

Magyarország és a CERN

*Előadás fizikatanárok részére
(CERN, 2016)*

Horváth Dezső

horvath.dezso@wigner.mta.hu

Wigner FK RMI, Budapest és ATOMKI, Debrecen

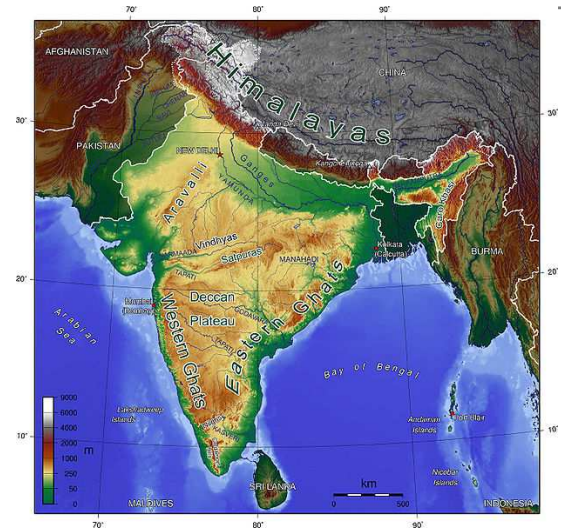
A felfedezés rögös útja, 1492

A kutatás
frontvonala:

Az
Atlanti-óceán
partja



A kutatás
célja:
India elérése



A kutatás
eszköze:
Columbus hajói



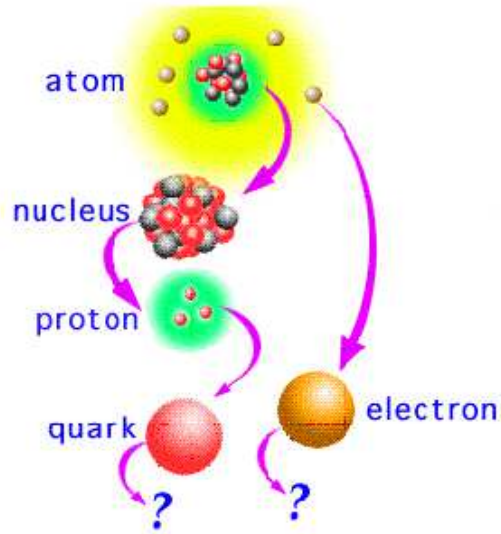
A kutatás
eredménye:
Amerika
felfedezése



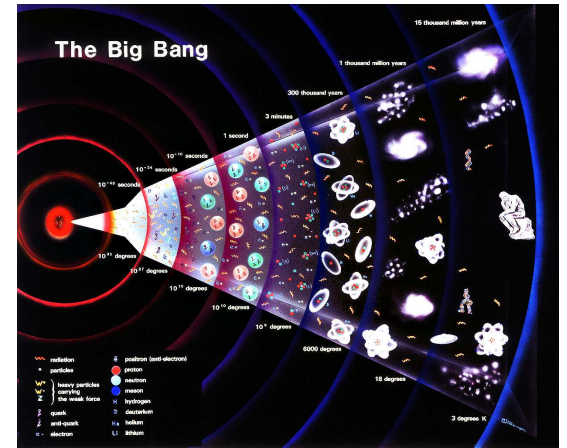
(Vesztergombi György † után)

A felfedezés rögös útja, 2009 – ??

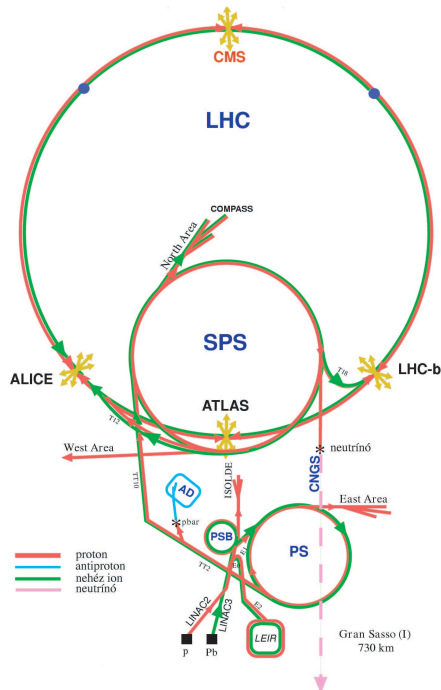
A kutatás frontvonala:
Az anyag mély szerkezete



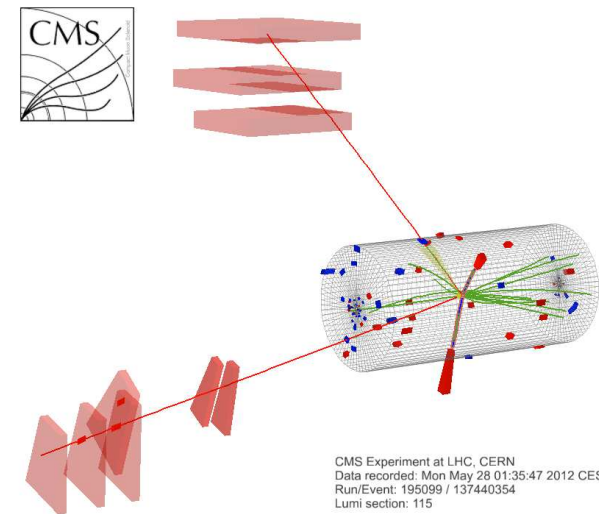
A kutatás célja:
Higgs-bozon, űsrobbanás utáni állapot



A kutatás eszköze:
nagyenergiájú gyorsítók



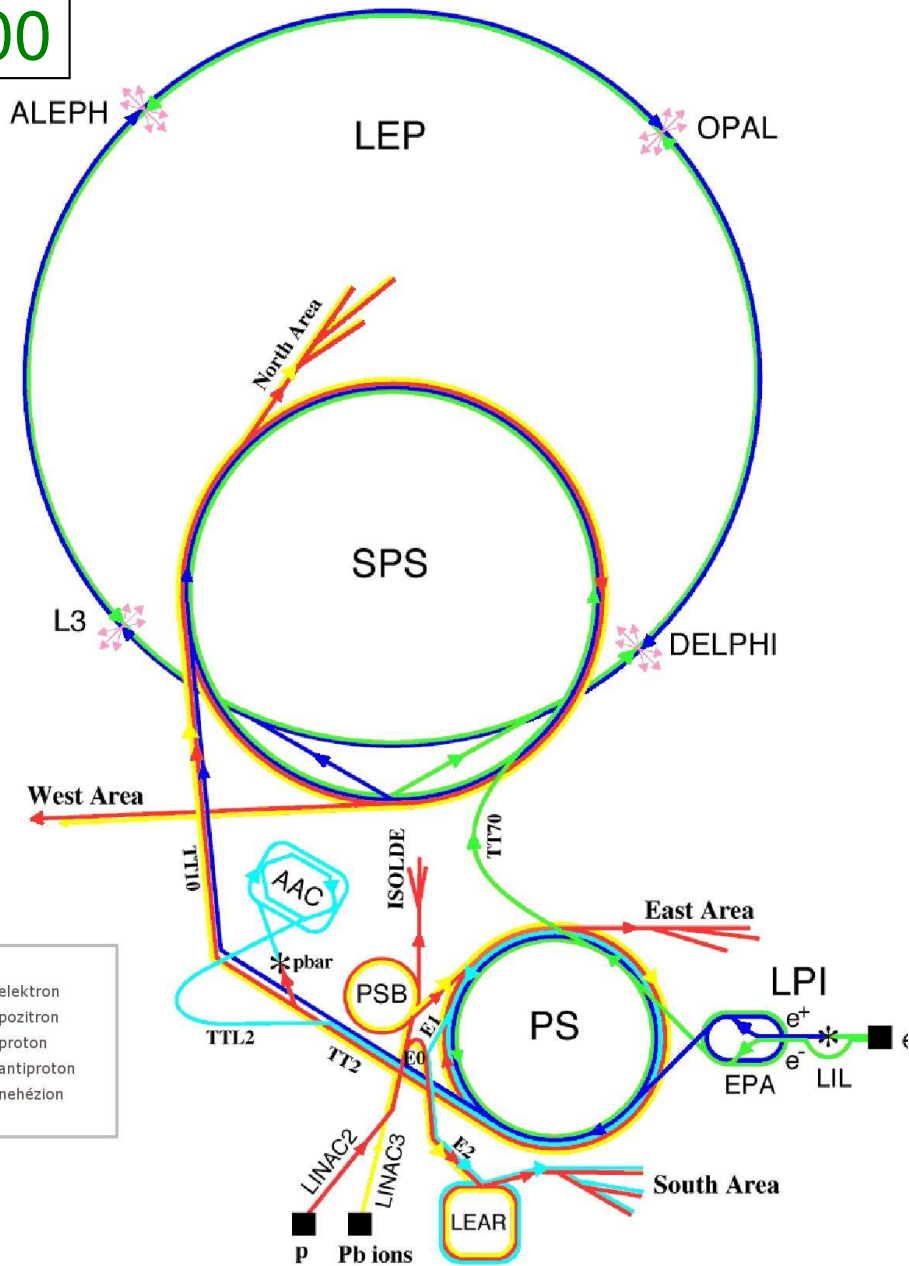
A kutatás eredménye:
Higgs-bozon!
Új fizika?



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

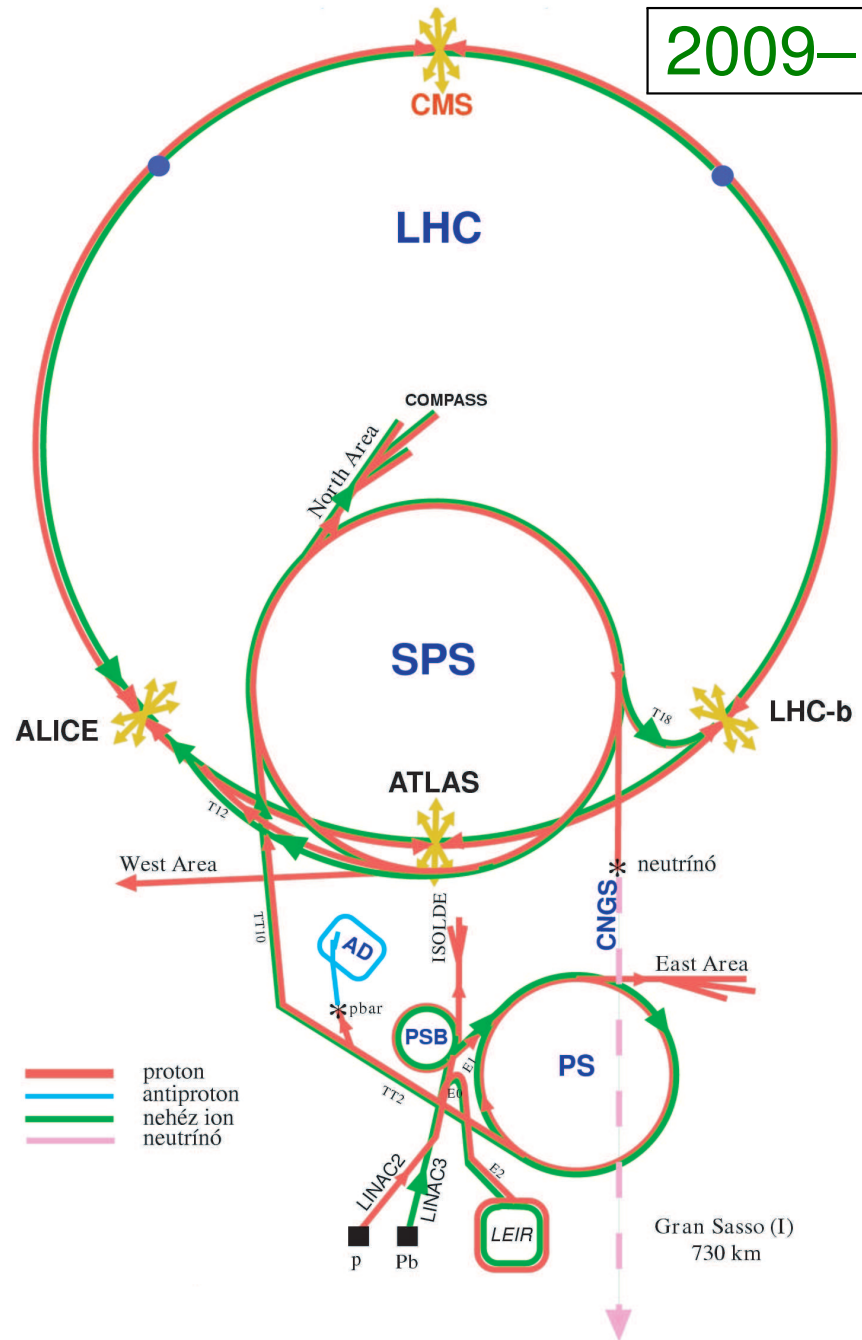
A CERN gyorsítói

–2000



- elektron
- pozitron
- proton
- antiproton
- nehézion

2009–



- proton
- antiproton
- nehéz ion
- neutrínó

A CERN antiproton-lassítója (AD)

a *CPT*-invariancia (anyag = antianyag) ellenőrzésére épült

CPT-kísérletek az AD-nál:

ALPHA & ATRAP:

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

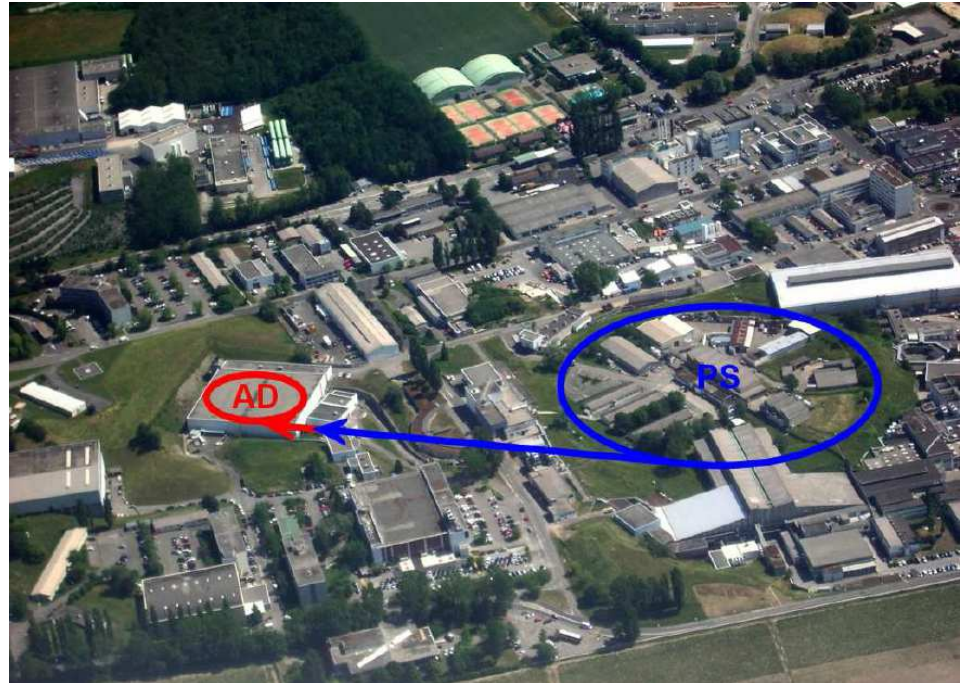
BASE: $\mu_e(\bar{p}) \leftrightarrow \mu_e(p)$

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

AEGIS & GBAR: \bar{H} súlya

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

$$\mu_e(\bar{p}) \leftrightarrow \mu_e(p) \quad \mu(\bar{H})$$



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 (Tokió → Wigner), Horváth Dezső, Zalán Péter (WFK), Juhász Bertalan (ATOMKI→SMI→XX), Radics Bálint (Tokió → Zürich), Tőkési Károly (ATOMKI), Sótér Anna (ELTE→MPQ), Ujvári Balázs (DE)



Particle Physics Review, 2014

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

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
<7 × 10⁻¹⁰	90	1 HORI	11 SPEC	$\bar{p}e^-$ He atom
• • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • •				
<2 × 10 ⁻⁹	90	1 HORI	06 SPEC	$\bar{p}e^-$ He atom
<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

$$|q_p + q_{\bar{p}}|/e$$

A test of *CPT* invariance. Note that the comparison of the \bar{p} and p charge-to-mass ratios given above is much better determined. See also a similar test involving the electron.

VALUE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
<7 × 10⁻¹⁰	90	1 HORI	11 SPEC	$\bar{p}e^-$ He atom
• • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • •				
<2 × 10 ⁻⁹	90	1 HORI	06 SPEC	$\bar{p}e^-$ He atom
<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
<2 × 10 ⁻⁵		3 HUGHES	92 RVUE	

Kétfotonos, Doppler-mentes spektroszkópia

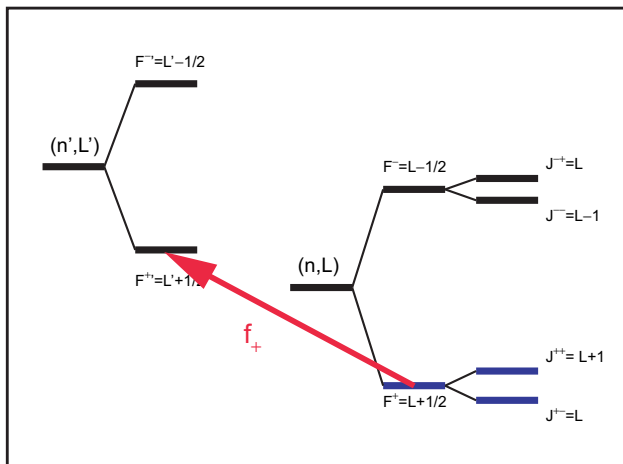
M. Hori, ..., A. Sótér, D. Barna, ... B. Juhász, ... D. Horváth: *Nature* 475 (2011) 484-488

Diplomamunka: Juhász Bertalan, Ujvári Balázs, Sótér Anna

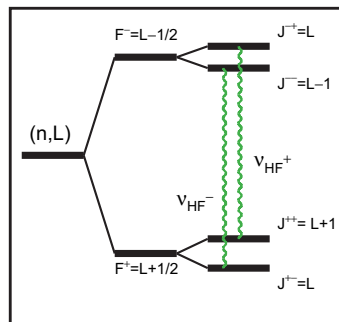
PhD: Juhász Bertalan, Sótér Anna



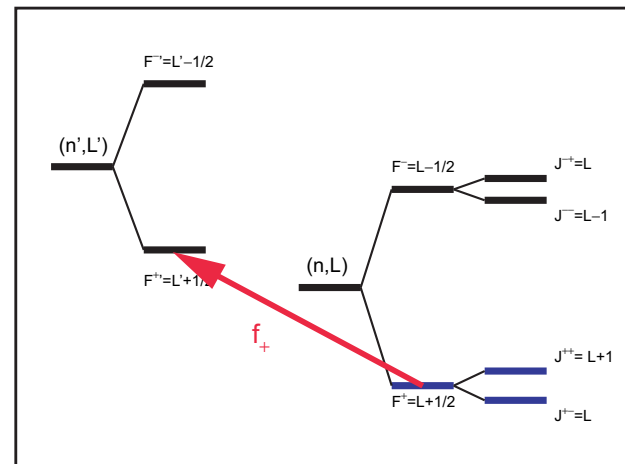
$\mu(\bar{p})$: vonal-felhasadás $\bar{p}\text{He}^+$ -ban



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



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

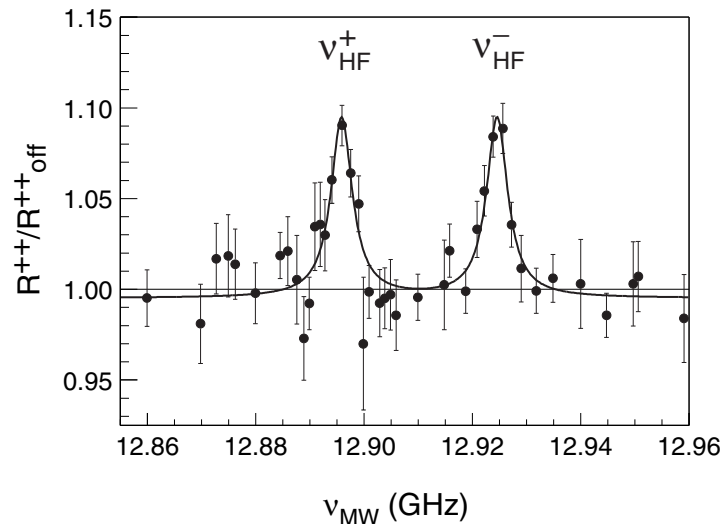


Step 3: probing of population of F^+ doublet with 2nd f_+ laser pulse

Mágneses momentumok

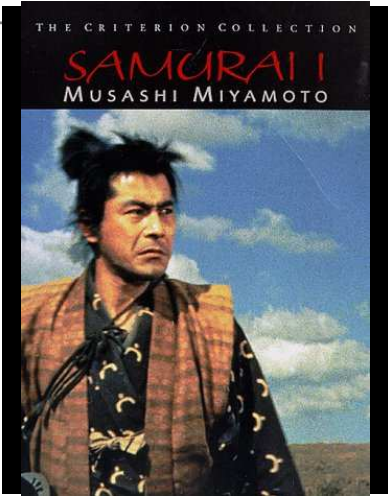
$\mu(p) \sim \mu(\bar{p}) \Rightarrow CPT\text{-invariancia OK}$

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)

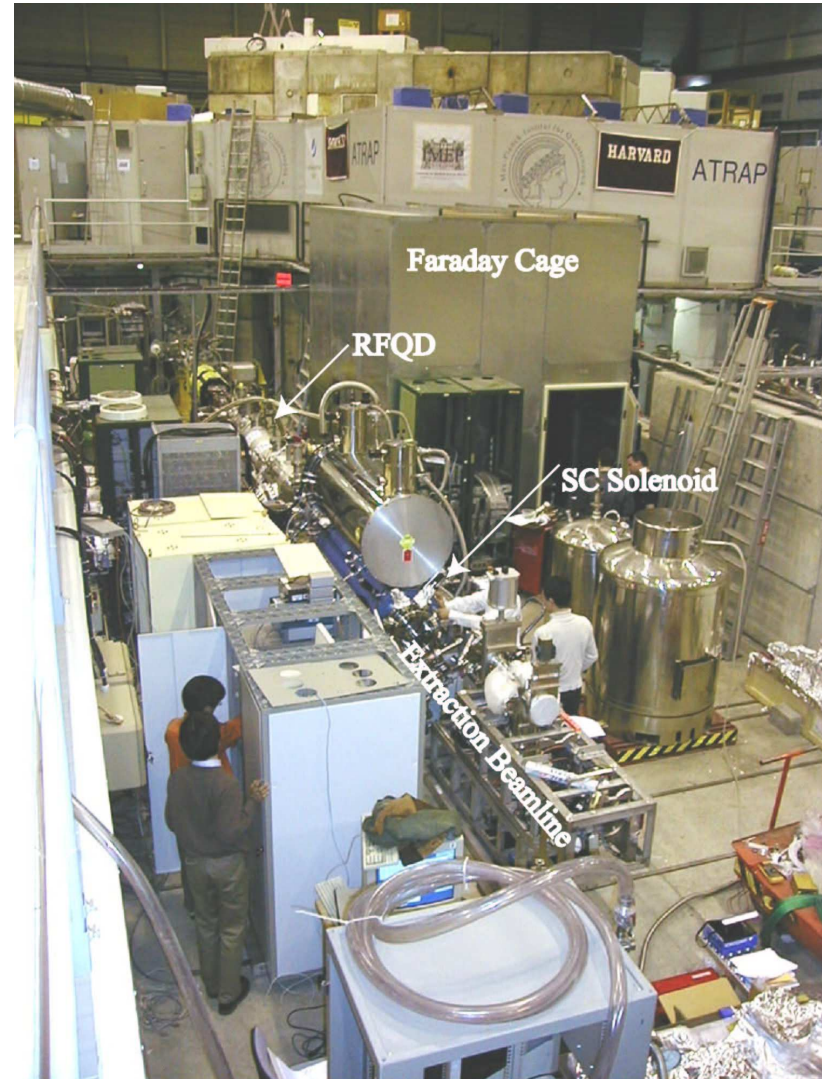
5×10^6 \bar{p} csapdában hűtve (2002)

$> 5 \times 10^5$ 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.



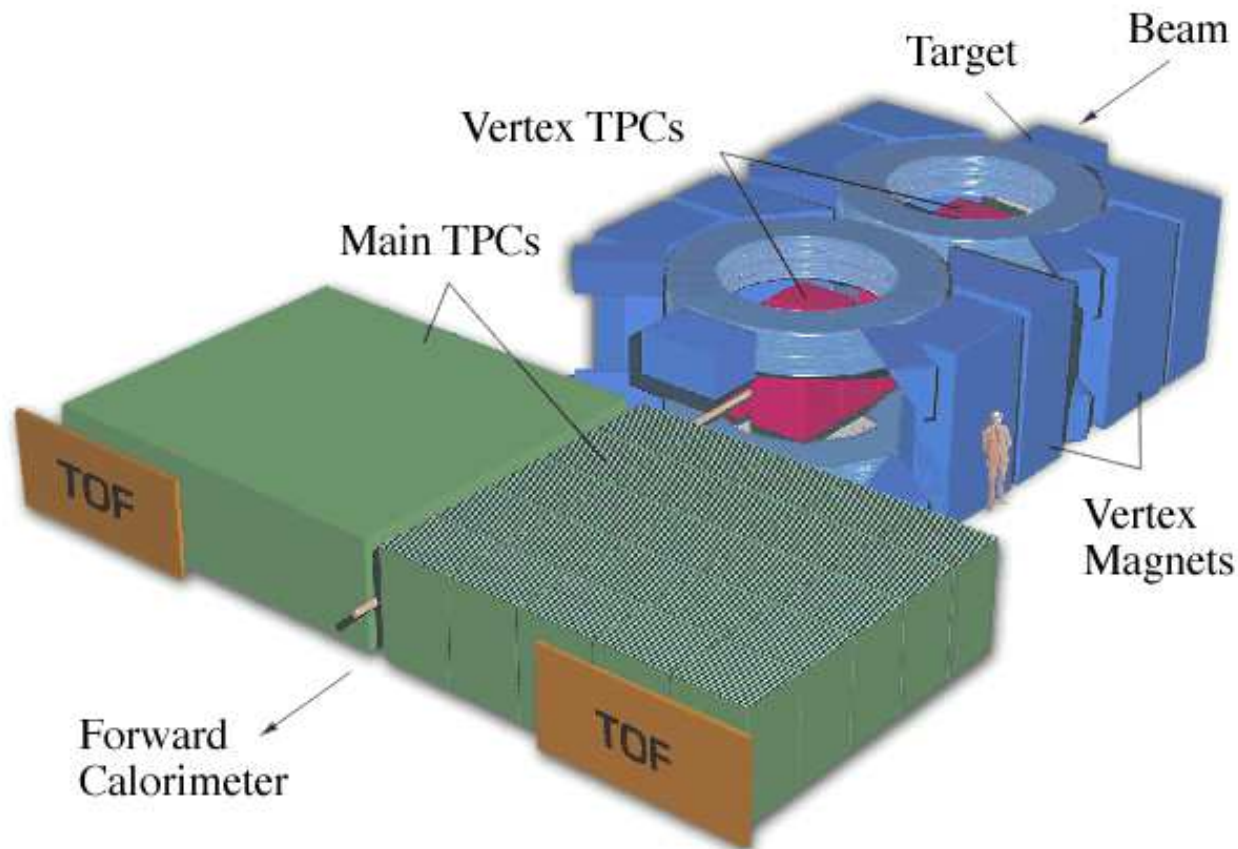
N. Kuroda, ..., D. Barna, ... D. Horváth, ..., Y. Yamazaki: **Phys. Rev. Lett.** 100 (2008) 203402.

Nehézion-fizika: NA49 → NA61

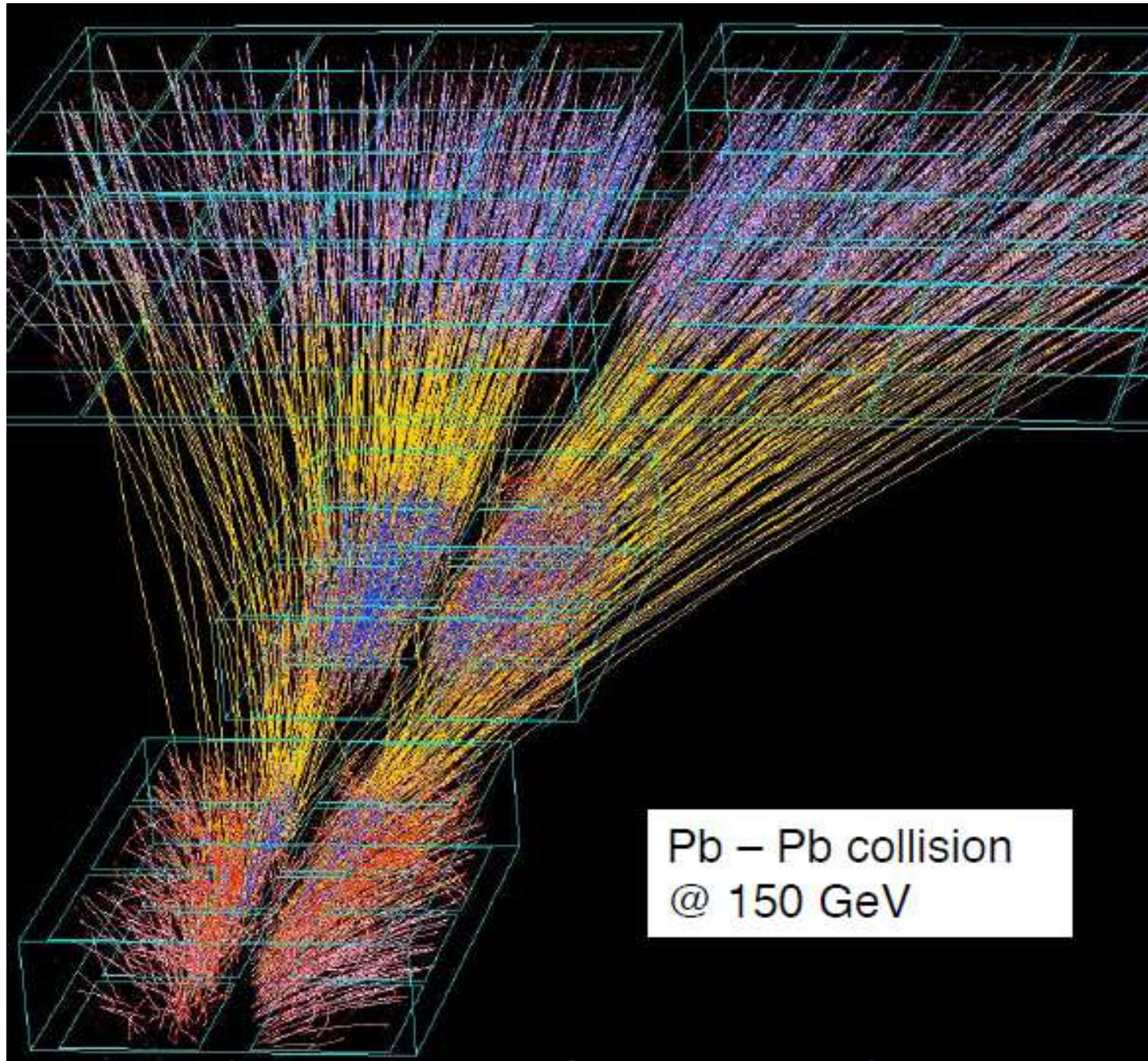
Társalapító és próféta: Vesztergombi György †

Technikai koordinátor: Fodor Zoltán

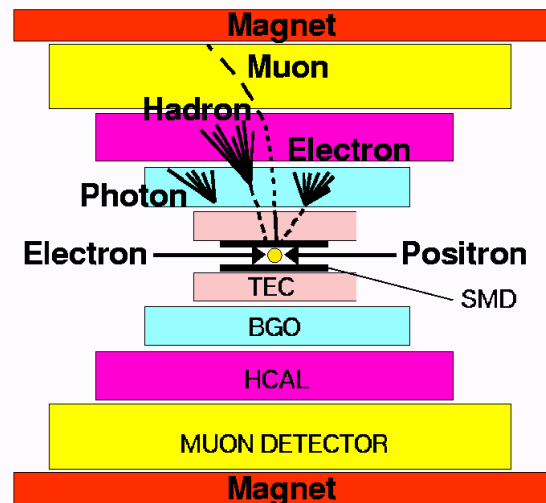
Számos diplomamunka és PhD (ELTE): Siklér Ferenc,
Veres Gábor, Varga Dezső, Barna Dániel, László András,
Márton Krisztina



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)

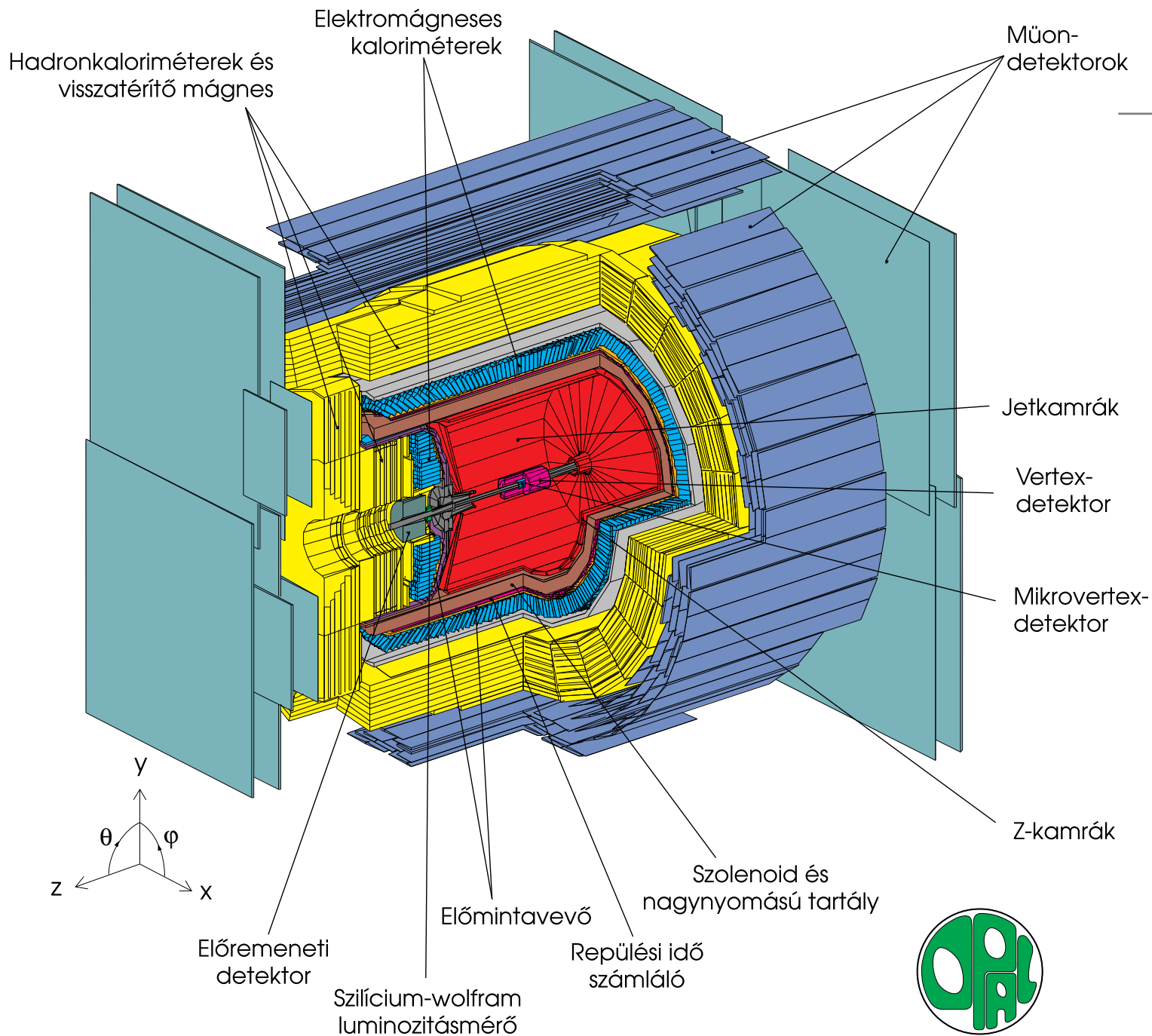
diploma-
munkás
doktorandusz
OPAL–PhD

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	$\gamma\gamma$

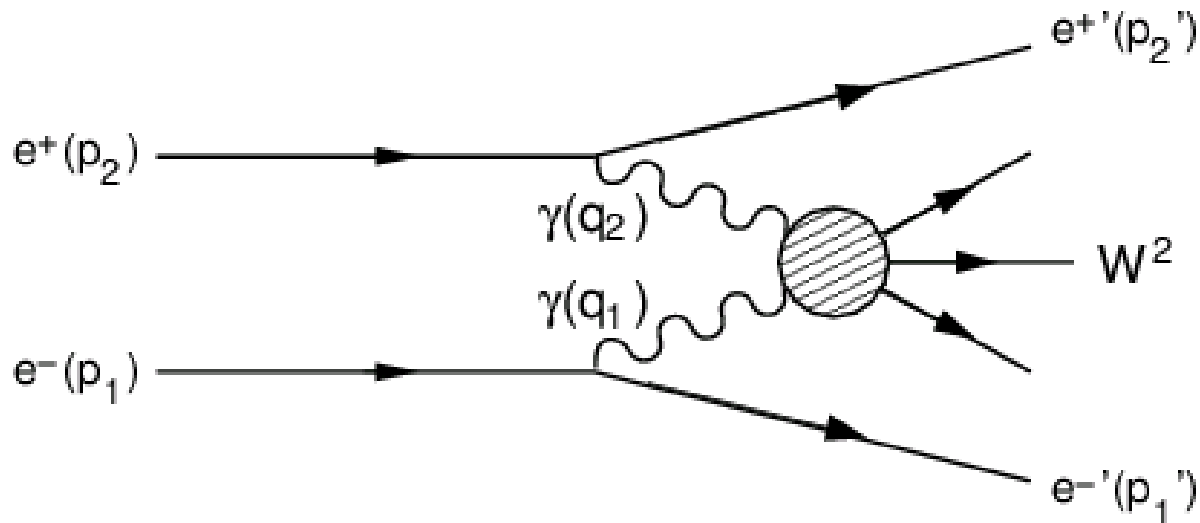


Az OPAL detektor

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

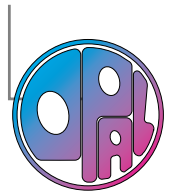
LEP: keltés párban (ha egyáltalán): $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$

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

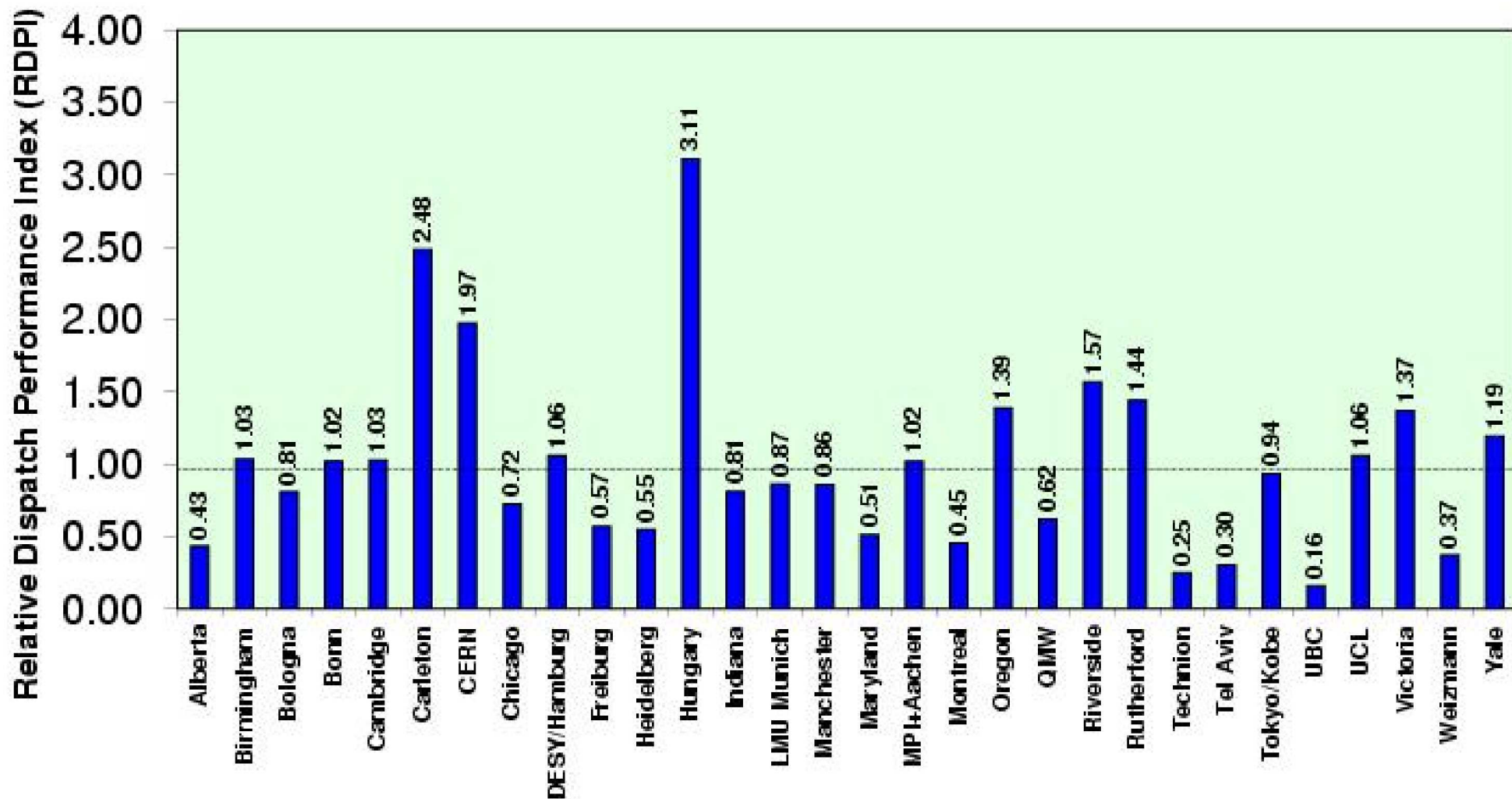
Három csatorna \Rightarrow három analízis:

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

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



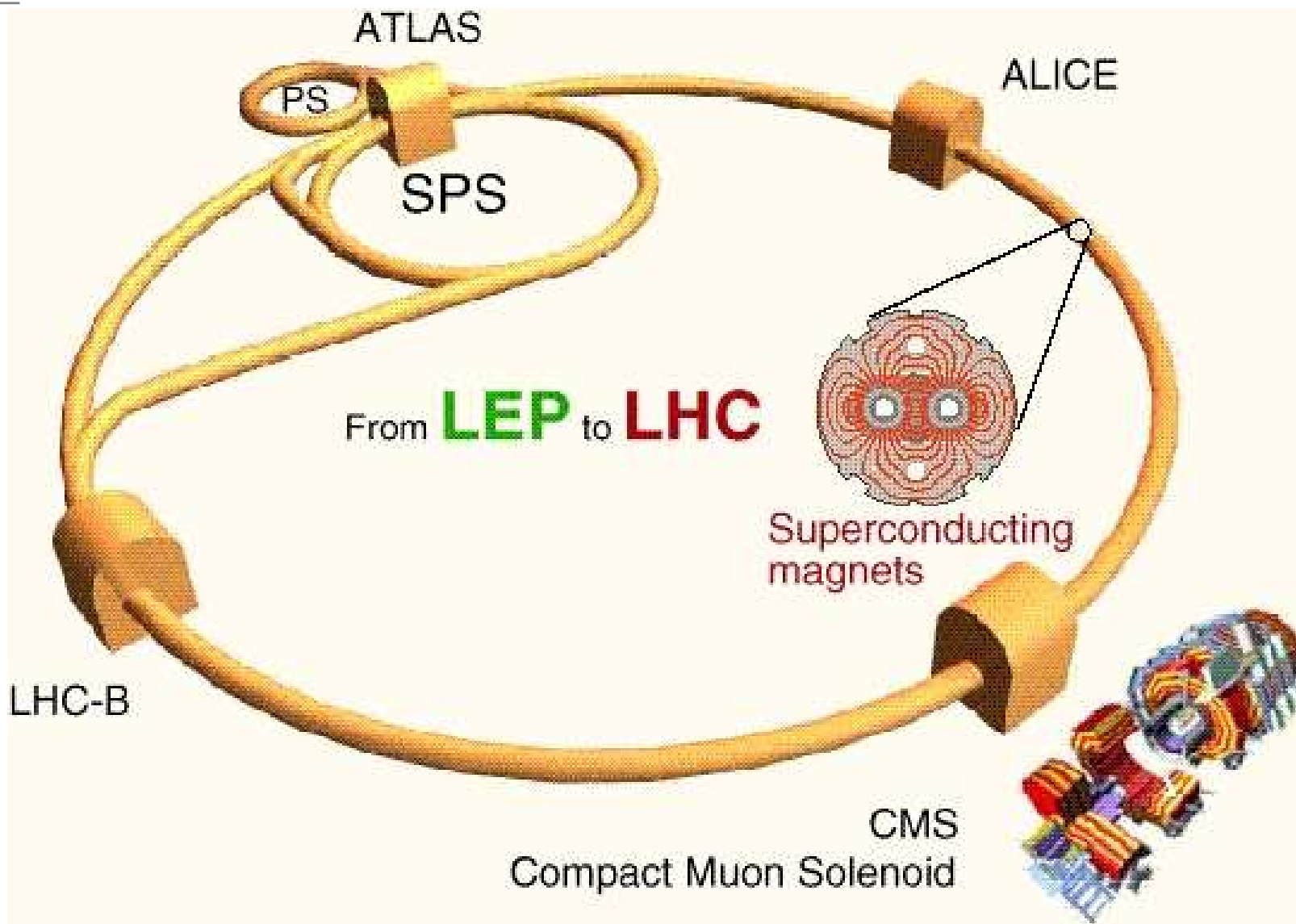
Az OPAL publikációs aktivitása, 2001



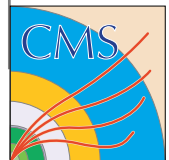
A versenyt 2002-ben végleg megnyertük



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

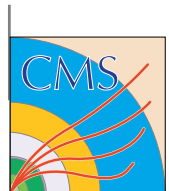
Detektorépítésben magyar részvétel:

Müondetektor pozicionáló rendszere:

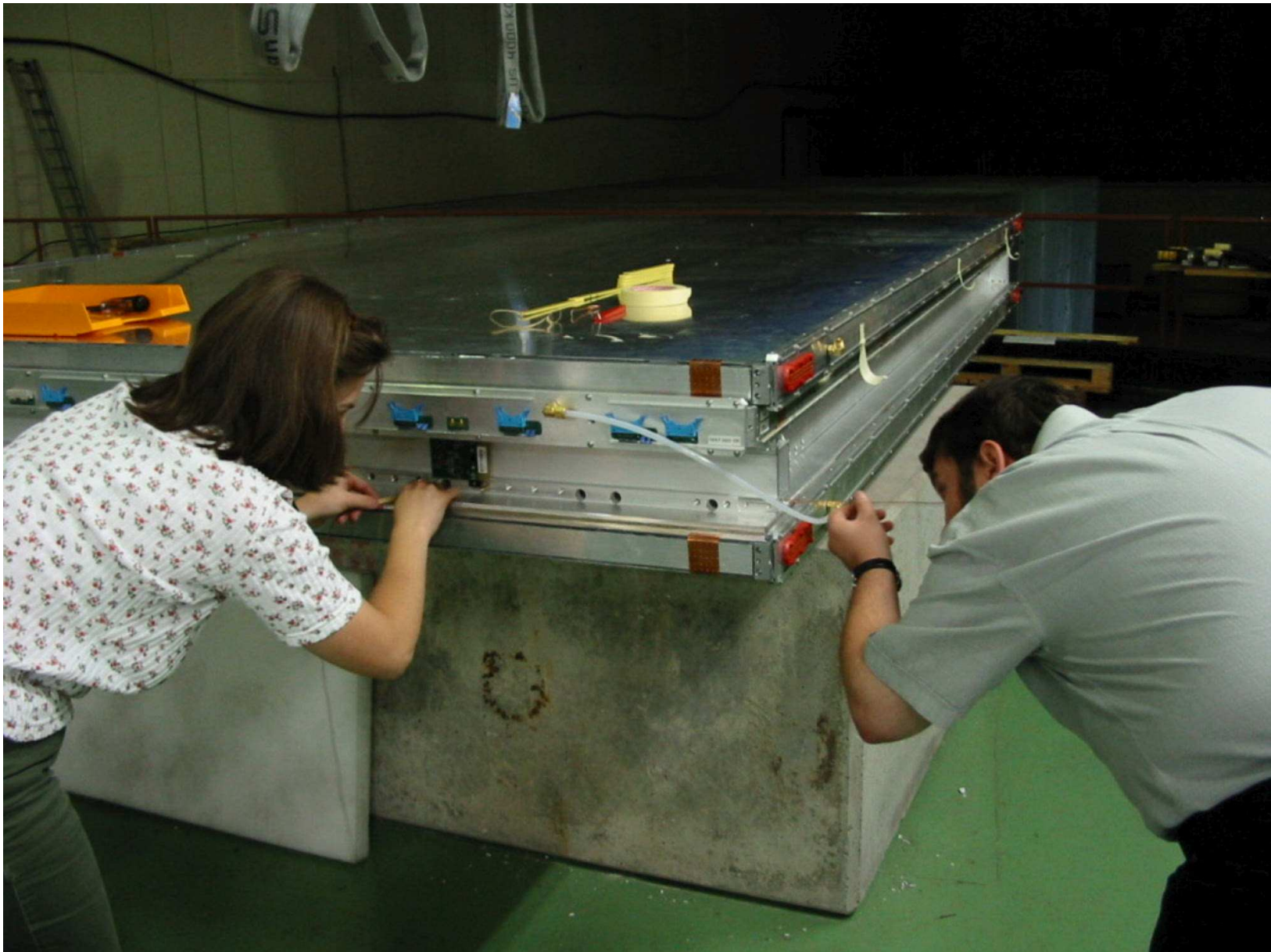
DE Kisérleti Fizika Tanszék és ATOMKI, össz. 16 fő

Very Forward Calorimeter: WFK, össz. 20 fő

Adatkezelés: LHC Computing Grid



Munka a műonkamrákon



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)

Szákalibráció kész darabon

CMS: magyar résztvevők

ATOMKI
Debrecen

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

Debreceni
Egyetem

Bartók Márton
Raics Péter
Trócsányi Zoltán
Ujvári Balázs
Zilizi Gyula

Eötvös Egyetem

Pásztor Gabriella
Veres Gábor

Wigner FK
Budapest

Bencze György
Hajdu Csaba
Hidas Pál †
Horváth Dezső
Imrek József
Krajczár Krisztián

Wigner FK
(folyt.)

Siklér Ferenc
Vámi Tamás
Veszprémi Viktor
Vesztergombi
György †
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†)



CMS-vezérlő, 2012 május 2, 15h 45p



<http://cms.web.cern.ch/content/cms-control-room-webcams>

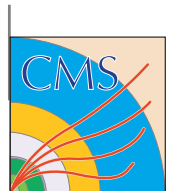
DCS-koordinátor: Szillási Zoltán, ATOMKI; DQM-felügyelő: HD

Ügyelet: Spanyol, holland, kínai, francia, orosz, magyar



Magyar CMS-munkák: fizikai analízis

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



CMS: közös szemináriumok

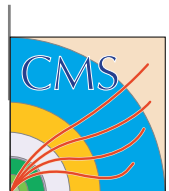
Hétfőnként az WFK - ATOMKI - CERN háromszögben,
médiatermek összekapcsolásával

Általában 10-15 résztvevő, komoly aktivitással

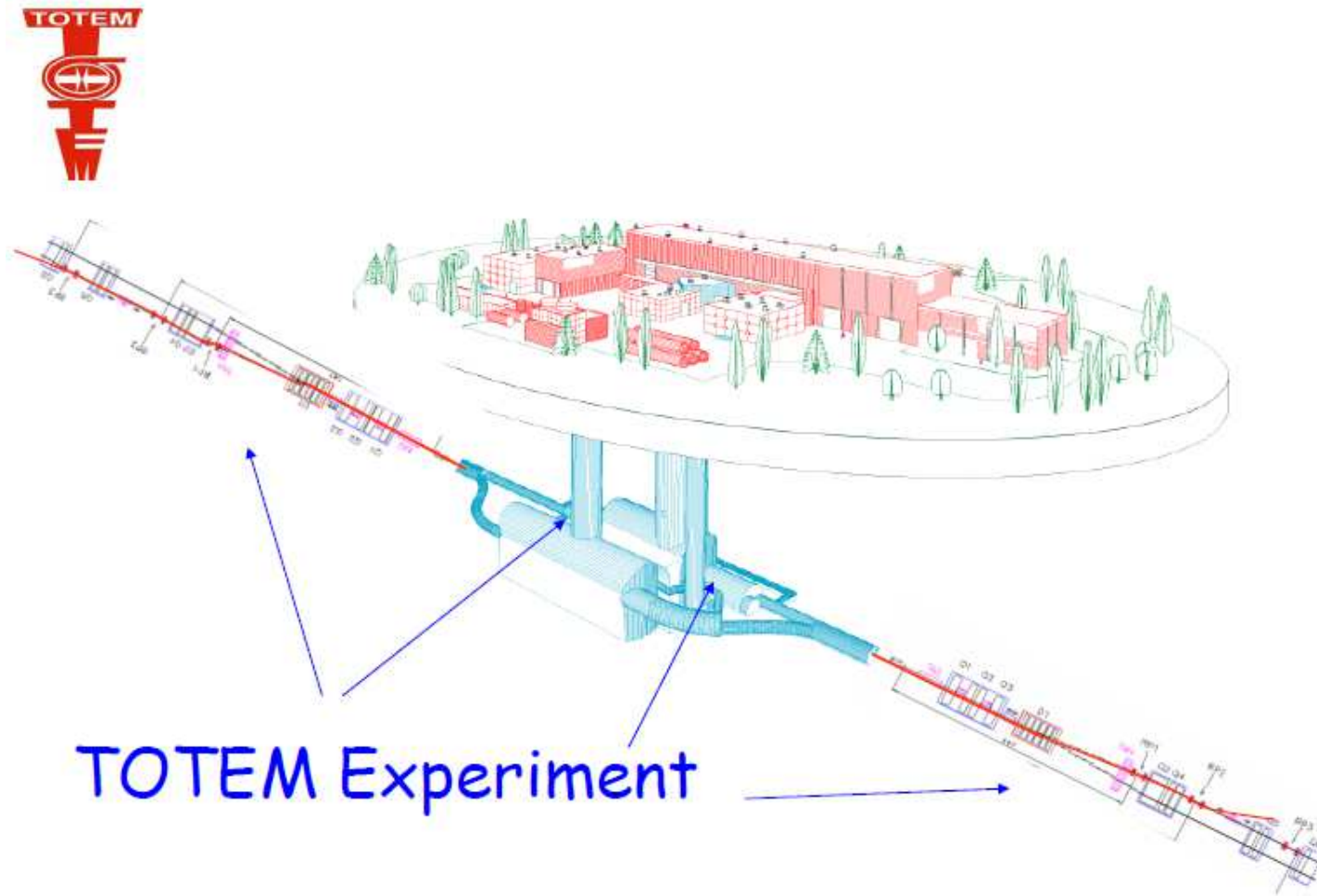
Nemcsak CMS-résztvevők: WFK-sok, CERN-i magyarok

Előadások anyaga

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



Az LHC TOTEM-kísérlete



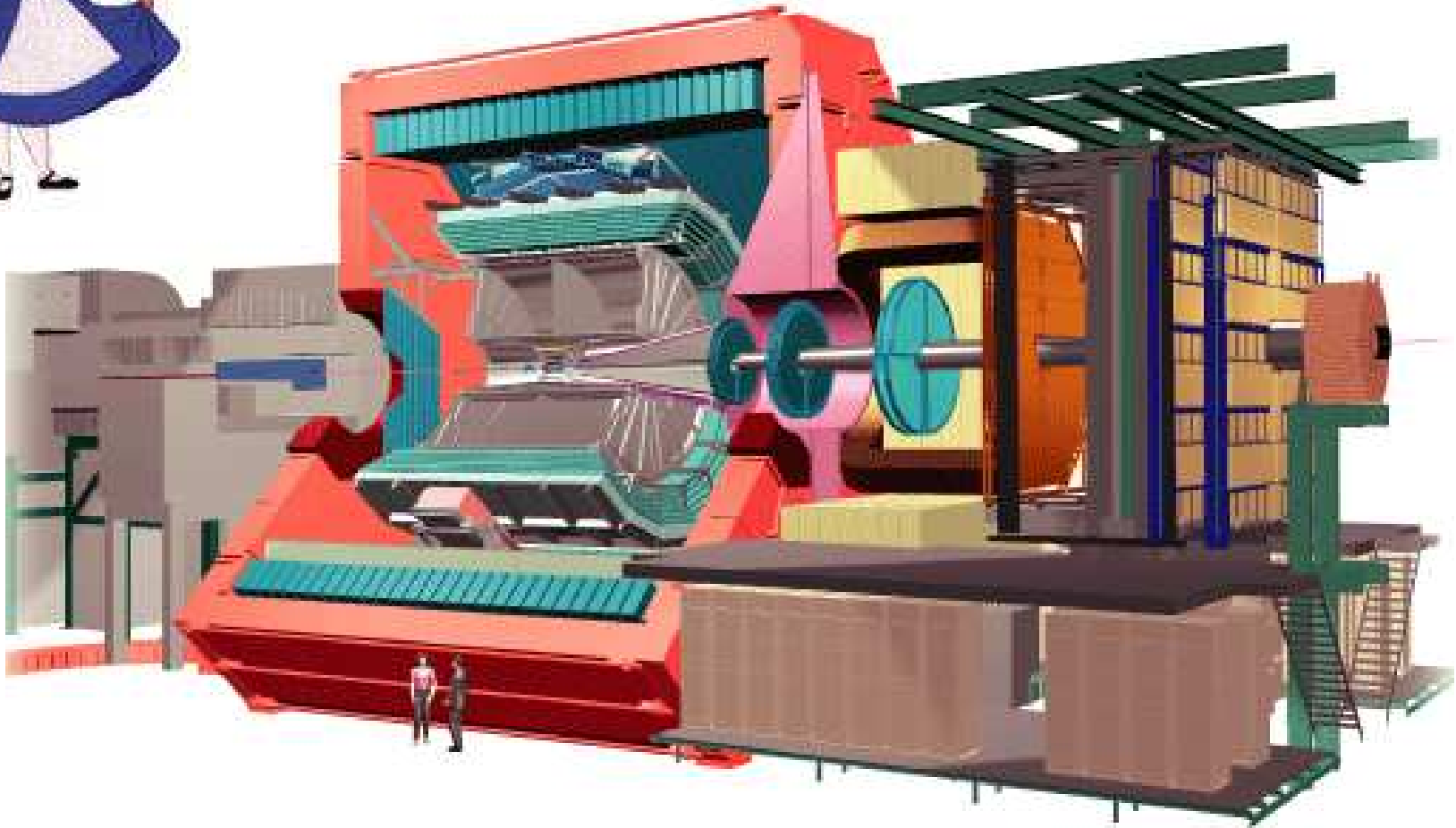
Csörgő Tamás, Novák Tamás, Ster András, Sziklai János (WFK),
Csanád Máté, Nemes Frigyes (ELTE)

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

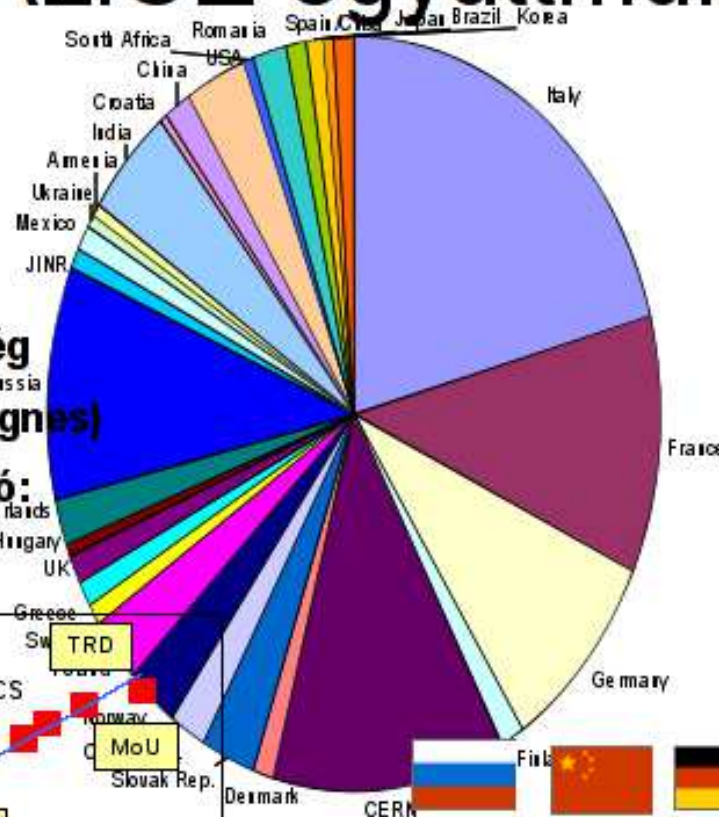
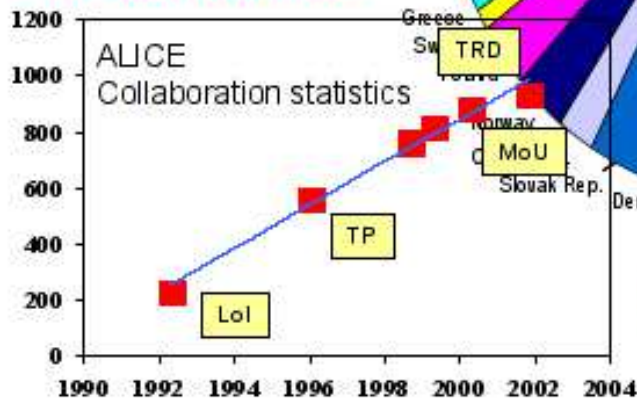


Az ALICE együttműködés



- ~ 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

Barnaföldi Gergely Gábor

Bencze György

Bencédi Gyula

Boldizsár László

Dénes Ervin†

Fodor Zoltán

Futó Endre

WFK, Budapest

Hamar Gergő

Kalmár Gergely

Kiss Tivadar

Lipusz Csaba

Lowe Andrew

Pálla Gabriella

Pochybova Sona

Varga Dezső

ELTE, Budapest

Berényi Dániel

Kiss Gábor

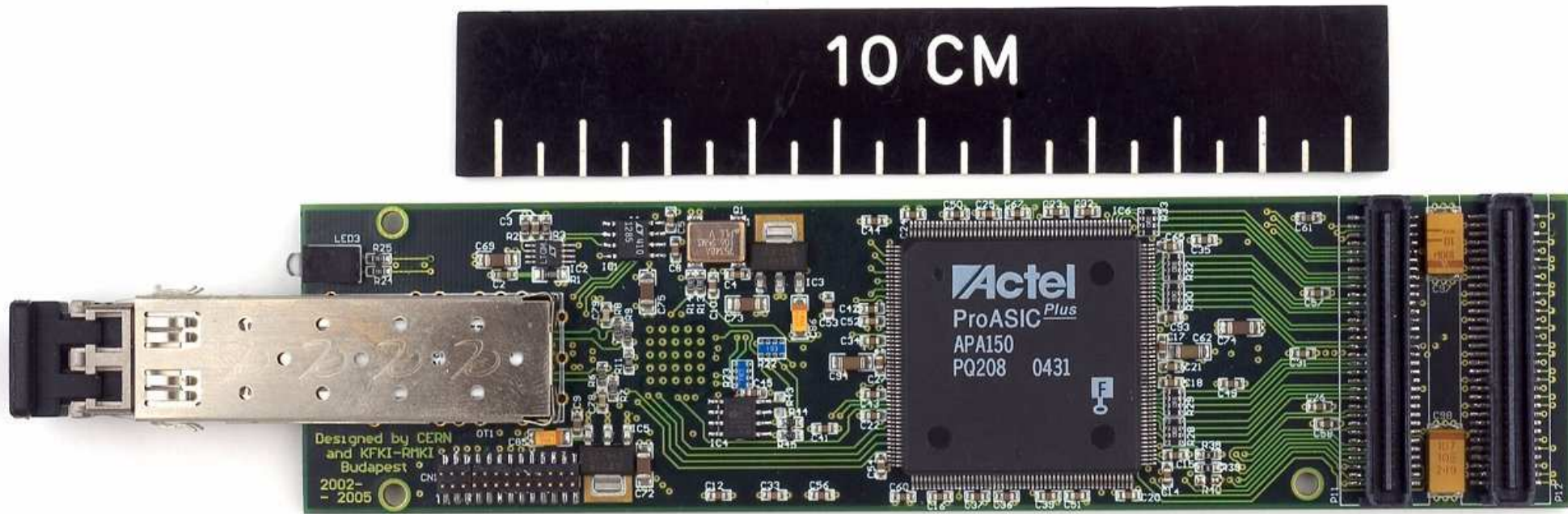
Nagy Máté Ferenc

Oláh László

Pásztor Attila



Az LHC ALICE-kísérlete: DDL



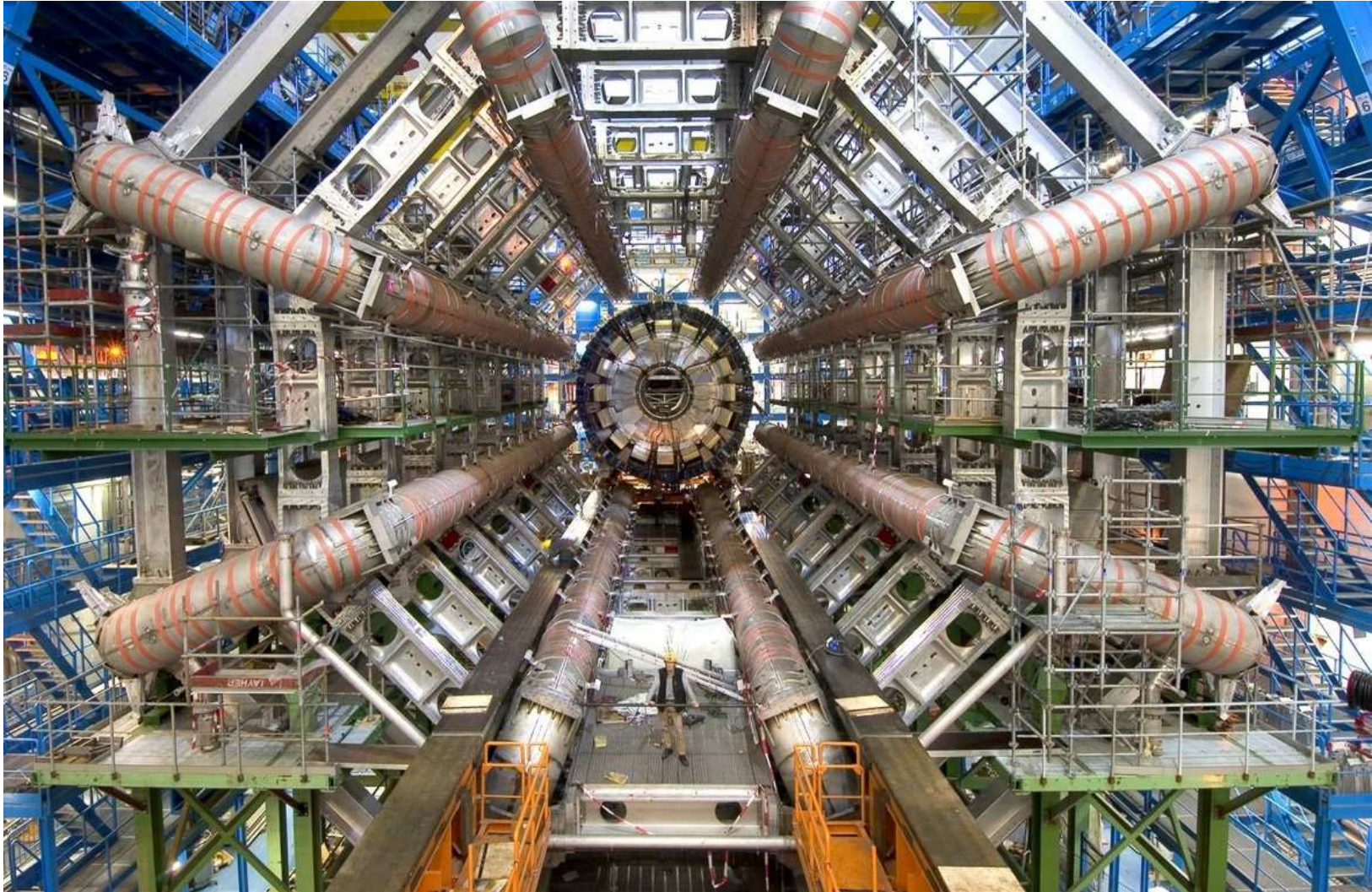
Detector Data Link
gyors detektor-kiolvasó egység
rendkívül jól tűri a sugárzást



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

Detektorfizika (ELTE – WFK)

WFK, Budapest:

Varga Dezső

Bencédi Gyula

Bencze György

Dénes Ervin†

Hamar Gergő

Kiss Tivadar

László András

Márton Krisztina

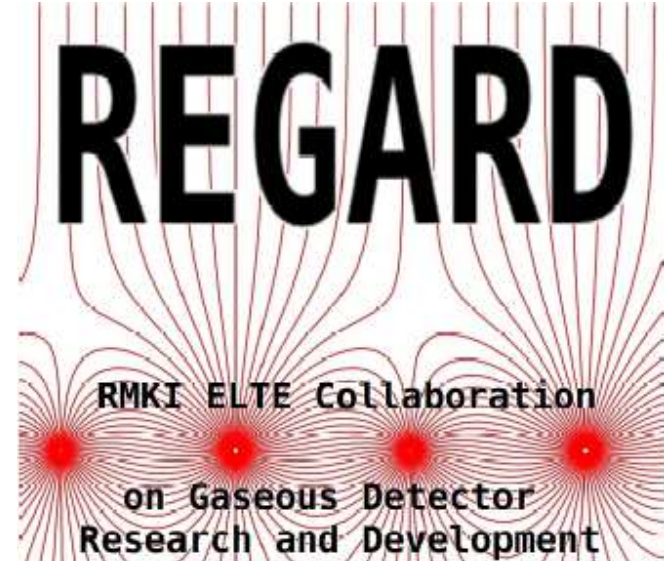
Tölyhi Tamás

ELTE, Budapest

Horváth Péter

Kiss Gábor

Oláh László



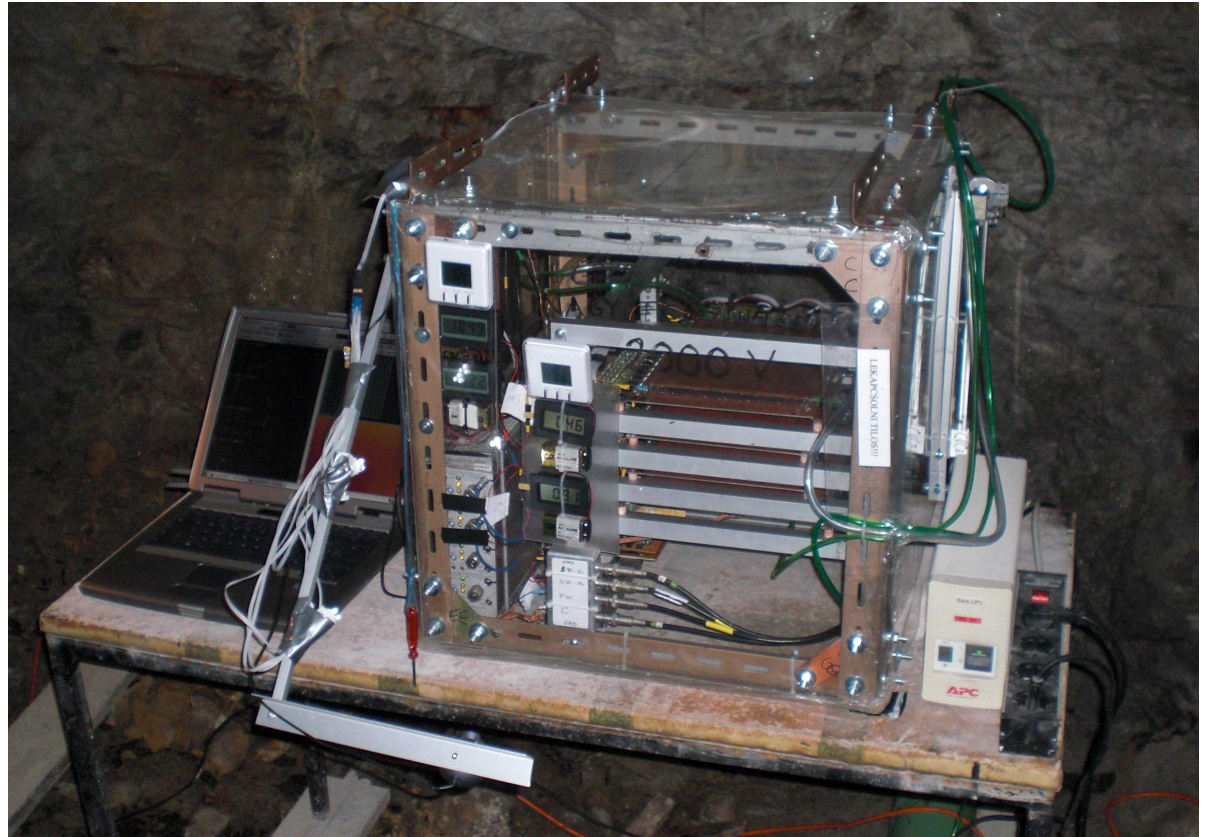
Detektorok fejlesztése (észlelő, elektronika és programozás) különböző részecskefizikai kísérletek számára (ALICE, NA61, ...)



Detektor-fejlesztés: müonok barlangban



Közeli-katódú kamra



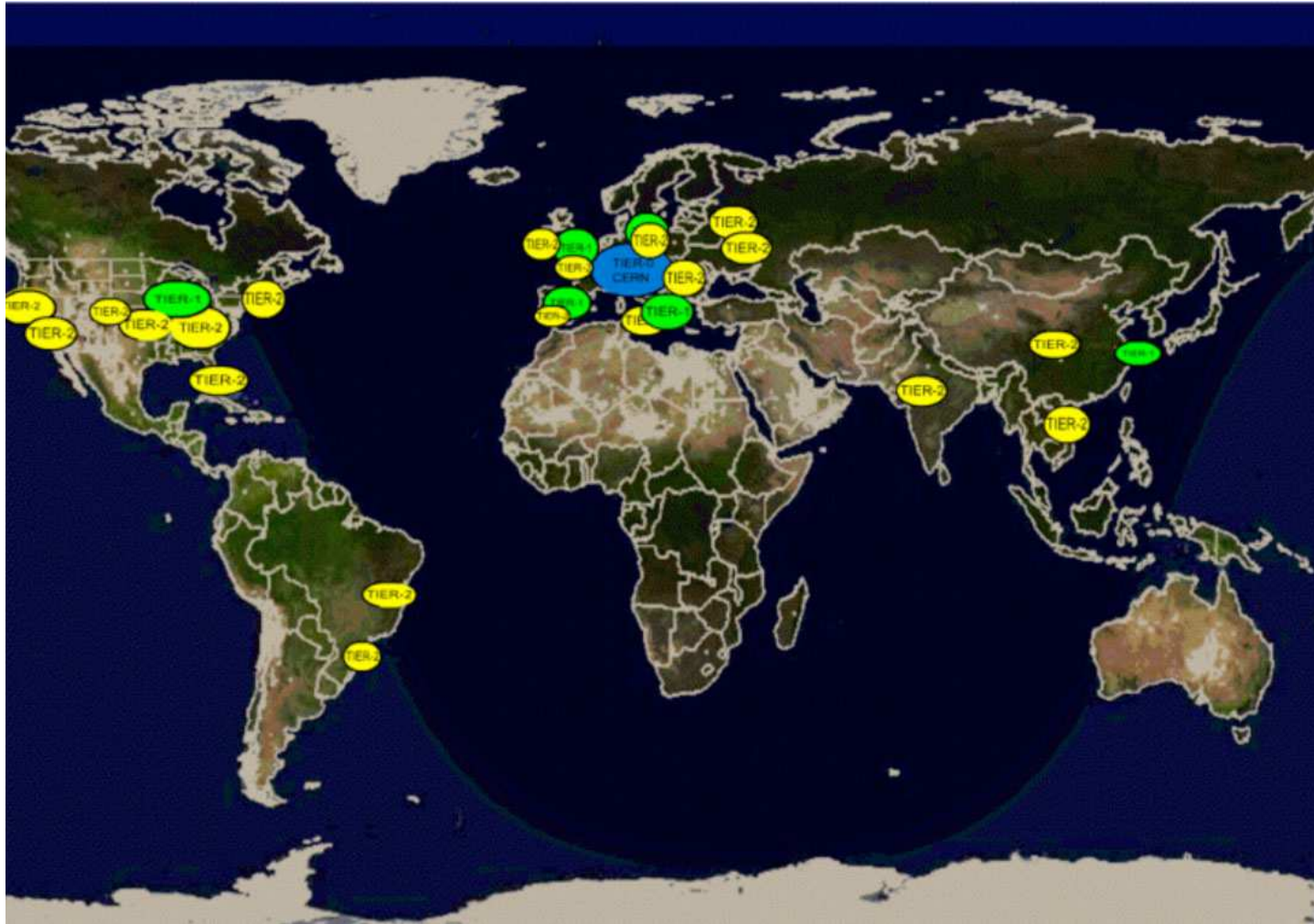
Müon-detektor a budapesti Molnár János-barlangban

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



Worldwide LHC Computing Grid

A CMS-kísérlet fő WLCG-állomásai



Tier-2 (WFK): 600 CPU + 270 TB, CMS és ALICE VO (3:1)

ATOMKI: Tier-3 elkészült

Akik csinálták/ják

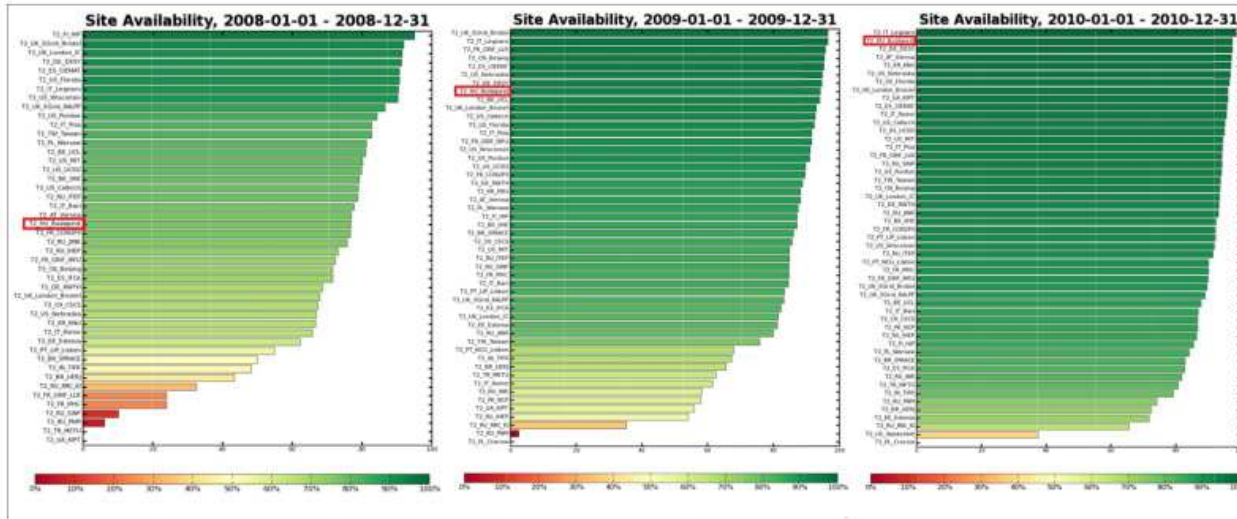
- **Vezetés:** Hajdu Csaba
- **Technika:** KFKI Számítógép-hálózati központ
- **PC-hardver:** Hajdu Csaba és Hernáth Szabolcs
- **LCG:** Hernáth Szabolcs és Somhegyi Benjámín
- **Grid-biztonság:** Debreczeni Gergely
- **HunGrid:** Hernáth Szabolcs, Szeberényi Ágnes, Házi András
- **CMS:** Hajdu Csaba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

A CMS Tier-2-i: megbízhatóság

2008

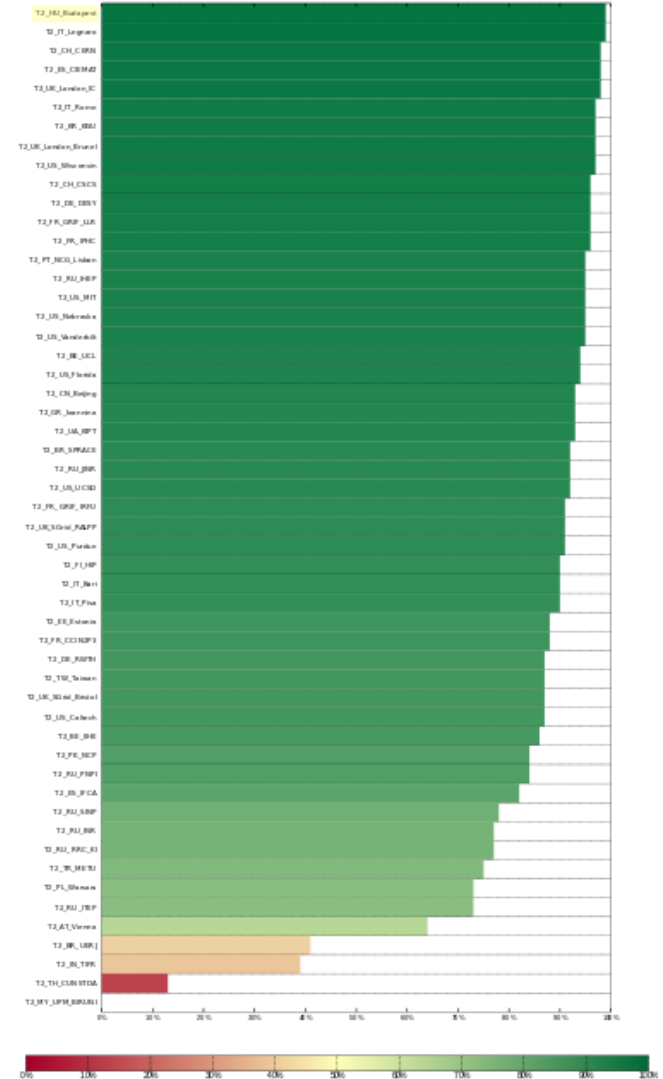
2009

2010



2011-2013

Site reliability ranking using CMS_CRITICAL_FULL

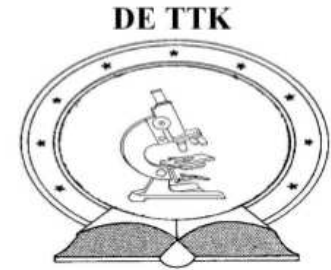


Az WFK T-2 állomása gyorsabban javult, mint a többi, és felverekedte magát a 1. helyre.

Megkaptuk a Tier-0 egy részét: Wigner Data Center.



Debreceni PhD-dolgozatok



1949

Kísérleti eszközök fejlesztése a nagyenergiájú fizika számára

Öltött Higgs-bozon keresése a CERN-i L3 detektornál és precíziós helyzetmeghatározó-rendszer építése a CERN-i CMS detektor Müon rendszeréhez

doktori (PhD) értekezés

Szillási Zoltán

Debreceni Egyetem
Fizikai Tudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2007.

QCD cross section measurements with the OPAL and ATLAS detectors

Ph.D. thesis

Attila Krasznahorkay Jr.

Supervisors: Dr. Dezső Horváth,
Dr. Thorsten Wengler

University of Debrecen
Faculty of Sciences and Technology
Debrecen, 2008

Experimental Investigations of High Energy Particle Collisions at LEP and LHC

PhD thesis
Egyetemi doktori (PhD) értekezés

Balázs Ujvári

Supervisor / Témavezető:
Dr. Zoltán Trócsányi

University of Debrecen
PhD School in Physics
Debreceni Egyetem
Természettudományi Doktori Tanács
Fizika Tudományok Doktori Iskolája
Debrecen, 2012.