

Magyarország és a CERN

*Előadás fizikatanárok részére
(CERN, 2024)*

Horváth Dezső

horvath.dezso@wigner.hu

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

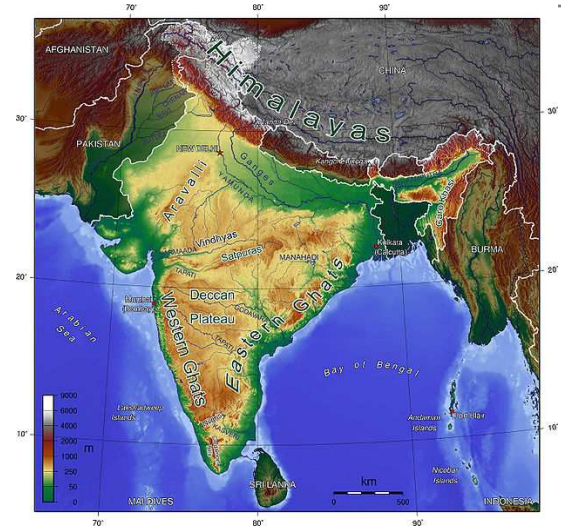
A felfedezés rögös útja, 1492

A kutatás
frontvonala:

Az
Atlanti-óceán
partja



A kutatás
célja:
India elérése



A kutatás
eszköze:
Columbus hajói



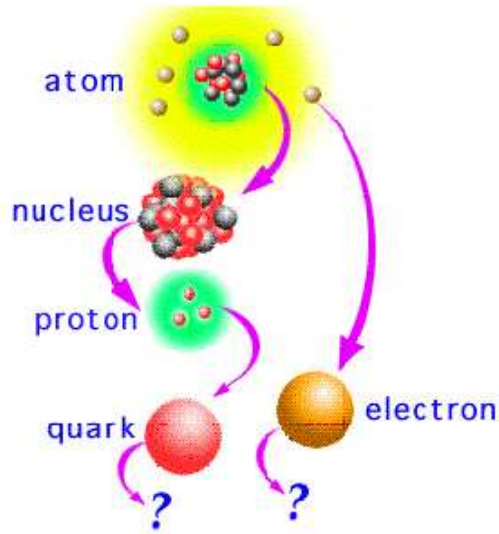
A kutatás
eredménye:
Amerika
felfedezése



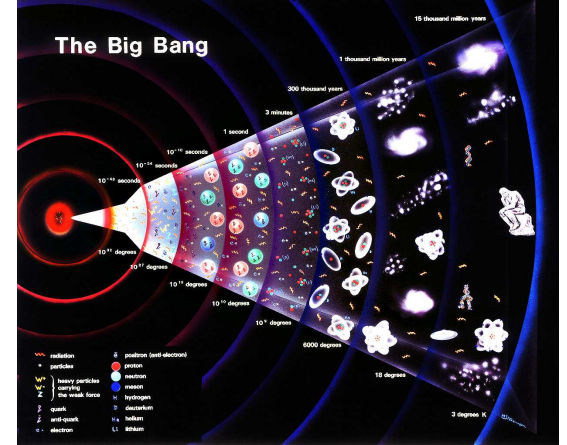
(Vesztergombi György † után)

A felfedezés rögös útja, 2009 – ??

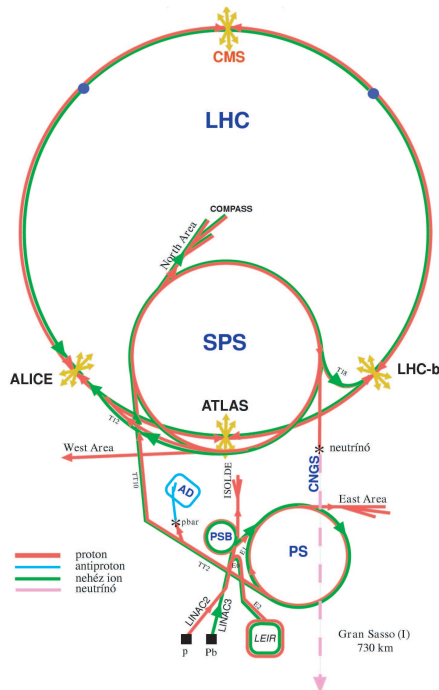
A kutatás frontvonala:
Az anyag mély szerkezete



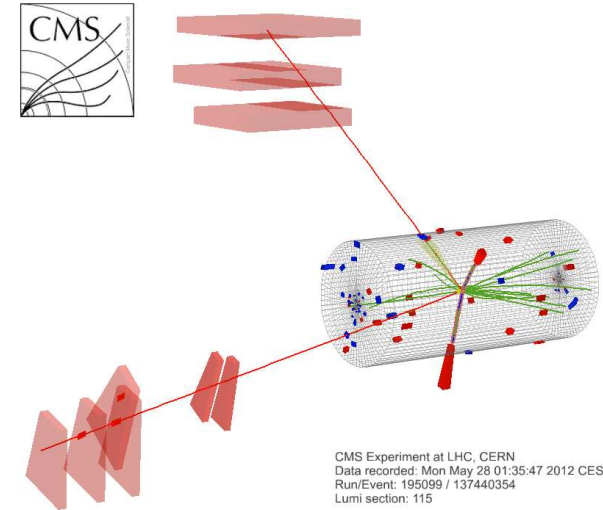
A kutatás célja:
Higgs-bozon, ősrobbanás utáni állapot



A kutatás eszköze:
nagyenergiájú gyorsítók

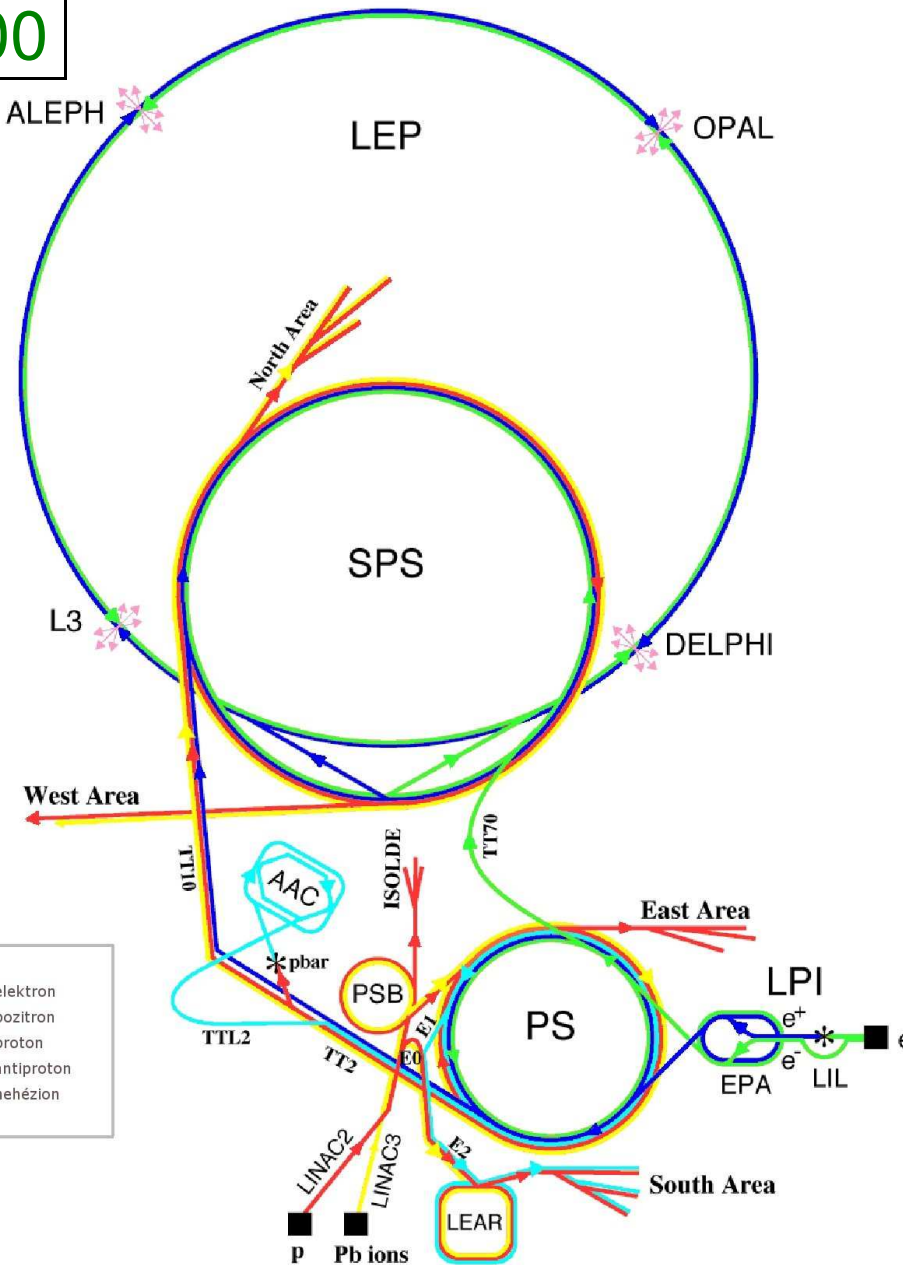


A kutatás eredménye:
Higgs-bozon!
Kvark-gluon plazma
Sötét anyag?
Új fizika?



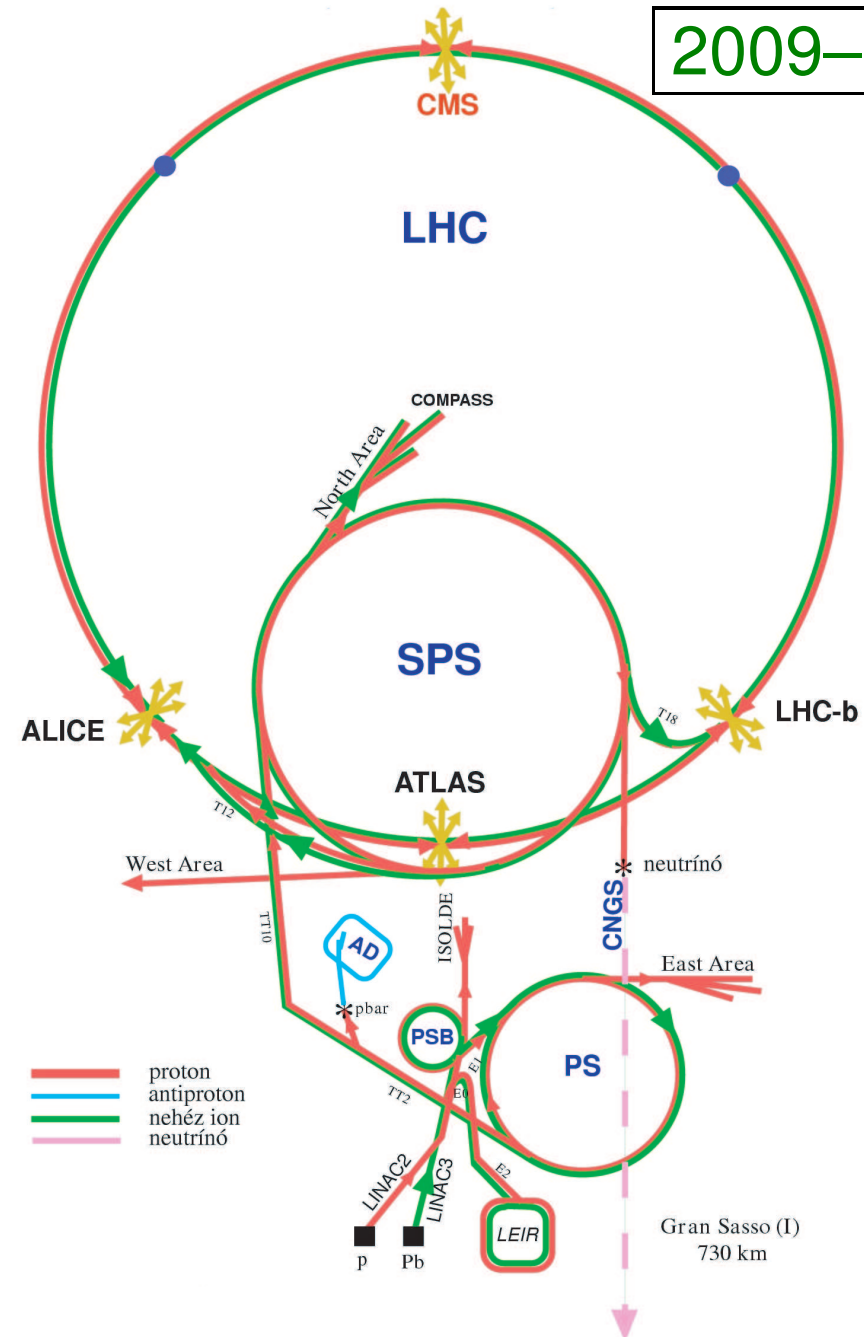
A CERN gyorsítói

–2000



- 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:

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

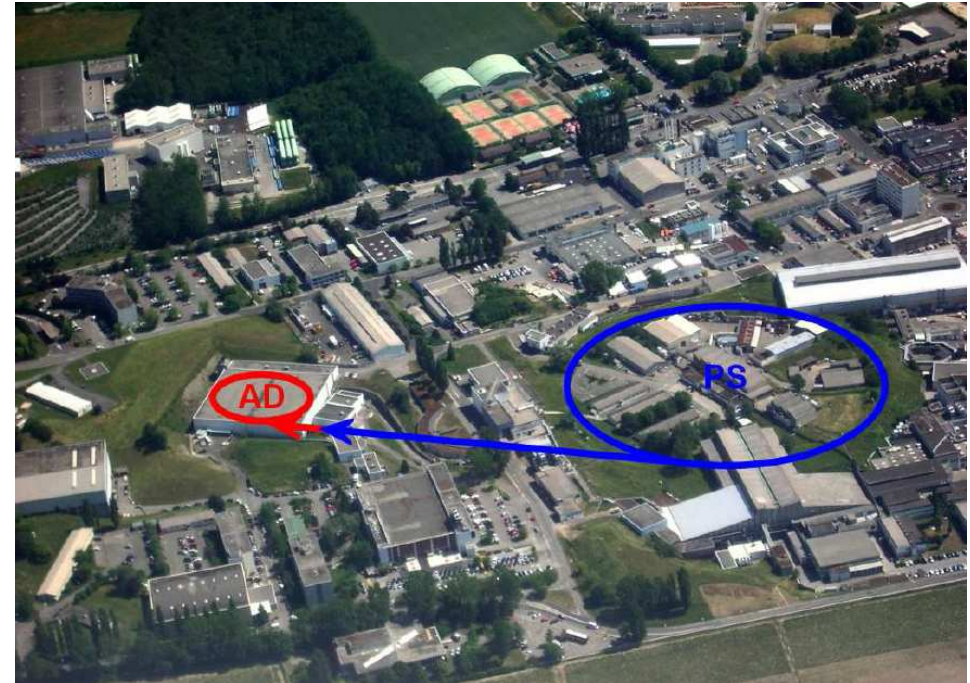
BASE: $\mu_e(\bar{p}) \leftrightarrow \mu_e(p)$

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

AEGIS & GBAR & 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, 2024

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

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

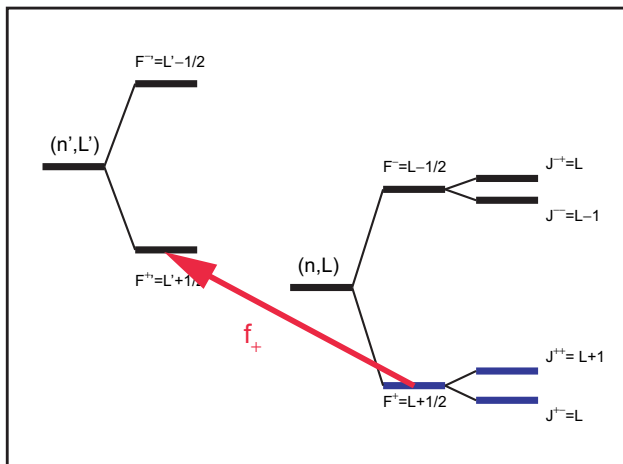
M. Hori, ..., A. Sótér, D. Barna, ... B. Juhász, ... D. Horváth: *Nature* 475 (2011) 484-488

Diplomamunka: Juhász Bertalan, Ujvári Balázs, Sótér Anna

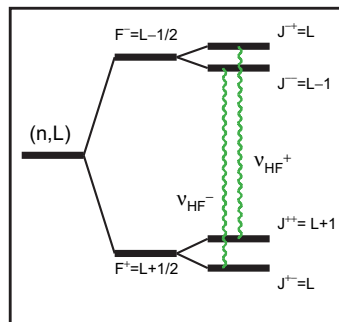
PhD: Juhász Bertalan, Sótér Anna



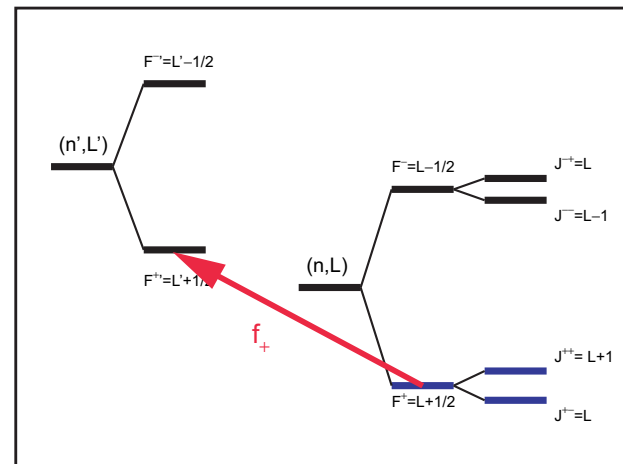
$\mu(\bar{p})$: vonal-felhasadás $\bar{p}\text{He}^+$ -ban



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



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

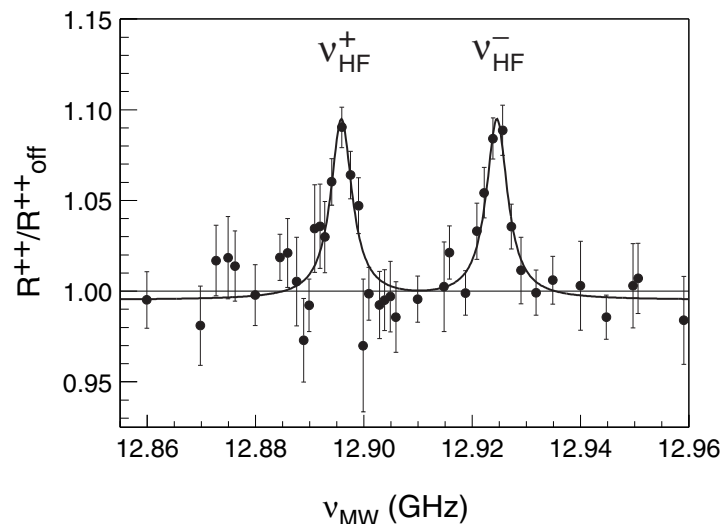


Step 3: probing of population of F^+ doublet with 2nd f_+ laser pulse

Mágneses momentumok

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

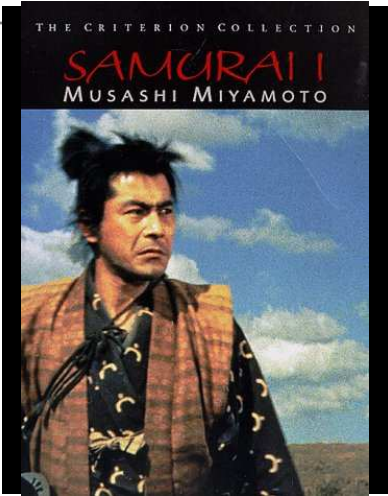
S. Friedreich, D. Barna, F. Caspers, A. Dax, R.S. Hayano, M. Hori, D. Horváth, B. Juhász, T. Kobayashi, O. Massiczek, A. Sótér, K. Todoroki, E. Widmann, J. Zmeskal: *Phys. Lett. B* 700 (2011) 1-6.



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)

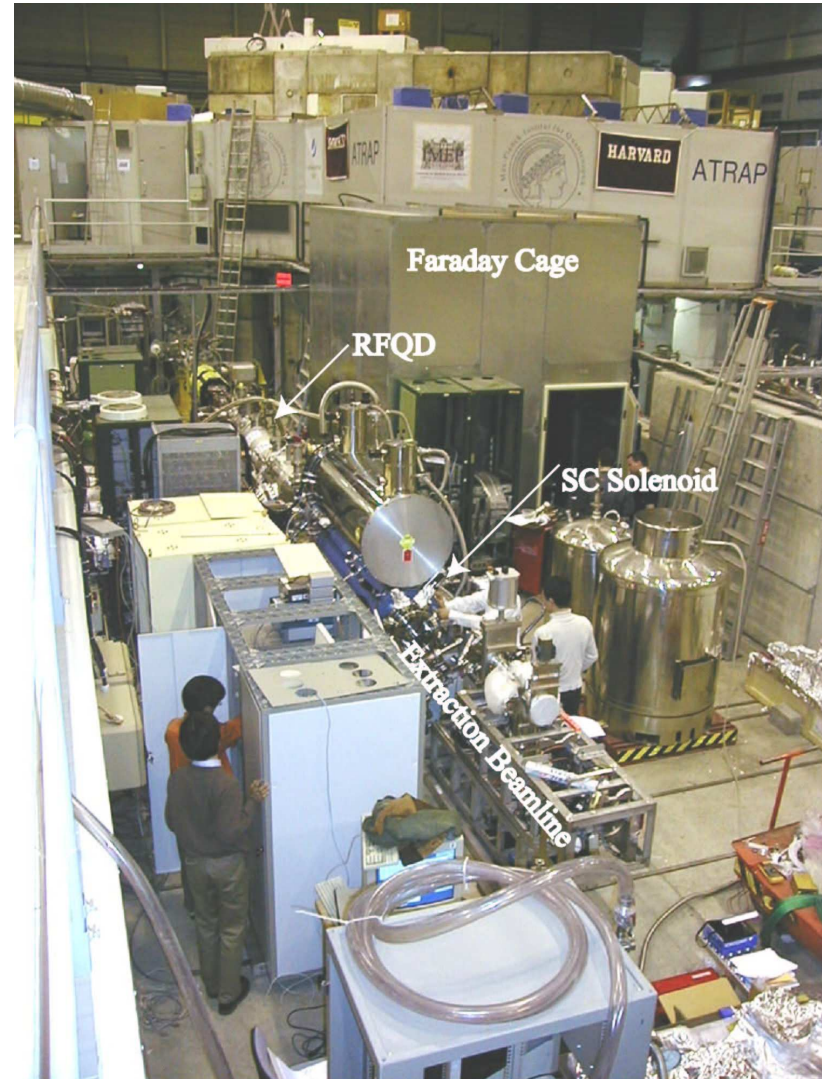
5×10^6 \bar{p} csapdában hűtve (2002)

$> 5 \times 10^5$ 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.

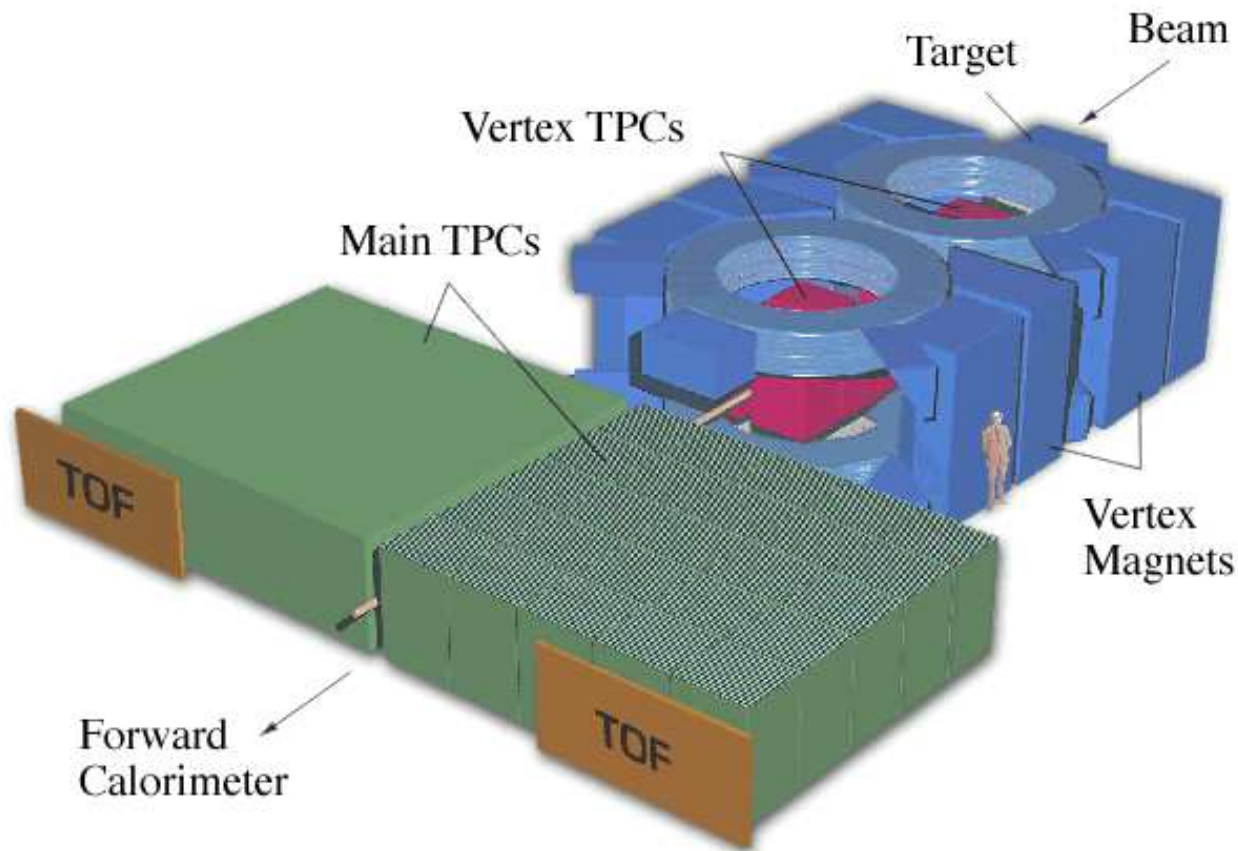


Nehézion-fizika: NA49 → NA61

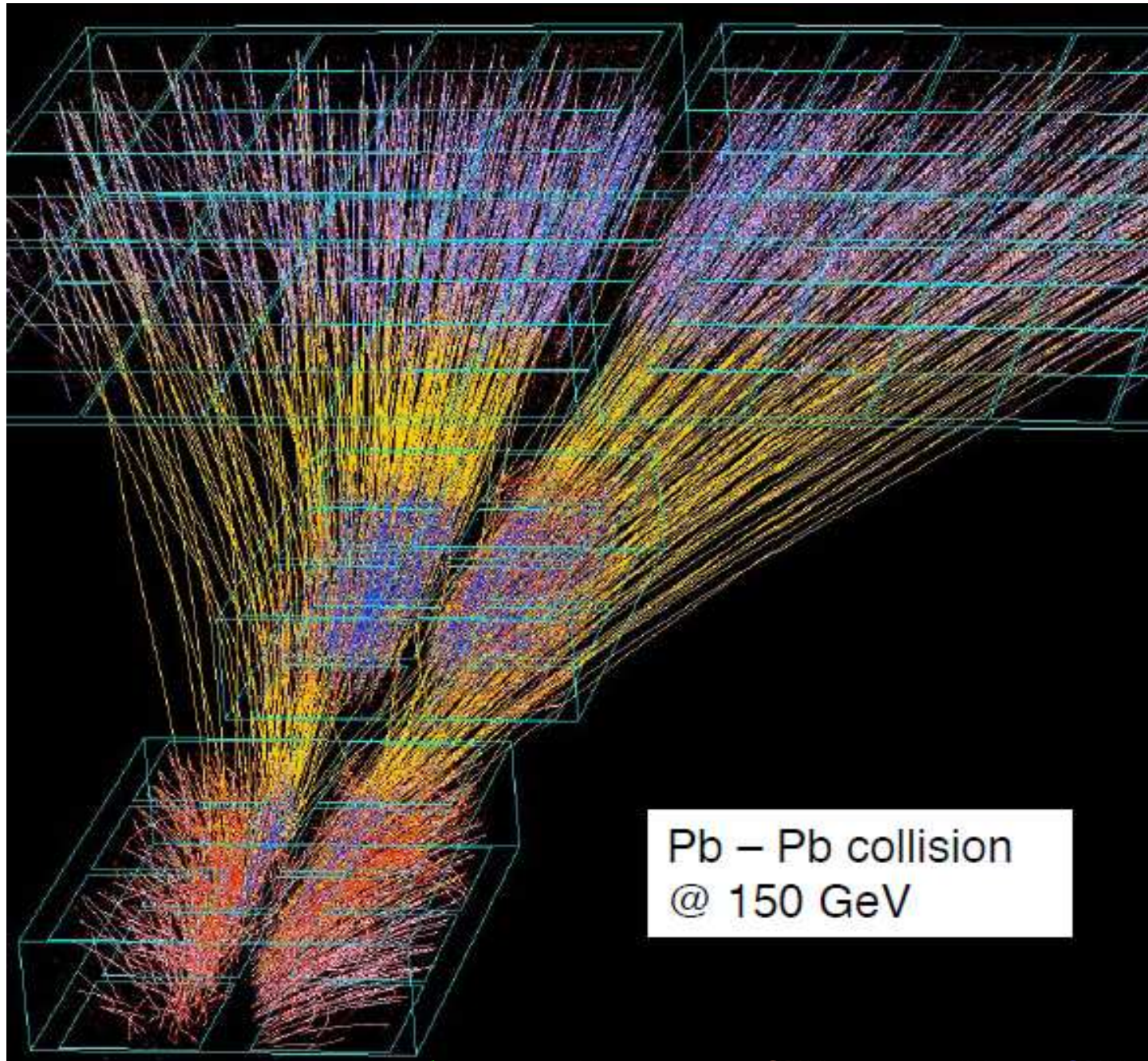
Társalapító és próféta: Vesztergombi György †

Technikai koordinátor: Fodor Zoltán

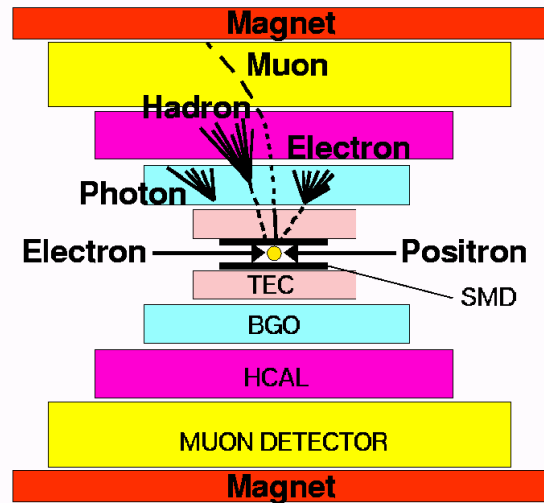
Számos diplomamunka és PhD (ELTE): Siklér Ferenc,
Veres Gábor, Varga Dezső, Barna Dániel, László András,
Márton Krisztina



Pb-Pb ütközés az NA49 detektorban



L3, az első 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

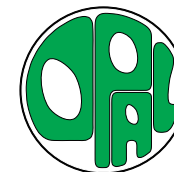
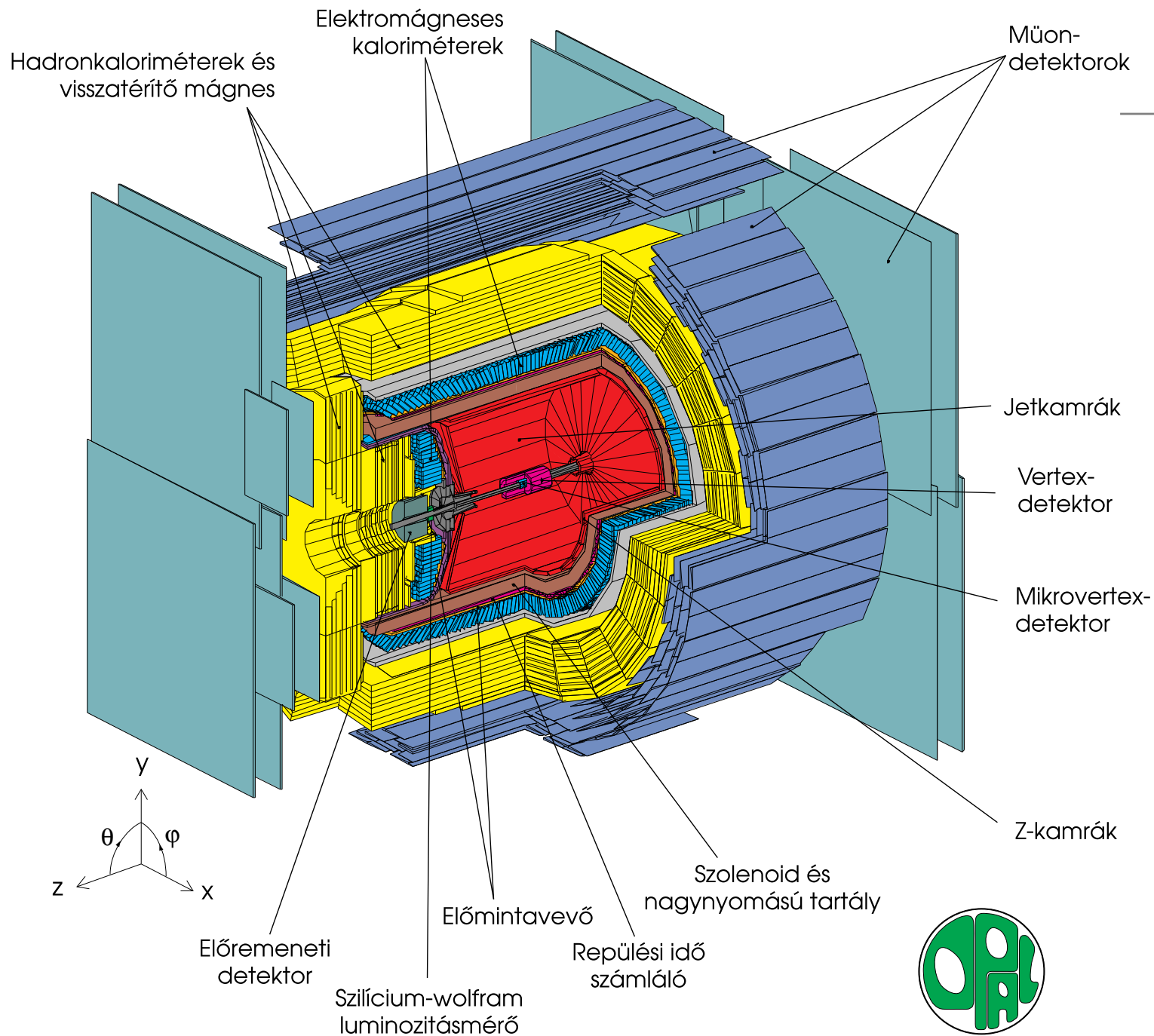
OPAL–PhD

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 →ELTE	1997	QCD
Ujvári Balázs	DE	2001	$\gamma\gamma$
Vértesi Róbert	BME→DE→WFK	2002	$\gamma\gamma$

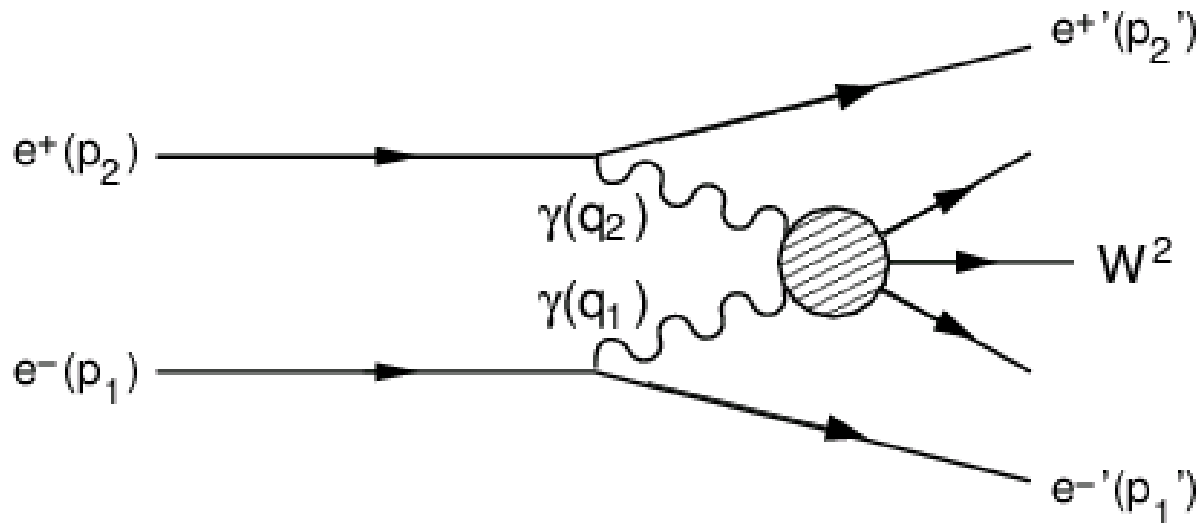


Az OPAL detektor

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 $\tau^+\nu_\tau$

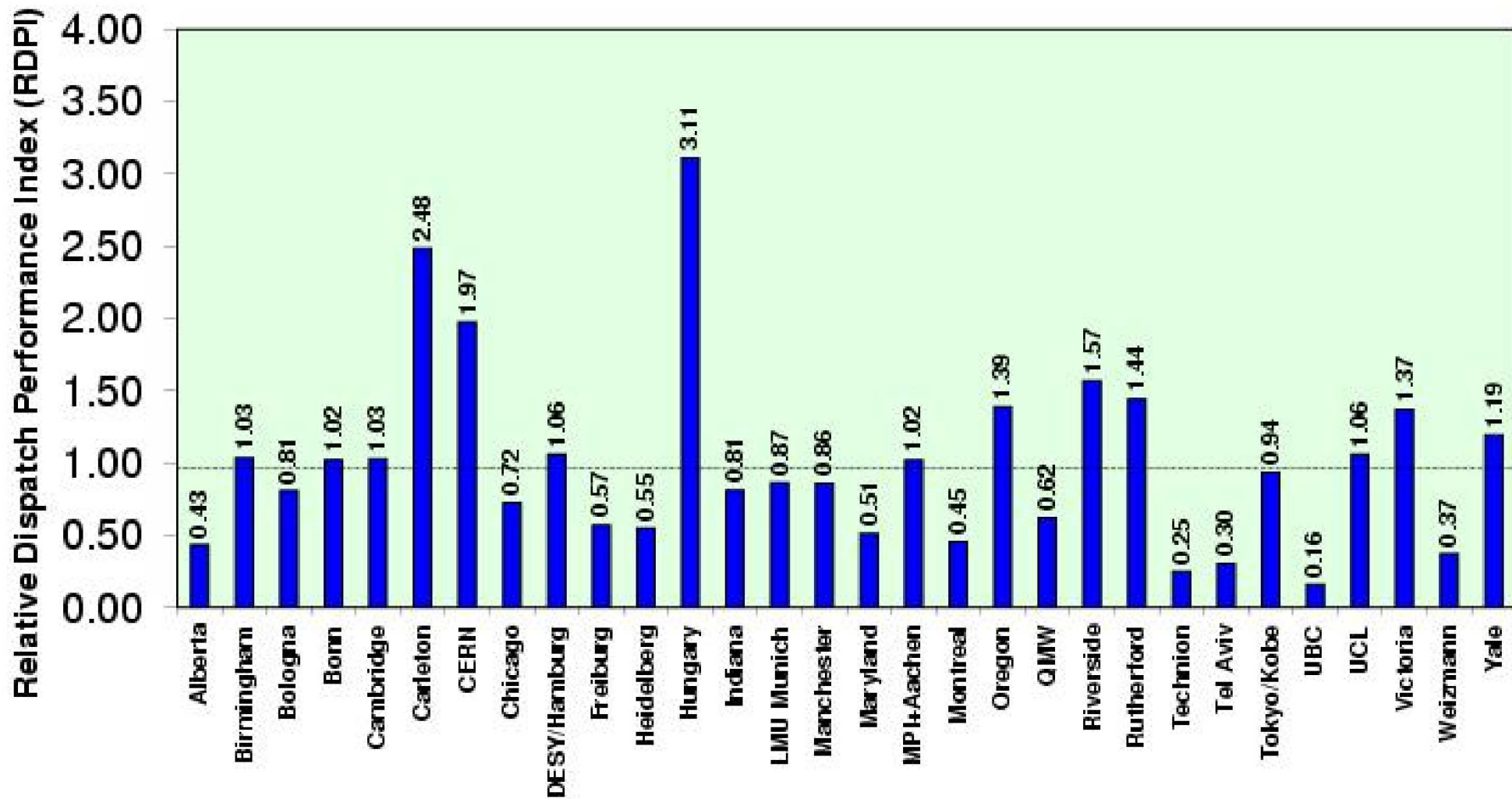
Három csatorna \Rightarrow három analízis:

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

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



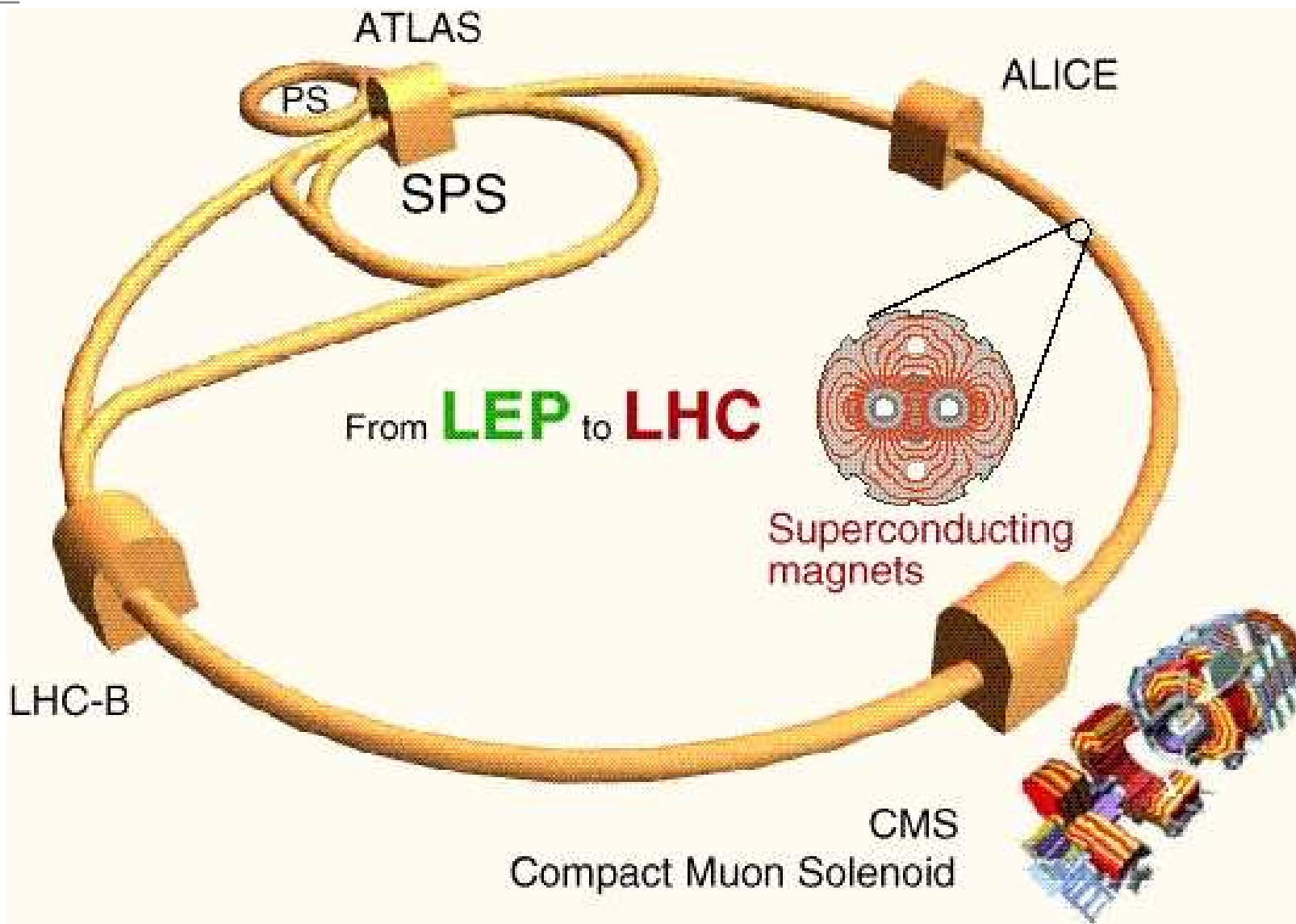
Az OPAL publikációs aktivitása, 2001



A versenyt 2002-ben végleg megnyertük



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



A CMS-együttműködés

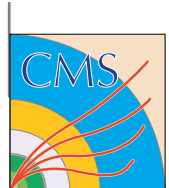


CMS-együttműködés, 2019

- 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 ~ 6 m, $B = 3.8$ Tesla

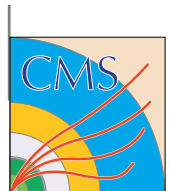
Detektorépítésben magyar részvétel:

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-2024, CERN

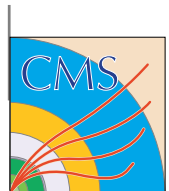
– p. 24/41

CMS magyar résztvevői

A legutóbbi CMS-cikkeken 2355 szerző volt, közöttük 25 magyar:

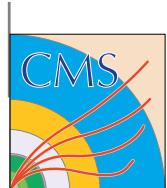
ATOMKI, Debrecen
Debreceni Egyetem
Eötvös Egyetem, Budapest
Eszterházy Károly Egyetem, Eger
Wigner FK, Budapest

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>

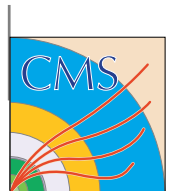
DCS-koordinátor: Szillási Zoltán, ATOMKI; DQM-felügyelő: HD

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



Magyar CMS-munkák: fizikai analízis

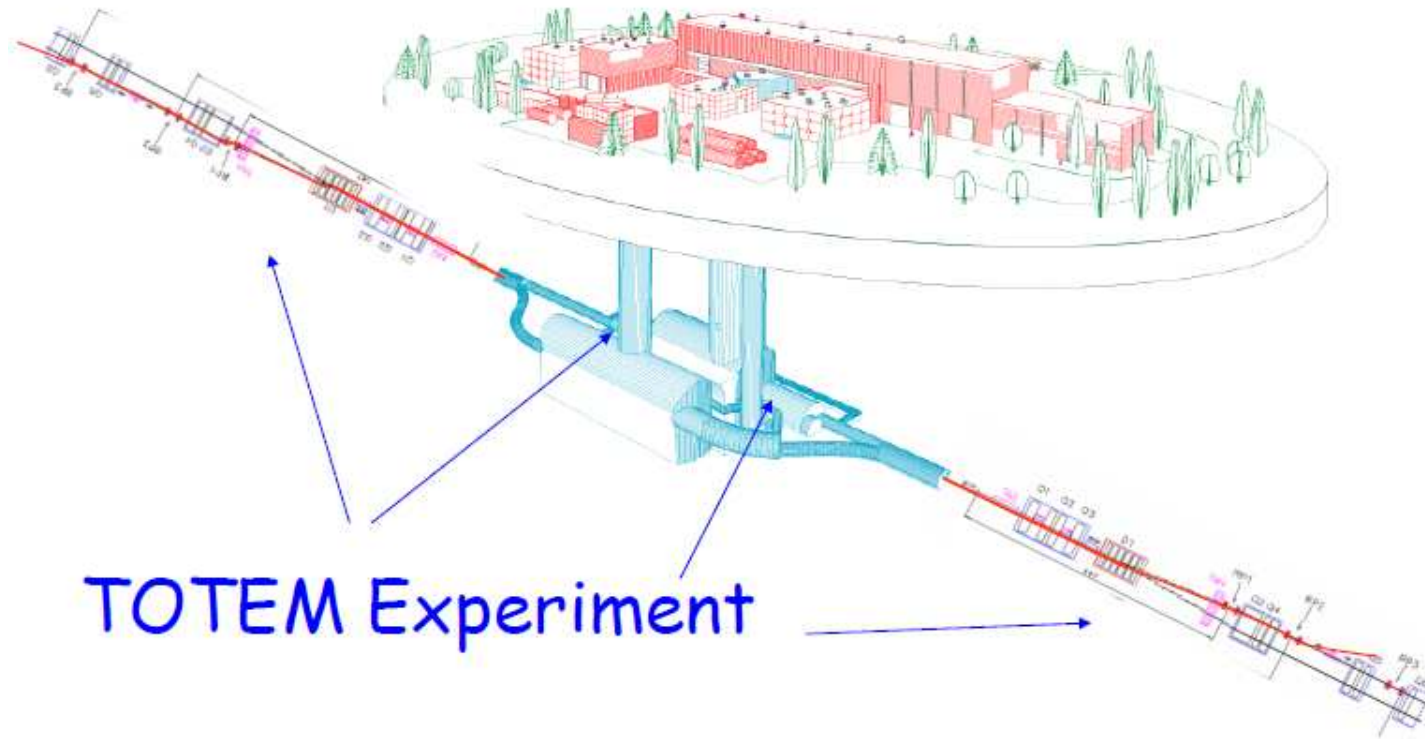
- Nehézion-fizika, QCD
WFK + ELTE (Csanád Máté, Siklér Ferenc, Veres Gábor)
- SUSY-részecskék keresése
ATOMKI + DE + WFK (Veszprémi Viktor, Karancsi János, Bartók Márton)
- A standard modell ellenőrzése
ELTE (Pásztor Gabriella), WFK (Horváth Dezső)



Az LHC TOTEM-kísérlete



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



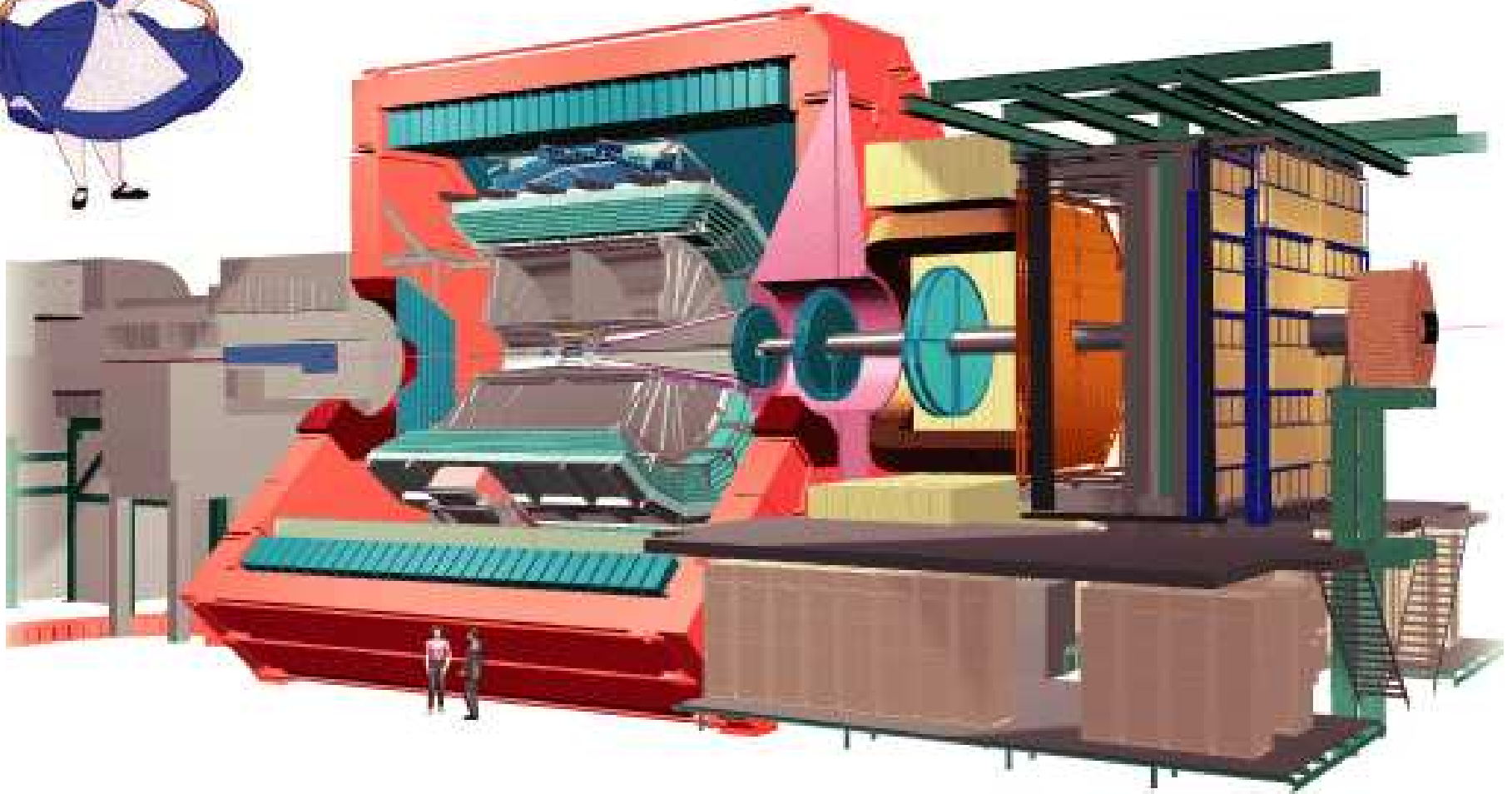
Csörgő Tamás, Novák Tamás, Ster András, Sziklai János (WFK),
Csanád Máté, Nemes Frigyes (ELTE)

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

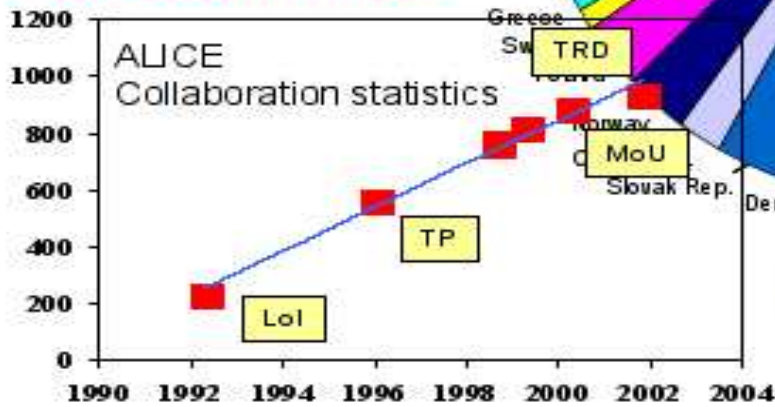
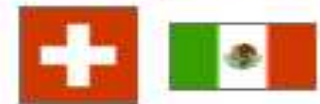
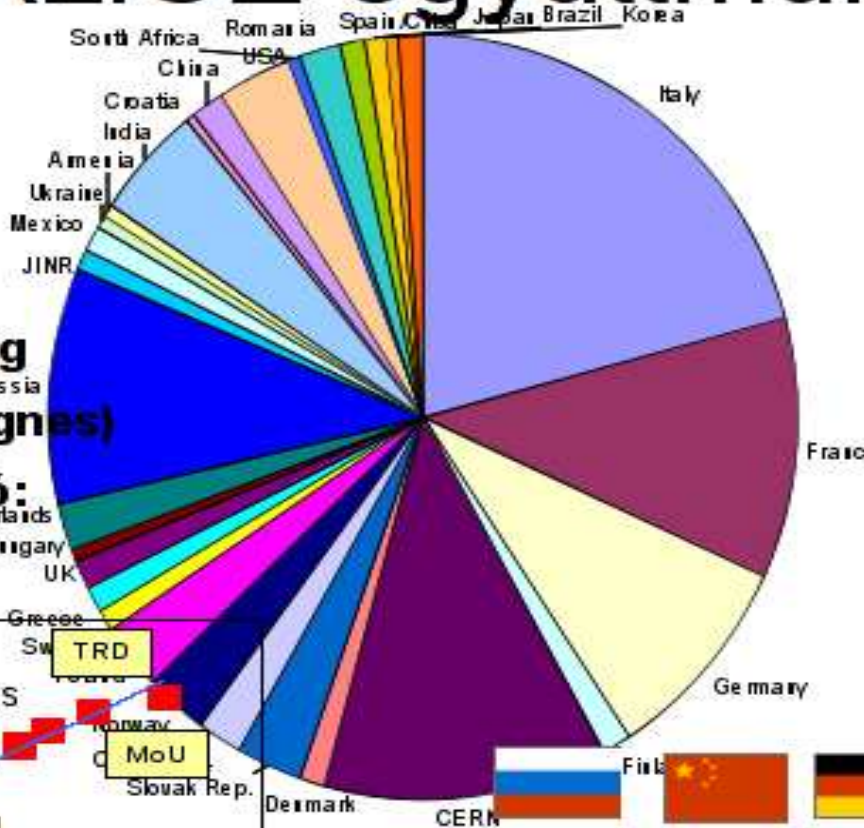
~ 100 intézet

~ 150 MCHF költség

(+ 'ingyen' mágnes)

További információ:

aliceinfo.cern.ch



Az LHC ALICE-kísérlete: magyarok

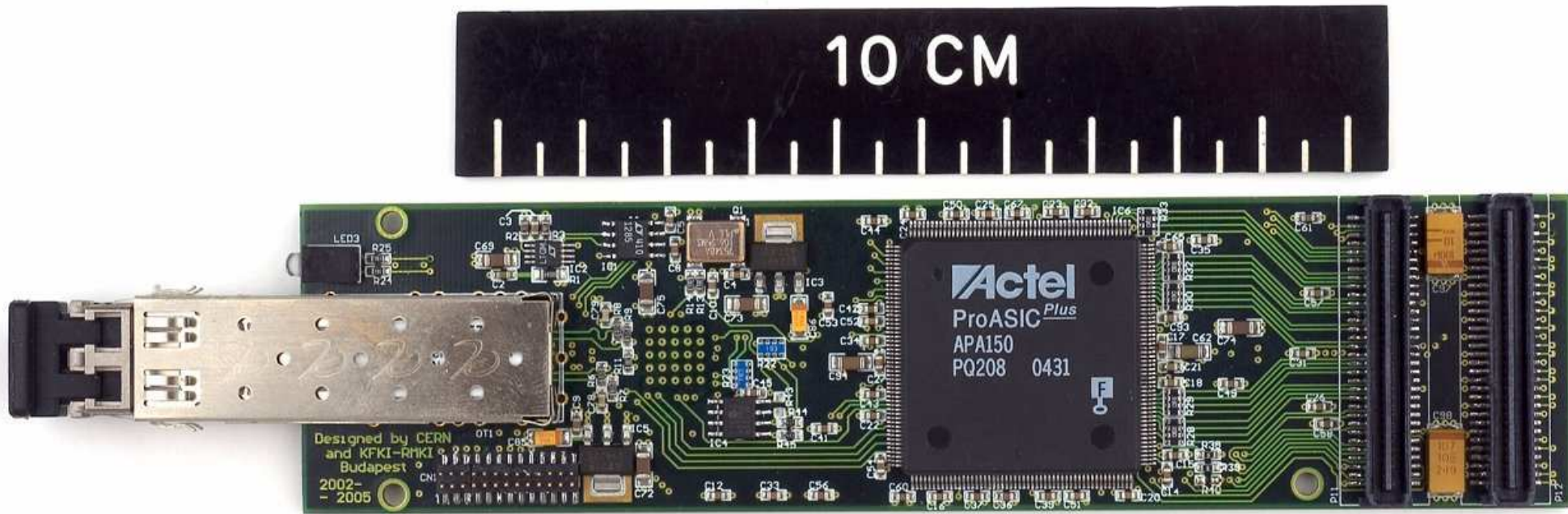
2024: 10 magyar szerző 1080-ból

Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest

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

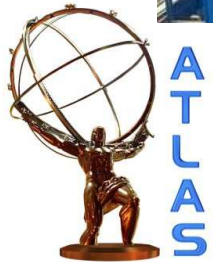
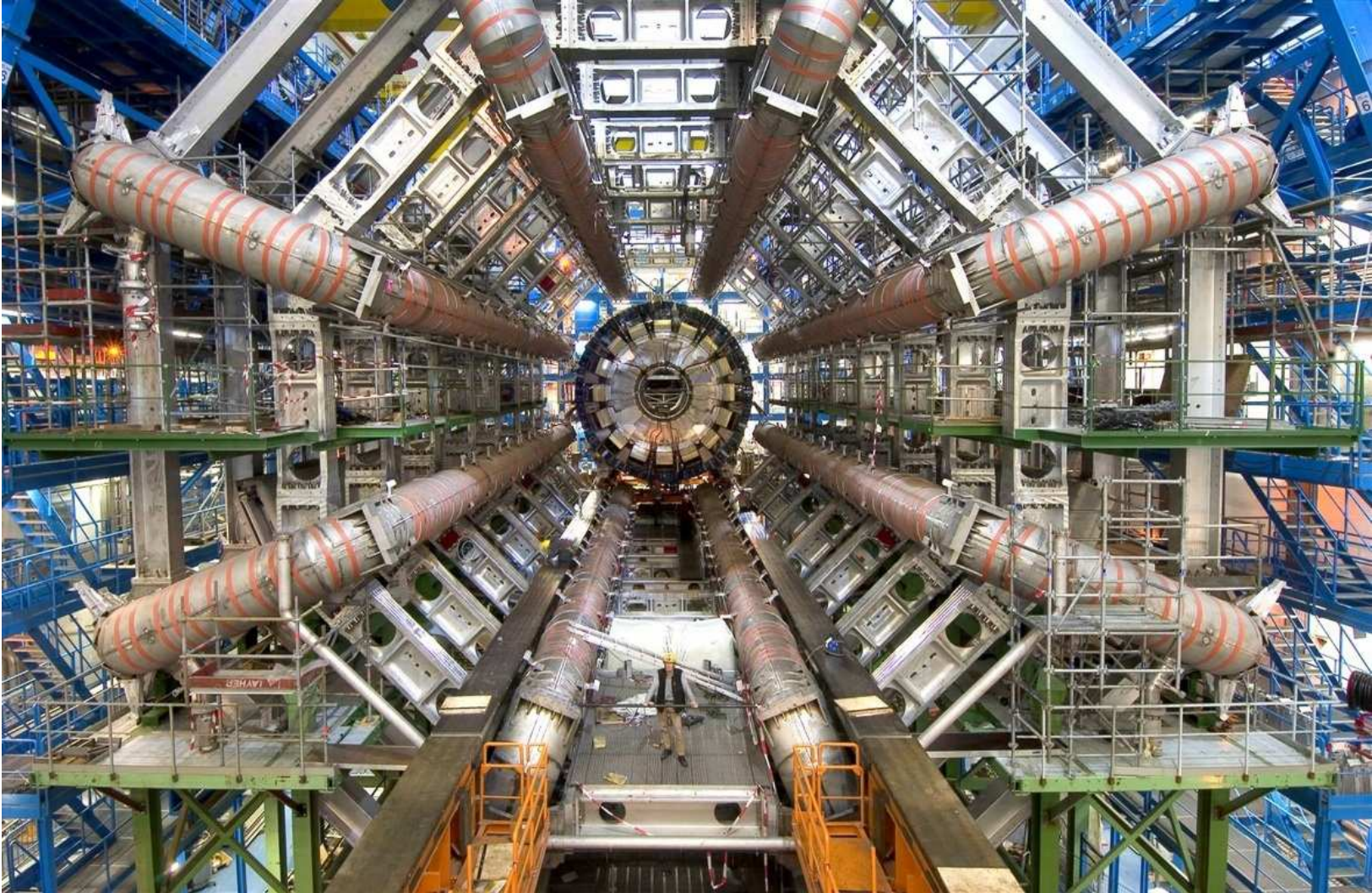
A Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest
Nagyenergiás Fizikai Osztálya fejlesztése



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



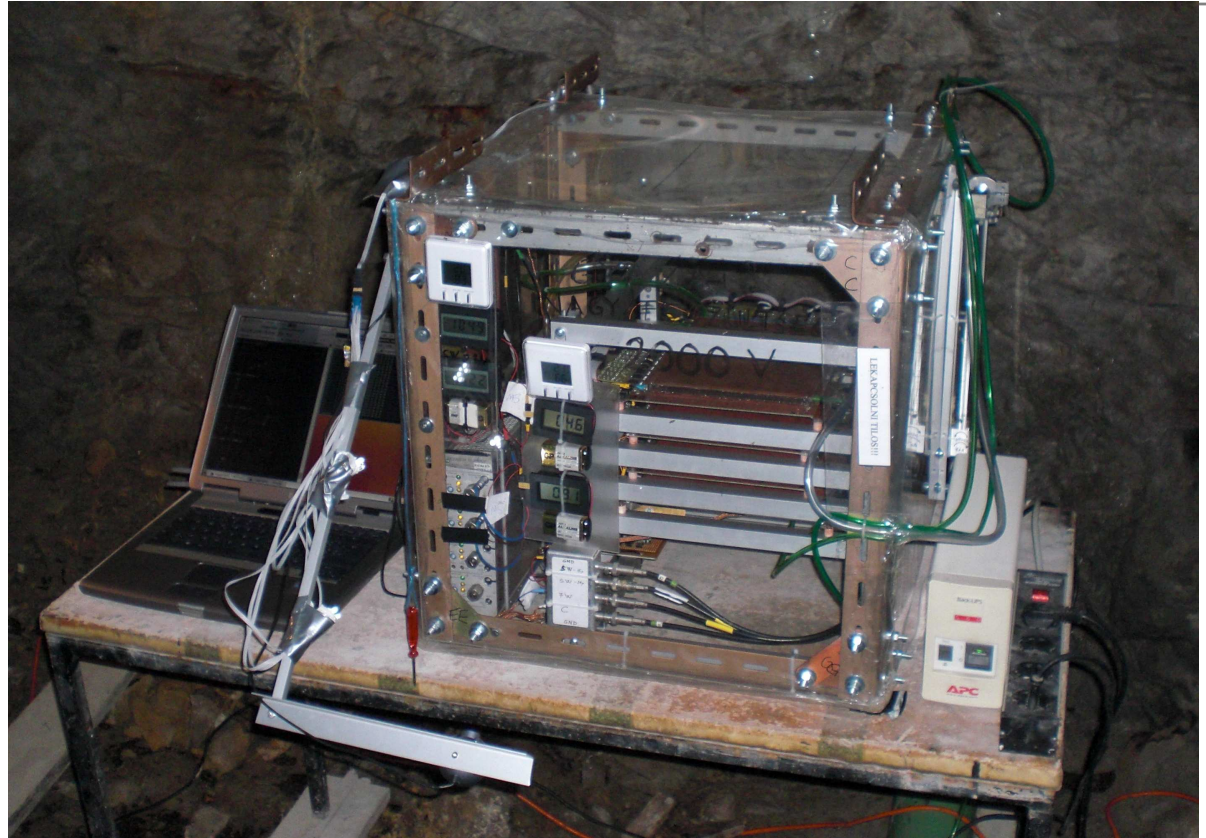
Detektorok fejlesztése (észlelő, elektronika és szoftver)
különböző részecskefizikai kísérletek számára (ALICE,
NA61, ...)



Detektor-fejlesztés: kozmikus müonok



Közeli-katódú kamra



Müon-detektor a budapesti Molnár
János-barlangban

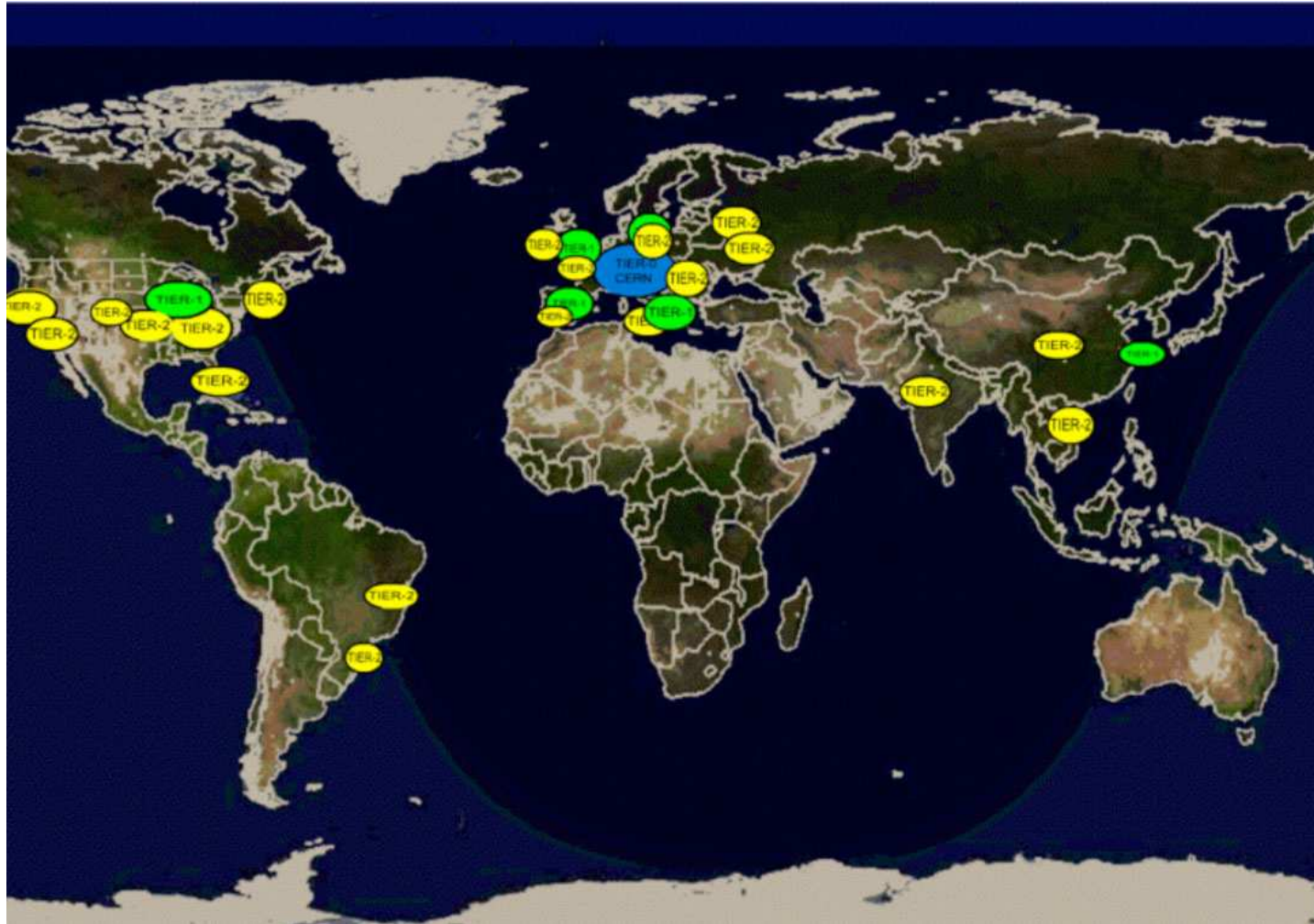
Barlangok fölötti sűrűségváltozások (üregek, sűrűbb kőzetek)
feltérképezése (Barnaföldi Gergely, Oláh László)

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

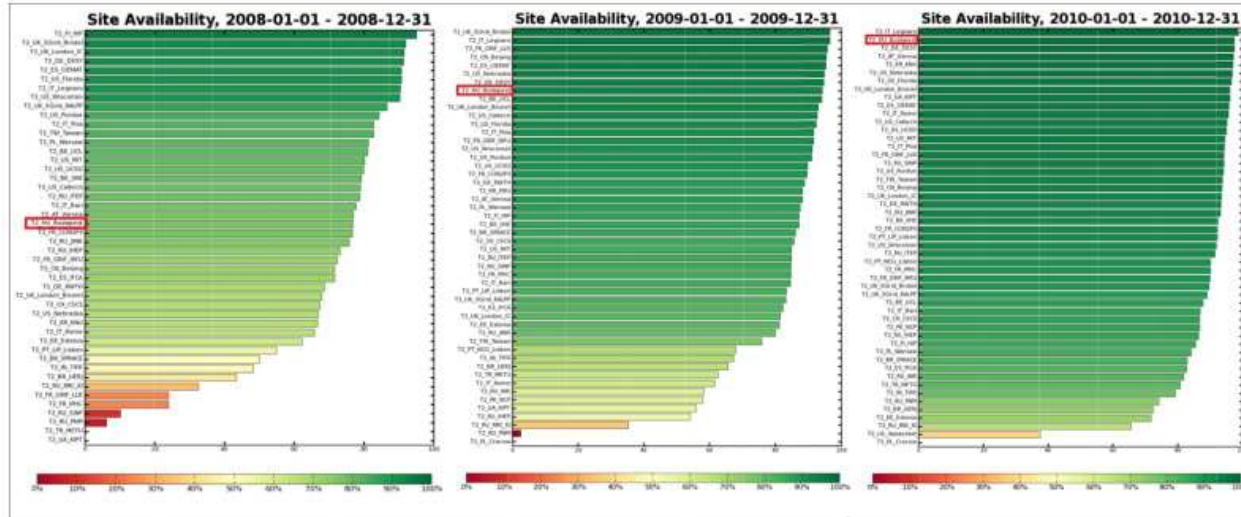
Tier-2 (WFK): 4000 CPU-mag + 3500 TB HD, CMS és ALICE VO (2:1)

A CMS Tier-2-i: megbízhatóság

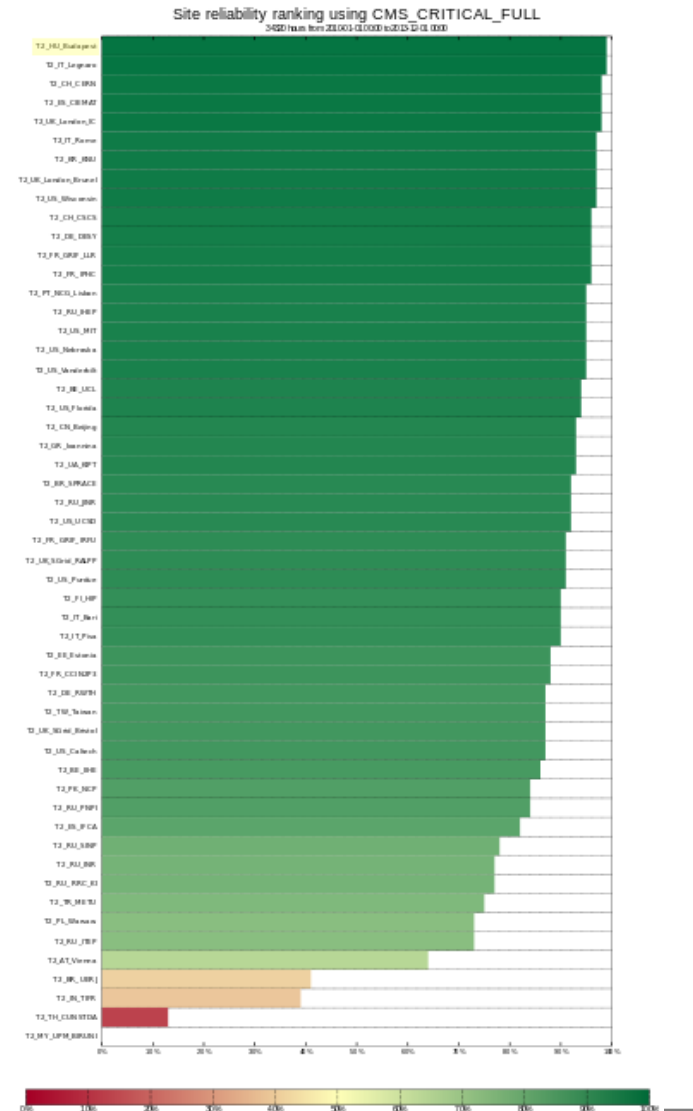
2008

2009

2010



2011-2013



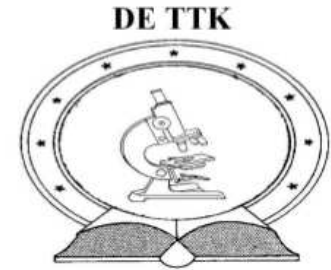
Az WFK T-2 állomása gyorsabban javult, mint a többi, és felverekedte magát a 1. helyre.

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 Mion 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