energy	Flavor		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	
Particles experiencing:	All						
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ		Gluons	Mesons	
Strength relative to electromag for two u quarks at: 10^{-18} m $3 \times 10^{-17} \text{ m}$ for two protons in nucleus	10^{-41} 10^{-41} 10^{-36}	0.8 10^{-4} 10^{-7}	1 1 1		25 60 Not applicable to hadrons	Not applicable to quarks 20	

Leptonok, kvarkok

Foton, W és Z bozonok, gluonok

Anyagi részecskék

Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons.
There are about 140 types of mesons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.
There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

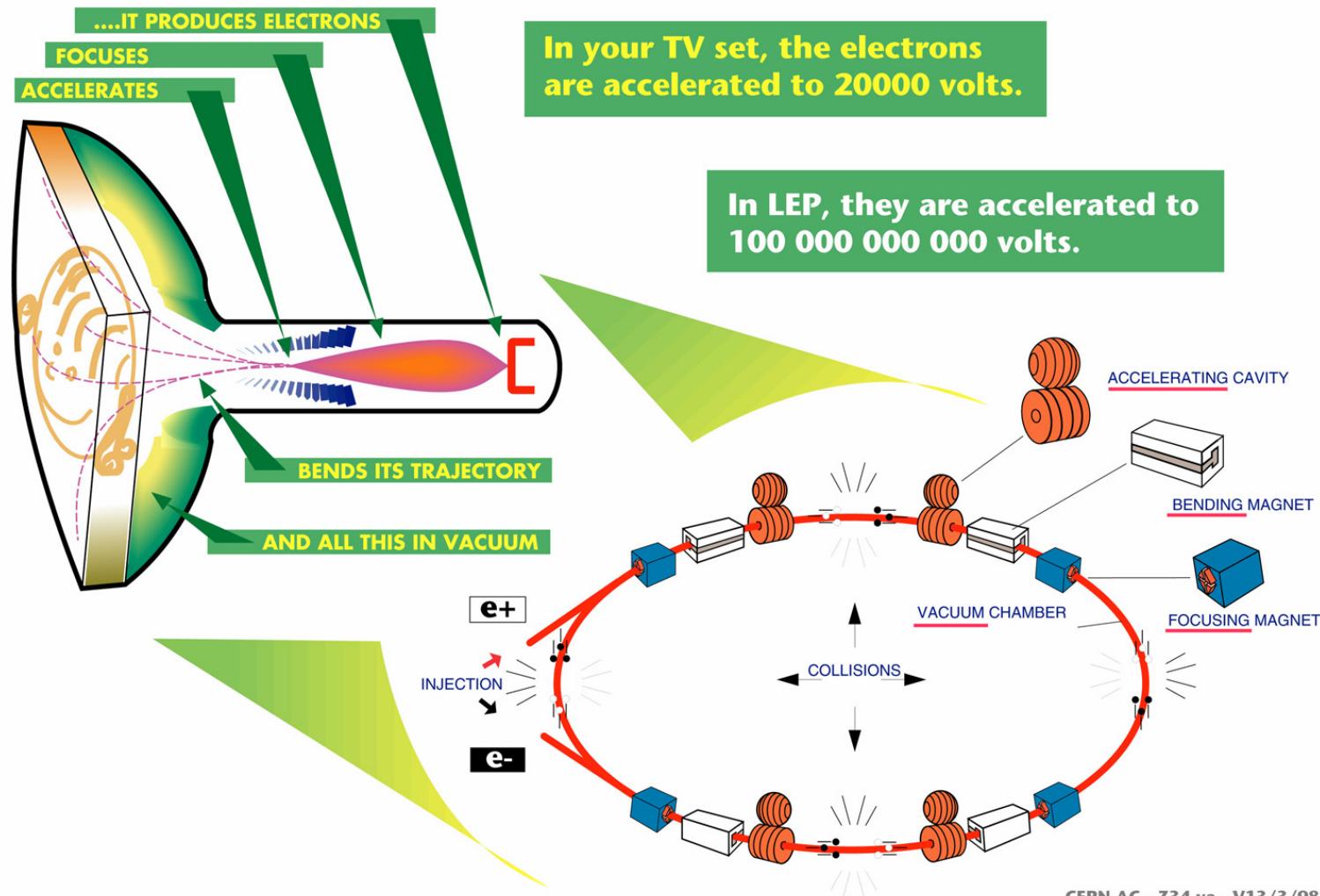
$$\text{Proton} = u \ u \ d, \text{neutron} = u \ d \ d$$

Csak a 3 kvarkból vagy egy kvark-antikvark párból álló részecskék kötöttek
Antianyag?

Hogyan vizsgáljuk őket? $E = mc^2$, azaz energiából tömeg lesz \Rightarrow gyorsítás

Részecskegyorsítók

DID YOU KNOW YOUR TELEVISION SET IS AN ACCELERATOR ?



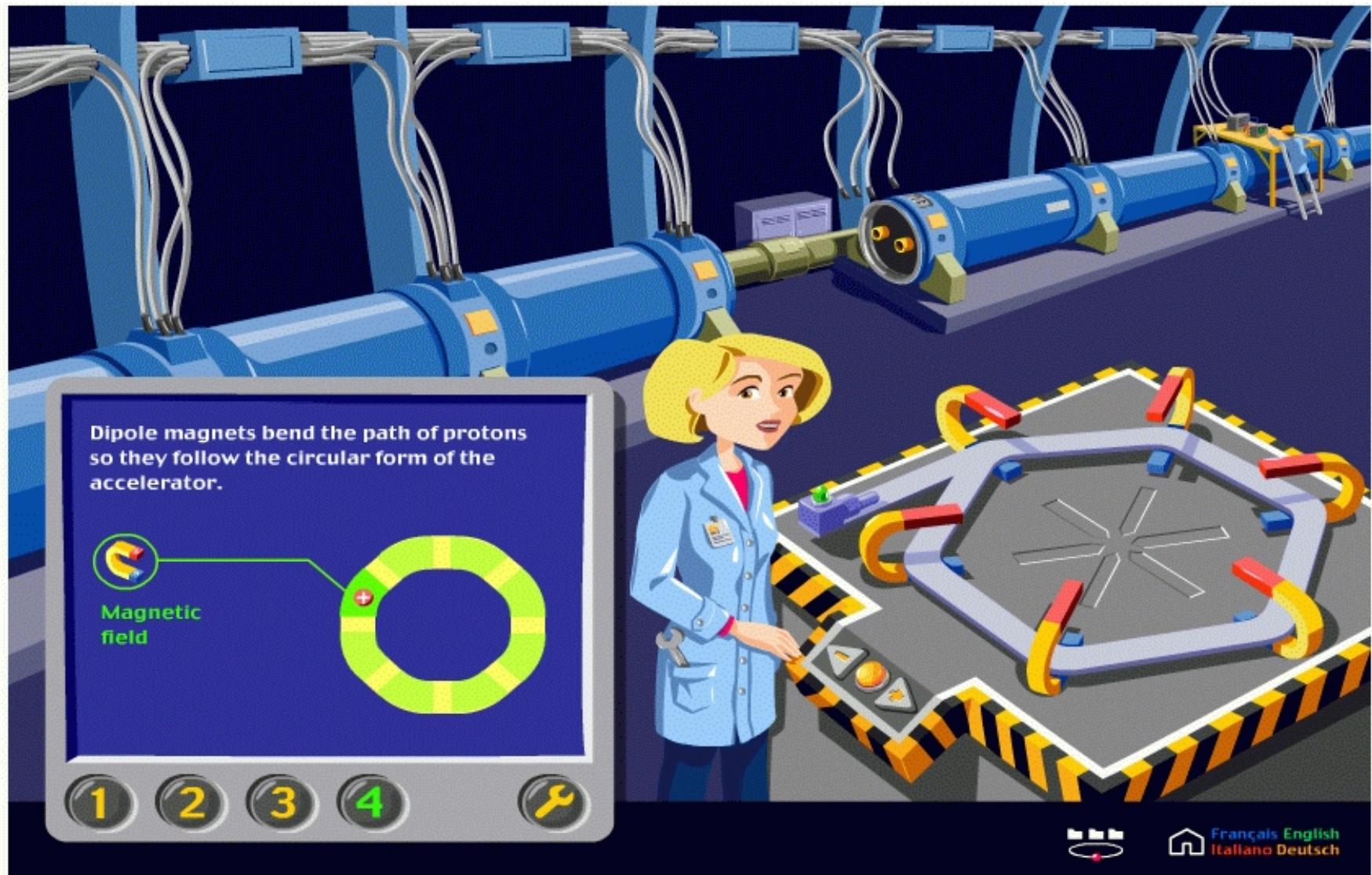
A televízió és a részecske-ütköztető

Gyorsítás – elektromos tér



Váltakozó irányú elektrons tér, rádiófrekvencia

Zárt pályán tartás – mágneses tér



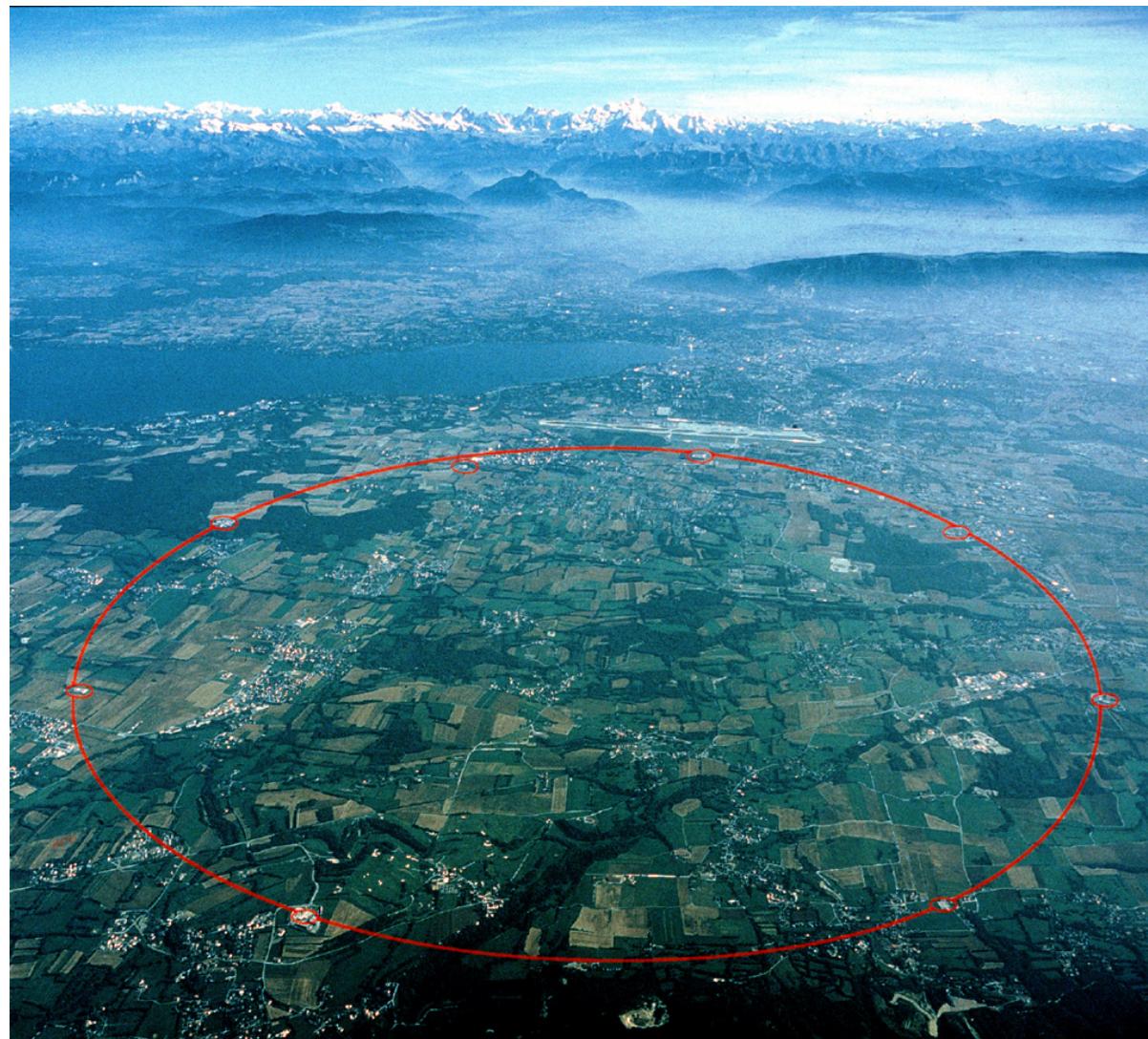
Körpálya, Lorentz-erő: $F = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$

Fókuszálás – mágneses tér



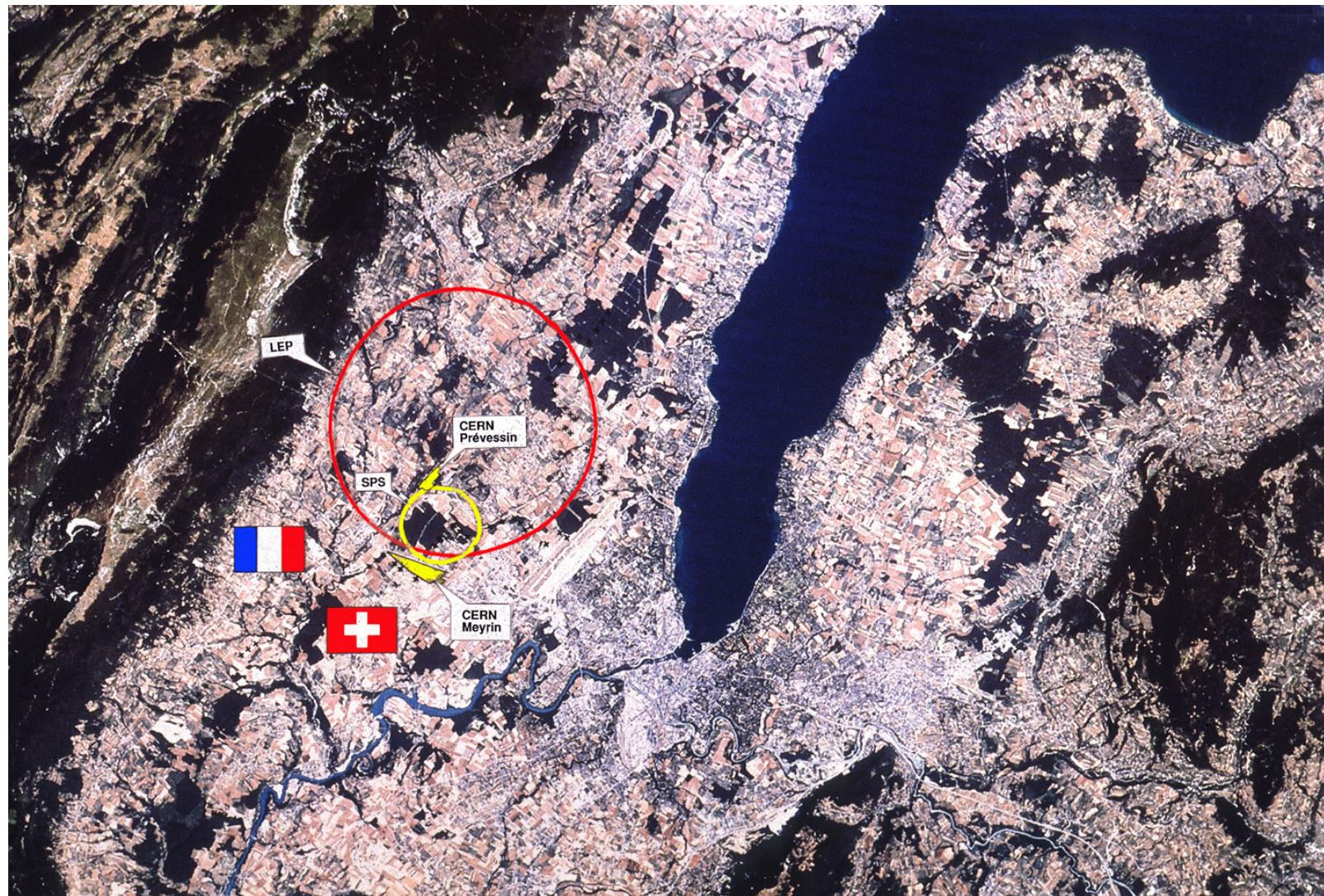
Kvadrupól mágnesekkel összenyomjuk a nyalábot

CERN – Európai Részecskefizikai Laboratórium



Az LHC alagútja, Genfi-tó, Alpok, Mont Blanc

CERN – az ūrből



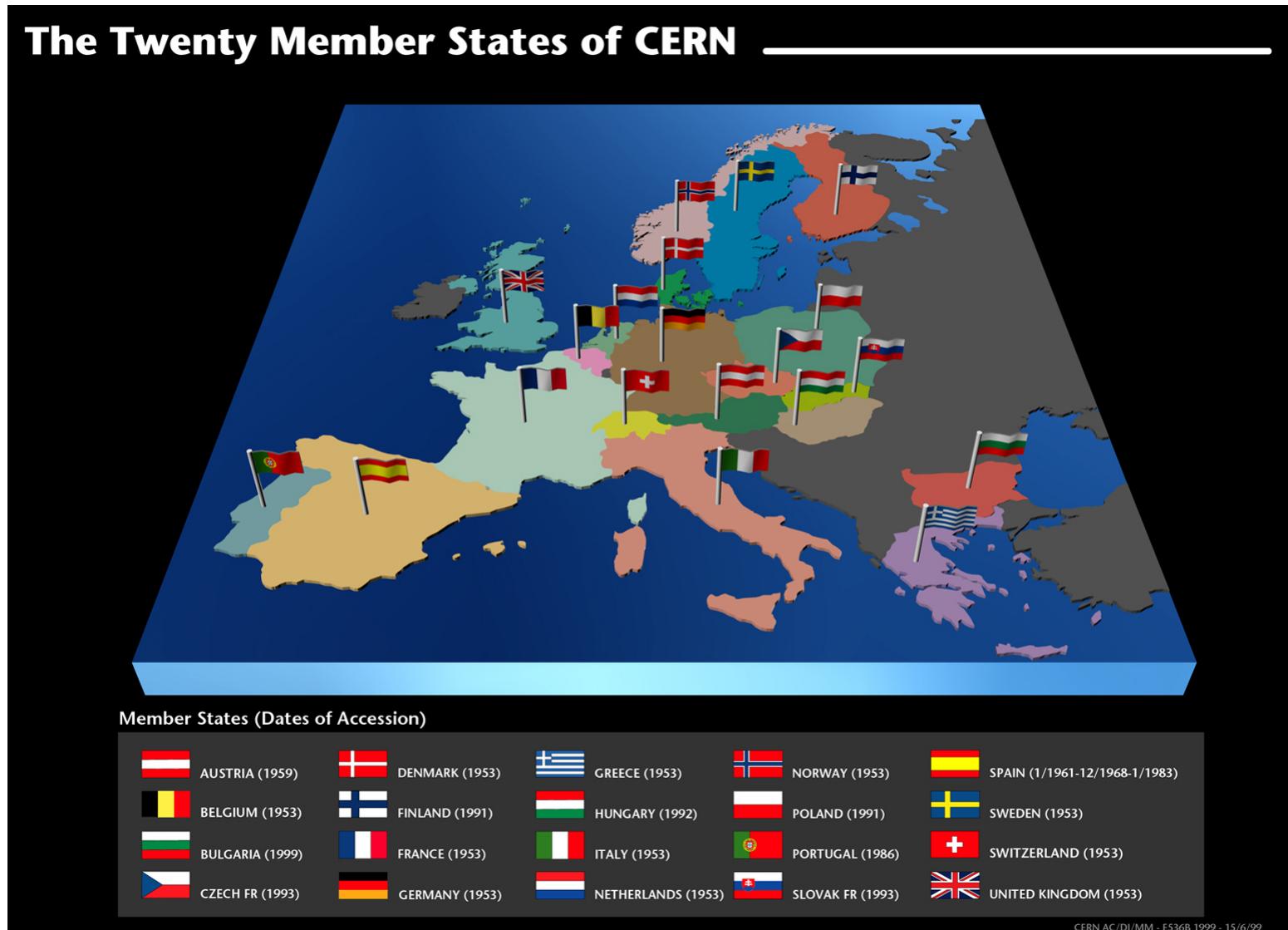
Genf mellett, a svájci-francia határon

CERN – Meyrin



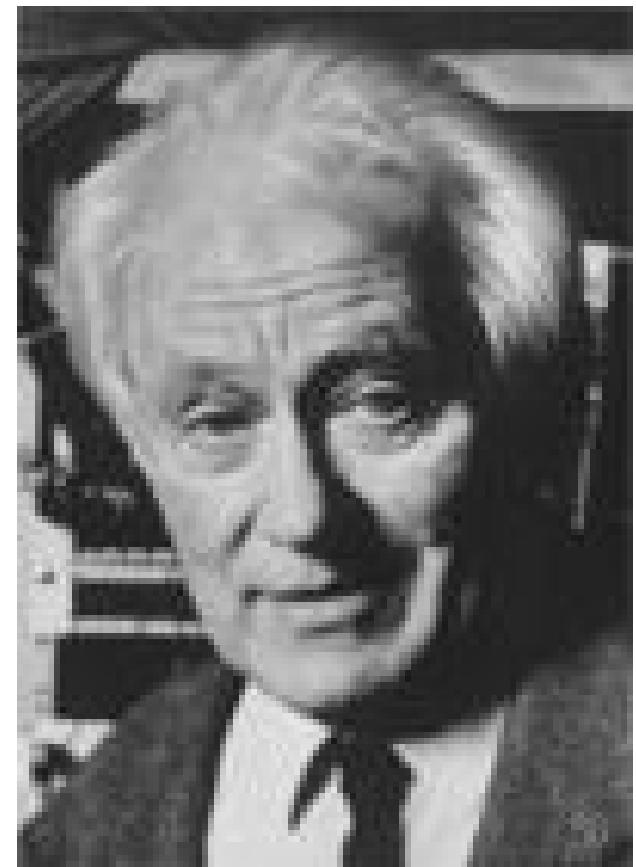
A laboratórium épületei madártávlatból

A CERN 20 tagállama



Magyarország 1992 óta tag

CERN Nobel-díjasok



Carlo Rubbia és Simon van der Meer
a W és Z részecskék felfedezése, 1984

Georges Charpak
a sokszálas proporcionális kamra kifejlesztése, 1992

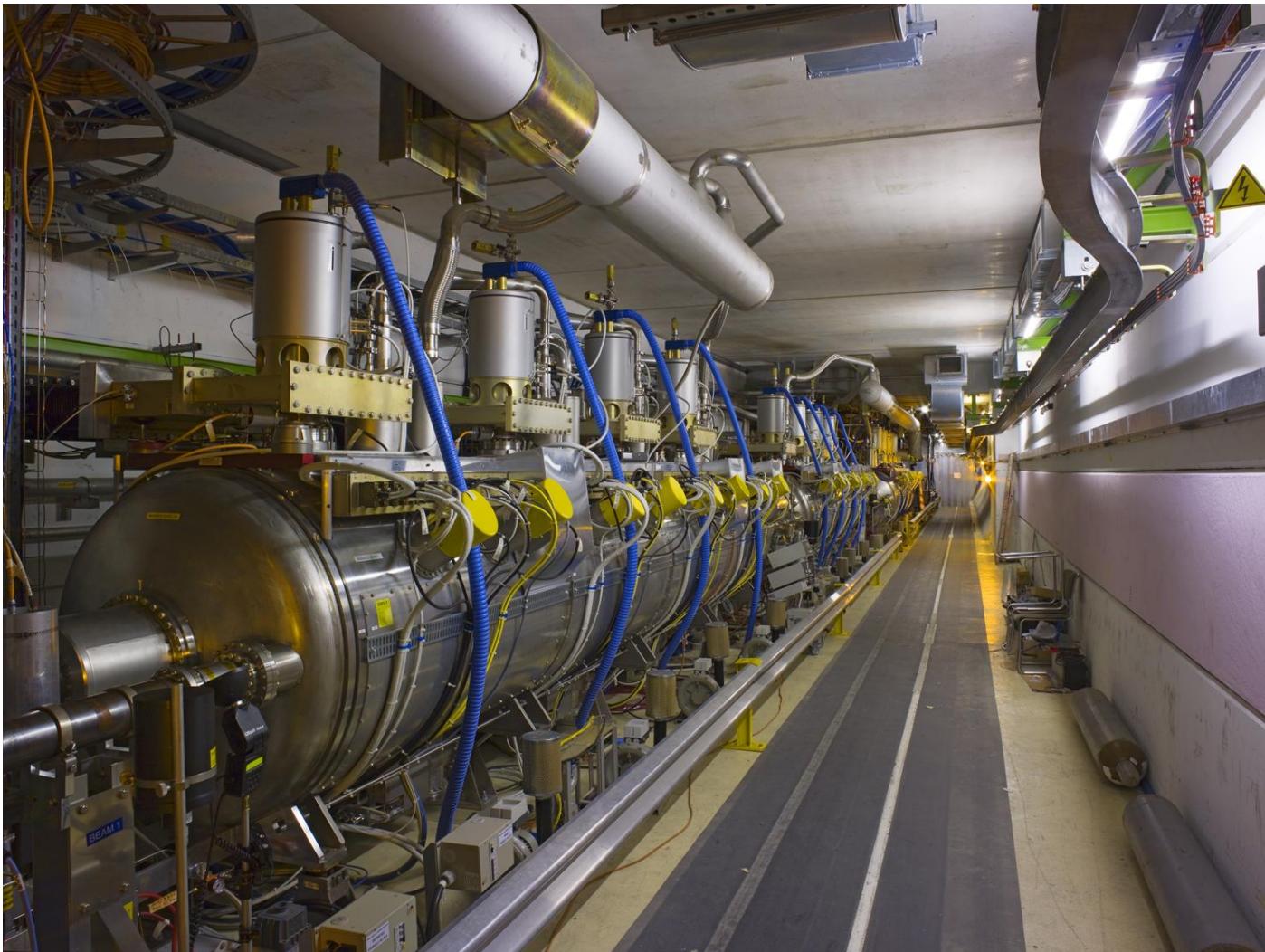
LHC

- Röviden

- 27 km kerület, 50 – 175 méter mélyen, 3.8 m átmérőjű alagútban
- Proton (3,5 TeV majd 6,5 TeV) vagy nehézion (2.76 TeV/n) nyalábok
- A nyalábok élettartama 10-20 óra

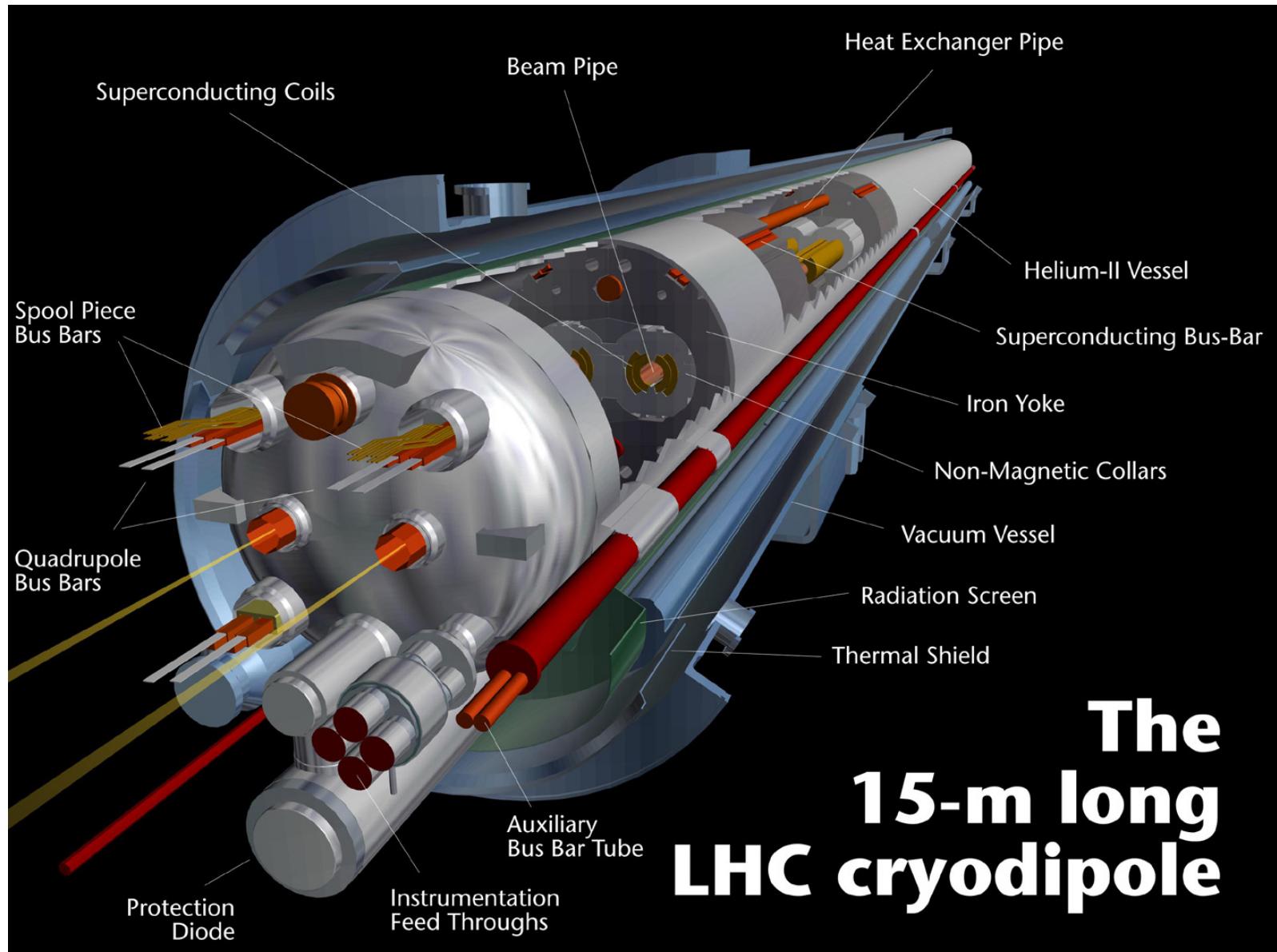


LHC – gyorsítás

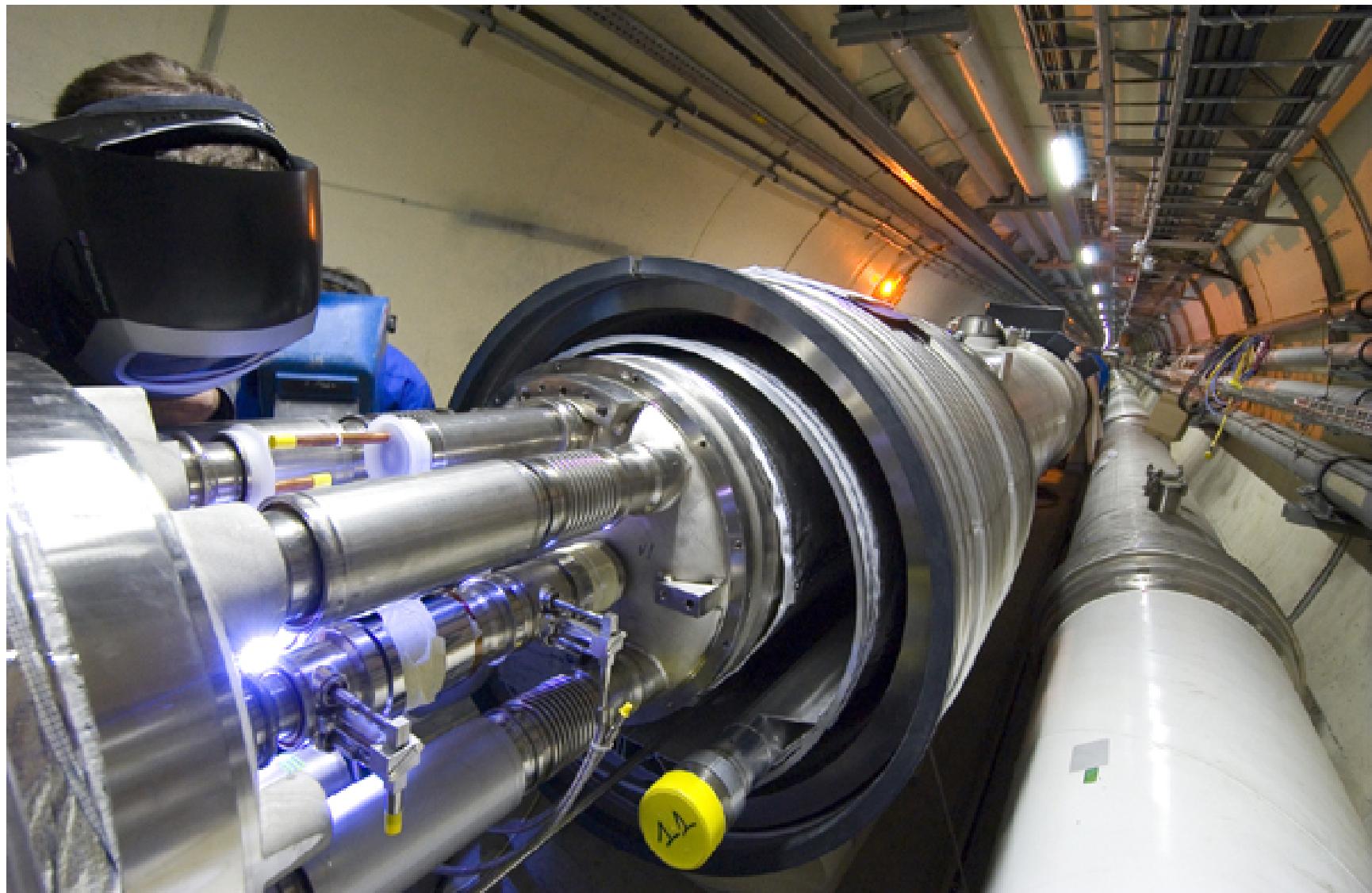


Rádiófekvenciás szupravezető üregek (4,5 K)
400 MHz frekvencia, 8 üreg nyalábonként, 5 MV/m gyorsító tér

LHC – dipól mágnesek



LHC – dipól mágnesek

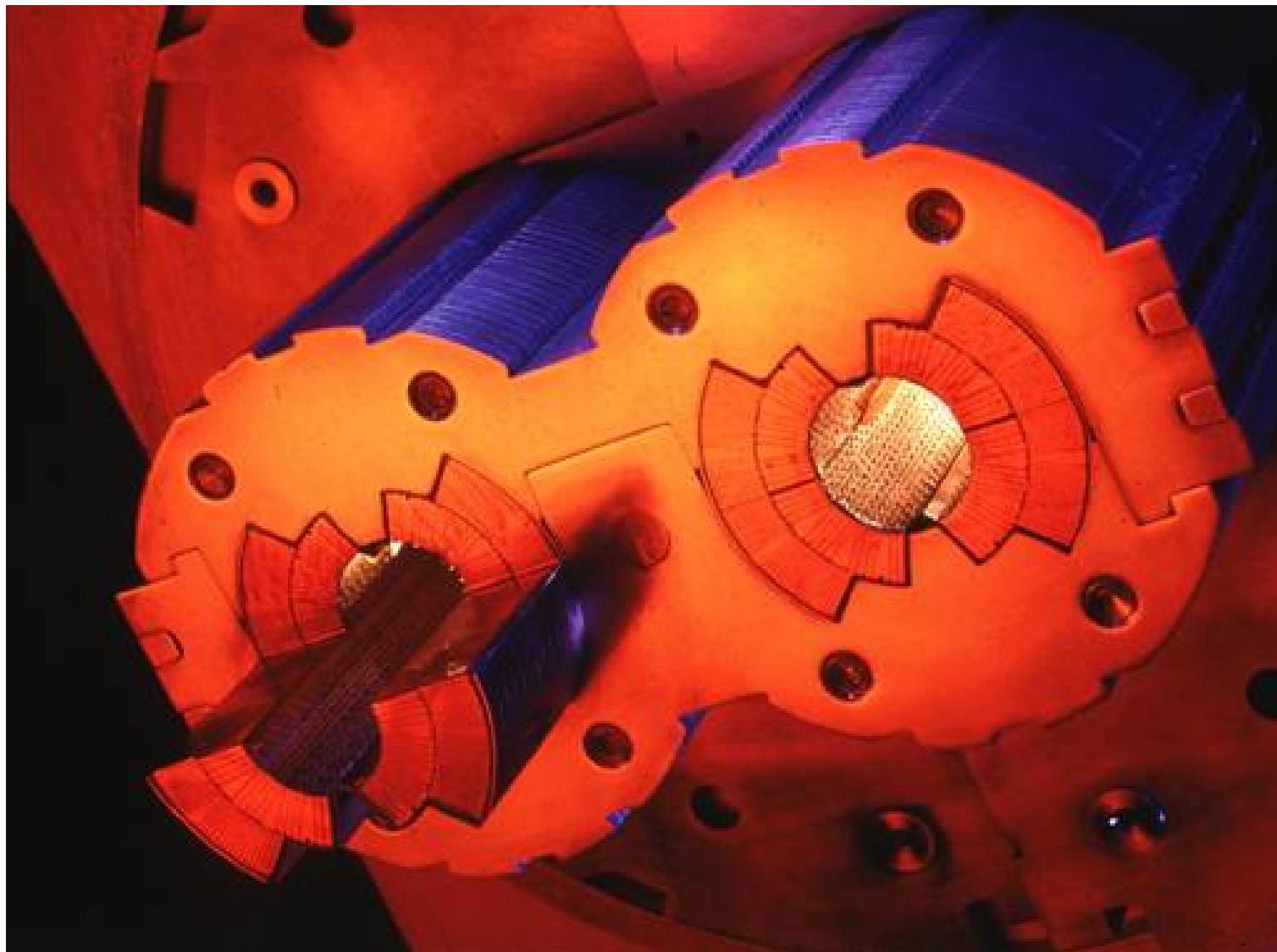


LHC – dipólmágnesek

- Dipól mágnesek
 - A legnagyobbak
 - Két nyílás (apertúra) minden két ellenétes irányba cirkuláló nyaláb számára
 - Egy dipól 15 m hosszú, 35 tonna, 1,3 GJ energia
 - 1232 darab van belőlük, 0,5 MCHF/db
 - Nióbium-titán tekercsek
 - Körülöttük nem-mágneses ausztenit: jó hőtágulás és mágneses permeabilitás
 - Ezek tartják a tekercseket a helyükön, óriási mágneses erők (400 t / 1 m)
- Kvadrupólmágnesek
 - Fókusztalálják és stabilizálják a nyalábot

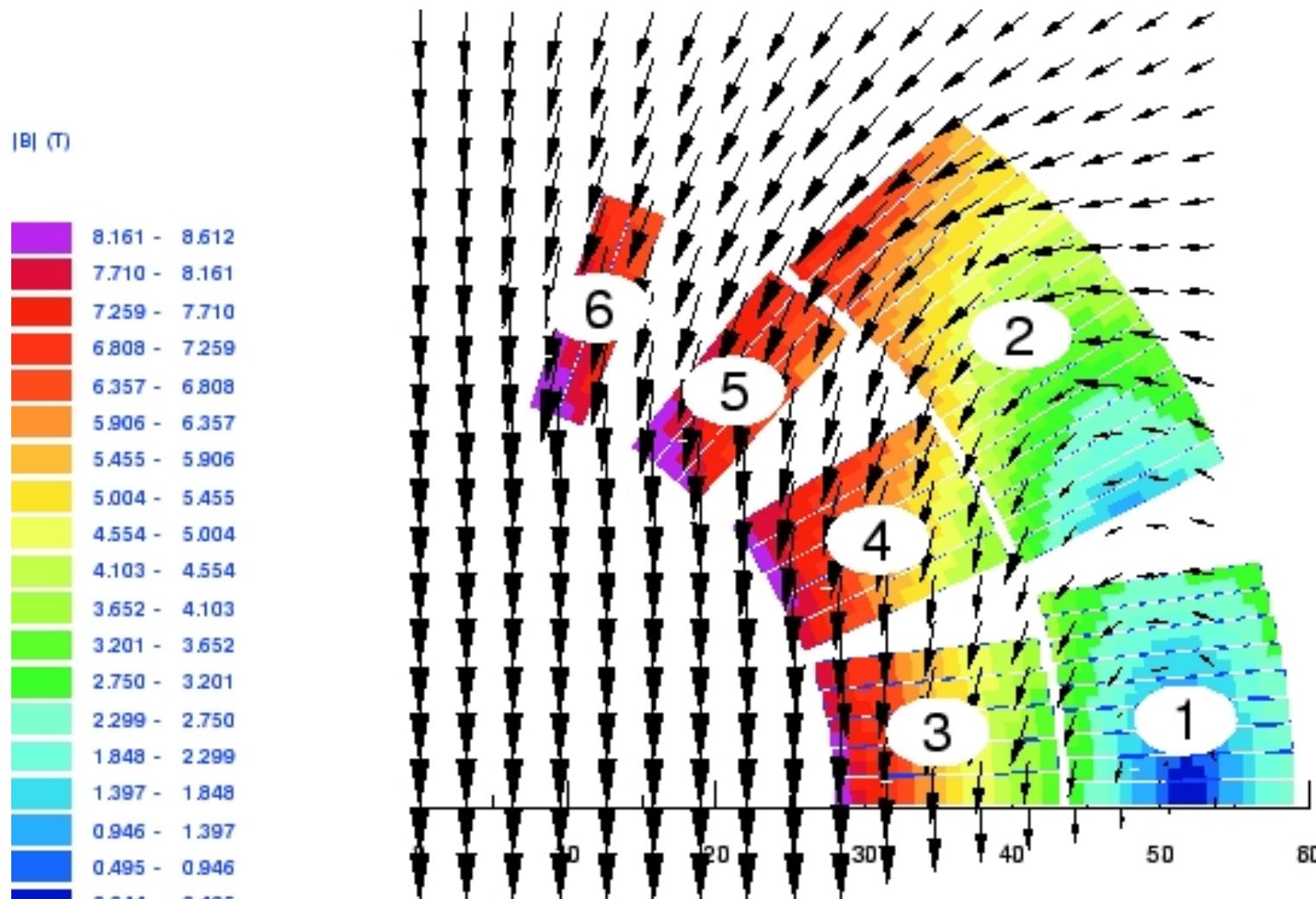
Mágnesek 1,8 K-en – a világegyetem leghidegebb nagy térfogatú helye

LHC – dipólmágnesek



8,4 T mágneses tér

LHC – dipól mágnesek



Belül homogén mágneses tér

LHC – hűtőrendszer és vákuum

- Hűtés

- Szupravezető mágnesek 1.9 K szuperfolyékony héliumban, légköri nyomáson
- Ezeket hűti alacsony nyomású folyékony hélium
- Szuperfolyékony hélium, jó hővezetés, több ezer kW hűtőteljesítmény több mint egy kilométerre, kevesebb mint 0.1 K hőmérsékleteséssel
- 140 kW 4.5 K-en, 27 km hosszan, 31000 tonna anyagot kell hűteni
- Többlépcsős kompresszorok, 40000 szivárgásmentes illesztési pont
- 12 millió liter folyékony nitrogént párologtatnak el a kezdeti lehűtéskor
- Összesen 700000 liter héliumot használnak

- Vákuum

- Ultranagy vákuum 10^{-10} Torr (3 millió molekula / cm^3)
- Tengerszint 760 Torr, 90 km 10^{-3} , 1000 km 10^{-10} , 10000 km 10^{-13}
- Háromféle vákuum, pumpálás
 - * szigetelés a szupravezető mágneseknek: 9000 m^3 , 10^{-6}
 - * szigetelés a hélium elosztó rendszernek: 5000 m^3
 - * nyaláb vákuum: kis térfogat

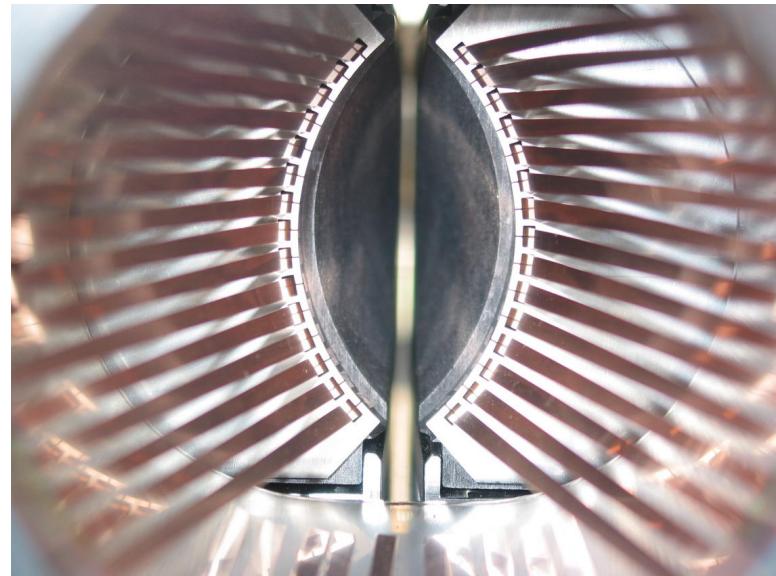
LHC – kollimátorok

- Miért?

- Óriási intenzitás, eddigiek nél ezerszer nagyobb oldalirányú energiasűrűség
- A szupravezető mágnes ill. gyorsító alkatrészek veszélyben
- A két nyaláb energiája meg tudna olvasztani 1 tonna rezet

- Kollimálás

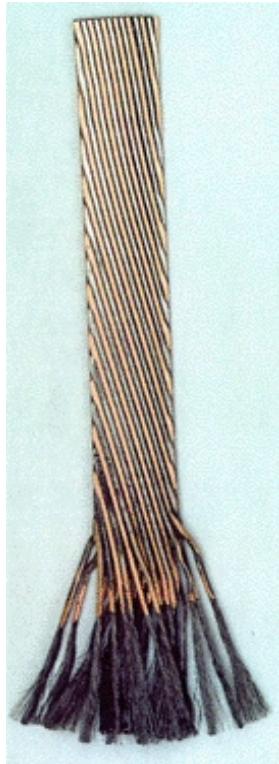
- IR3 és IR7 pontokon, mintegy 54 mozgatható kollimátor
- Ezek lesznek a legradioaktívabb területek



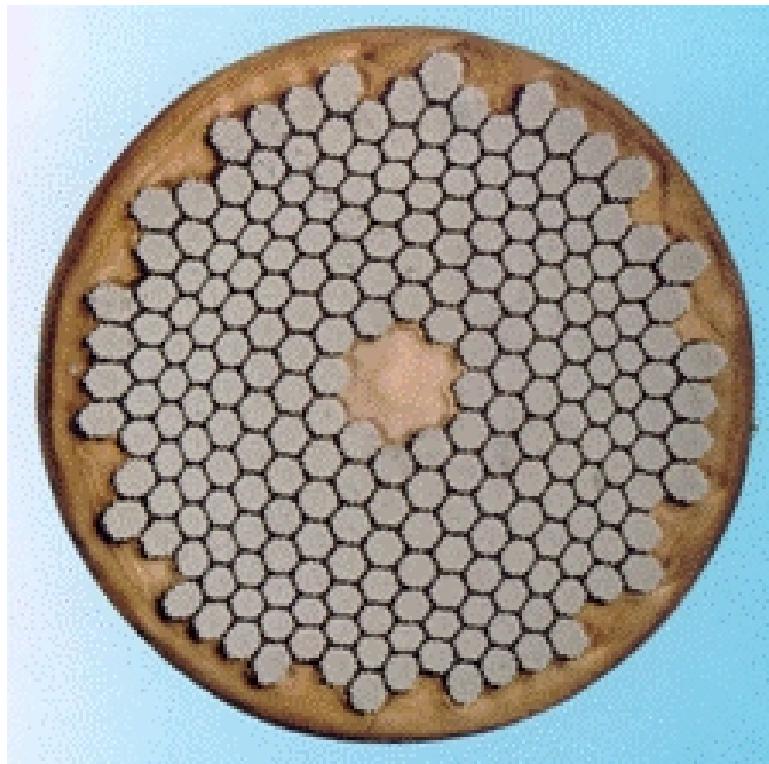
LHC – áramvezetők

- Hogyan vezessük az áramot a mágnesekbe?

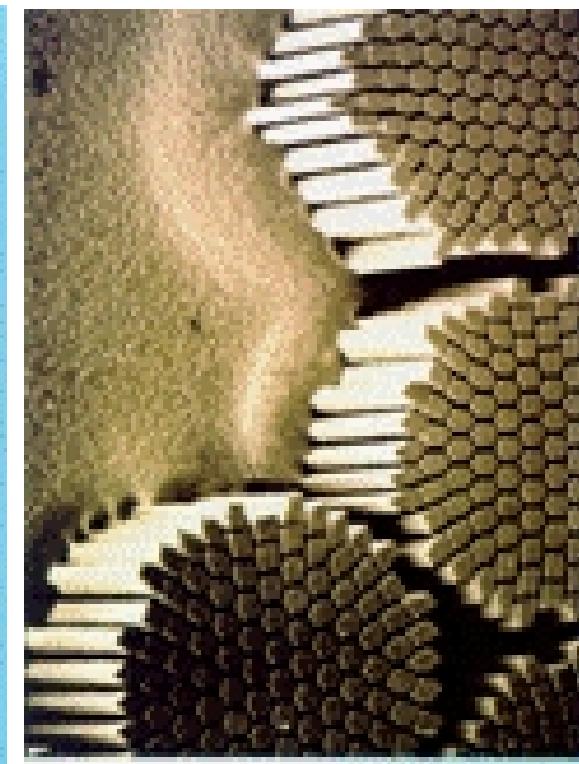
- 3 millió A a hideg szupravezető mágnesekbe szobahőmérsékletű kábelekből
- 3250 áramvezető, köztük 1030 tartalmaz nagy hőmérsékletű szupravezetőt
- 1 kábel = 36 szál, 1 szál = 6300 fonál



Kábelek



Szálak

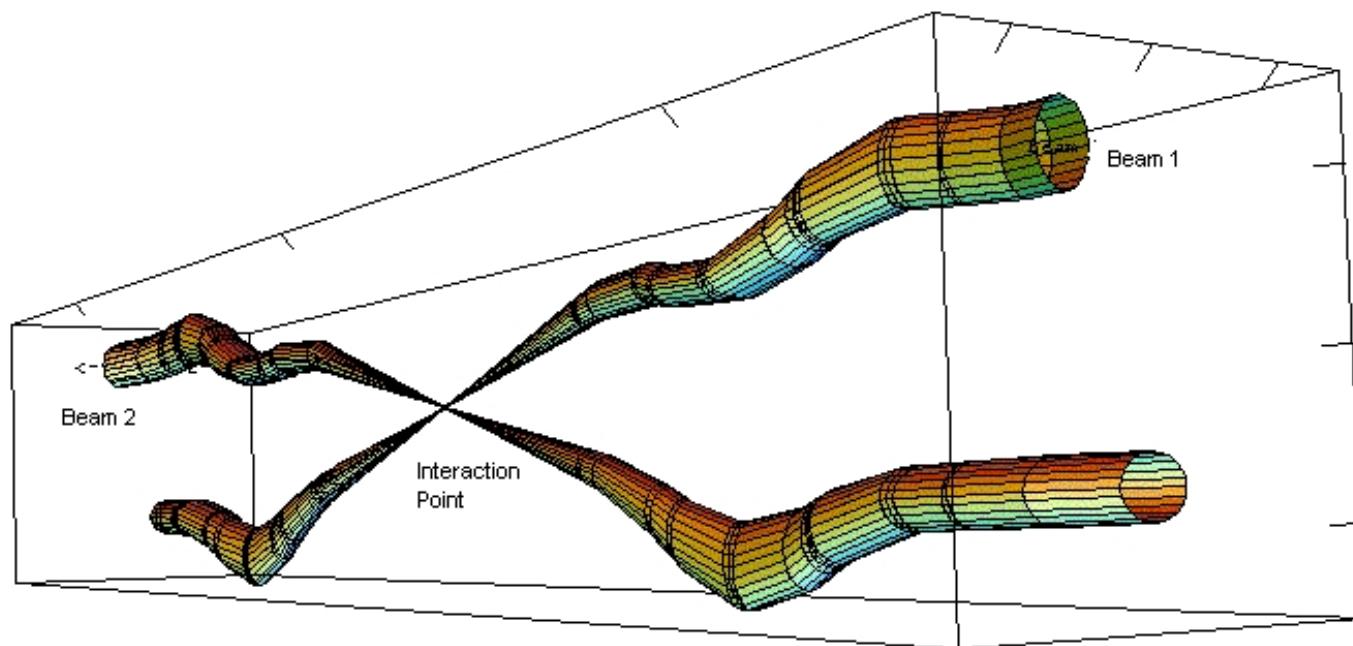


Fonalak

LHC – nyalábok

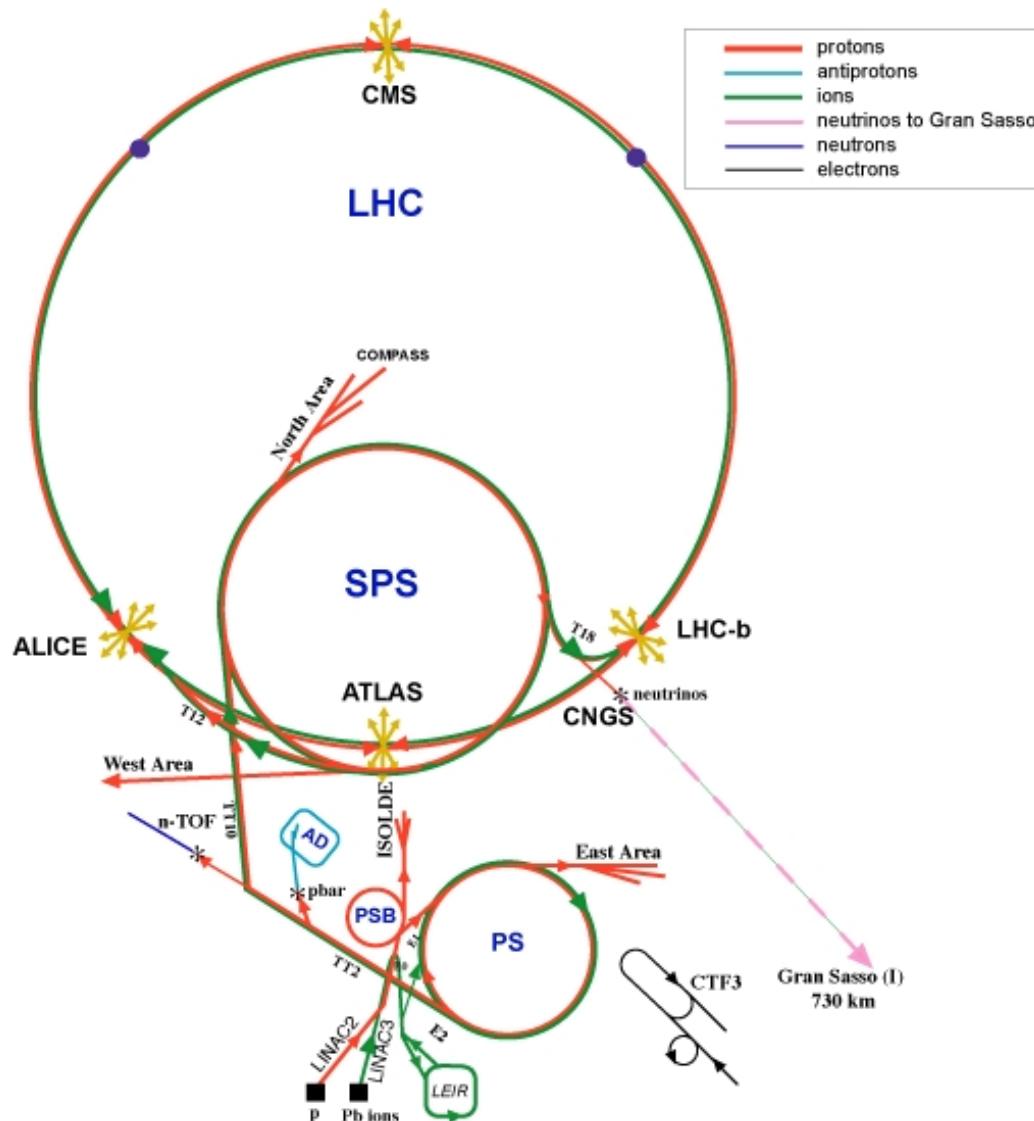
- Cél

- Vékony nyaláb
- Csomagok: 100000 millió proton, 16 mikron átmérő, néhány cm hosszú
- Csomagok találkozásakor átlagban 20 ütközés, 25 ns-onként, 40 MHz
- 800 millió ütközés másodpercenként, 2808 csomag nyalábonként



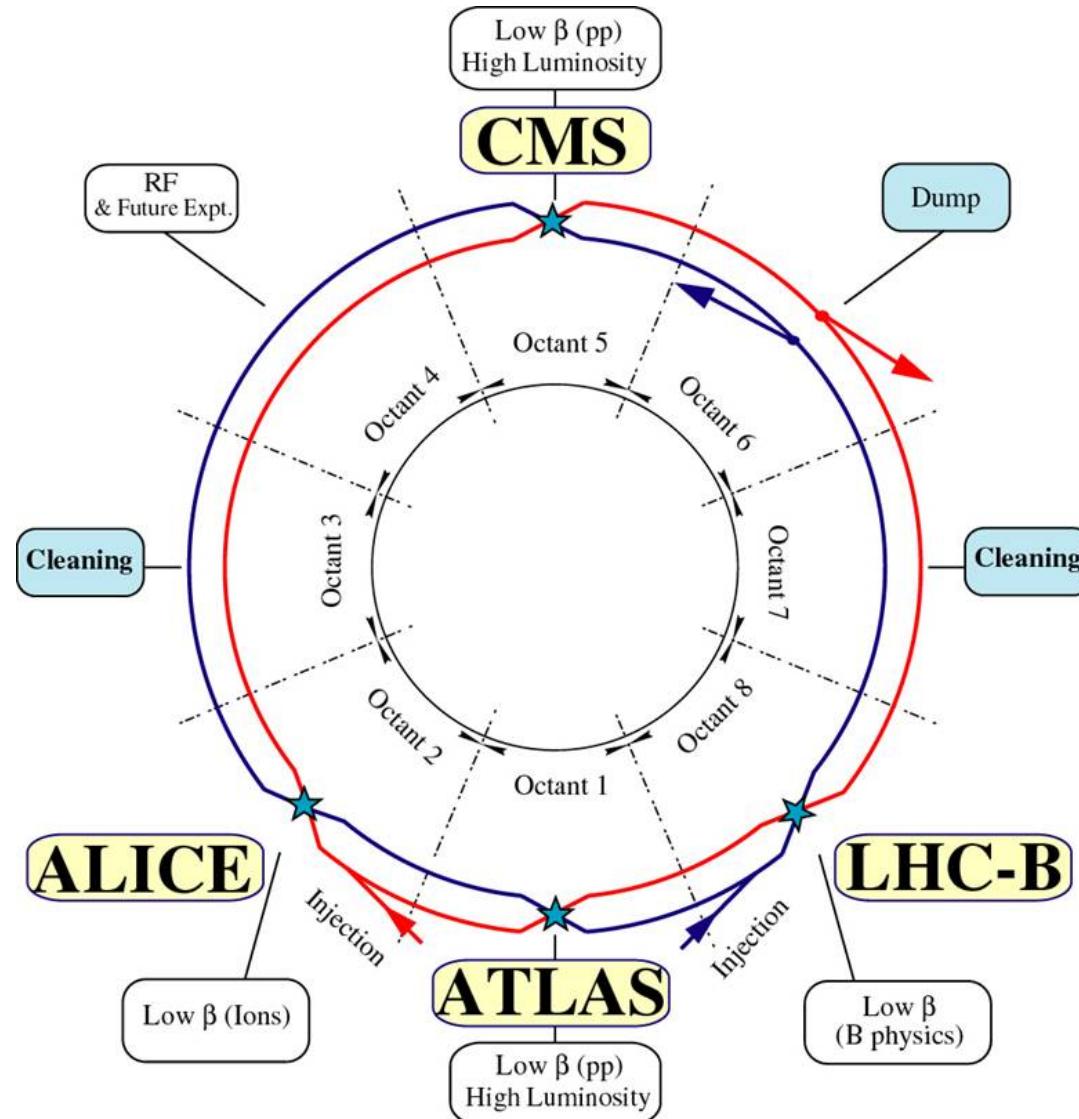
Relative beam sizes around IP1 (Atlas) in collision

LHC – a teljes kép



Linac2 → PS Booster → Proton Synchrotron → Super Proton Synchrotron → LHC

LHC – a gyorsító

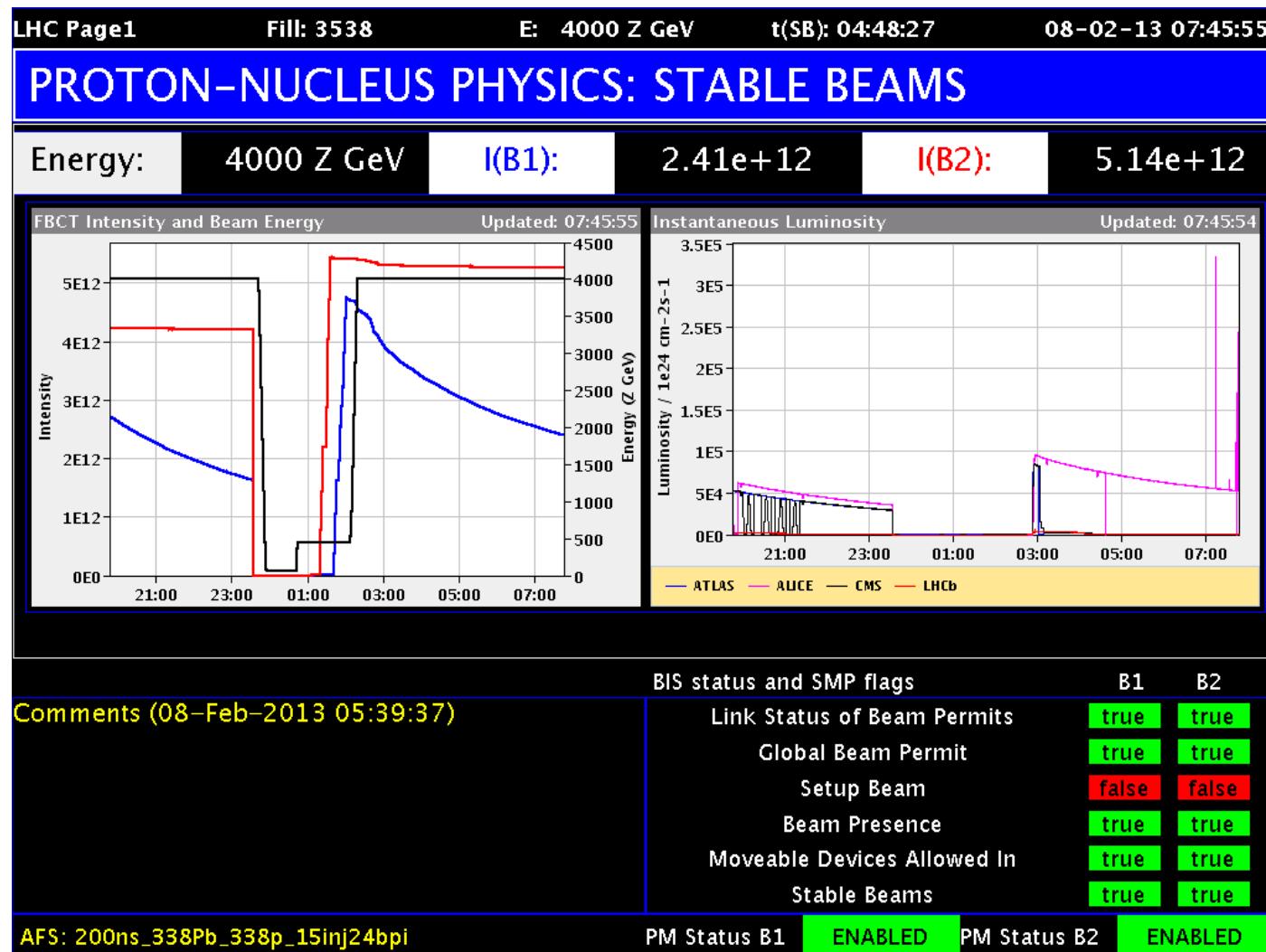


LHC – control room



2008. szeptember 10.

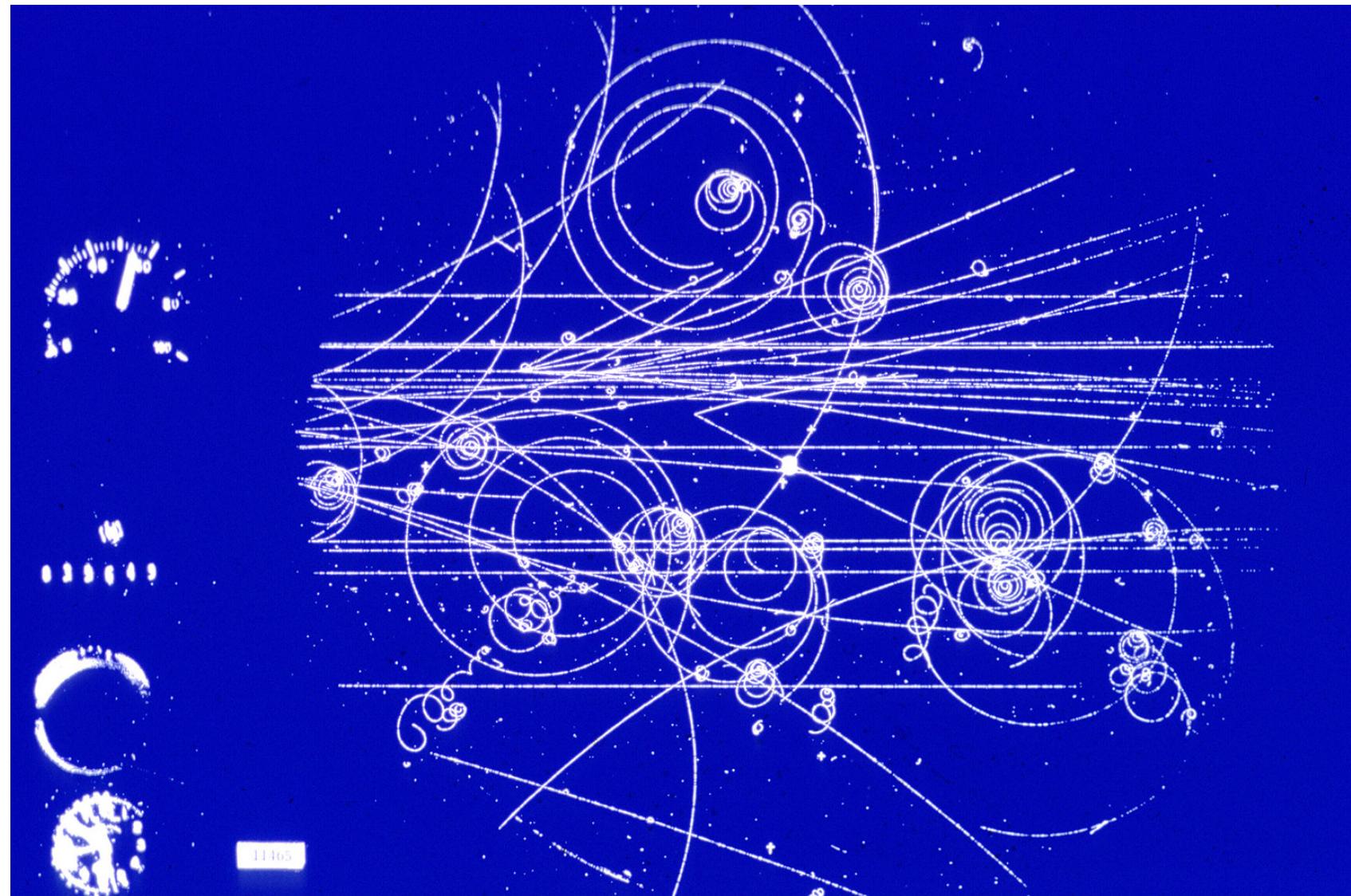
LHC – most



p-Pb ütközések 5 TeV nukleonpáronkénti tömegközépponti energián

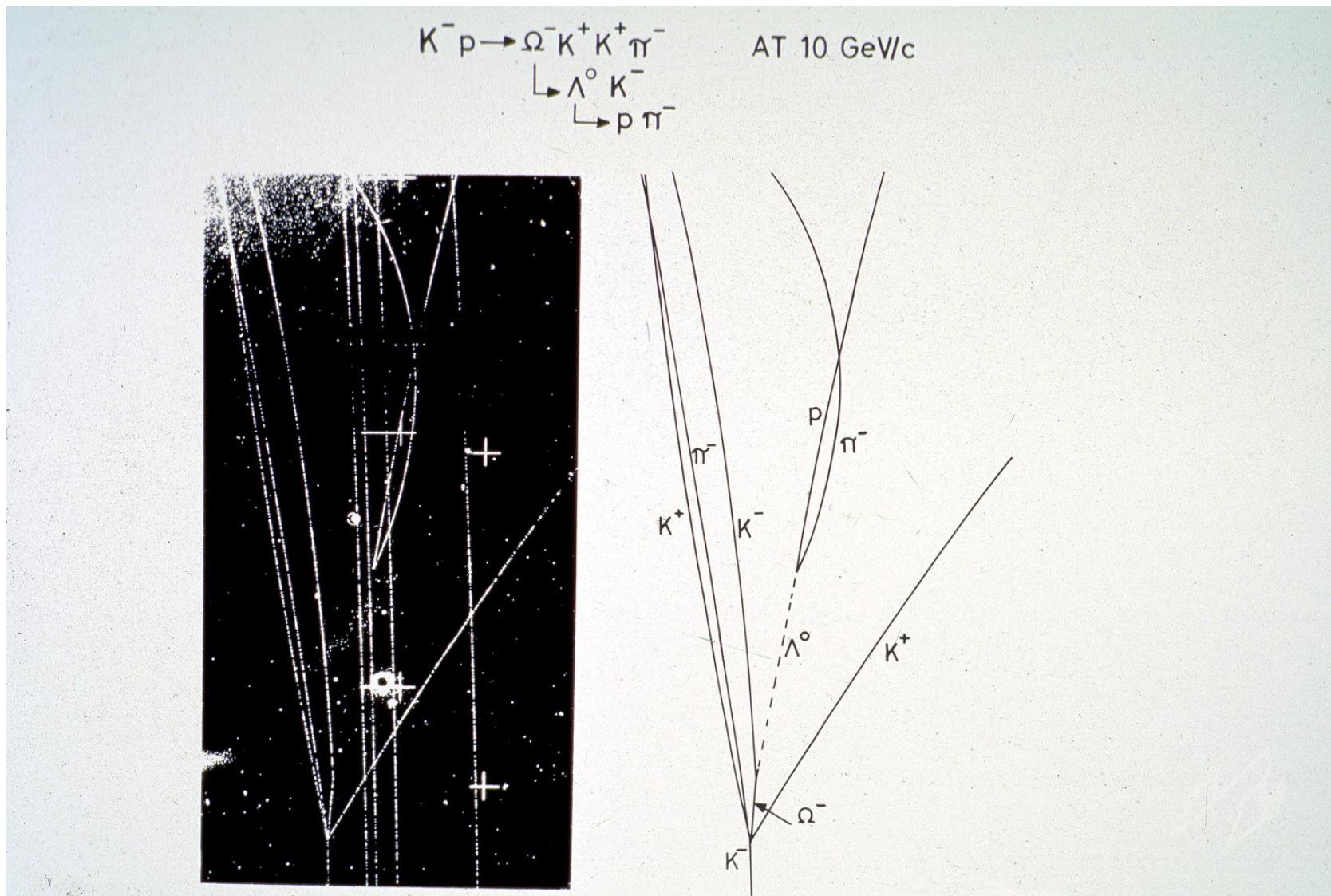
Detektorok

Detektorok – 1970



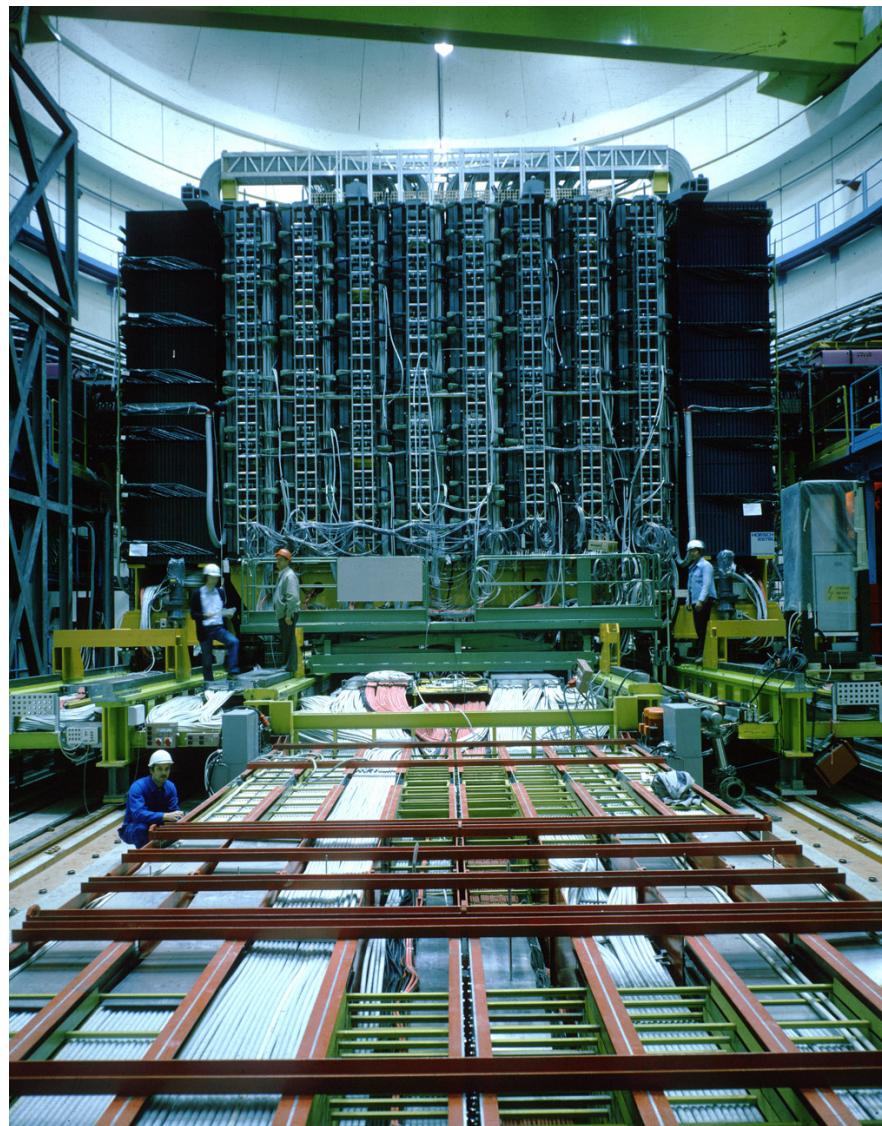
16 GeV π^- nyaláb, folyékony hidrogén buborékkamra

Detektorok – 1973



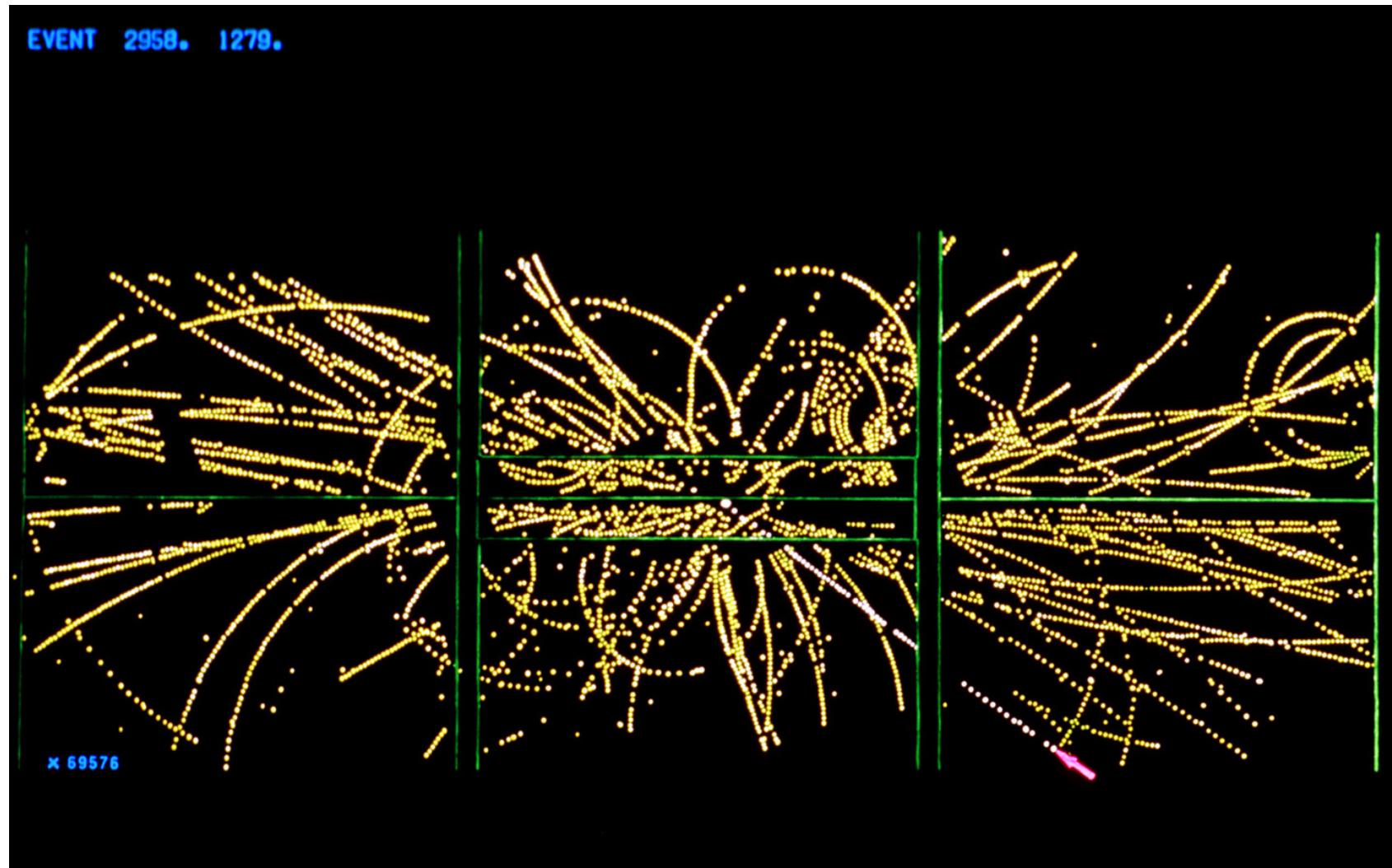
Az Ω^- részecske keltése és bomlása, buborékkamra

Detektorok – 1982



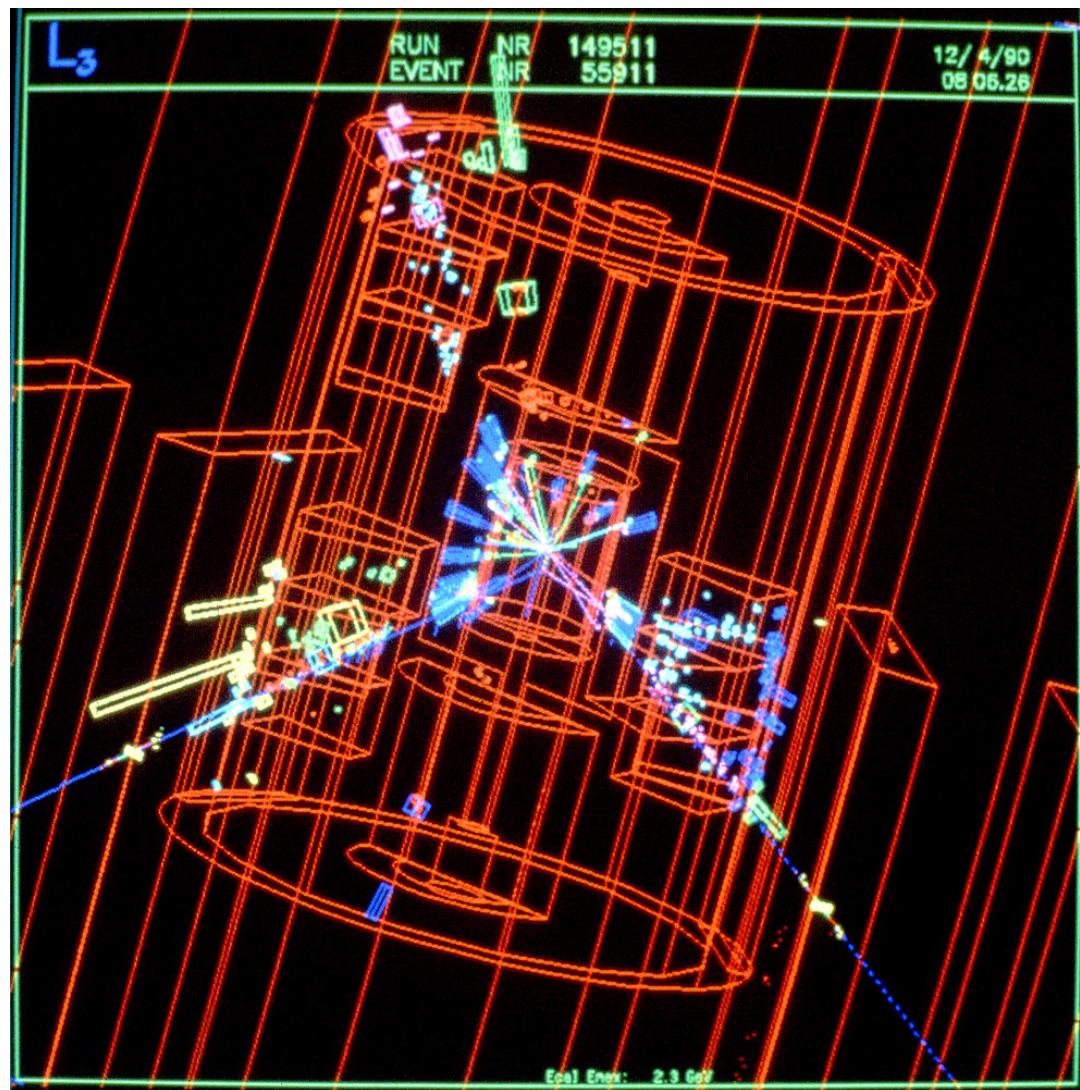
Az UA1 kísérlet összeszerelés közben

Detektorok – 1982



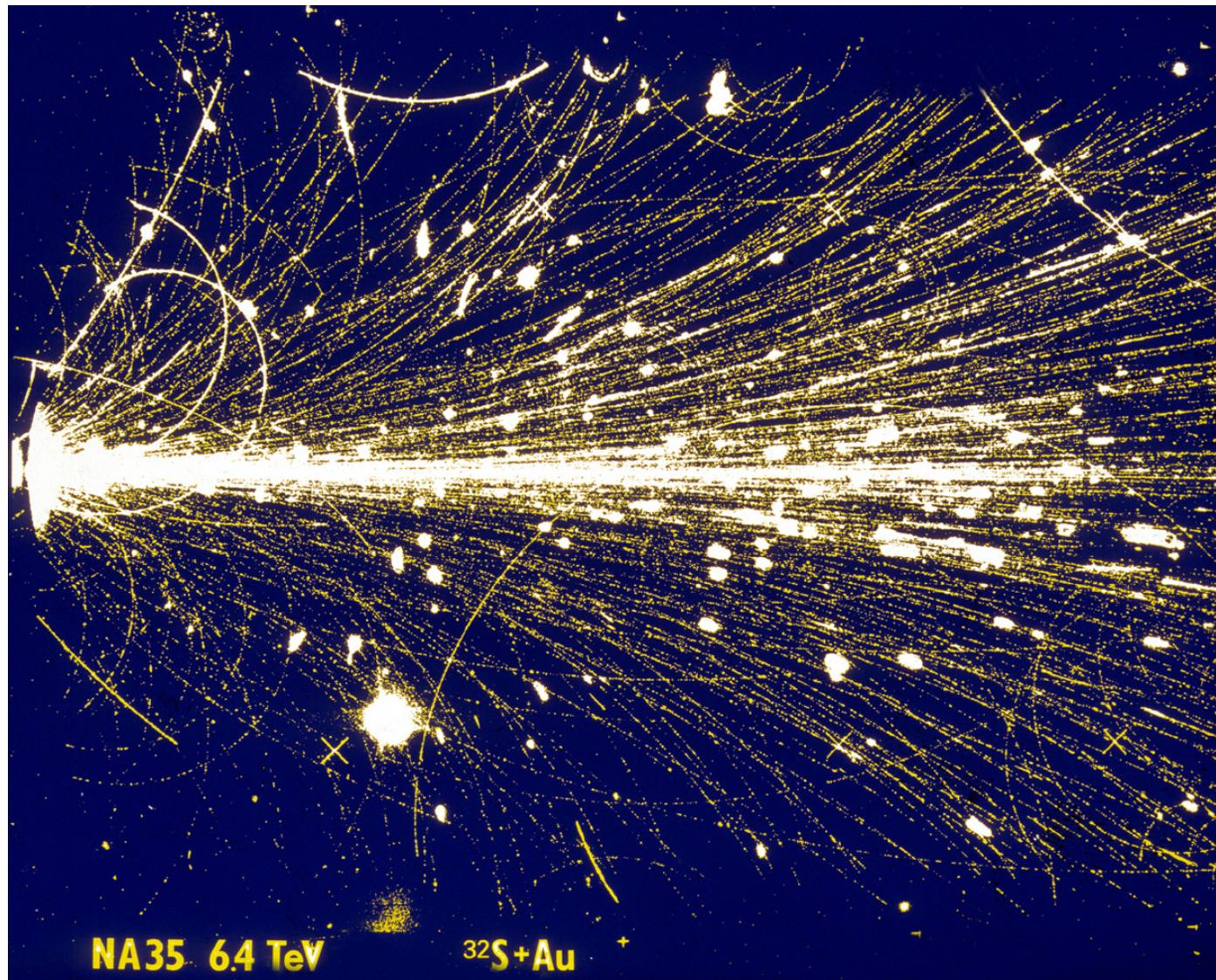
Nagyenergiájú elektron, a másik oldalon egy neutrínó: $W \rightarrow e^- \bar{\nu}$
A W részecske felfedezése az UA1 detektorban, $p + \bar{p}$ ütközésben

Detektorok – 1990



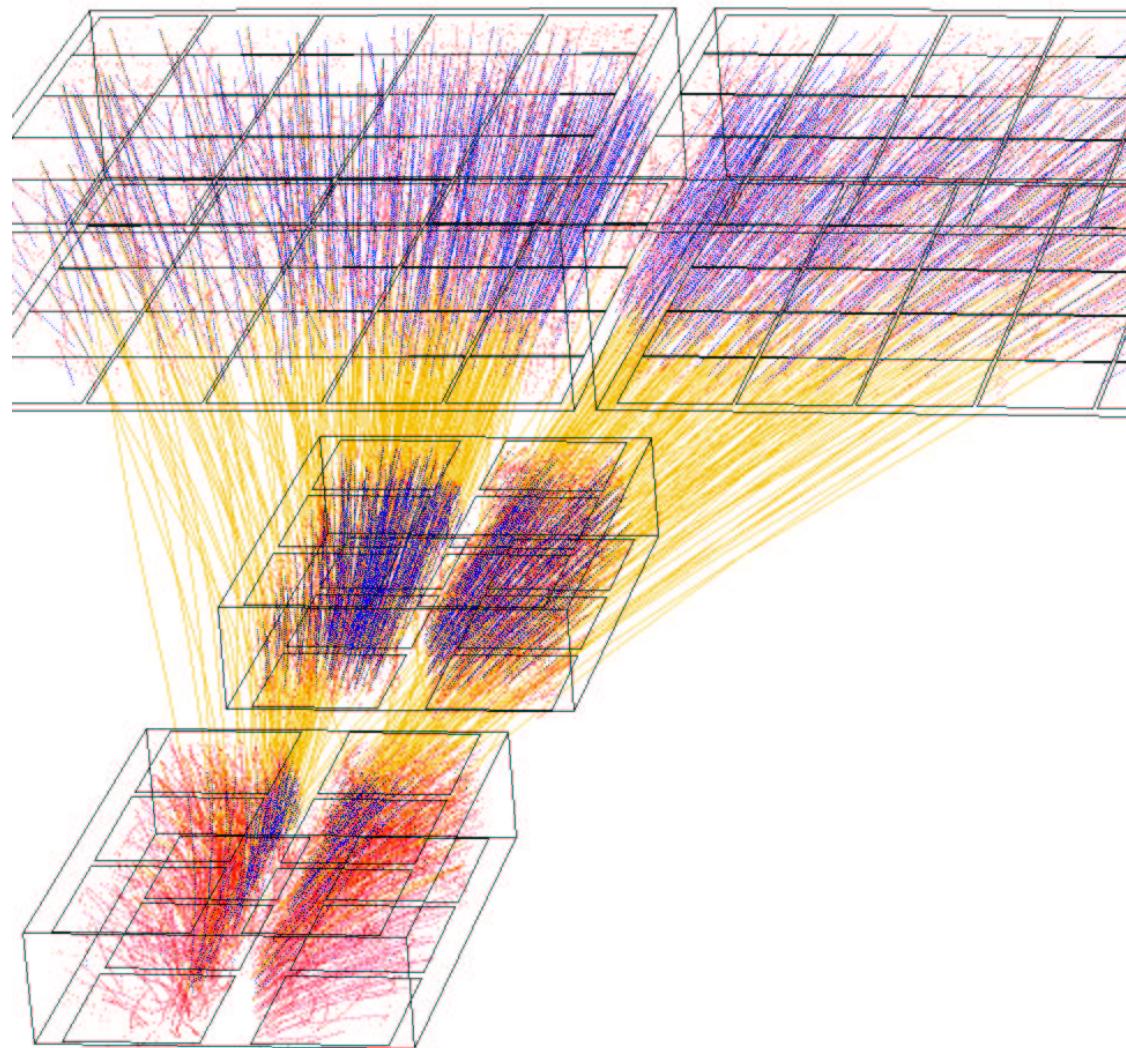
Z^0 részecske bomlása az L3 detektorban, $e^+ + e^-$ ütközésben, 3 jet

Detektorok – 1991



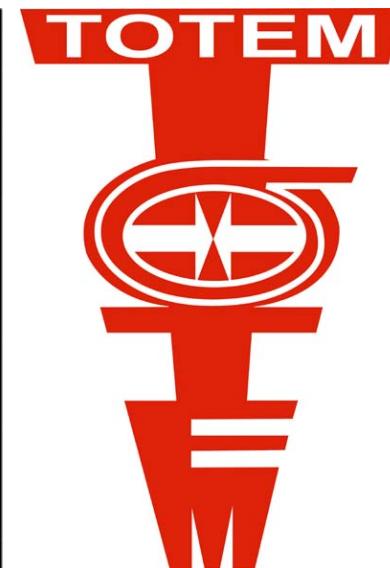
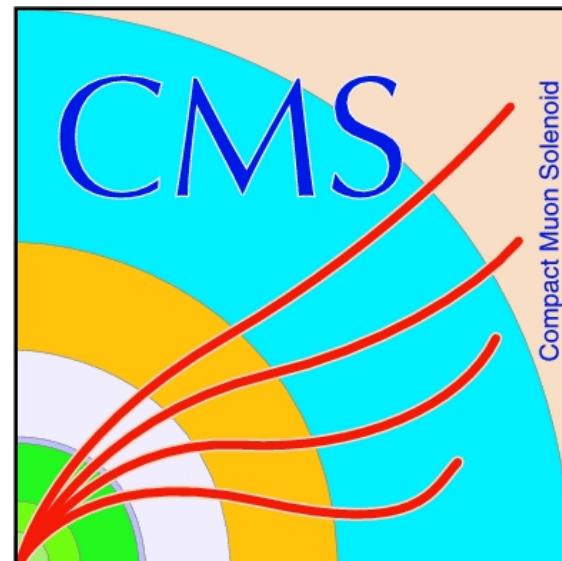
6400 GeV energiájú kénmagok arany céltárgyon, szikrakamra

Detektorok – 1996



Ólommagok ütközése az NA49 kísérletben, gáztöltésű kamra (TPC)

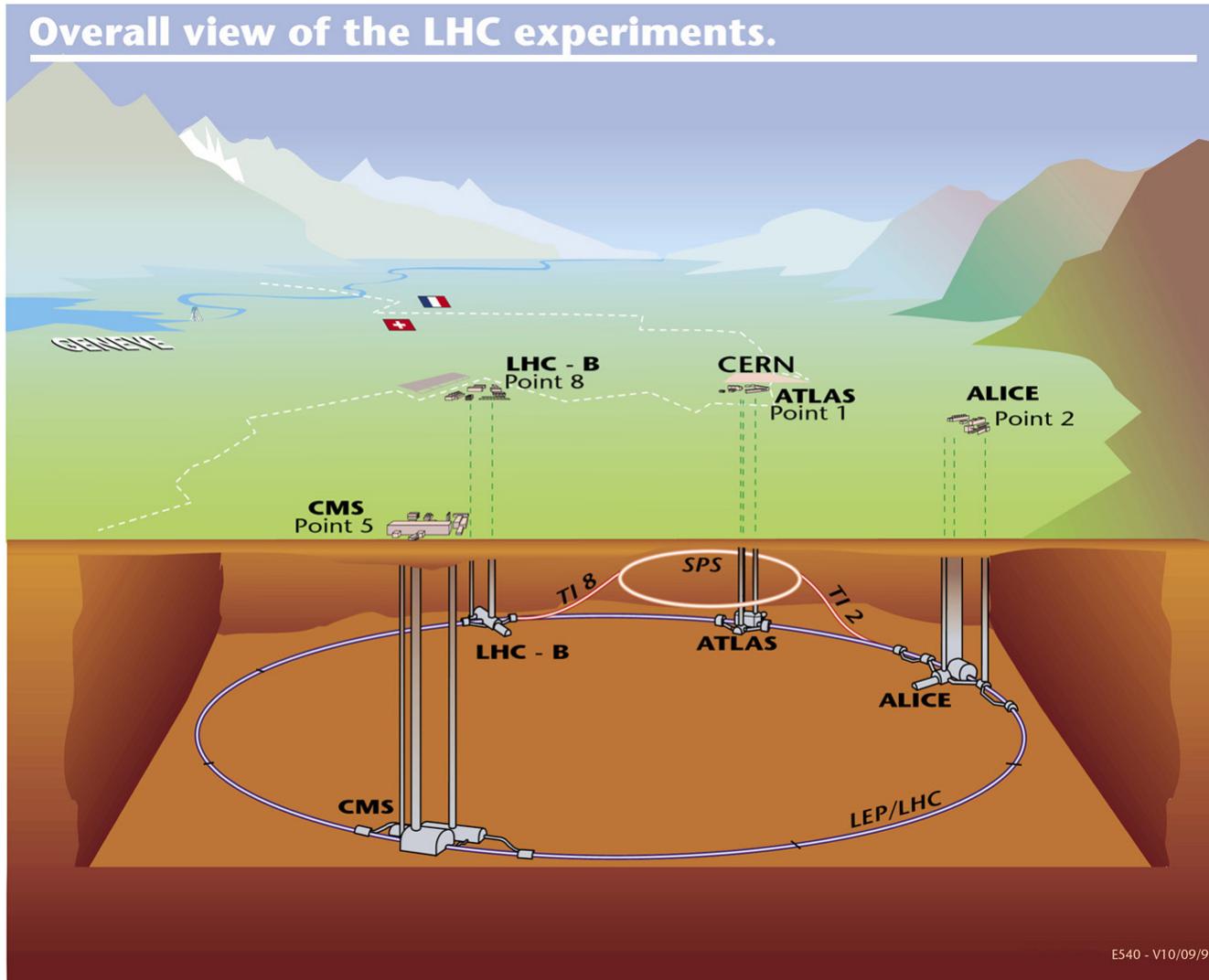
LHC – kísérletek



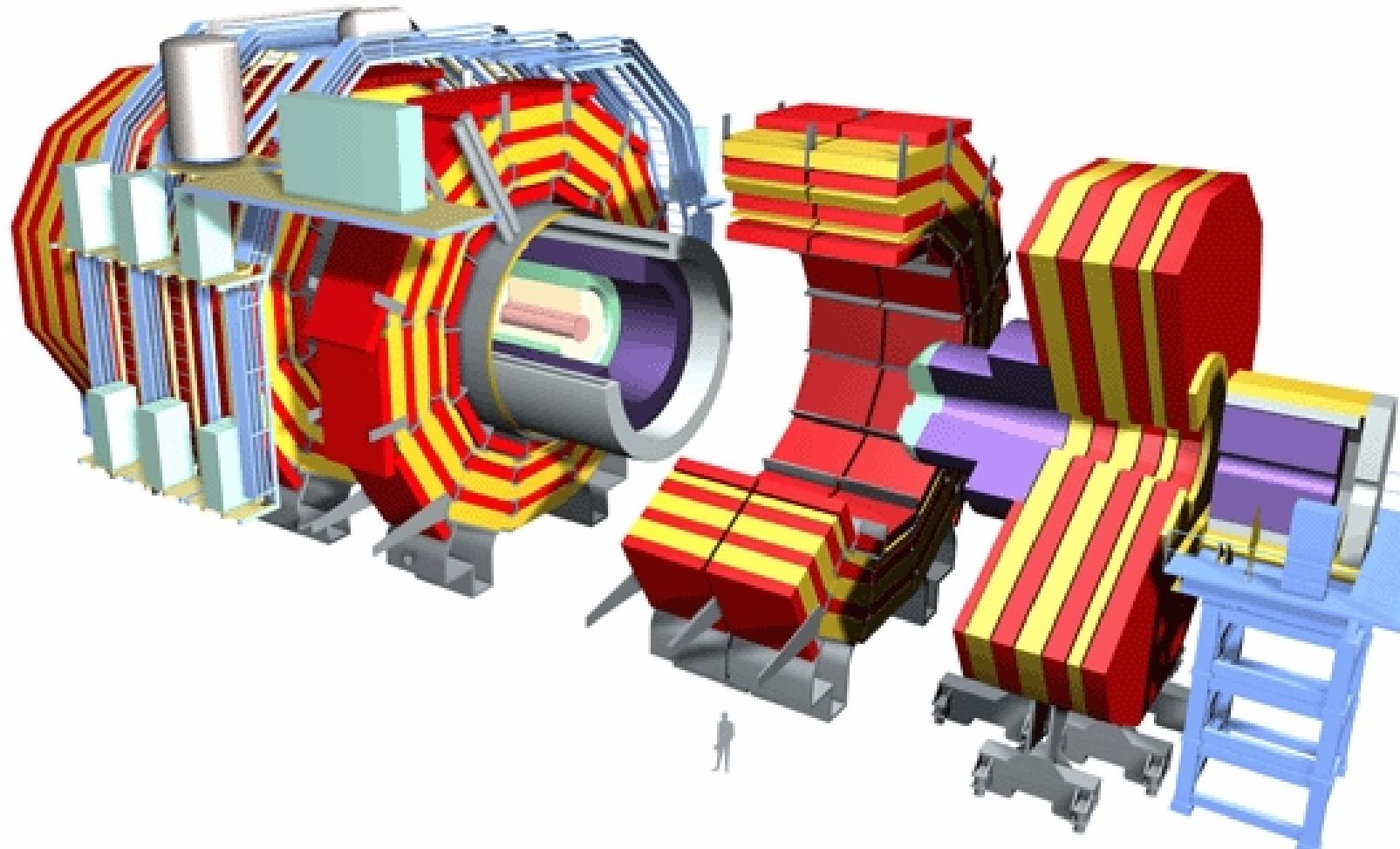
LHC – kísérletek

- A gyorsító
 - LHC (Large Hadron Collider), a Nagy Hadron Ütköztető
- A kísérletek
 - ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus)
 - CMS (Compact Muon Solenoid)
 - LHCb (The Large Hadron Collider beauty experiment)
 - ALICE (A Large Ion Collider Experiment @ CERN)
 - TOTEM (Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation at the LHC)
 - LHCf (LHC forward)

LHC – kísérletek

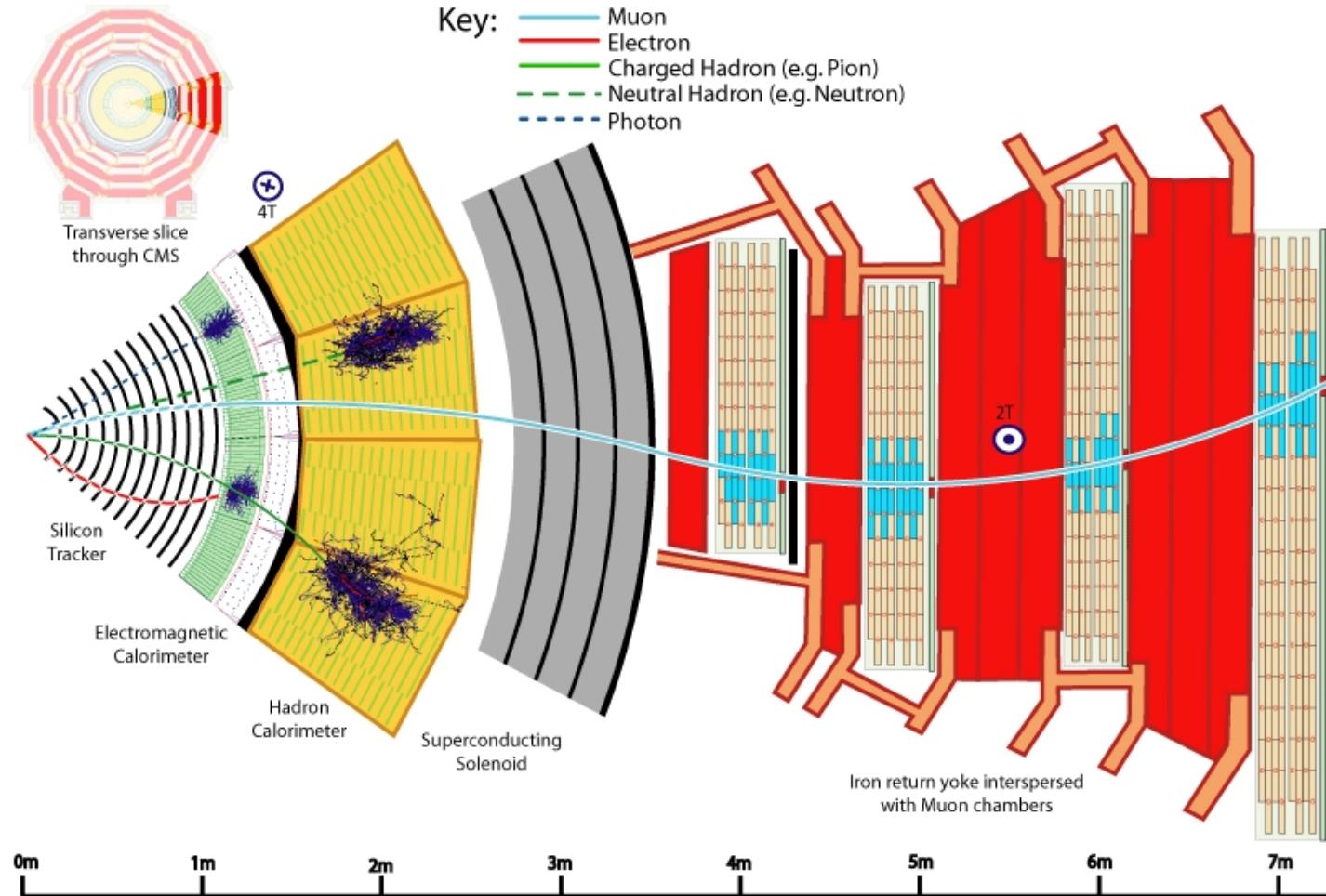


CMS – a detektor



Nagy akzeptancia, hermetikus lefedés
p-p program: a Higgs-bozon felfedezése, a szuperszimmetria ellenőrzése
Nehézion program: hadronikus anyag extrém körülmények között

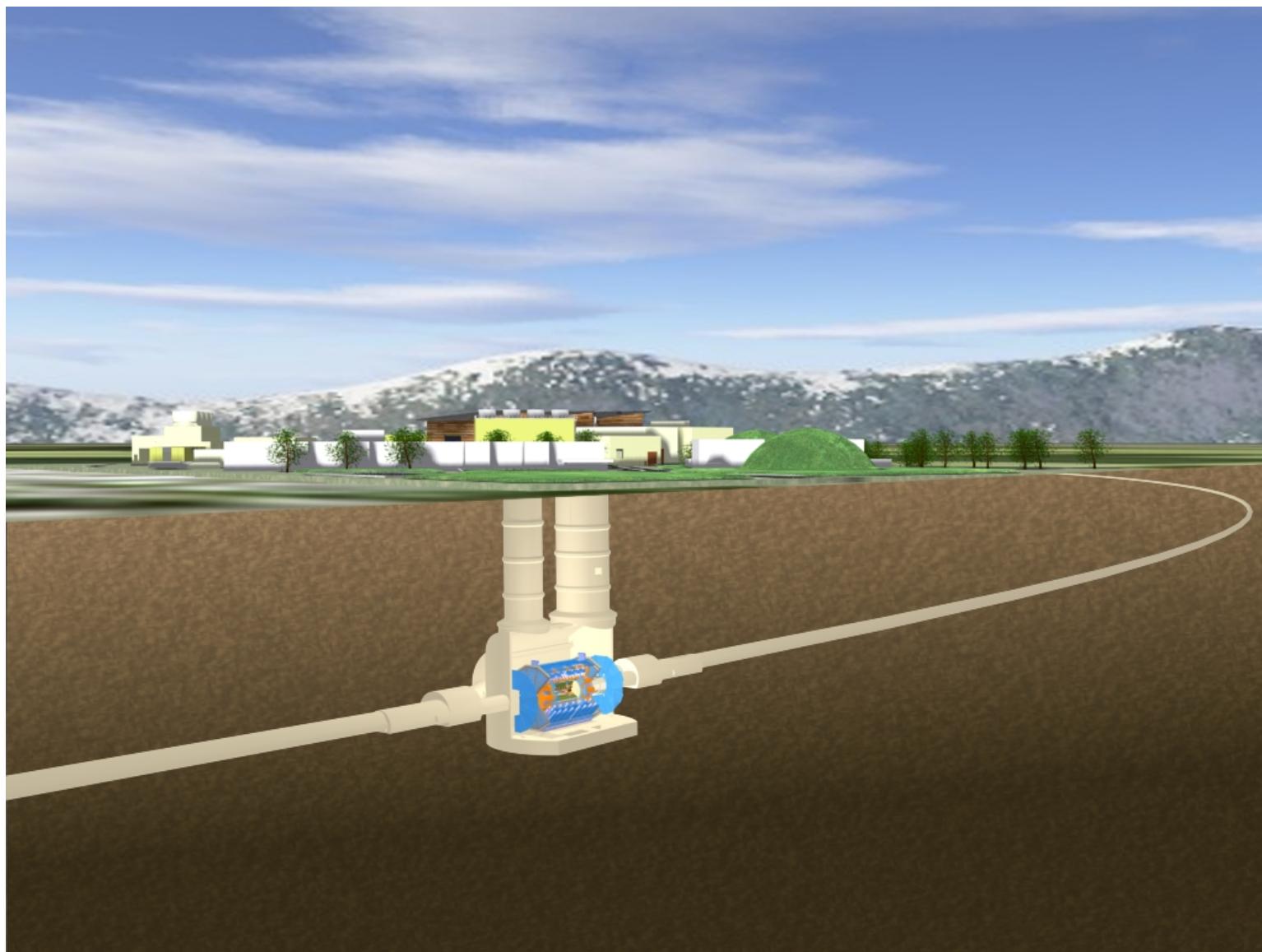
Keresztmetszet



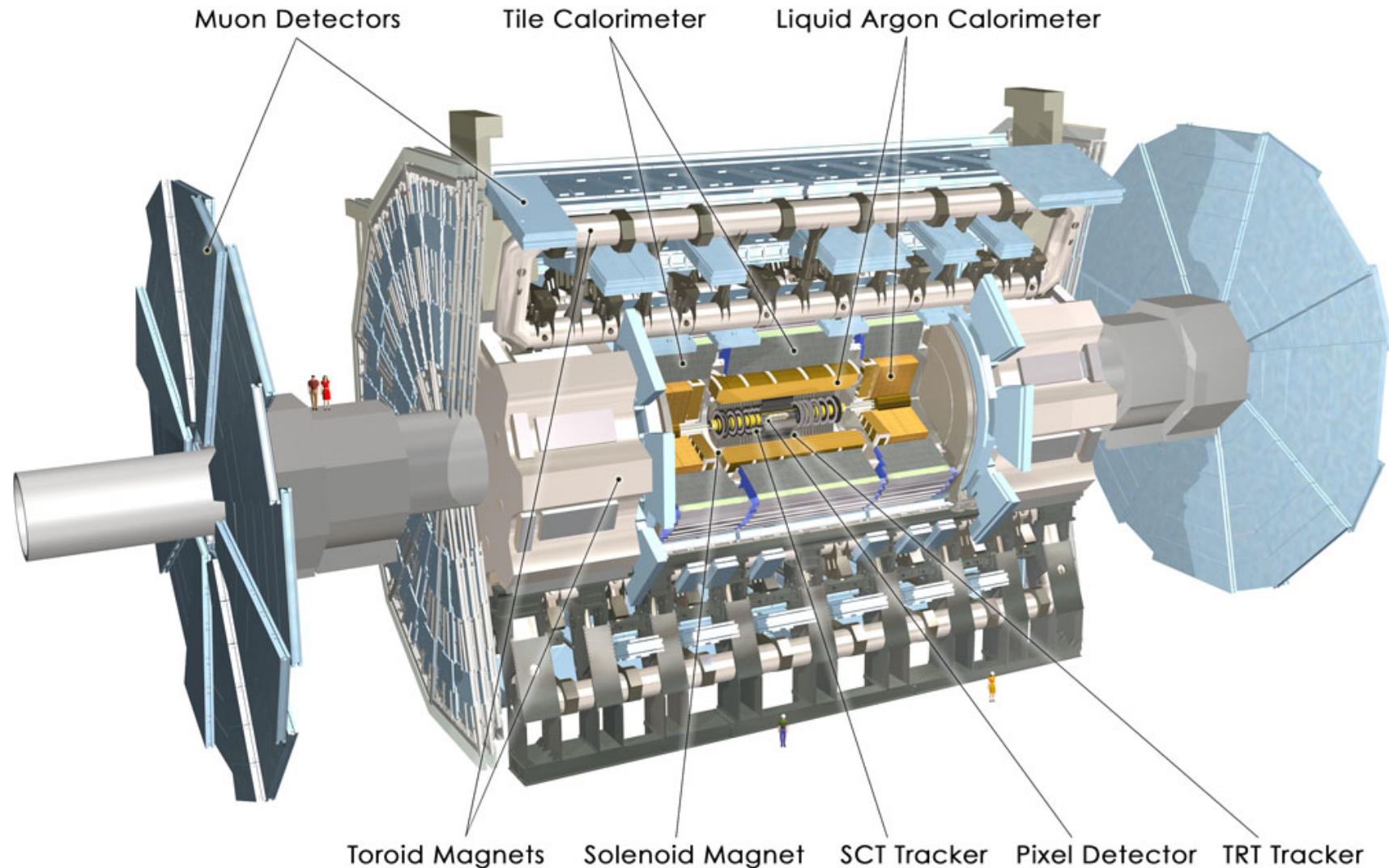
CMS

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

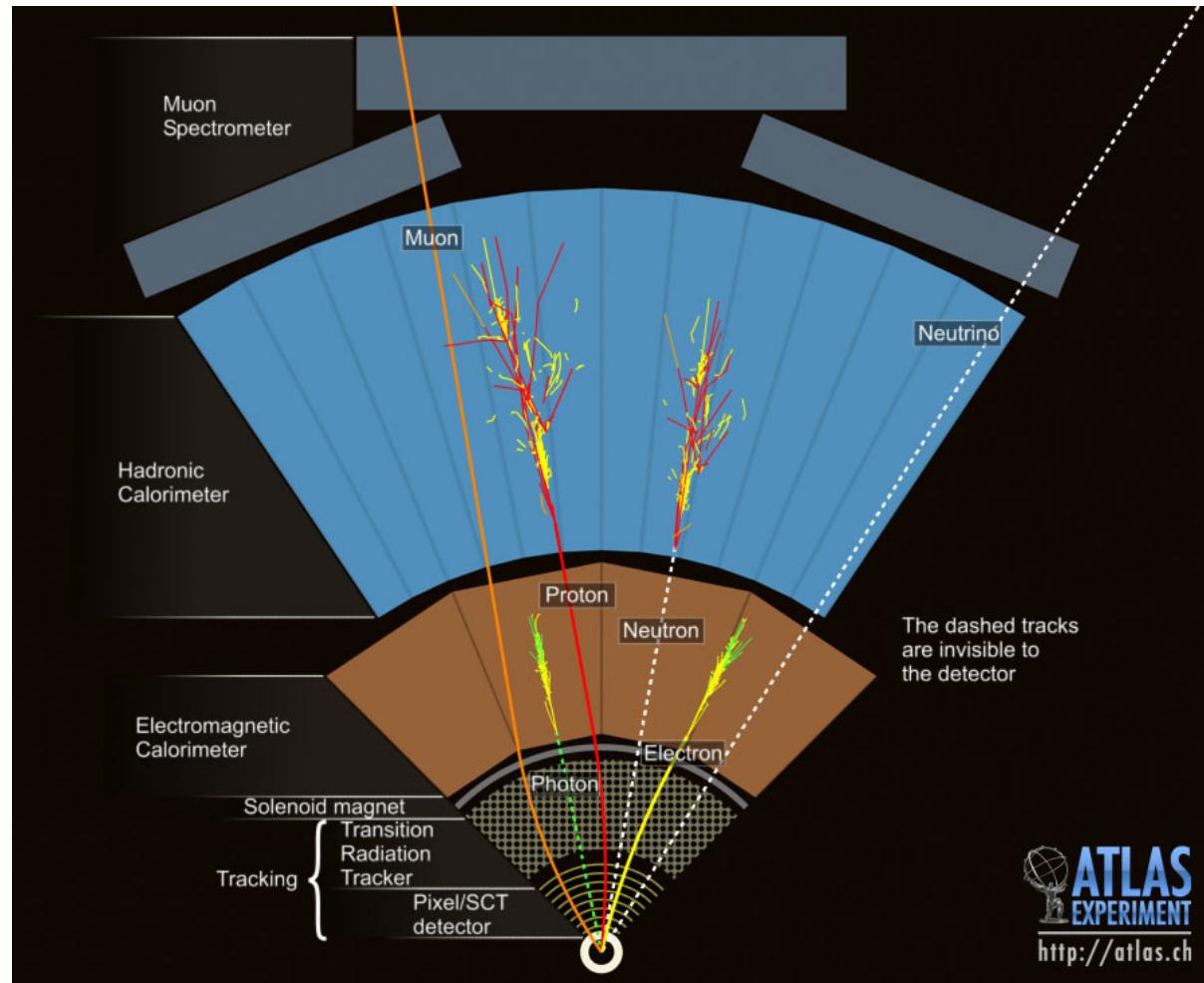
ATLAS



ATLAS – a detektor



Keresztmetszet



ATLAS

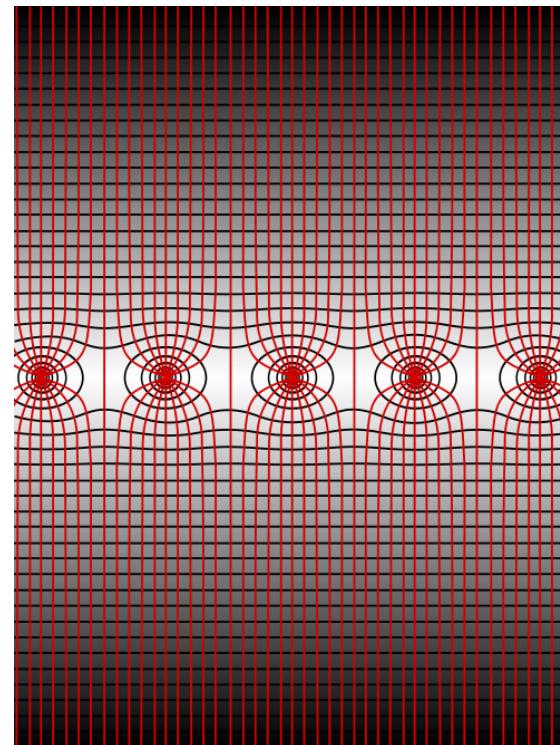
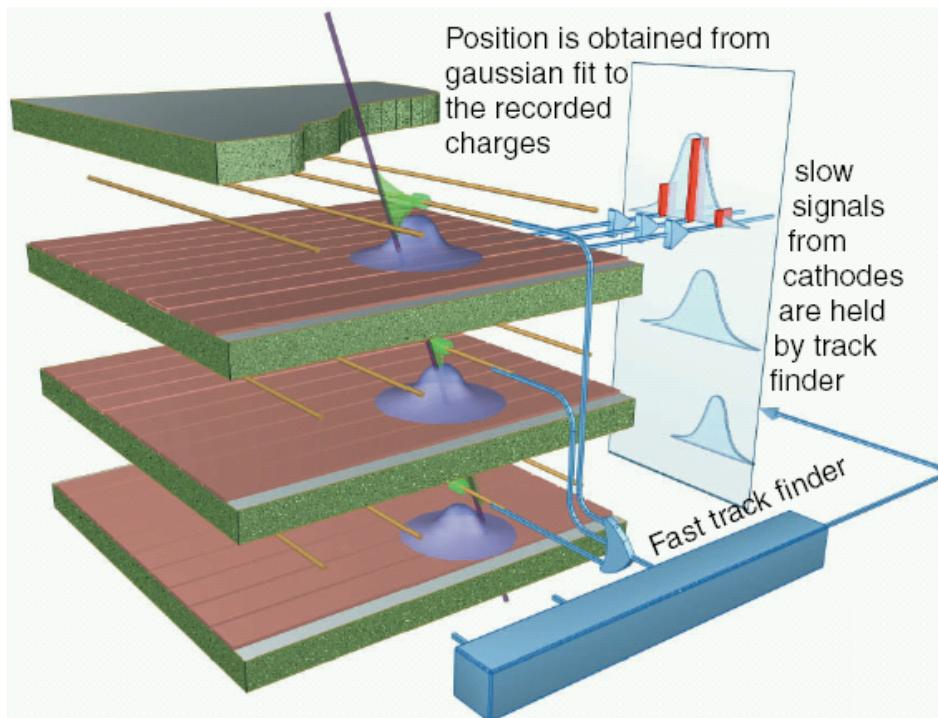
Szilícium nyomkövető: pixelek és csíkok
Elektromágneses és hadronikus kaloriméterek, müon kamrák

Detektorok működése

Katód-csík (CSC) és sokszálas prop kamra (MWPC)

- Röviden

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



Drift cső (DT)

- Röviden

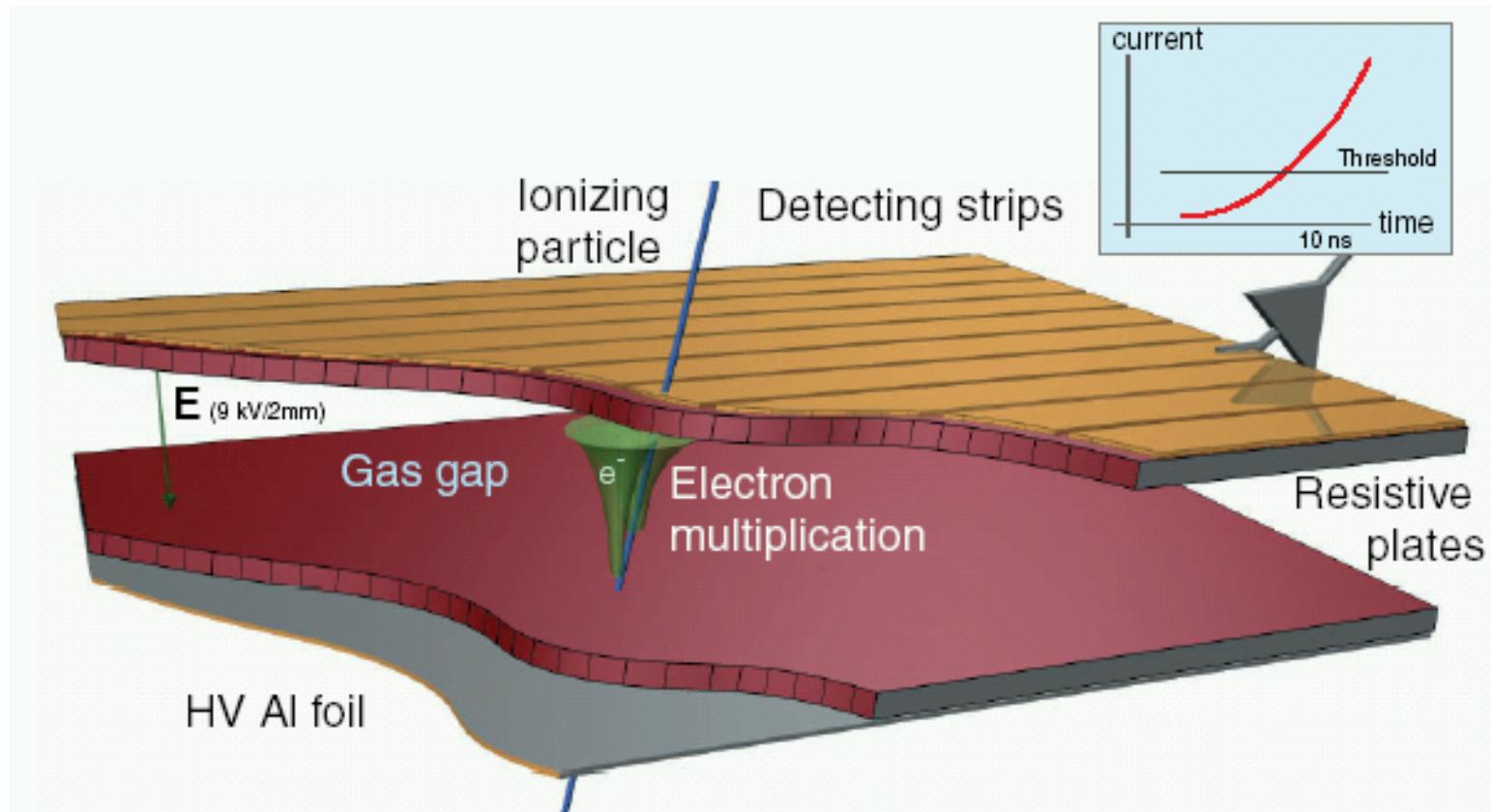
- Cső, közepében egy vékony szál ($20\text{-}100\ \mu\text{m}$)
- Az átmenő töltött részecske 100 elektronrt kelt cm-enként
- A szál felé driftelnek, másodlagos ionizálás, lavinák
- Akár 10^5 erősítés, a kezdeti ionizációval arányos
- Túl nagy feszültség: szikra; Geiger-Müller kisülés; lokalizált streamer kisülés
- Drift cső = proporcionális cső + időmérés



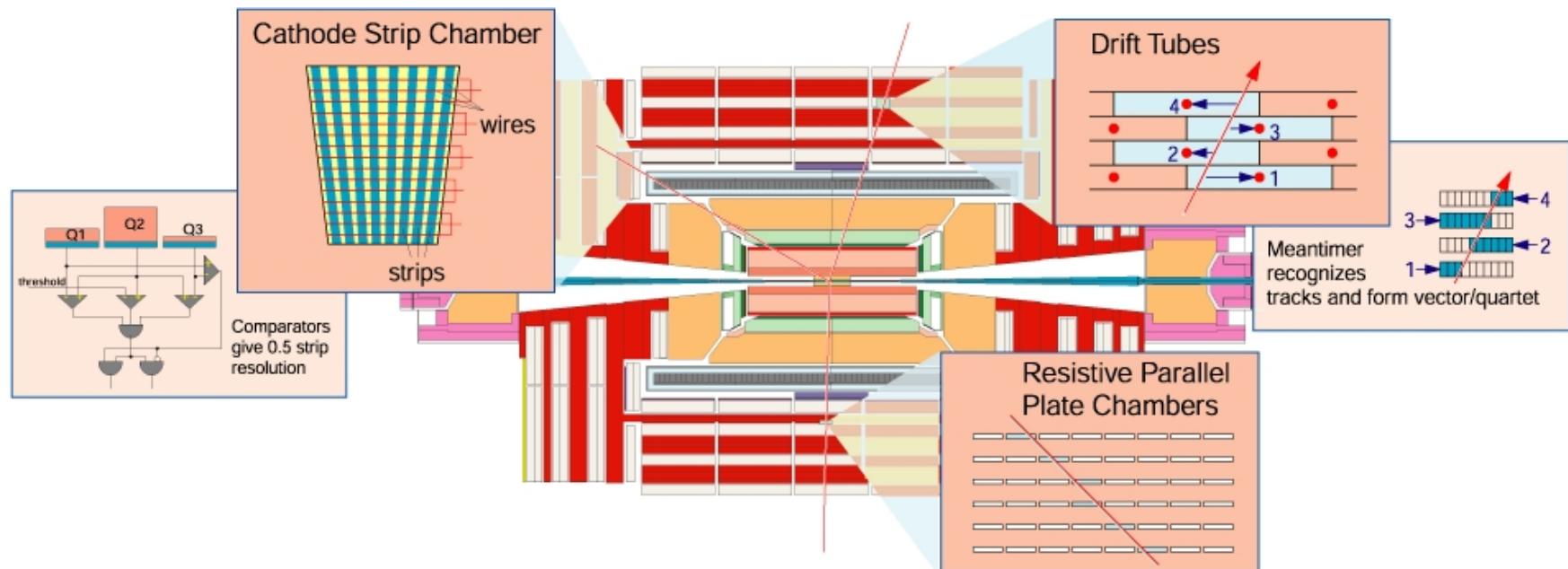
Resistive Plate Chamber (RPC)

- Röviden

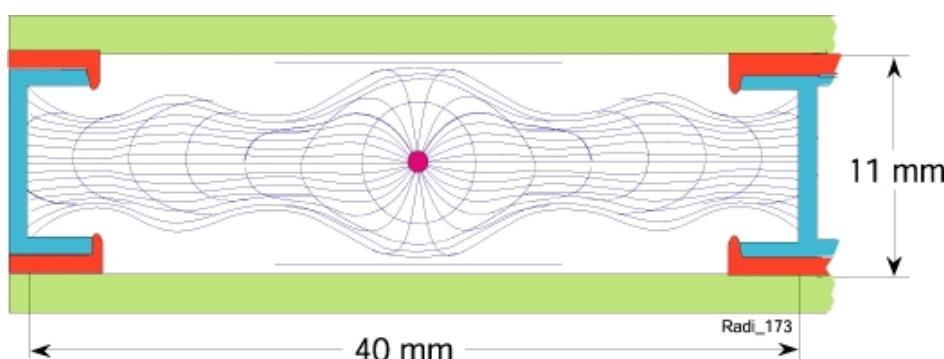
- Jó helyfelbontás (~MWPC) és jó időfelbontás (~szcintillátor)
- Hely és idő együttes mérése, tracking, pl müonok
- Nincsenek benne drótok, egyszerű megépíteni



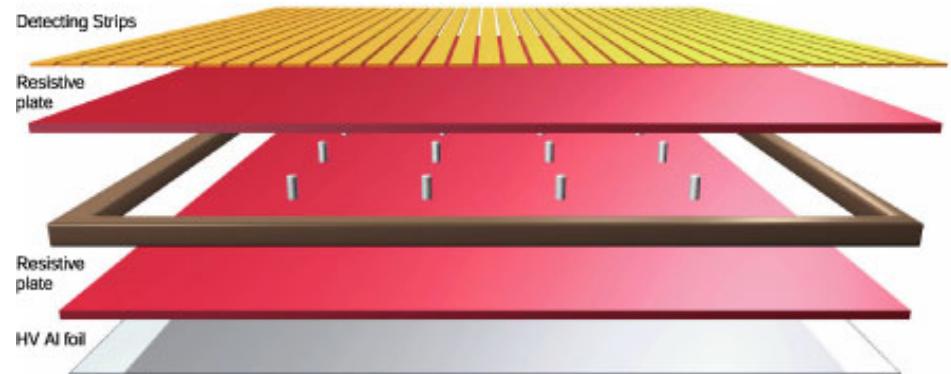
Müon detektorok



CMS

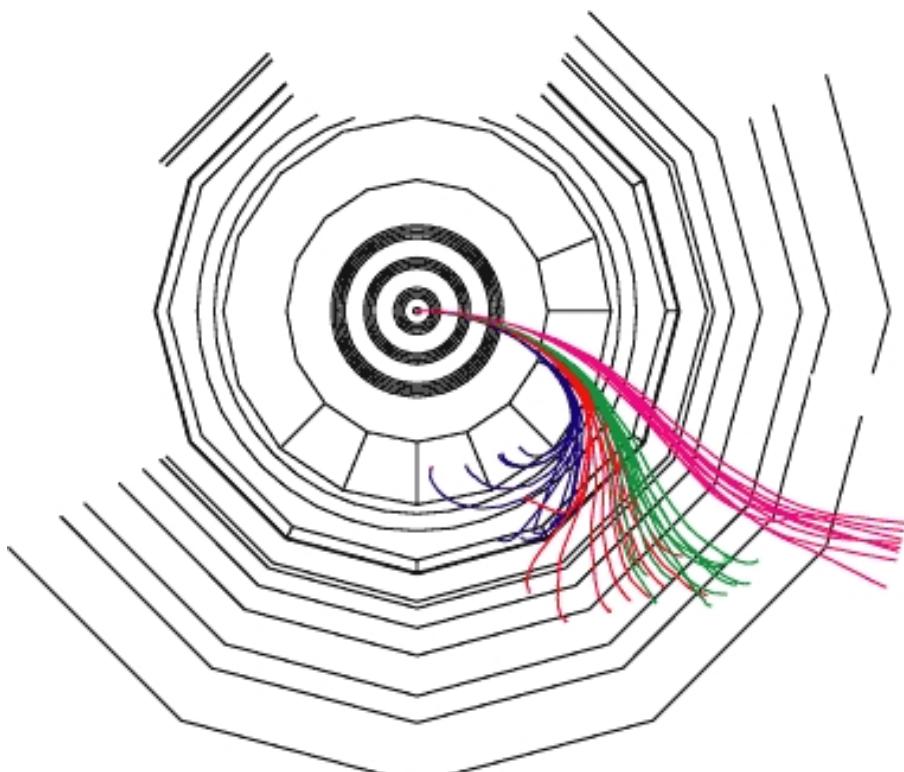


DT

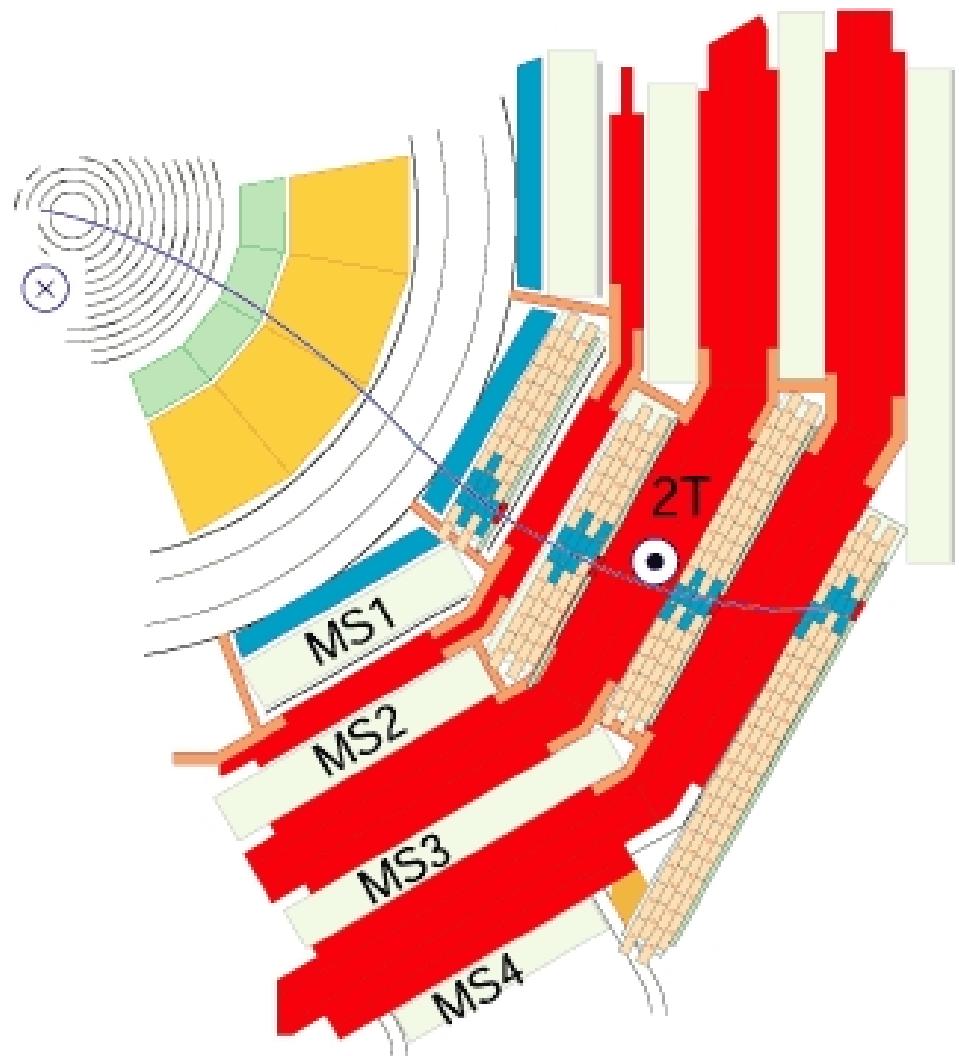


RPC

Müon detektorok



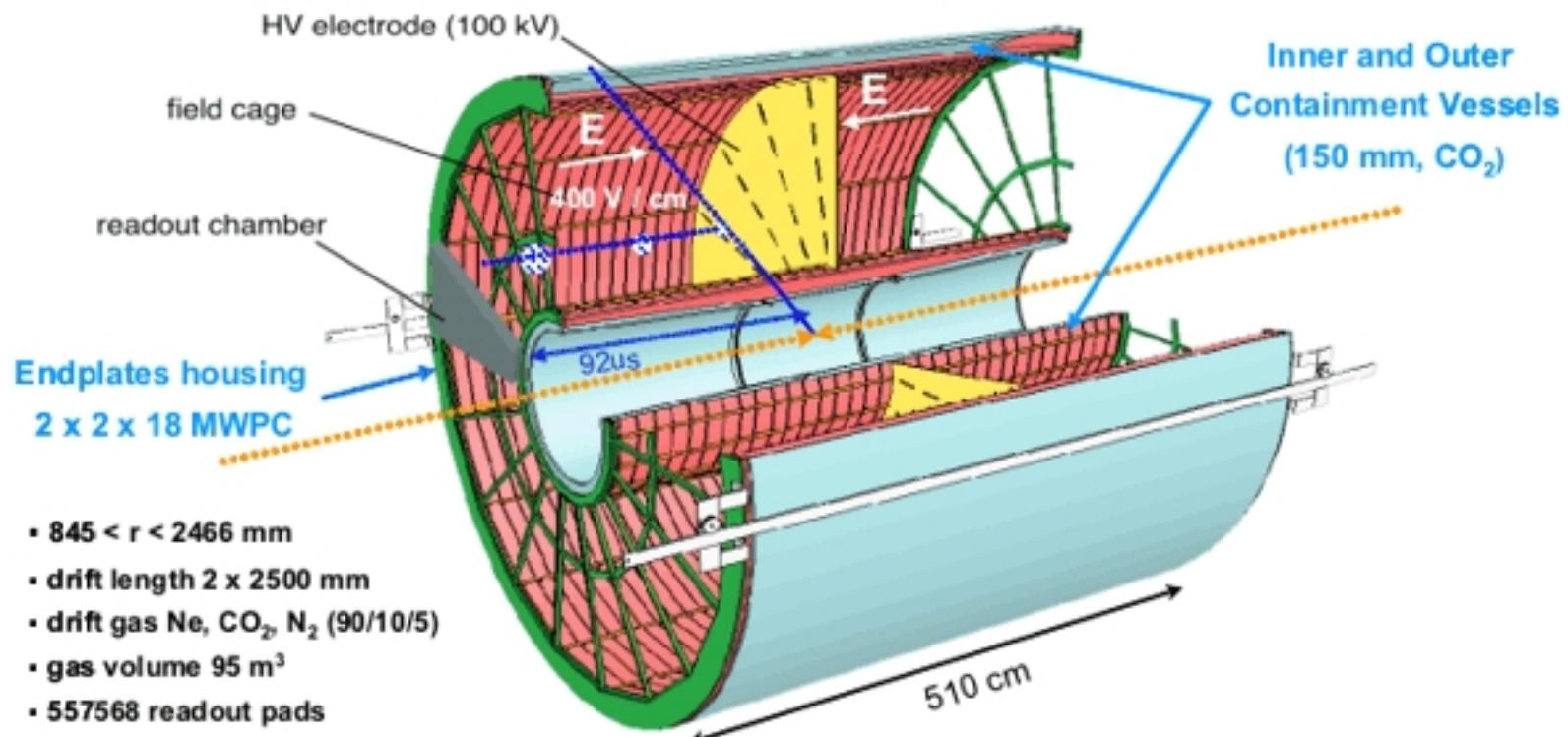
$p_t = 3.5, 4.0, 4.5, 6.0 \text{ GeV}$



CMS

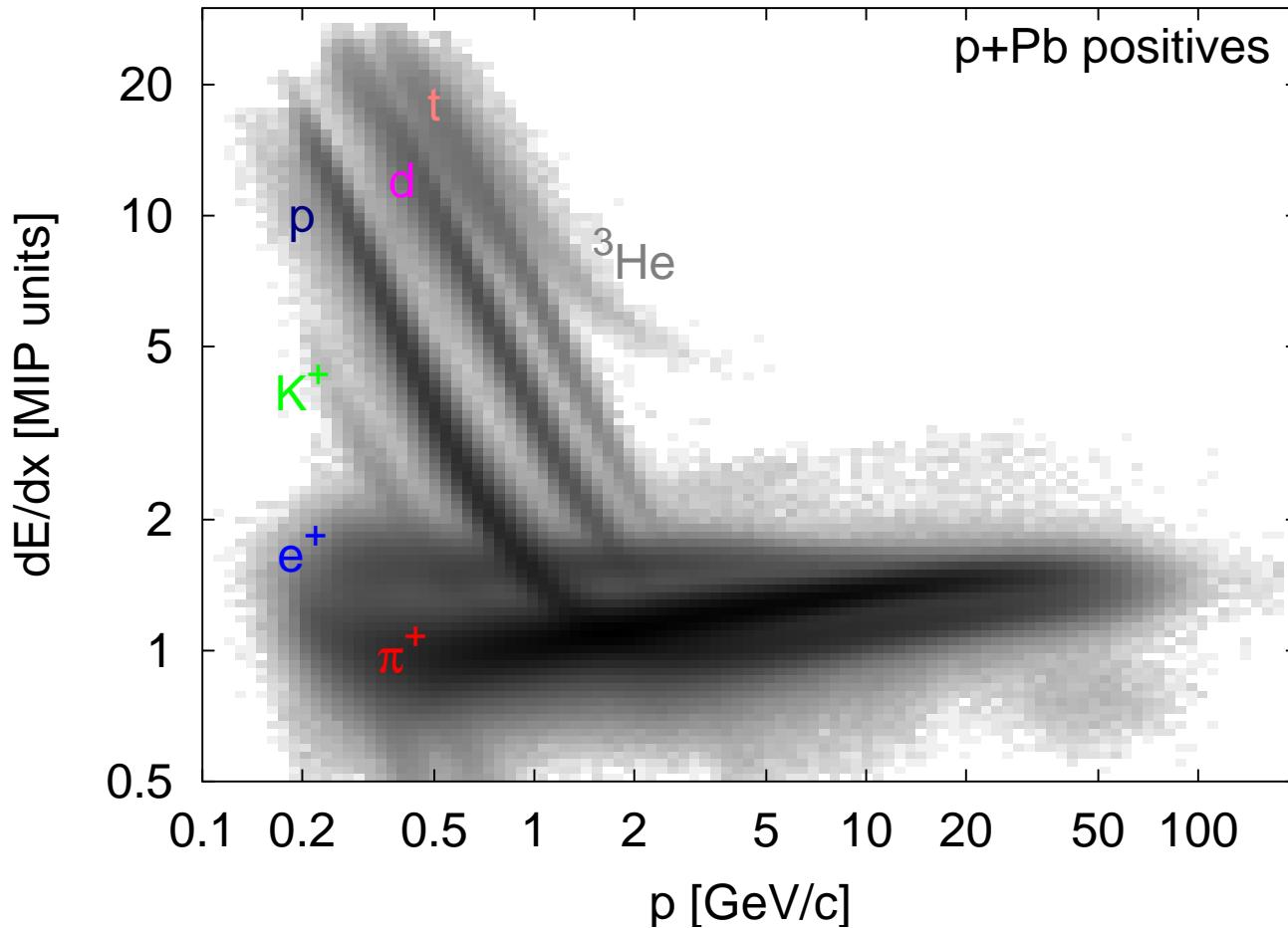
Time-projection chamber (TPC)

- Röviden
 - Gáz + sokszálas proporcionális kamra
 - Elektronok driftelnek az elektromos térrrel
 - Sok mérési pont, jó helyfelbontás, energiaveszteség mérése (dE/dx)



ALICE

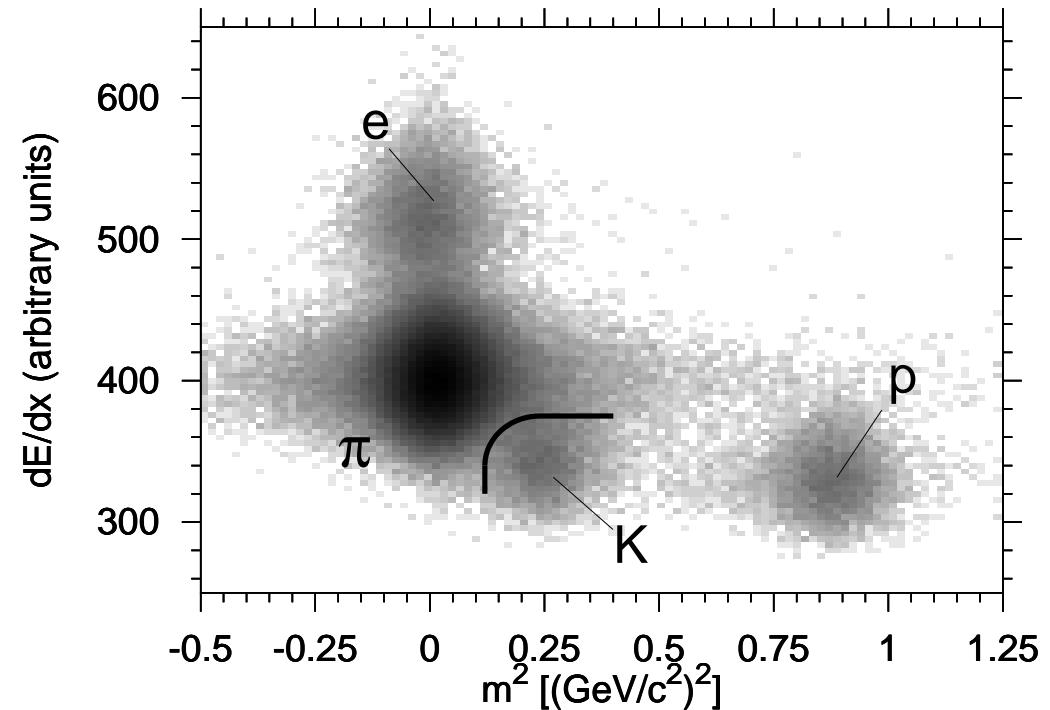
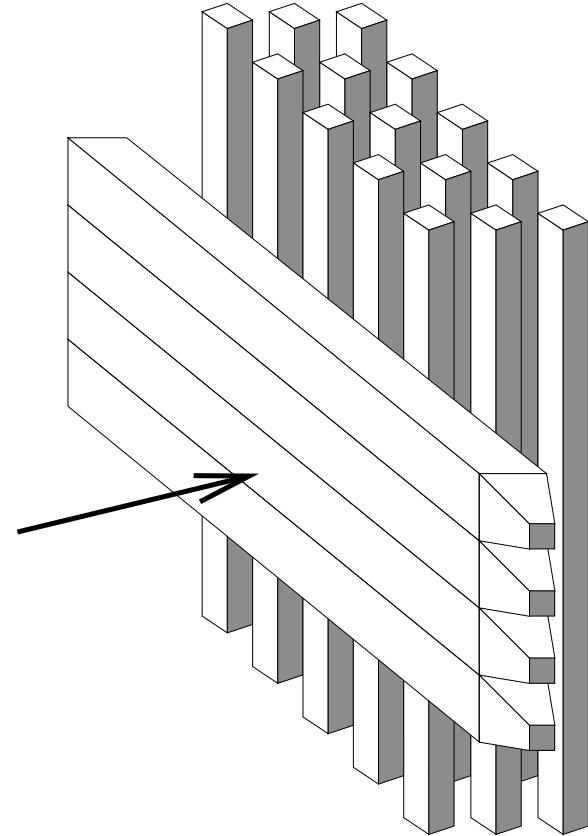
Töltött részecskék – azonosítás



NA49

Fajlagos energiaveszteség – kalibráció után 3-4% felbontás
Inkluzív és exkluzív vizsgálatok lehetségesek

Töltött részecskék – ahol a time-of-flight segít



Szcintillátor rudak két síkba rendezve, 70 ps időfelbontás

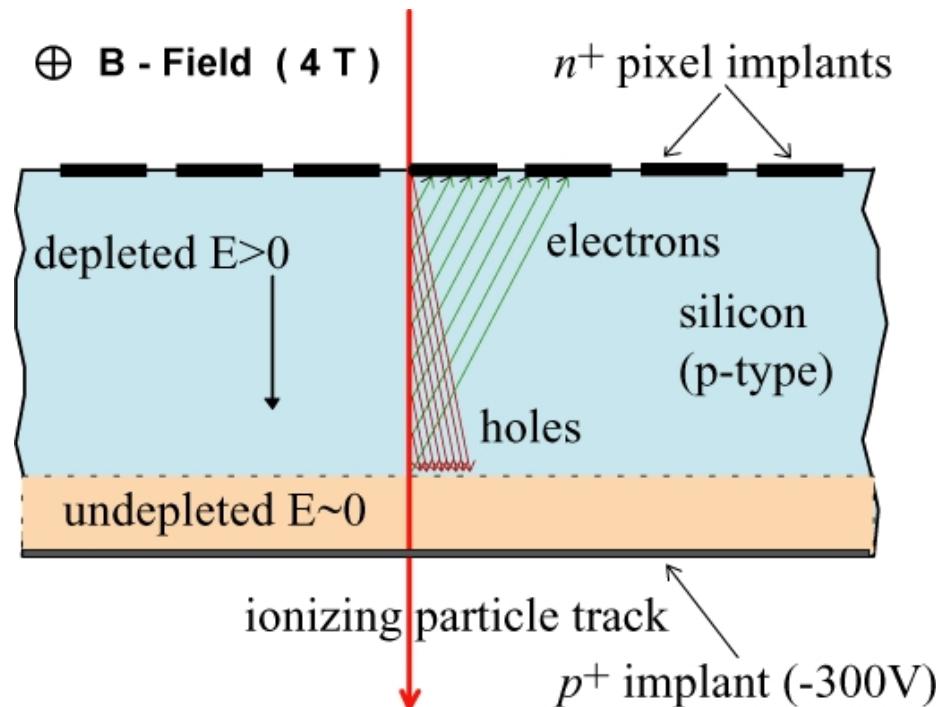
$$(mc)^2 = p^2 \left[\left(\frac{ct_{\text{ToF}}}{s} \right)^2 - 1 \right]$$

Jó π -K szétválasztás a $2 < p < 6$ GeV/c tartományban

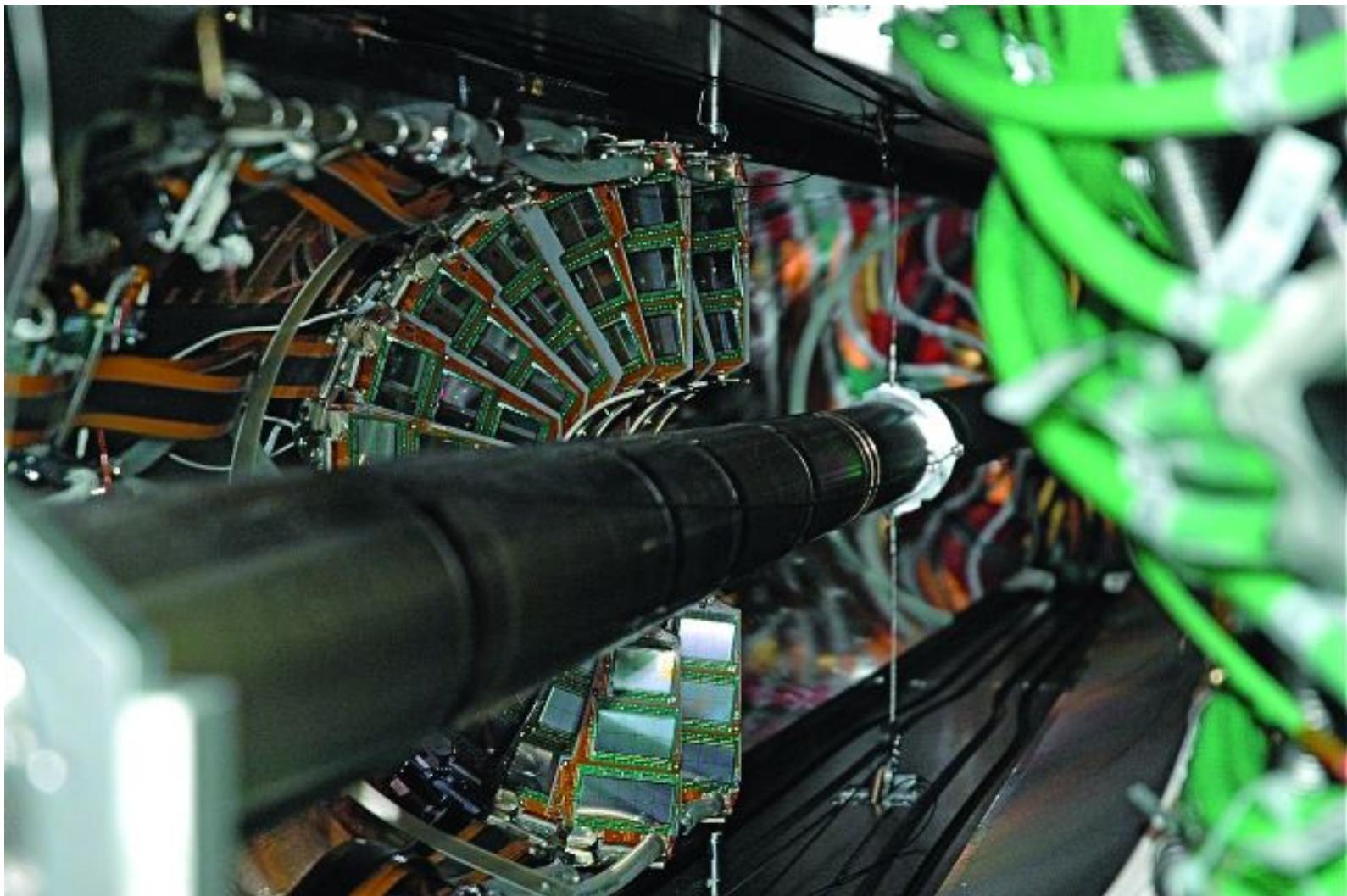
Szilícium alapú félvezető detektor

- Röviden

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



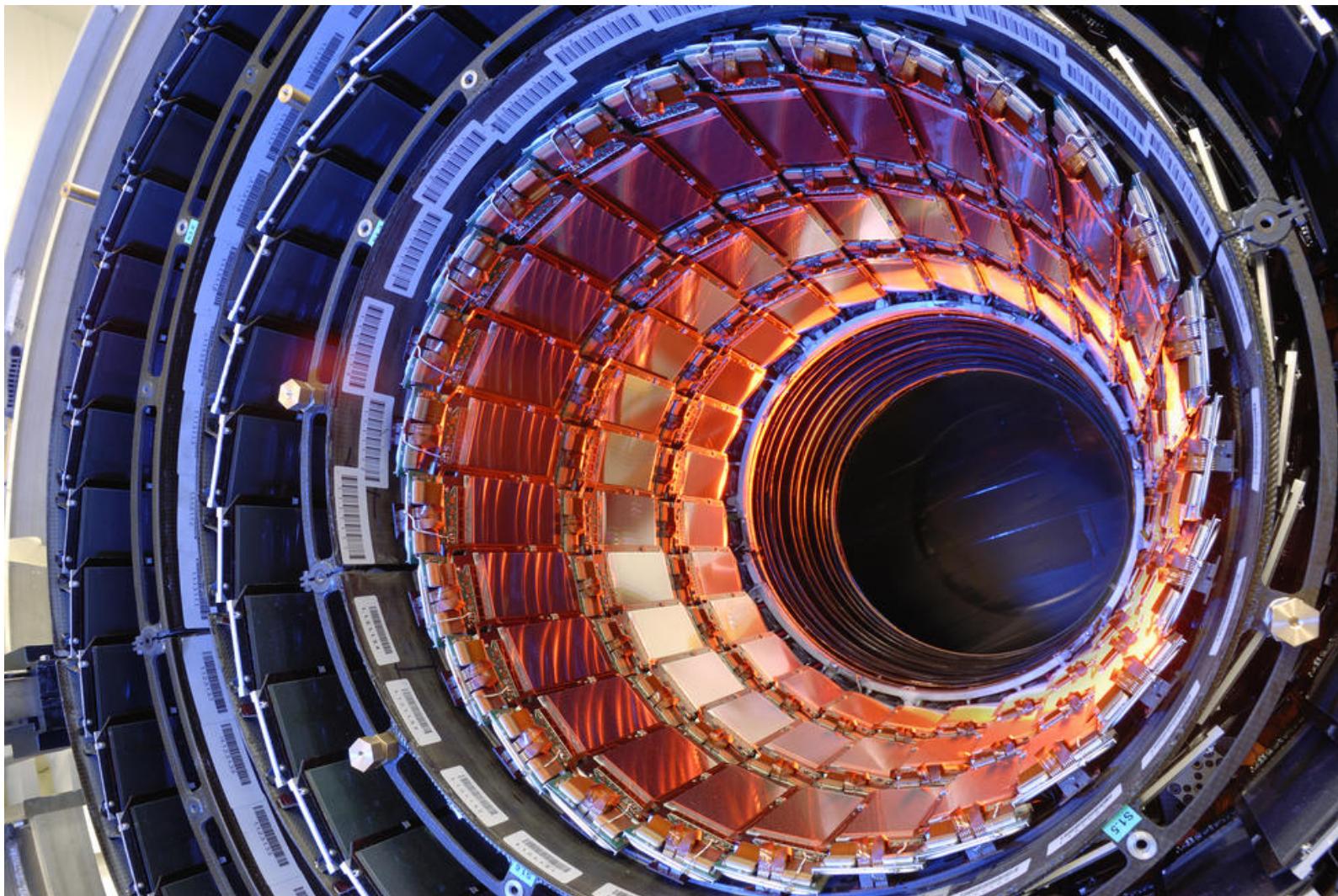
Szilícium alapú félvezető detektor



CMS

66 millió, $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ téglalap, három rétegben

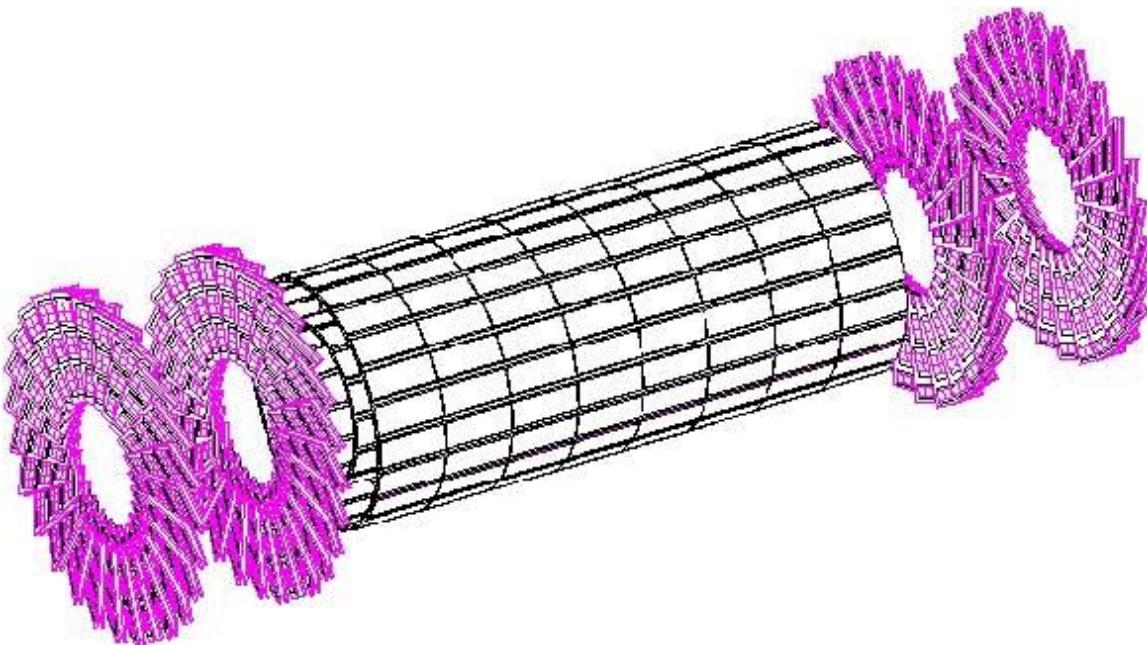
Szilícium alapú félvezető detektor



CMS

9,6 millió, 100 μm széles csík, tíz rétegben

Pixeles szilícium detektor



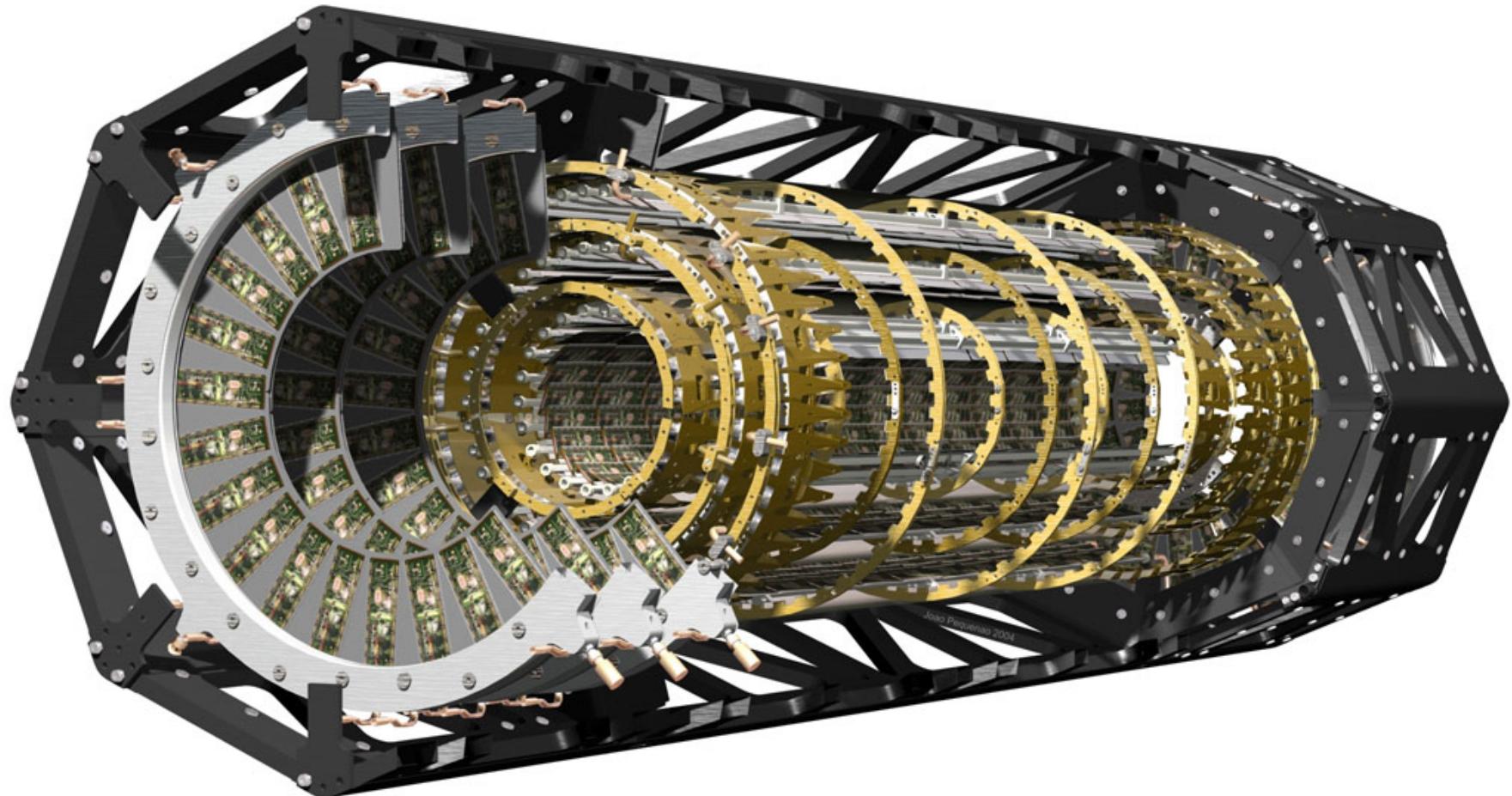
CMS

- **Felépítés**

- 3 henger (4, 7 és 10 cm sugár) és 2 fedőlap minden oldalon
- $300 \mu\text{m}$ vastag félvezető lapok, $100 \mu\text{m} \times 150 \mu\text{m}$ méretű pixelek
- Kis betöltöttség még sok kirepülő részecske esetén is
- 3 beütés (megmért térbeli pont) már meghatározza a részecske nyomvonalát

Ötletek: ponthármások keresése, a beütés alakjának felhasználása

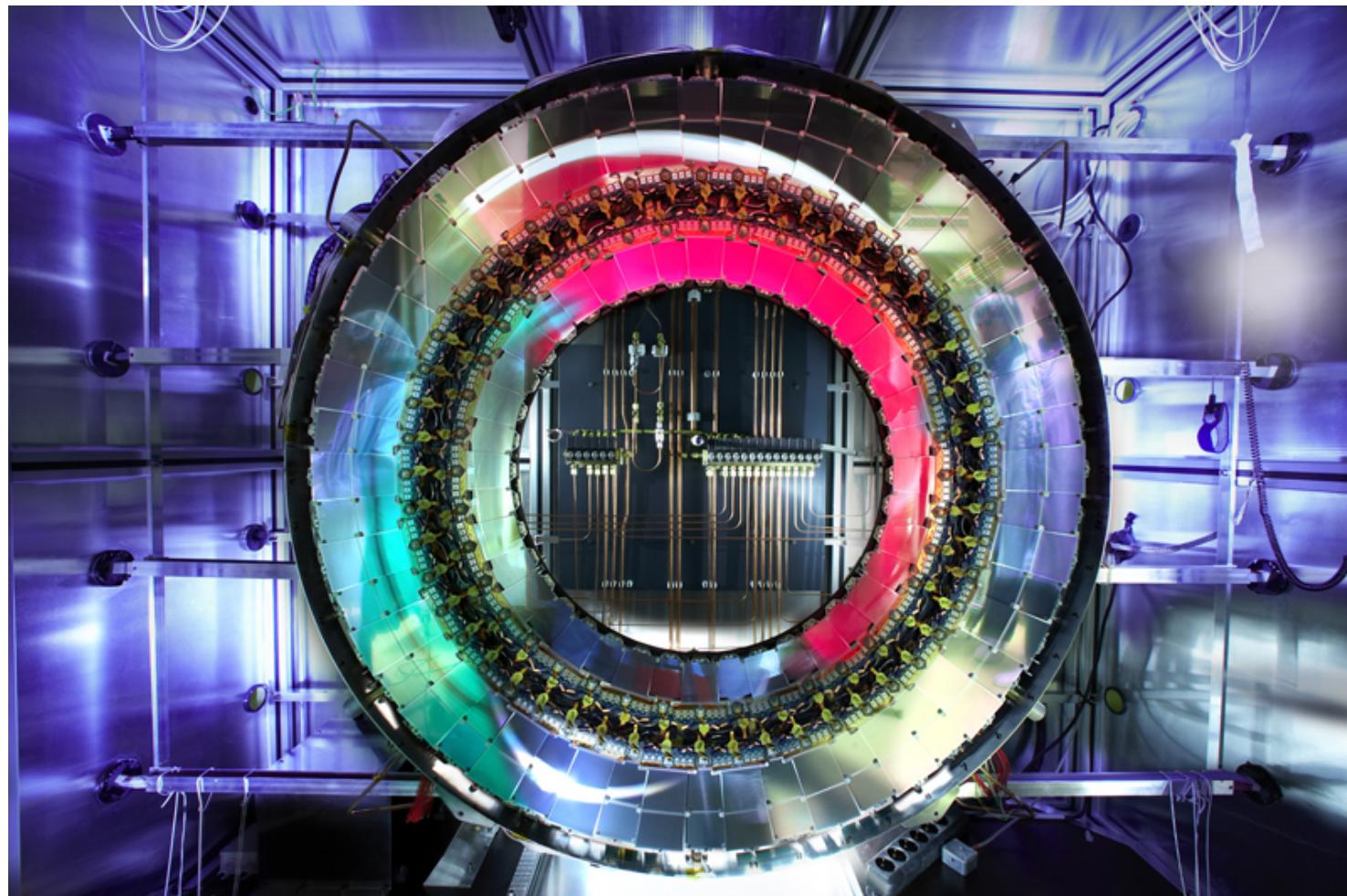
Szilícium alapú félvezető detektor



ATLAS

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

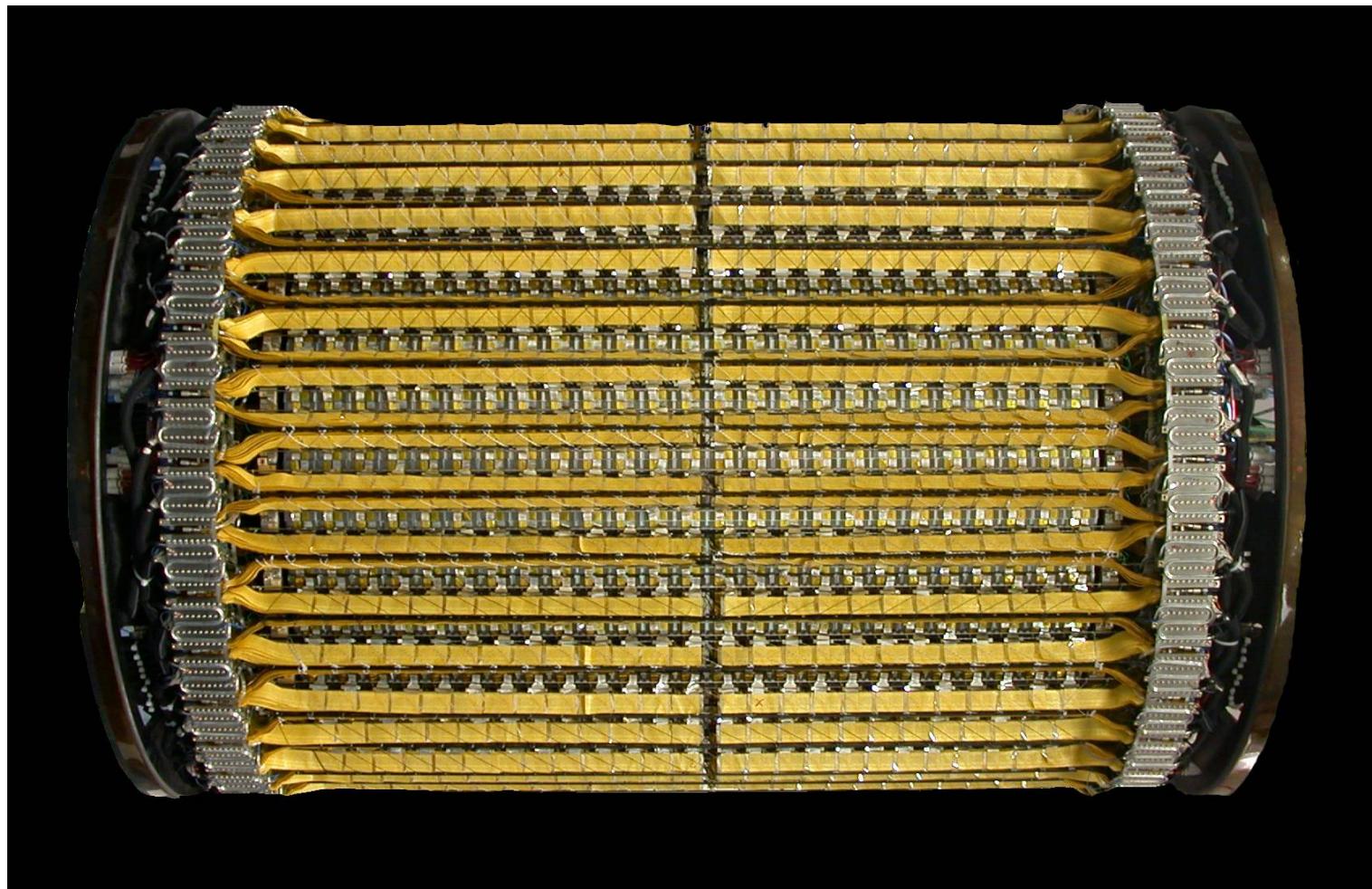
Szilícium alapú félvezető detektor



ATLAS

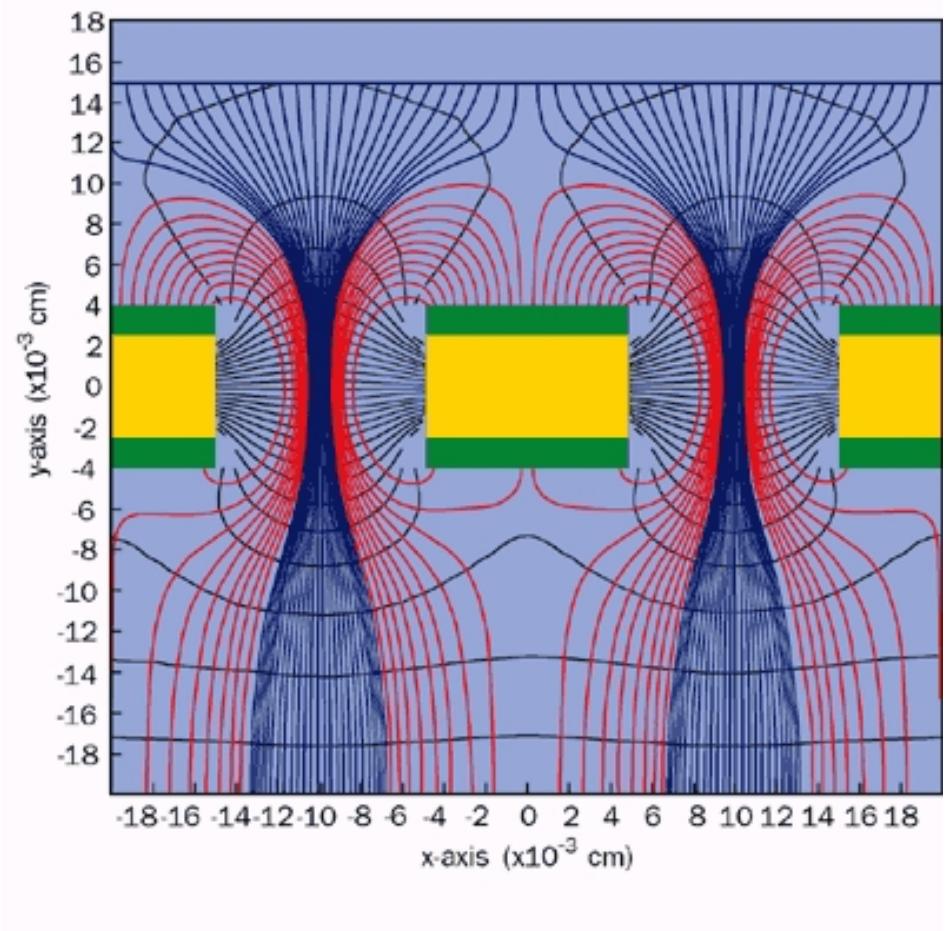
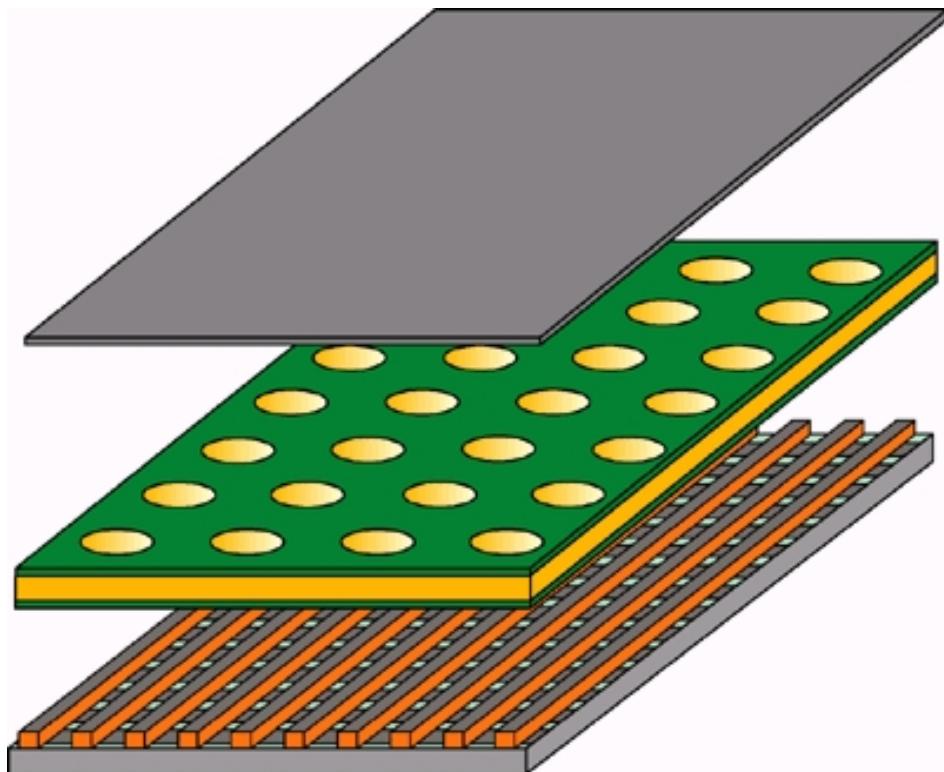
8 megmért pont, $80 \mu\text{m}$ széles csíkok

Szilícium alapú félvezető detektor



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

Gáz elektron sokszorozó (GEM)

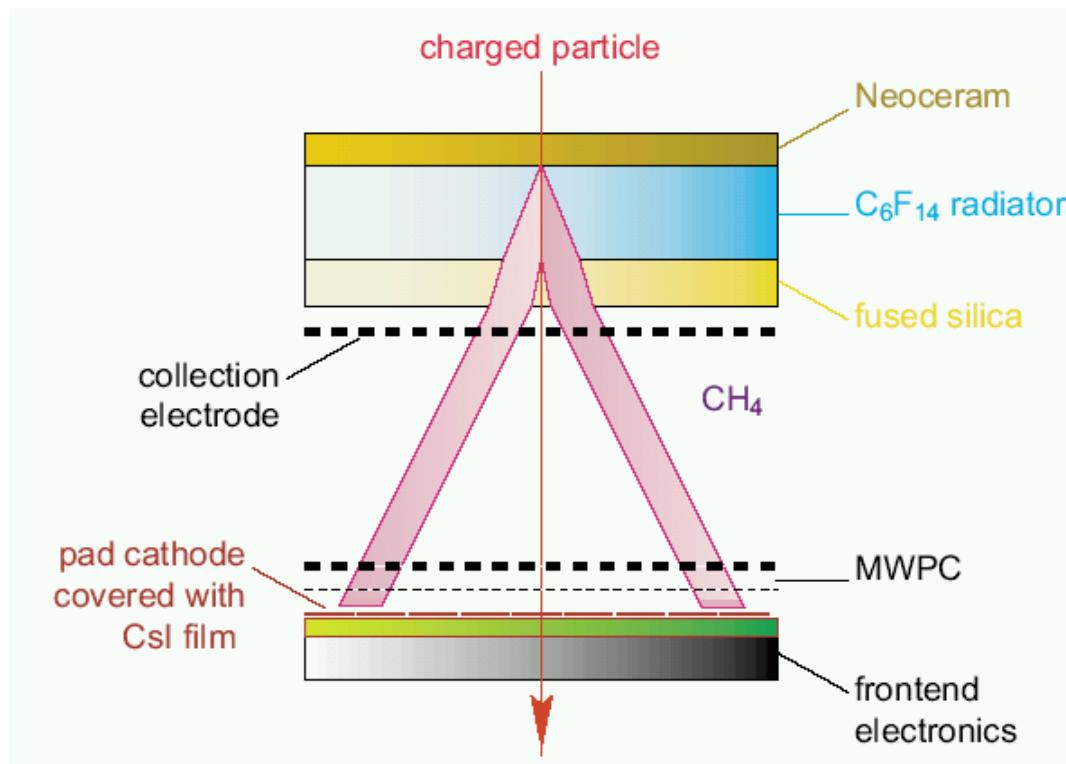


Vékony polimer lap ($50\text{-}70 \mu\text{m}$), minden oldalán réz bevonattal
Nagy elektromos tér a lyukakban ($30\text{-}50 \mu\text{m}$), lavina
100-1000-szeres erősítés, az elektronokat kilövi

Cserenkov detektor

- Röviden

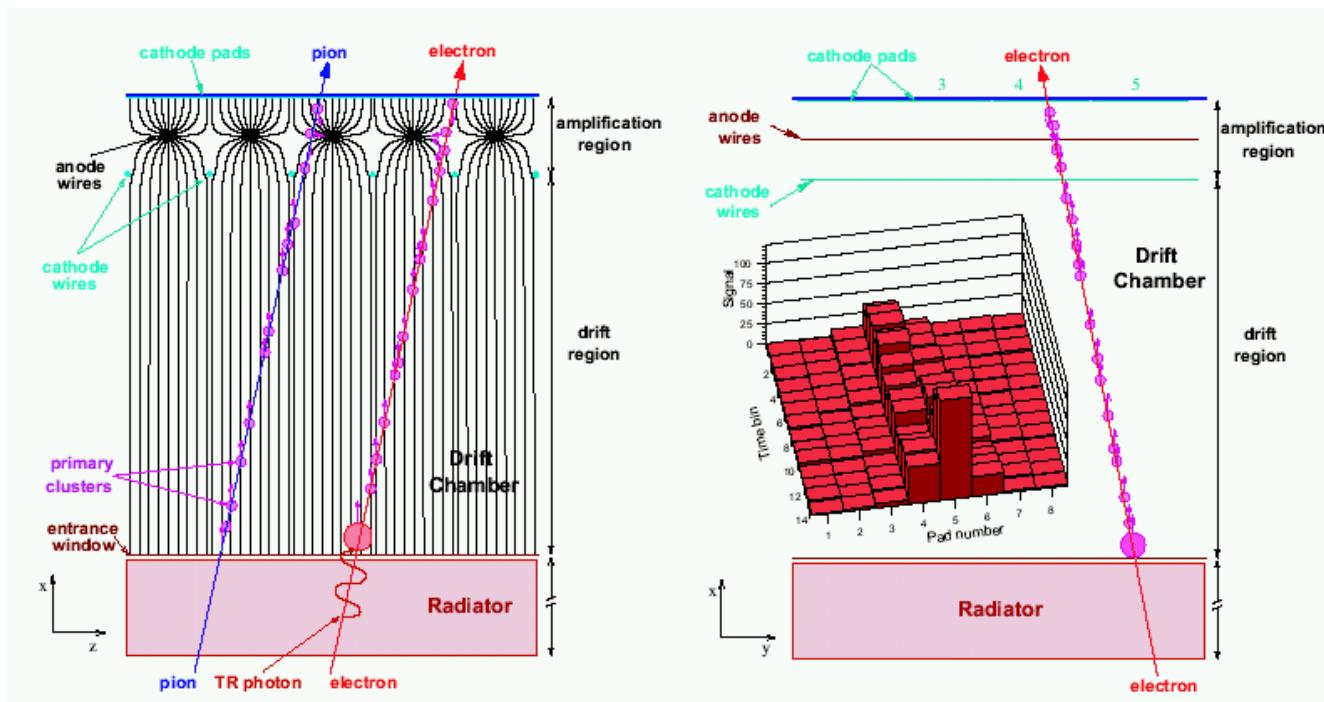
- Szög $\theta_c = \arccos(1/n\beta)$, küszöbsebesség $\beta_t = 1/n$, $\gamma_t = 1/\sqrt{1 - \beta_t^2}$
- Elemek: a sugárzó, melyen a töltött részecske áthalad, valamint a fotodetektor
- Küszöbdetektorok: igen/nem válasz, a részecske a $\beta_t = 1/n$ küszöb felett?
- Képalkotó detektorok: pl Ring-Imaging Cherenkov (RICH)



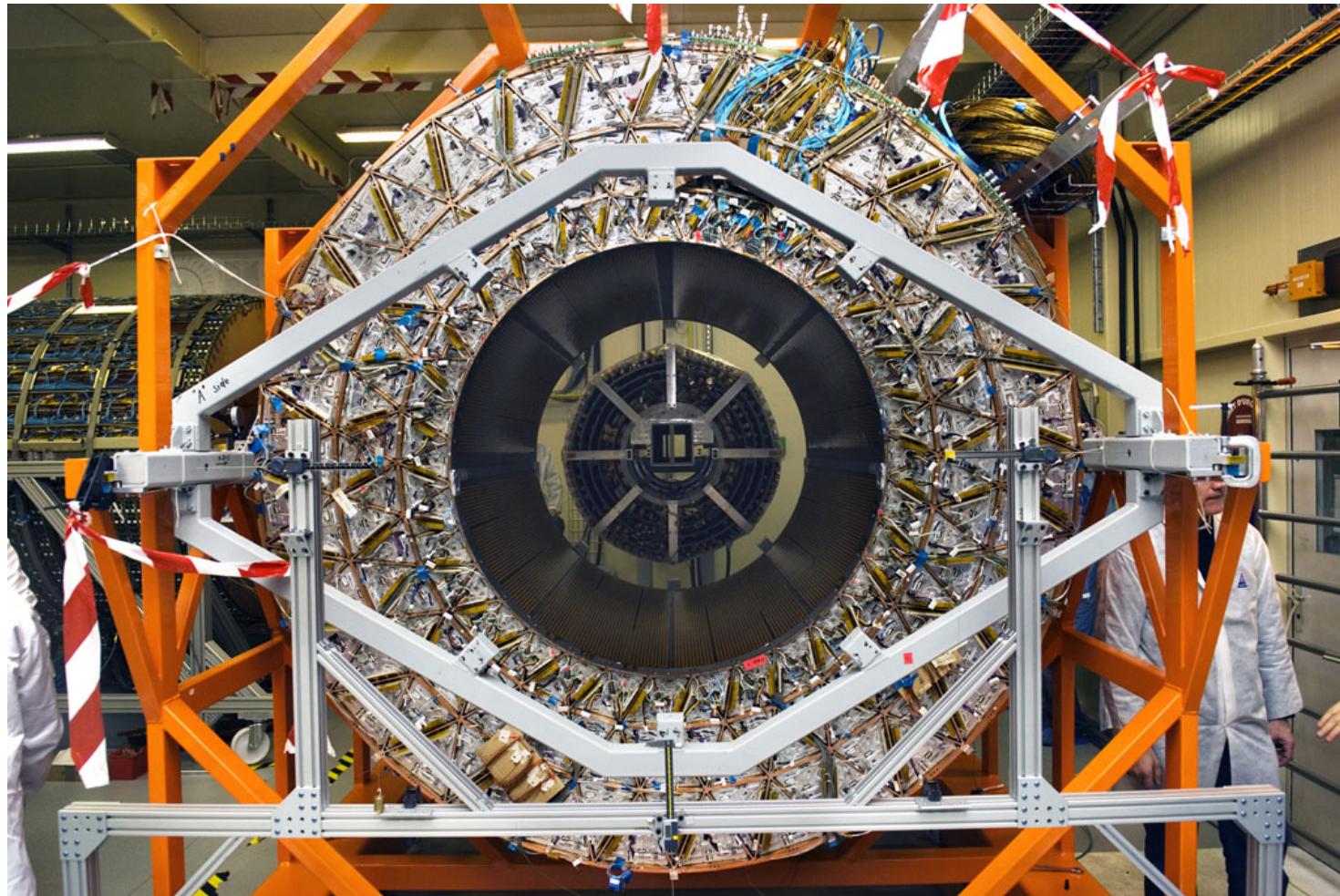
Átmeneti sugárzás detektor (TRD)

- Röviden

- A részecske két különböző anyag (vákuum és anyag) közti határon halad át
- A kisugárzott energia $I \propto z^2 \gamma \omega_p$
- 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



Átmeneti sugárzás nyomkövető (TRT)



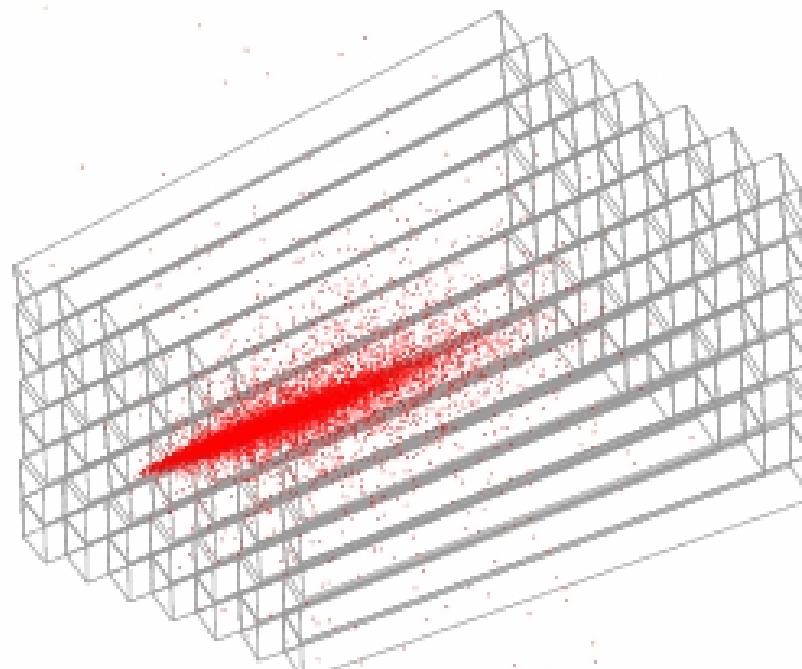
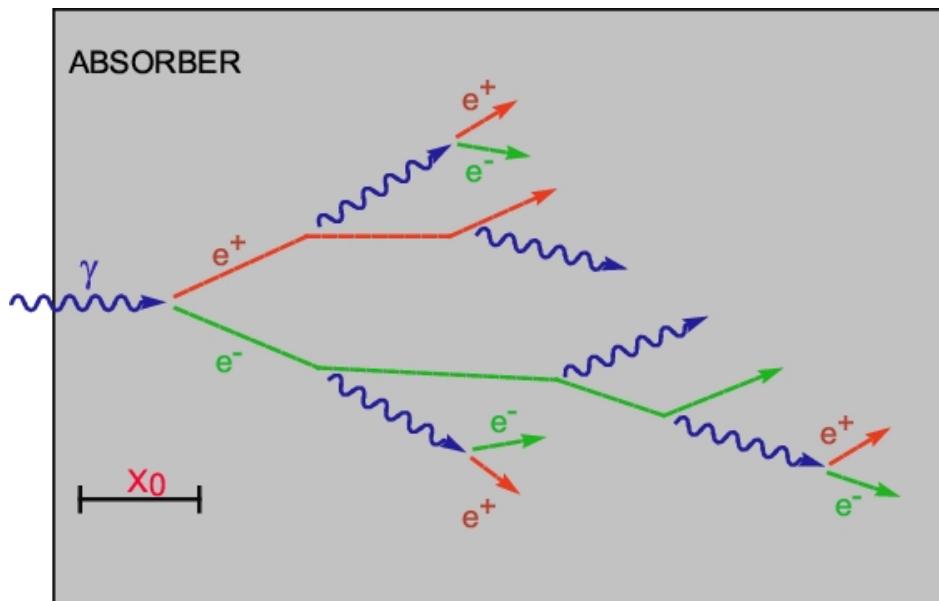
ATLAS

4 mm átmérőjű és 144 cm hosszú csövecskék, 30 μm -os aranyozott W-Re szálakkal
Részecskék beütései és az átmeneti sugárzásból jövő nyomok megkülönböztethetők

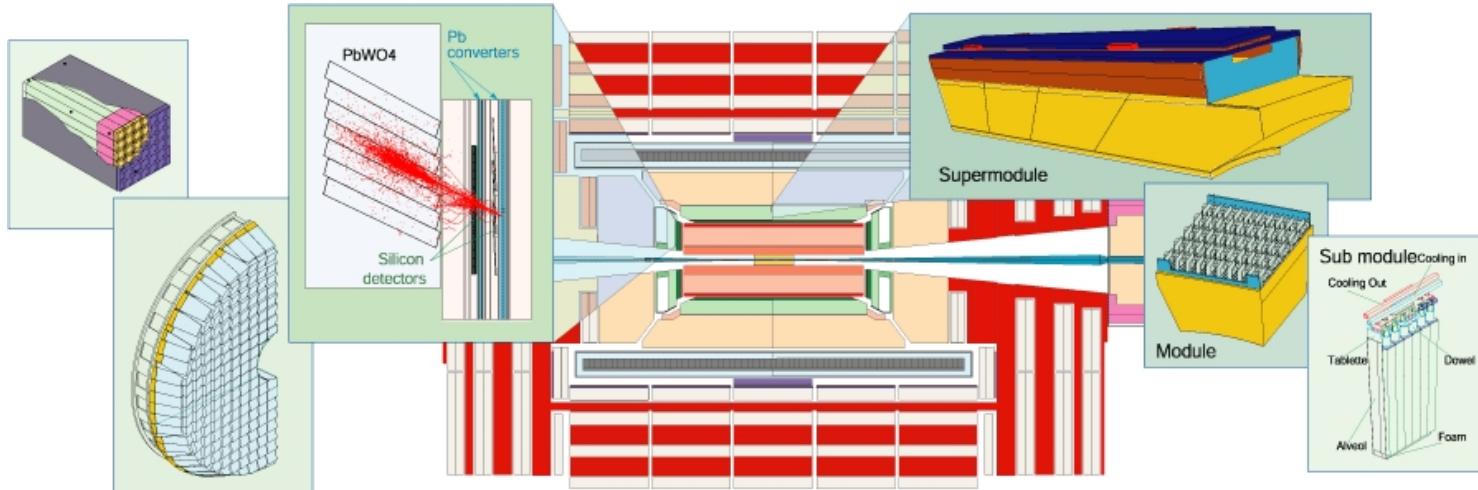
Elektromágneses kaloriméter

- Röviden

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



Elektromágneses kaloriméter



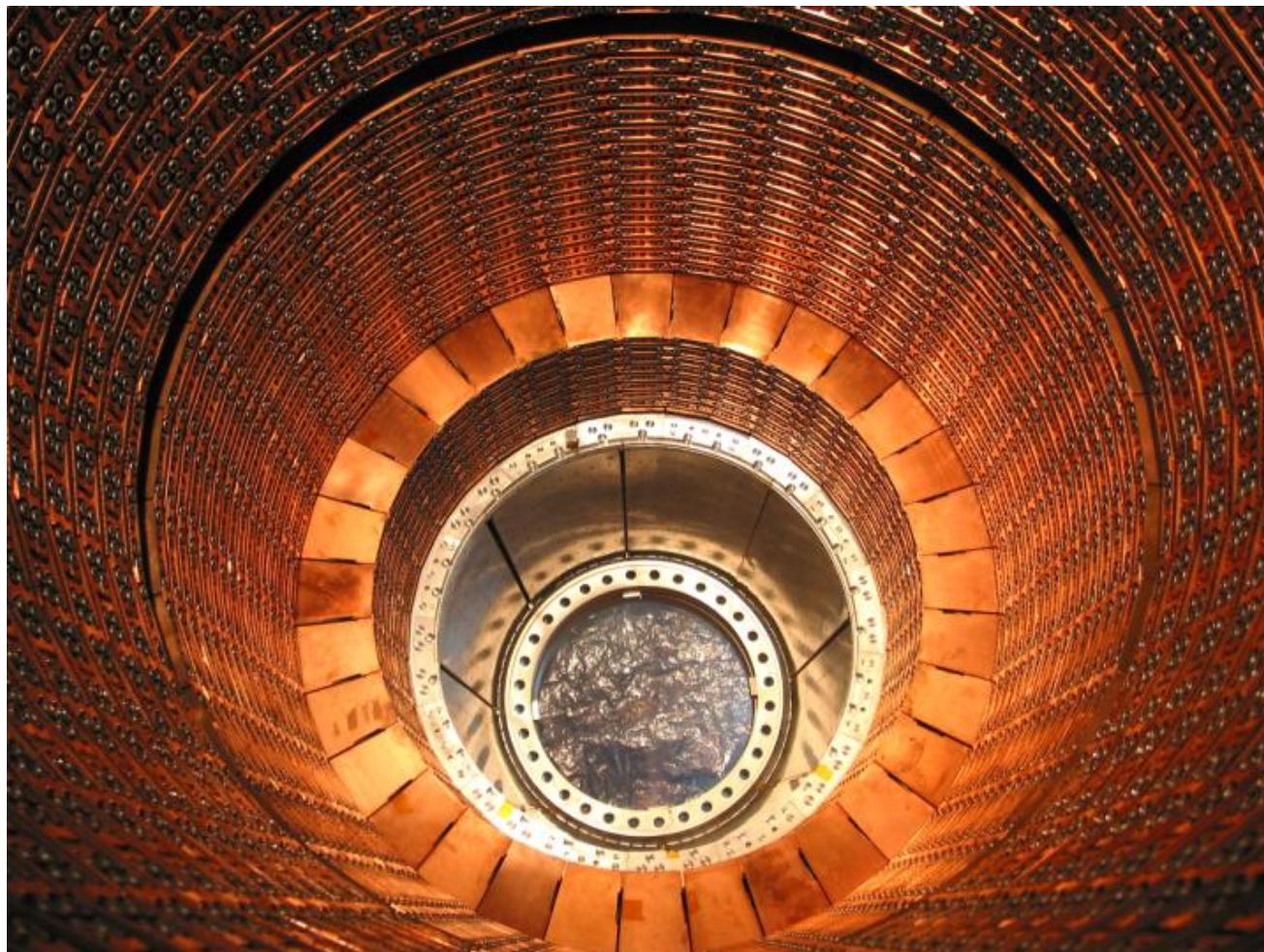
CMS



Ólom-wolframát (PbWO_4) kristályok

ALICE

Elektromágneses kaloriméter



ATLAS

Folyékony argon, belső kaloriméter

Hadron kaloriméter (HCAL)

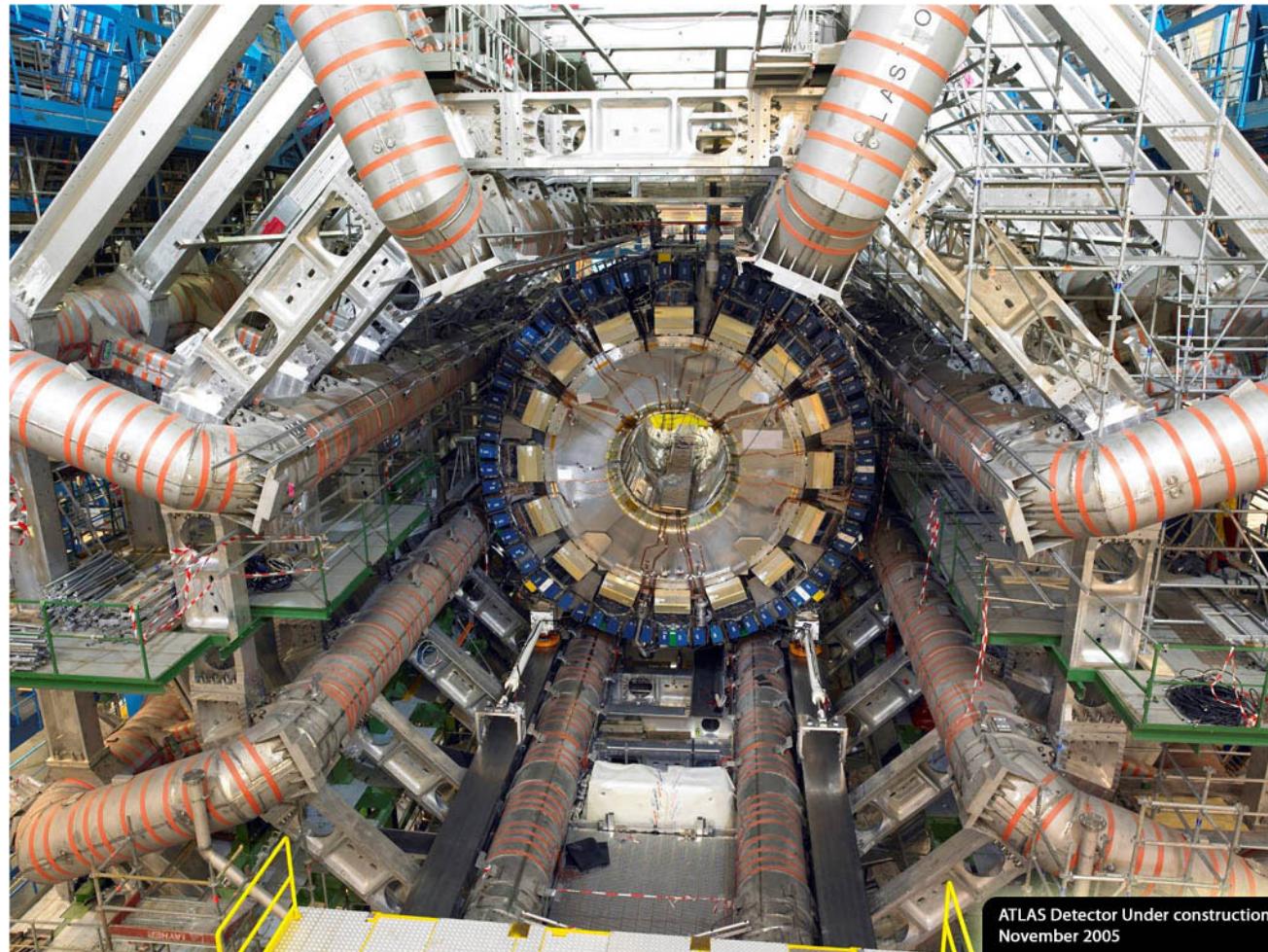
- Röviden

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



CMS

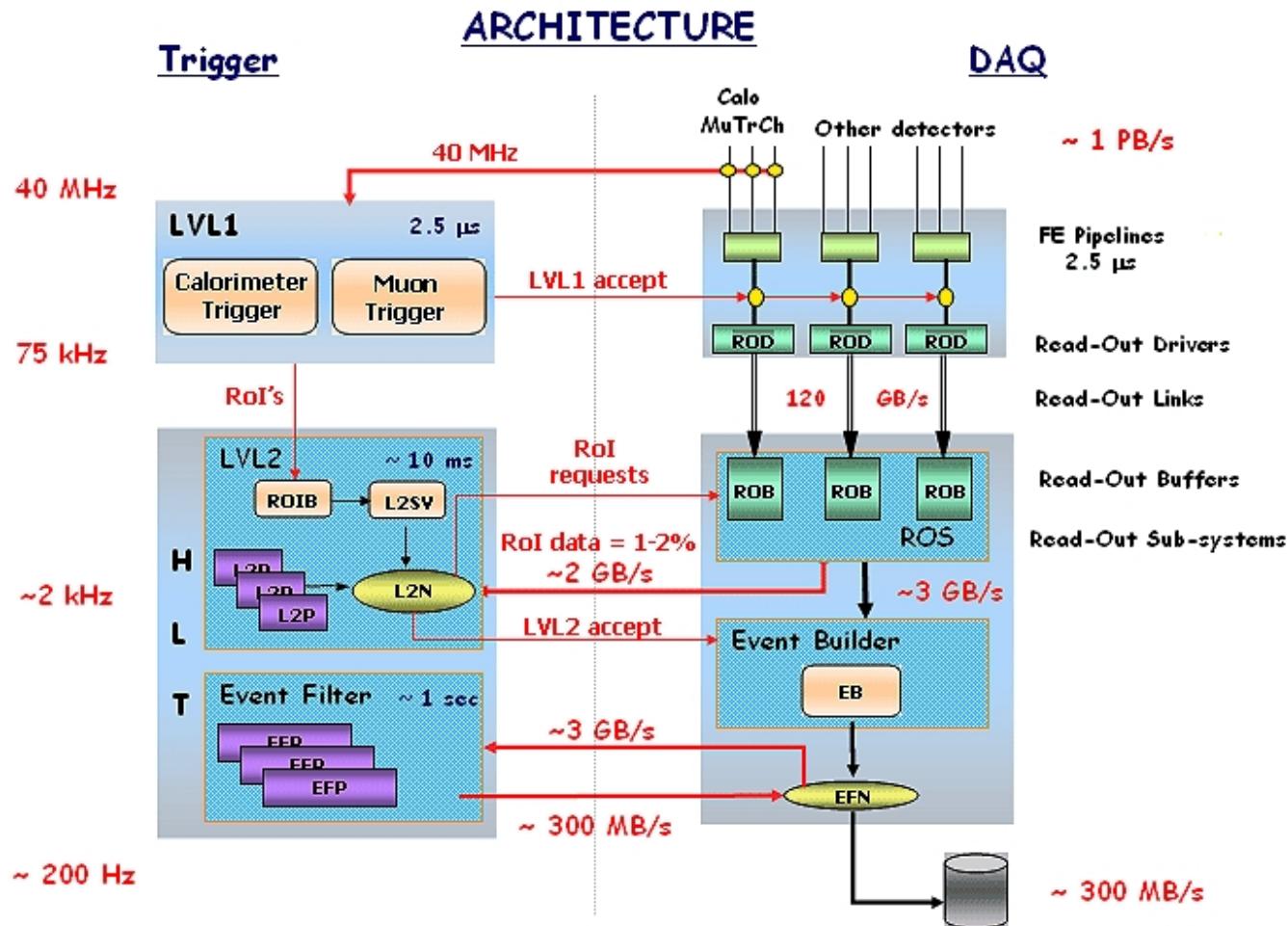
Mágnesek



ATLAS

Szolenoid, vagy szolenoid + toroid

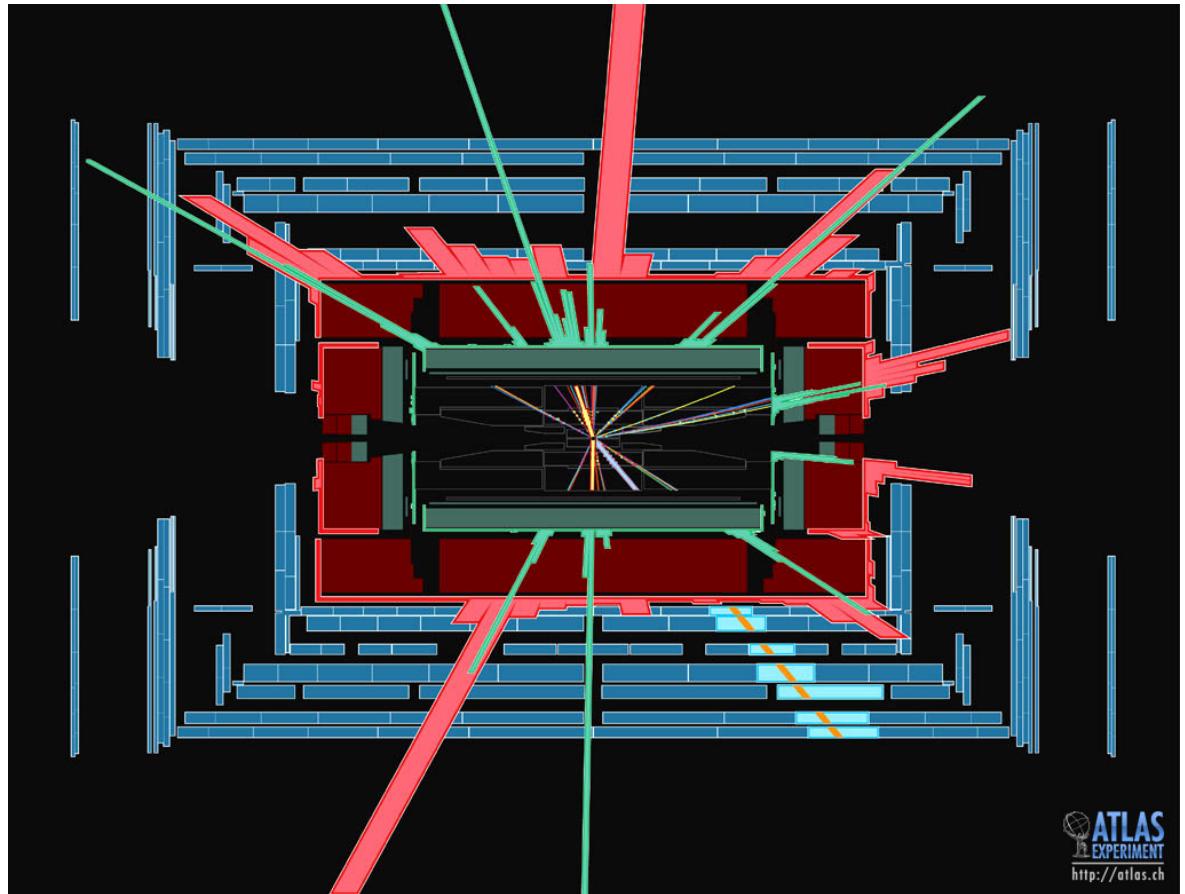
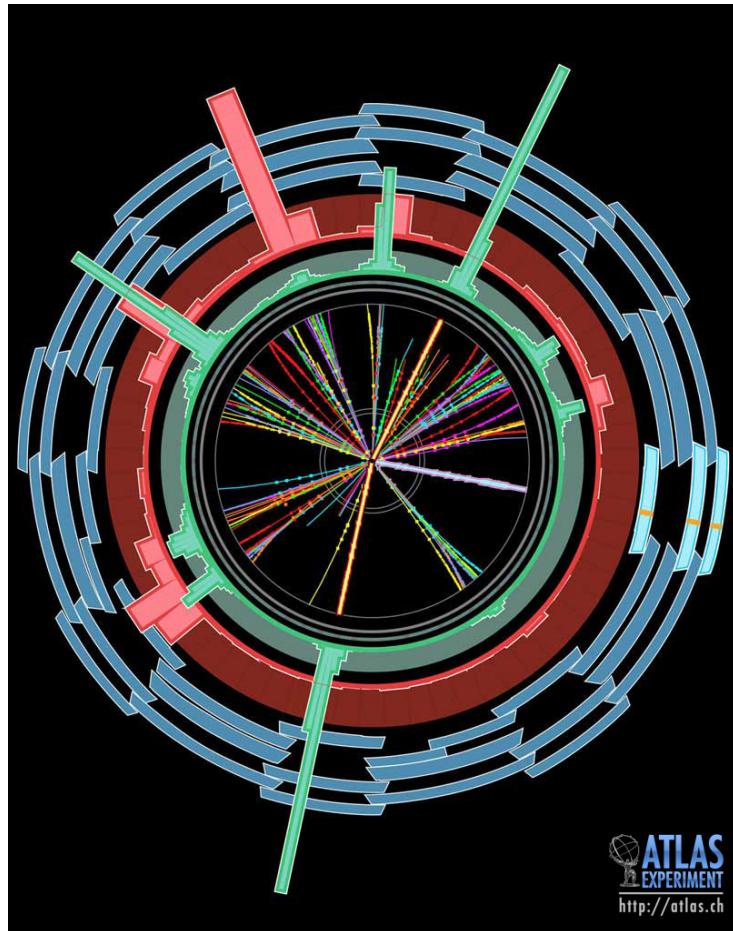
Események kiválasztása



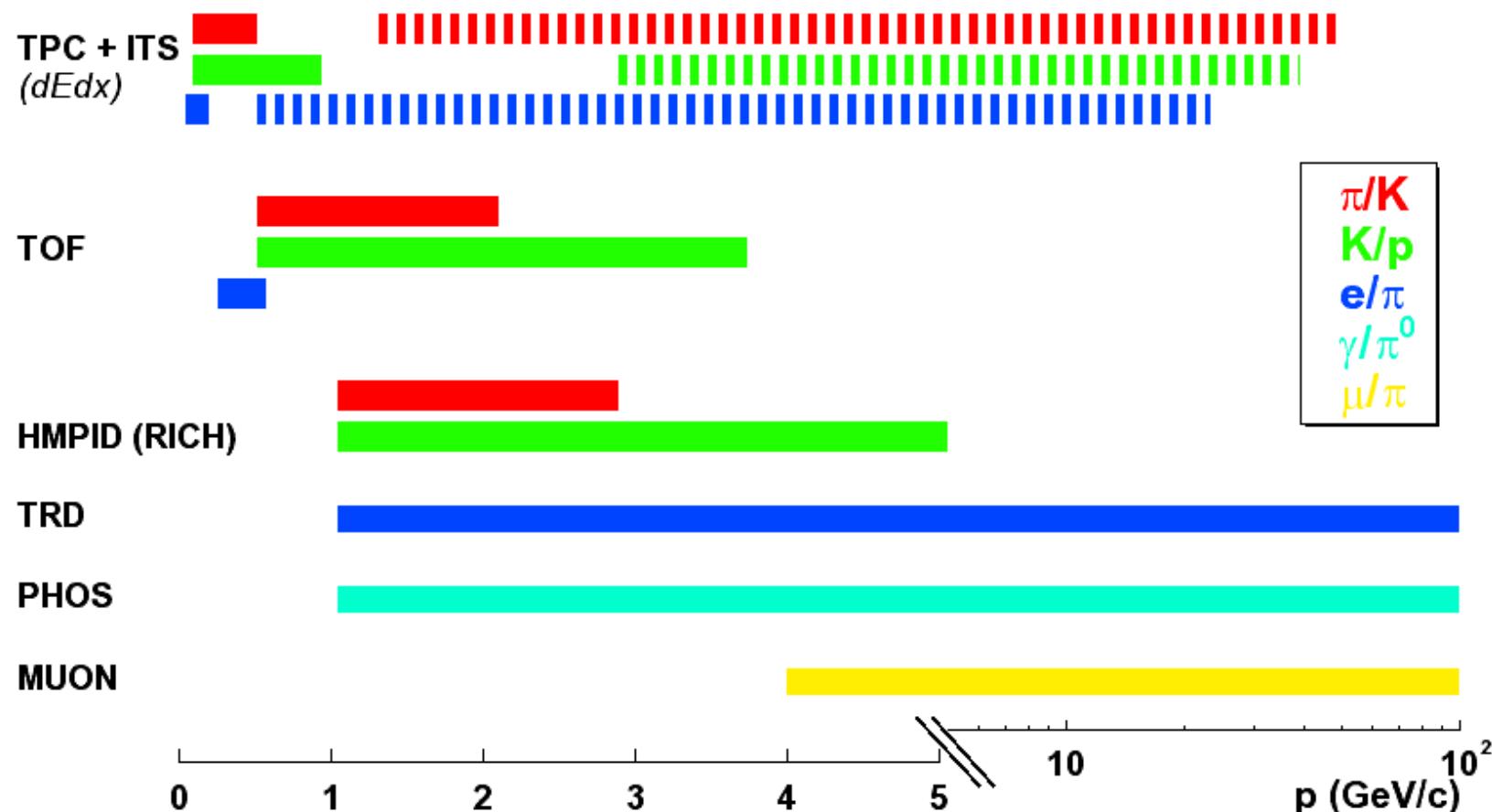
ATLAS

Hardveres és szoftveres trigger

Szimulációk



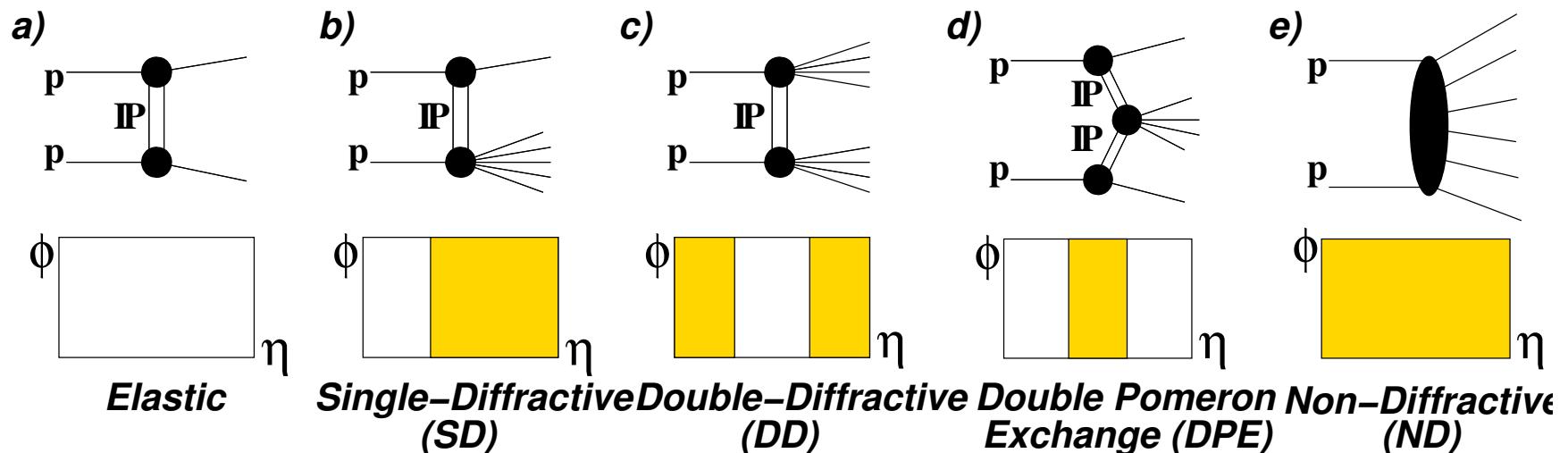
Részecskeazonosítás



Széles tartomány

Mivel foglalkozunk?

Proton-proton ütközések



- **Típusok**

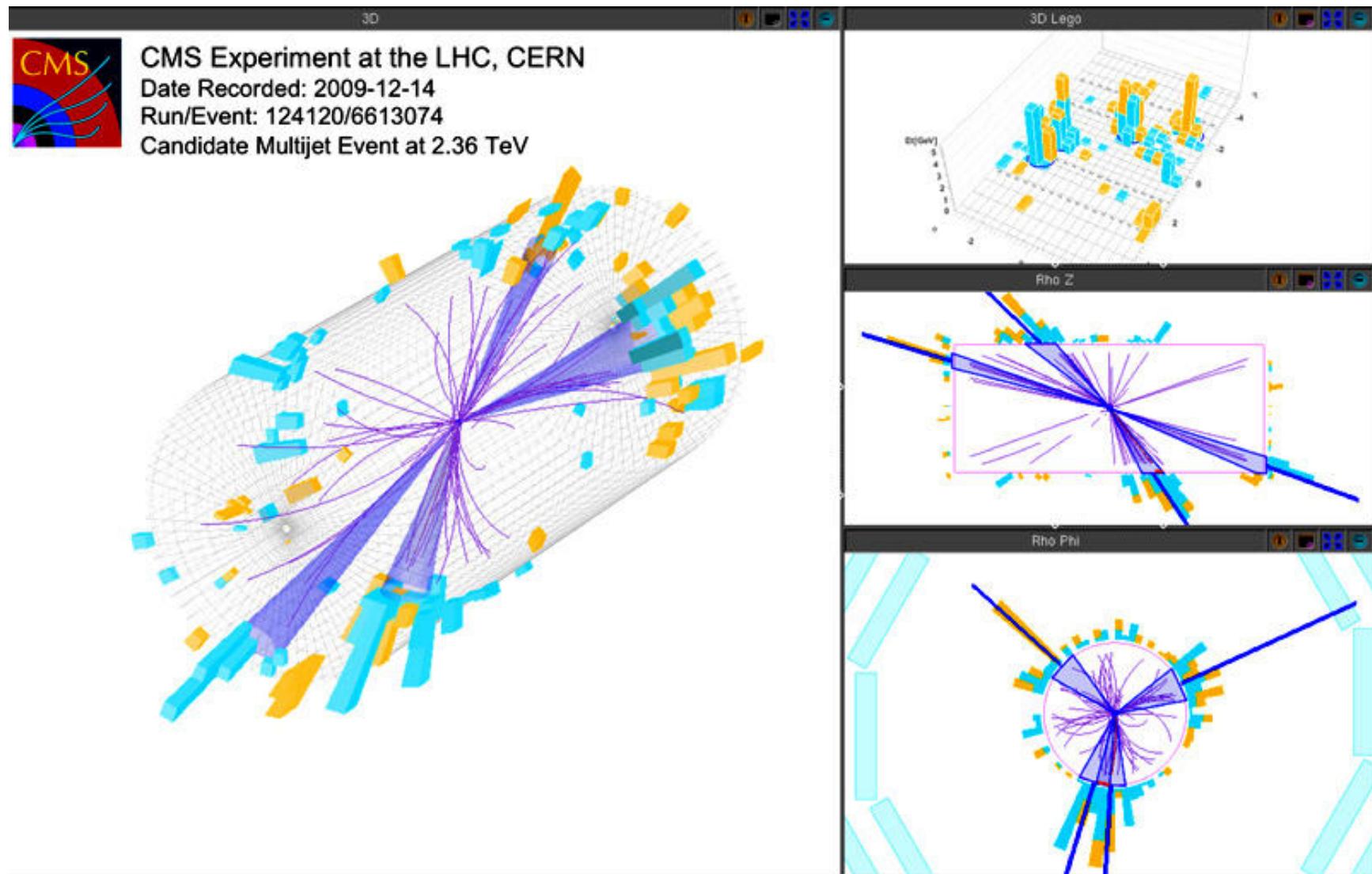
- elasztikus: nem keletkezik új részecske
- diffraktív: az egyik proton gerjesztődik, majd "felrobban"
- nem-diffraktív: bonyolult nem-perturbatív folyamatok

- **Kísérletek**

- a nem-elasztikus ütközésekre érzékenyek

CMS-ben kétoldalas trigger (DS) = ND + kevés DD és SD

Egy proton-proton ütközés

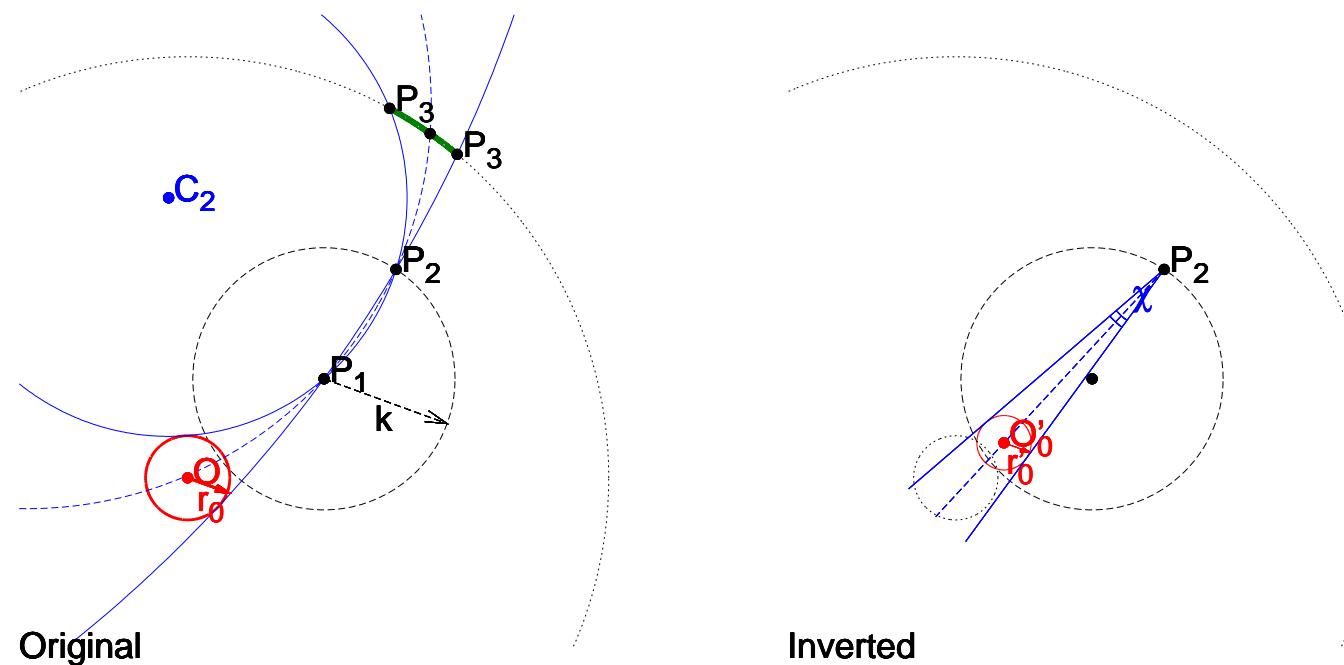


Egy rekonstruált pp ütközés 2,36 TeV-en

Részecskenyomok keresése

- Ponthármasok

- vegyük pontokat az első és a második hengerről (P_1 és P_2)
- két határoló kört keresünk, melyek átmennek O , P_1 és P_2 -n
- inverzió P_1 középponttal és $k = P_1P_2$ sugárral
- megoldás a $P_3 - P_3'$ íven



Egy kis online geometria

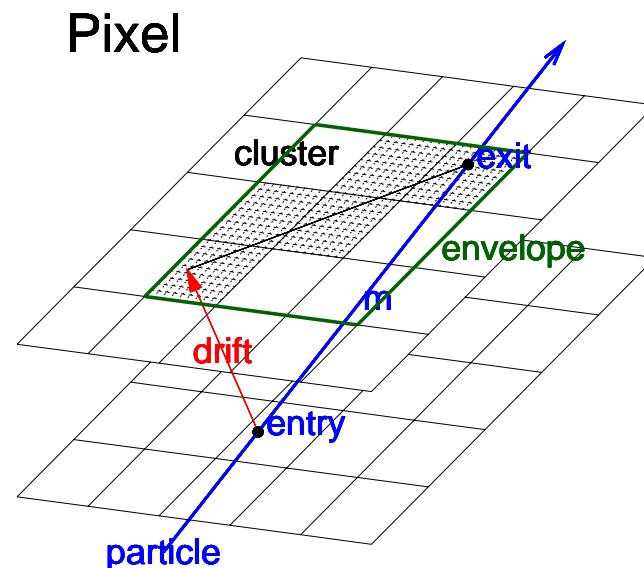
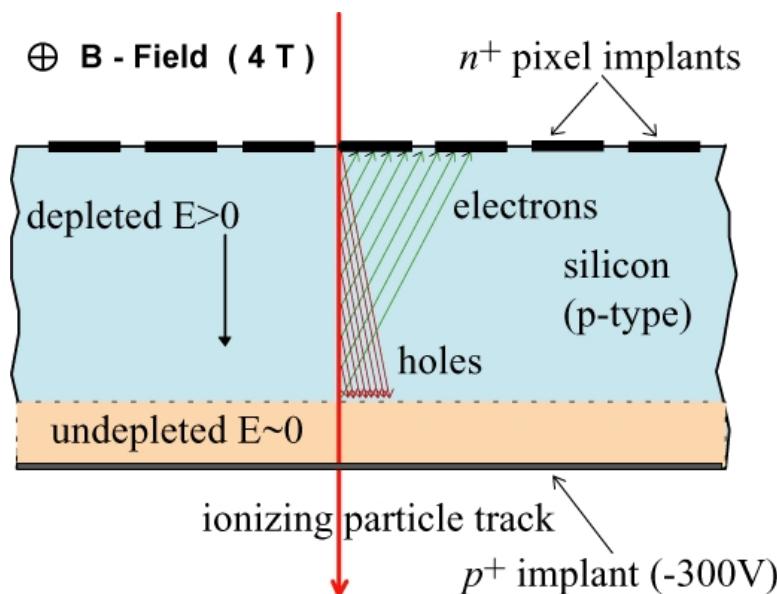
Beütések szűrése – alak

- Probléma

- túl sok beütés, melyik pont melyik részecskehez tartozik?

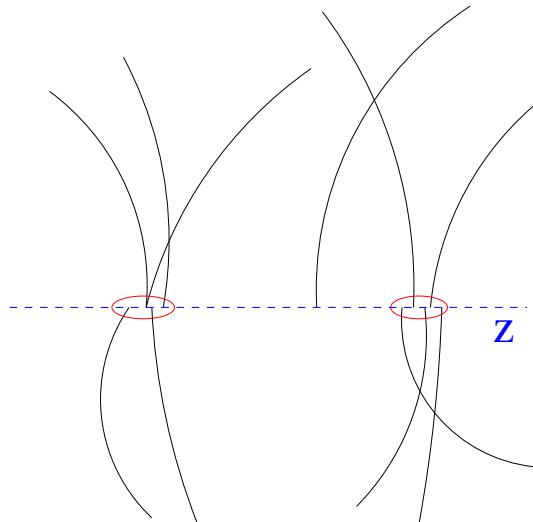
- Segítség

- töltött részecske → leadott energia → klaszter
- a szilícium vastag ($300 \mu\text{m}$), a pixelek méretei $150 \times 100 \mu\text{m}^2$
- a klaszterek alakja szoros kapcsolatban van a bejövő részecske irányával



Hatókony szűrő

Kölcsönhatási pont helye



- Mit tudunk?

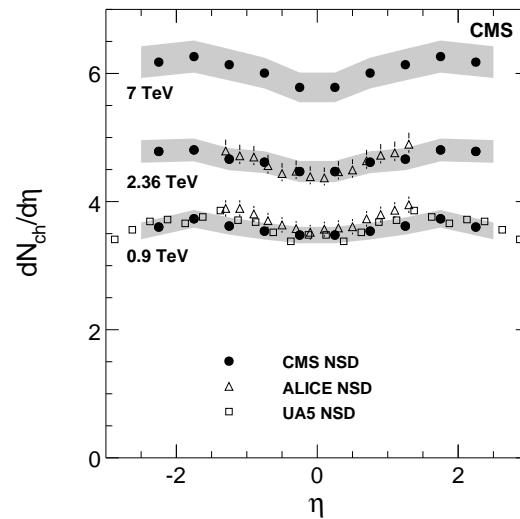
- ismerjük a részecskék nyalábközpontjának z koordinátáját és annak becsült σ_z hibáját

- Hogyan?

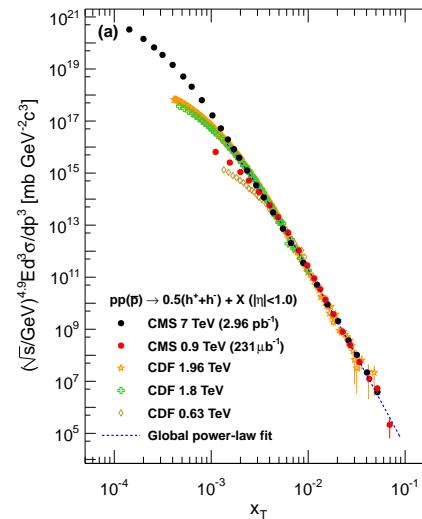
- agglomeratív klaszterezés
- két részecske d távolsága
- először minden egyes részecske egy-egy klaszter
- minden lépésben megkeressük a két legközelebbi klasztert (d_{min}) és egyesítjük
- az új klaszter z -je és σ -ja a két klaszter súlyozott átlaga
- addig folytatjuk, amíg d_{min} túl nagy nem lesz

Megbízható módszer, nagy ütközési gyakoriság nál is működik

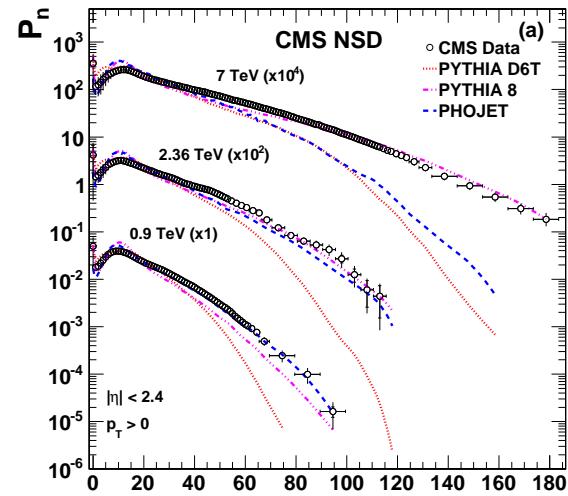
CMS mérések – magyar vezetéssel vagy részvétellel



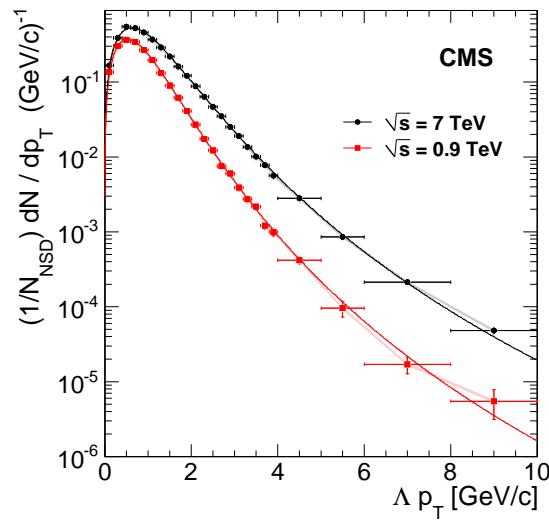
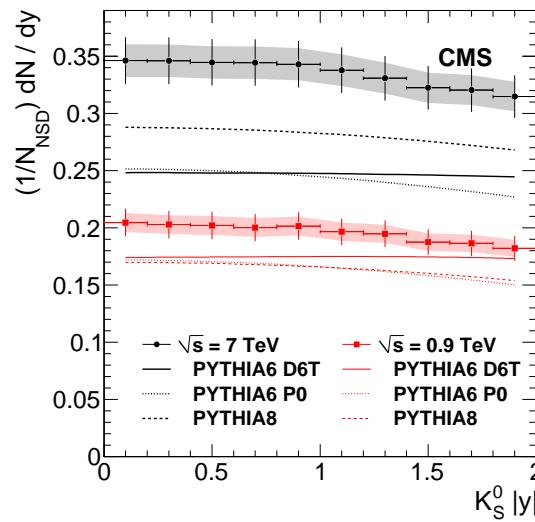
J. High Energy Phys. 02 (2010) 041
Phys. Rev. Lett. 105 (2010) 022002



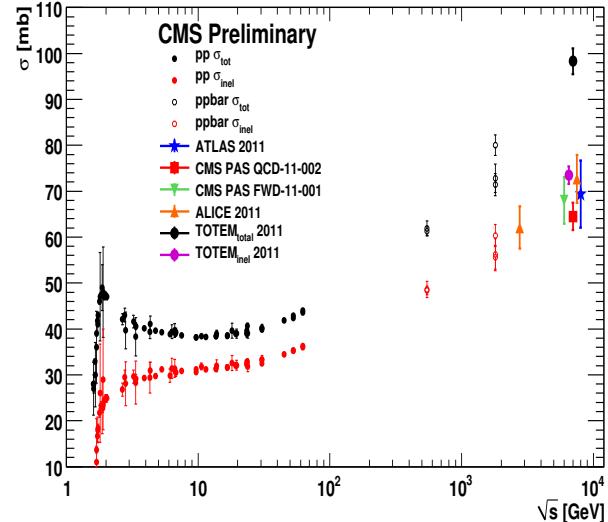
J. High Energy Phys. 08 (2011) 086



J. High Energy Phys. 01 (2011) 079



J. High Energy Phys. 05 (2011) 064



CMS-PAS-QCD-11-002 (2012)

Spektrumok, $\langle p_T \rangle$, multiplicitás, x-sec: PhysicsResultsQCD#Hadrons

Csoportunk – CMS QCD + Nehézion analízis



Siklér Ferenc PhD, sikler.ferenc@wigner.mta.hu
tud. főmts.; Wigner FK RMI; CMS QCD vezetője (2010-2011)
Google: Siklér Ferenc



Veres Gábor PhD, gabor.veres@cern.ch
kutató; CERN staff (2011-); CMS Nehézion vezetője (2011-2012)
adjunktus; ELTE TTK, Atomfizikai Tanszék
Google: Veres Gábor



Krajczár Krisztián PhD, krisztian.krajczar@cern.ch
MIT postdoc + CERN research fellow (2012-)
tud. mts.; Wigner FK RMI
Google: Krajczár Krisztián

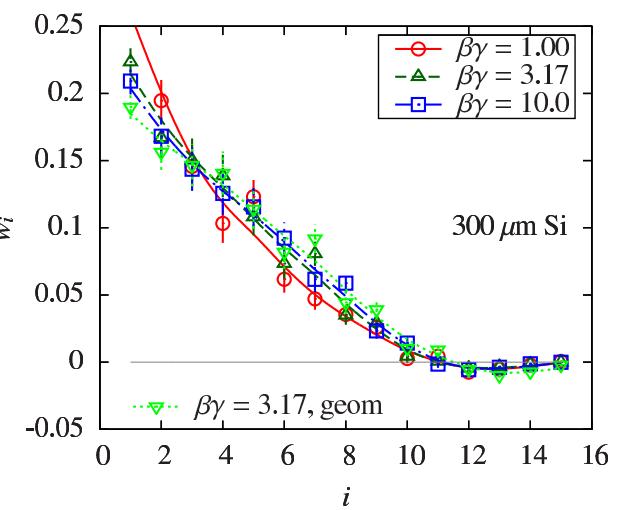
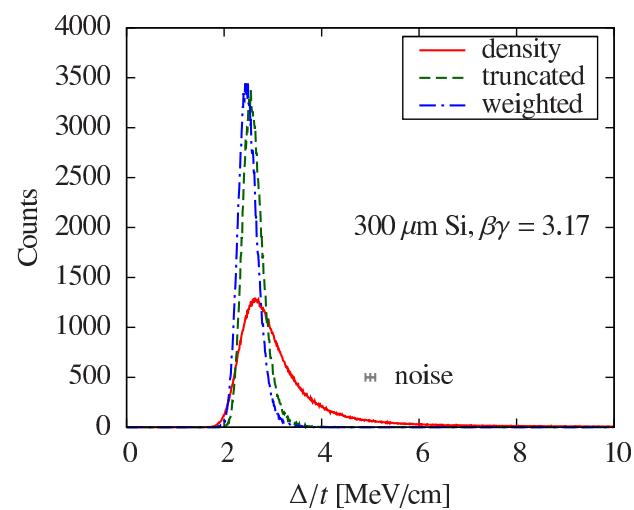
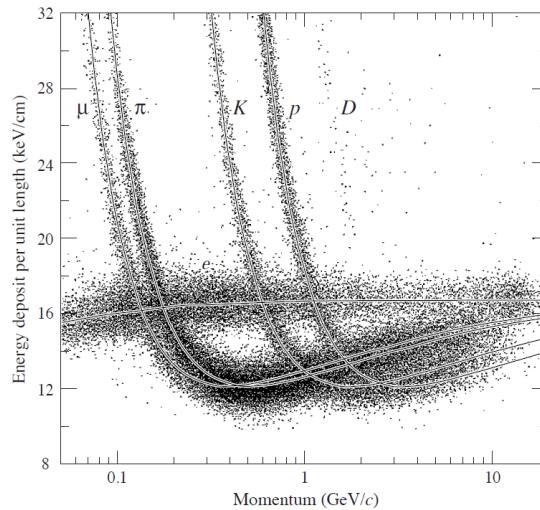


Zsigmond Anna
doktorandusz; Wigner FK RMI
Google: Zsigmond Anna

Matematika, fizika, detektor modellezés, algoritmusok, programozás
CERN nyári diák program: 3 hónap élmény + tanulás (+ fizetés)

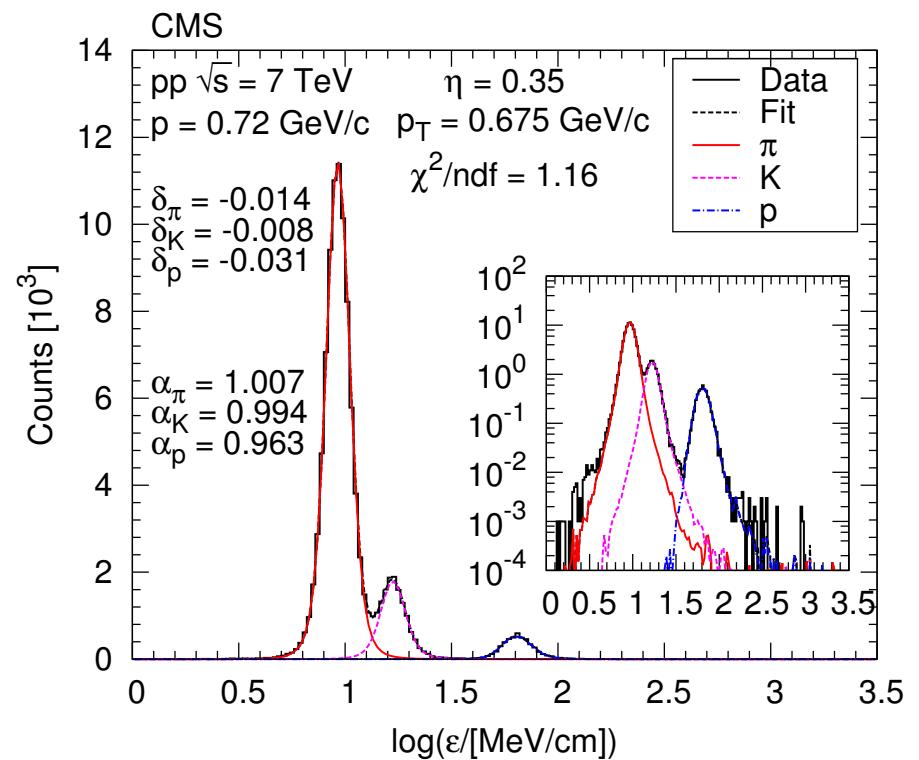
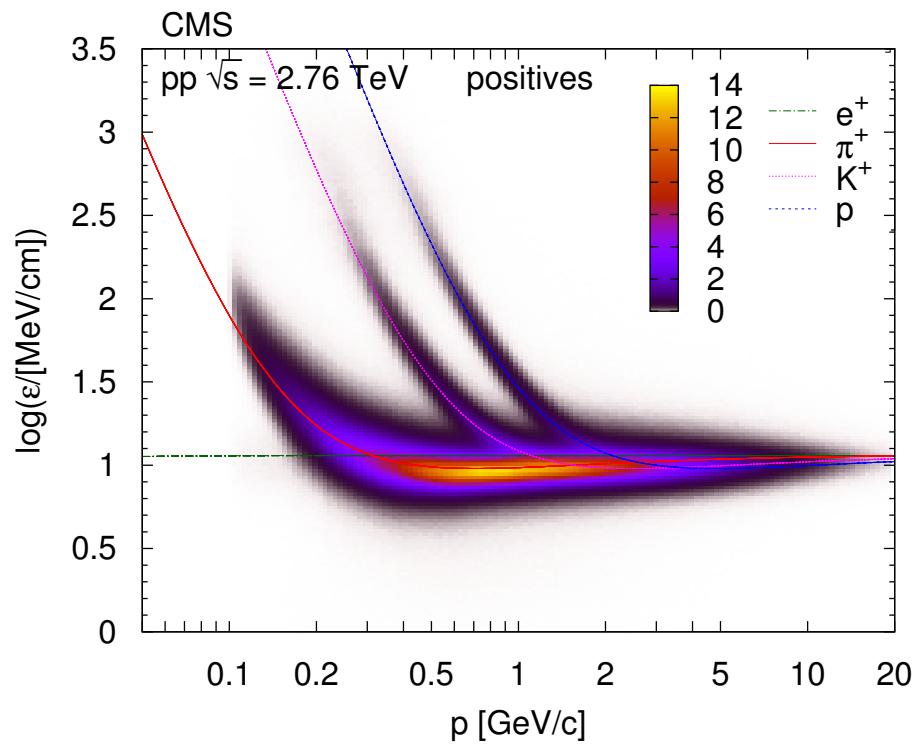
Részecskeazonosítás – energiaveszteség

- Miért érdekes, mit tudunk?
 - milyen részecske? a leadott energia (dE/dx) sebességfüggő
 - egy részecskét több pontban mérünk, sok $m_i = dE_i/dx_i$ érték, nagy szórással
- Hogyan?
 - nézzük a sorbarende zett m_i értékek súlyozott átlagát
 - keressük \mathbf{w} súlyokat, ahol a relatív felbontás a legkisebb, $\frac{\sqrt{\mathbf{w}^T V \mathbf{w}}}{\mathbf{m} \mathbf{w}}$
 - variációs feladat, $\mathbf{w} \propto V^{-1} \mathbf{m}$



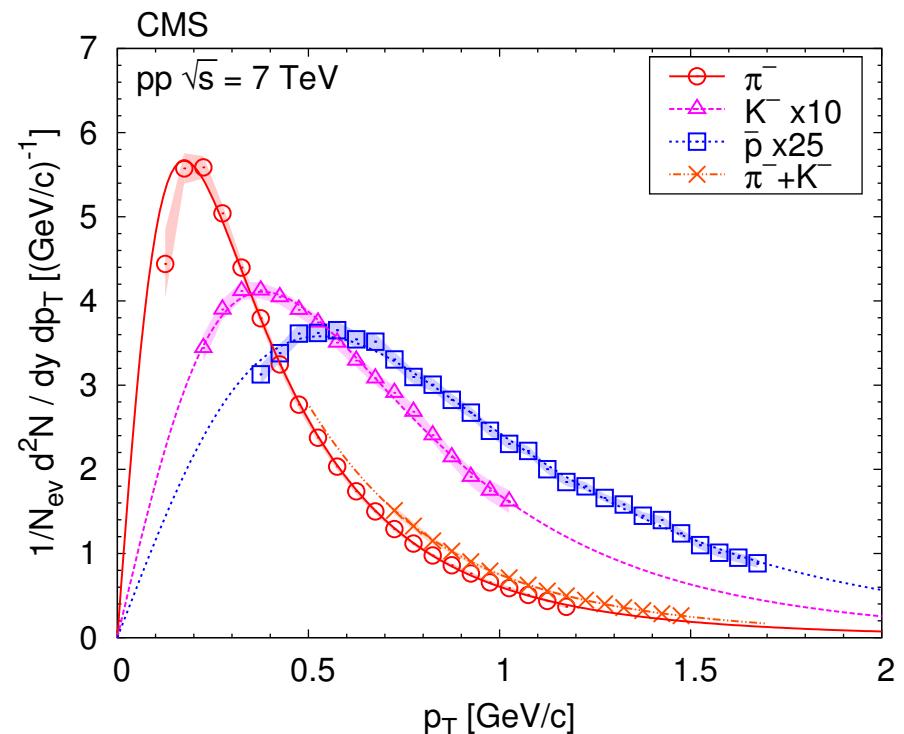
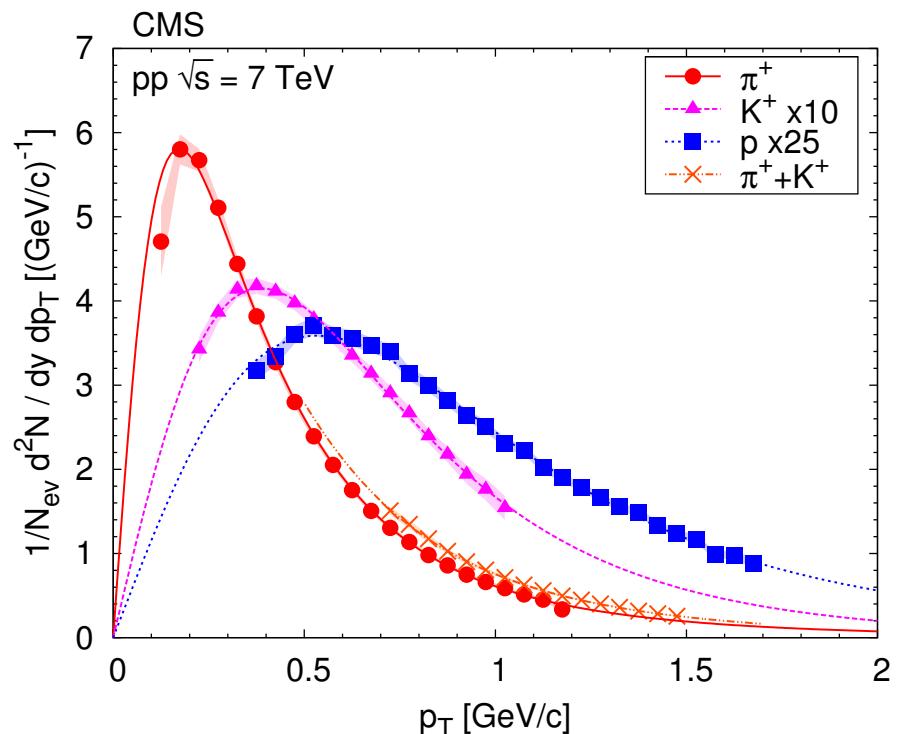
Szeles Sándor (ELTE, V. fizikus), OTDK 2. díj
„Az energiaveszteség mérésének optimalizálása nyomkövető detektorokra”

Részecskeazonosítás – adatok



- ε becslése mindegy egyes részecskepályára
 - Rendelkezésre állnak a megfelelően korrigált energialeadások a pálya mentén
 - Minimalizáljuk az együttes energiateszteség χ^2 -ét egy pályára
- Template illesztések impulzus-szeletekben
 - Szabad paraméterek: skálafaktorok + eltolások, részecske hozamok

Eredmények – p_T spektrumok

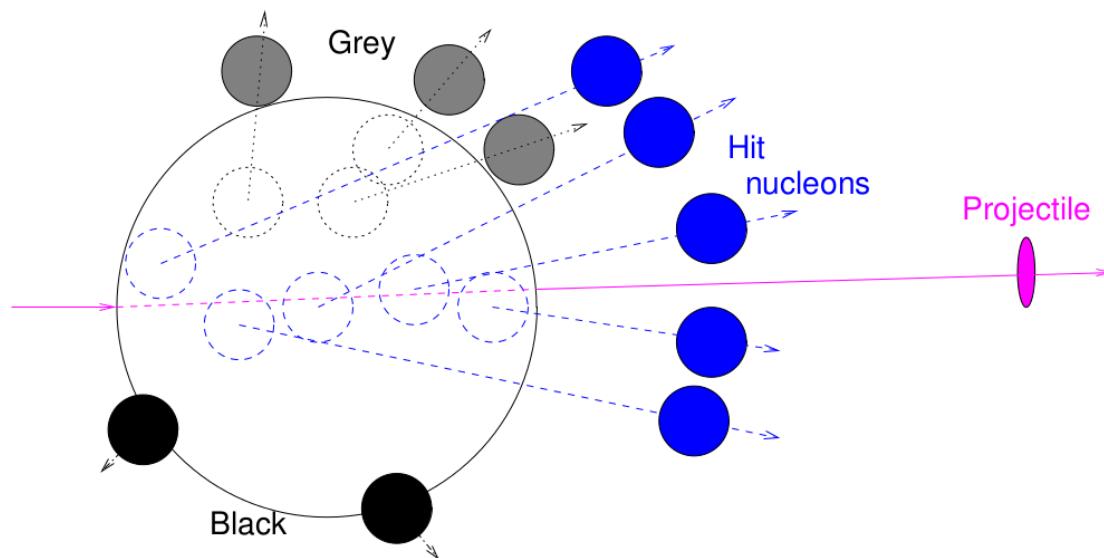


Tsallis-Pareto eloszlás:

$$\frac{d^2N}{dydp_T} = \frac{dN}{dy} \cdot C \cdot p_T \left[1 + \frac{(m_T - m)}{nT} \right]^{-n}$$

Gyökerei a nem-extenzív statisztikában; egy Lévy eloszlás
 n – kitevő, T – meredekség reciproka, m – részecske tömeg

Mit csinálunk most?



- Pb-Pb mérések kiértékelése
 - A keletkezett új részecskék a forró anyagban lassulnak, elnyomás
 - Két müonra bomló rezonanciák vizsgálata
- p-Pb adatok felvétele, kiértékelése
 - Hogyan mérjük meg a bejövő protonok ütközéseinek számát?
 - Mit mérünk? p-p és Pb-Pb között, referenciamérések, összehasonlítás

CMS kísérlet – mérés jövő hét szerdáig