

# Magyarország és a CERN

*Előadás fizikatanárok részére  
(CERN, 2023)*

Horváth Dezső

horvath.dezso@wigner.hu

Wigner FK RMI, Budapest  
Debreceni Egyetem, Fizikai Intézet  
és Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár

# Vesztergombi György, 1943–2016

Csaknem minden magyar CERN-aktivitást ő kezdeményezett. Beléptetett minket az NA-49 → NA61, az ALICE és a CMS-kísérletbe, vezette a magyar L3 csoportot és alapított velem egy magyar OPAL-csoportot. Sok budapesti MSc és PhD született a vezetésével.



Vesztergombi György az LHC indulásakor

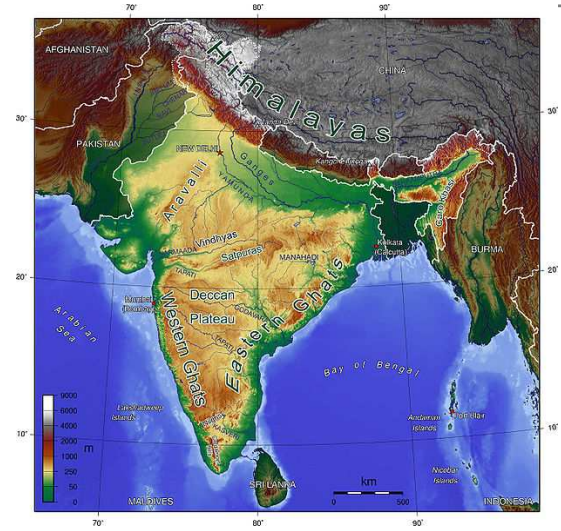
# A felfedezés rögös útja, 1492

A kutatás  
frontvonala:

Az  
Atlanti-óceán  
partja



A kutatás  
célja:  
India elérése



A kutatás  
eszköze:  
Columbus hajói



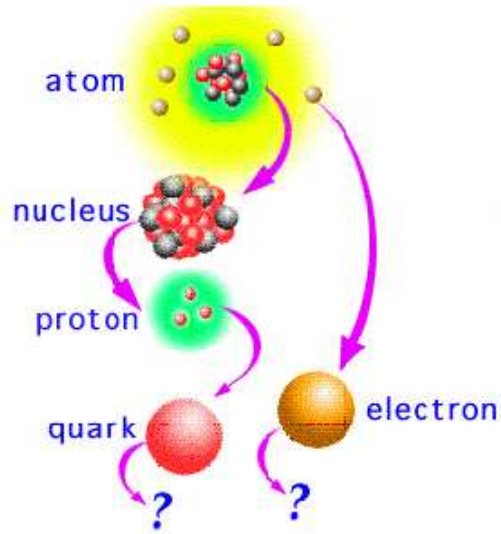
A kutatás  
eredménye:  
Amerika  
felfedezése



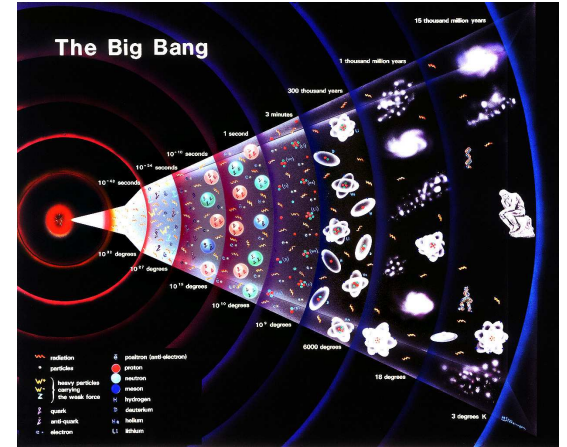
(Vesztergombi György † után)

# A felfedezés rögös útja, 2009 – ??

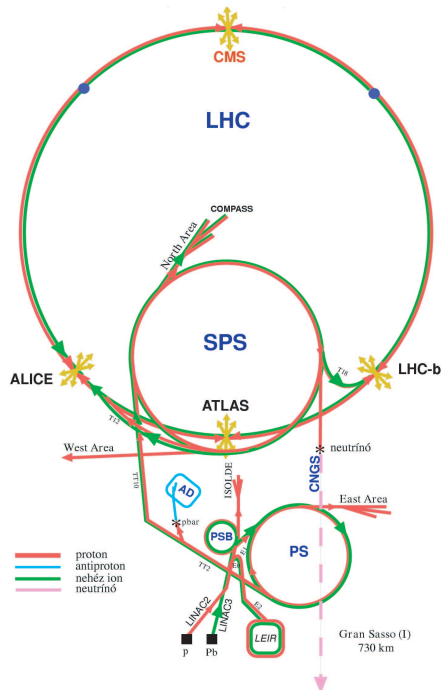
A kutatás frontvonala:  
Az anyag mély szerkezete



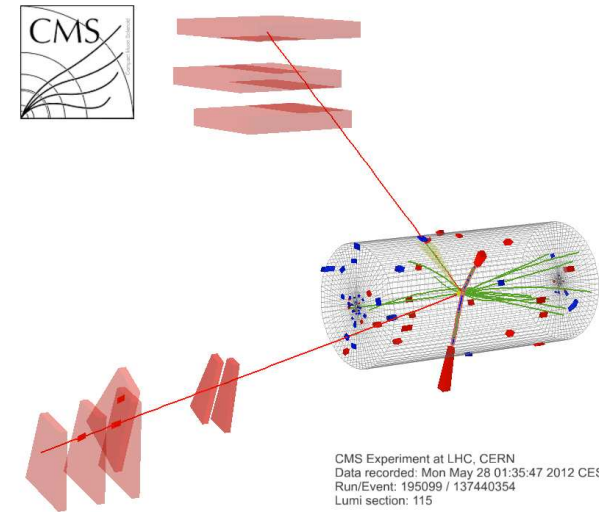
A kutatás célja:  
Higgs-bozon, ősrobbanás utáni állapot



A kutatás eszköze:  
nagyenergiájú gyorsítók

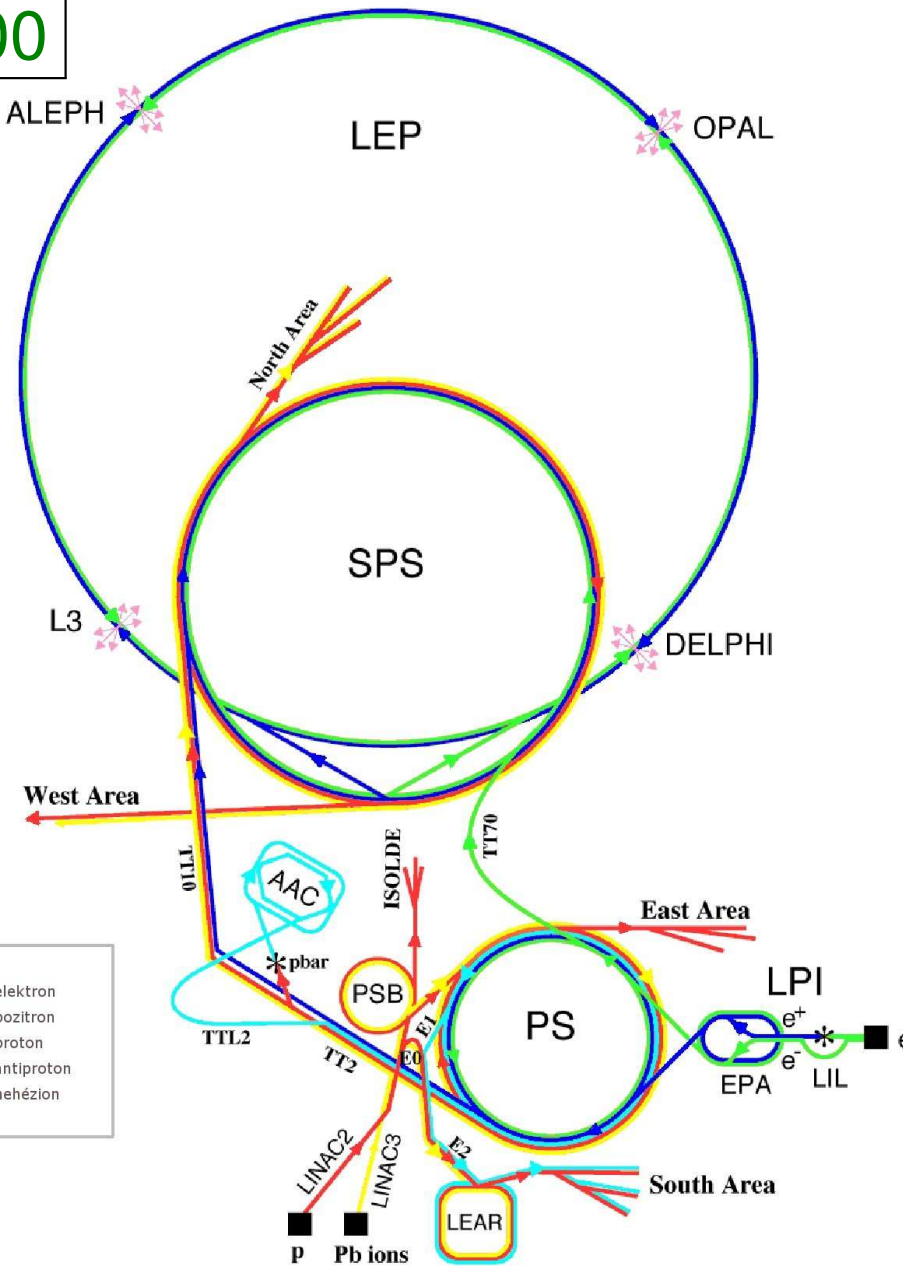


A kutatás eredménye:  
Higgs-bozon!  
Kvark-gluon plazma  
Sötét anyag?  
Új fizika?

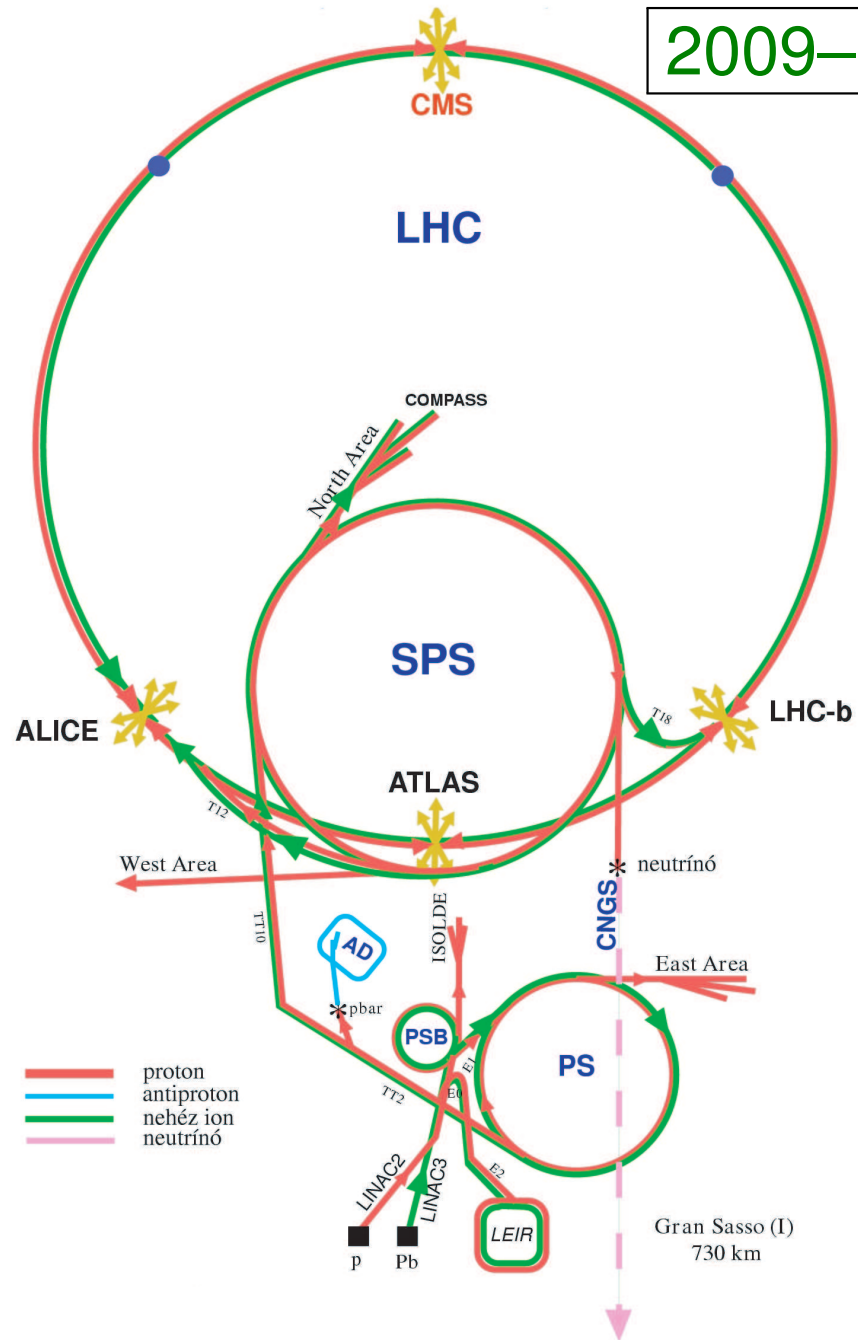


# A CERN gyorsítói

–2000



2009–



- elektron
- pozitron
- proton
- antiproton
- nehézion

- proton
- antiproton
- nehéz ion
- neutrínó

# A CERN antiproton–lassítója (AD)

a  $CPT$ –invariancia (anyag = –antianyag) ellenőrzésére épült

$CPT$ –kísérletek az AD-nál:

ALPHA & ATRAP:

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

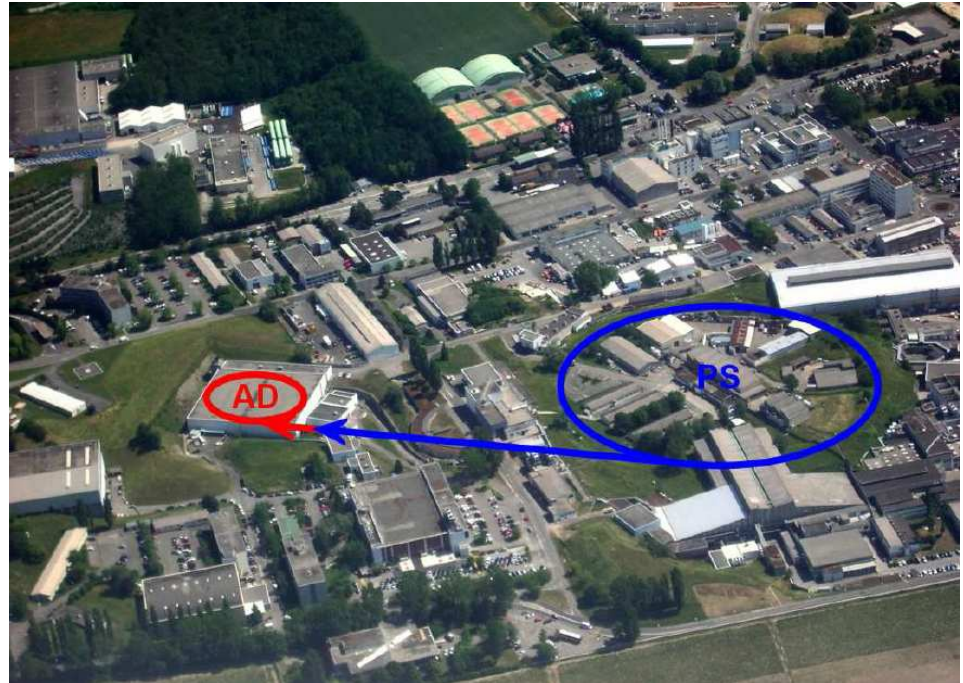
BASE:  $\mu_e(\bar{p}) \leftrightarrow \mu_e(p)$

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

AEGIS & GBAR & ALPHA-g:  $\bar{H}$  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), Sótér Anna (ELTE→MPQ →PSI), Ujvári Balázs (DE)



# Particle Physics Review, 2016

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

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;7 × 10<sup>-10</sup></b>	90	1 HORI	11	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
• • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • •				
<2 × 10 <sup>-9</sup>	90	1 HORI	06	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
<1.0 × 10 <sup>-8</sup>	90	1 HORI	03	SPEC $\bar{p}e^-$ <sup>4</sup> He, $\bar{p}e^-$ <sup>3</sup> He
<6 × 10 <sup>-8</sup>	90	1 HORI	01	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
<5 × 10 <sup>-7</sup>		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
<b>&lt;7 × 10<sup>-10</sup></b>	90	1 HORI	11	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
• • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • •				
<2 × 10 <sup>-9</sup>	90	1 HORI	06	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
<1.0 × 10 <sup>-8</sup>	90	1 HORI	03	SPEC $\bar{p}e^-$ <sup>4</sup> He, $\bar{p}e^-$ <sup>3</sup> He
<6 × 10 <sup>-8</sup>	90	1 HORI	01	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
<5 × 10 <sup>-7</sup>		2 TORII	99	SPEC $\bar{p}e^-$ He atom
<2 × 10 <sup>-5</sup>		3 HUGHES	92	RVUE

## Kétfotonos, Doppler-mentes spektroszkópia

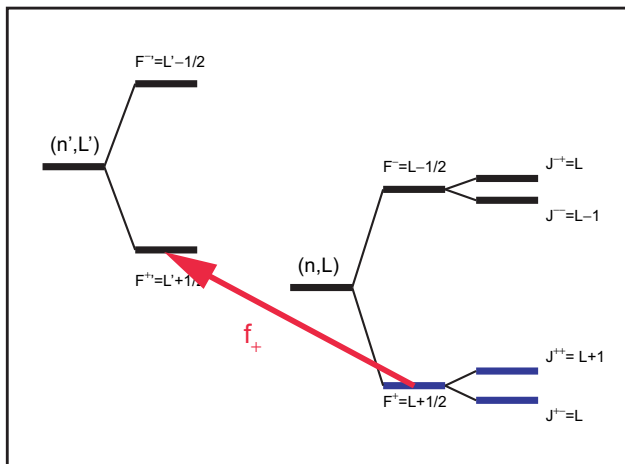
M. Hori, ..., A. Sótér, D. Barna, ... B. Juhász, ... D. Horváth: *Nature* 475 (2011) 484-488

Diplomamunka: Juhász Bertalan, Ujvári Balázs, Sótér Anna

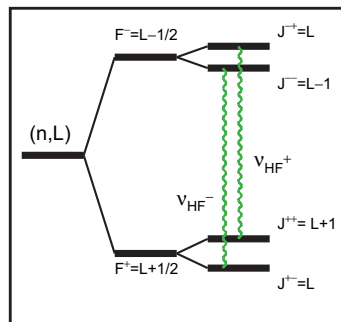
PhD: Juhász Bertalan, Sótér Anna



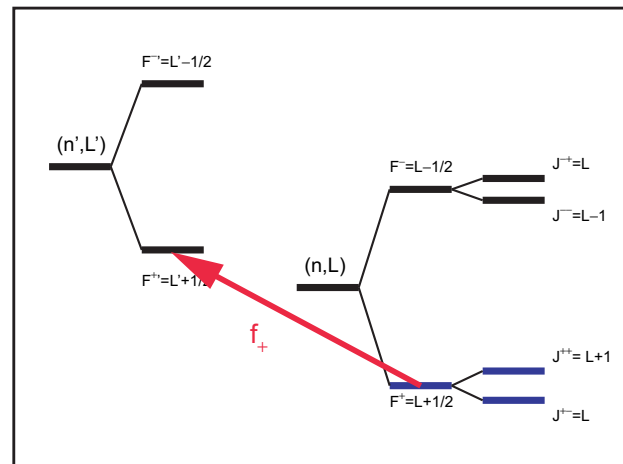
# $\mu(\bar{p})$ : vonal-felhasadás $\bar{p}\text{He}^+$ -ban



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



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

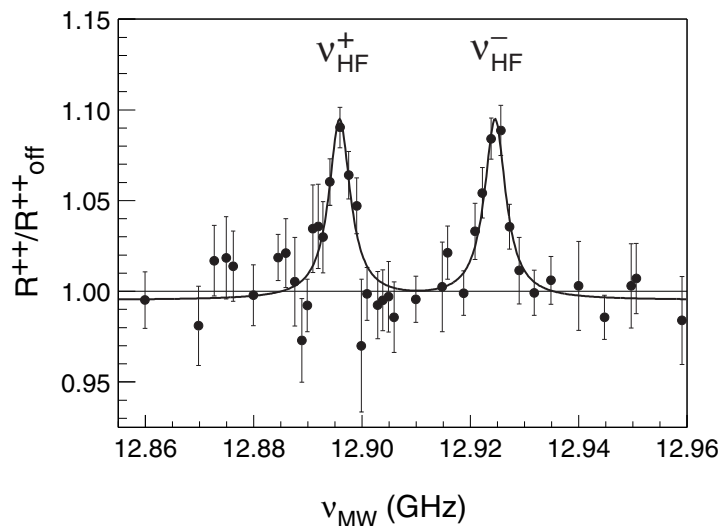


Step 3: probing of population of  $F^+$  doublet with 2nd  $f_+$  laser pulse

## 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.

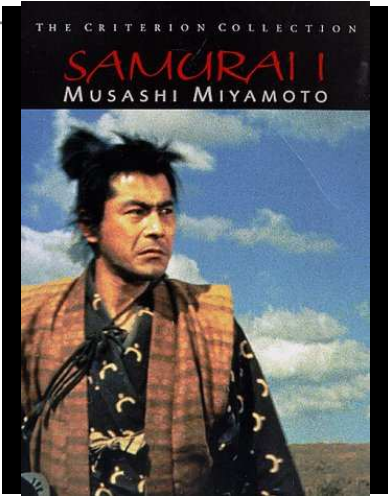


Mikrohullámú frekvencia-spektrum





# 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)

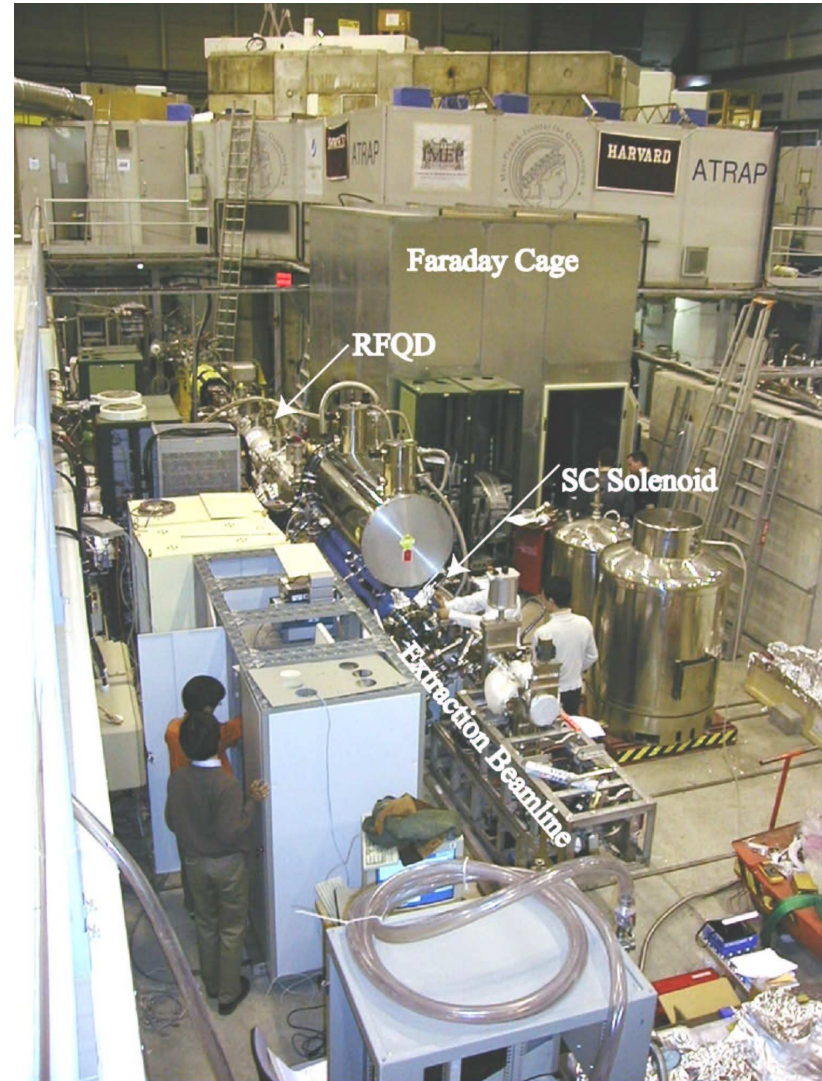
$5 \times 10^6$   $\bar{p}$  csapdában hűtve (2002)

$> 5 \times 10^5$  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.

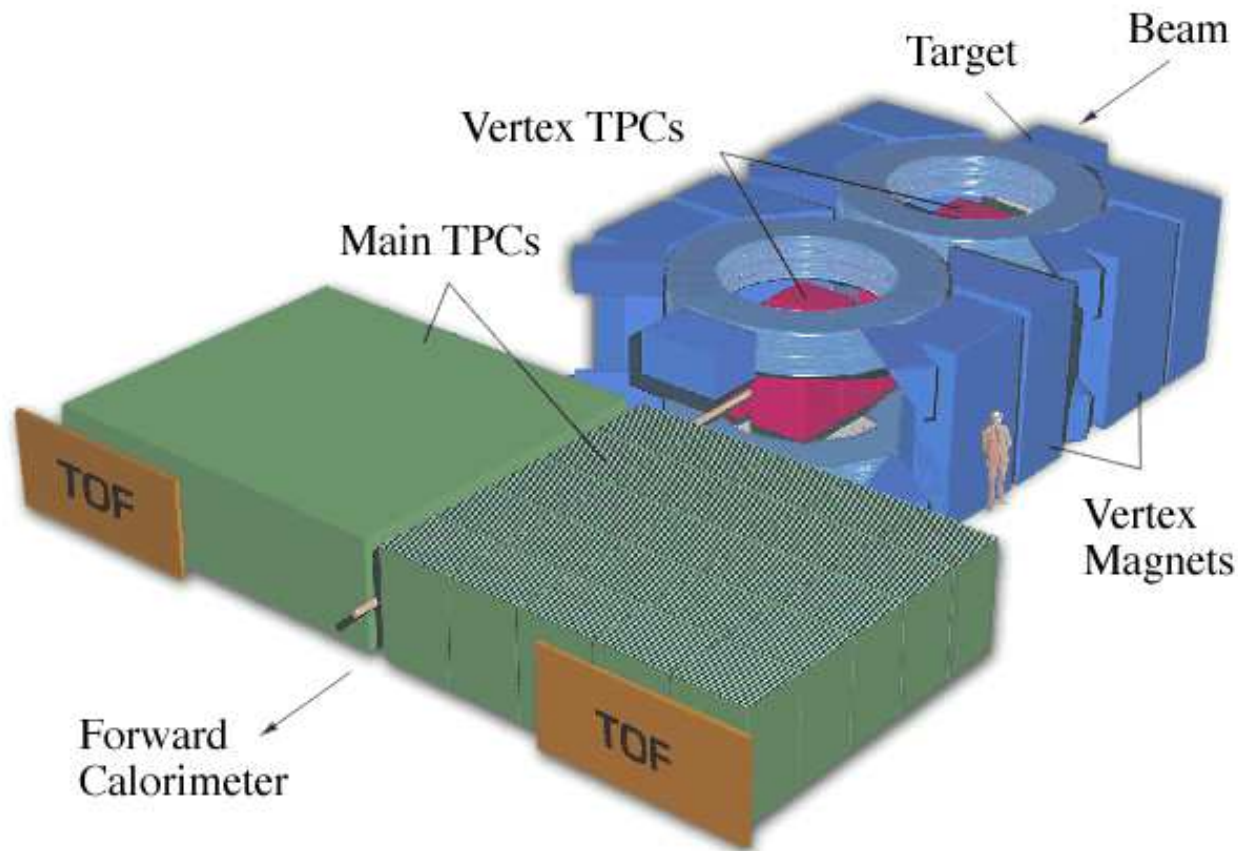


# Nehézion-fizika: NA49 → NA61

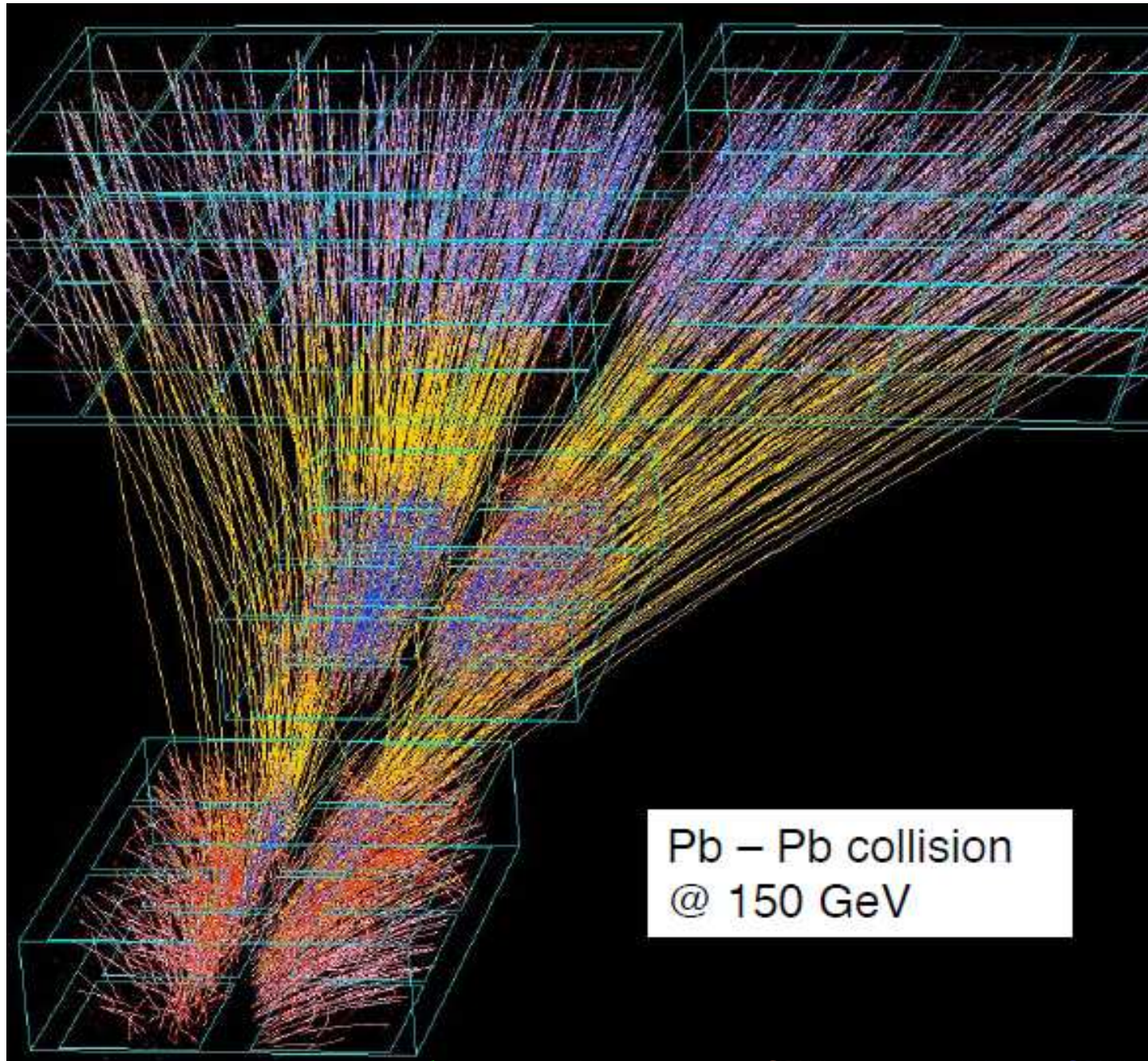
Társalapító és próféta: Vesztergombi György †

Technikai koordinátor: Fodor Zoltán

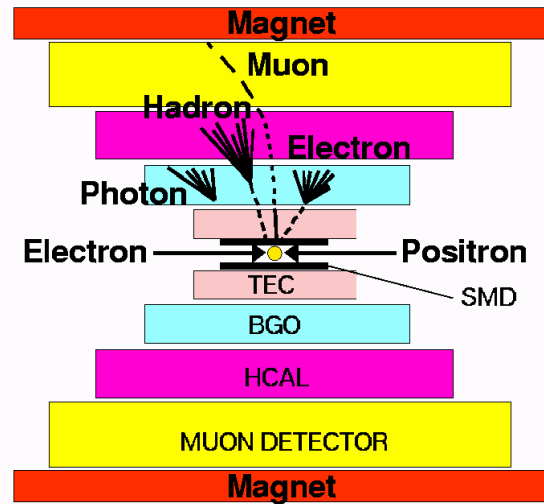
Számos diplomamunka és PhD (ELTE): Siklér Ferenc,  
Veres Gábor, Varga Dezső, Barna Dániel, László András,  
Márton Krisztina



# Pb-Pb ütközés az NA49 detektorban



# L3, az első hiv. 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

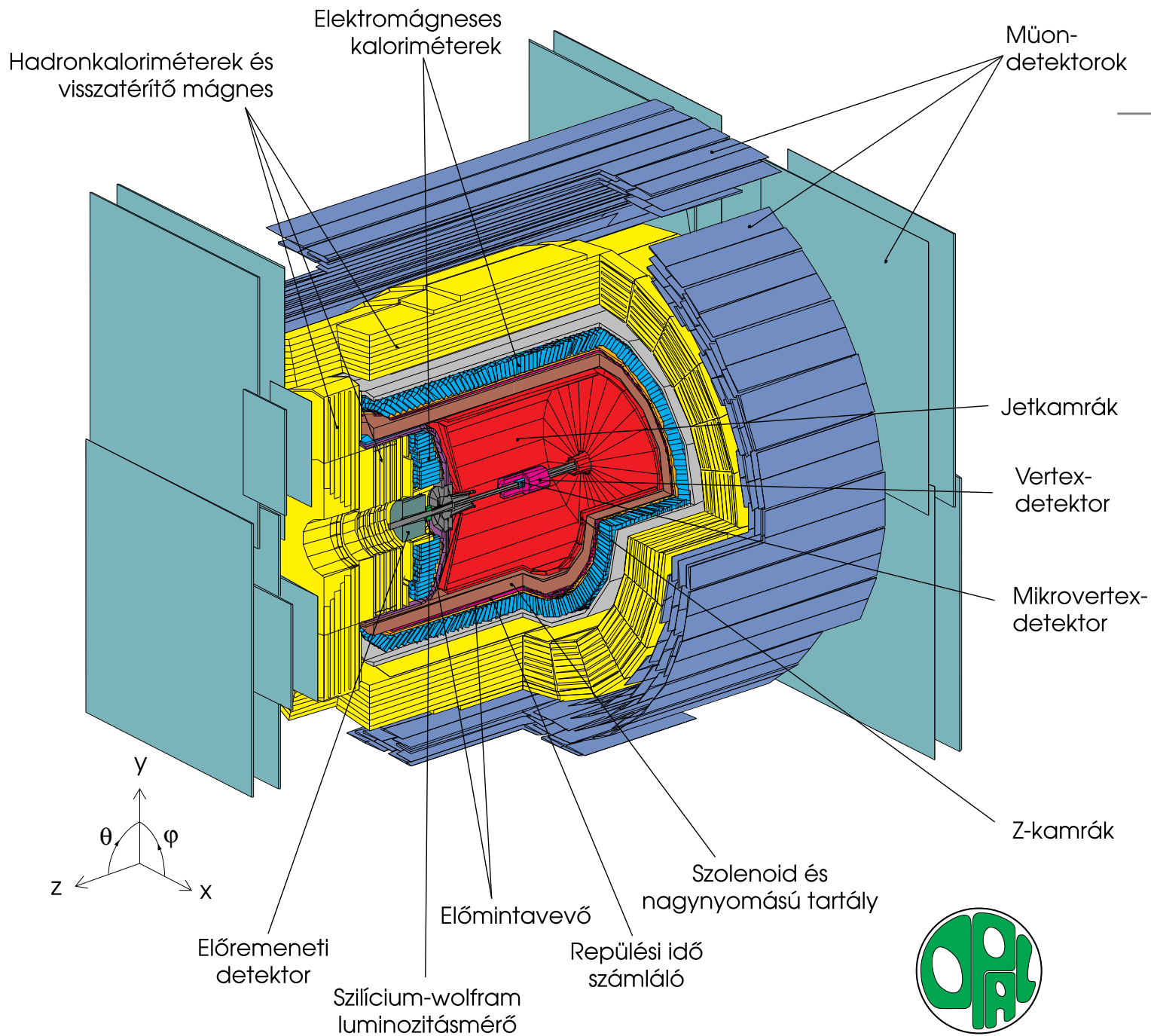
OPAL–PhD

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→ELTE	1995	$H^\pm$
Trócsányi Zoltán	DE & ATOMKI	1997	QCD
Ujvári Balázs	DE	2001	$\gamma\gamma$
Vértesi Róbert	BME→DE→WFK	2002	$\gamma\gamma$

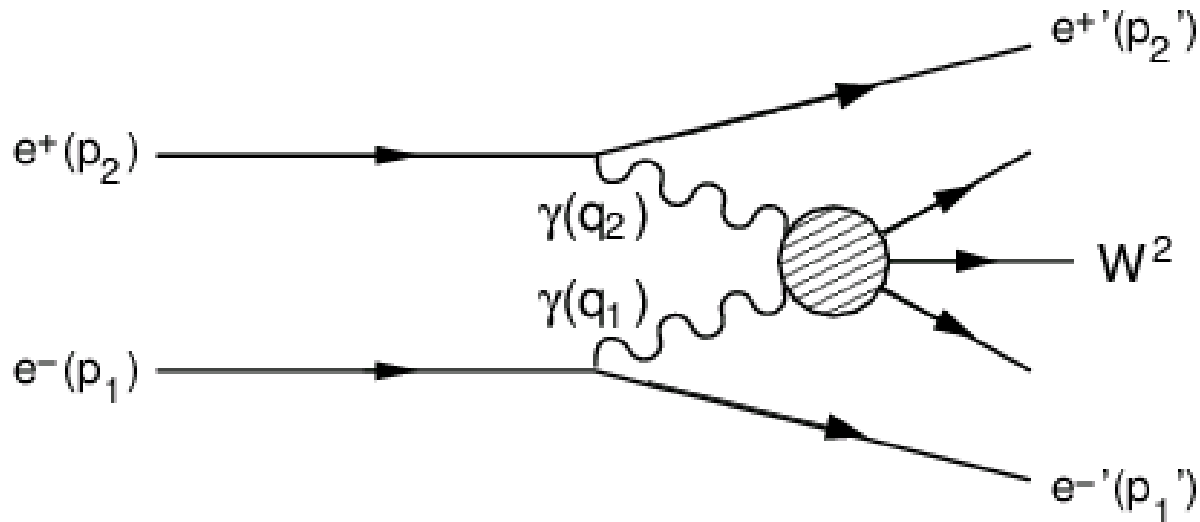


# Az OPAL detektor

1989–2000



# Hadronkeltés foton-foton ütközésben



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

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

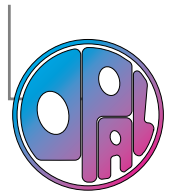
LEP: keltés párban (ha egyáltalán):  $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$

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

Három csatorna  $\Rightarrow$  három analízis:

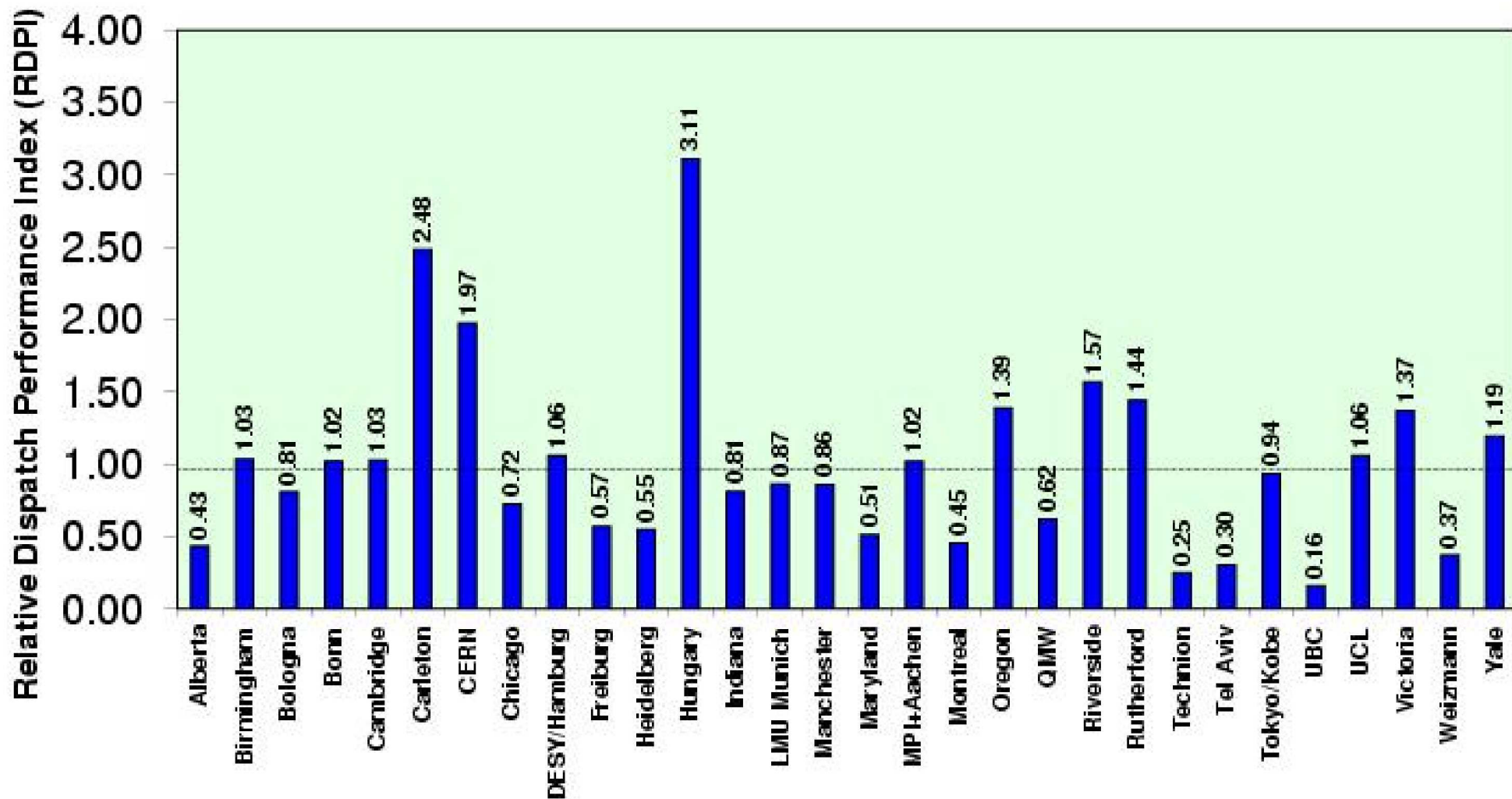
$$e^+e^- \rightarrow H^+H^- \rightarrow \begin{cases} \tau^+\nu_\tau\tau^-\bar{\nu}_\tau & (\text{leptonos : Manchester}) \\ \tau^+\nu_\tau\bar{c}s + \tau^-\bar{\nu}_\tau c\bar{s} & (\text{vegyes : Hajdu Csaba}) \\ c\bar{s}c\bar{s} & (\text{hadronos : HD}) \end{cases}$$

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





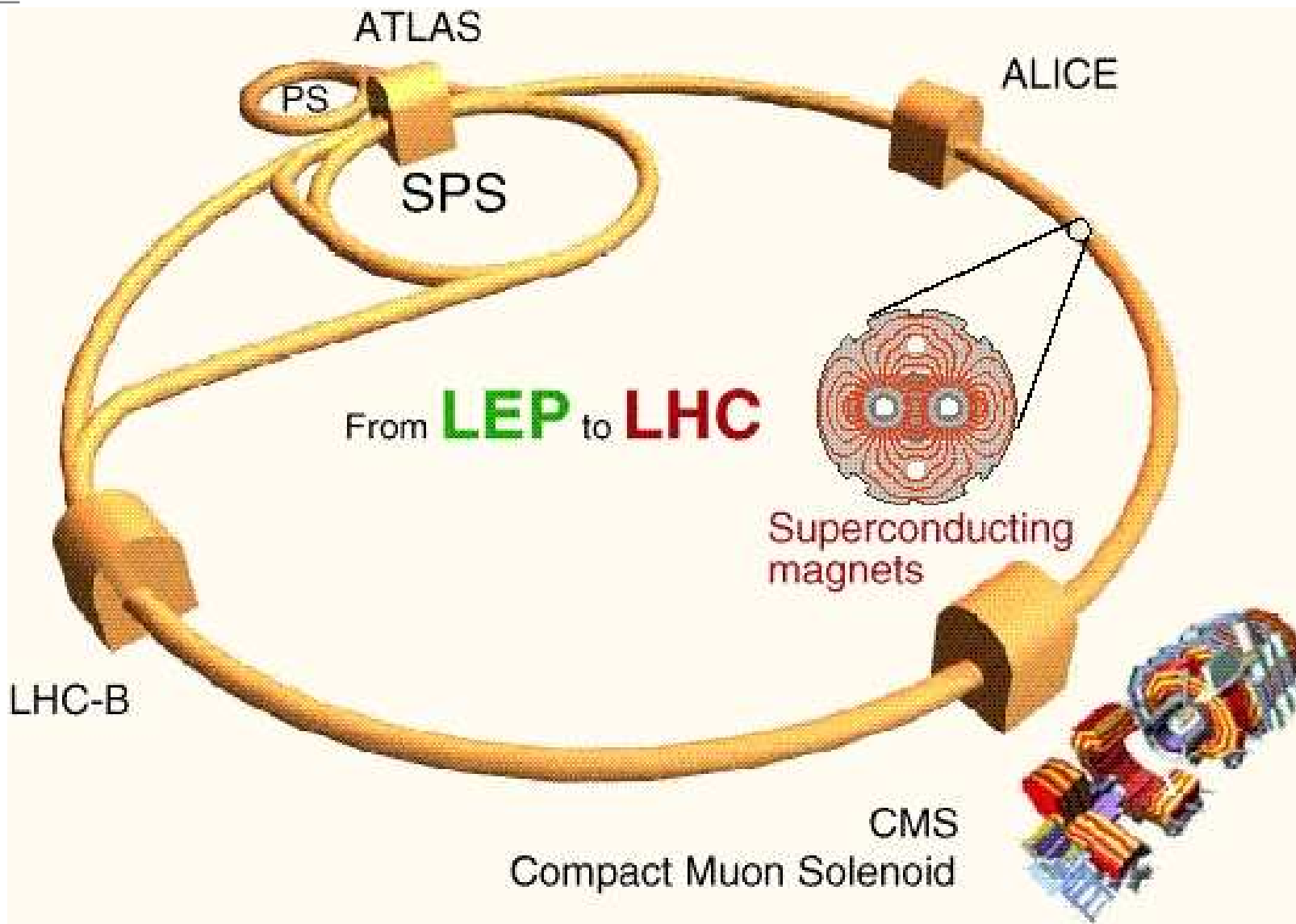
# Az OPAL publikációs aktivitása, 2001



A versenyt 2002-ben végleg megnyertük



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



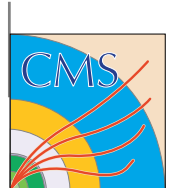
# A CMS-együttműködés



# CMS-együttműködés, 2019

- 56 ország 246 intézményéből 5507 résztvevő
- 1906 PhD-s fizikus (1569 férfi, 337 nő)
- 1036 PhD-hallgató (796 férfi, 240 nő)
- 1110 MSc-hallgató (824 férfi, 286 nő)
- 1065 mérnök (933 férfi, 132 nő)
- Résztvevők intézmény országa szerint (2022-ben):  
USA: 1643, Olaszo.: 583, Svájc: 492, Németo.: 394,  
Oroszo.: 306, Kína: 194, Franciao.: 189, India: 168, GB: 159
- Útlevél szerint: USA: csak fele amerikai, a többi sokkal több.
- Magyar intézményből: 42 résztvevő, magyar útlevéllal: 46
- ~ 100 petabyte adat, 1500 publikáció átlag 2100 szerzővel
- Magyar szerzők: 31 (10 ELTE, 9 ATOMKI, 6 WFK, 3 DE, 3 EKE)

ATLAS még nagyobb: 10-szeres térfogat, fele súly, +20% résztvevő  
Bonyolultabb észlelőrendszer, azonos eredmények



# 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

5500 résztvevő a világ minden tájáról

A világ legnagyobb (szupravezető) szolenoidja:  
átmérő  $\sim 6$  m,  $B = 3.8$  Tesla

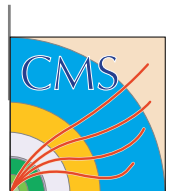
Detektorépítésben magyar részvétel:

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 (PhD, 2020) 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

Szákalibráció kész darabon

Magyarország és a CERN

HTP-2023, CERN

- p. 24/42

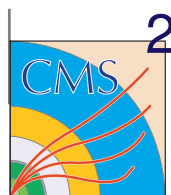


# CMS: magyar résztvevők (szerzők)

ATOMKI Debrecen	Eötvös Egyetem Budapest	Wigner FK Budapest	Debreceni Egyetem
Béni Noémi (CERN is)	Csanád Máté	Bartók Márton	Raics Péter
Czellár Sándor	Farkas Krisztián	Bencze György	Trócsányi Zoltán
Fasanella Daniele	Gadallah M.M.A.	Hajdu Csaba	Ujvári Balázs
Fienga Francesco	Lökös Sándor	Horváth Dezső	Eszterházy Károly Egyetem, Eger
Karancsi János	Major Péter	Siklér Ferenc	
Makovec Alajos	Mandal Koushik	Veszprémi Viktor	Csörgő Tamás
Molnár József	Pásztor Gabriella		Nemes Frigyes
Sourkov Alexandre	Rádl Attila		Novák Tamás
Szillási Zoltán	Surányi Olivér		
Teyssier Daniel	Veres Gábor		

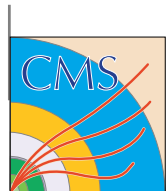
Fizikus, PhD-s,

2022-ben szerzők a CMS-publikációkon az adott intézetek színeiben.  
Még számos mérnök és diplomamunkás szerzőség nélkül.



# Magyar CMS-munkák: detektor

- A müon-rendszer pozícionálása  
ATOMKI + DE + WFK (Béni Noémi, Molnár József, Szillási Zoltán, Ujvári Balázs, Zilizi Gyula, Bencze György)
- A pixel-detektor fejlesztése  
WFK + DE (Veszprémi Viktor, Karancsi János, Bartók Márton)
- Biztonsági felügyelet, technikai koordináció  
ATOMKI (Béni Noémi, Makovec Alajos, Szillási Zoltán)
- A nyomkereső rendszer összehangolása  
WFK (Siklér Ferenc, Balázs Tamás, Veszprémi Viktor)
- Luminozitás meghatározása  
ELTE (Csanád Máté, Pásztor Gabriella, Veres Gábor)
- TOTEM, teljes p-p hatáskeresztmetszet  
EKE (Csörgő Tamás, Nemes Frigyes, Novák Tamás)



# CMS-vezérlő, 2012 május 2, 15h 45p



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

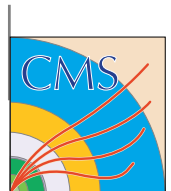
DCS-koordinátor: Szillási Zoltán, ATOMKI; DQM-felügyelő: HD

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



# Magyar CMS-munkák: fizikai analízis

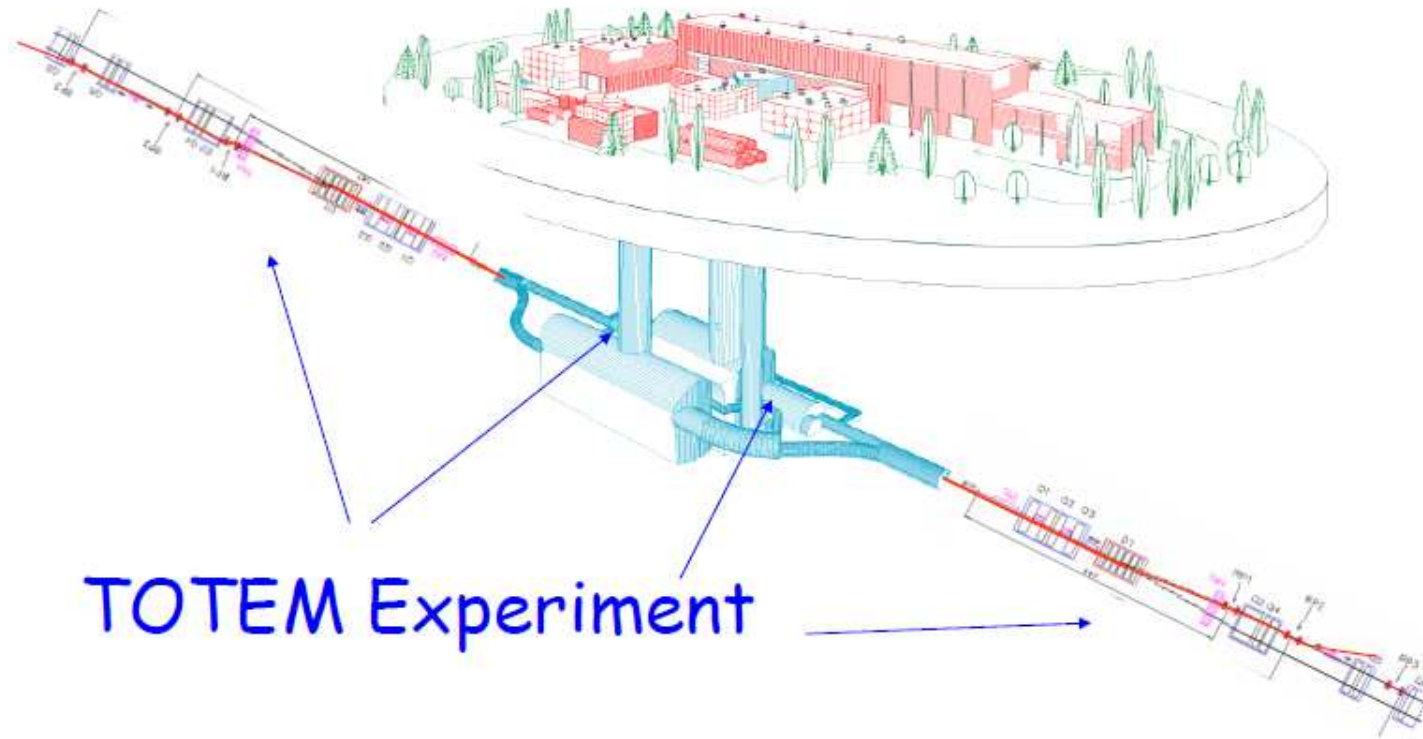
- Nehézion-fizika, QCD  
WFK + ELTE (Csanád Máté, Siklér Ferenc, Veres Gábor)
- SUSY-részecskék keresése  
ATOMKI + DE + WFK (Veszprémi Viktor, Karancsi János, Bartók Márton)
- A standard modell ellenőrzése  
ELTE (Pásztor Gabriella), WFK (Horváth Dezső)



# Az LHC TOTEM-kísérlete



2018-ban csatlakozott a CMS-hez  
az Egeri Eszterházy Károly Egyetem színeiben



TOTEM Experiment

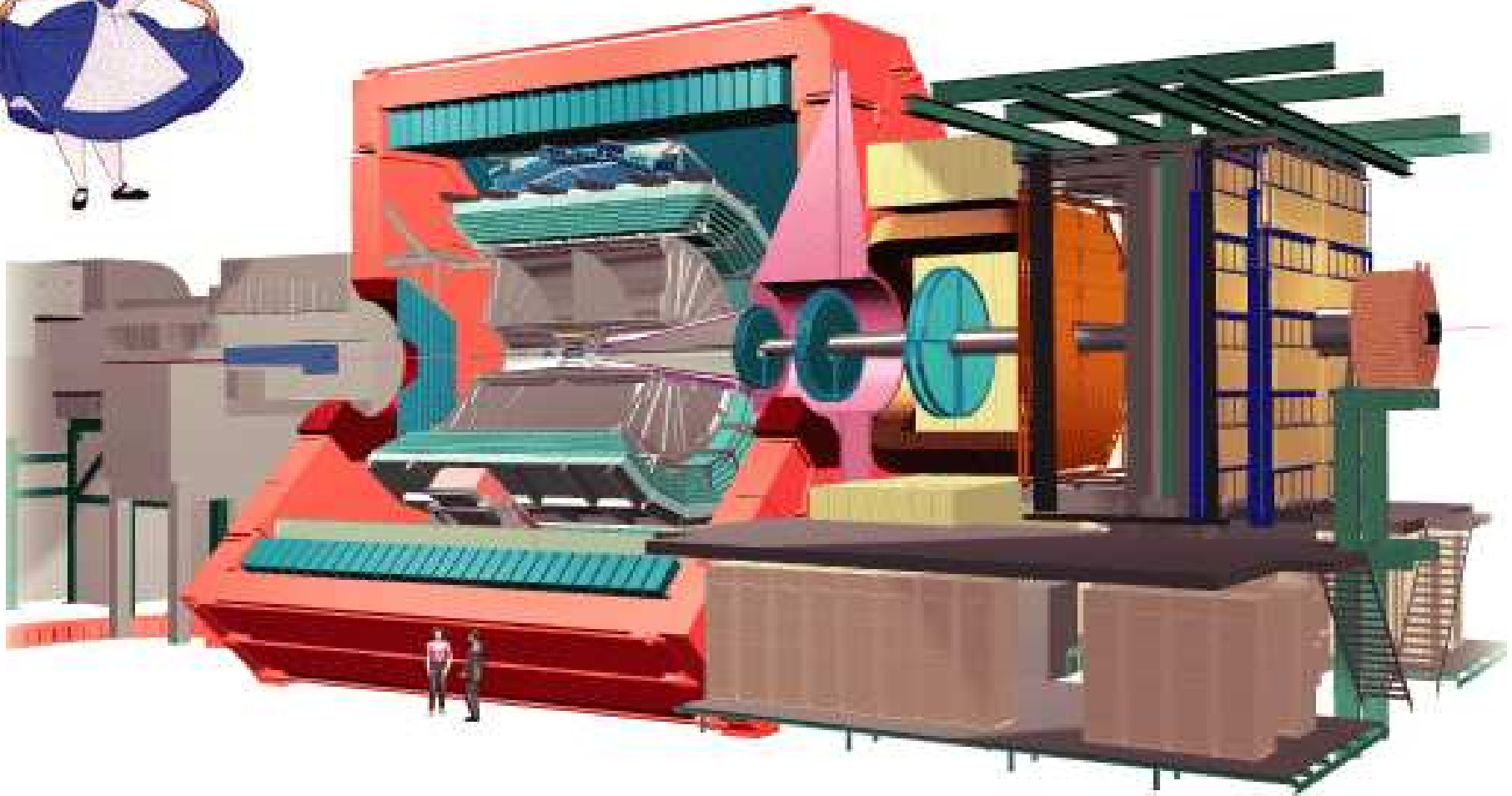
Csörgő Tamás, Novák Tamás, Ster András, Sziklai János (WFK),  
Csanád Máté, Nemes Frigyes (ELTE)

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-együttműködése



## Az ALICE együttműködés

~ 1000 résztvevő

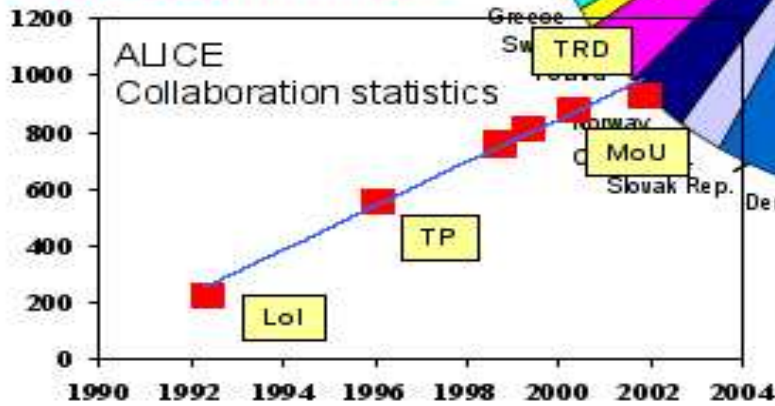
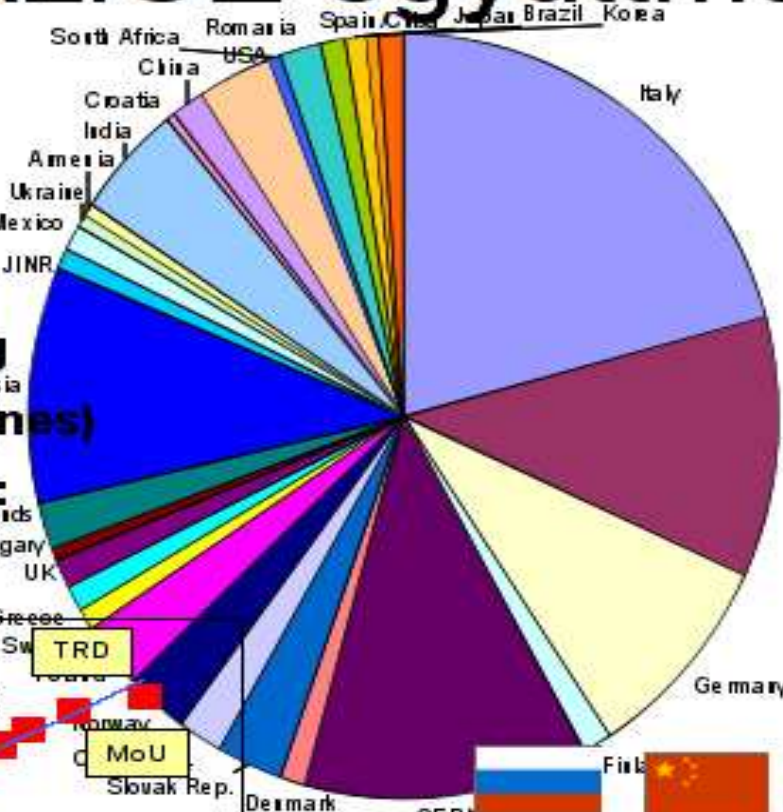
~ 30 ország

~ 100 intézet

~ 150 MCHF költség  
(+ 'ingyen' mágnes)

További információ:

[aliceinfo.cern.ch](http://aliceinfo.cern.ch)



# Az LHC ALICE-kísérlete: magyarok

Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest

Barnaföldi Gergely Gábor

Bencédi Gyula

Bíró Gábor

Boldizsár László

Frajna Eszter

Gyulai László

Lévai Péter

Aditya Nath Mishra

Varga Dezső

Varga Zoltán

Varga-Kőfaragó Mónika

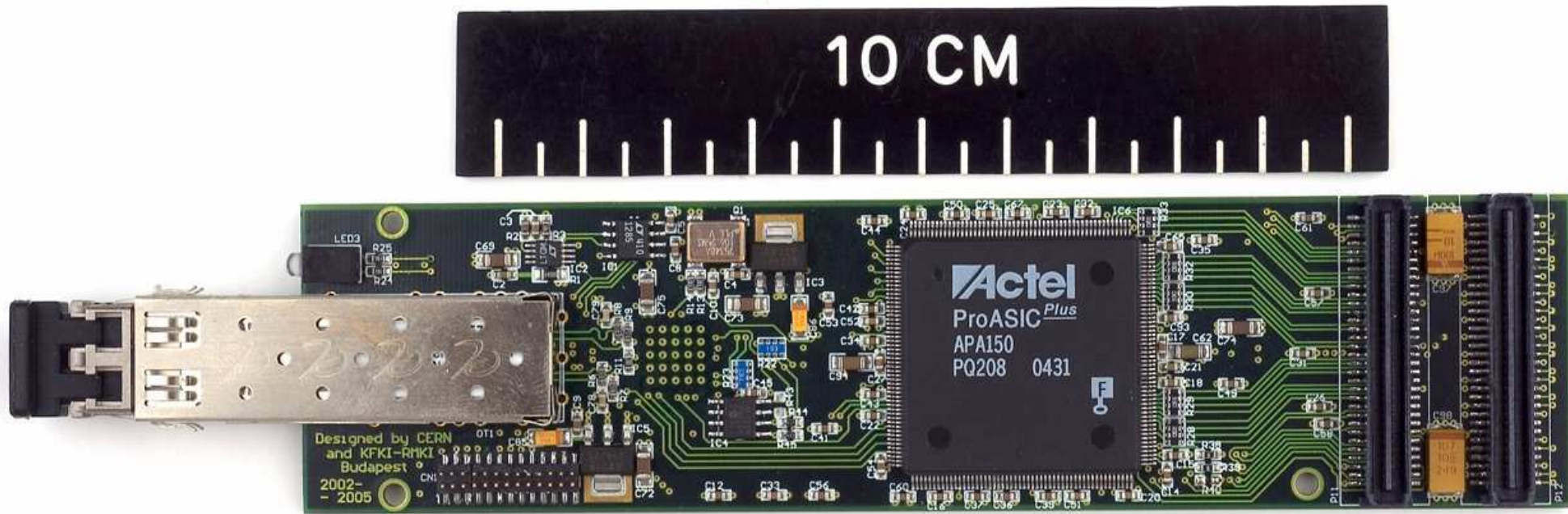
Vértesi Róbert

Ezek az ALICE-cikkeken jelenleg szereplő szerzők. Rajtuk kívül sok magyar mérnök és fizikus dolgozott és dolgozik az ALICE kísérleten.





# Az LHC ALICE-kísérlete: DDL



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

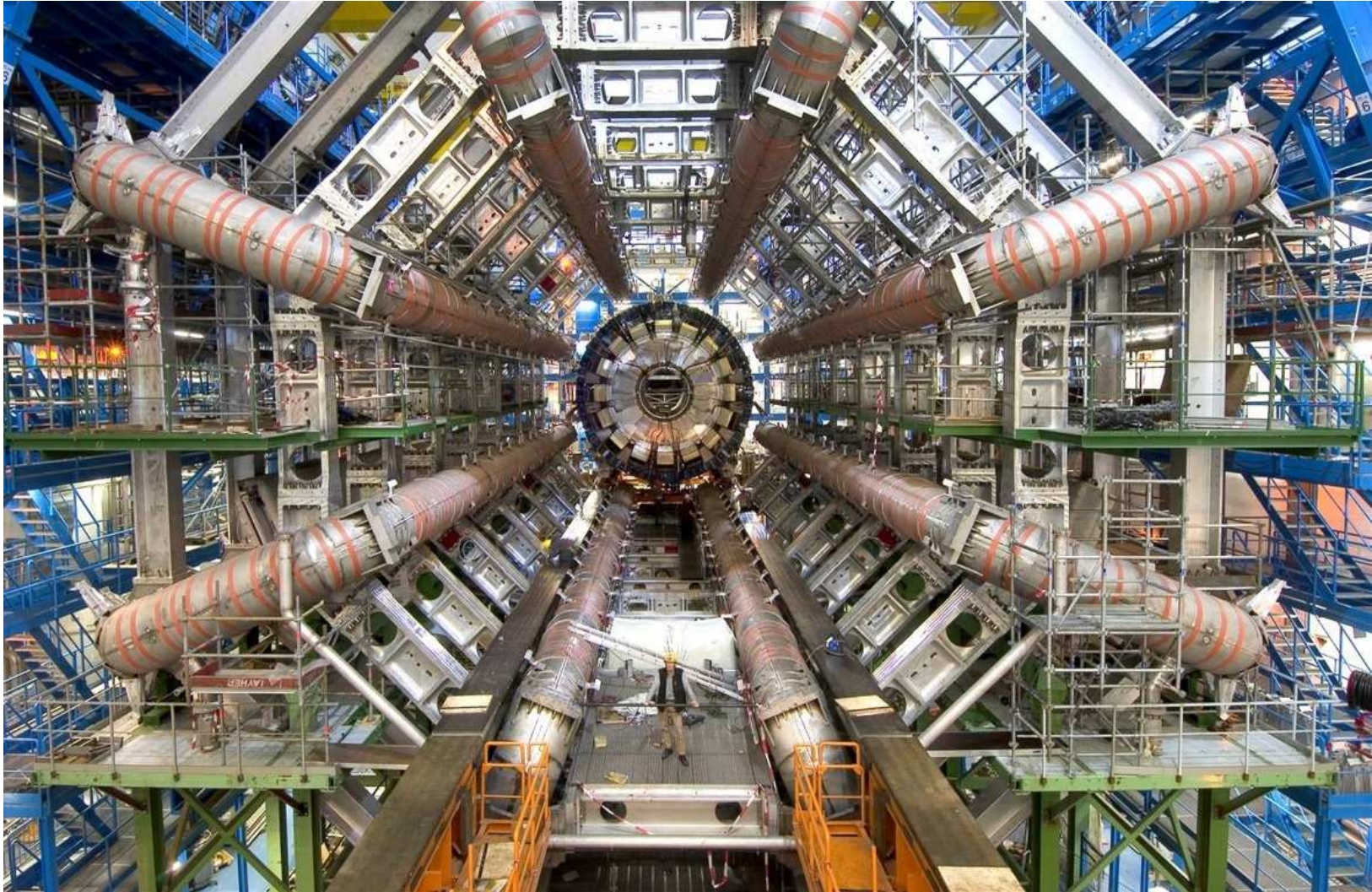
A Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest  
Nagyenergiás Fizikai Osztálya fejlesztése



# 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, Genf)]

# Detektorfizika (ELTE – WFK) $\Rightarrow$ ALICE

Wigner Fizikai Kutatóközpont RMI, Budapest:

**Varga Dezső**

Balogh Szabolcs

Barnaföldi Gergely

Berényi Zita

Boldizsár László

Galgóczi Gábor

Gera Ádám

Hamar Gergő

László András

Márton Krisztina

Moncz Dávid

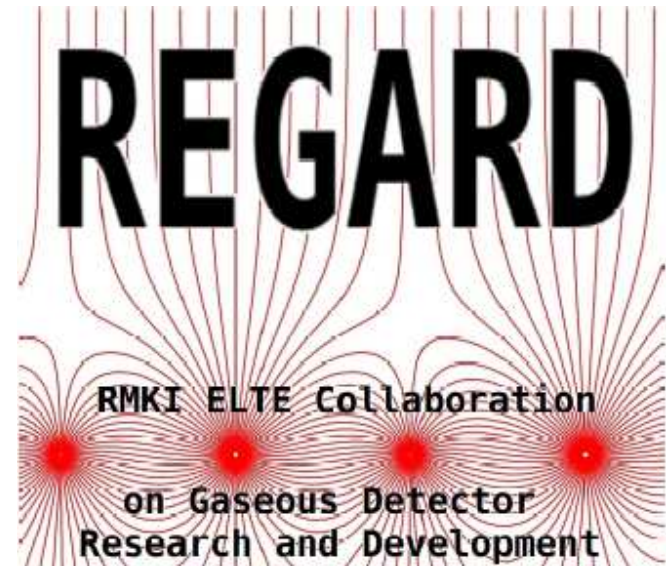
Nyitrai Gábor

Oláh László

Oláh Éva

Pázmándi Péter

Surányi Gergely



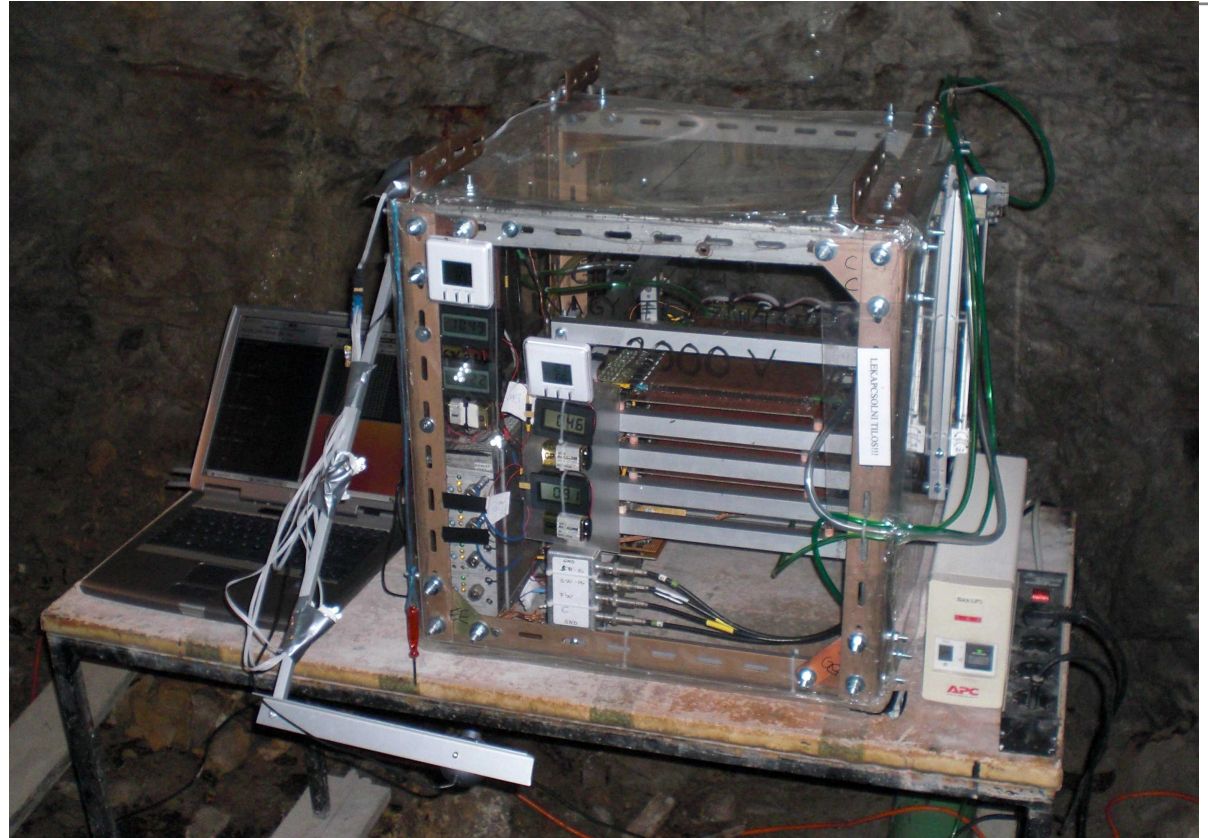
Detektorok fejlesztése (észlelő, elektronika és szoftver) különböző részecskefizikai kísérletek számára (ALICE, NA61, ...)



# Detektor-fejlesztés: kozmikus müionok



Közeli-katódú kamra



Müion-detektor a budapesti Molnár János-barlangban

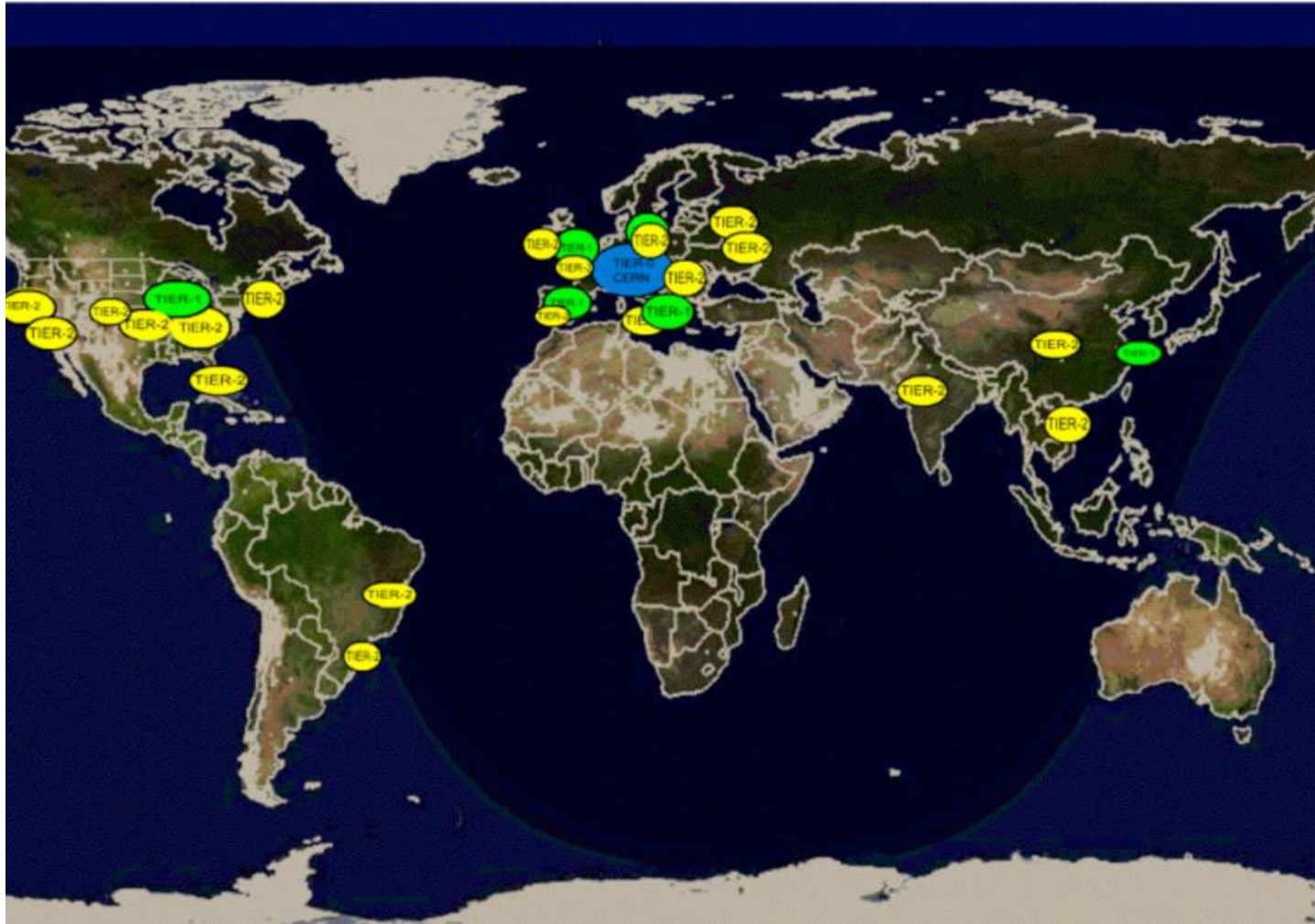
Barlangok fölötti sűrűségváltozások (üregek, sűrűbb kőzetek) feltérképezése (Barnaföldi Gergely, Oláh László)

Vulkánaktivitás Japánban (Hamar G., Oláh L., Varga D,)



# Worldwide LHC Computing Grid

A CMS-kísérlet fő WLCG-állomásai



Tier-1: Batavia, Barcelona, Oxford, Lyon, Karlsruhe, Bologna, Taipei

Tier-2 (WFK): 4000 CPU-mag + 3500 TB HD, CMS és ALICE VO (3:1)

# Akik a Tier-2-t csinálták

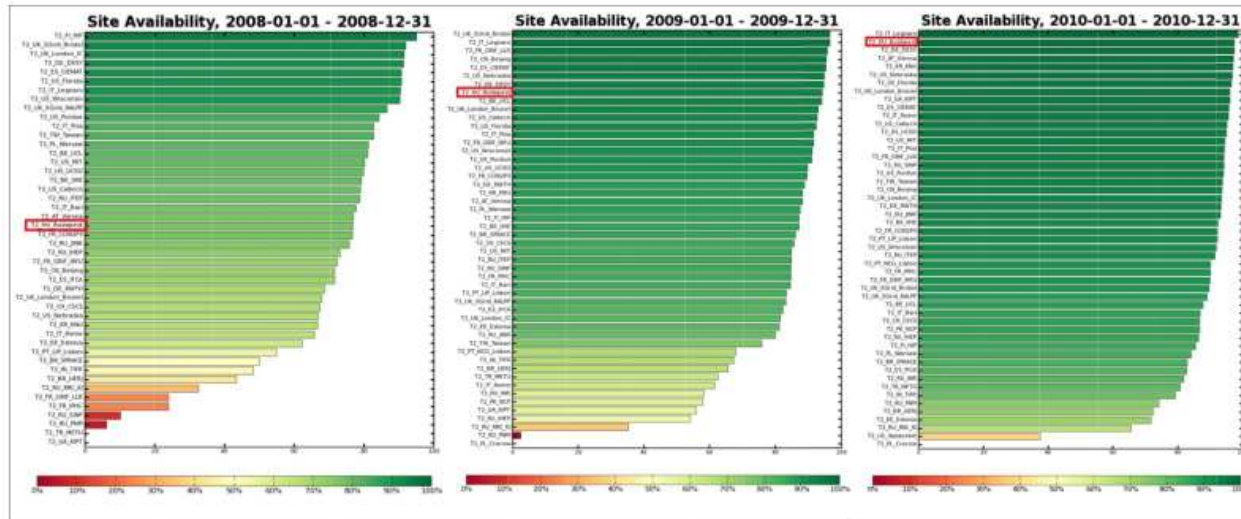
- **Vezetés és jelenleg egyedül:** Hajdu Csaba
- **Technika:** KFKI Számítógép-hálózati központ
- **PC-hardver:** Hajdu Csaba és Hernáth Szabolcs
- **LCG:** Hernáth Szabolcs és Somhegyi Benjámín
- **Grid-biztonság:** Debreczeni Gergely
- **HunGrid:** Hernáth Szabolcs, Szeberényi Ágnes, Házi András
- **CMS:** Hajdu Csaba
- **CA-RA:** Hernáth Szabolcs
- **CERN middleware:** Tucatnyi magyar informatikus  
Most jórészt Google, Zürich.

# A CMS Tier-2-i: megbízhatóság

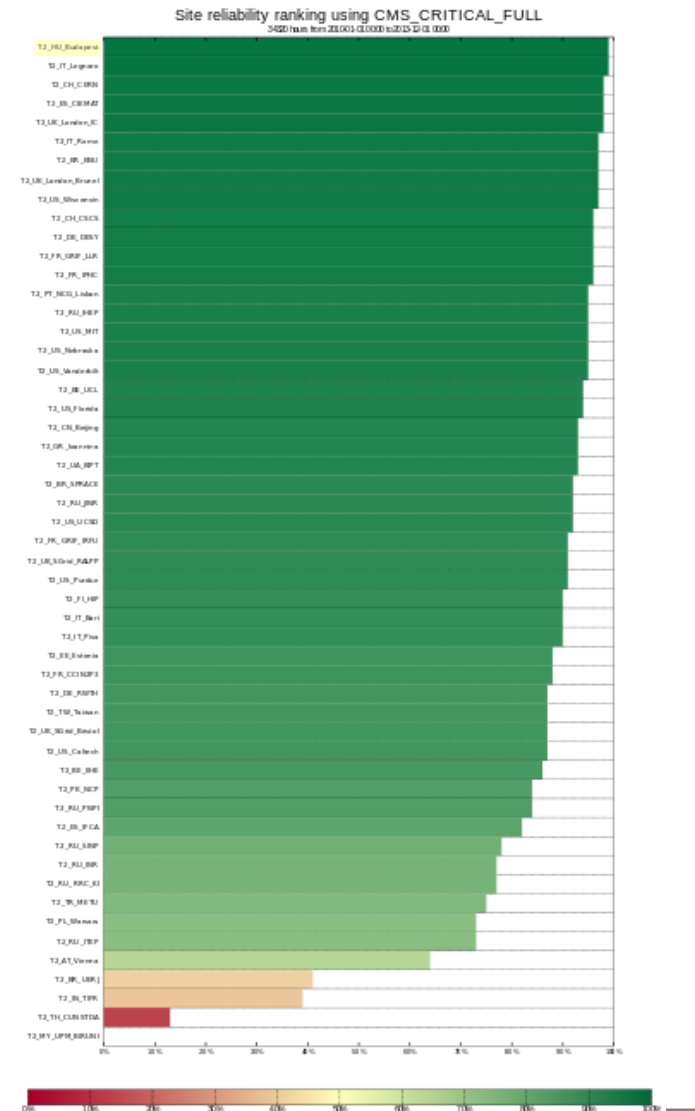
2008

2009

2010



2011-2013



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

Megkaptuk a Tier-0 felét:  
Wigner Data Center.

325000 CPU-mag, 250 PB tároló (2013-19)



# 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.

# Még három PhD-dolgozat

## Részecskefizika tanítása középiskolában

Oláh Éva Mária

## Study of Inclusive and Correlated Particle Production in Elementary Hadronic Interactions

Ph.D Thesis

Dezső Varga

Doctorate School of Physics

Head: Dr. Zalán Horváth

Particle Physics and Astronomy Program

Head: Dr. György Pócsik

Supervisor: Dr. György Vesztergombi

Department of Atomic Physics

Eötvös Loránd University

Budapest, July 2003.

Témavezető: Dr. Horváth Dezső

Dr. Varga Dezső

ELTE TTK Fizika Doktori Iskola

Vezető: Dr. Tél Tamás

Fizika Tanítása Program

Vezető: Dr. Tél Tamás



Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

2018.

Doktori (PhD) értekezés tézisei  
Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

A CMS kísérlet Barrel Műon Helyzetmeghatározó Rendszerének kalibrációja, validációja és működtetése

Calibration, validation and operation of the CMS Barrel Muon Position Monitoring System

Béni Noémi Tekla

Témavezető/Supervisor: Dr. Bencze György



DEBRECENI EGYETEM  
Fizikai Tudományok Doktori Iskola  
UNIVERSITY OF DEBRECEN  
DOCTORAL SCHOOL OF PHYSICS  
Debrecen, 2019