

# Magyarország és a CERN

*Előadás fizikatanárok részére  
(CERN, 2014)*

Horváth Dezső

horvath.dezso@wigner.mta.hu

Wigner FK RMI, Budapest és ATOMKI, Debrecen

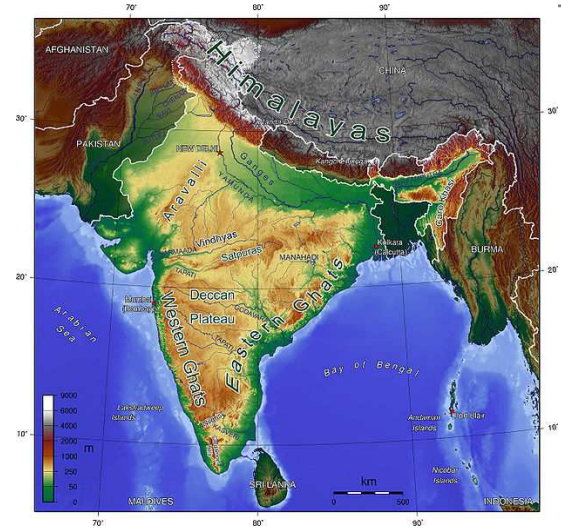
# A felfedezés rögös útja, 1492

A kutatás  
frontvonala:

Az  
Atlanti-óceán  
partja



A kutatás  
célja:  
India elérése



A kutatás  
eszköze:  
Columbus hajói



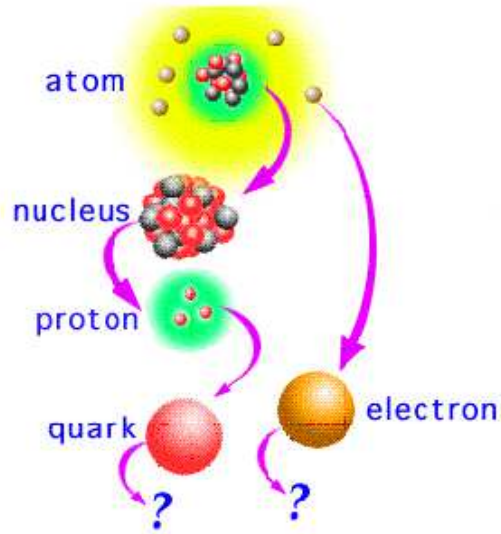
A kutatás  
eredménye:  
Amerika  
felfedezése



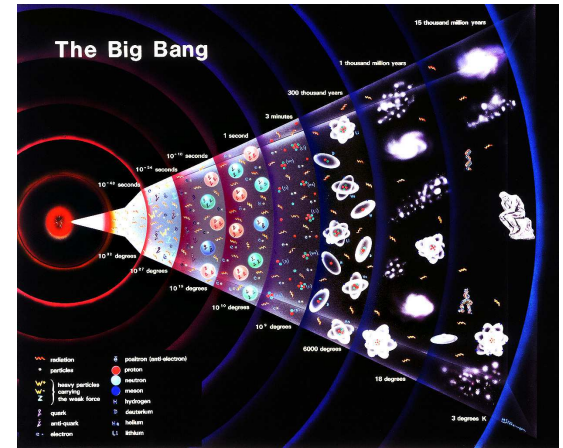
(Vesztergombi György után)

# A felfedezés rögös útja, 2009 – ??

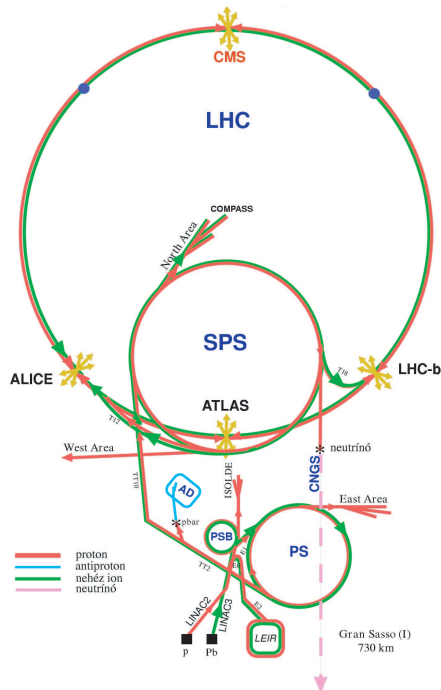
A kutatás frontvonala:  
Az anyag mély szerkezete



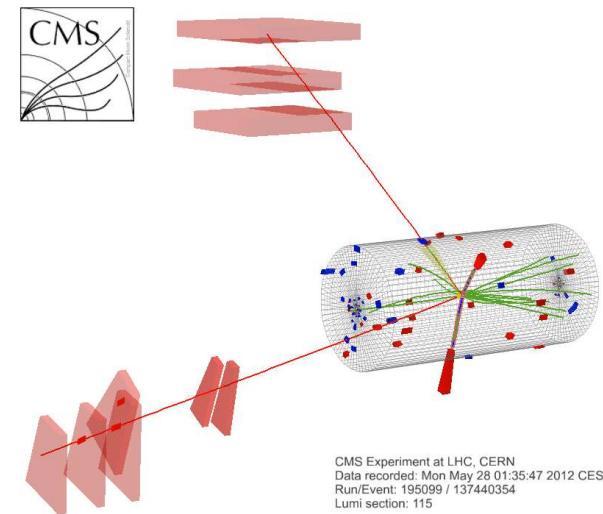
A kutatás célja:  
Higgs-bozon, űsrobbanás utáni állapot



A kutatás eszköze:  
nagyenergiájú gyorsítók



A kutatás eredménye:  
Higgs-bozon!  
Új fizika?

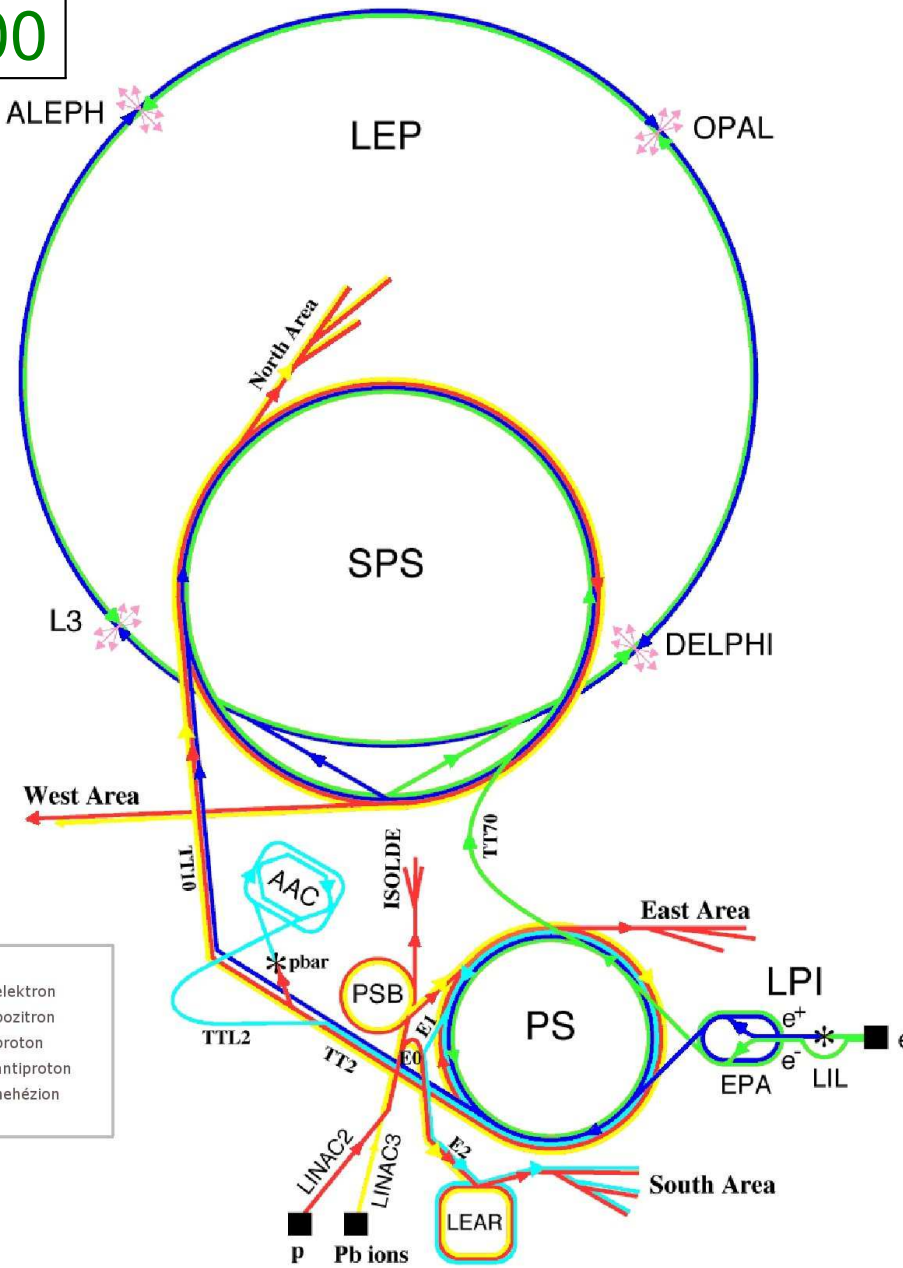


CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Mon May 28 01:35:47 2012 CEST  
Run/Event: 195099 / 137440354  
Lumi section: 115



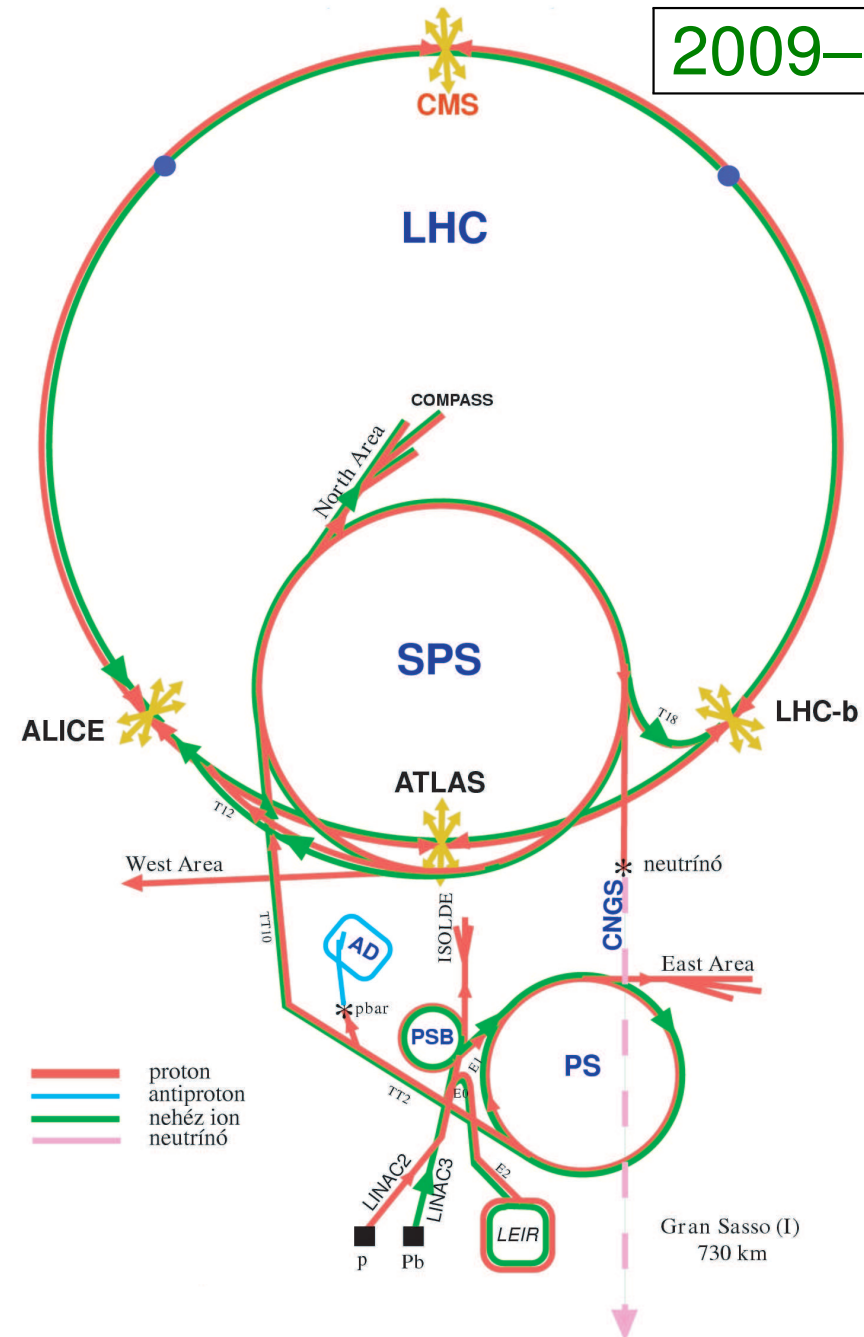
# A CERN gyorsítói

–2000



- elektron
- pozitron
- proton
- antiproton
- nehézion

2009–



- proton
- antiproton
- nehéz ion
- neutrínó

Gran Sasso (I)  
730 km





# A CERN antiproton-lassítója (AD)

a *CPT*-invariancia ellenőrzésére épült

Négy *CPT*-kísérlet az AD-nál:

ATRAP:  $q(\bar{p})/m(\bar{p}) \leftrightarrow q(p)/m(p)$

$\bar{H}(2S - 1S) \leftrightarrow H(2S - 1S)$

ALPHA:  $\bar{H}(2S - 1S) \leftrightarrow H(2S - 1S)$

AEGIS:  $\bar{H}$  súlya

ASACUSA:  $q(\bar{p})^2 m(\bar{p}) \leftrightarrow q(p)^2 m(p)$

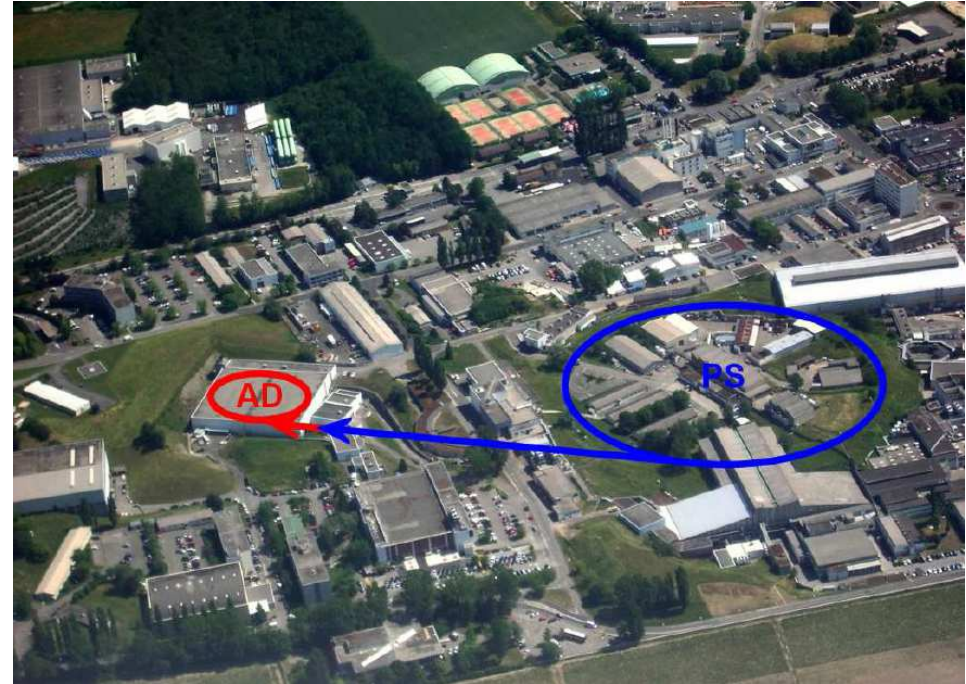
$\mu_e(\bar{p}) \leftrightarrow \mu_e(p)$

$\mu(\bar{H})$

ASACUSA: Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons  
(Tokió, Aarhus, Bécs, Brescia, Budapest, Debrecen, München)

R. S. Hayano, M. Hori, D. Horváth, E. Widmann: *Repts Prog. Phys.* 70 (2007) 1995-2065.

Magyar résztvevők: Barna Dániel és Radics Bálint (Tokió), Horváth Dezső, Zalán Péter (WFK), Juhász Bertalan (ATOMKI→SMI→XX), Tőkési Károly (ATOMKI),  
Sótér Anna (ELTE→MPQ)



# Particle Physics Review, 2012

$$|m_p - m_{\bar{p}}|/m_p$$

A test of *CPT* invariance. Note that the comparison of the  $\bar{p}$  and  $p$  charge-to-mass ratio, given in the next data block, is much better determined.

VALUE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
<b>&lt;2 × 10<sup>-9</sup></b>	90	<sup>1</sup> HORI	06	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
● ● ● We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. ● ● ●				
<1.0 × 10 <sup>-8</sup>	90	<sup>1</sup> HORI	03	SPEC $\bar{p}e^-$ <sup>4</sup> He, $\bar{p}e^-$ <sup>3</sup> He
<6 × 10 <sup>-8</sup>	90	<sup>1</sup> HORI	01	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
<5 × 10 <sup>-7</sup>		<sup>2</sup> TORII	99	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom

## $\bar{p}$ MAGNETIC MOMENT

A few early results have been omitted.

VALUE ( $\mu_N$ )	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
<b>-2.793 ± 0.006 OUR AVERAGE</b>			
-2.7862 ± 0.0083	PASK	09	CNTR $\bar{p}$ He <sup>+</sup> hyperfine structure
-2.8005 ± 0.0090	KREISSL	88	CNTR $\bar{p}$ <sup>208</sup> Pb 11→10 X-ray
-2.817 ± 0.048	ROBERTS	78	CNTR
-2.791 ± 0.021	HU	75	CNTR Exotic atoms

Jelenleg: kétfotonos, Doppler-mentes spektroszkópia

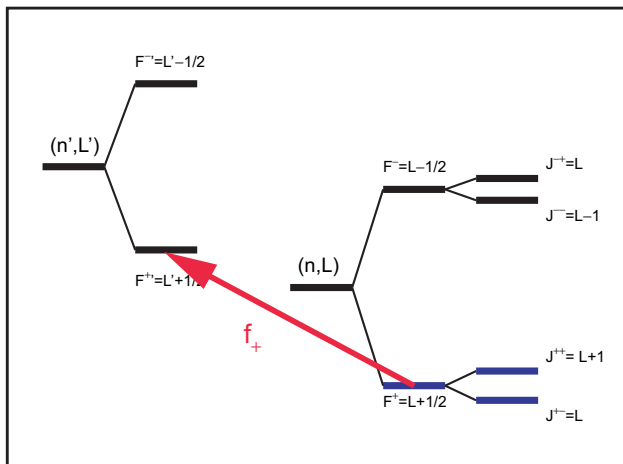
M. Hori, ..., A. Sótér, D. Barna, ... B. Juhász, ... D. Horváth: Nature 475 (2011) 484-488

Diplomamunka: Juhász Bertalan, Ujvári Balázs, Sótér Anna

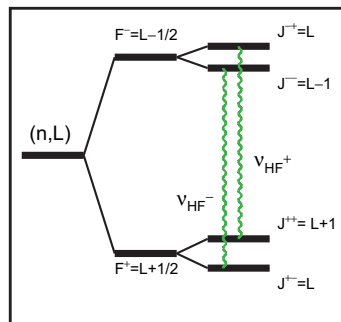
PhD: Juhász Bertalan



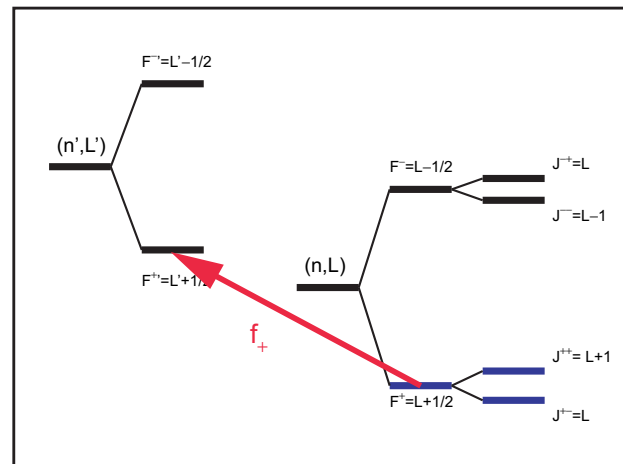
# $\mu(\bar{p})$ : vonal-felhasadás $\bar{p}\text{He}^+$ -ban



Step 1: depopulation of  $F^+$  doublet with  $f_+$  laser pulse



Step 2: equalization of populations of  $F^+$  and  $F^-$  by microwave

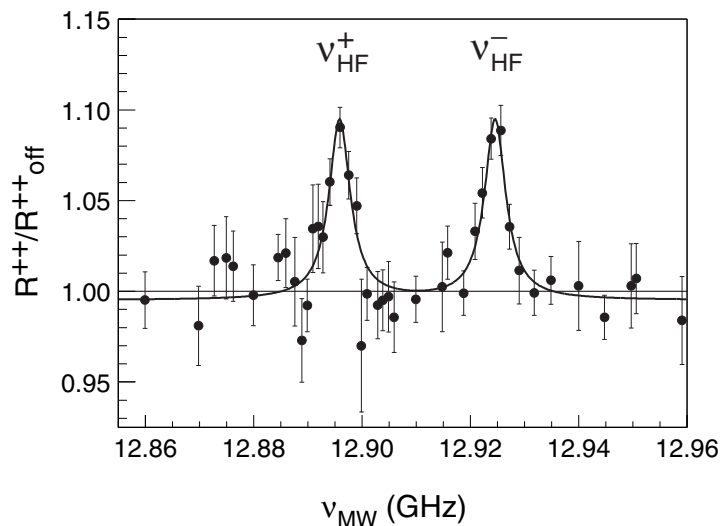


Step 3: probing of population of  $F^+$  doublet with 2nd  $f_+$  laser pulse

## Mágneses momentumok

$\mu(p) \sim \mu(\bar{p}) \Rightarrow CPT\text{-invariancia OK}$

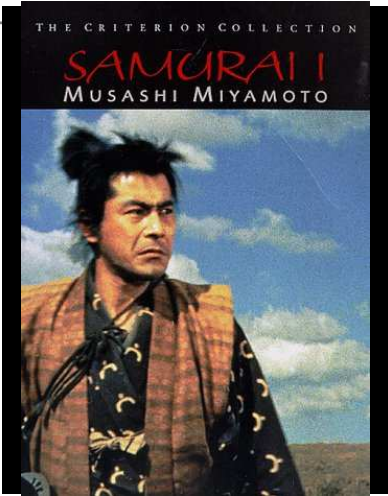
S. Friedreich, D. Barna, F. Caspers, A. Dax, R.S. Hayano, M. Hori, D. Horváth, B. Juhász, T. Kobayashi, O. Massiczek, A. Sótér, K. Todoroki, E. Widmann, J. Zmeskal: *Phys. Lett. B* 700 (2011) 1-6.



Mikrohullámú frekvencia-spektrum



# Lassú antiproton-nyaláb fejlesztése



Monoenergetic  
Ultra  
Slow  
Antiproton  
Source for  
High-precision  
Investigations

5.8 MeV  $\bar{p}$  AD  $\Rightarrow$  RFQ (2000)

100 keV  $\bar{p}$  RFQ  $\Rightarrow$  csapda (2001)

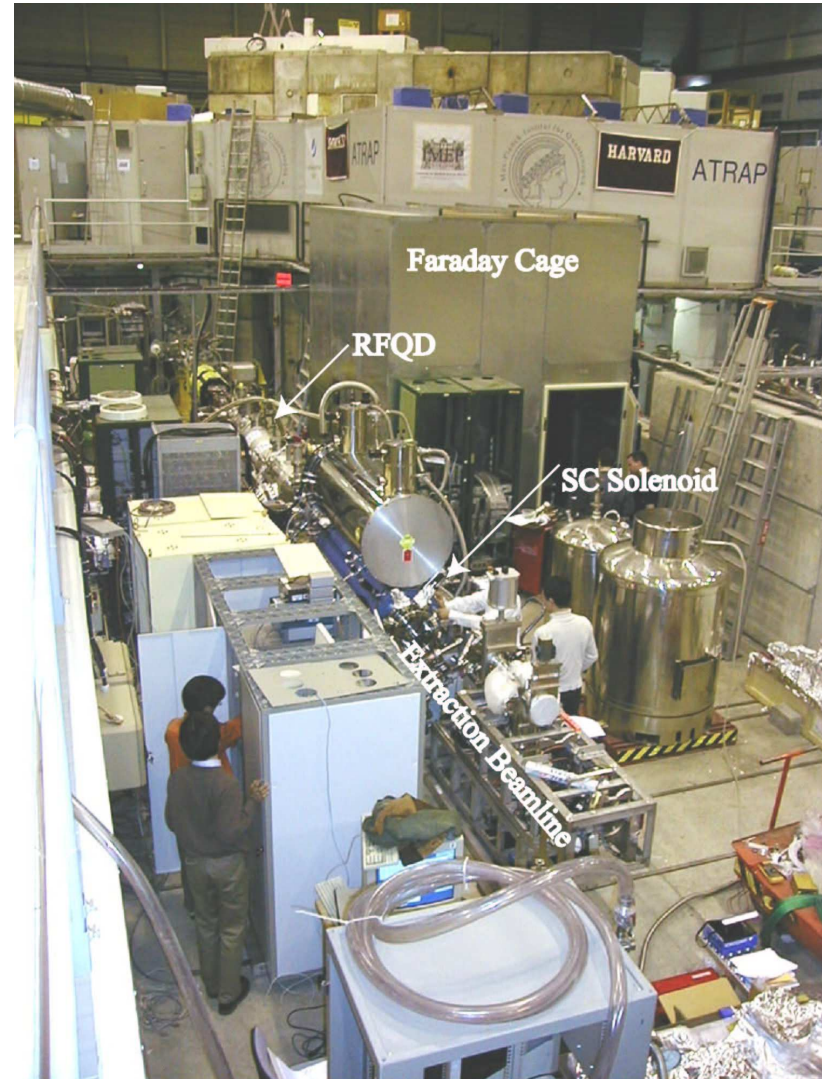
$5 \times 10^6$   $\bar{p}$  csapdában hűtve (2002)

$> 5 \times 10^5$  lassú  $\bar{p}$  kivezetve (2004)

$> 5 \times 10^5$   $\bar{p}$  FWHM  $\sim 3$  mm (2008)

$\bar{H}$ -nyaláb kivezetve (2010)

Cél: atom- és magfizika, QCD,  $\bar{H}$



N. Kuroda, ..., B. Juhász, D. Horváth, ..., Y. Yamazaki: *Phys. Rev. Lett.* 94 (2005) 023401.

N. Kuroda, ..., D. Barna, ... D. Horváth, ..., Y. Yamazaki: *Phys. Rev. Lett.* 100 (2008) 203402.

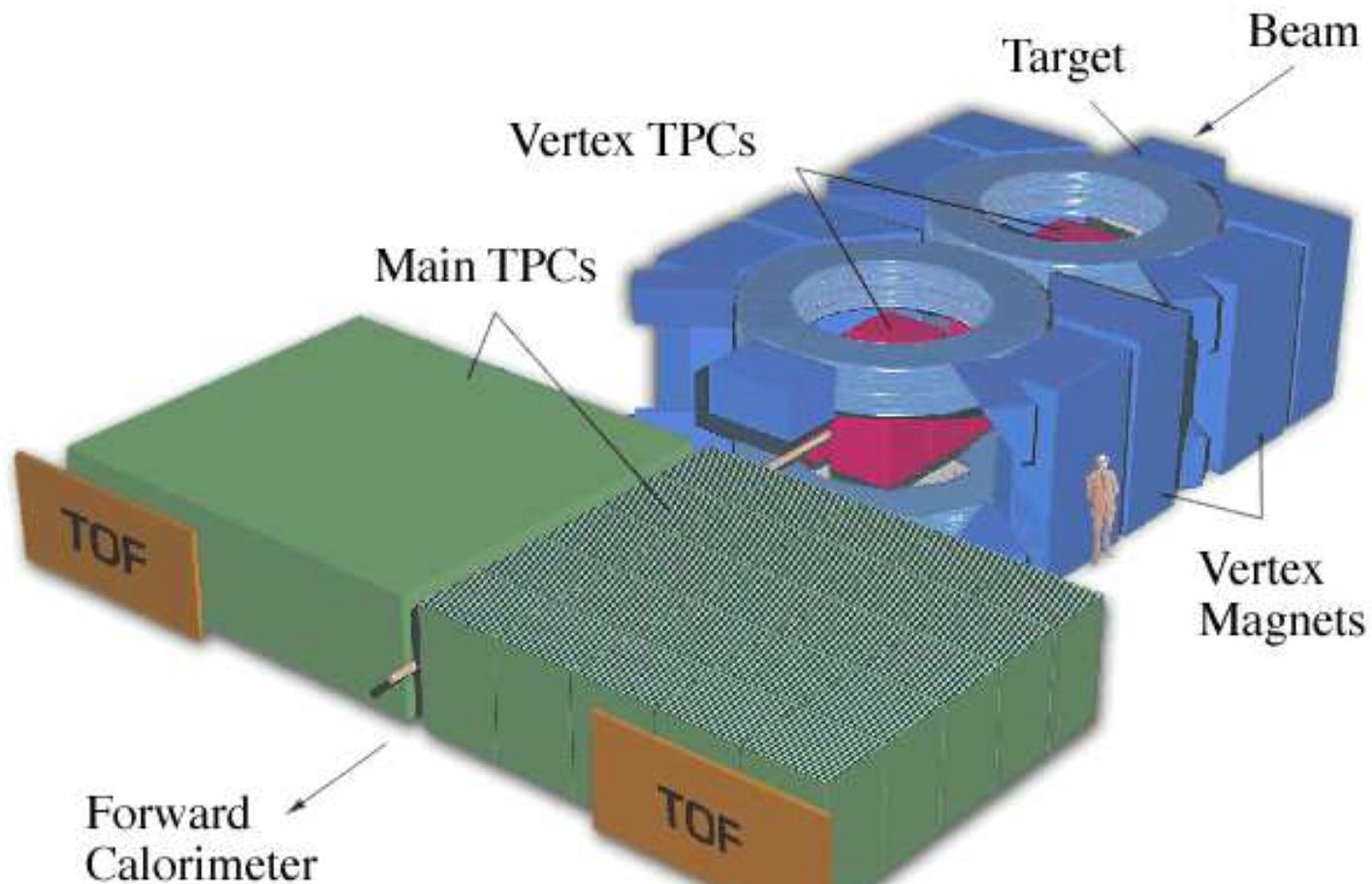


# Nehézion-fizika: NA49 → NA61

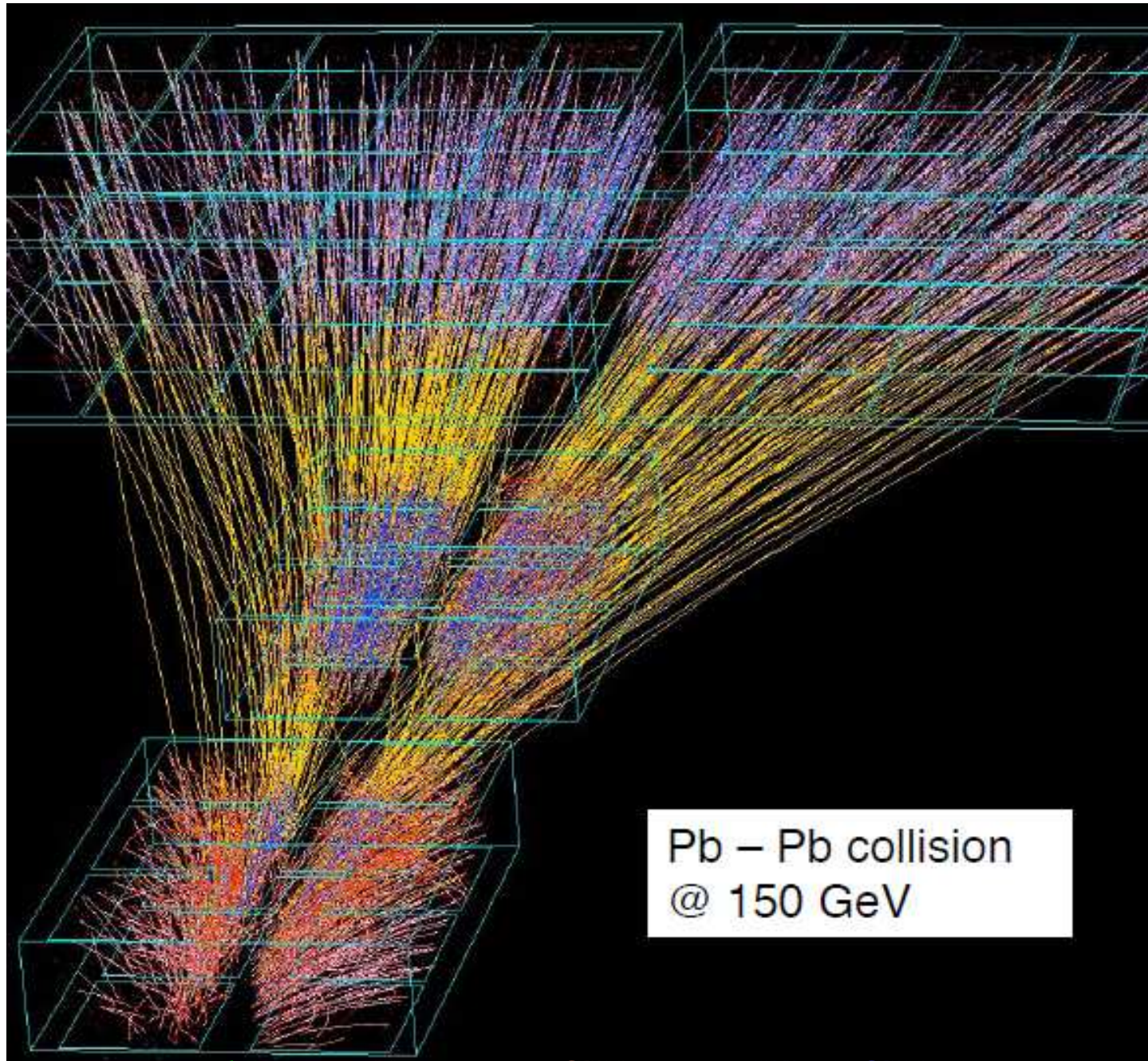
Társalapító és próféta: Vesztergombi György

Technikai koordinátor: Fodor Zoltán

Számos diplomamunka és PhD (ELTE): Siklér Ferenc,  
Veres Gábor, Varga Dezső, Barna Dániel, László András,  
Márton Krisztina

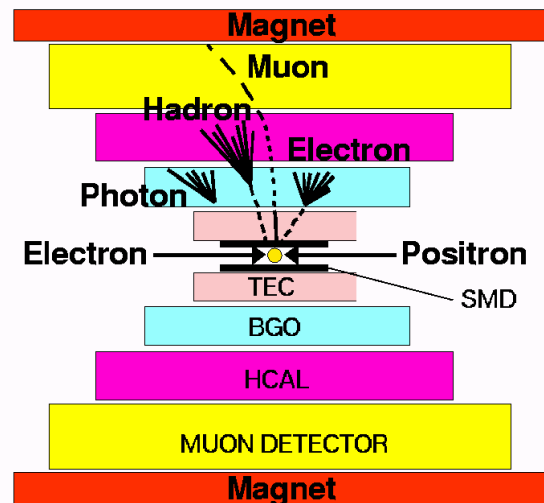


# Pb-Pb ütközés az NA49 detektorban





# L3, az első magyar CERN-kísérlet



18 magyar résztvevő,  
9 hazai színekben

WFK, ELTE, ATOMKI, DE

4 PhD: Csilling Ákos,  
Debreczeni Gergely  
(ELTE), Zilizi Gyula,  
Szillási Zoltán (DE)

Rengeteg diplomamunka



# Omni-Purpose Apparatus for LEP

Large Electron Positron collider, 1989–2000

310 résztvevő, 421 publikáció

Magyar  
résztvevők:  
(1995-től)

diploma-  
munkás  
doktorandusz  
OPAL–PhD

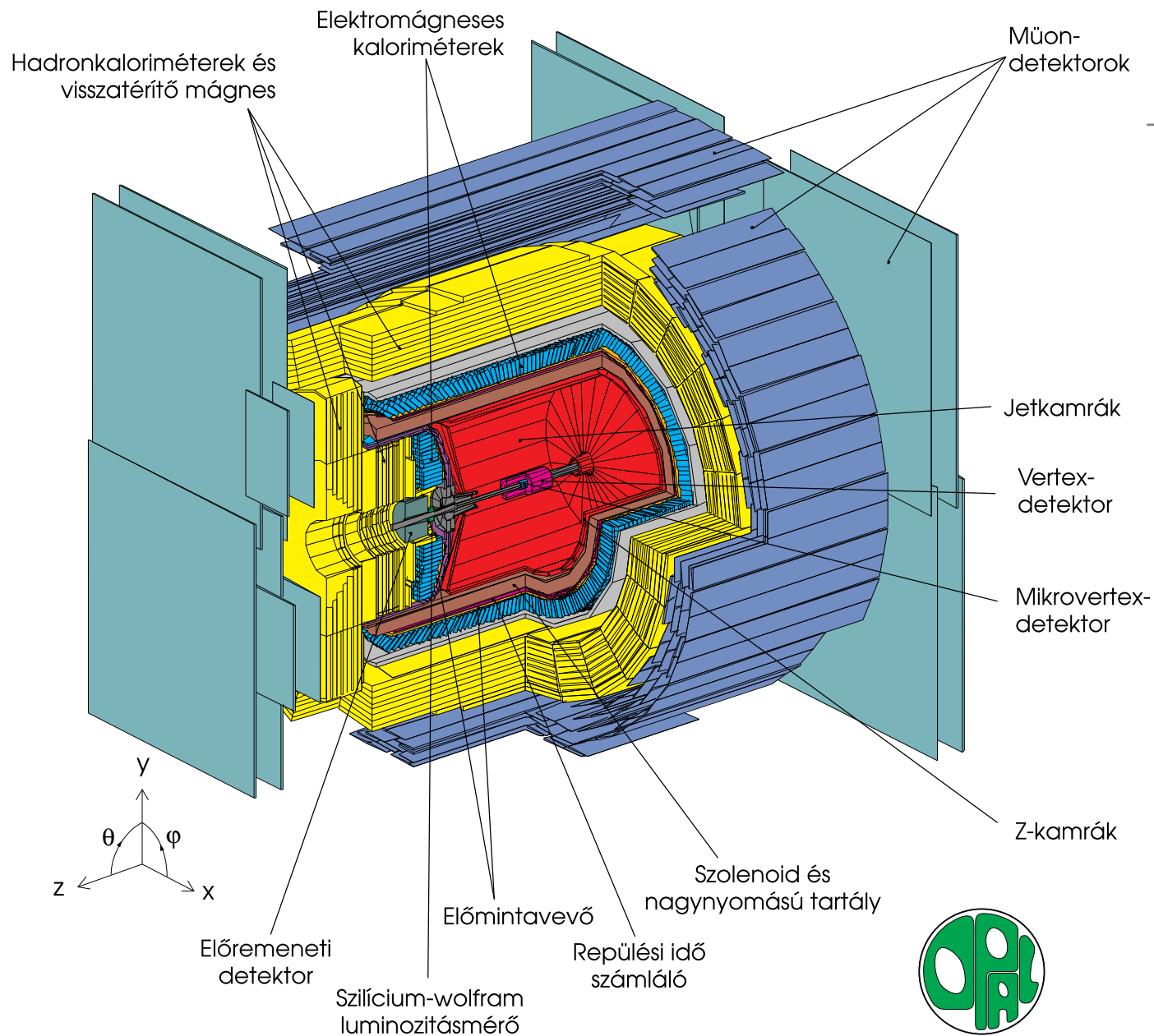
Csilling Ákos	WFK	2000	$\gamma\gamma$
Dienes Beatrix	DE→ATOMKI	1997	QCD
Hajdu Csaba	WFK	1995	$H^\pm$
Horváth Dezső	WFK & ATOMKI	1995	$H^\pm$ , lumi, PE
Hudácskó Attila	DE	2003-05	$\gamma\gamma$
Igó-Kemenes Péter	Heidelberg		$H^\pm$
ifj. Krasznahorkay Attila	DE→ATOMKI	2003	$\gamma\gamma$
Pálinkás József	DE & ATOMKI→DE	1995-2000	QCD
Patay Gergely	BME	2004-06	TGC
Pásztor Gabriella	ELTE→WFK	1995	$H^\pm$
Trócsányi Zoltán	DE & ATOMKI	1997	QCD
Ujvári Balázs	DE	2001	$\gamma\gamma$
Vértesi Róbert	BME→DE→WFK	2002	$\gamma\gamma$



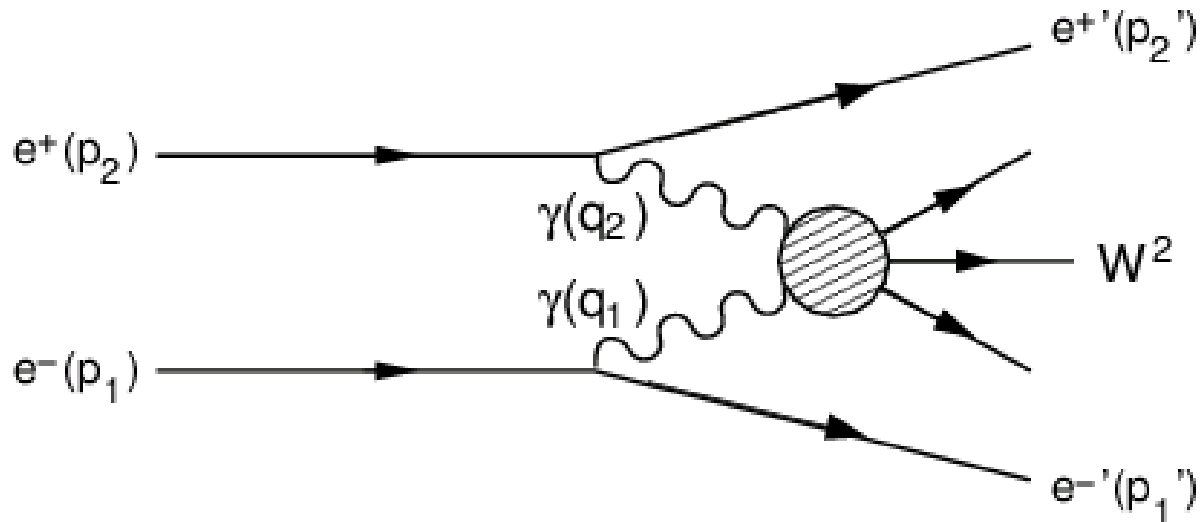


# Az OPAL detektor

1989–2000



# Hadronkeltés foton-foton ütközésben



Virtuális foton kilök virtuális  $(q\bar{q})$  párt

Csilling Ákos (WFK) hozta L3-ból  
Thorsten Wengler (CERN) gondozta OPAL-ban

Vértesi Róbert (BME, dipl.: 2002-03)  
ifj. Krasznahorkay Attila (DE, dipl.: 2003-04; PhD: 2009)  
Hudácskó Attila (DE, dipl.: 2003-05)  
Ujvári Balázs (DE, PhD: 2001-09)



# Töltött Higgs-bozon keresése

LEP: keltés párban (ha egyáltalán):  $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$

Bomlás nehéz fermionra:  $H^+ \rightarrow q\bar{q}' \sim c\bar{s}'$  vagy  $\tau^+\nu_\tau$

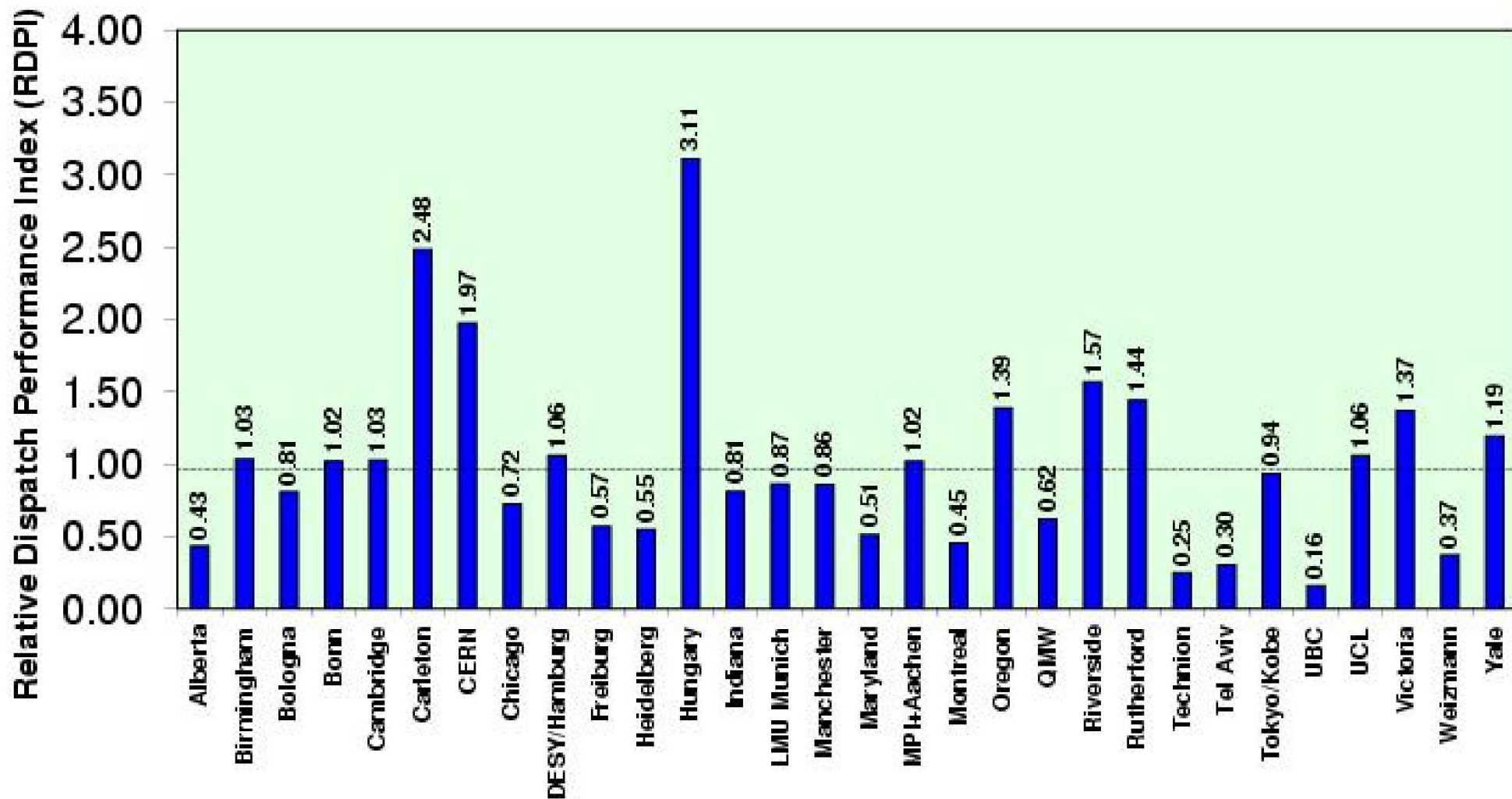
Három csatorna  $\Rightarrow$  három analízis:

$$e^+e^- \rightarrow H^+H^- \rightarrow \begin{cases} \tau^+\nu_\tau\tau^-\bar{\nu}_\tau & (\text{leptonos : Manchester}) \\ \tau^+\nu_\tau\bar{c}s + \tau^-\bar{\nu}_\tau c\bar{s} & (\text{vegyes : Hajdu Csaba}) \\ c\bar{s}c\bar{s} & (\text{hadronos : HD}) \end{cases}$$

Kezdetben mind, majd összesítés: Pásztor Gabriella  
(Diplomamunka, 1995; PhD: 1999)



# Az OPAL publikációs aktivitása, 2001

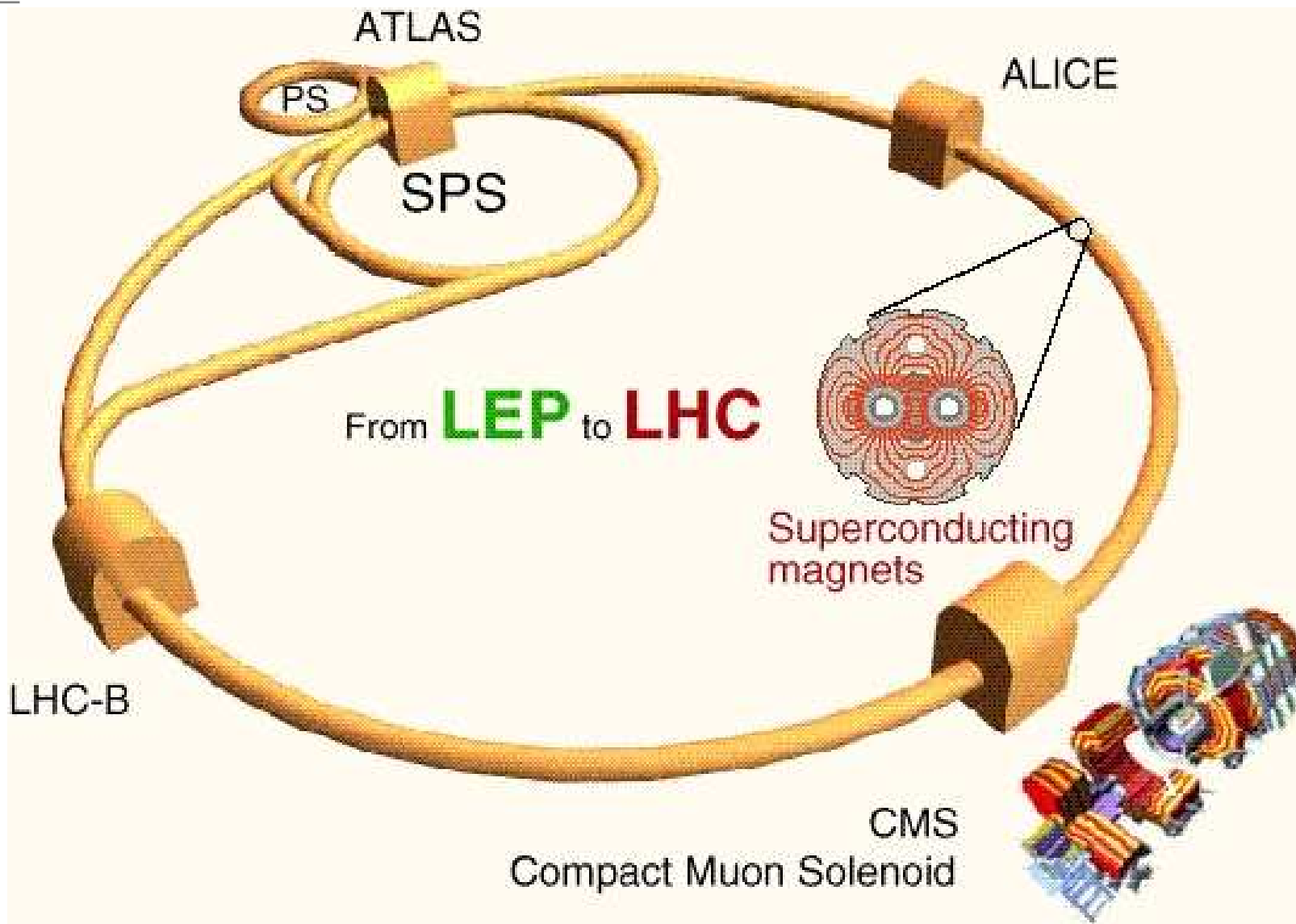


A versenyt 2002-ben végleg megnyertük





# Nem találtunk Higgs-bozont a LEP-nél, építsünk LHC-t 😊



# A CMS-együttműködés





# A CMS-együttműködés résztvevői



CMS-résztvevők a CERN 40-es épületében



# Az LHC CMS–detektora

(Compact Muon Solenoid)

Súly: 14000 tonna,  
kétszerannyi vas, mint Eiffel–toronyban

> 3500 résztvevő a világ minden tájáról

A világ legnagyobb (szupravezető) szolenoidja:  
átmérő  $\sim 6$  m,  $B = 4$  Tesla

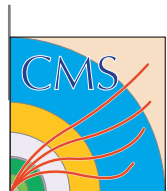
Detektorépítésben magyar részvétel:

Müondetektor pozicionáló rendszere:

DE Kisérleti Fizika Tanszék és ATOMKI, össz. 16 fő

Very Forward Calorimeter: WFK, össz. 20 fő

Adatkezelés: LHC Computing Grid





# Munka a müonkamrákon



Béni Noémi és Szillási Zoltán (Debrecen)

# Előreszórt részecskék észlelése

A detektor hermeticitásához szükséges lefedni a teljes teret  
CMS HF: kvarcszálak acélban



Minden CERN-es magyar fűzte  
(Fodor Zoltán gyermekei)

Horváth Dezső

Magyarország és a CERN

Szálkalibráció kész darabon

HTP-2014, CERN, 2014. augusztus 22.

– p. 22/39

# CMS: magyar résztvevők

ATOMKI  
Debrecen

Béni Noémi  
Fenyvesi András  
Imrek József  
Makovec Alajos  
Molnár József  
Pálinkás József  
Székely Géza  
Szillási Zoltán

Debreceni  
Egyetem

Bartók Márton  
Karancsi János  
Raics Péter  
Trócsányi Zoltán  
Ujvári Balázs  
Zilizi Gyula

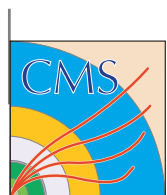
WFK  
Budapest

Agócs Ádám  
Bencze György  
Csilling Ákos  
Hajdu Csaba  
Házi András  
Hidas Pál  
Horváth Dezső  
Kálvin Sándor  
Krajczár Krisztián

WFK  
(folyt.)

Siklér Ferenc  
Vámi Tamás  
Veres Gábor  
(ELTE)  
Veszprémi Viktor  
Vesztergombi  
György  
Zalán Péter  
Zsigmond Anna

Fizikus, PhD-s, informatikus, mérnök





# Magyar CMS-munkák: detektor

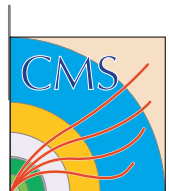
- A müon-rendszer pozícionálása  
ATOMKI + WFK (Béni Noémi, Szillási Zoltán, Ujvári Balázs, Zilizi Gyula, Bencze György)
- A pixel-detektor fejlesztése  
DE + WFK (Veszprémi Viktor, Karancsi János, Bartók Márton)
- A CMS biztonsági felügyelete, a CMS környezeti paramétereit mérő szenzorok fejlesztése, részvétel a technikai koordinációban  
ATOMKI (Béni Noémi, Makovec Alajos, Szillási Zoltán)
- A nyomkereső rendszer összehangolása  
WFK (Agócs Ádám, Hidas Pál, Siklér Ferenc, Veszprémi Viktor, Vesztergombi György)





# Magyar CMS-munkák: fizikai analízis

- Nehézion-fizika, QCD  
WFK + ELTE (Siklér Ferenc, Veres Gábor, Krajczár Krisztián, Zsigmond Anna)
- SUSY-részecskék keresése  
ATOMKI + DE + WFK (Veszprémi Viktor, Kapusi Anita, Karancsi János, HD)
- Extra dimenziók, fekete minilyukak keresése  
DE + WFK (Trócsányi Zoltán, Regős Enikő)
- A Standard modell ellenőrzése  
WFK (Hidas Pál, Vesztergombi György)



# CMS: közös szemináriumok

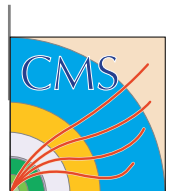
Hétfőnként az WFK - ATOMKI - CERN háromszögben,  
médiatermek összekapcsolásával

Általában 10-15 résztvevő, komoly aktivitással

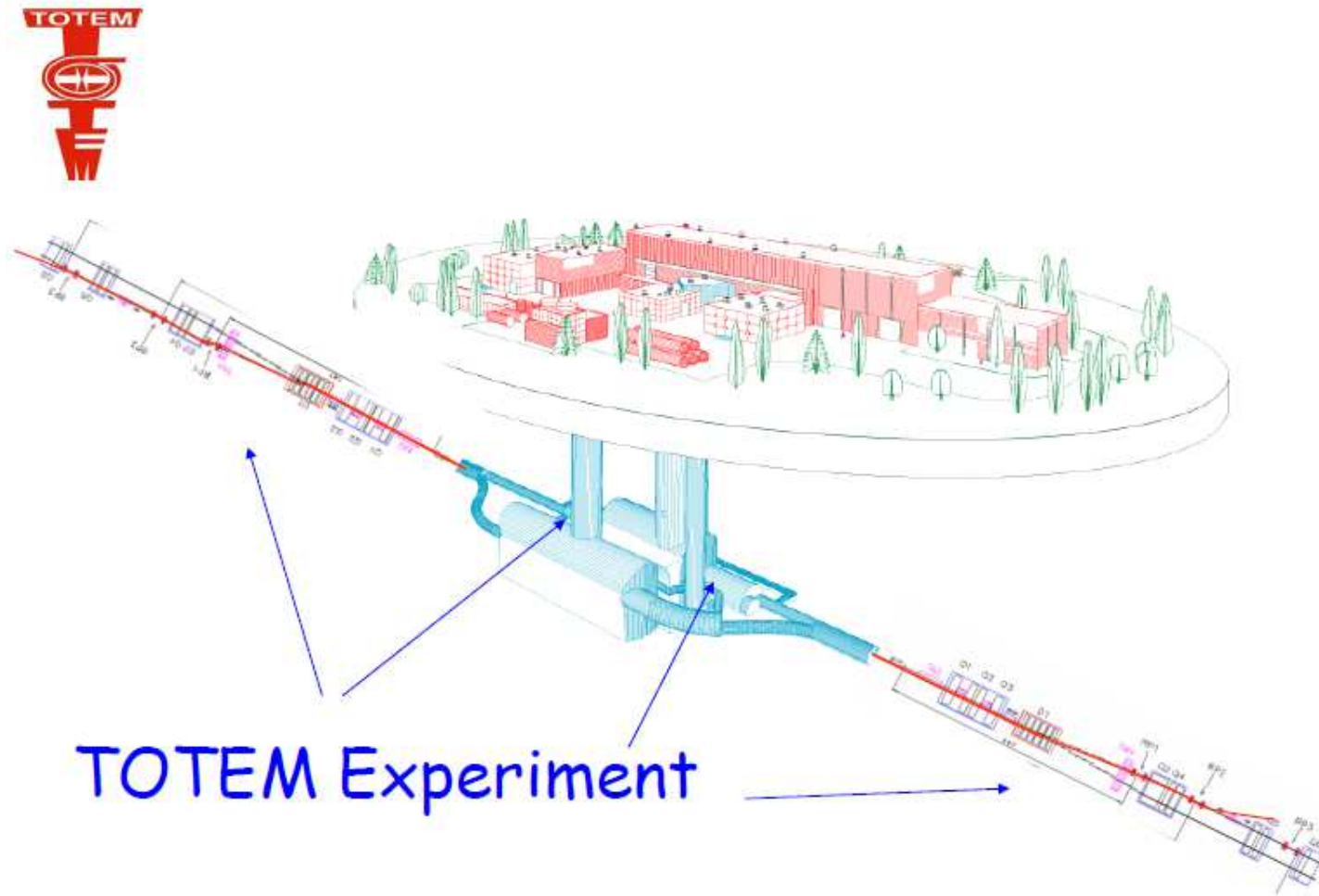
Nemcsak CMS-résztvevők: WFK-sok, CERN-i magyarok

Előadások anyaga

<http://www.grid.kfki.hu/twiki/bin/view/CMS/WeeklyBudapestDebrecenMeetings>



# Az LHC TOTEM-kísérlete

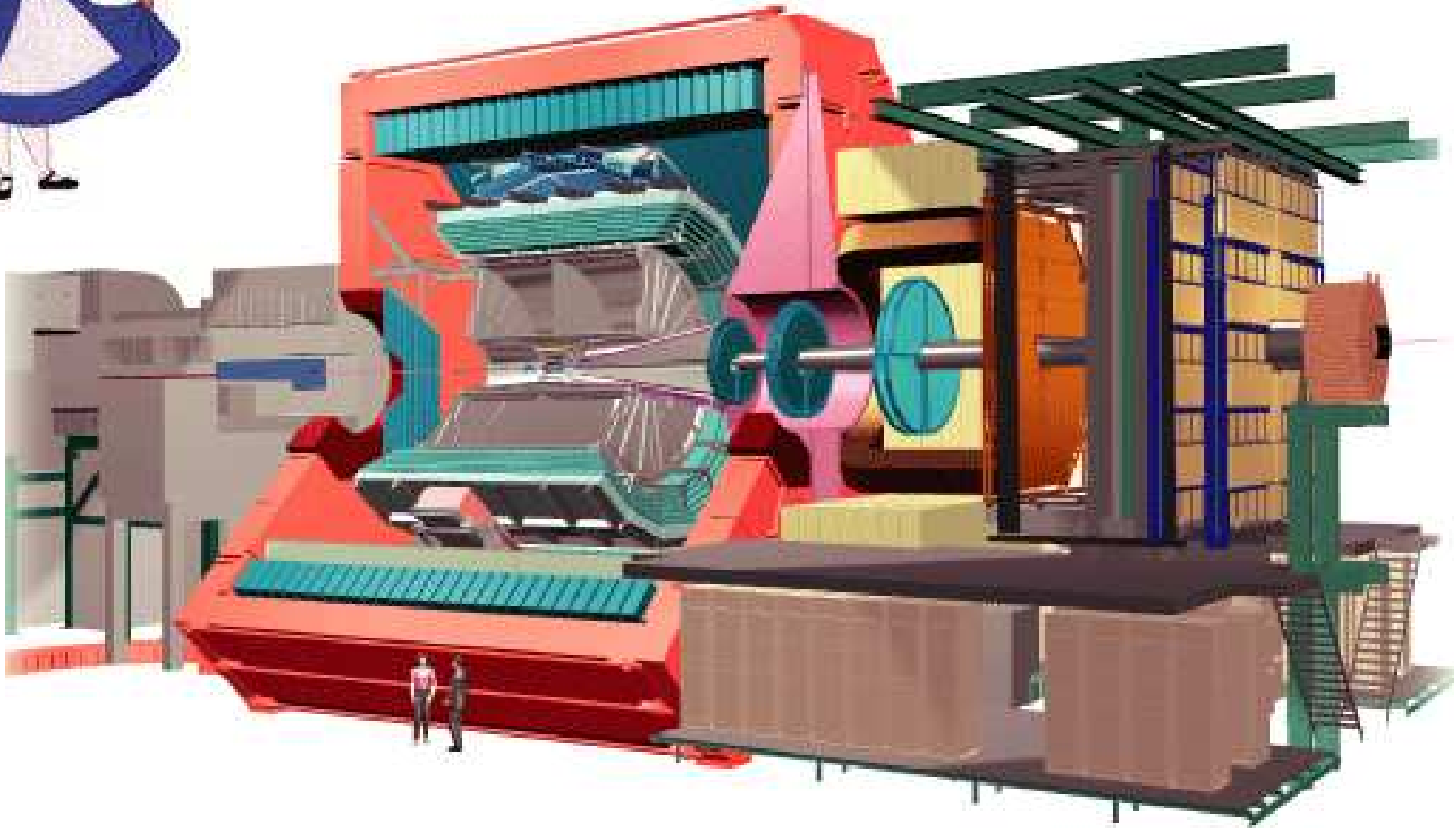


Csörgő Tamás, Novák Tamás, Ster András, Sziklai János (WFK),  
Csanád Máté, Nemes Frigyes (ELTE)

Előreszórt részecskék vizsgálata CMS két oldalán  
Magyar szerep: Detektor-vezérlő rendszer (WFK)

# Az LHC ALICE-kísérlete

A Large Ion Collider Experiment



LHC Pb-Pb ütközései: 5,5 TeV/NN  
28 x RHIC-energia, 5-12 x RHIC-luminozitás





# Az LHC ALICE-kísérlete: kész







# Az LHC ALICE-kísérlete: magyarok

## WFK, Budapest

Lévai Péter

Barnaföldi Gergely Gábor

Bencze György

Bencédi Gyula

Boldizsár László

Dénes Ervin

Fodor Zoltán

Futó Endre

## WFK, Budapest

Hamar Gergő

Kalmár Gergely

Kiss Tivadar

Kovács Levente

Lipusz Csaba

Pálla Gabriella

Pochybova Sona

Varga Dezső

## ELTE, Budapest

Berényi Dániel

Kiss Gábor

Nagy Máté Ferenc

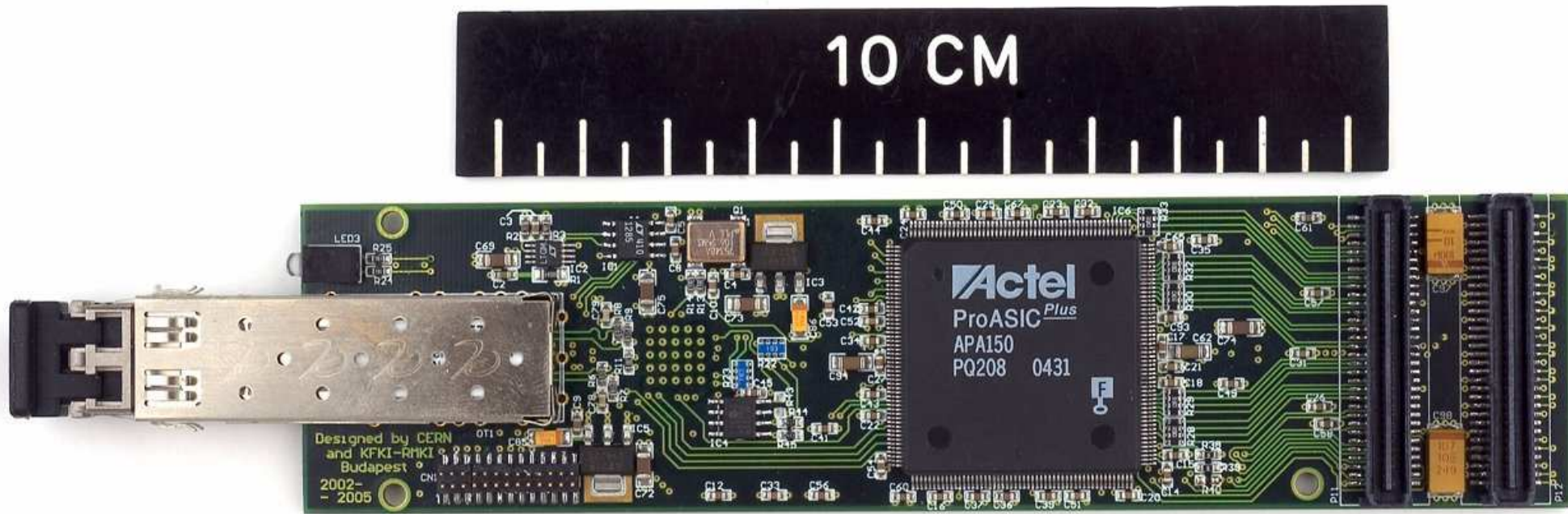
Oláh László

Pásztor Attila





# Az LHC ALICE-kísérlete: DDL



Detector Data Link  
gyors detektor-kiolvasó egység  
rendkívül jól tűri a sugárzást

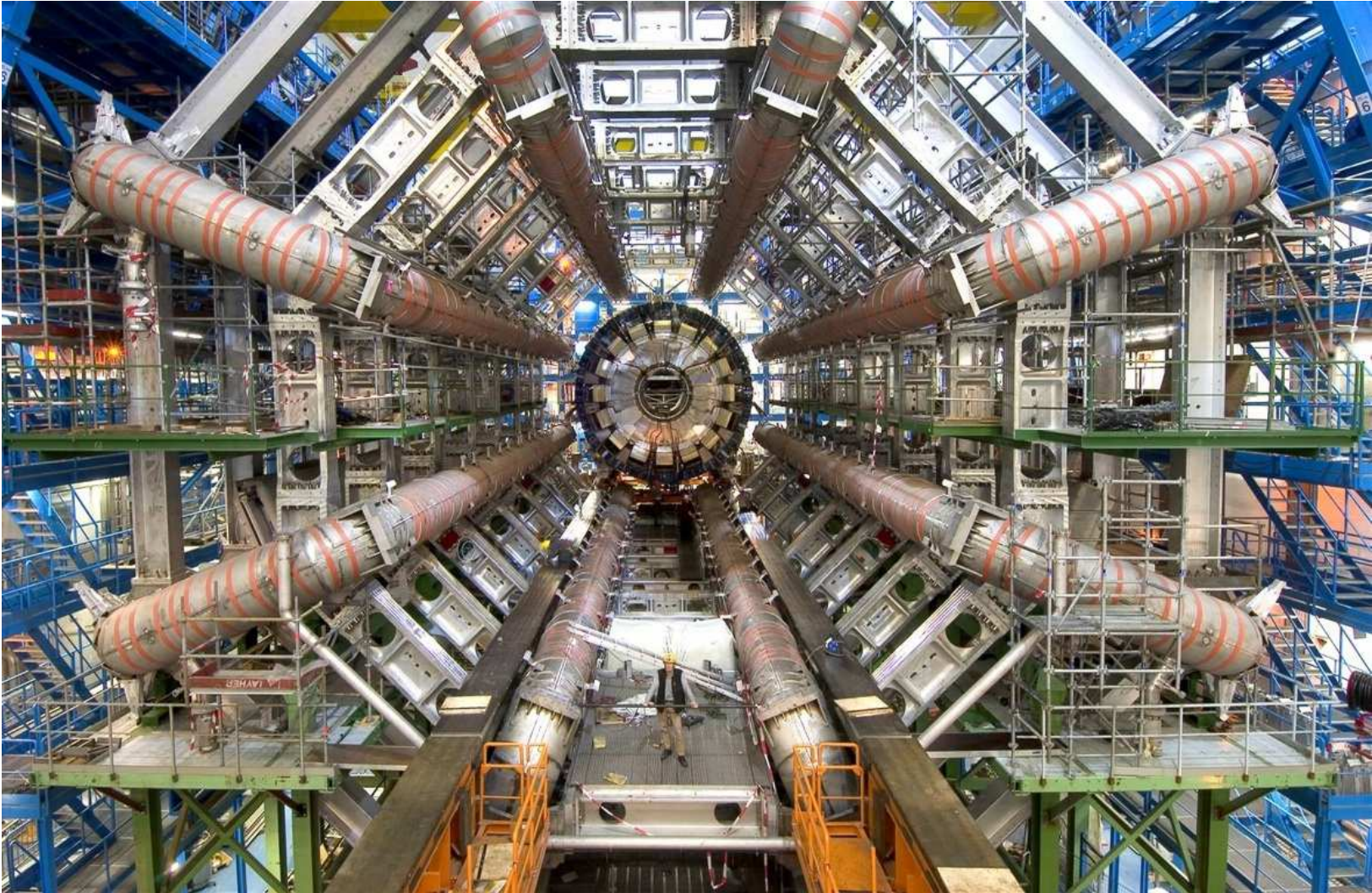


# A DDL ALICE-on kívüli (spin-off) alkalmazásai

- **CERN-en kívüli részecskefizikai kísérletek:**
  - A RHIC gyorsító STAR kísérletének (USA) TOF detektora
  - University of California Lawrence Berkeley Laboratory, (USA)
  - Brookhaven National Laboratory (BNL, USA)
  - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN, Olaszország) – különböző intézetei (Bologna, Torino, Pisa, Roma)
  - CNRS IN2P3 (Franciaország) – különböző intézetei (Institute de Physique Nucléaire (IPN), SUBATECH, stb.)
  - Commissariat a l'Énergie Atomique (CEA), Saclay (Franciaország)
  - Utrecht University, Faculty of Physics and Astronomy (Hollandia)
  - Variable Energy Cyclotron Centre (VECC), Kolkata (India)
- **Asztrofizika:**
  - Institut de RadioAstronomie Millimetrique en St Martin d'Herès (IRAM, Franciaország).
- **További CERN kísérletek:**
  - TOTEM kísérlet detektortesztjei (befejezett)
  - NA61-Shine kísérlet adatkiolvasó rendszere



# ATLAS: A Toroidal Lhc ApparatuS



Nagy Elemér (Marseille), Pásztor Gabriella (WFK és Carleton),  
Tóth József (WFK és Marseille), ifj. Krasznahorkay Attila (CERN),  
[Kövesárki Péter és Radics Bálint (Bonn)]



# Detektorfizika (ELTE – WFK)

WFK, Budapest:

Varga Dezső

Bencédi Gyula

Bencze György

Dénes Ervin

Hamar Gergő

Kiss Tivadar

Kovács Levente

László András

Márton Krisztina

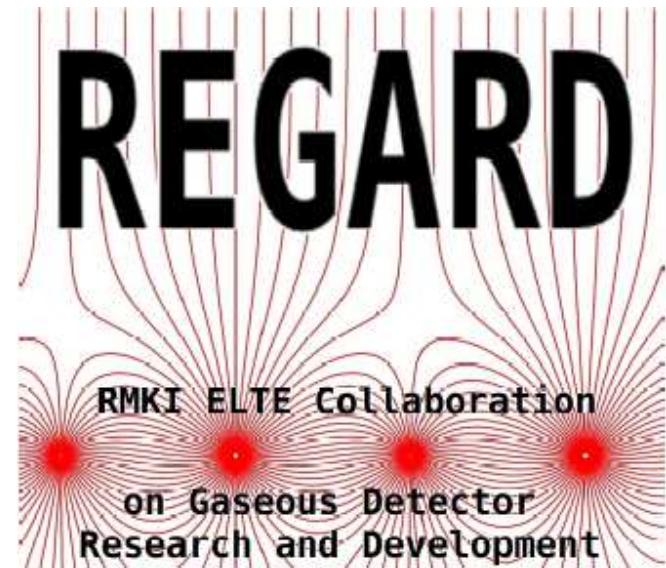
Tölyhi Tamás

ELTE, Budapest

Horváth Péter

Kiss Gábor

Oláh László



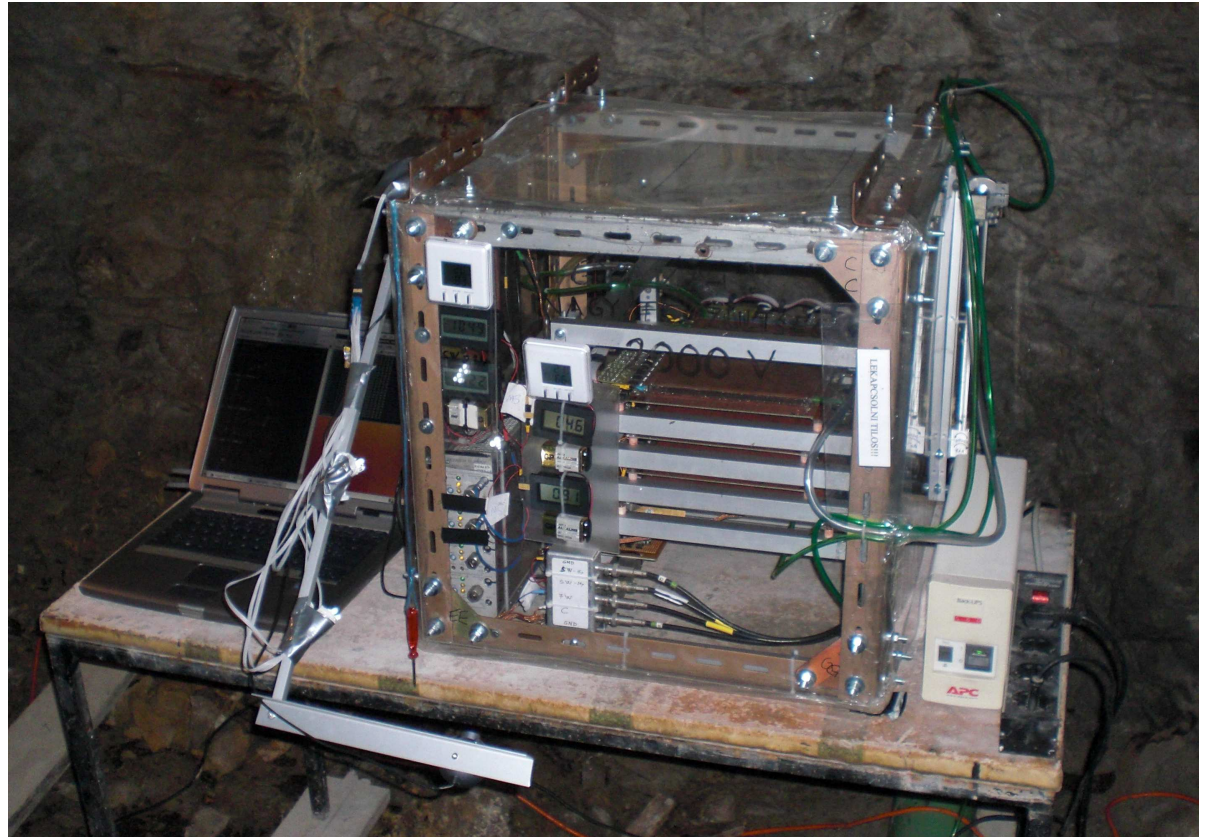
Detektorok fejlesztése (észlelő, elektronika és programozás) különböző részecskefizikai kísérletek számára (ALICE, NA61, ...)



# Detektor-fejlesztés: müonok barlangban



Közeli-katódú kamra



Müon-detektor a budapesti Molnár János-barlangban

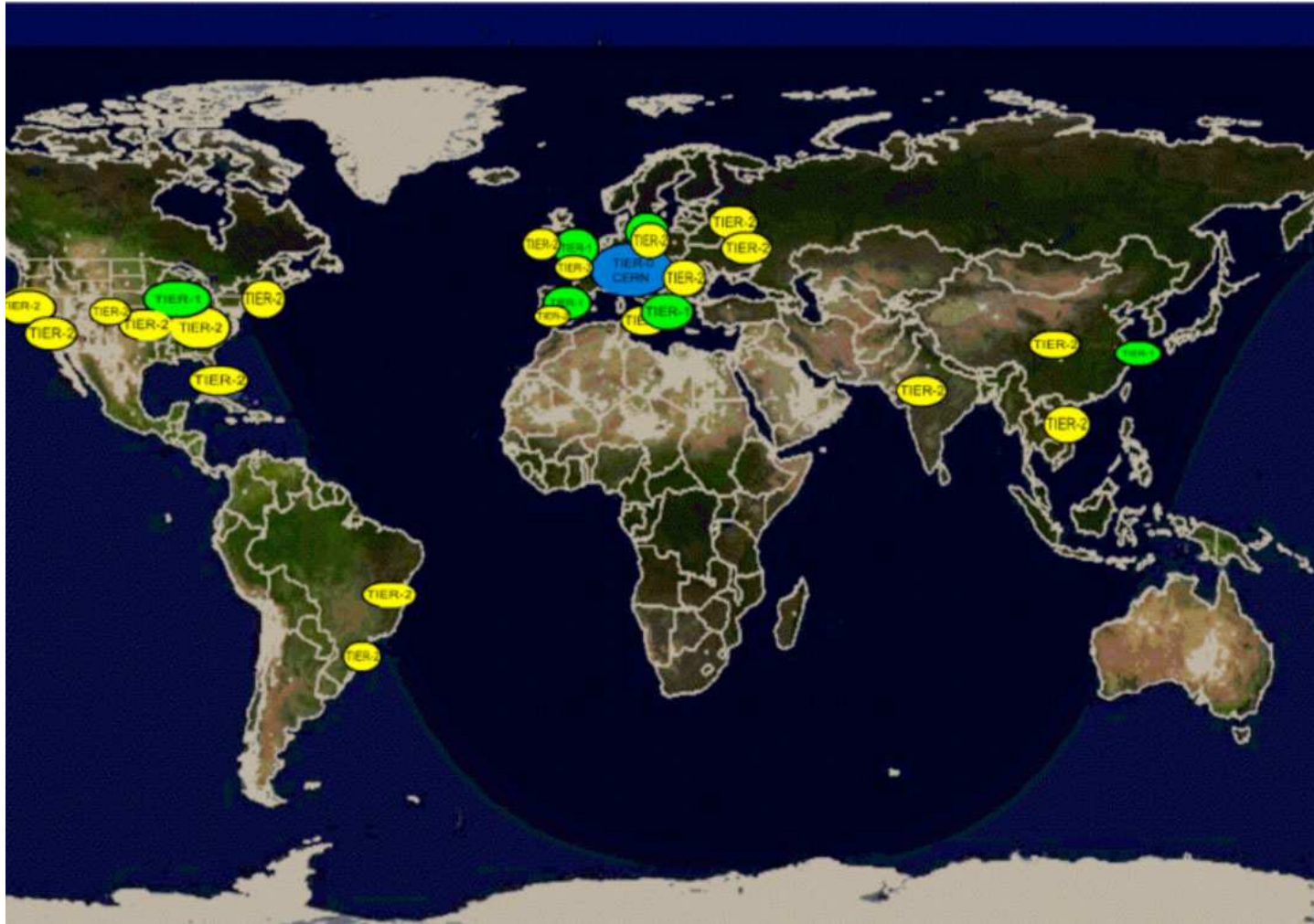
Barlangok fölötti sűrűségváltozások (üregek, sűrűbb közetek) feltérképezése (Oláh László, ELTE)





# Worldwide LHC Computing Grid

A CMS-kísérlet fő WLCG-állomásai



Tier-2 (WFK): 500 CPU + 255 TB, CMS és ALICE VO (3:1)

ATOMKI: Tier-3 elkészült



# Akik csinálták/ják

- Technika: KFKI Számítógép-hálózati központ
- PC-hardver: Hajdu Csaba és Hernáth Szabolcs
- LCG: Hernáth Szabolcs és Somhegyi Benjámín
- Grid-biztonság: Debreczeni Gergely
- HunGrid: Hernáth Szabolcs, Szeberényi Ágnes, Házi András
- CMS: Hajdu Csaba
- CA-RA: Hernáth Szabolcs
- JRU, CERN-kapcsolat: Vesztergombi György
- Pályázatok, ülésezés: Hajdu Csaba

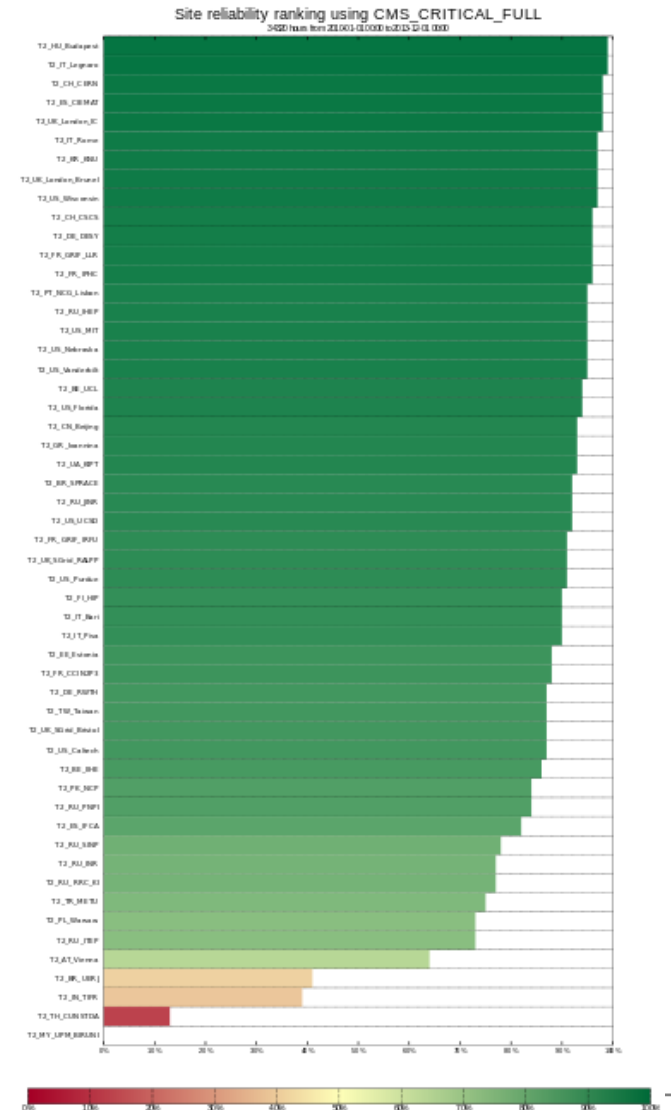
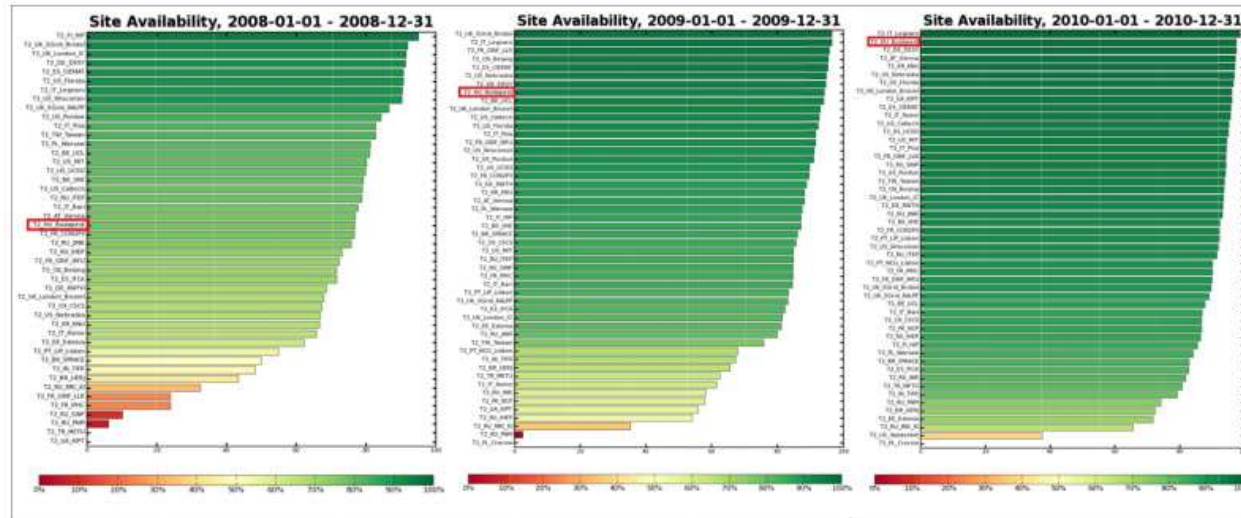
# A CMS Tier-2-i: megbízhatóság

2011-2013

2008

2009

2010



Az WFK T-2 állomása gyorsabban javult, mint a többi, és felverekedte magát a 1. helyre.

Megkaptuk a Tier-0-t: Wigner Data Center.