

Magyarország és a CERN

*Előadás fizikatanárok részére
(CERN, 2013)*

Horváth Dezső

horvath.dezso@wigner.mta.hu

Wigner FK RMI, Budapest és ATOMKI, Debrecen

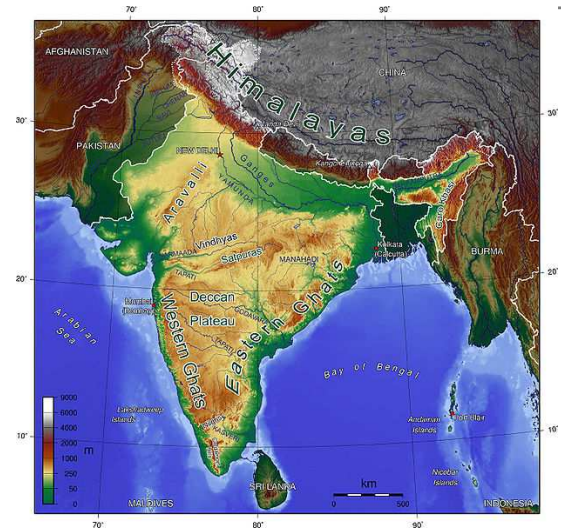
A felfedezés rögös útja, 1492

A kutatás
frontvonala:

Az
Atlanti-óceán
partja



A kutatás
célja:
India elérése



A kutatás
eszköze:
Columbus hajói



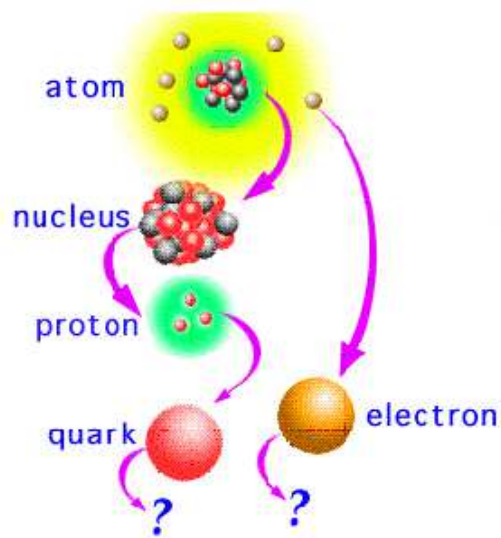
A kutatás
eredménye:
Amerika
felfedezése



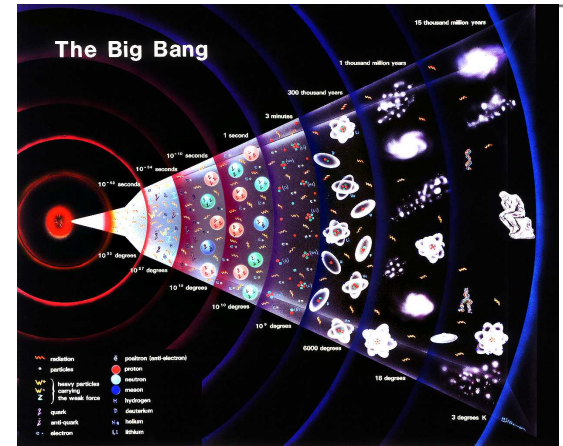
(Vesztergombi György után)

A felfedezés rögös útja, 2009 – ??

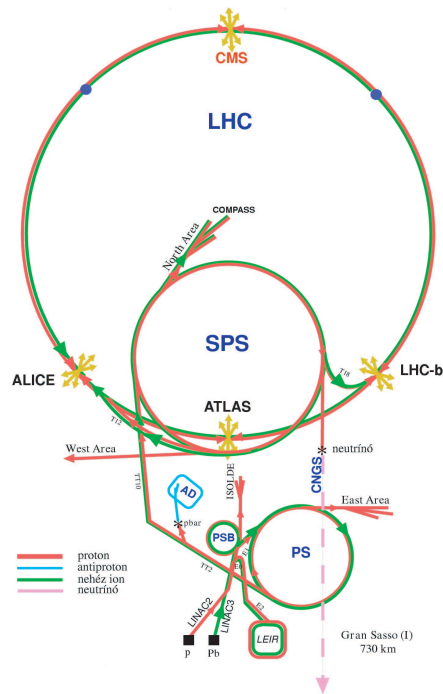
A kutatás frontvonala:
Az anyag mély szerkezete



A kutatás célja:
Higgs-bozon, ősrobbanás utáni állapot



A kutatás eszköze:
nagyenergiájú gyorsítók

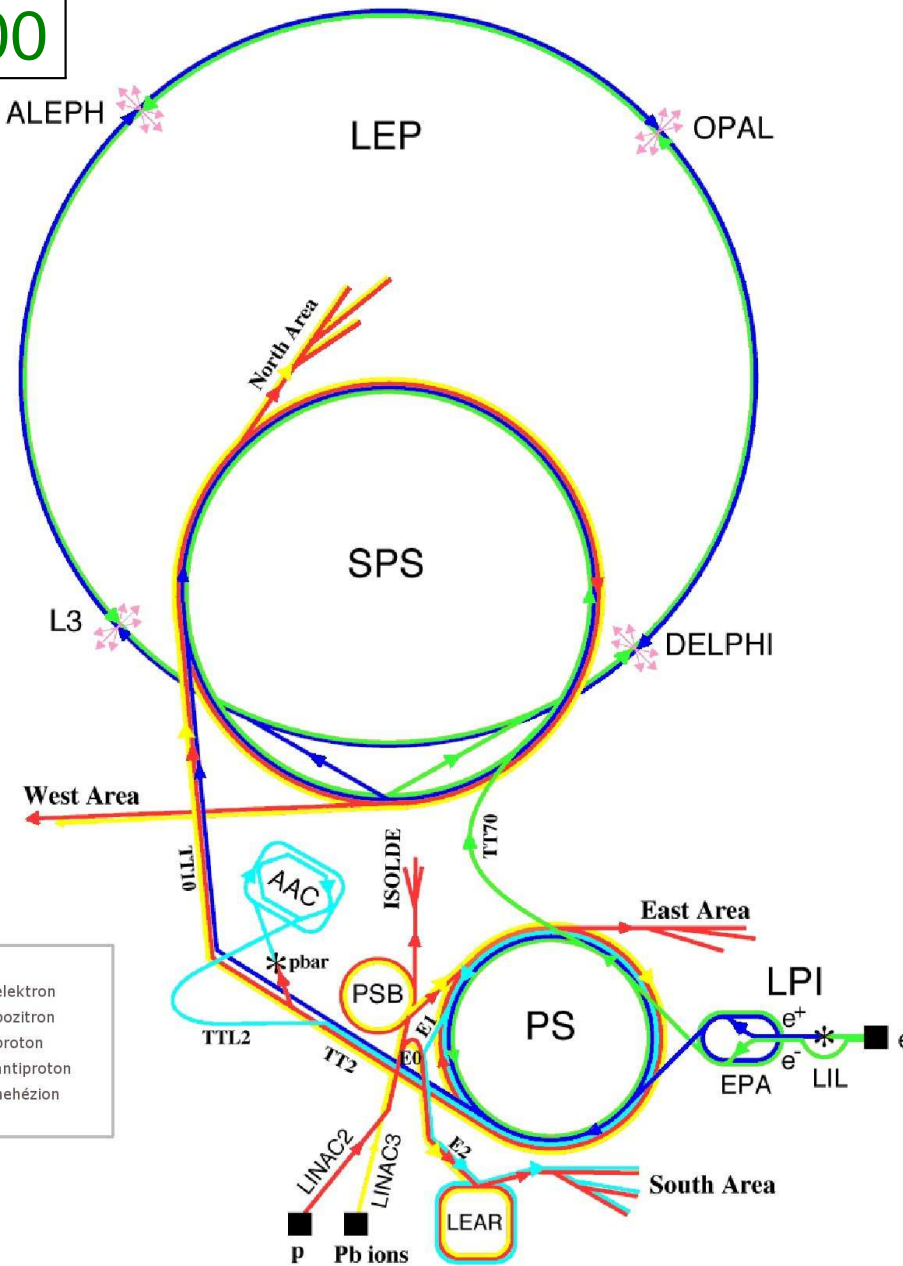


A kutatás eredménye:
Higgs-bozon!
Új fizika?

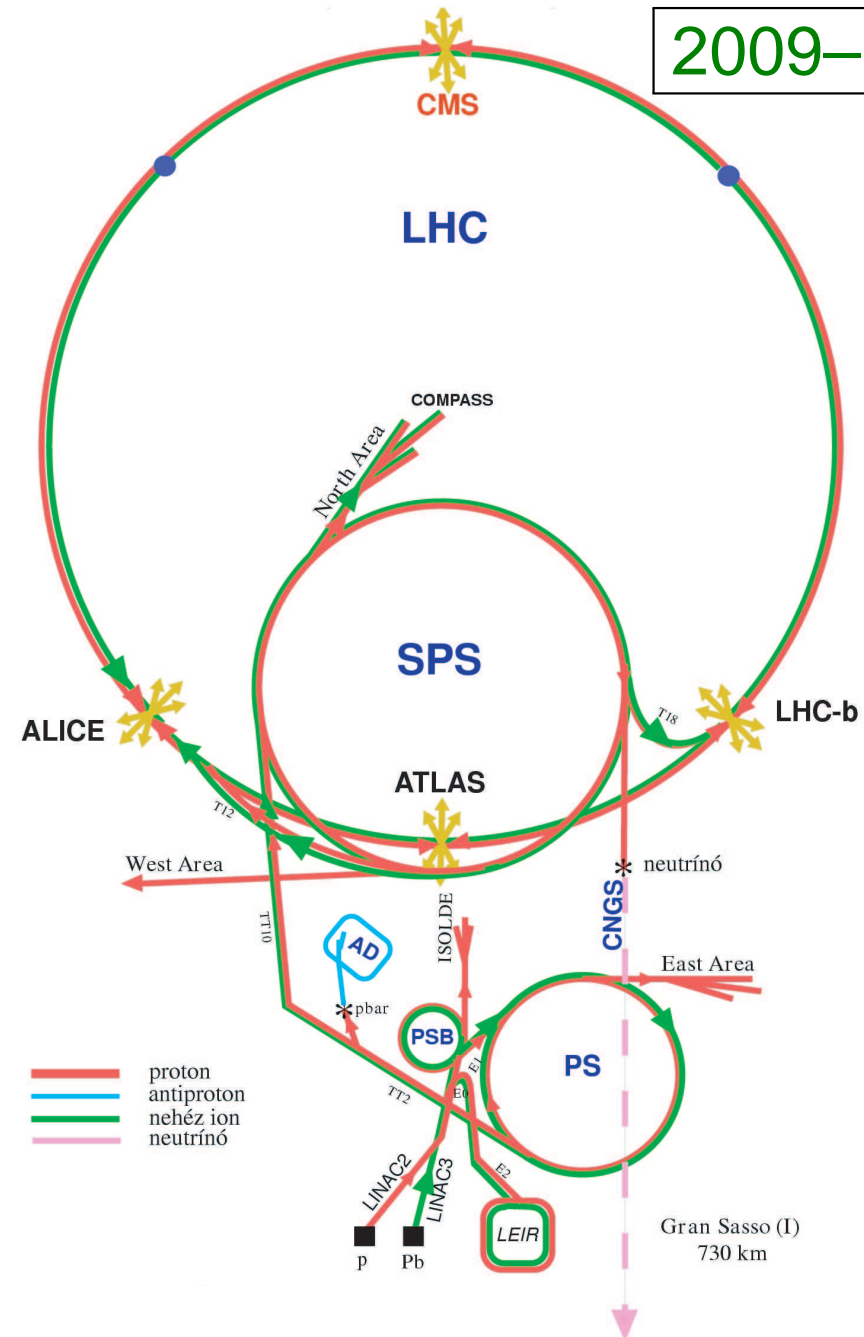


A CERN gyorsítói

–2000



2009–



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

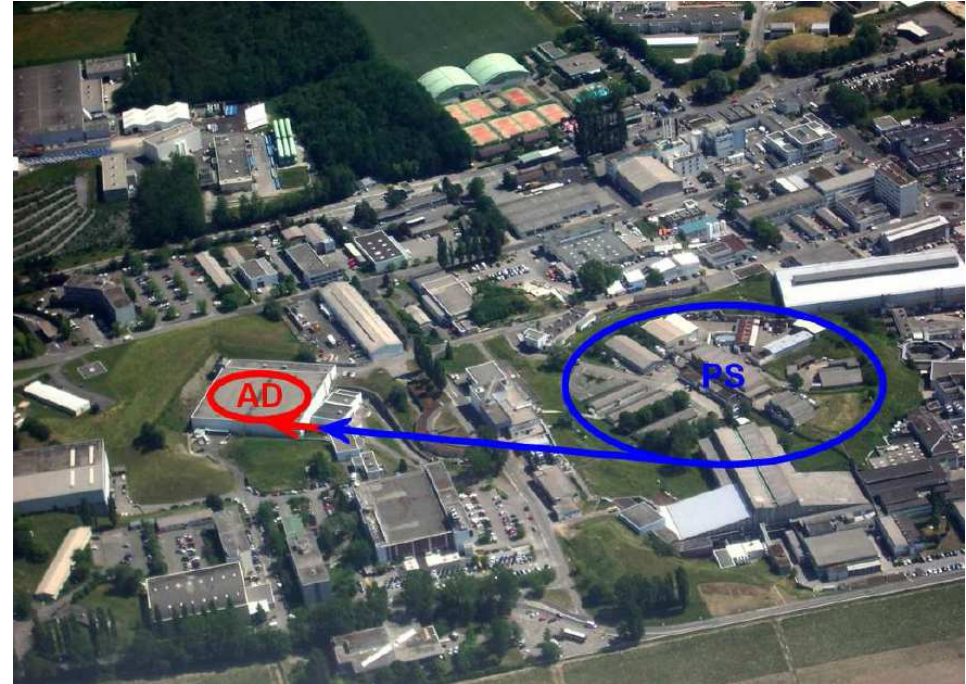
$\mu_e(\bar{p}) \leftrightarrow \mu_e(p)$

$\mu(\bar{H})$

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, 2010

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

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
<2 × 10⁻⁹	90	¹ HORI	06	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
● ● ● We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. ● ● ●				
<1.0 × 10 ⁻⁸	90	¹ HORI	03	SPEC $\bar{p}e^-$ ⁴ He, $\bar{p}e^-$ ³ He
<6 × 10 ⁻⁸	90	¹ HORI	01	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
<5 × 10 ⁻⁷		² TORII	99	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom

\bar{p} MAGNETIC MOMENT

A few early results have been omitted.

VALUE (μ_N)	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
-2.793 ± 0.006 OUR AVERAGE			
-2.7862 ± 0.0083	PASK	09	CNTR \bar{p} He ⁺ hyperfine structure
-2.8005 ± 0.0090	KREISSL	88	CNTR \bar{p} ²⁰⁸ 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

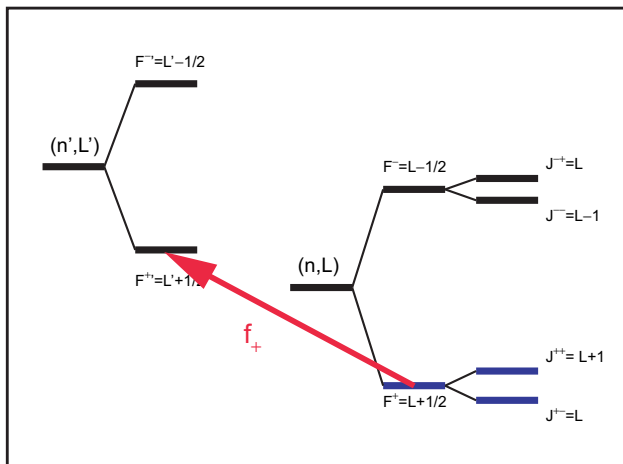
M. Hori, ..., A. Sótér, D. Barna, ... B. Juhász, ... D. Horváth: Nature 475 (2011) 484-488

Diplomamunka: Juhász Bertalan, Ujvári Balázs, Sótér Anna

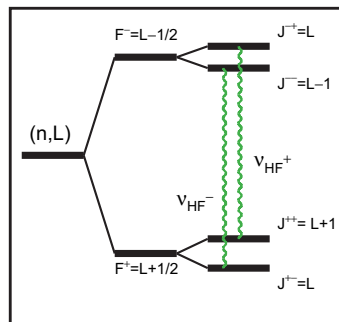
PhD: Juhász Bertalan



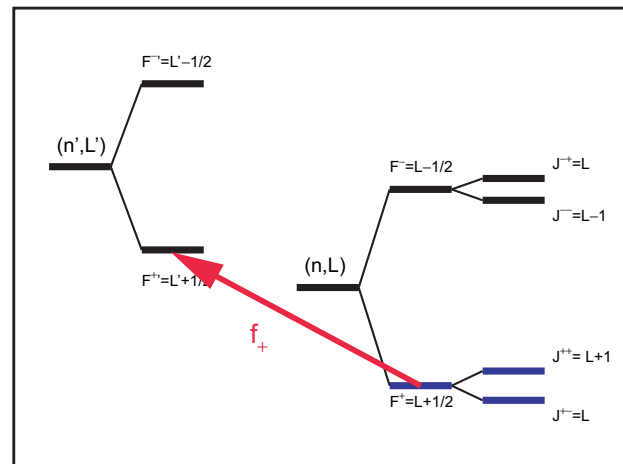
$\mu(\bar{p})$: vonal-felhasadás $\bar{p}\text{He}^+$ -ban



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



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

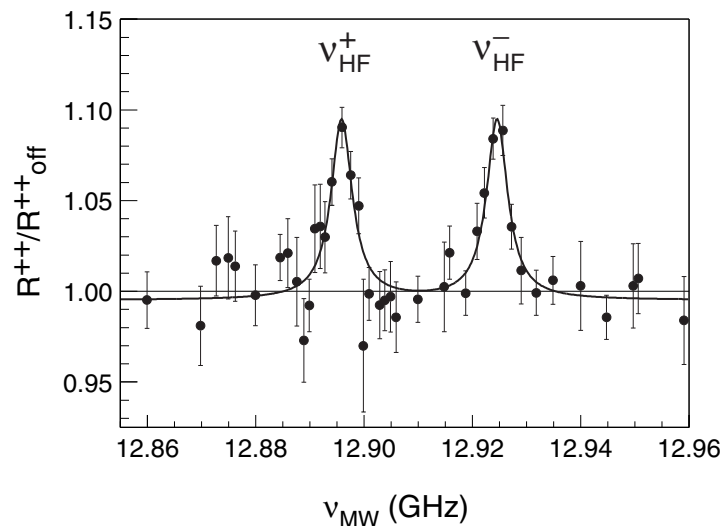


Step 3: probing of population of F^+ doublet with 2nd f_+ laser pulse

Mágneses momentumok

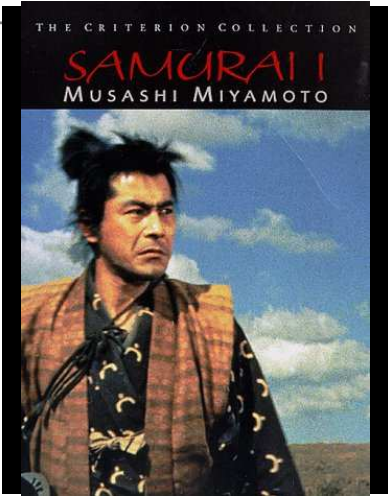
$\mu(p) \sim \mu(\bar{p}) \Rightarrow$ **CPT-invariancia OK**

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)

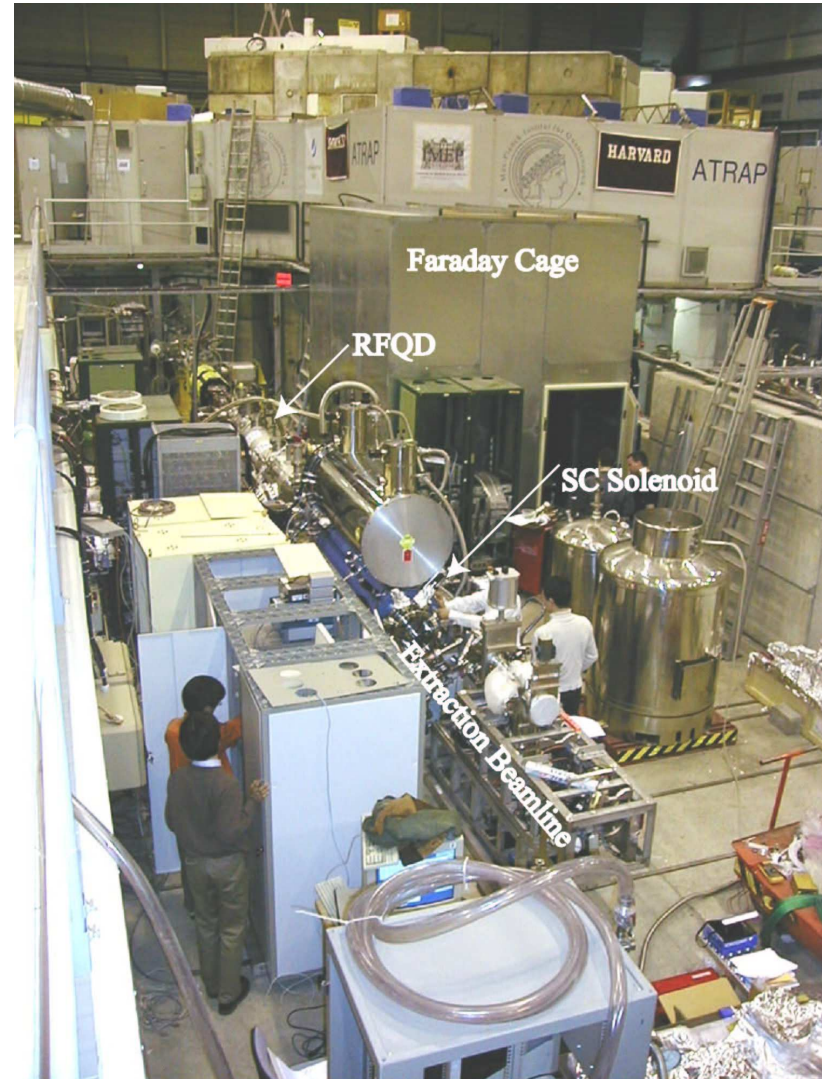
5×10^6 \bar{p} csapdában hűtve (2002)

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

$> 5 \times 10^5$ \bar{p} FWHM ~ 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.

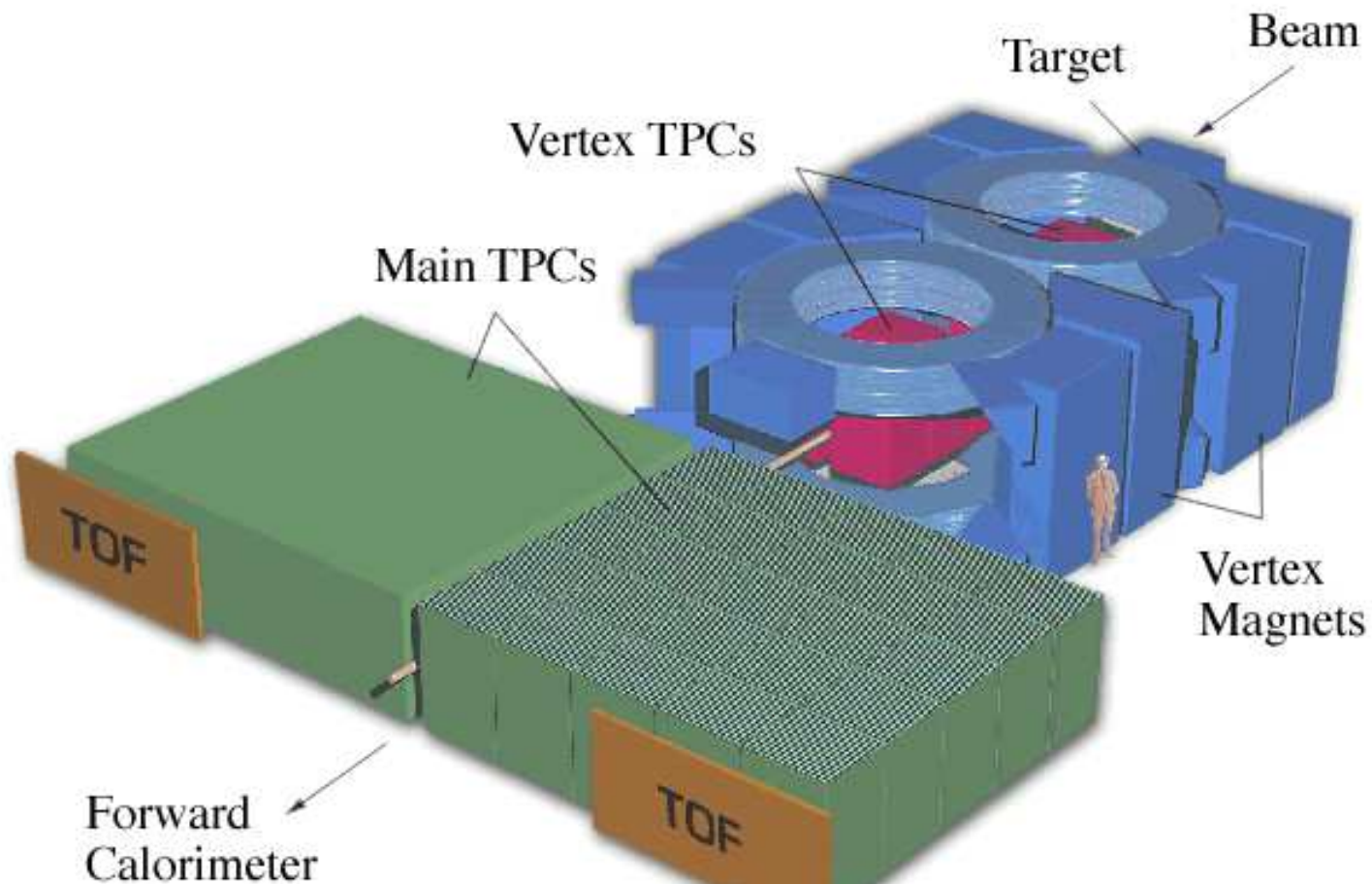
N. Kuroda, ..., D. Barna, ... D. Horváth, ..., Y. Yamazaki: *Phys. Rev. Lett.* 100 (2008) 203402.

Nehézion-fizika: NA49 → NA61

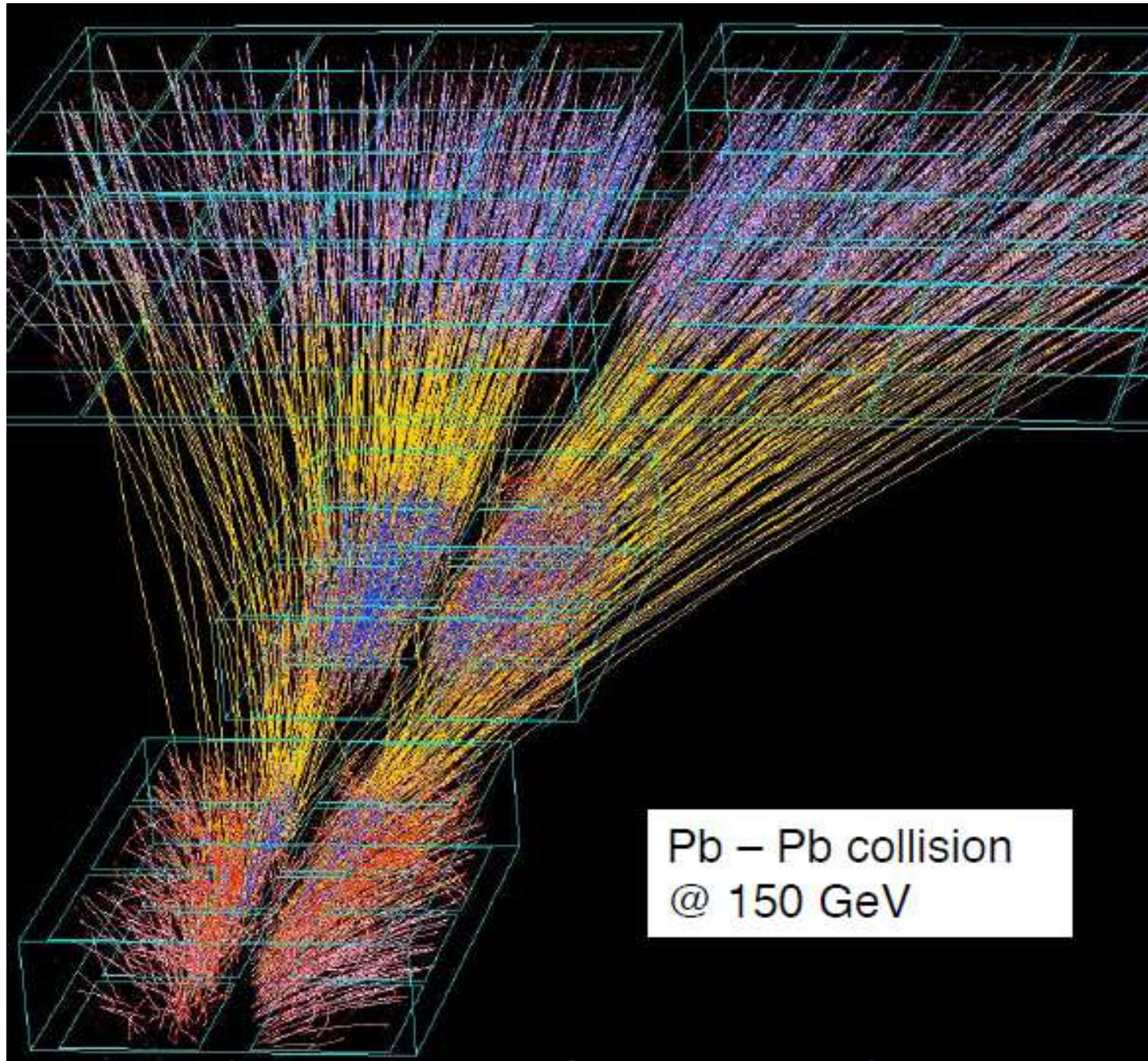
Társalapító és próféta: Vesztergombi György

Technikai koordinátor: Fodor Zoltán

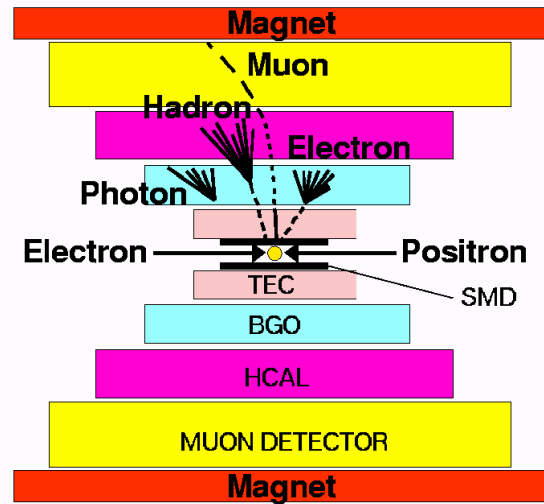
Számos diplomamunka és PhD (ELTE): Siklér Ferenc,
Veres Gábor, Varga Dezső, Barna Dániel, László András,
Márton Krisztina



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

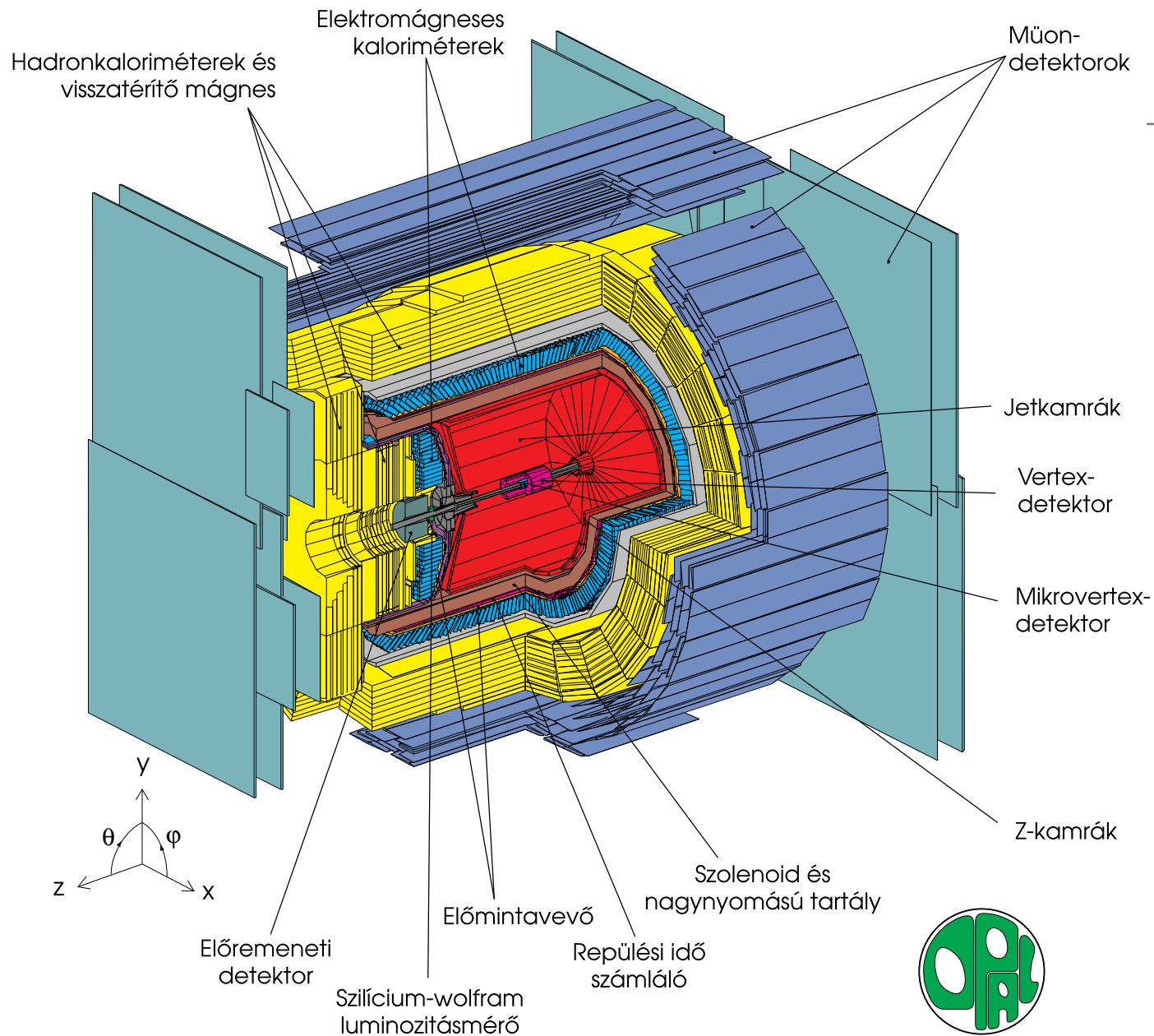
OPAL-PhD

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	$\gamma\gamma$

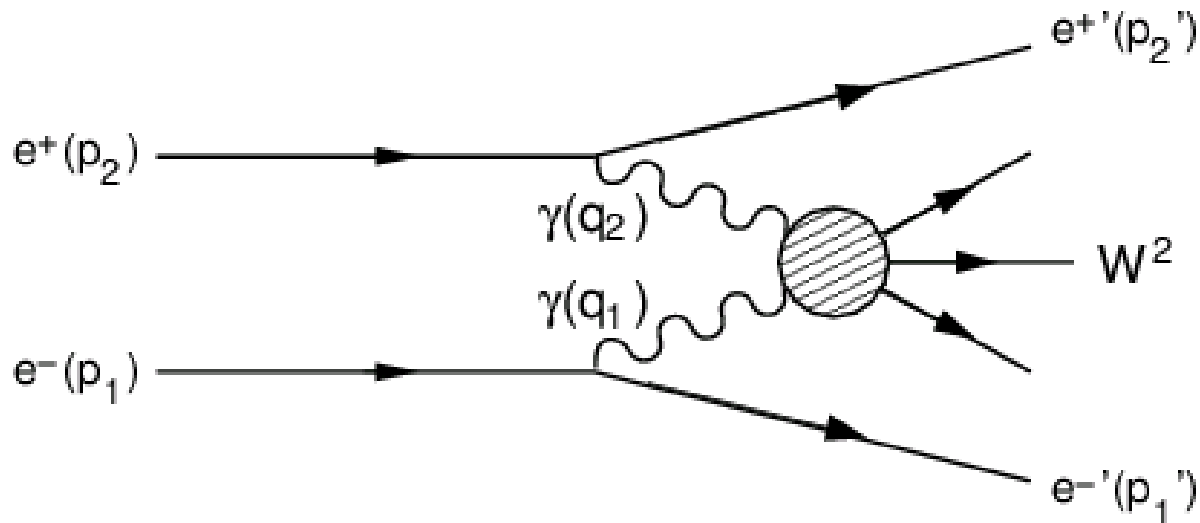


Az OPAL detektor

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

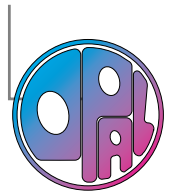
LEP: keltés párban (ha egyáltalán): $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$

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

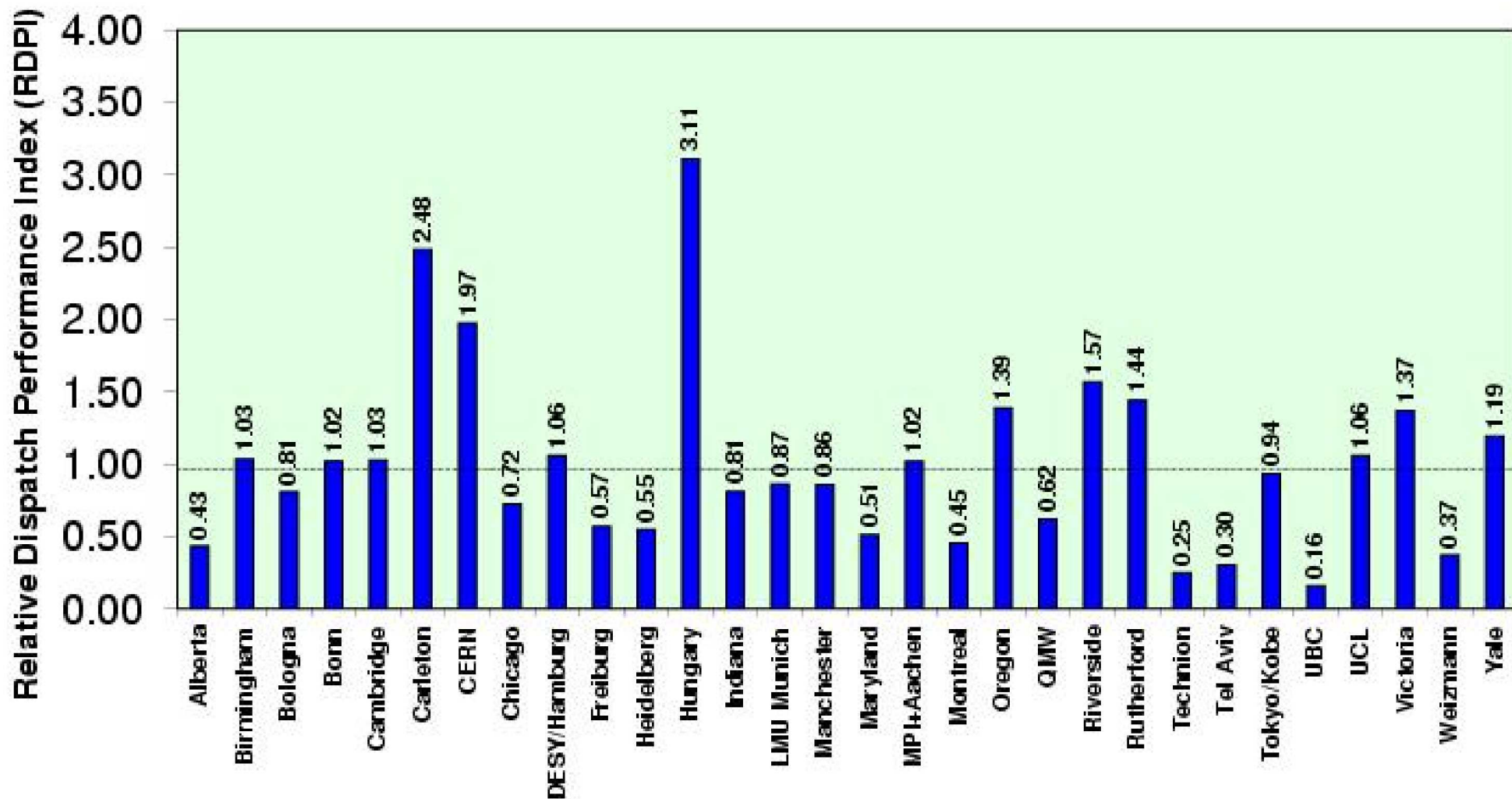
Három csatorna \Rightarrow három analízis:

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

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



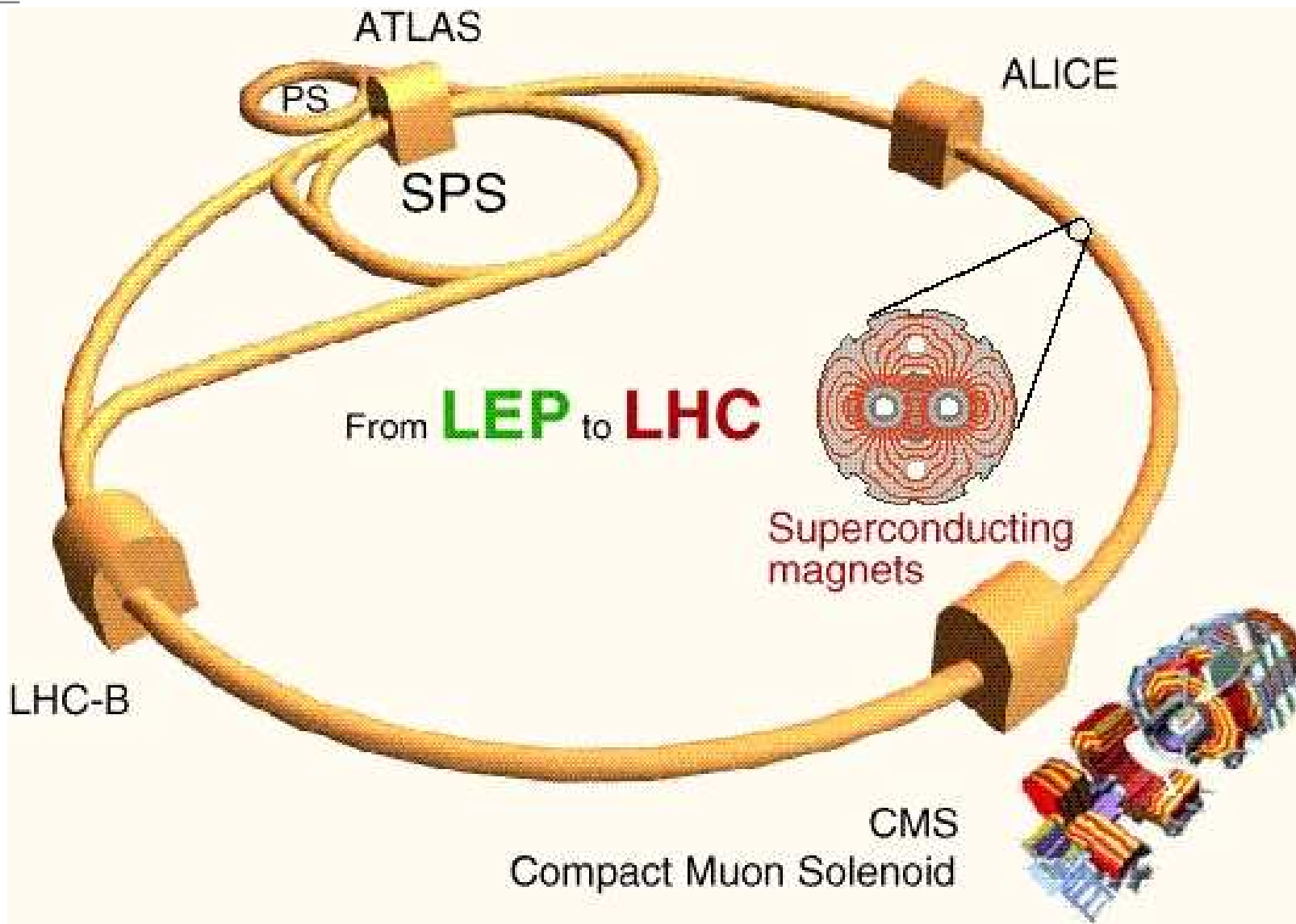
Az OPAL publikációs aktivitása, 2001



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 ~ 6 m, $B = 4$ Tesla

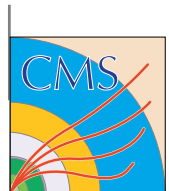
Detektorépítésben magyar részvétel:

Müondetektor pozicionáló rendszere:

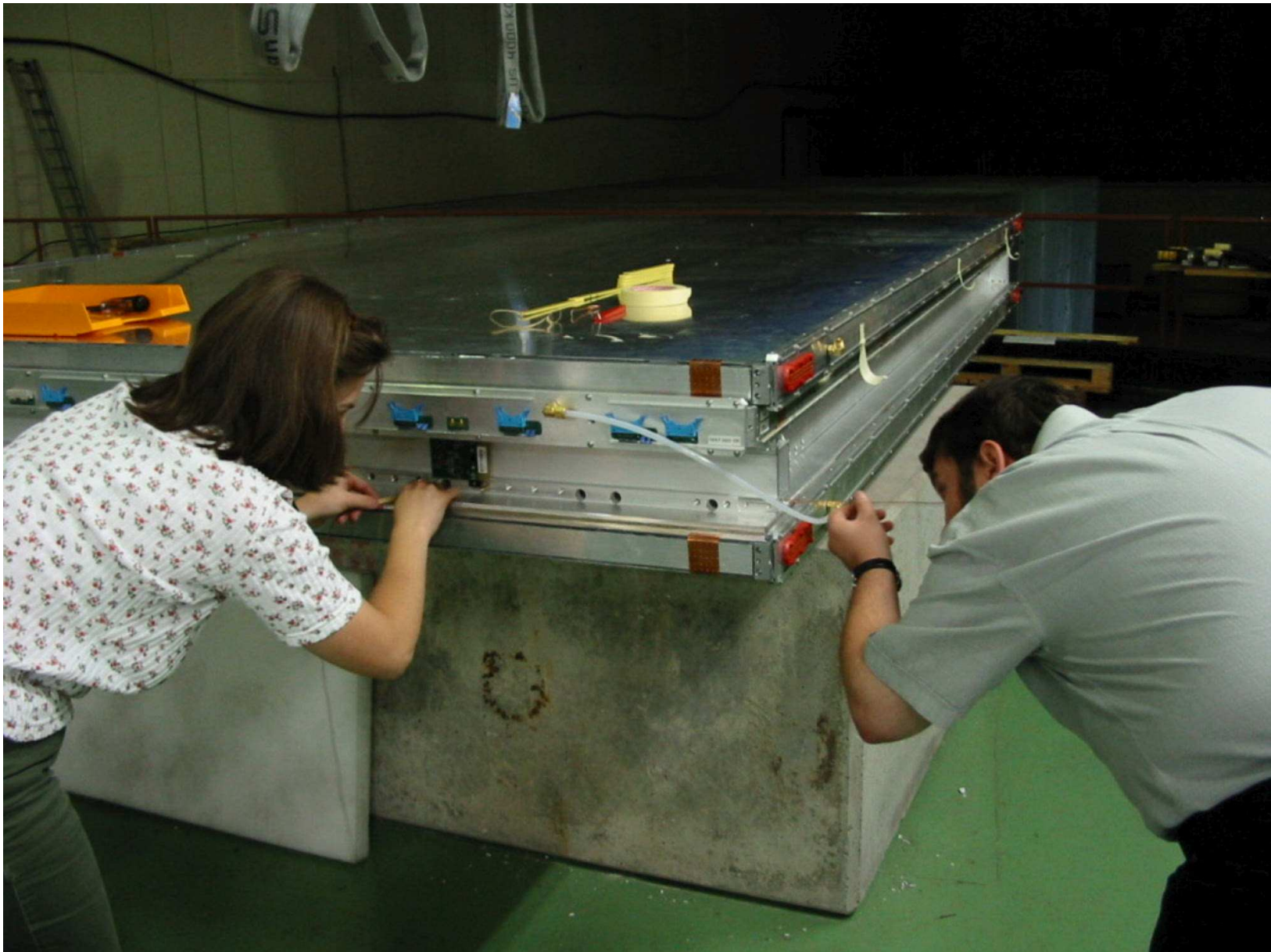
DE Kisérleti Fizika Tanszék és ATOMKI, össz. 16 fő

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

Szákalibráció kész darabon

HTP-2013, CERN, 2013. augusztus 16.

– p. 22/40

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

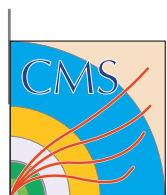
WFK
Budapest

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

WFK
(folyt.)

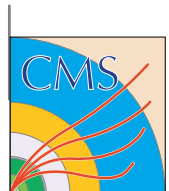
Siklér Ferenc
Vámi Tamás
Veres Gábor
(ELTE)
Veszprémi Viktor
Vesztergombi
György
Zalán Péter
Zsigmond Anna

Fizikus, PhD-s, informatikus, mérnök



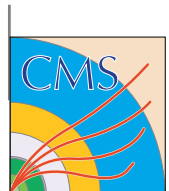
Magyar CMS-munkák: detektor

- 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
ATOMKI (Béni Noémi, 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

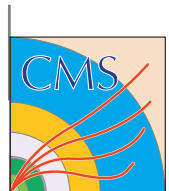
Hétfőnként az WFK - ATOMKI - CERN háromszögben,
médiatermek összekapcsolásával

Általában 10-15 résztvevő, komoly aktivitással

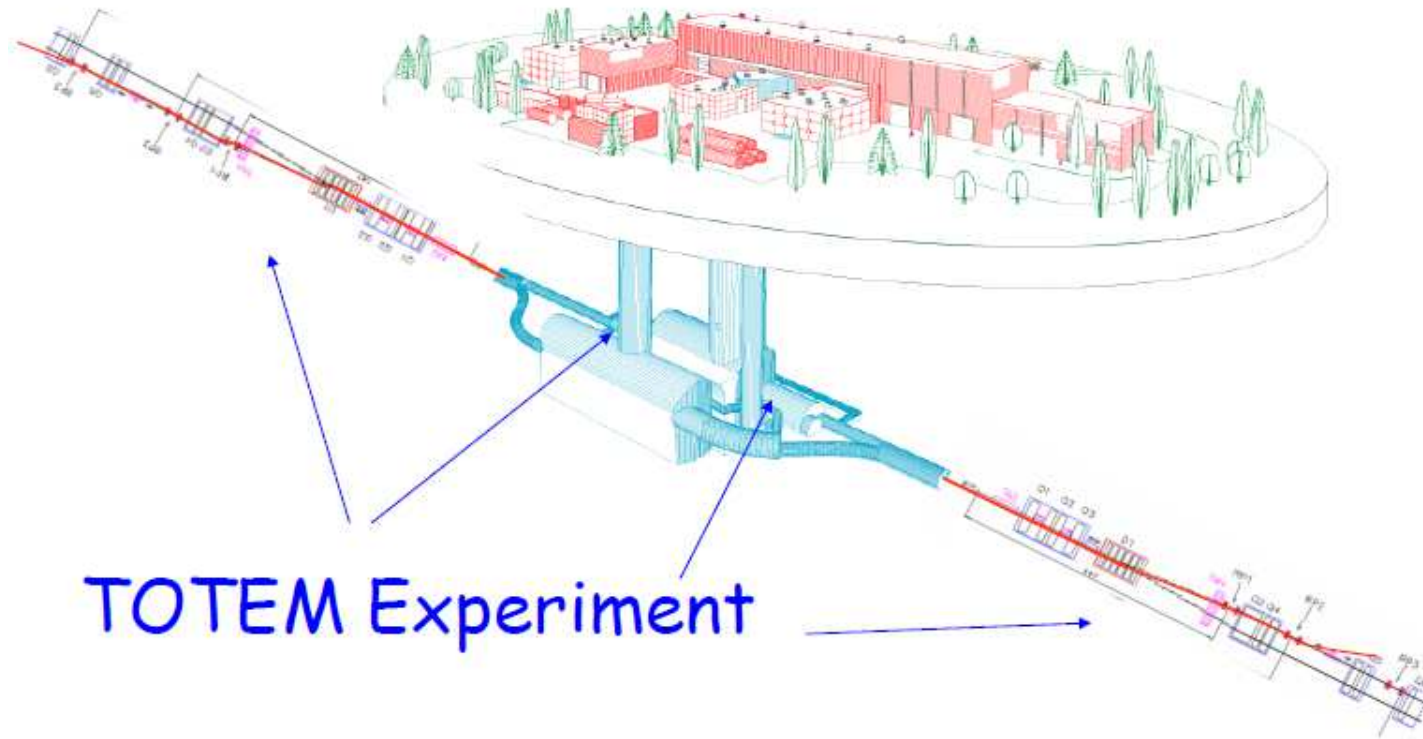
Nemcsak CMS-résztvevők: WFK-sok, CERN-i magyarok

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)

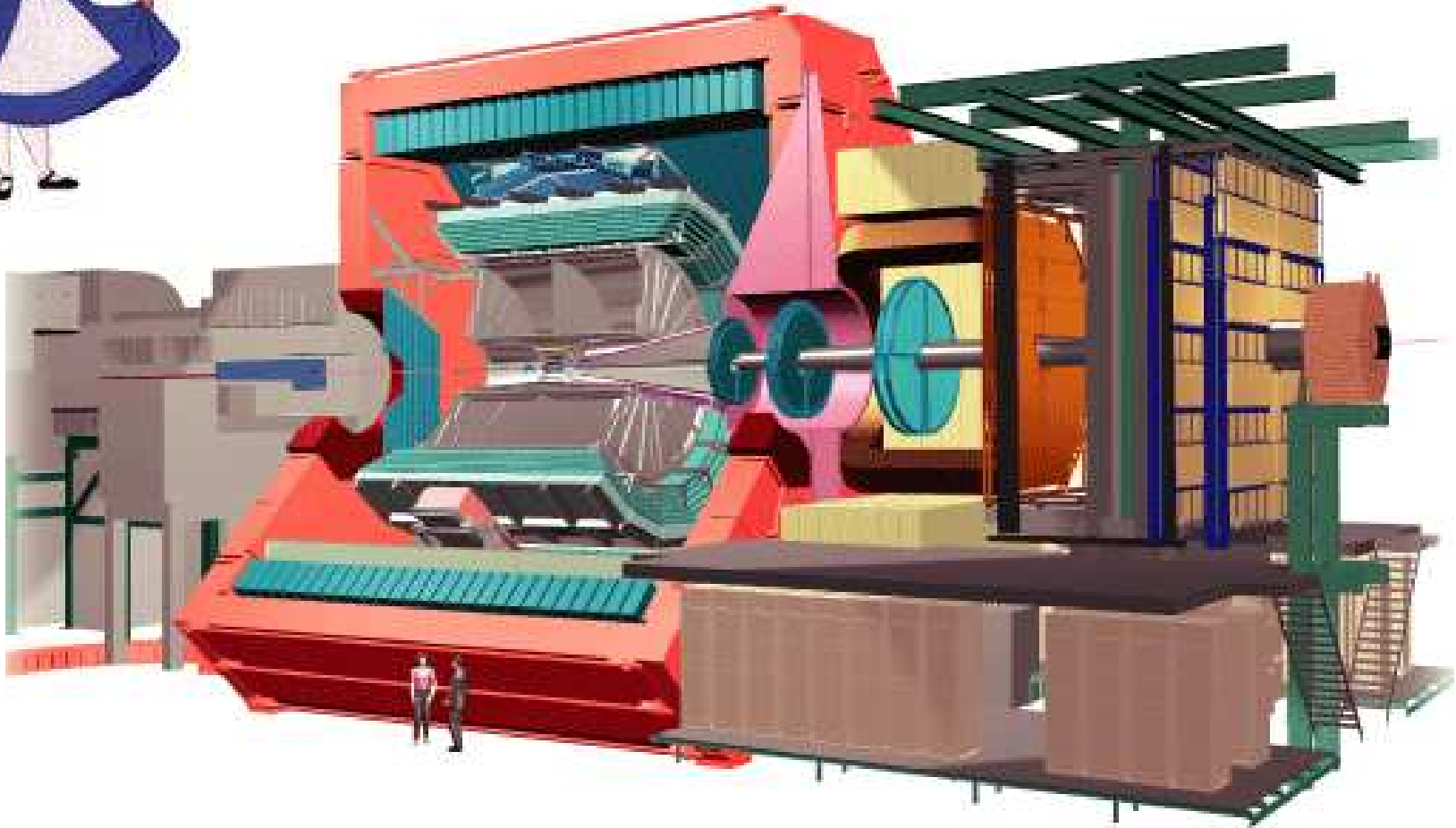
Előreszórt részecskék vizsgálata CMS két oldalán

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-együttműködése

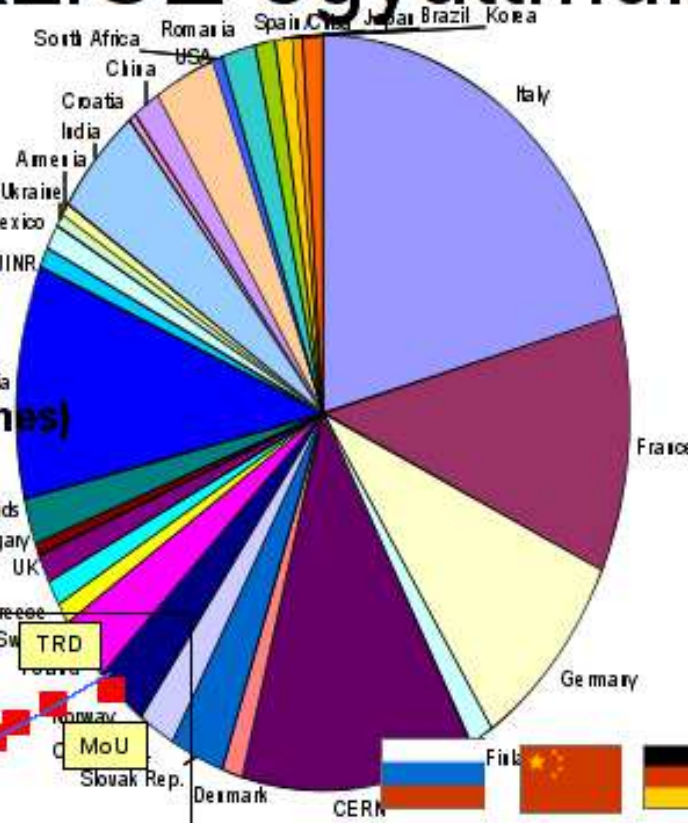
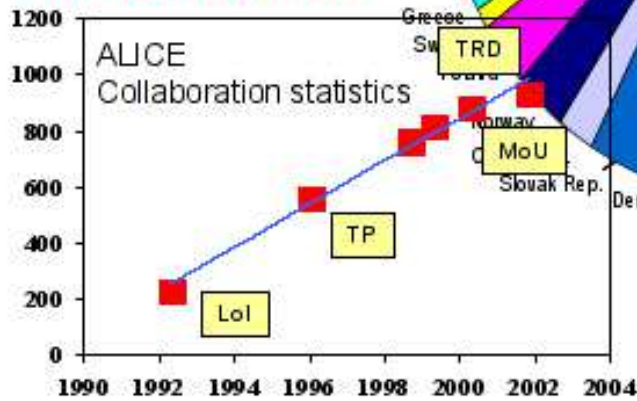


Az ALICE együttműködés



- ~ 1000 résztvevő
- ~ 30 ország
- ~ 100 intézet
- ~ 150 MCHF költség
(+ 'ingyen' mágnes)

További információ:
aliceinfo.cern.ch



Az LHC ALICE-kísérlete: magyarok

WFK, Budapest

Lévai Péter

Agócs András

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

Molnár Levente

Pálla Gabriella

ELTE, Budapest

Berényi Dániel

Kiss Gábor

Nagy Máté Ferenc

Oláh László

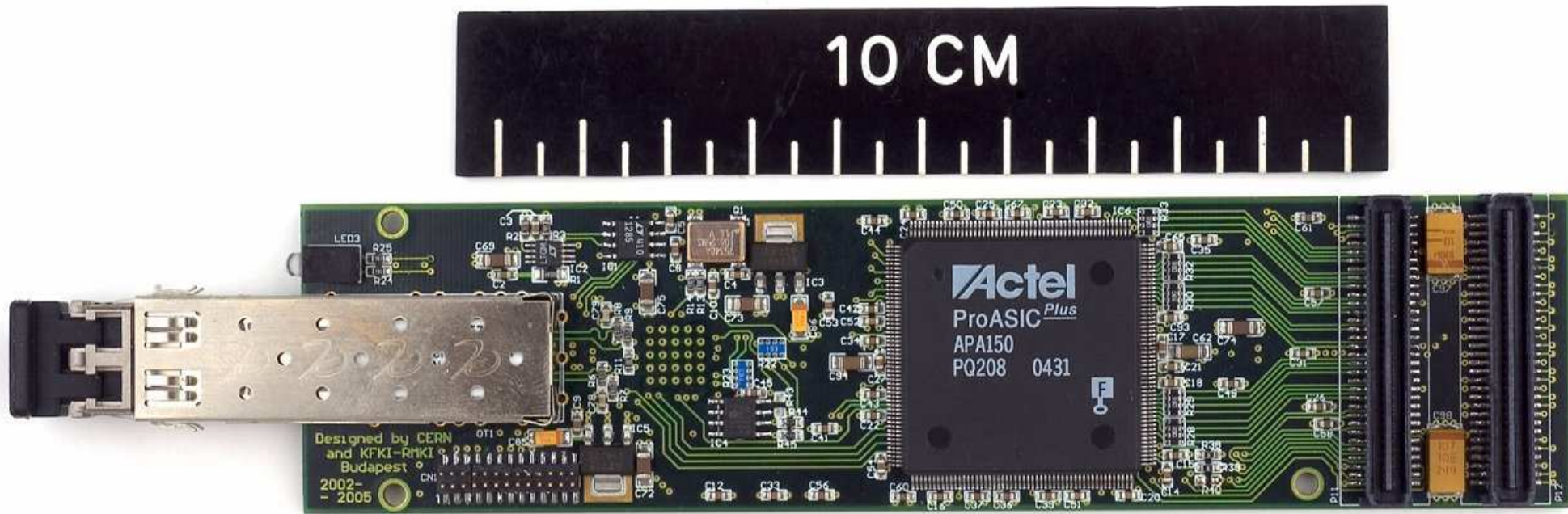
Pásztor Attila

Pochybova Sona

Varga Dezső



Az LHC ALICE-kísérlete: DDL



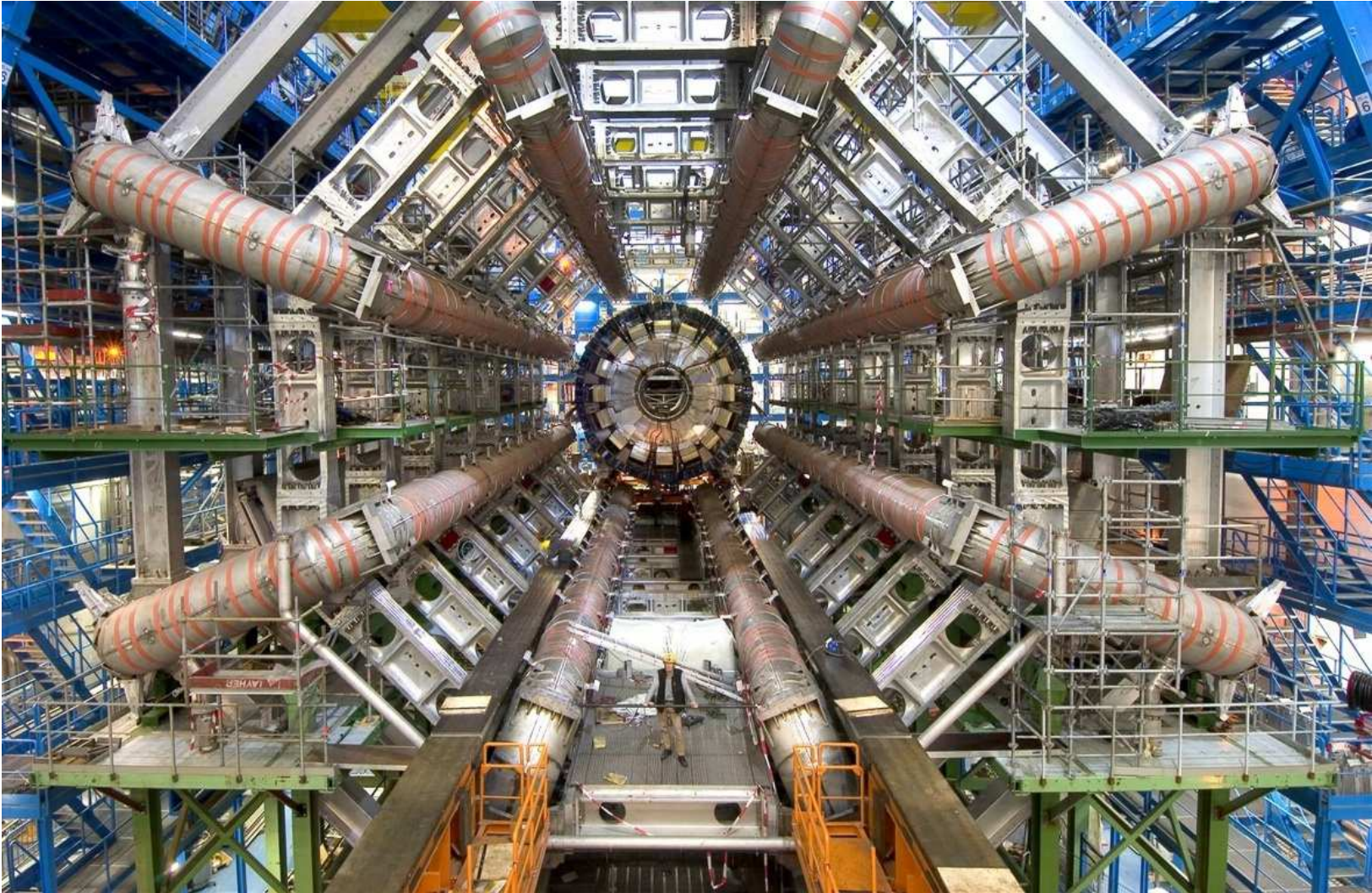
Detector Data Link
gyors detektor-kiolvasó egység
rendkívül jól tűri a sugárzást



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 és Tóth József (WFK),
ifj. Krasznahorkay Attila (ATOMKI és NYU),
Kövesárki Péter (Bonn)

Detektor-fejlesztés (ELTE – WFK)

WFK, Budapest:

Bencze György

Hamar Gergő

Kovács Levente

ELTE, Budapest

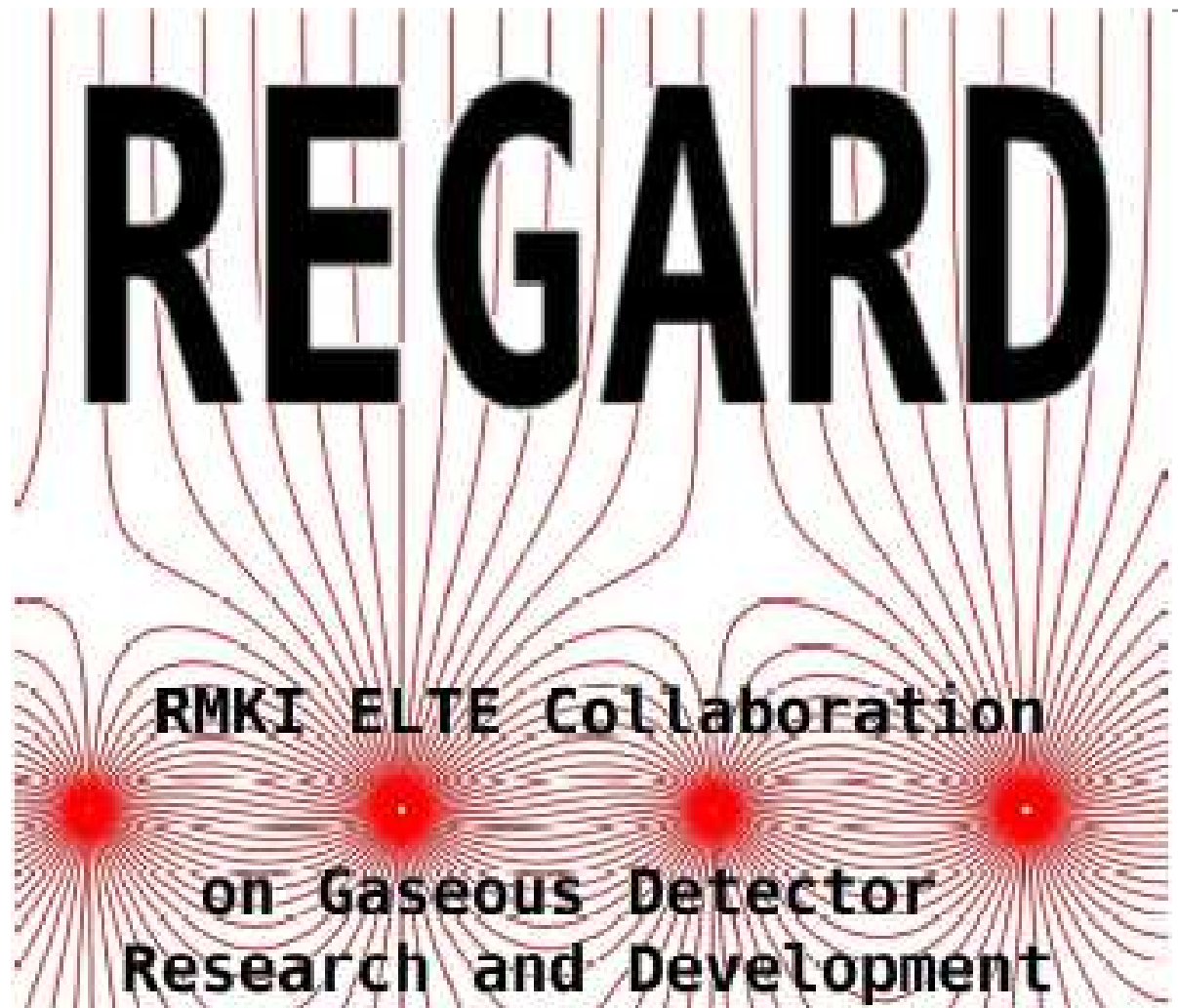
Varga Dezső

Horváth Péter

Kiss Gábor

Márton Krisztina

Oláh László

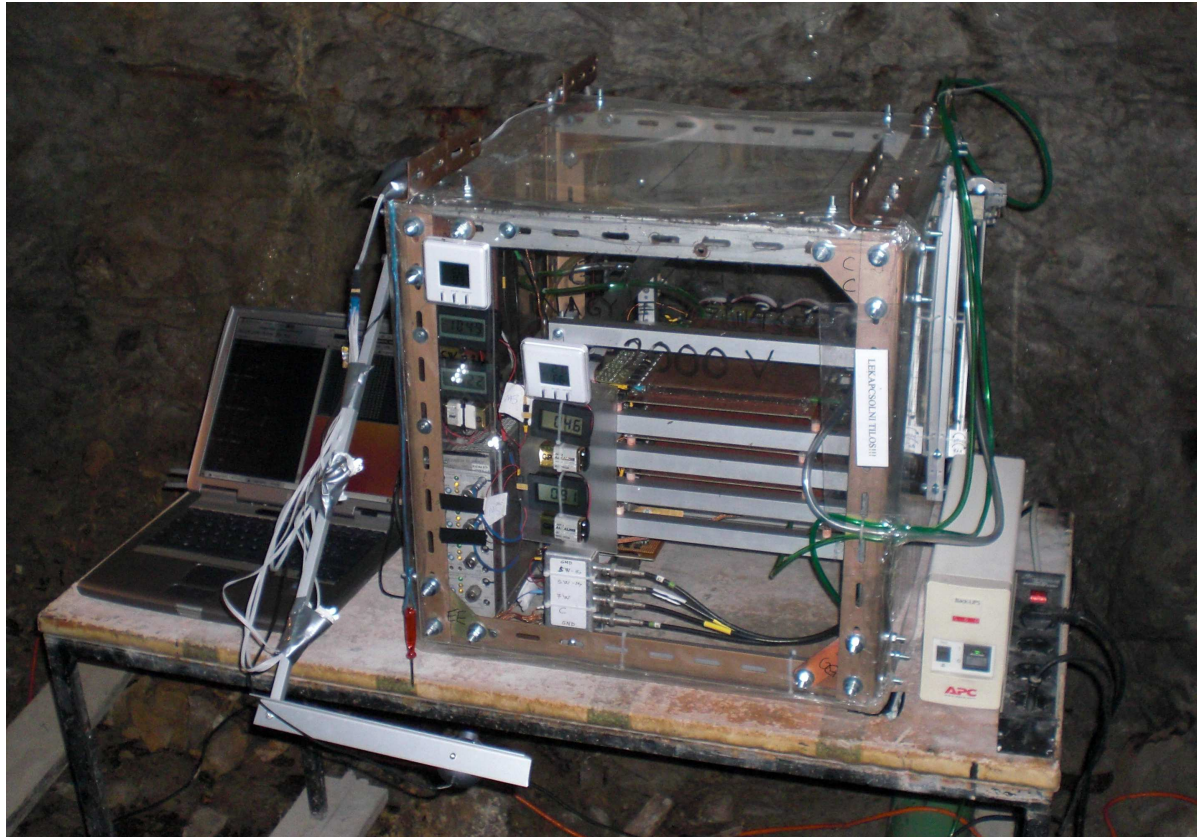


Detektorok építése és ellenőrzése (ALICE, NA61, ...)

Detektor-fejlesztés: müonok barlangban



Közeli-katódú kamra



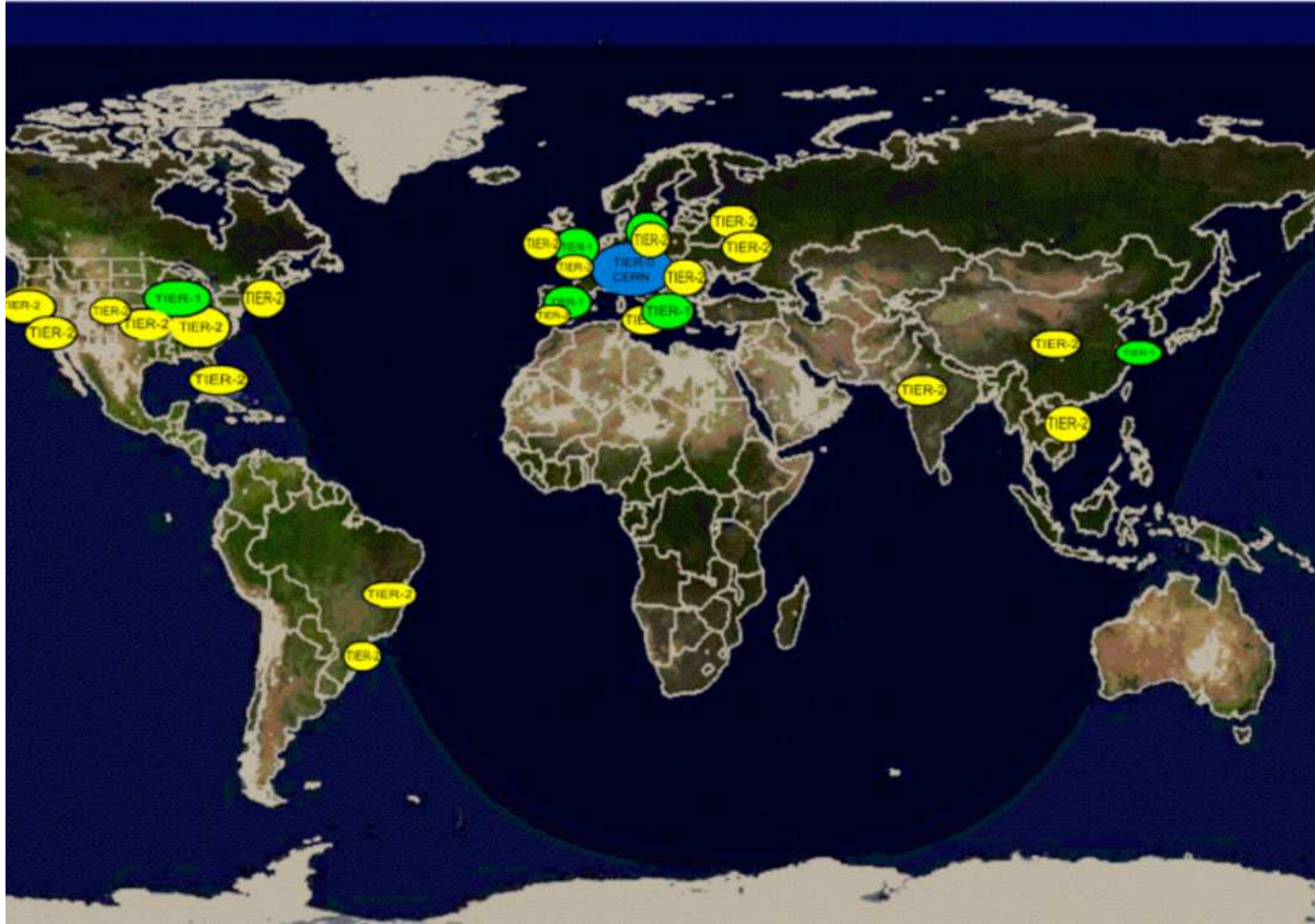
Müon-detektor a budapesti Molnár János-barlangban

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 készül

Akik csinálták/ják

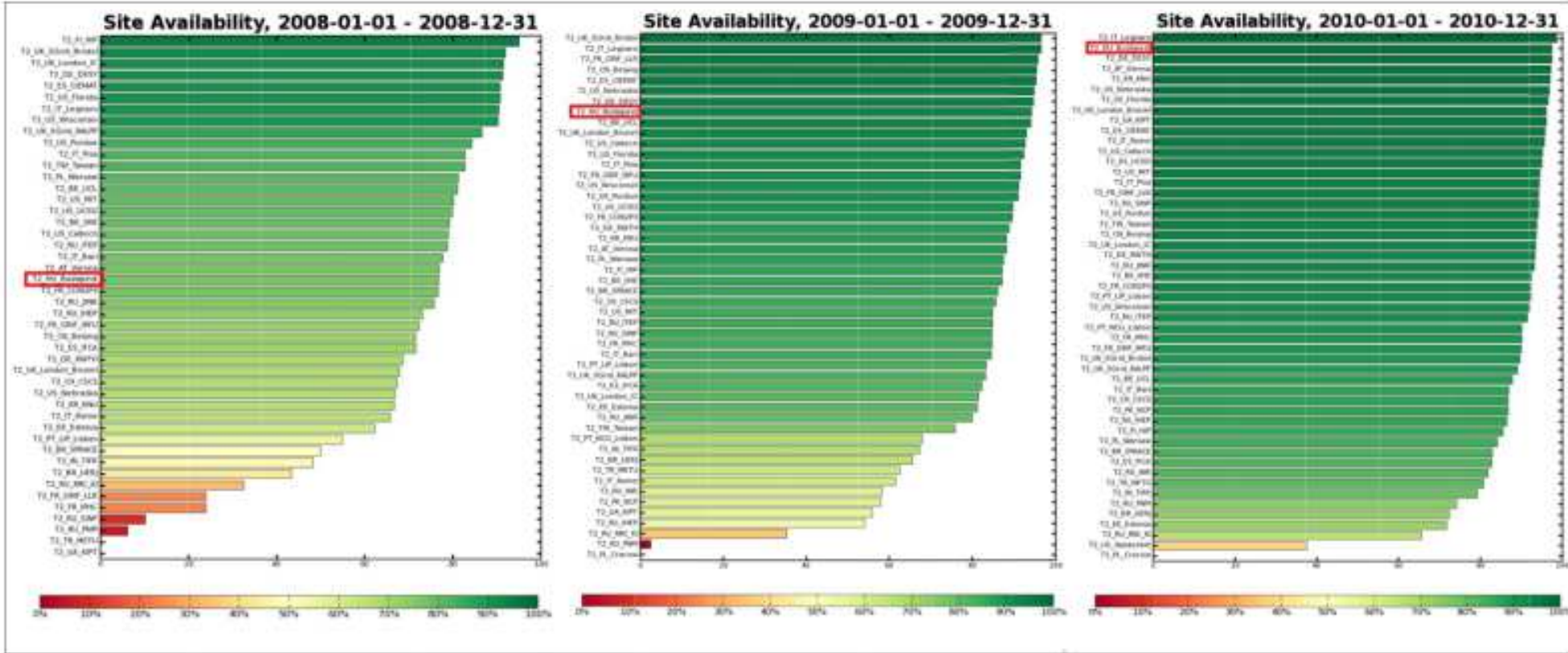
- Technika: KFKI Számítógép-hálózati központ
- PC-hardver: Hajdu Csaba és Hernáth Szabolcs
- LCG: Hernáth Szabolcs és Somhegyi Benjámín
- Grid-biztonság: Debreczeni Gergely
- HunGrid: Hernáth Szabolcs, Szeberényi Ágnes, Házi András
- CMS: Hajdu Csaba
- CA-RA: Hernáth Szabolcs
- JRU, CERN-kapcsolat: Vesztergombi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

A CMS Tier-2-i: megbízhatóság

2008

2009

2010



Az WFK T-2 állomása gyorsabban javult, mint a többi, és felverekedte magát a 2. helyre. Megkaptuk a Tier-0-t!