

Az LHC kísérleteinek kezdete

magyar szemmel

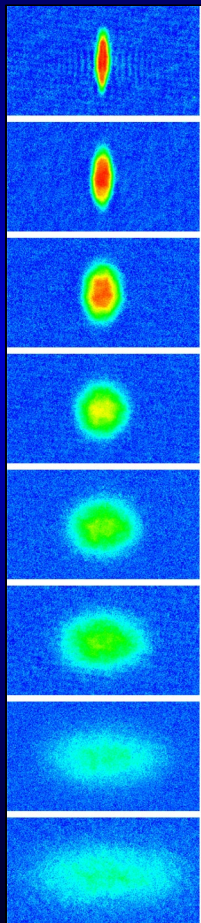
Csörgő Tamás

**ex: Department of Physics, Harvard University, Cambridge, MA
MTA KFKI RMKI, Budapest (2011-ig)
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest (2012-)**

**A CERN LHC Resource Review Board 2010 áprilisi előadásai,
<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=82848>
és az APS 2010 február 15-i előadásai alapján,
valamint W. A Zajc, arXiv:0802.3552 [nucl-ex] cikke és
Horváth Dezső, Siklér Ferenc, Veres Gábor (CMS) és Lévai
Péter (ALICE)
előadásai felhasználásával**

Erősen kölcsönható anyagok

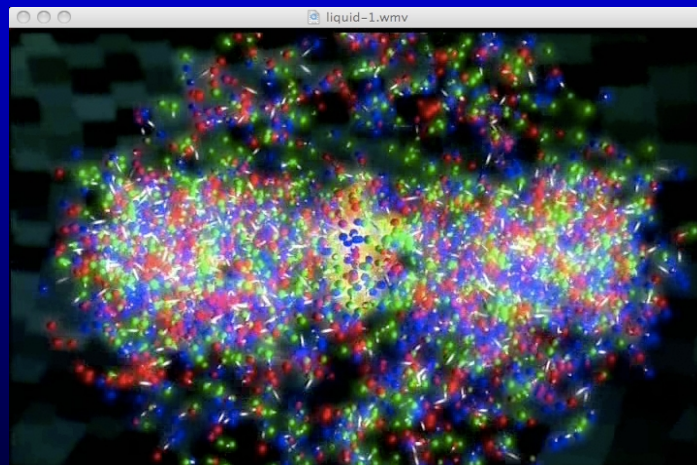
- ❖ Ultra-hideg atomos ${}^6\text{Li}$ gáz
- ❖ Tökéletesen folyó Kvark-Gluon Plazma (RHIC)
- ❖ Nagy T_c Szupravzetők
- ❖ Neutron anyag
- ❖ Fekete lyukak a húrelméletben



Erősen csatolt ${}^6\text{Li}$ gáz,

$$T = 10^{-7} \text{ K}$$

J. Thomas et al, Science (2002)

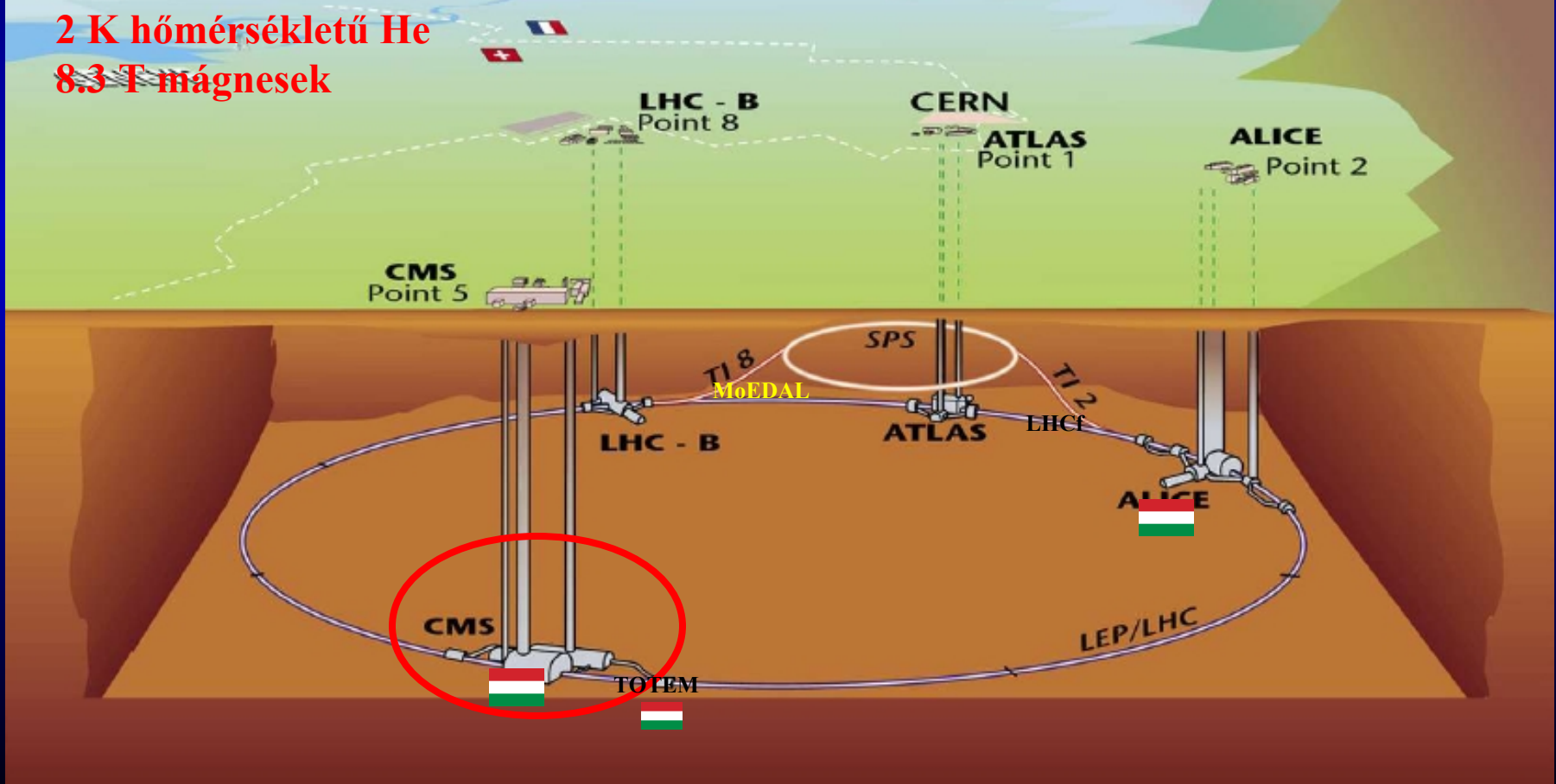


Kvark-gluon plazma, $T > 4 \times 10^{12} \text{ K}$

➡ Hasonló "Elliptikus" folyási kép ⬅

LHC: Nagy Hadron Ütköztető 6+1 kísérlettel

27 km hosszú alagút
100 méterrel a felszín alatt
2 K hőmérsékletű He
8.3 T mágnesek



Az LHC kísérletei dióhéjban

7 LHC kísérlet:

ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, MoEDAL, TOTEM

Három 1000+ fős kísérlet: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb

Három 100- fős kísérlet: LHC, MoEDAL, TOTEM

Az LHCb e két csoport között 730 fővel (kb PHENIX + STAR)

Magyar csoportok: ALICE, CMS, TOTEM

ALICE: 31 ország, 111 intézet, 1000 fő, nehézion + részecskefiz.

ATLAS: 37 ország, 173 intézet, 3000 fő, részecske + nehézionfiz.

CMS: 38 ország, 183 intézet, 2500+ fő, részecske + nehézion

LHCb: 15 ország, 54 intézet, 730 fő, részecskefizika (CP sértés)

LHCf: 6 ország, 13 intézet, 32 fő, részecskefizika (+ kozmikus)

MoEDAL: 6 ország, 9 intézet, 23 fő, monopolus és egzotika rf.

TOTEM: 7 ország, 10 intézet, 70 fő, részecskefizika (+ kozmikus)

Az LHC beindulása

2009. nov. 23. **első ütközések 900 GeV-en**

Kb. 400 ezer ütközés

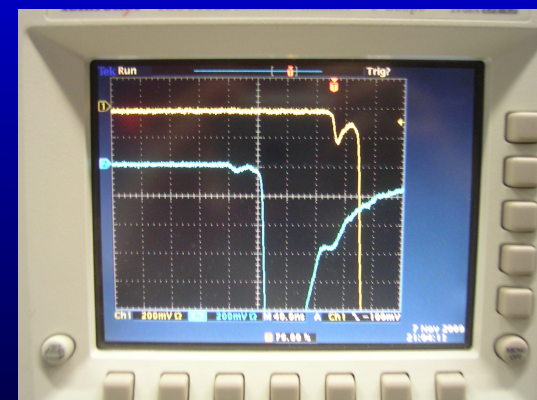
2009. dec. 14. **első ütközések 2.36 TeV-en**

Kb. 20 ezer ütközés

2010. márc 30. **első ütközések 7 TeV-en**

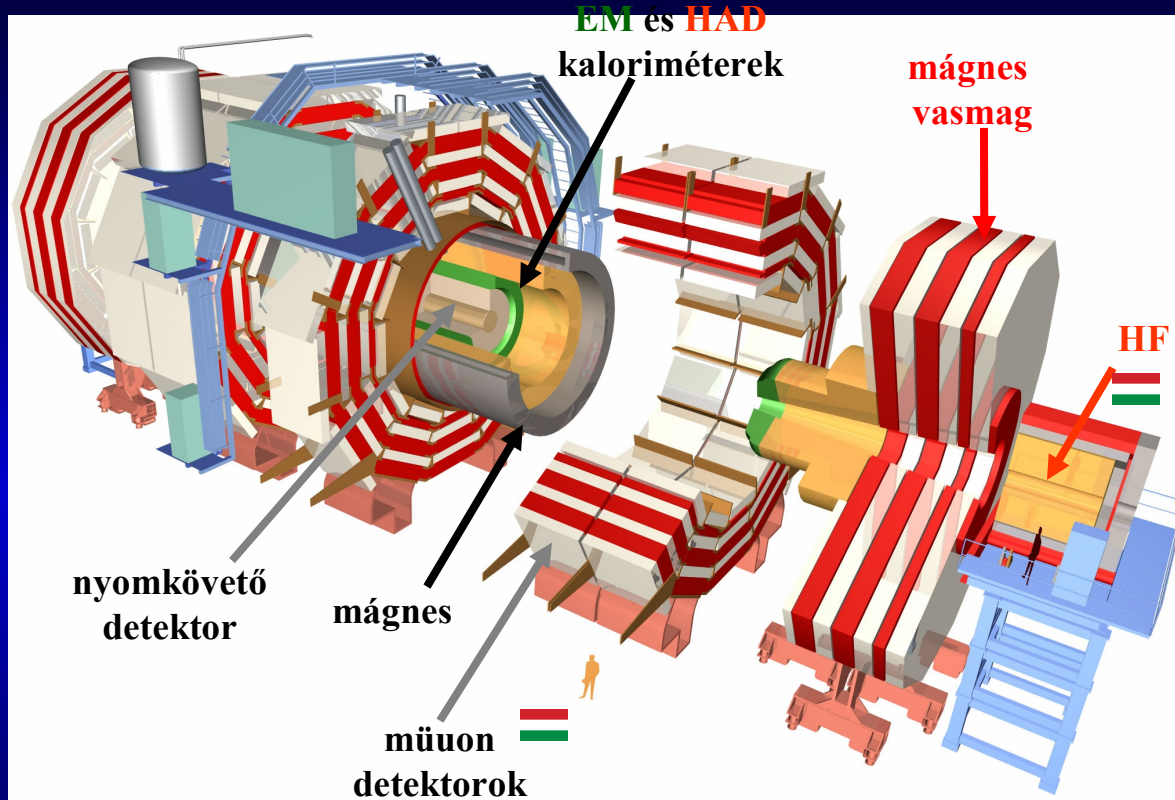
2010 nyaráig több mint 50 M ütközés

(terv: 1000 M/sec)



2009. Első LHC nyaláb
a CMS-ben (Veres G.)

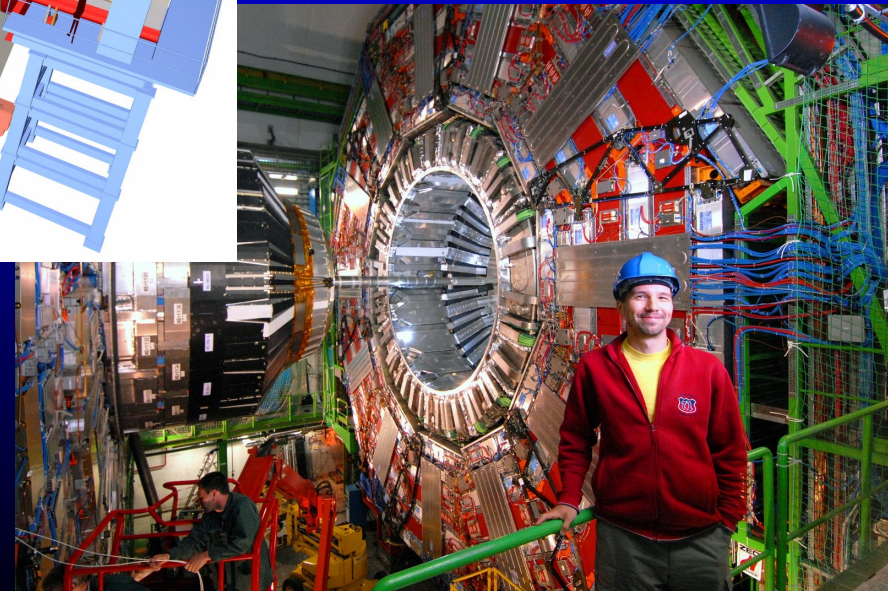
A CMS detektor (Compact Muon Solenoid)



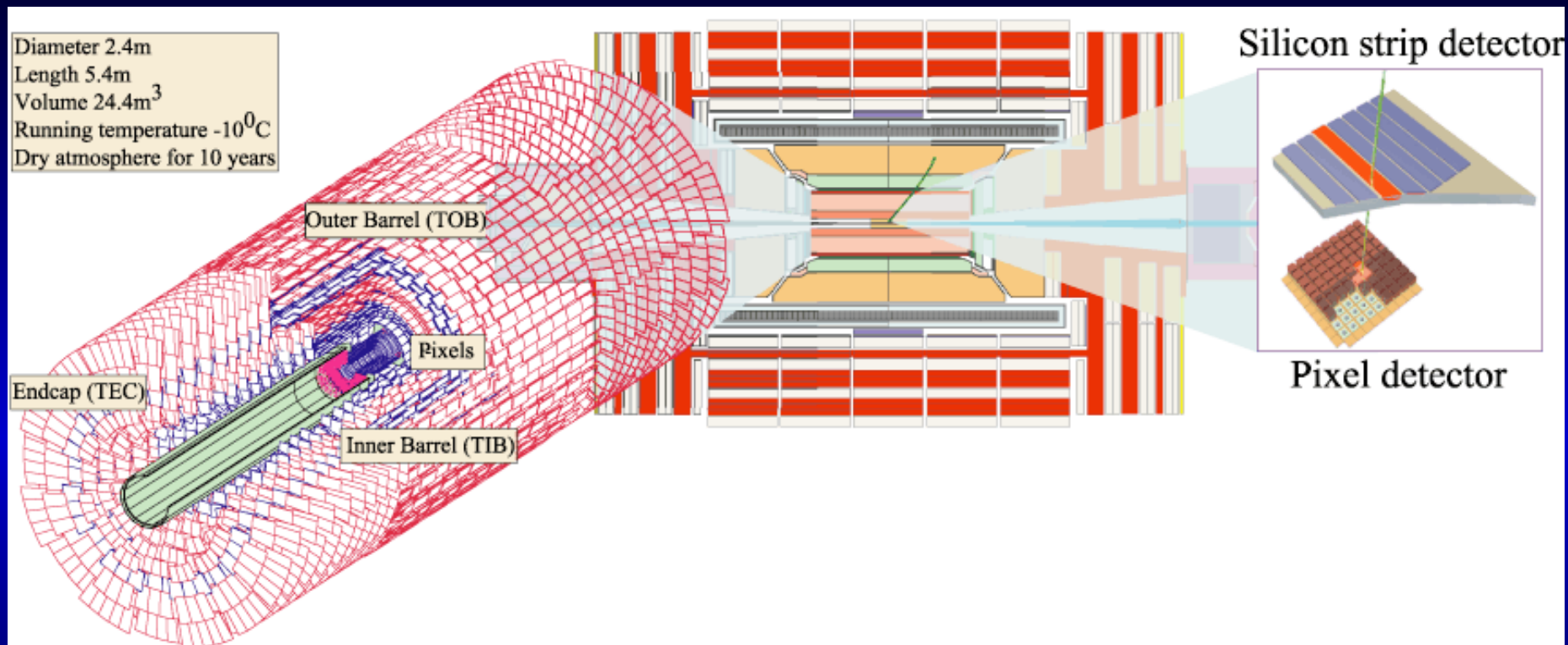
21 x 15 x 15 m
3.8 T mágneses tér
100 MP digitális
fényképezőgép
40 M kép/sec
12000 t mágnes

Veres Gábor s a CMS:

2500 munkatárs
9 fizikai analízis csoport



A CMS nyomkövető detektora



3.8 T mágneses térben

Hűtés -10 °C (sugárkárosodás ellen)

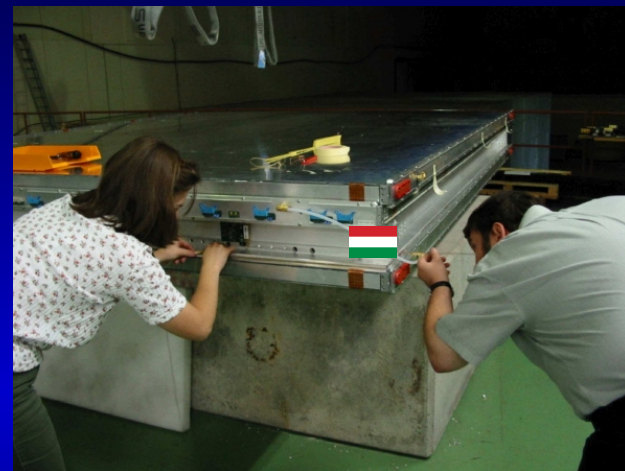
Lefedettség $|\eta| < 2.5$

Detektálás hatásfoka >99%

Pixelek: 66 millió önálló szegmens

Magyar CMS részvétel: aldetektorok

- **Müon** kamrák pozícionálása (Debrecen)
- **HF kaloriméter** tervezése és építése (részben), RMKI
- **Pixel** detektor kiolvasásának optimalizálása (Debrecen)
- **GRID** (RMKI) - adatfeldolgozás
- **Ütközési trigger**ek (ELTE/CERN)



MTA RMKI KFKI, Budapest: 20 fő

Debreceni Egyetem: 10 fő

MTA ATOMKI: 7 fő

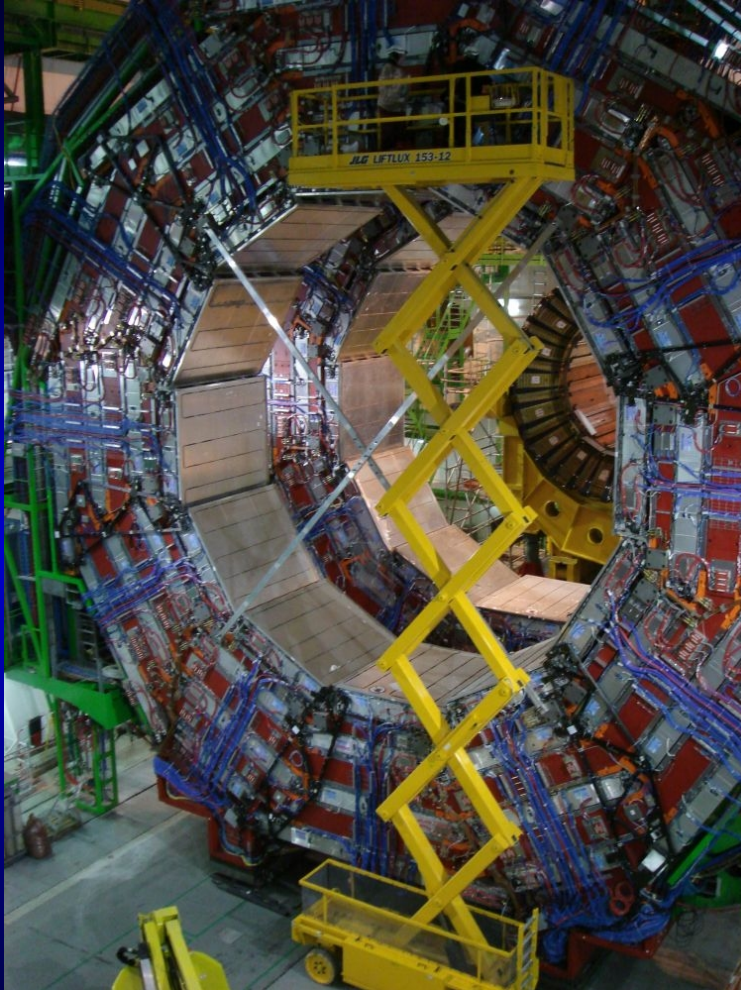
ELTE (sajnos nem hivatalos tag!): 2 fő

+ Sok más magyar kolléga külföldi intézetekből

Megbecsült résztvevők vagyunk!



A hordórész műonkamráinak helyzetellenőrző rendszere



MAB-telepítés a CMS
barrel gyűrűn (2007)

Az építés fázisai:

Fejlesztés 1995-2002

Építés 2001-2007

Beszereelés 2006-2008

Közvetlen költség:

1,3 MCHF (~200 M Ft)

A rendszer megépült, működik,
folyamatosan szolgáltat adatot.

Jelenlegi feladatok:

- Üzemeltetés, karbantartás
- A geometriai rekonstrukció optimalizálása

Magyar részvétel: fizikai analízis

- SUSY részecskék keresése (RMKI, ATOMKI, DE)
- Fekete lyukak, extra dimenziók keresése (RMKI, DE)
- **Kvantumszíndinamika – QCD (RMKI, ELTE)**
- Nehézionfizika (RMKI, ELTE)

Azonnal kutatható,
a többi témához sokkal több adat és idő kell

A CMS első publikációjának előkészítői magyarok:

Töltött részecskék tr. impluzus és pszeudorapiditás-eloszlása 0.9 és 2.36 TeV energián

Siklér F. (RMKI), V.G. (ELTE/CERN), Krajczár K. (ELTE), Y-J. Lee (MIT) és társaik

- 2010 elején 76 fizikai analízis indult el hivatalosan a CMS-ben
ebből kettőnek is magyar koordinátora van (mindkettő QCD):

Töltött részecskék transzverzális impluzus és pszeudorapiditás-eloszlása 7 TeV energián (V.G.)

Résztvevők: Siklér F. (RMKI), V. G. (ELTE/CERN) Krajczár K. (ELTE), és társaik

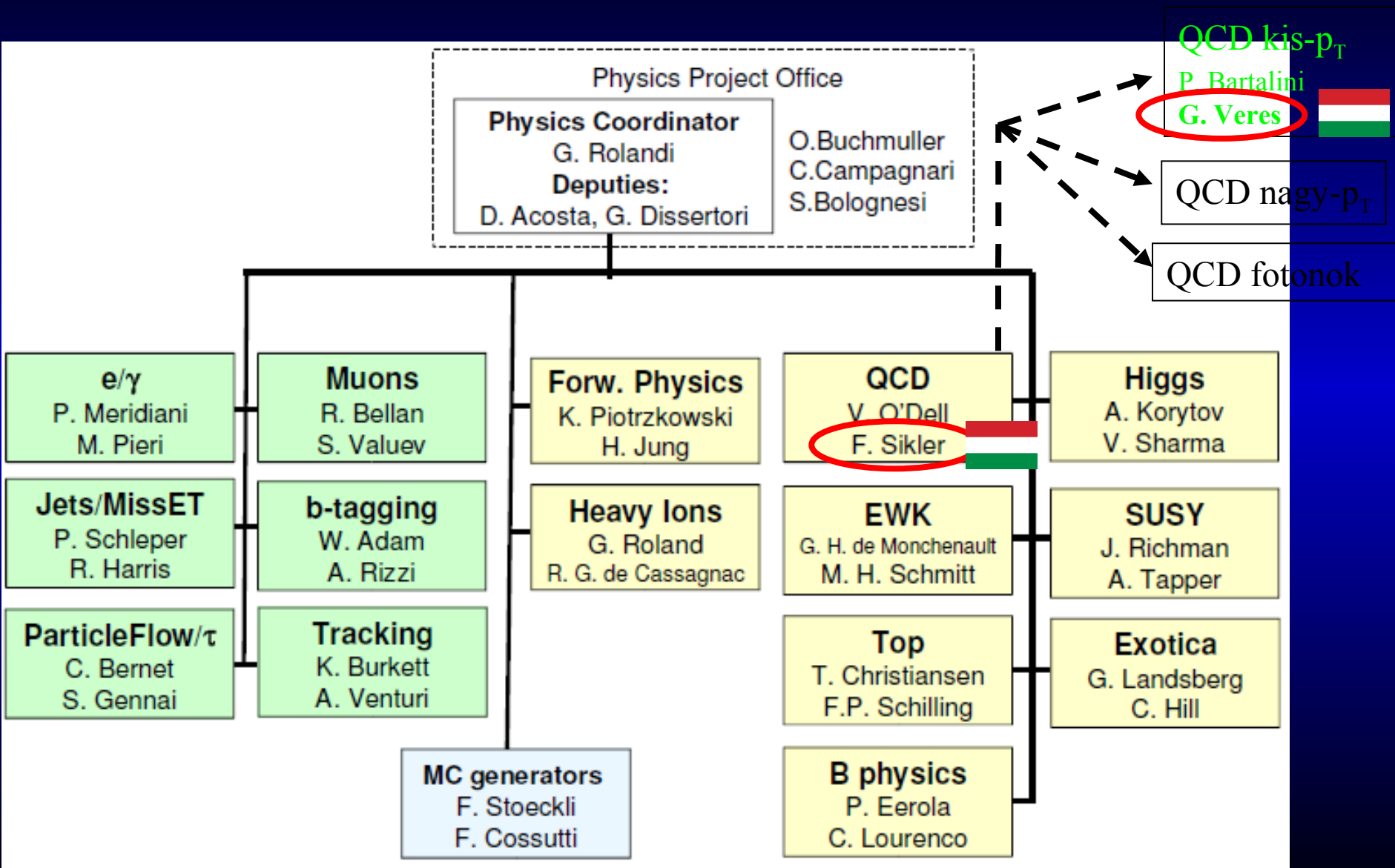
Azonosított részecskék spektrumai 0.9, 2.36 és 7 TeV energián (Siklér F.)

Résztvevők: Siklér F. (RMKI), Krajczár K. (ELTE), és társaik

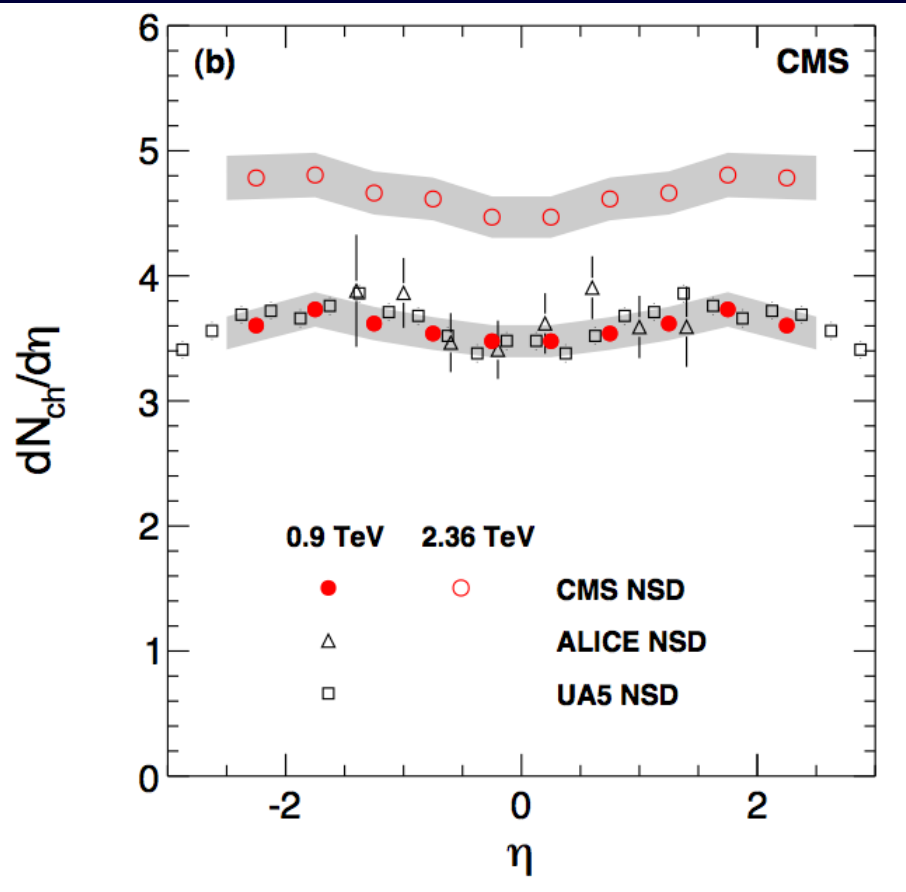
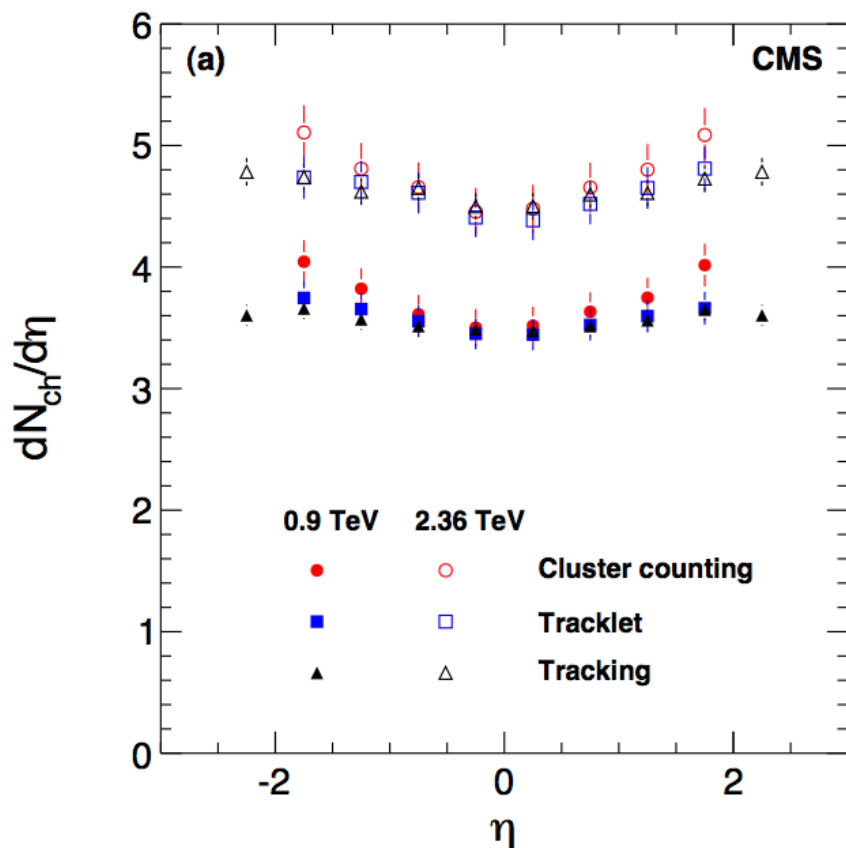
5 év előkészítő munka eredménye!

S.F., K.K, V.G.: 7 elfogadott „Analysis Note”, „11 Conference Report”

A CMS fizikai analíziseinek irányítása



Első CMS eredmények: szögeloszlás ($dN/d\eta$)



A három módszer összehasonlítása
0.9 TeV és 2.36 TeV energián.

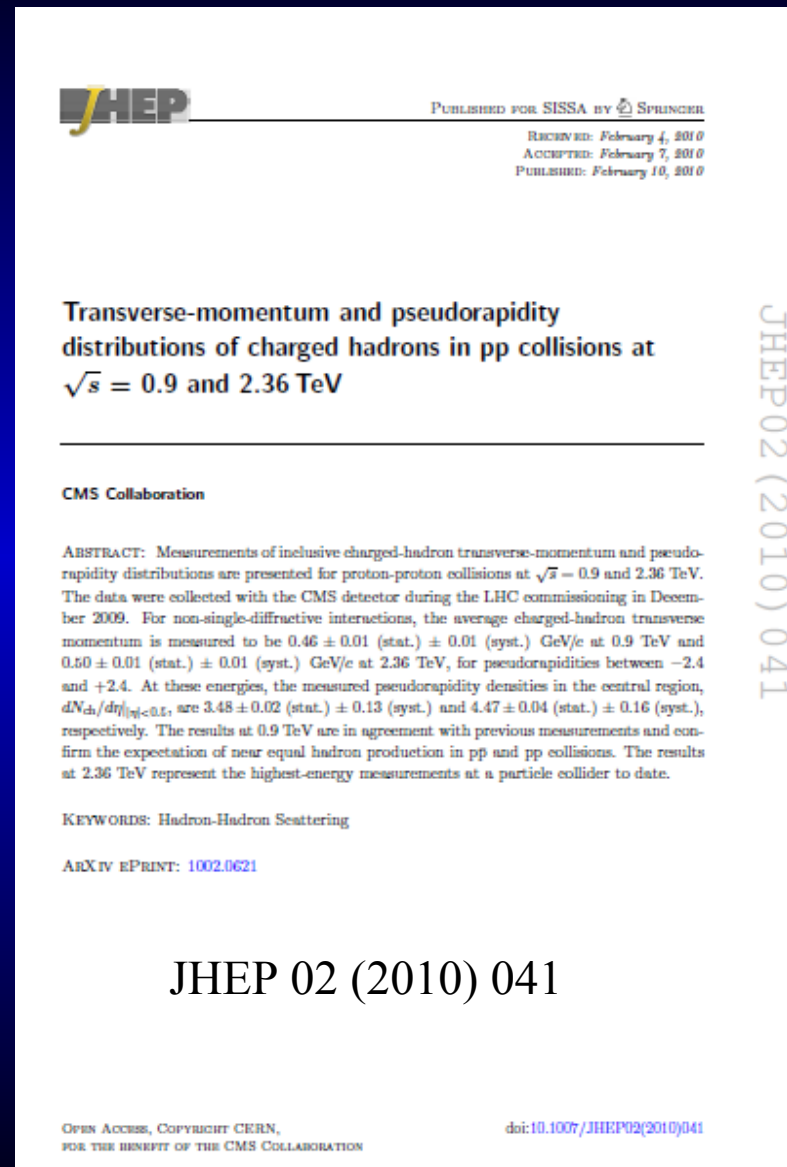
Az átlagolt és szimmetrizált eredmények.
Összehasonlítás az UA5 és ALICE kísérletek
adataival.

JHEP 02 (2010) 041

A CMS első publikációja

- Az első publikált eredmény 2.36 TeV-en
- Az első publikált impulzusmérés az LHC-nél 
- Az eredmények követik a régebbi kísérletek adatai által mutatott trendet
- A keletkezett részecskék száma gyorsabban nő az energia függvényében, mint gyakran használt modellek jósolták.
- A cikk bemutatja hogy a CMS detektor készen áll a következő hosszú adatfelvételre
- A detektor kiválóan működött már a legelső órában, és nagyon jó minőségű adatokat rögzített.

Ez a kezdete a CMS hosszú és érdekesnek ígérkező fizikai programjának!



CMS összefoglalás - magyar szemmel

A **CMS** kísérlet alaposan **felkészülve** várta az első ütközéseket

A magyar hozzájárulás jelentős a CMS-hez

A CMS első 1(+1) **publikációja** a töltött részecskék eloszlásairól rendkívül gyorsan elkészült

Az LHC **luminositása** még hat nagyságrenddel, ütközési energiája 50%-kal elmarad a tervezettől,
2015-re várható a nominális teljesítmény elérése.

A Nagy Hadronütköztető (LHC) első eredményei

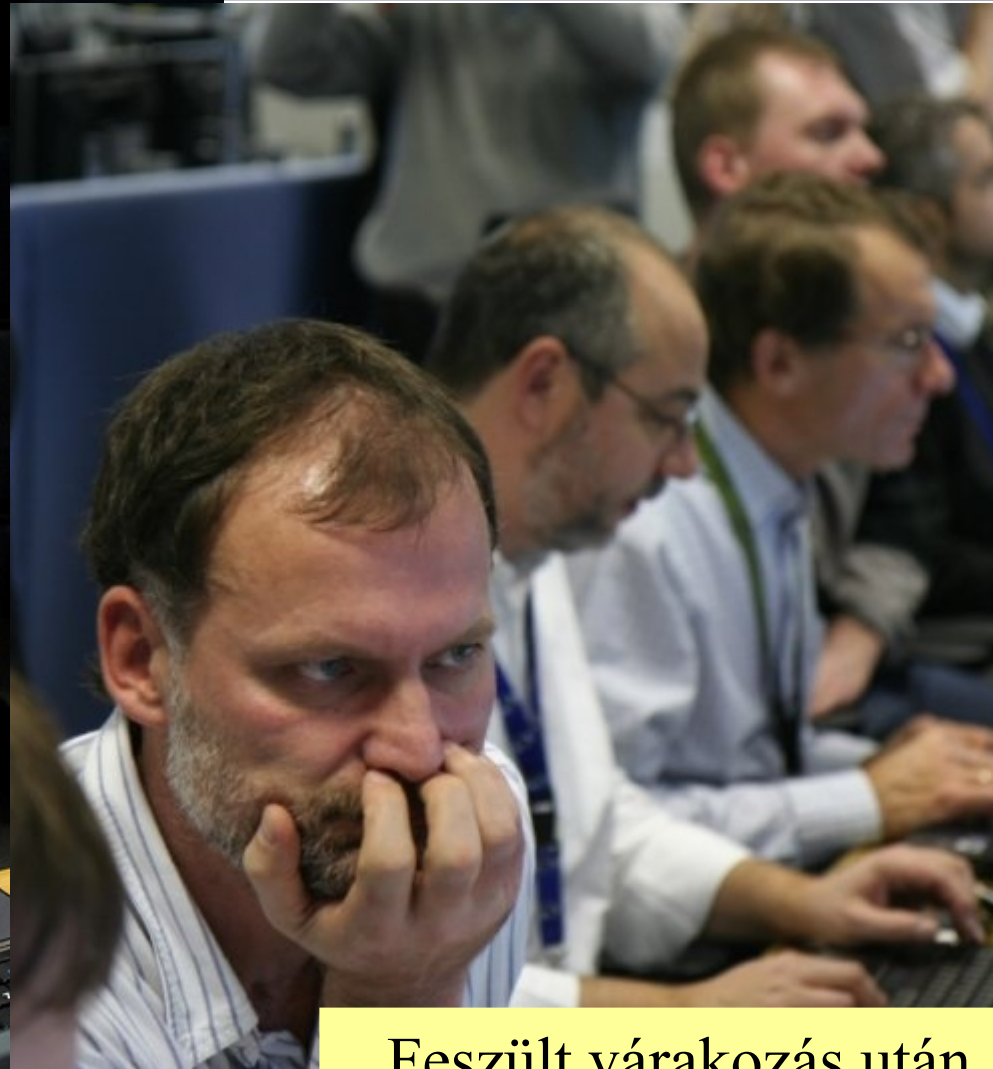
**- ALICE együttműködés szemszögéből -
Lévai P. az ALICE RMKI csoport nevében**



Visszatérve az ALICE kontrollszobába (ACR) ..



.. koncentrált munka után ..



.. Feszült várakozás után.

2009 November 23rd , Hétfő ~15:30
az ALICE kontrollszobában

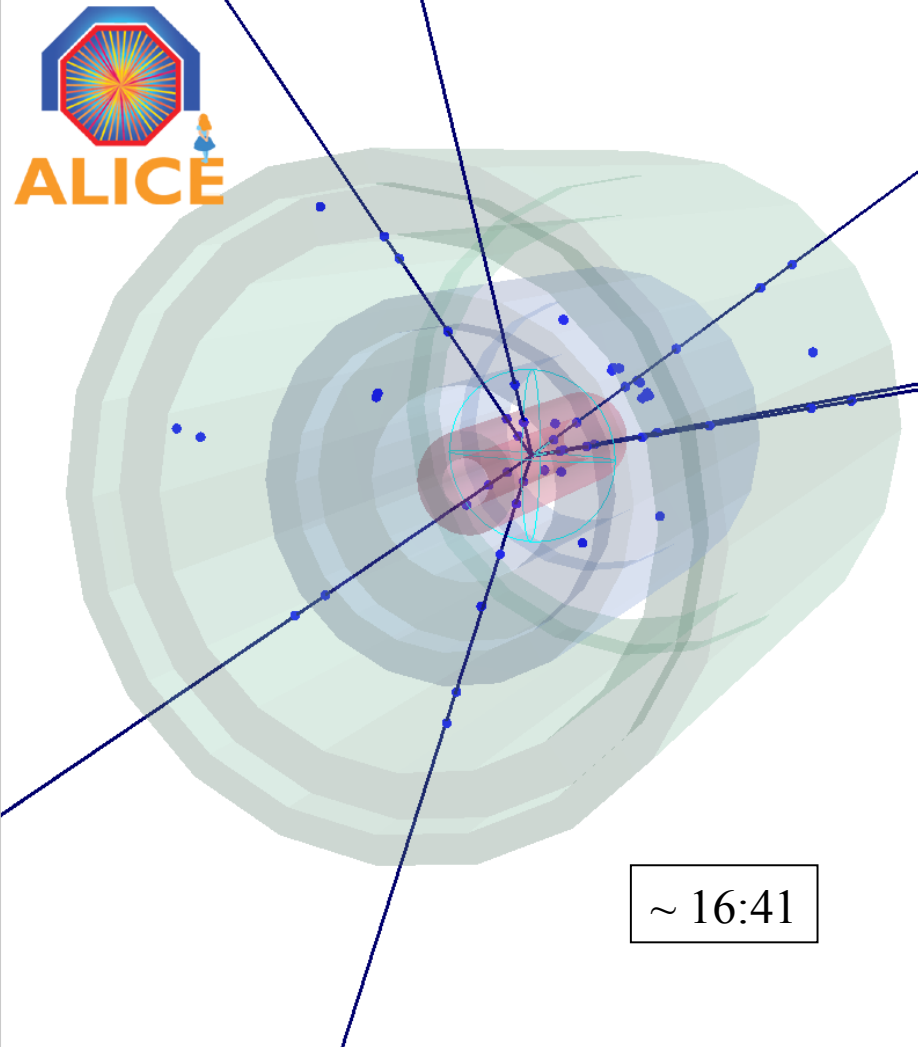
Csörgő T.

... megjelenik az első „esemény”

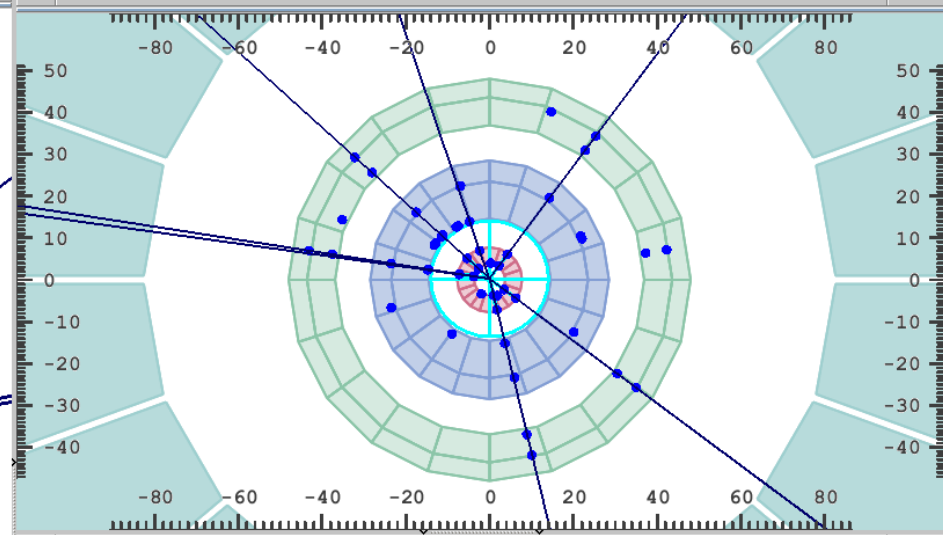
Timestamp: 2009-11-23 15:47:17; Event # in ESD file: 0

Viewer 1 Multi View DataSelection Selections QA histograms WindowStore

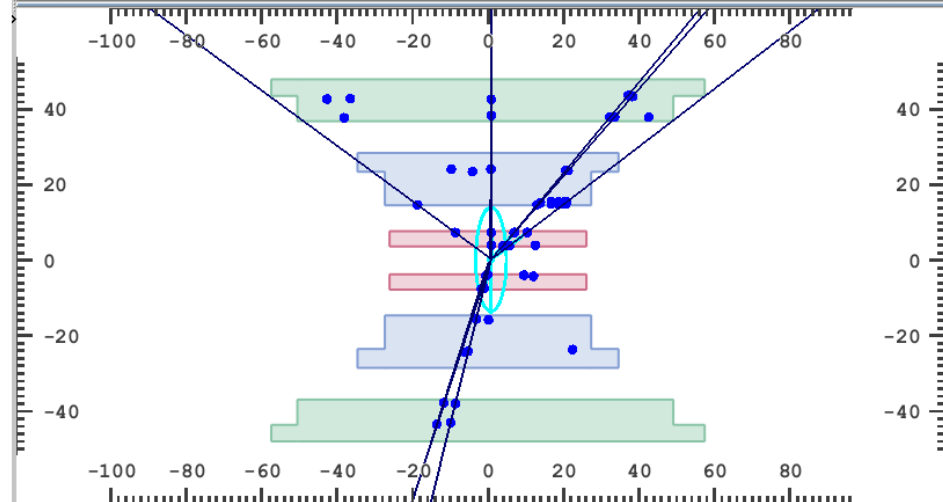
Hide 3D View Actions



Hide RPhi View Actions



Hide RhoZ View Actions



Command EventCtrl

First Prev 0 / 215 Next Last Refresh Autoload Time: 5

No raw-data event info is available!

Megkönnyebbülés és ünneplés..



Ütközések az ALICE-ban !!



~ 16:42

És ez jelent meg belőle !

The European Physical Journal

volume 65 · numbers 1–2 · January · 2010

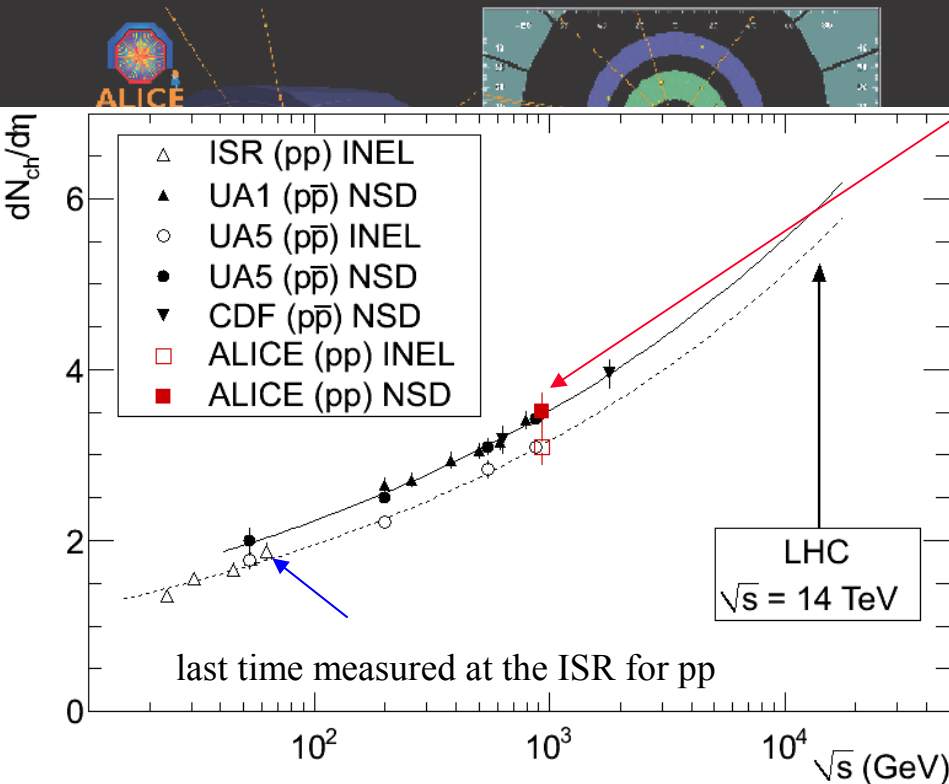
EPJ C



Recognized by European Physical Society

submitted to EPJC 28 Nov 2009

Particles and Fields



Phase 1: rediscovering the standard model
(QCD in the case of ALICE)

The average number of charged particles
created perpendicular to the beam
in pp collisions at 900 GeV is:

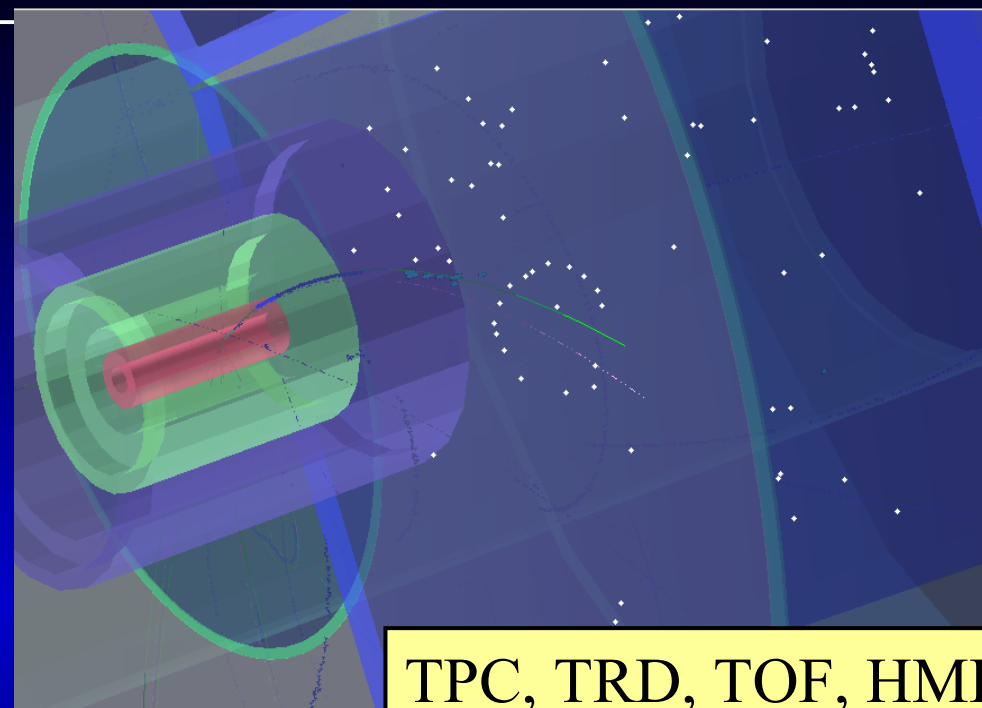
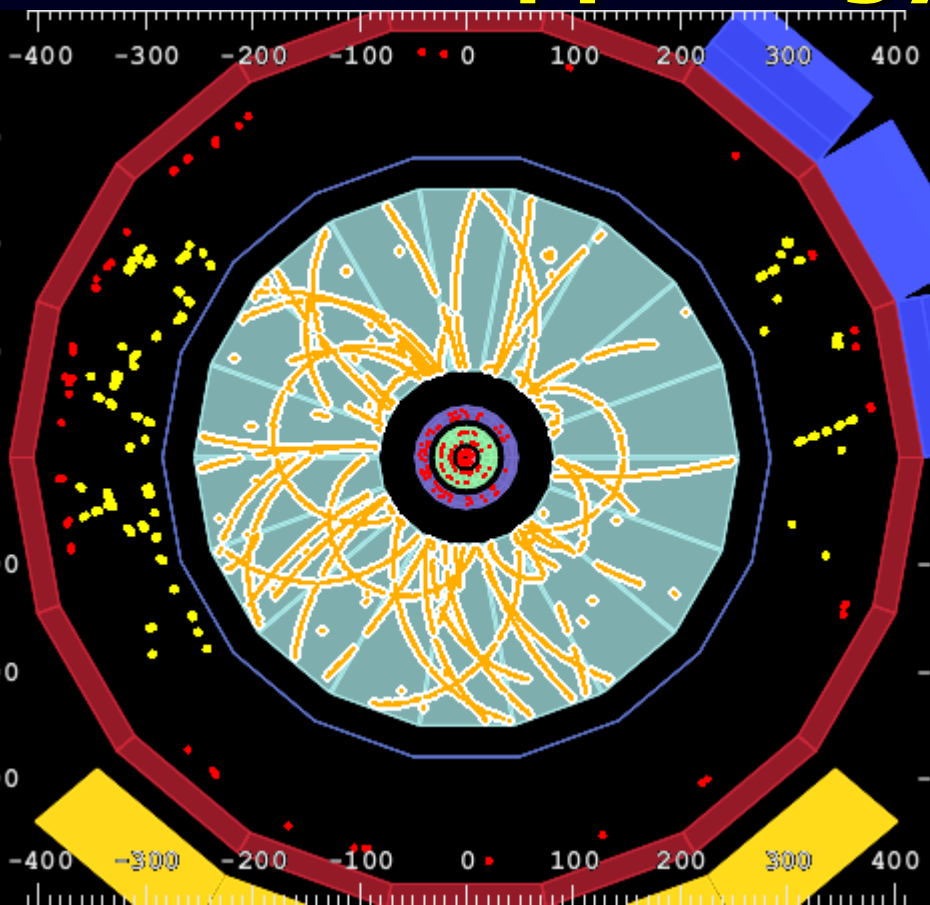
$$dN/d\eta = 3.10 \pm 0.13 \text{ (stat)} \pm 0.22 \text{ (syst)} \approx \pi$$

National Geographic News (4 Dec.)

‘....a machine called ALICE....
found that a (i) proton-proton collision
recorded on November 23
created the precise ratio
of matter and antimatter particles
predicted from theory..’

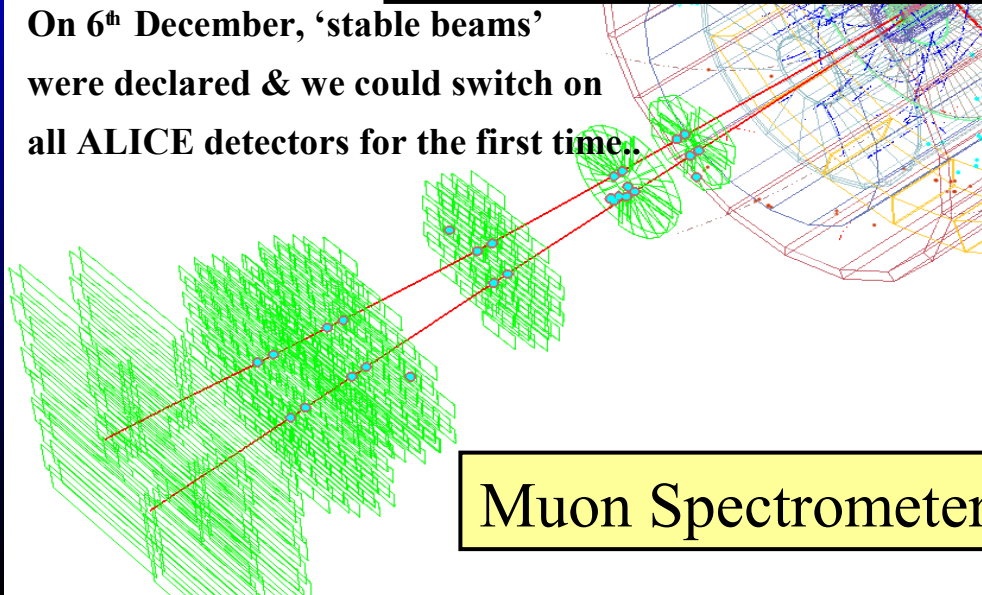
This is the first (and easiest) of
many numbers we need to (re)measure to
get confidence in our detectors, tune the
simulations, study background,
Phase 2 is still a long way to go.

A cseppből így lett erecske ..

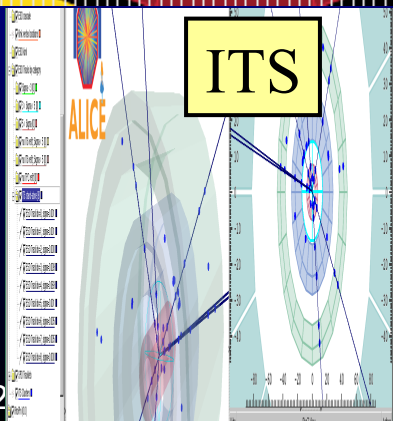


TPC, TRD, TOF, HMI

On 6th December, ‘stable beams’
were declared & we could switch on
all ALICE detectors for the first time.

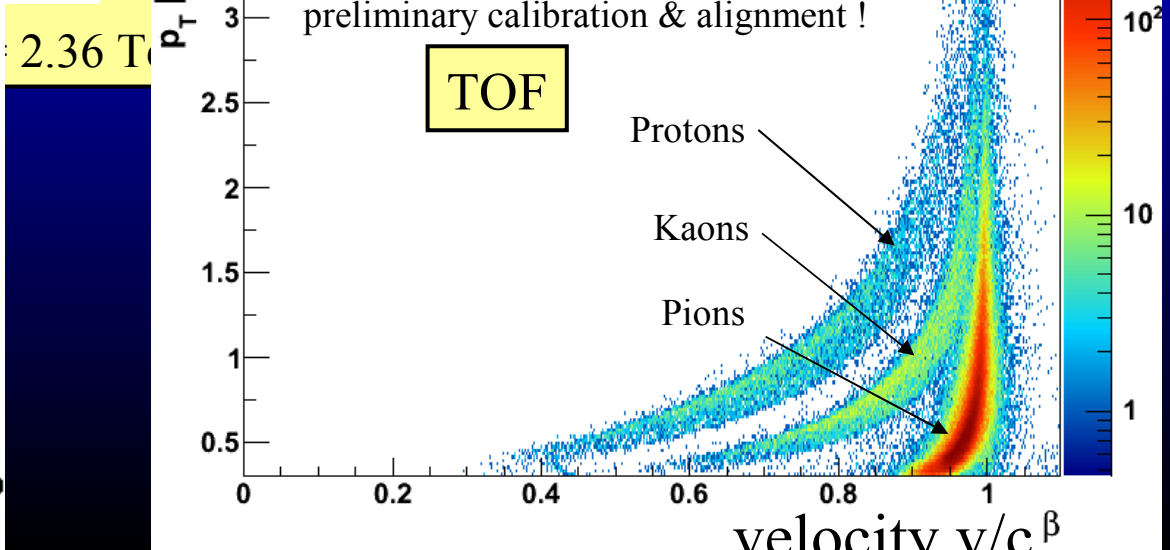
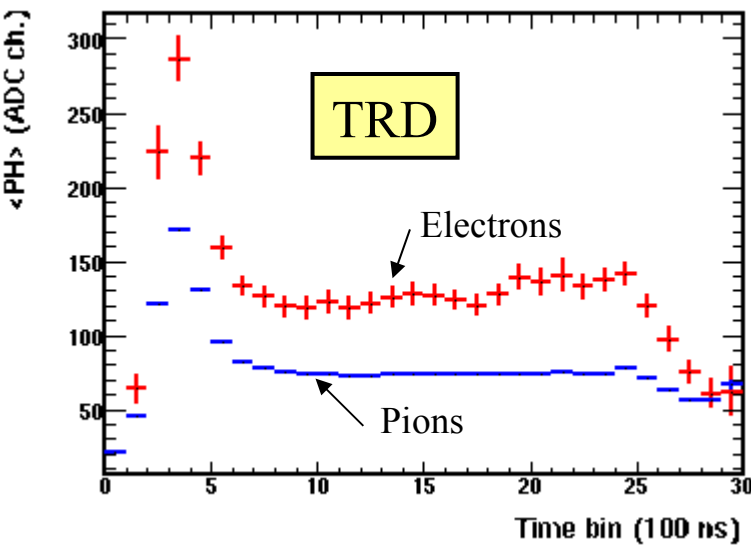
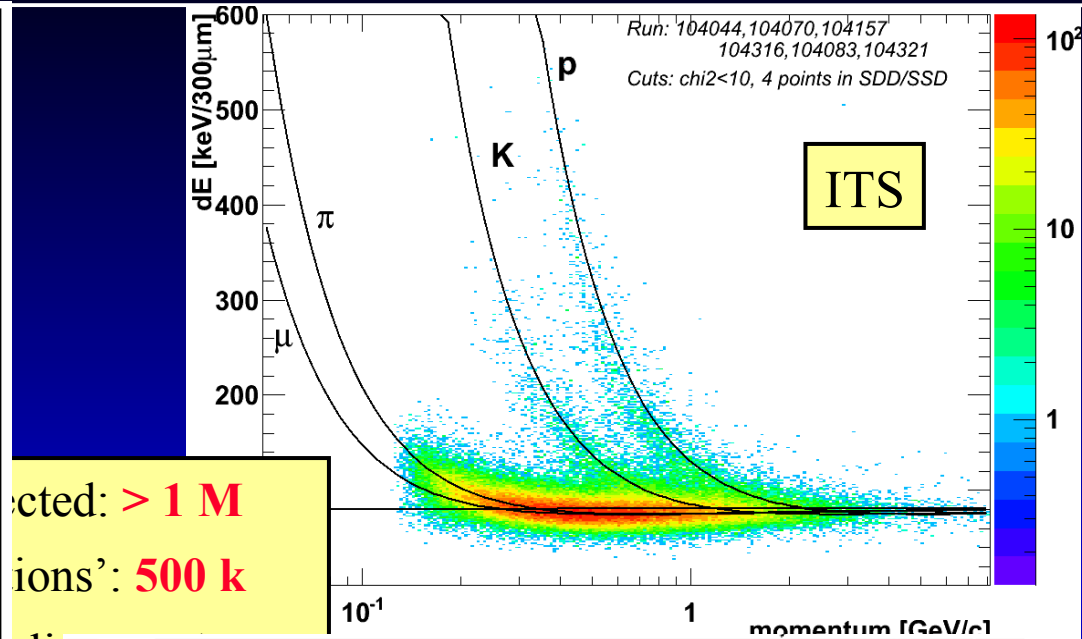
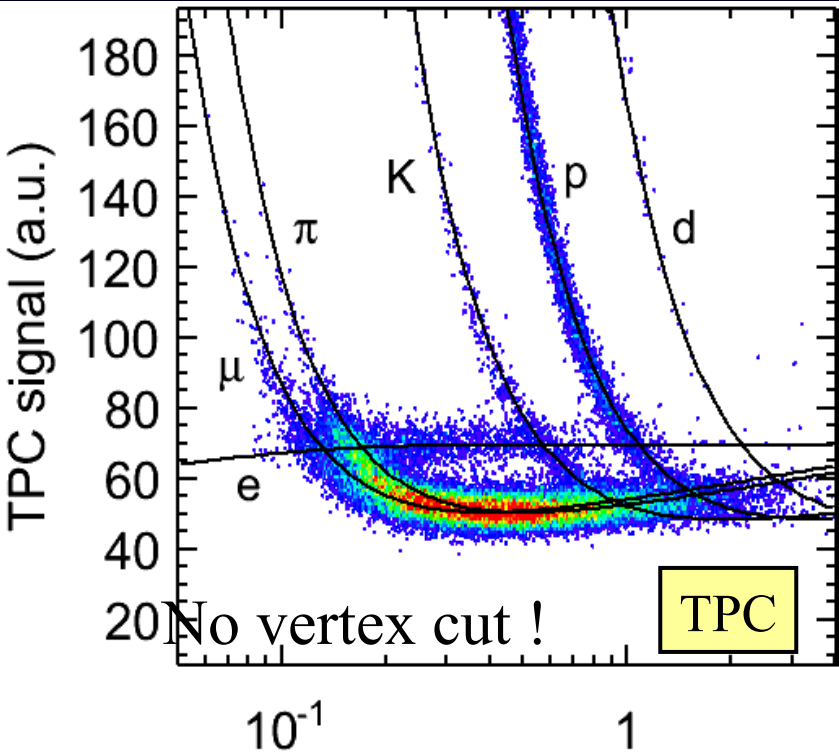


Muon Spectrometer

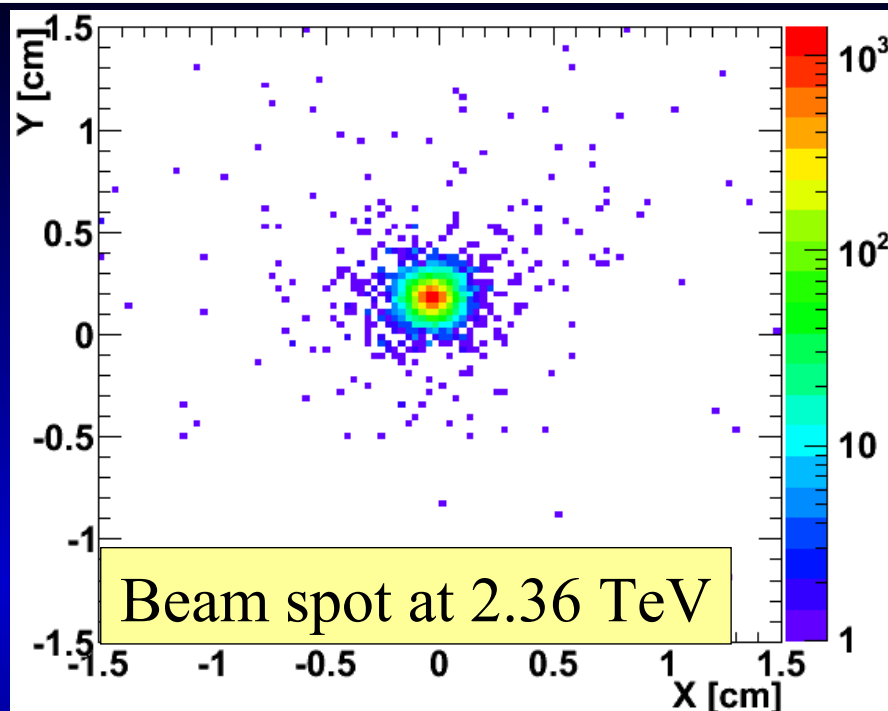


ITS

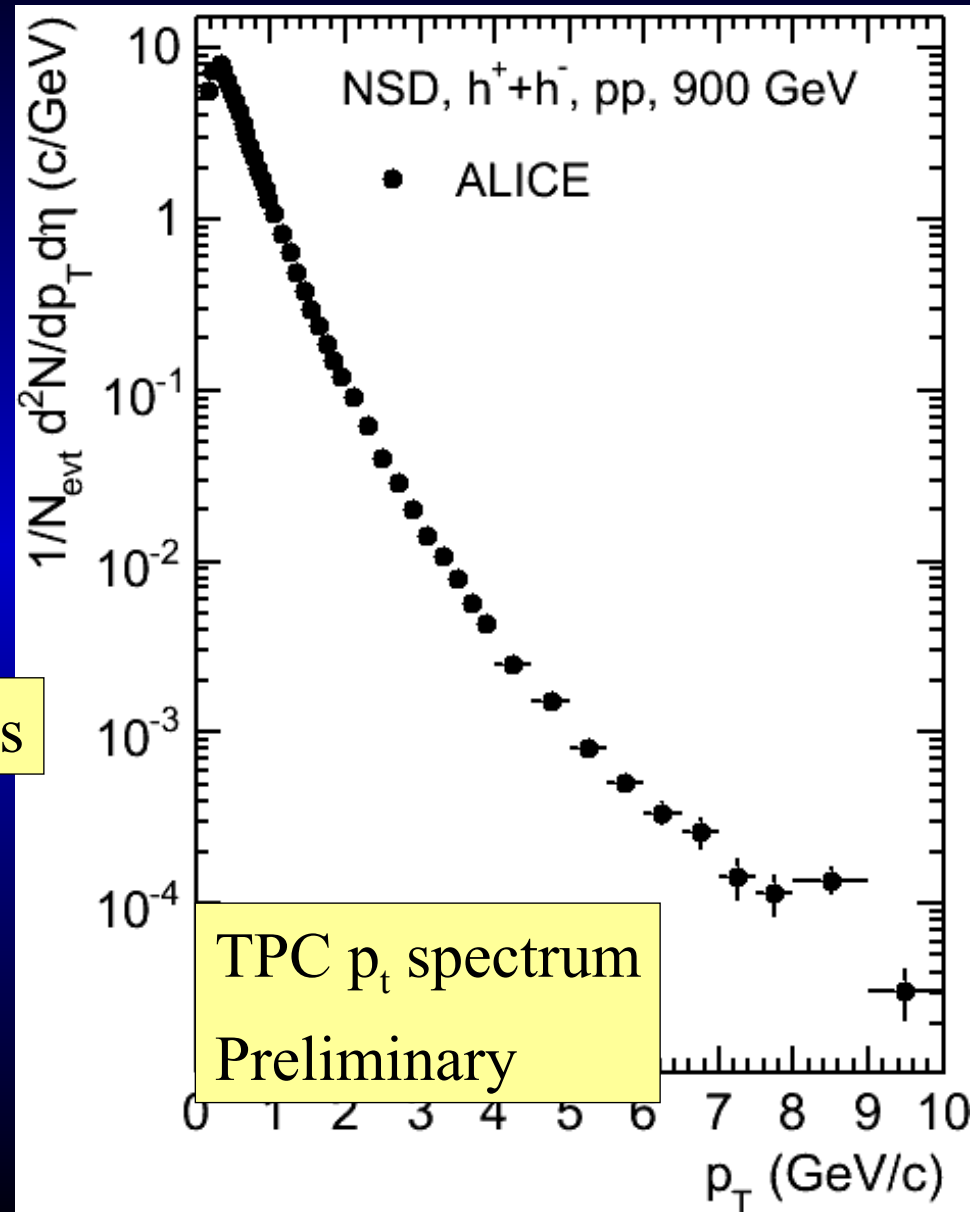
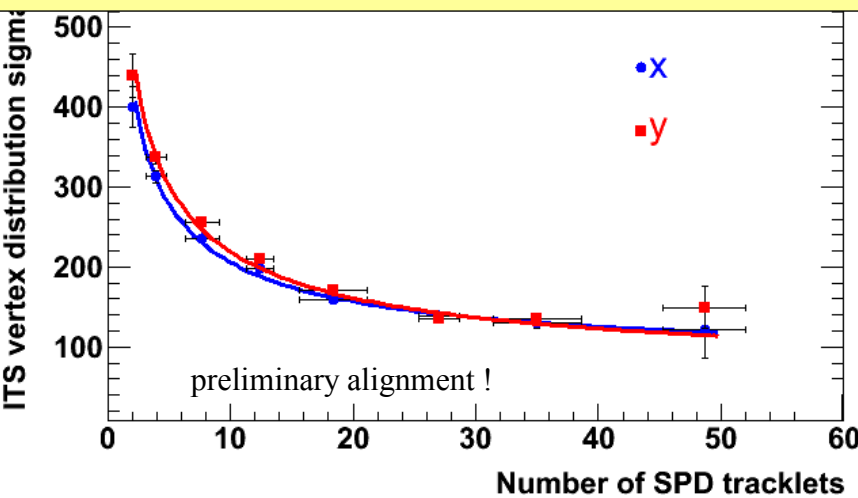
Az erecskéből így lett patak..



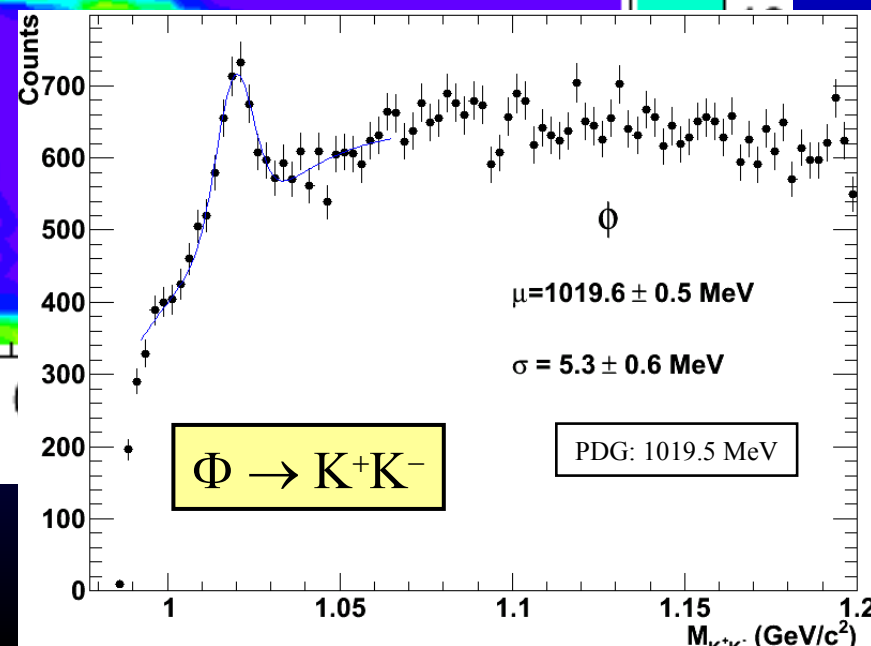
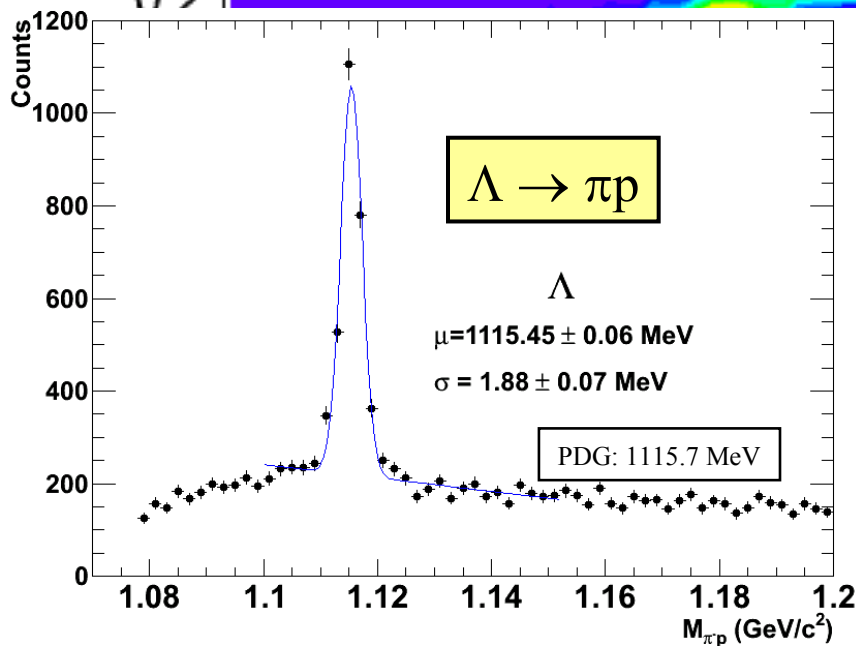
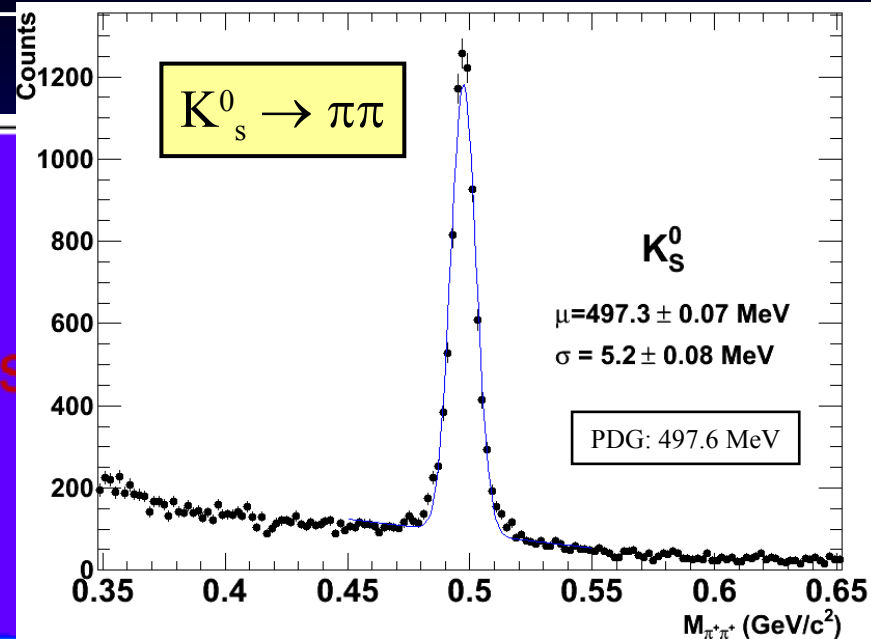
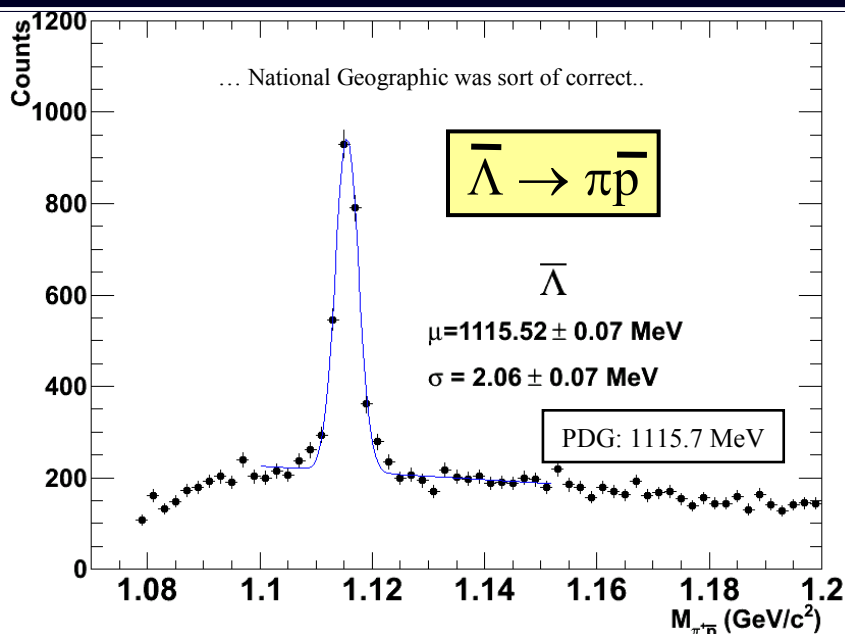
A nyomkövetés szépen működik !



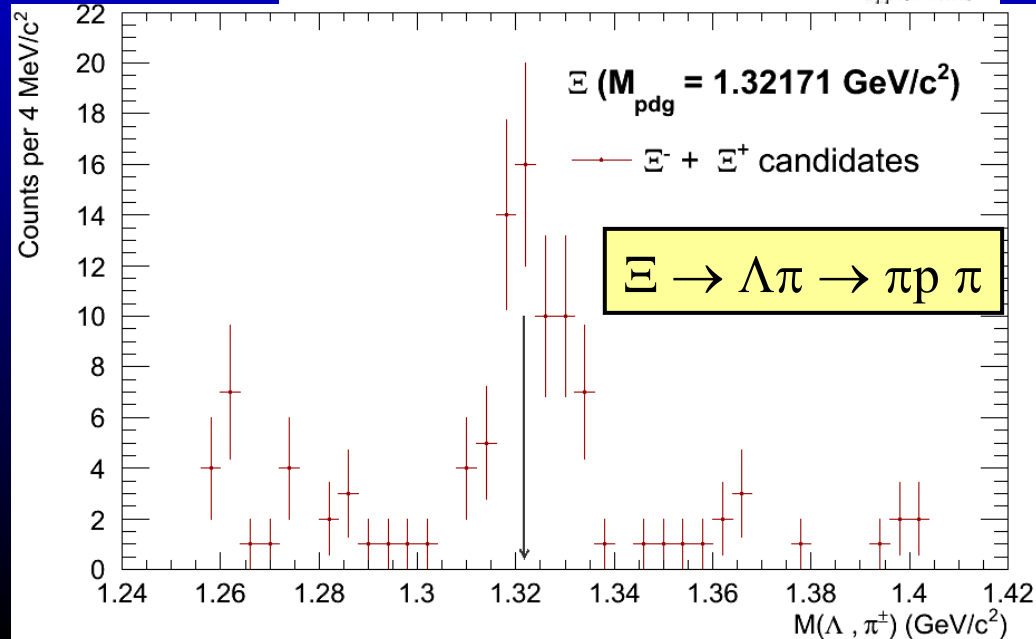
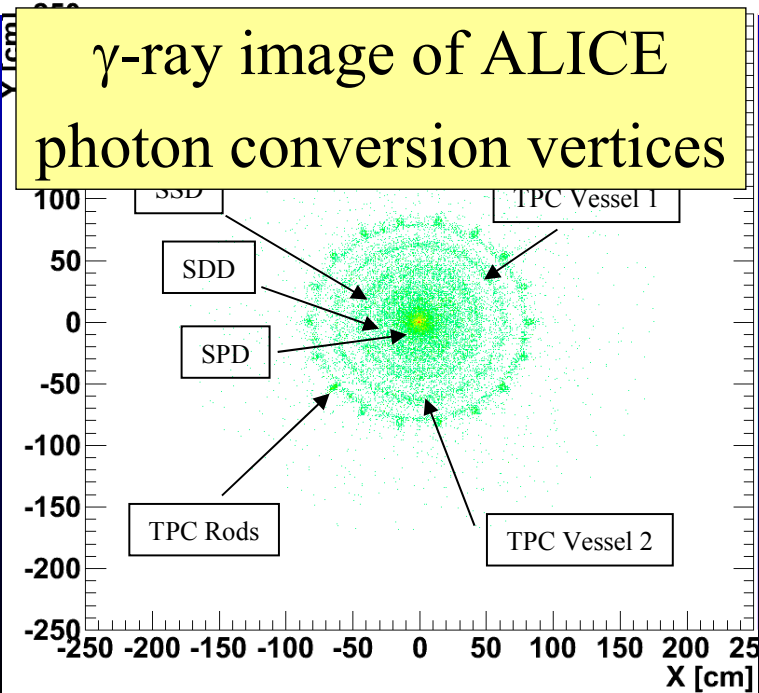
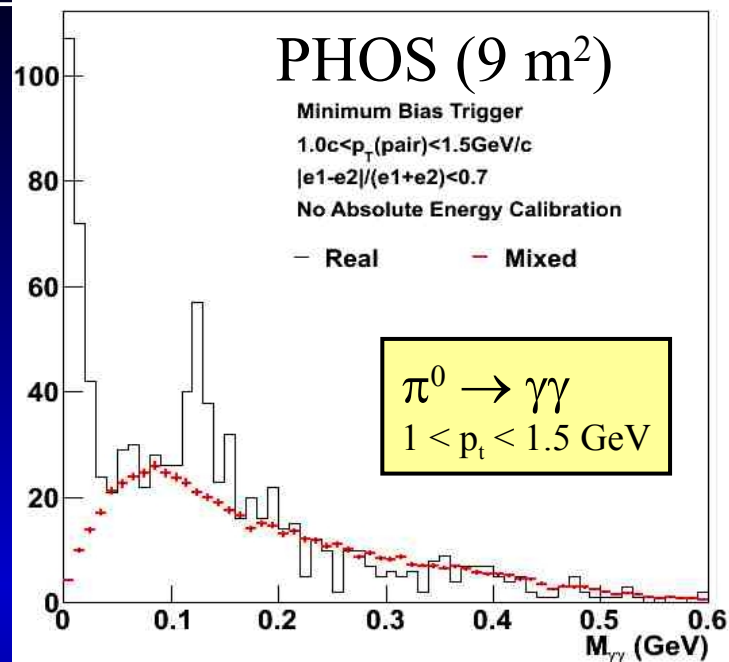
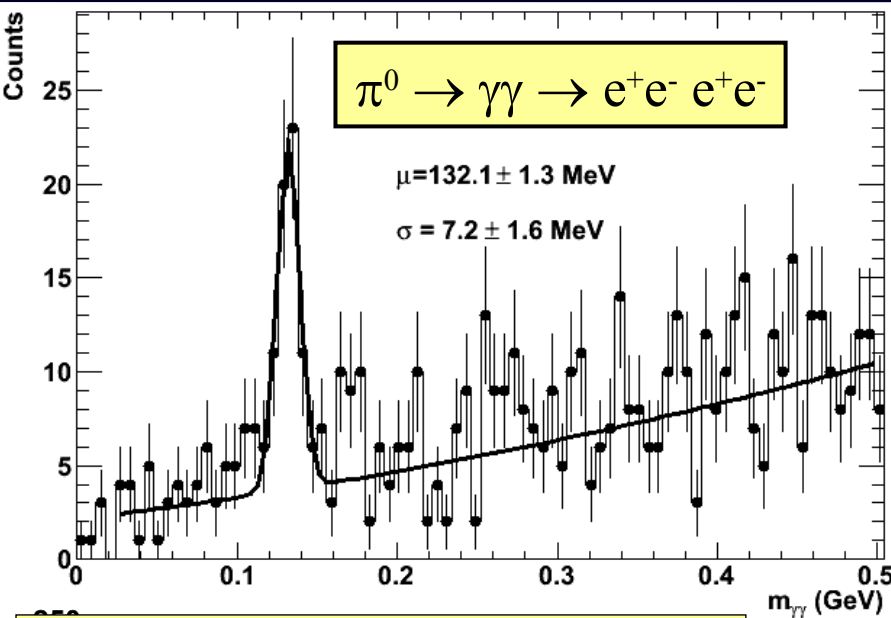
SPD Vertex resolution versus # tracks



A részecskék nagy családja bejelentkezik:



Még több részecske ..



A magyar ALICE-csoport feladatai

Nagy-pT fizika kísérleti vizsgálata, részvétel az alábbi feladatokban:

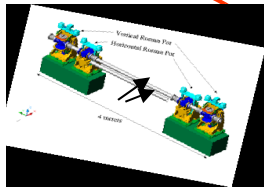
- nagy impulzusú részecskék azonosítása;
- nagy impulzusú hadronok energiavesztése;
- jet-rekonstrukciós analízisek;
- kvark- és gluon-jetek szétválogatása;
- jet-alak (pp és PbPb) analízisek;
- hadron-hadron korrelációk analízise ++

Közvetlen részvétel az LHC ALICE-ben:

- HMPID detektor működtetése, adatgyűjtés;
- VHMPID detektor kifejlesztése (2012), megépítése (2014)
- DAQ üzemeltetése és továbbfejlesztése
- ALICE GRID állomás üzemeltetése az RMKI-ban

Az első LHC ütközések a TOTEM kísérletben

Élenjáró Protonok az
IP5-től -220 és -147 m-re



RP147, RP220

T2

T1



IP 5

területi áttekintés

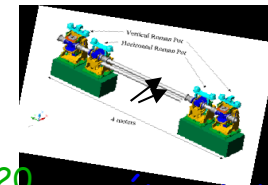
Inelasztikus Teleszkópok

- Rapidity gaps
- Forward particle flows

T1

T2

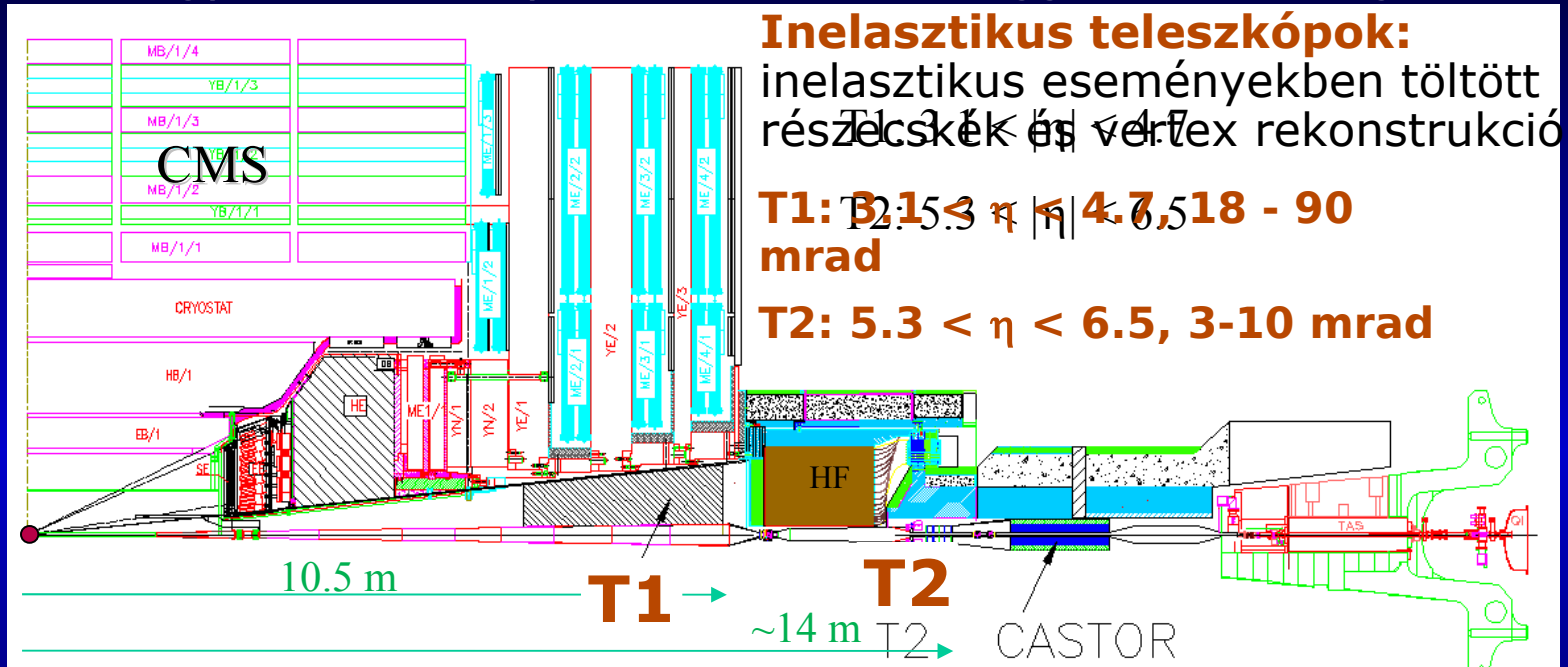
RP147, RP220



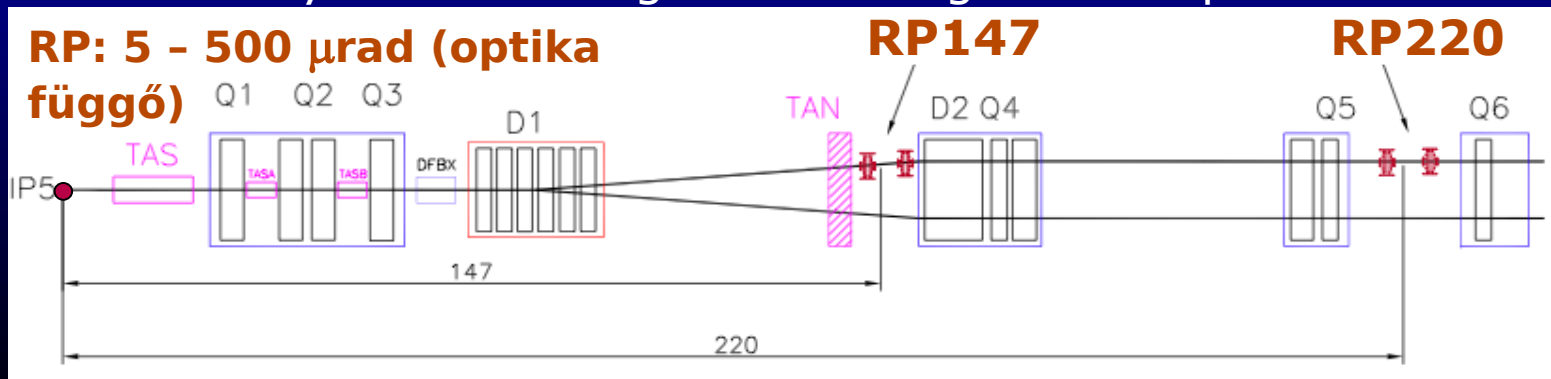
Élenjáró Protonok az
IP5-től +147 és +220 m-re

TOTEM Detektor Konfiguráció @ IP5

Hasonló detektorkonfiguráció az IP5 mindkét oldalán:
mindegyik detektor nyomkövetőként és triggerként is szolgálhat

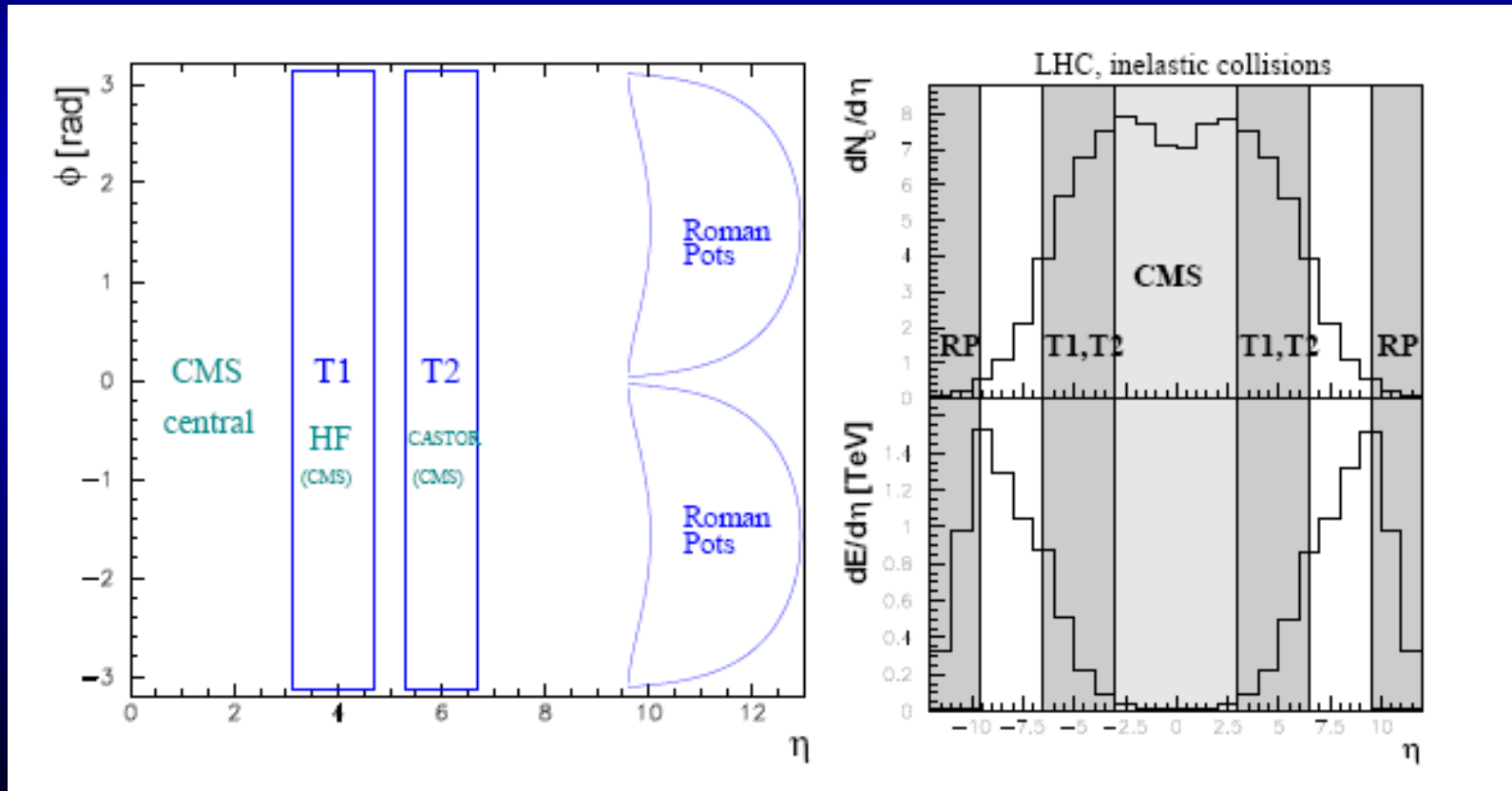


Roman Pot-ok: a nyalábközeli rugalmas és rugalmatlan protonokat mérik



A TOTEM detektor képességei

- Nagy pszeudorapiditású töltött részecskék detektálásának egyedülálló lehetősége
- Ideális az előreszórt kisszögű jelenségekhez (rugalmas és diffraktív szórás)
- A rugalmatlan eseményeknél az energia és a multiplicitás előre szóródik



Teljes pp hatáskeresztmetszet mérése

Végső cél : ~1 % pontosság

Előzetes cél: ~5 % pontosság

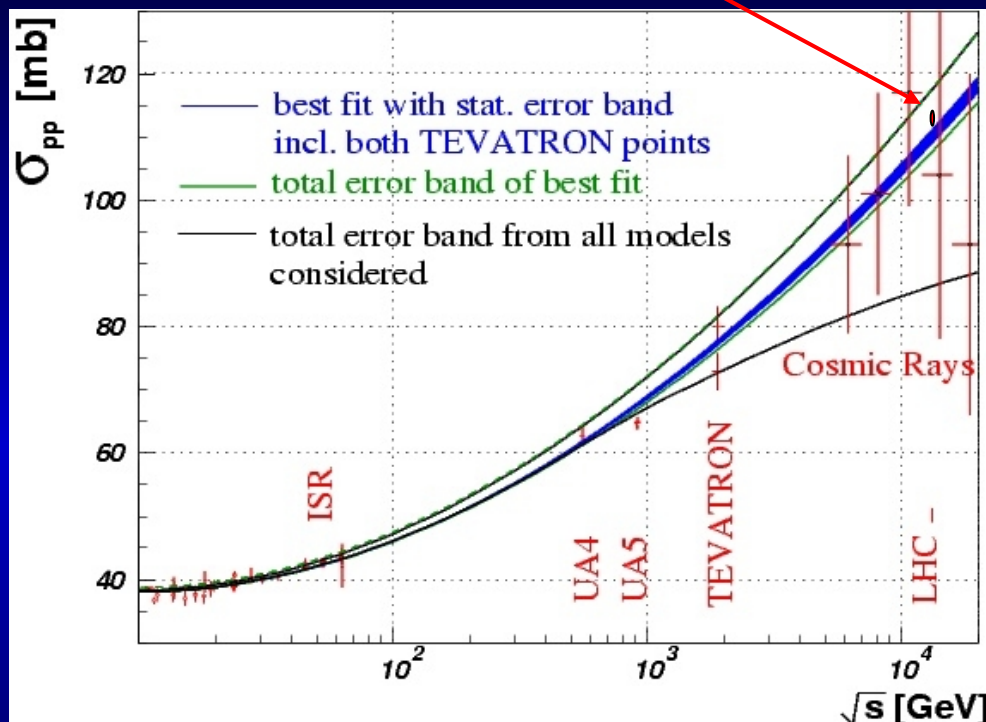
Luminozitástól független módszer:

$$\begin{aligned} \text{Optical Theorem} \quad L\sigma_{tot}^2 &= \frac{16\pi}{1+\rho^2} \times \frac{dN}{dt} \Big|_{t=0} \\ L\sigma_{tot} &= N_{elastic} + N_{inelastic} \\ \Downarrow \\ \sigma_{tot} &= \frac{16\pi}{1+\rho^2} \times \frac{(dN/dt)|_{t=0}}{N_{el} + N_{inel}} \end{aligned}$$

Kiindulás az LHC luminozitás becsléshez
⇒ Az LHC hatáskeresztmetszet mérés
lényeges összetevője

$$\mathcal{L} = \frac{1+\rho^2}{16\pi} \frac{(N_{el} + N_{inel})^2}{dN_{el}/dt|_{t=0}}$$

A TOTEM célja: 1 %



COMPETE Collaboration, PRL 89 (2002) 201801.

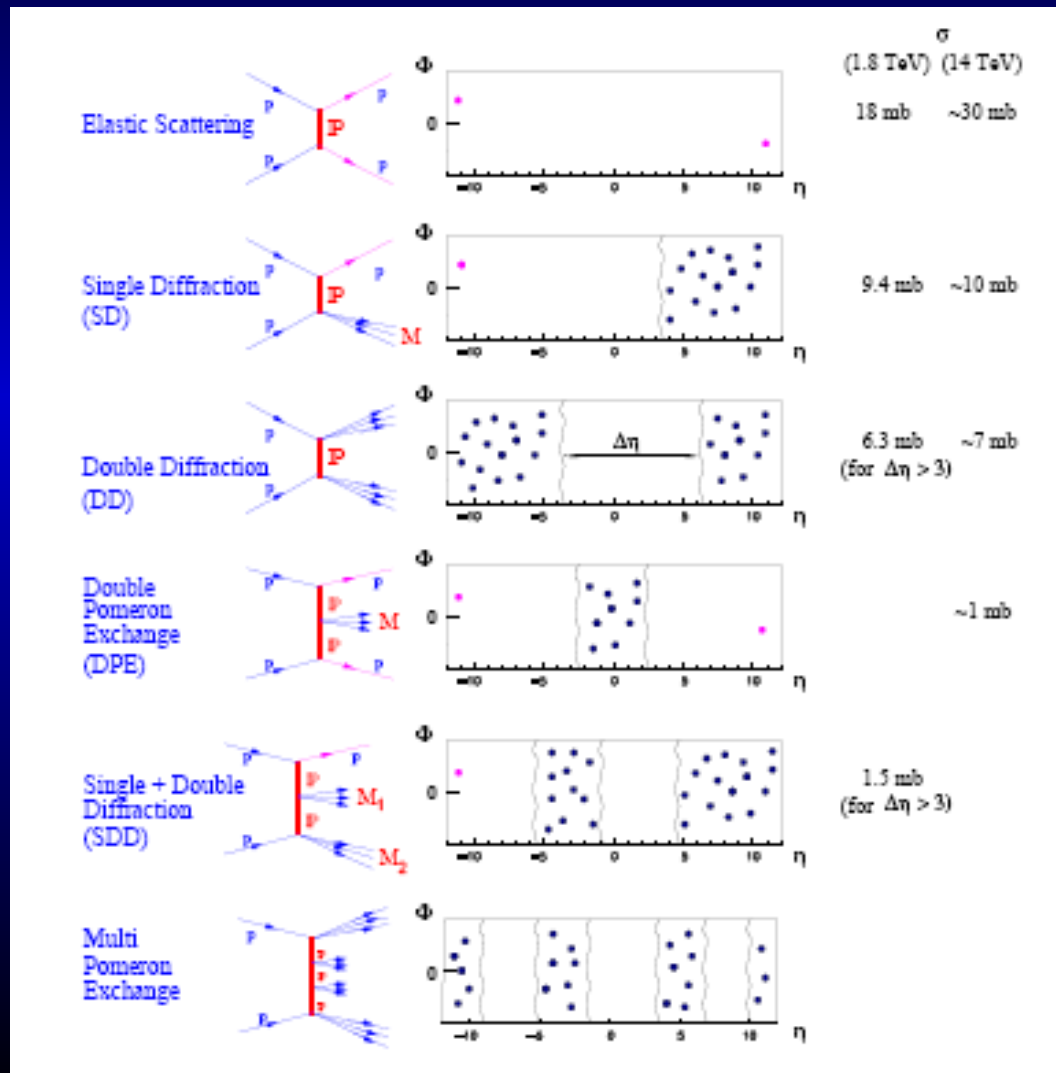
Valamennyi rendelkezésre álló hadron adat illesztése:

$$\sigma_{tot} = 111.5 \pm 1.2 \begin{matrix} +4.1 \\ -2.1 \end{matrix} \text{ mb}$$

Diffraktív folyamatok

Diffraktív folyamatok és hatáskeresztmetszetek

(Tevatron mérte 1.8 TeV-en, LHC méri majd 10-14 TeV-en)

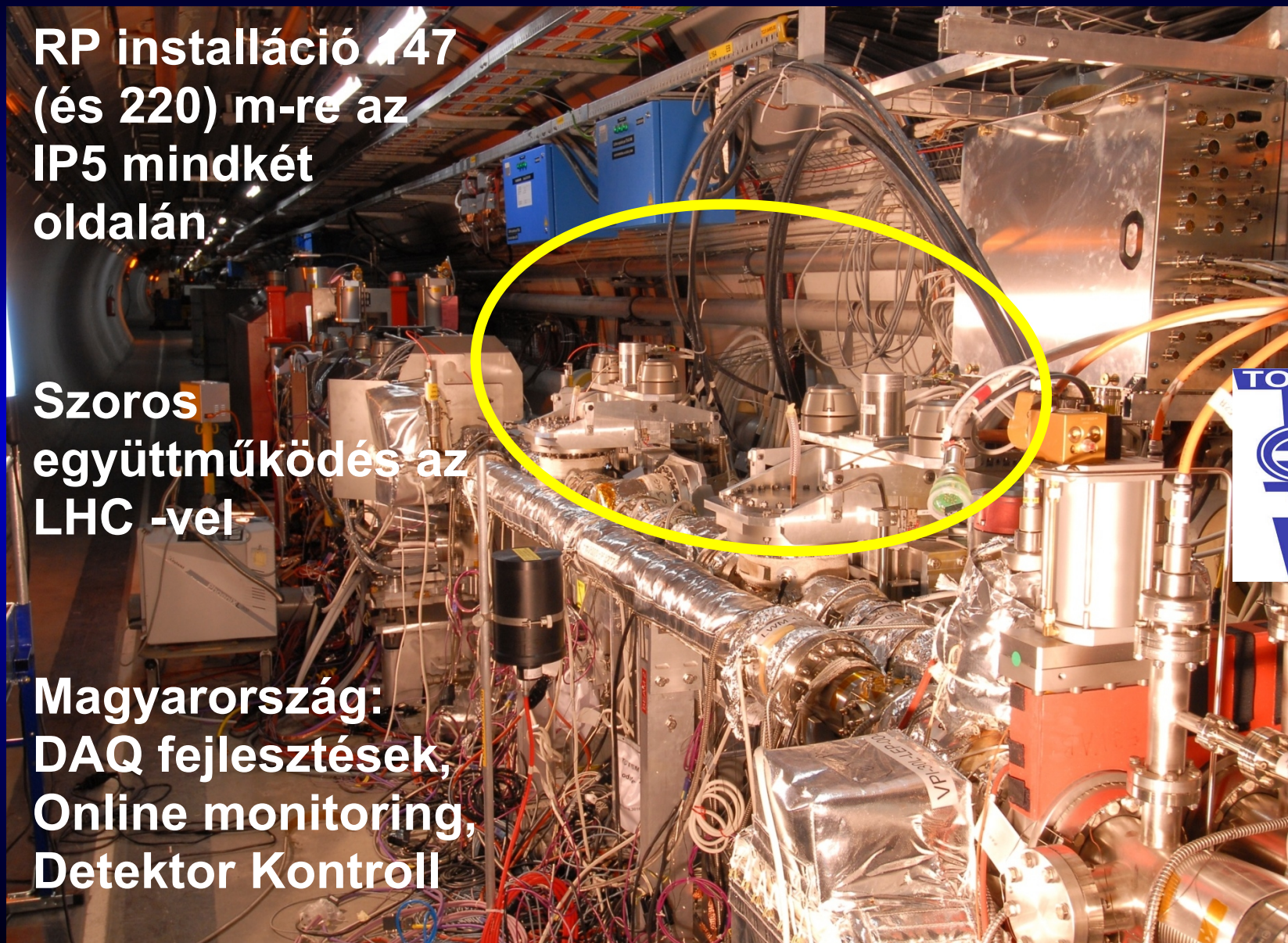


Római Edény az alagútban

RP installáció #47
(és 220) m-re az
IP5 mindkét
oldalán

Szoros
együttműködés az
LHC -vel

Magyarország:
DAQ fejlesztések,
Online monitoring,
Detektor Kontroll



TOTEM Hu

TOTEM (1997-)

Totem-Magyarország (2006-)

Fizikai motiváció: PHENIX ZDC, a RHIC eredmények utalásai

Projekt története:

Kezdeményezése, CERN vizit:	2006 április
TOTEM Executive Council támogatása:	2006 május
TOTEM Spokesperson budapesti látogatása:	2006 december
Magyar kutatók munkája elindul TOTEM költségén):	2007 január
OTKA és OTKA NKTH pályázatok sikere:	2008 tavasz
TOTEM Coll. Board magyar tagságot megszavazza:	2008 április
TOTEM-Hungary MoU aláírás CERN DG+ KFKI RMKI:	2008 november
Első ütközések:	2009 december

TOTEM HU elvégzett munkák

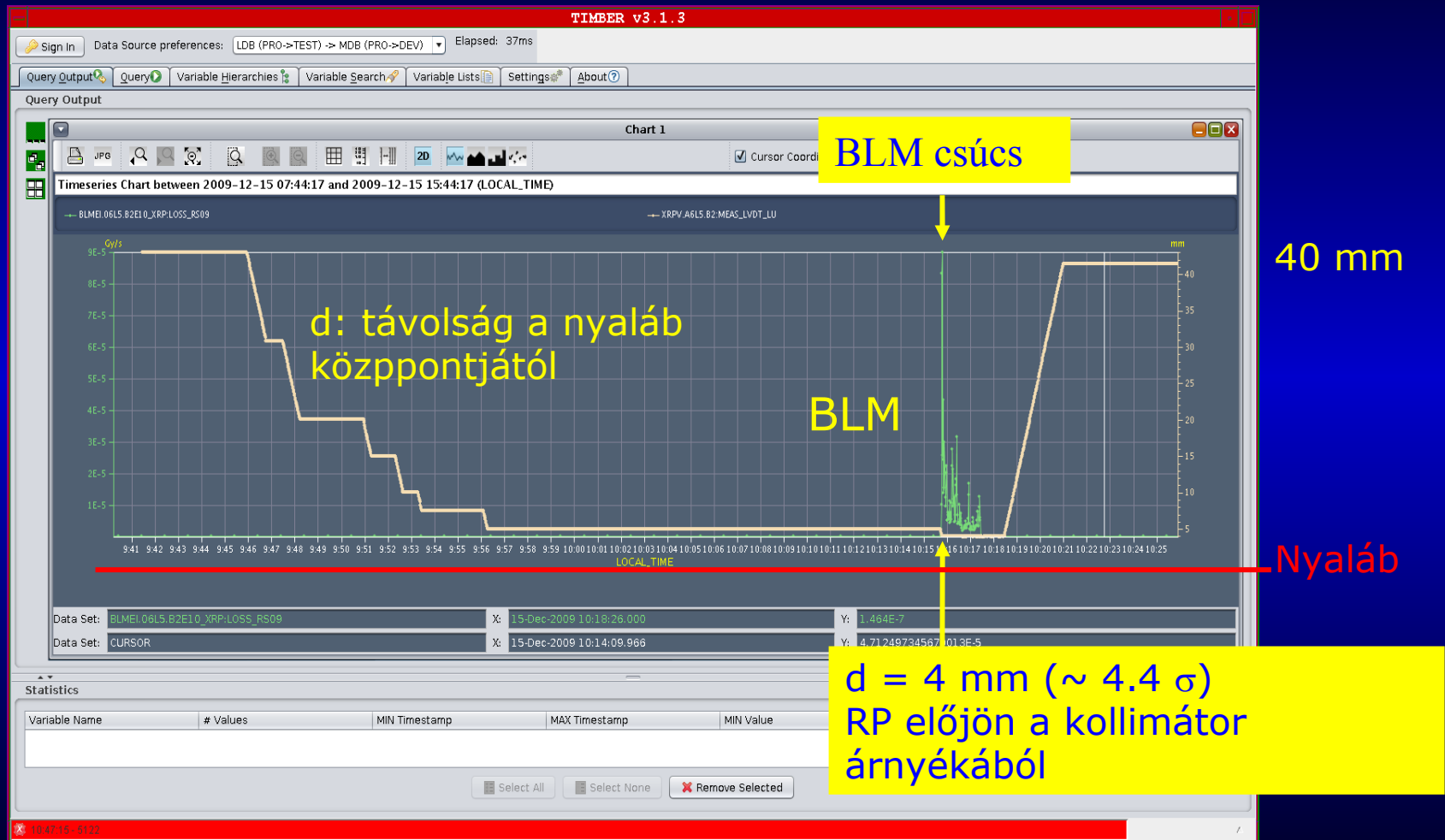
- **Csanád Máté (6 hó CERN): Online Monitoring kód fejlesztése**
- **Fő feladat: a TOTEM detektor monitoring rendszerének fejlesztése**
- **Alprojektek:**
 - mindig a legújabb adatkiolvasó hardverhez illeszkedő adat-értelmező algoritmus készítése (Slink->MultiSlink; MultiSlink->VME)
 - a detektor-komponensek (VFAT csipek) valós idejű diagnosztikájához szoftver fejlesztése
 - processzor igény-optimalizált digitális kiolvasás fejlesztése
 - hibás események detektálása és valós idejű diagnosztikája
 - a monitoring-rendszer általános fejlesztése, felhasználók által jelzett hibáinak folyamatos javítása
- **Csörgő Tamás: Projekt menedzselése, szervezése**
 - Az építési és működési költségek biztosítása,
 - MoU megkötése, kollaborációs board-ban a magyar csoport képviselése
 - Az építési hozzájárulásunk a Roman Pot elektronikához járult hozzá
- **Dénes Ervin (2008 jan-nov CERN): VME/DAQ könyvtár létrehozása**
- **C++ könyvtár létrehozása, a TOTFED (Totem Front-end Driver) kártya kezelésére**
 - A Data Acquisition (DAQ) program támogatása
 - A TOTFED kártya tesztelése totFedControl program módosítása

TOTEM HU elvégzett munkák

- **Csanád Máté (6 hó CERN):** Online Monitoring + DAQ adatformátumok kidolgozása
- **Novák Tamás (6 hó CERN):** DCS HW építés + Roman Pot MC szimulációk
- **Sótér Anna (3 hó CERN):** TOTEM Roman Pot nyalábimpedancia kimérése
- **Ster András (3+9 hó CERN) :** DAQ programozás
- **Főbb hozzájárulás az adatfeldolgozó rendszer (DAQ) szoftver kifejlesztéséhez:**
 - "VFAT-controller" (detector panel and chip tester) továbbfejlesztése, javítása a T1, T2, RP detektorokhoz
 - "TDC-controller" (timing tester) kifejlesztése a T2 detektorhoz
 - "TTC-controller" (trigger and timing controller) vezérlés kifejlesztése
 - "Slink-readout" (data readout) adaptációja a változó hardver környezetekhez
 - "FEC board" CMS szoftverének adaptálása a TOTEM kollaboráció számára
 - "totemTTCciSupervisor" létrehozása az integrált "trackerDAQ" rendszer számára
- **Sziklai János: TOTEM DCS támogatása**
 - CERN PVSS tréning
 - A PVSS II („Process Visualization and Control System II”) alapján a TOTEM T1 aldetektor Detector Control System (DCS) kidolgozása
 - A T1 DCS véglegesítése („Mission impossible” feladat határidőre való teljesítése)
 - A T2 DCS fejlesztése

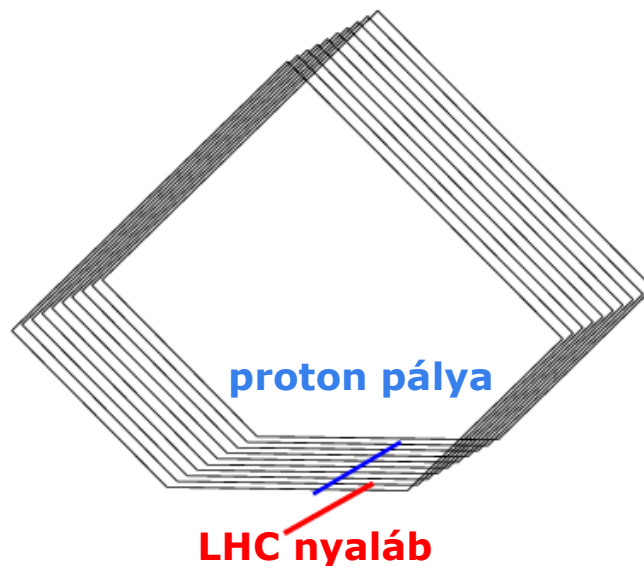
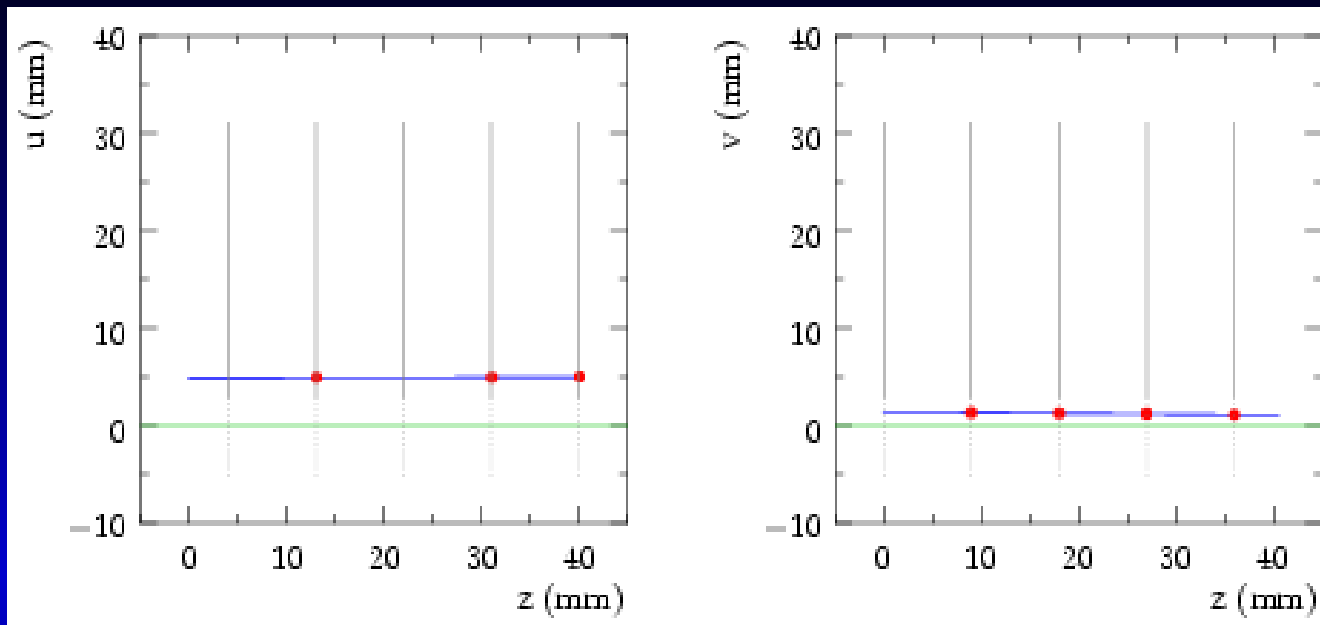
Adatfelvétel az egyik Római Fazékkal

A Római Fazék megközelíti az LHC nyalábot



Kép az LHC vezérlőközpontjából, 2009 december

Élenjáró proton a TOTEM Római Fazékban



Összegzés és kilátások

TOTEM detektor hossza 440 m, max. acceptanciája: 28 pszeudorapiditás

**A TOTEM (T2, RP220) sikeresen működött !! az LHC újraindulásakor
építési szakasza tovább folytatódik (T1, RP147 szilikon)**

Az első kísérletek célja

Kalibráció és a detektor rendszer elemeinek alignment-je

A háttér vizsgálata

A triggererek vizsgálata

Fizikai program (2010-) a standard LHC futásokra:

Nagy t -jú rugalmas szórás vizsgálata

Double Pomeron és single diffraction

minimum bias fizika

Fizikai program a speciális TOTEM LHC futásokra:

Teljes hatáskeresztmetszet mérése és alacsony t -jú rugalmas szórás vizsgálata

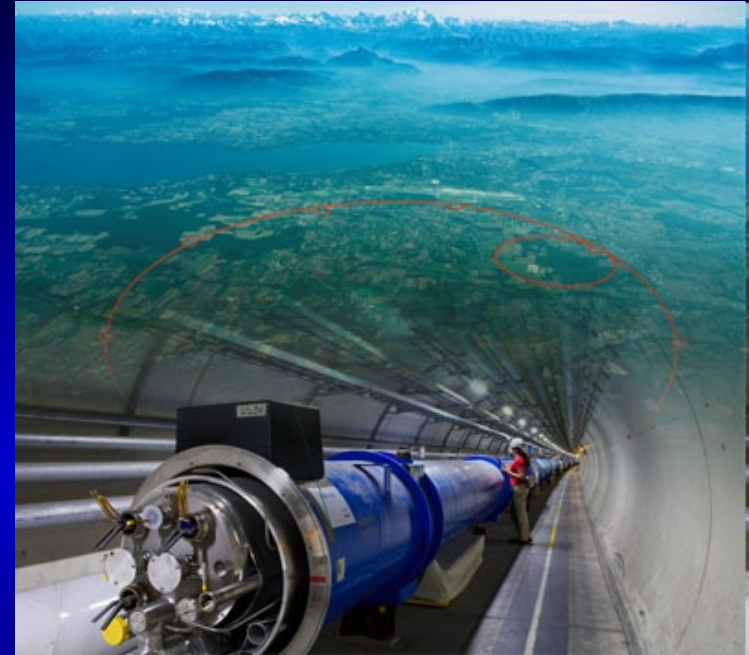
Diffrakció vizsgálata proton mérésekben

A detektor készen áll az új energiákra, az LHC felfedezéseinek korára

Hogyan tovább? LHC tervek (2010 végén)

2010: 7 TeV, 100-200 pb⁻¹
Nehézion-ütköztetés: 4 hét,
10-100 M esemény
Téli szünet

2011: 7 TeV, 1 fb⁻¹
2012: 1 év technikai szünet
2013: 13 TeV tervezett lumi. 25%-a
2014: 13 TeV tervezett lumi. 40%
2015: 14 TeV



Tervezett luminozítás: $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Jelenlegi luminozítás: $10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
(800 Hz ütközési frekvencia)