

A CERN óriási részecskegyorsítója és kísérletei

Horváth Dezső

horvath@rmki.kfki.hu

MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet, Budapest
és MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen



Vázlat

- Részecskék és kölcsönhatások
- A CERN és gyorsítói
- A nagy hadron-ütköztető
(*Large Hadron Collider, LHC*)
- A *Compact Muon Solenoid (CMS)* kísérlet
- 2008. szeptember 10: átütő siker
- 2008. szeptember 19: katasztrófa
- Hogyan tovább?
- A részecskefizika haszna

Jéki László: *Indul a legnagyobb részecskegyorsító*
10-részes cikksorozat az LHC-ről: <http://origo.hu/tudomany>



Előszó

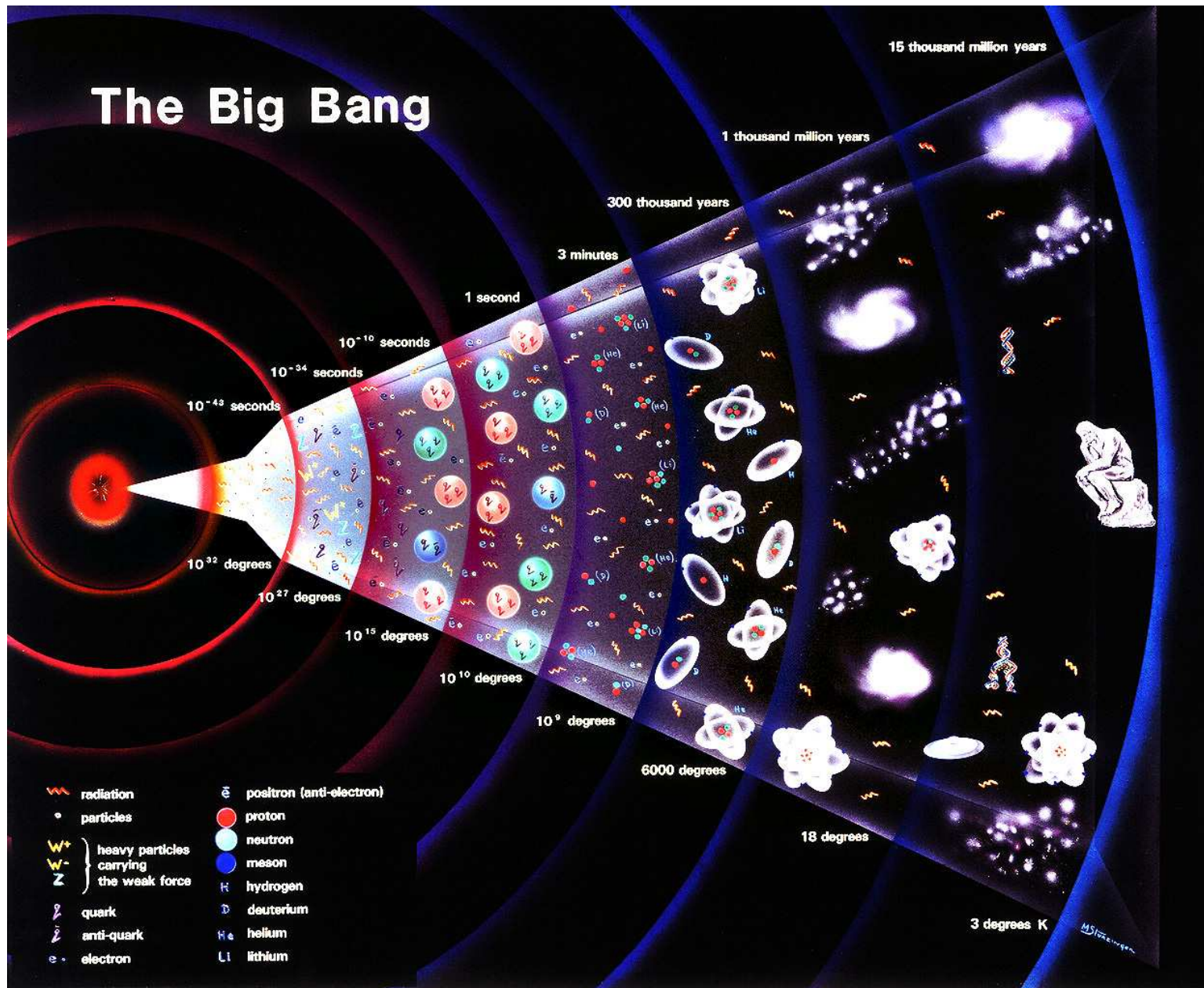
A (részecske)fizika egzakt tudomány:

- Pontos matematikai formalizmuson alapszik.
- Elmélet érvényes, ha kiszámítható, és eredmény egyezik kísérlettel.
- Az igazi fogalmak mérhető mennyiségek, a szavak csak mankók.

Szavak \Leftrightarrow pontos matematika és kísérleti tapasztalat



Az Univerzum története



LHC = időgép??

Kezdet: ősrobbanás 14.5 milliárd éve

Hogyan mehetünk vissza időben, az Ősrobbanás közelébe?

- Távcső: 4 milliárd év a Nagy Bumm után (Európai Déli Obszervatórium, Chile, Very Large Telescope)
- Mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás: Párszázézer év (amikor az Univerzum átlátszó lett).
- Nagyenergiájú részecskeütközés: Milliomod másodperc (mielőtt az atomok kialakultak volna)

Ükanyánkkal nem találkozunk...



A mikrovilág vizsgálata: nagy energia

1 eV = kinetikus energia, amelyet 1 V átszelésekor szerez egy elektron

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV};$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$















$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$

Tárgy	méret, m	energia
kicsi	10^{-3}	
baktérium	10^{-5}	
λ (fény)	10^{-7}	1 eV
atom	10^{-10}	1 keV
atommag	10^{-14}	1 GeV
elektron	10^{-18}	1 TeV

Nagyobb energia \Rightarrow kisebb távolság \Rightarrow mélyebb szerkezet



A Standard Modell állatkertje

Quarks		Leptons		Bosons
 up	 down	 electron	 neutrino e	 photon
 charm	 strange	 muon	 neutrino μ	 gluon
 top	 beauty	 tau	 neutrino τ	 $Z^0 W^\pm$
				 Higgs

The Standard Model

A. Pich - CERN Summer Lectures 2005



A CERN 20 tagországa

The Twenty Member States of CERN

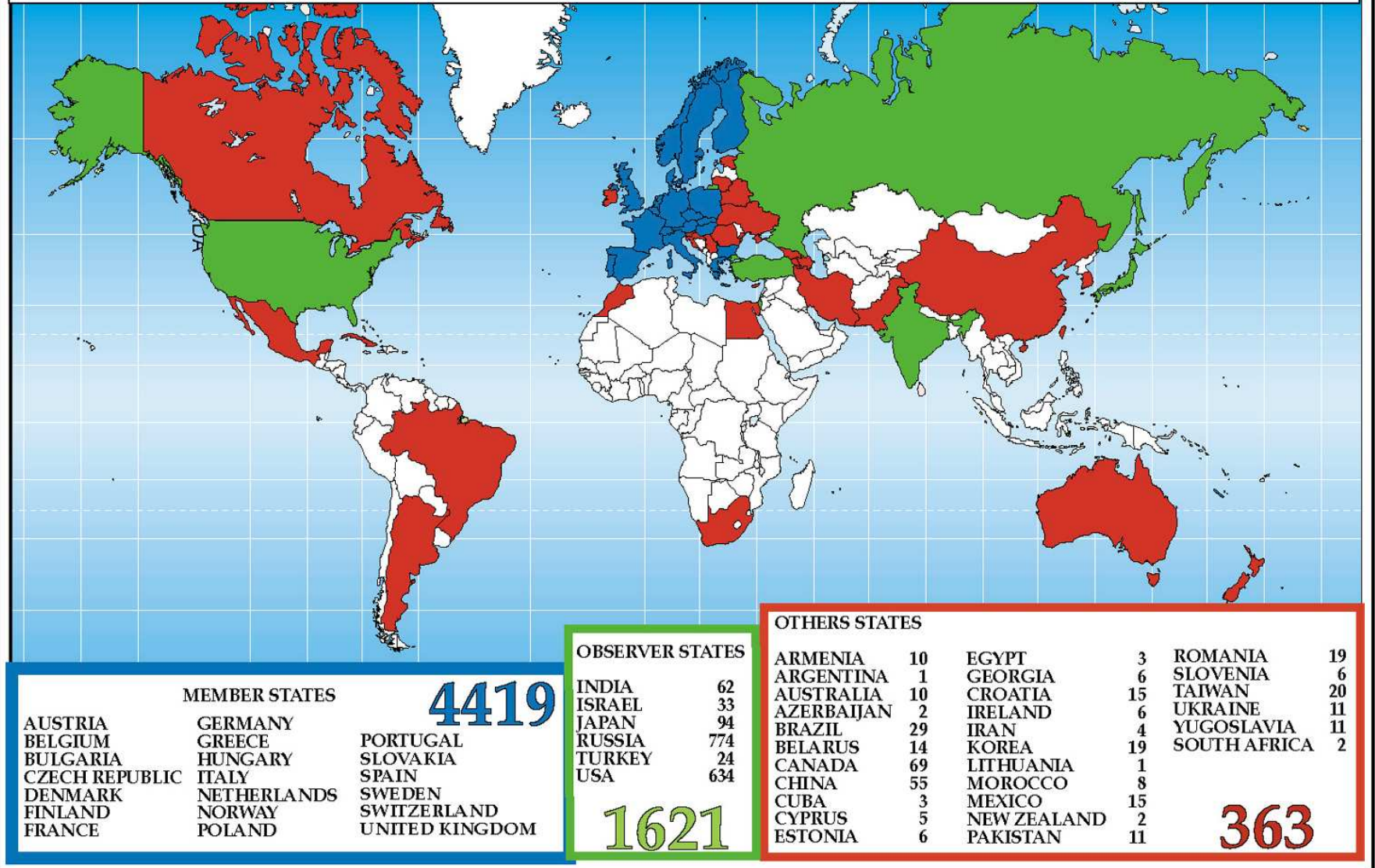


Member States (Dates of Accession)

 AUSTRIA (1959)	 DENMARK (1953)	 GREECE (1953)	 NORWAY (1953)	 SPAIN (1/1961-12/1968-1/1983)
 BELGIUM (1953)	 FINLAND (1991)	 HUNGARY (1992)	 POLAND (1991)	 SWEDEN (1953)
 BULGARIA (1999)	 FRANCE (1953)	 ITALY (1953)	 PORTUGAL (1986)	 SWITZERLAND (1953)
 CZECH FR (1993)	 GERMANY (1953)	 NETHERLANDS (1953)	 SLOVAK FR (1993)	 UNITED KINGDOM (1953)

A CERN kutatói (*felhasználói*)

Distribution of All CERN Users by Institute on 8 September 2004



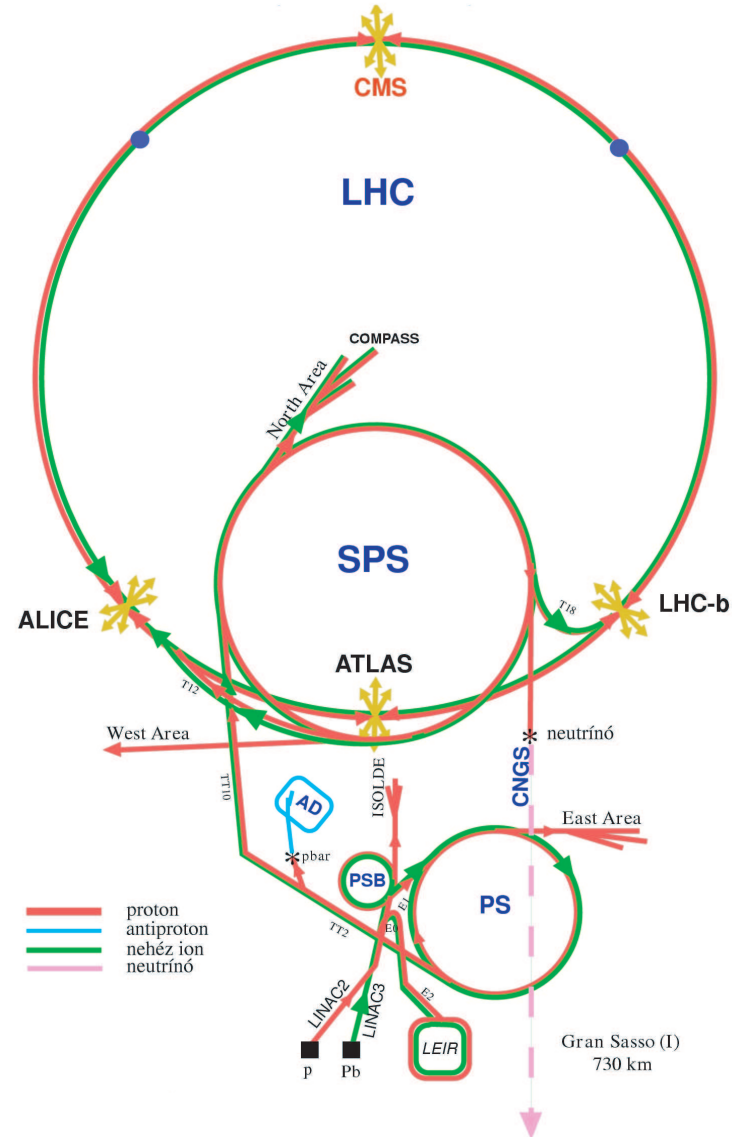
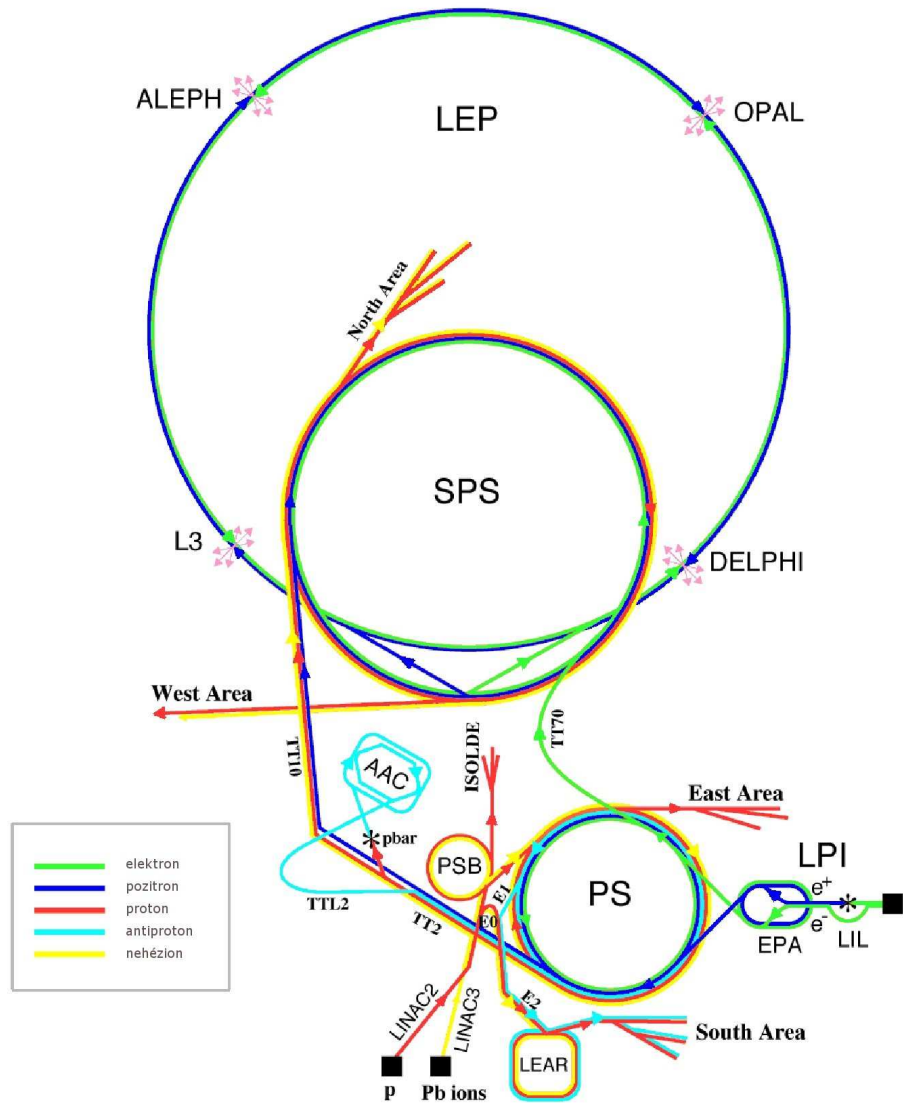
2007: 2544 dolgozó, 9210 kutató



A CERN gyorsítói: múlt és jövő

LEP: 1989–2000

LHC: 2008–202?



A nagy elektron-pozitron ütköztető (LEP)



LEP-események:

$$e^+e^- \rightarrow Z^* \rightarrow \dots$$

pontszerű leptonok
ütközése

tiszta folyamatok

Tipikus OPAL-esemény

$$e^+e^- \rightarrow W^+W^-$$



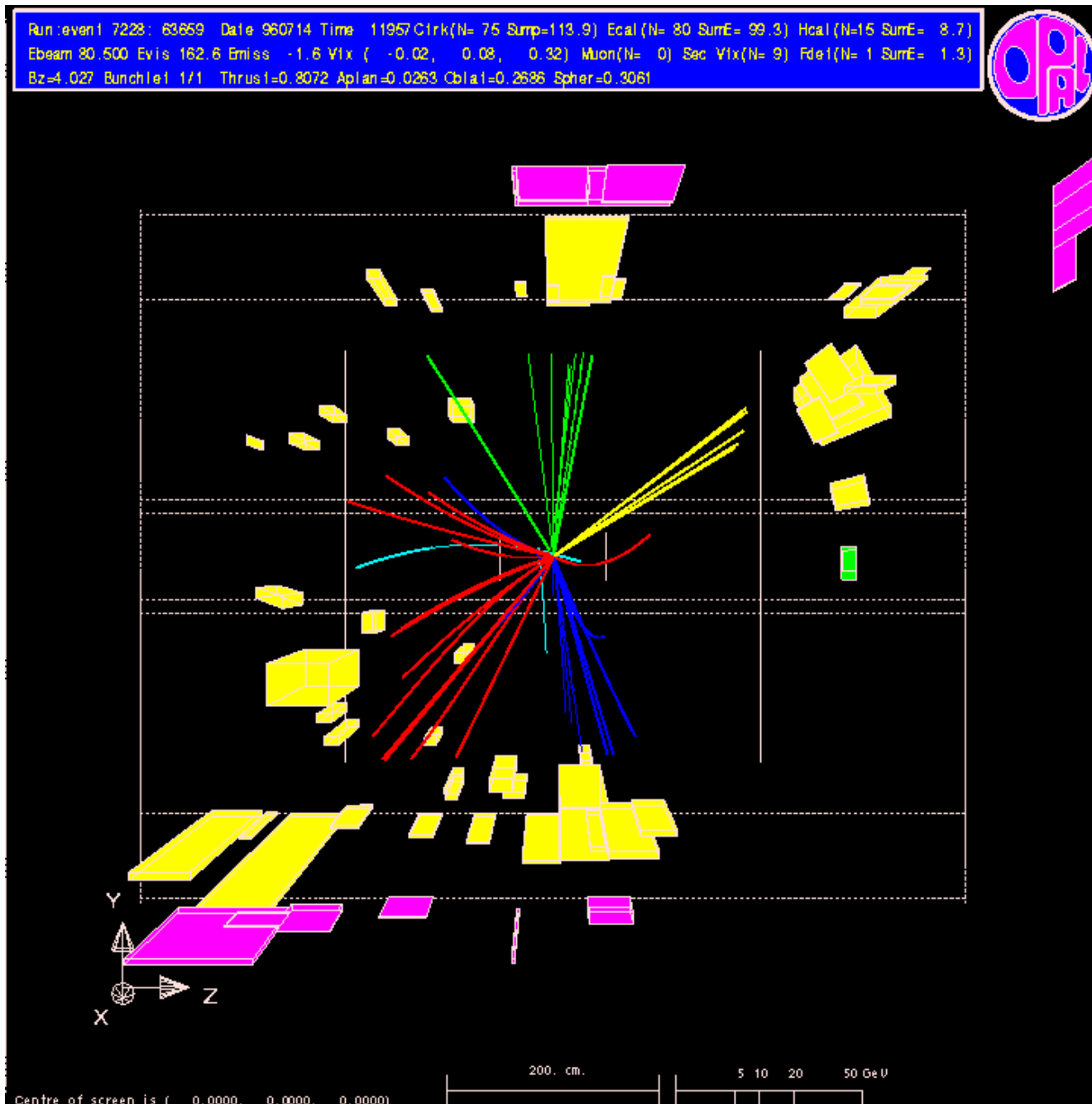
4 kvark



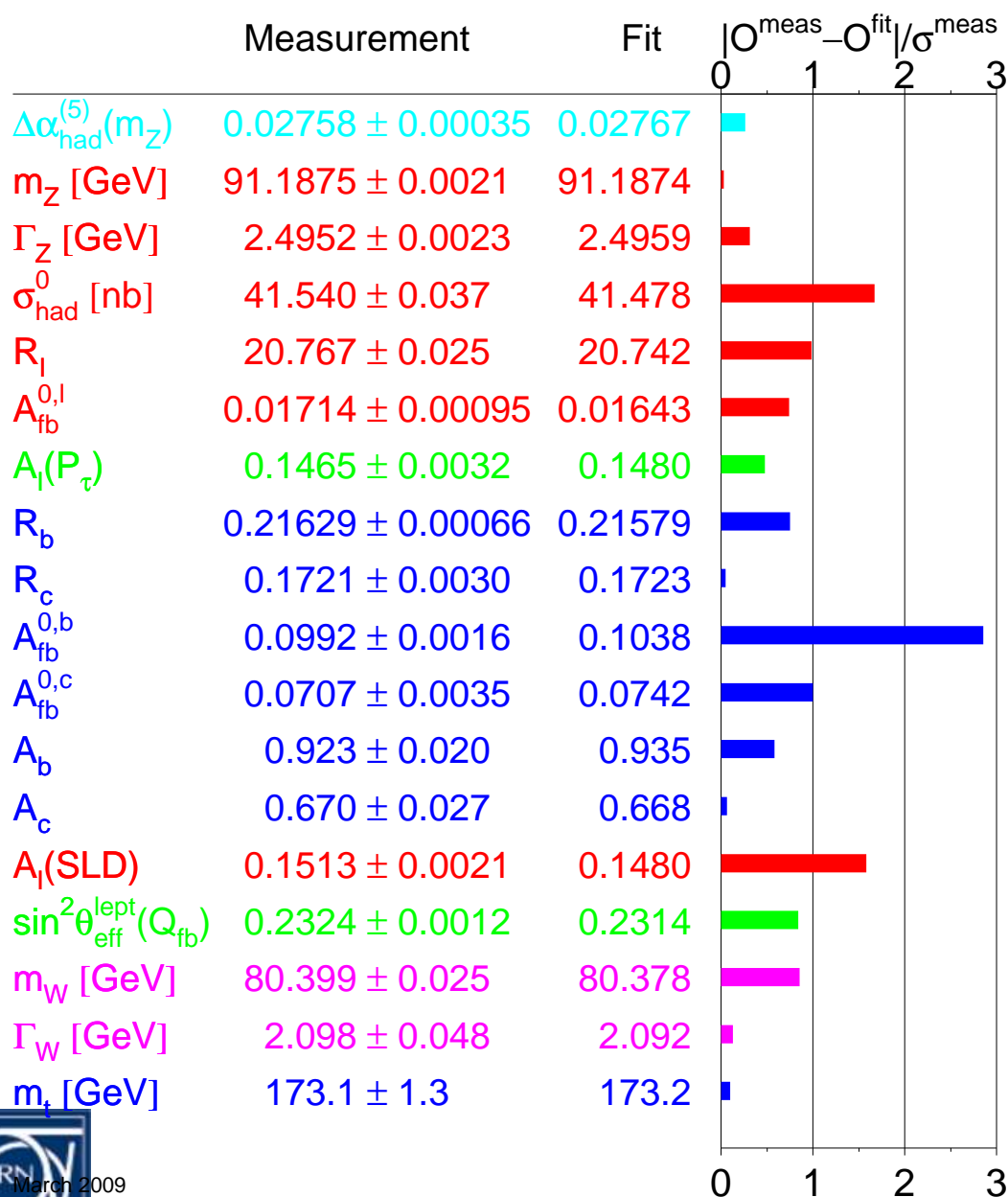
4 hadronzár



75 töltött részecske



A Standard Modell diadalútja



Állapot 2009 telén

valamennyi kísérlet

sokszáz eredményéből

$|Mért\text{-számolt}|/\text{szórás}$

Enyhén eltérő adat évről

évre változik

(egy időre így marad)

Most éppen a

$e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow b\bar{b}$

előre-hátra aszimmetriája

LEP elektroyenge munkacsoport:

<http://lepewwg.web.cern.ch/>



March 2009

De hol van a Higgs-bozon?

A spontán szimmetriasértés *mellékterméke*

A fizika legkeresettebb részecskéje, mivel a Standard Modell egyetlen hiányzó alkatrésze.

Kísérletileg (még?) nem figyeltük meg,
LEP: $M(H) > 114.4 \text{ GeV}$

Az elmélet szerint léteznie kell mert tömeget teremt és rendbeteszi a divergenciákat

It was in 1972 ... that my life as a boson really began
Igazából 1972-ben kezdődött az életem, mint bozon

Peter Higgs:

My Life as a Boson: The Story of „The Higgs”,
Int. J. Mod. Phys. A **17** Suppl. (2002) 86-88.



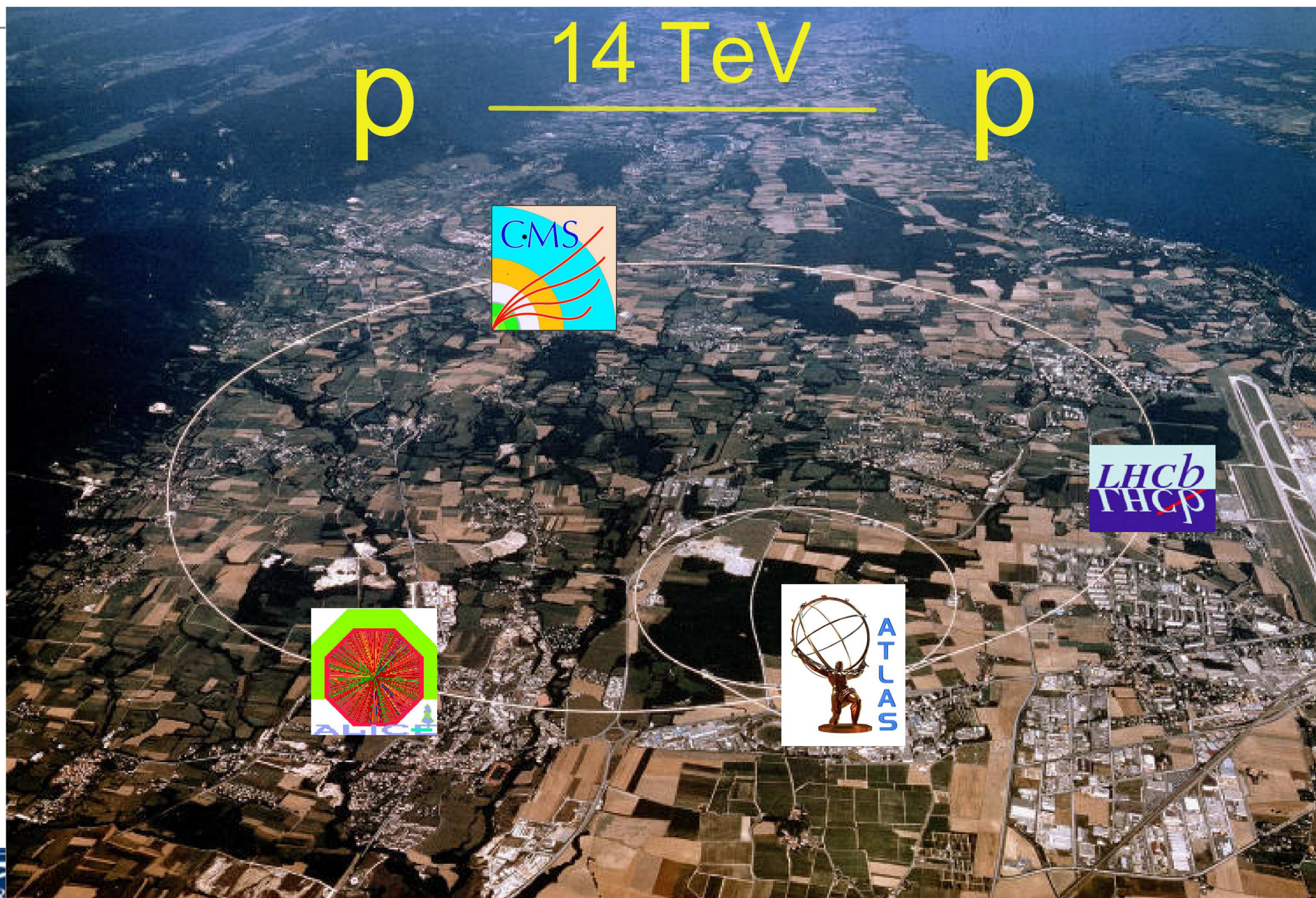
A Standard Modell problémái

- Gravitáció? $S = 2$ graviton?
- Aszimmetriák: jobb \Leftrightarrow bal világ \Leftrightarrow antivilág
- Mesterséges tömegkeltés: Higgs-tér *kívülről*
- 19 szabad paraméter: túl sok??
- Miért éppen 3 fermioncsalád?
- Töltéskvantálás: $Q_e = Q_p$, $Q_d = Q_e/3$
- Univerzum tömegének $\sim 20\%$ -a láthatatlan *sötét anyag*??
- Természetesség: A Higgs-bozon tömege divergál, fermion bozon szimmetria eltüntetné

Szuperszimmetria! Mindent rendbehoz, ha létezik. **LHC?**



A CERN és környéke



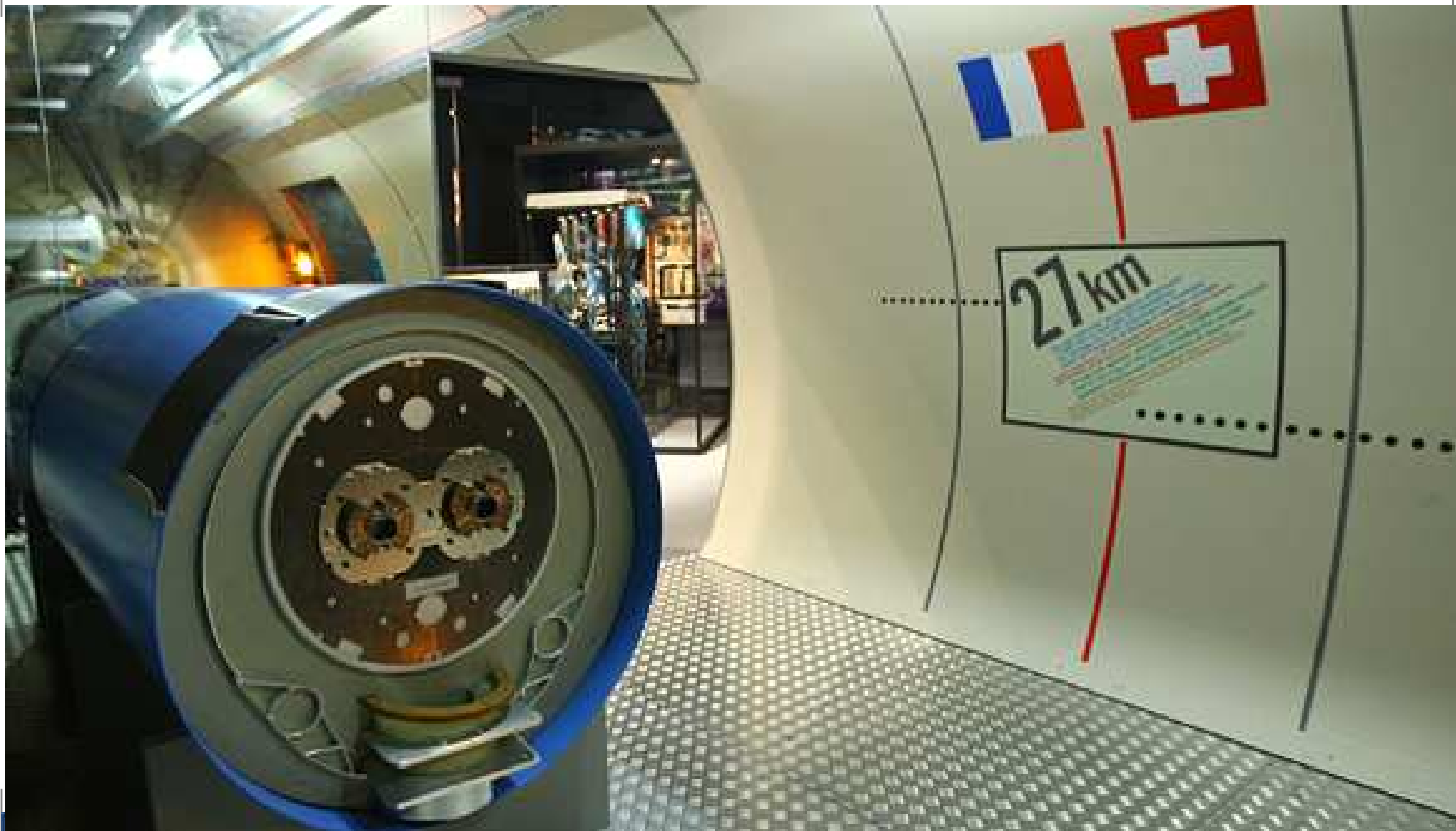
Az LHC eltérítő-mágnesei



1232 szupravezető mágnes (beszerelés előtt)
($L = 15$ m, $M = 35$ t, $T = 1.9$ K, $B = 8.3$ T)



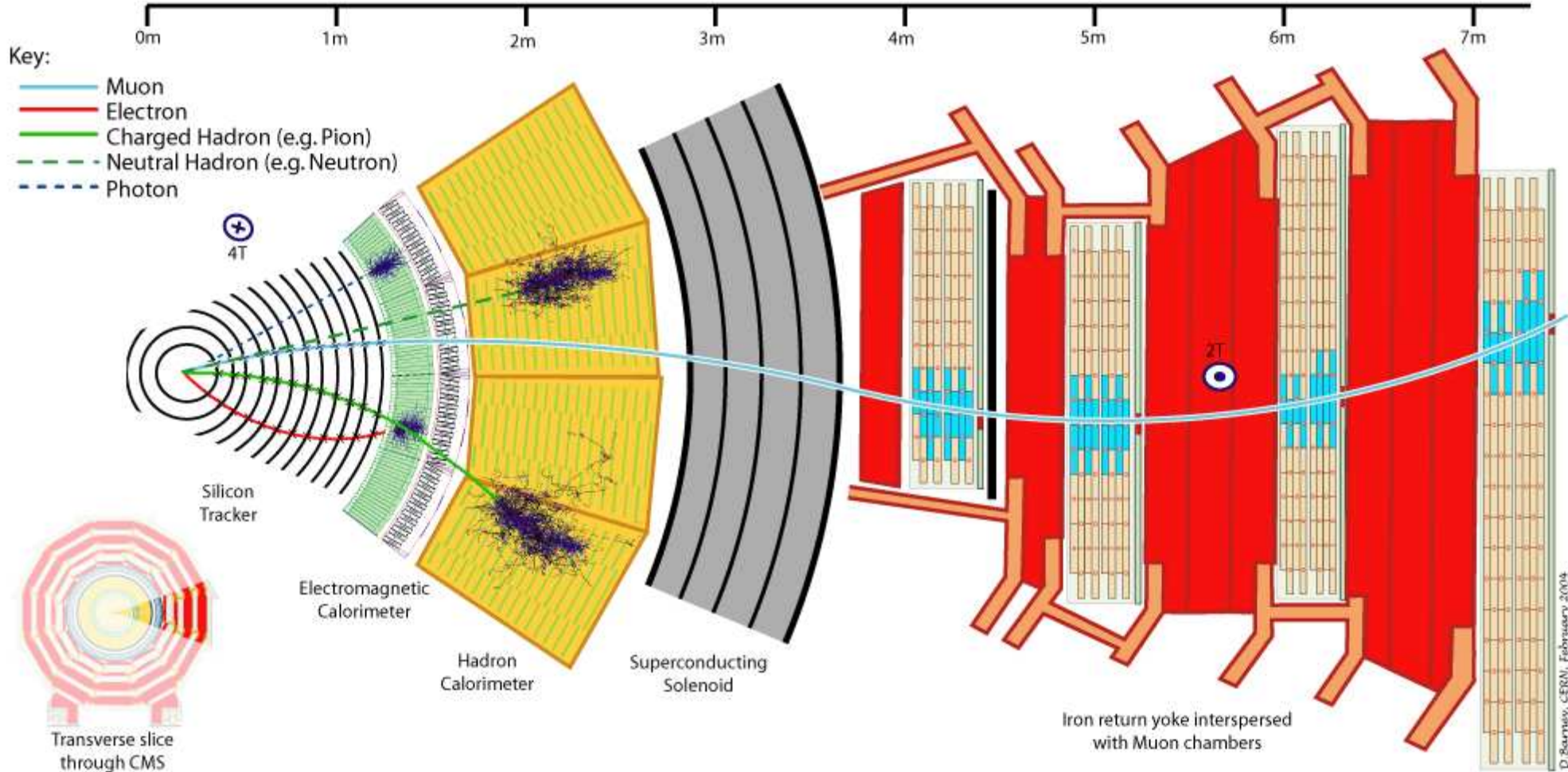
Az LHC eltérítő-mágnesese: keresztmetszet



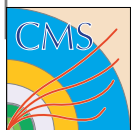
Az LHC mágnesei összeszerelve



Az LHC CMS–detektora



12500 tonnás digitális kamera:
100 M pixel, 40 M kép/mp, 1000 GB/mp adat
Tárolás: 100 kép/mp \Rightarrow szűrés!!



Az LHC CMS–detektora

(Compact Muon Solenoid)

Súly: 12500 tonna, kétszer annyi vas, mint Eiffel–toronyban

> 2500 résztvevő a világ 35 országából

A világ legnagyobb (szupravezető) szolenoidja:

belső átmérője 6 m, mágneses tere 4 Tesla

Detektorépítésben magyar részvétel:

Müondetektorok pozicionáló rendszere:

DE Kisérleti Fizikai Int. és ATOMKI

Előreszórt részecskék észlelése: (*Hadron Forward calorimeter, HF*)

Készült USA-RU-TR-HU együttműködésben: RMKI, Budapest

Az első leeresztett CMS-detektorrész: 2006. nov. 11.

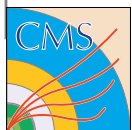
Adatkezelés: LHC Computing Grid

RMKI: BUDAPEST LCG-állomás



Magyar részvétel a CMS-kísérletben:

- MTA KFKI RMKI, Budapest (18 fő)
- Debreceni Egyetem Kísérleti Fiz. Int. (9 fő)
- MTA ATOMKI, Debrecen (7 fő)
- Összesen: 34 magyar kutató



Munka 160 műonkamrán



Béni Noémi és Szillási Zoltán (Debrecen)

HF: kvarcszálak acélban

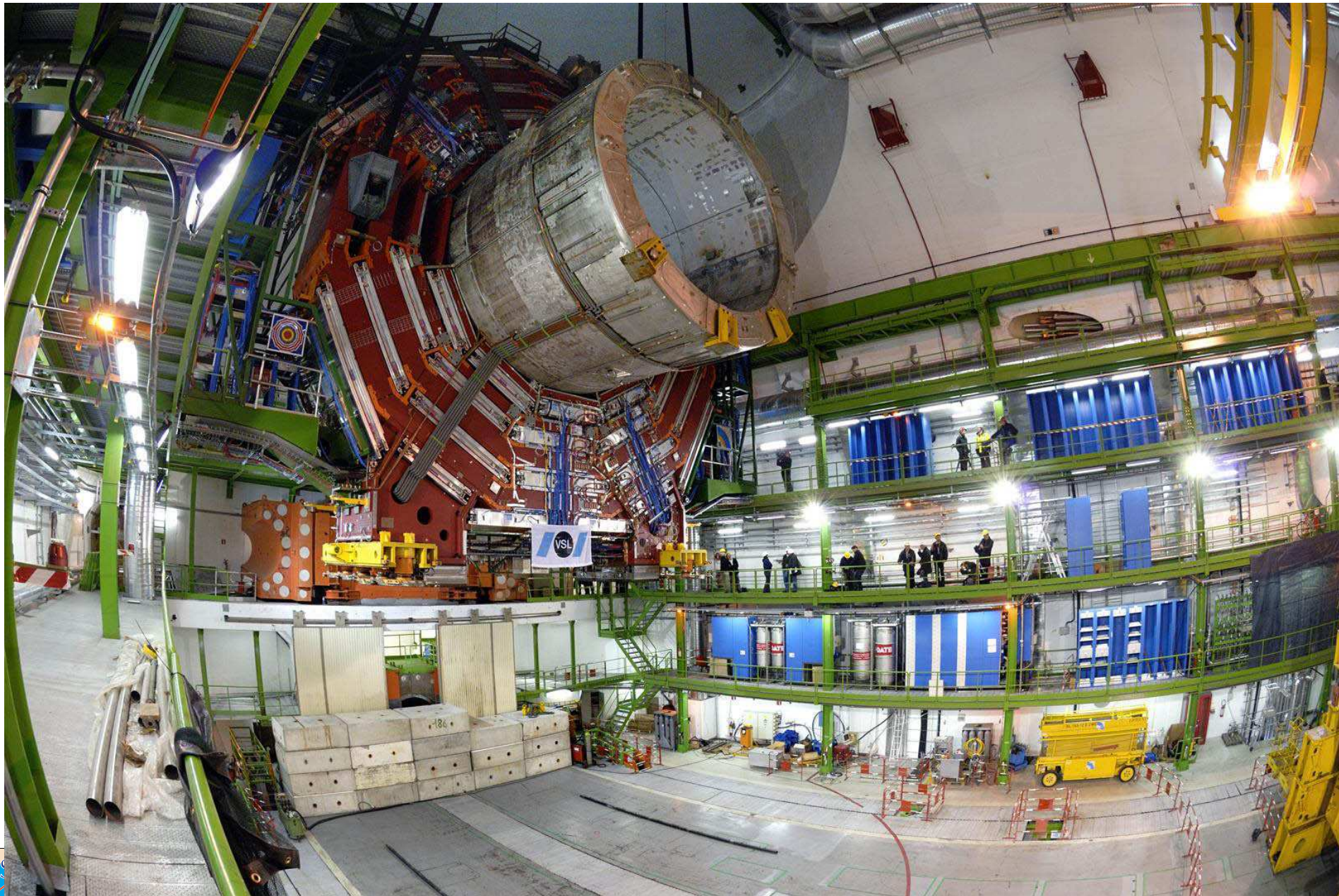


Minden CERN-es magyar fűzte

Szálkalibráció kész darabon



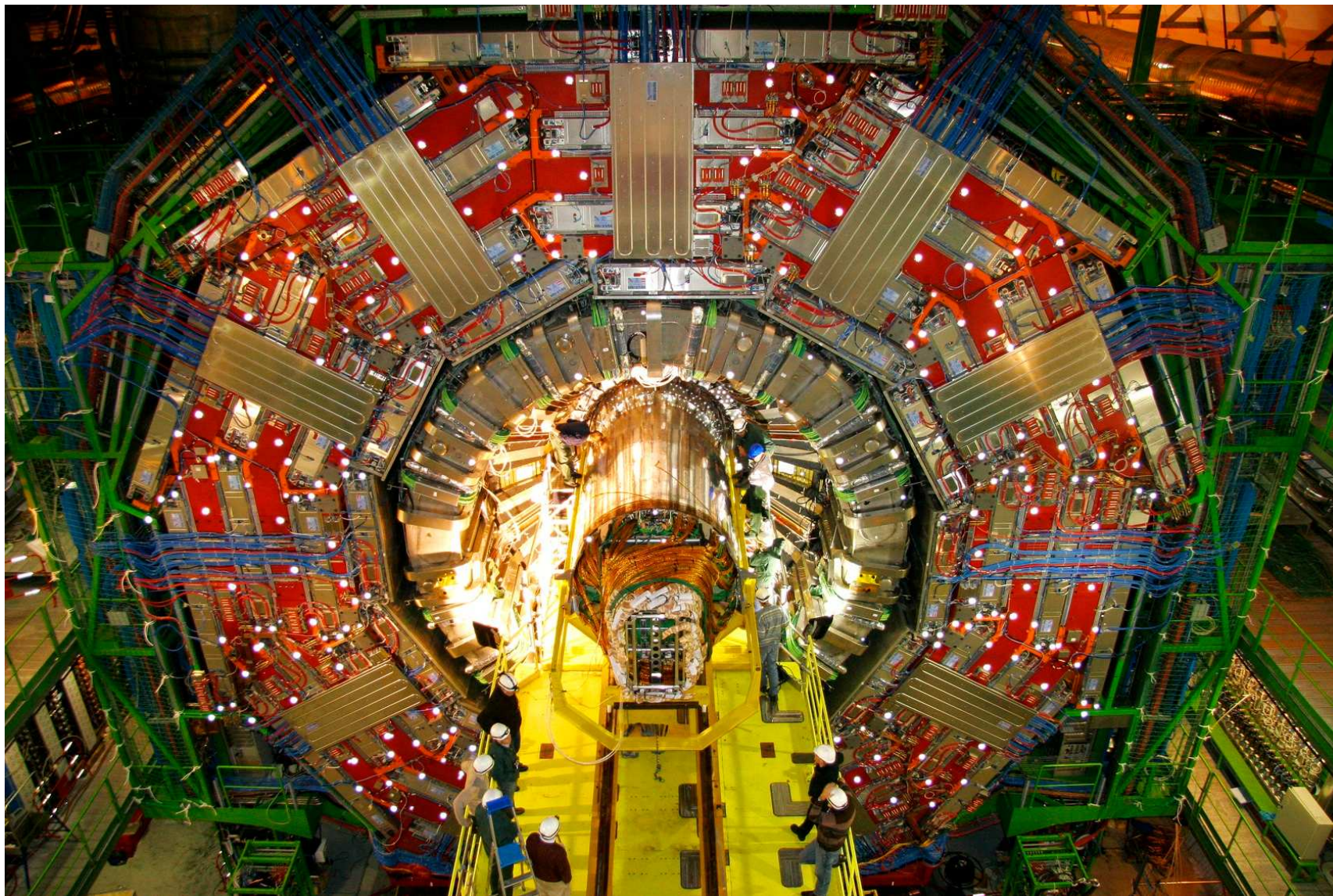
A CMS mágnesese



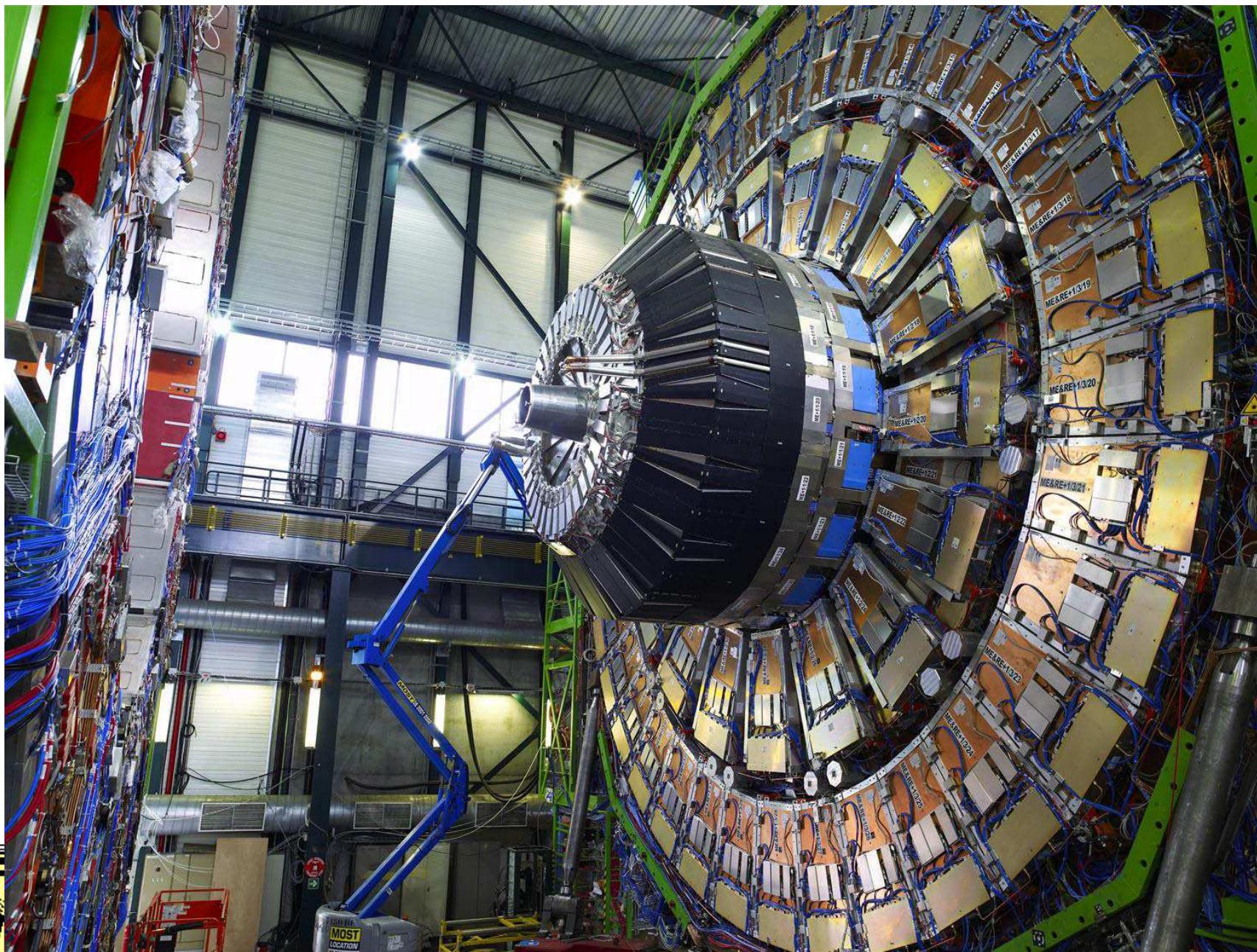
A CMS egyik szelete



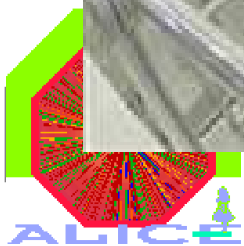
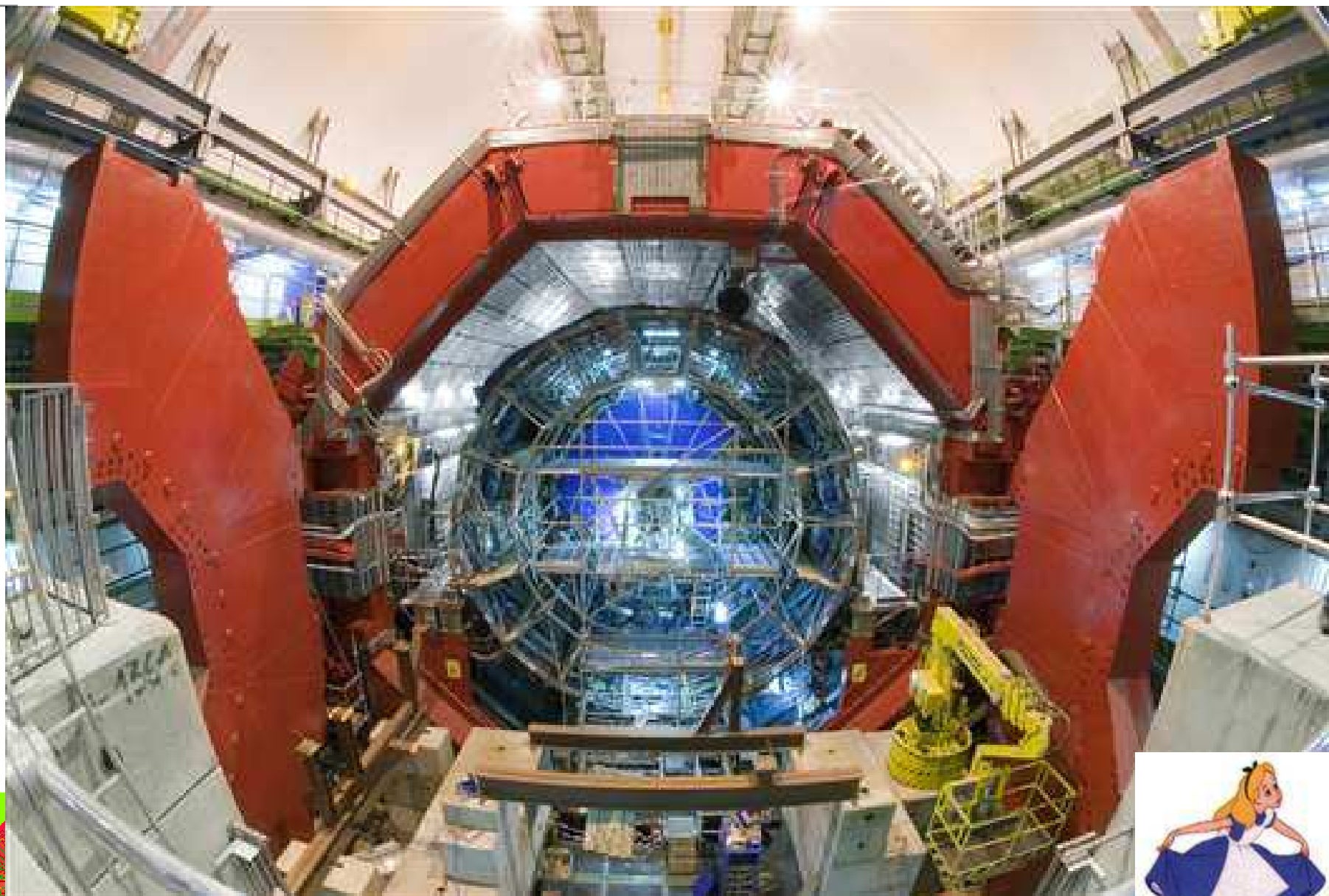
A CMS belső része



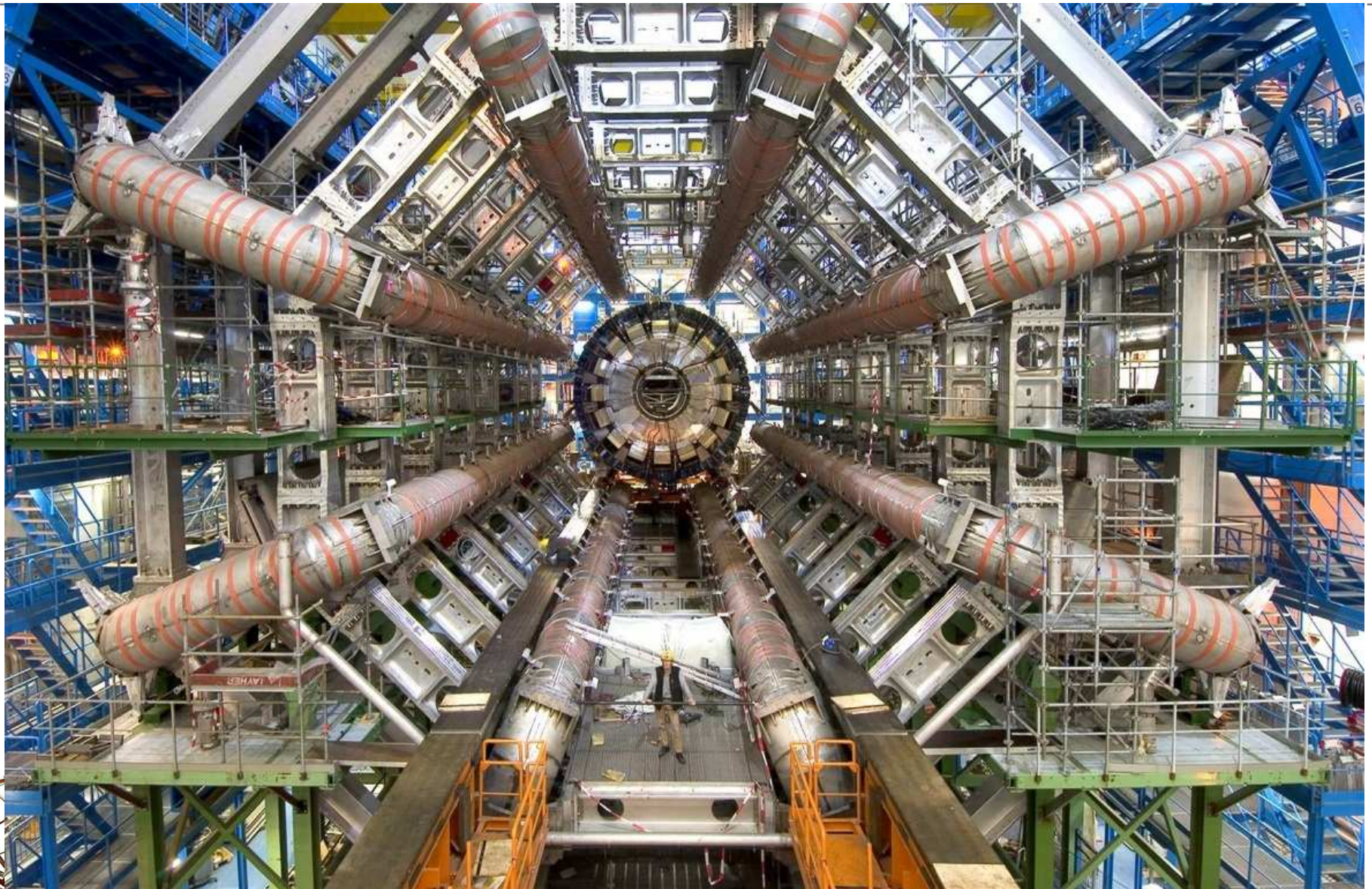
A CMS lezáró sapkája



ALICE: A Large Ion Collider Experiment

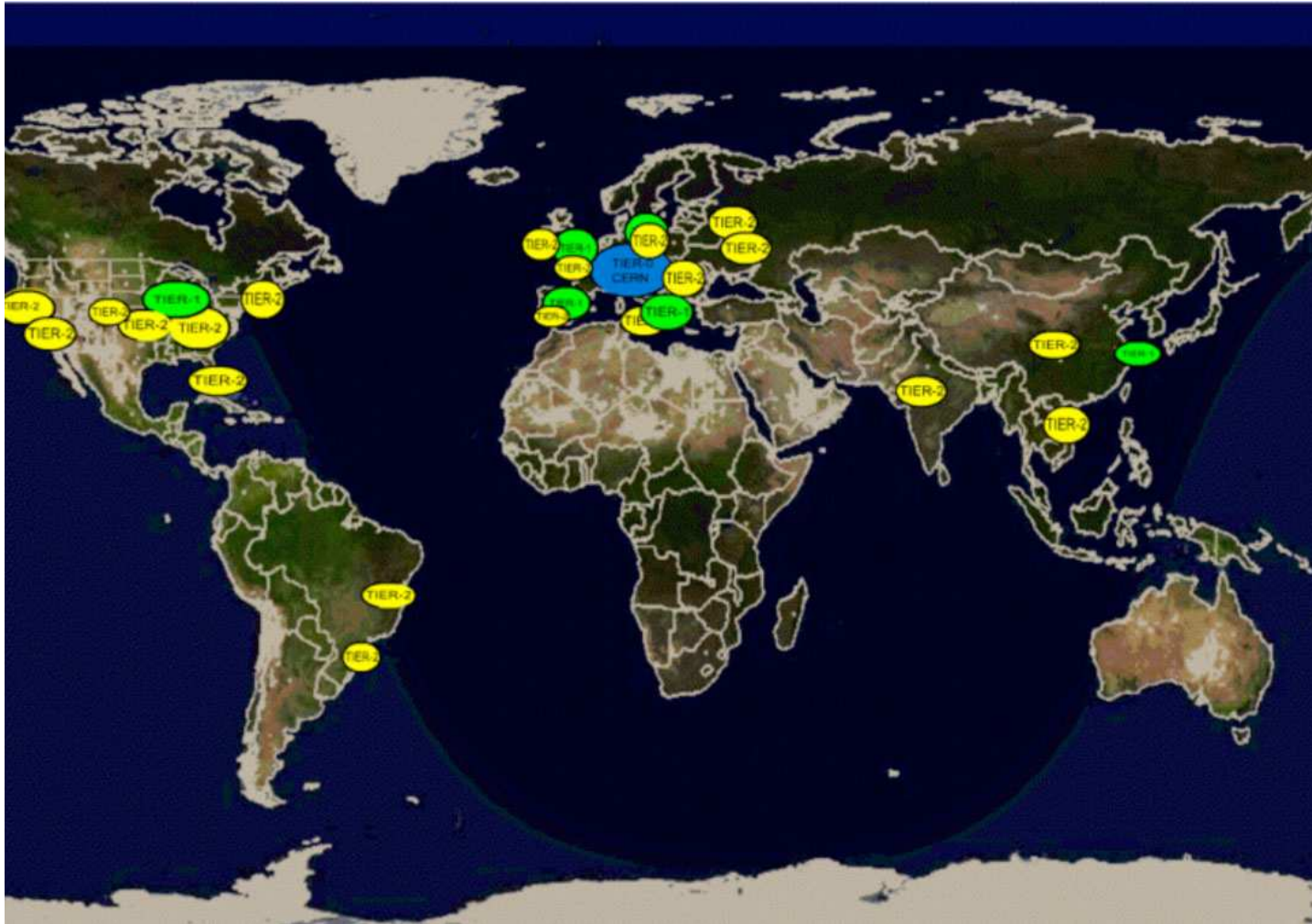


ATLAS: mágnesek



Worldwide LHC Computing Grid

A CMS-kísérlet fő WLCG-állomásai



Magyar Tier-2: RMKI, ELTE, BME

(320, 40 és 14 CPU a CMS és ALICE VO számára)

Horváth Dezső: A CERN óriási részecskegyorsítója és kísérletei

Kaposvár, 2009 ápr. 17.



Az LHC működésének első időszaka

1. Értsük meg a *detektort*: működés, trigger, kalibráció
2. Mennyire hiteles a *szimulációnk*? Leírja a SM folyamatait és a detektort? Egyezik a mért adatokkal?
3. Keresd, amit vársz, vedd észre, amit nem vársz. Látunk *eltérést (többletet)* valamilyen eloszlásban a háttérszimulációhoz képest? Új fizika vagy hibás háttérbecslés?
4. Új fizika? Keresünk többletet, hiányt vagy más jellegzetes tulajdonságokat (Higgs-bozon, SUSY, ...)
5. Ha tényleg új fizika: Micsoda? Melyik modell? Milyen paraméterekkel?



LHC: a Jó, a Rossz és a Csúf

Jó

Hatalmas felfedezési potenciál:
nagy energia, sokféle ütközés,
óriási luminozítás.



Rossz

Az érdekesebb dolgok előfordulási
gyakorisága $10^{-6} - 10^{-3}$



Csúf

Az érdekes folyamat mellett
eseményenként még 10-20 p-p
ütközés, hatalmas kombinatorikus
háttér.

Fekete lyukak

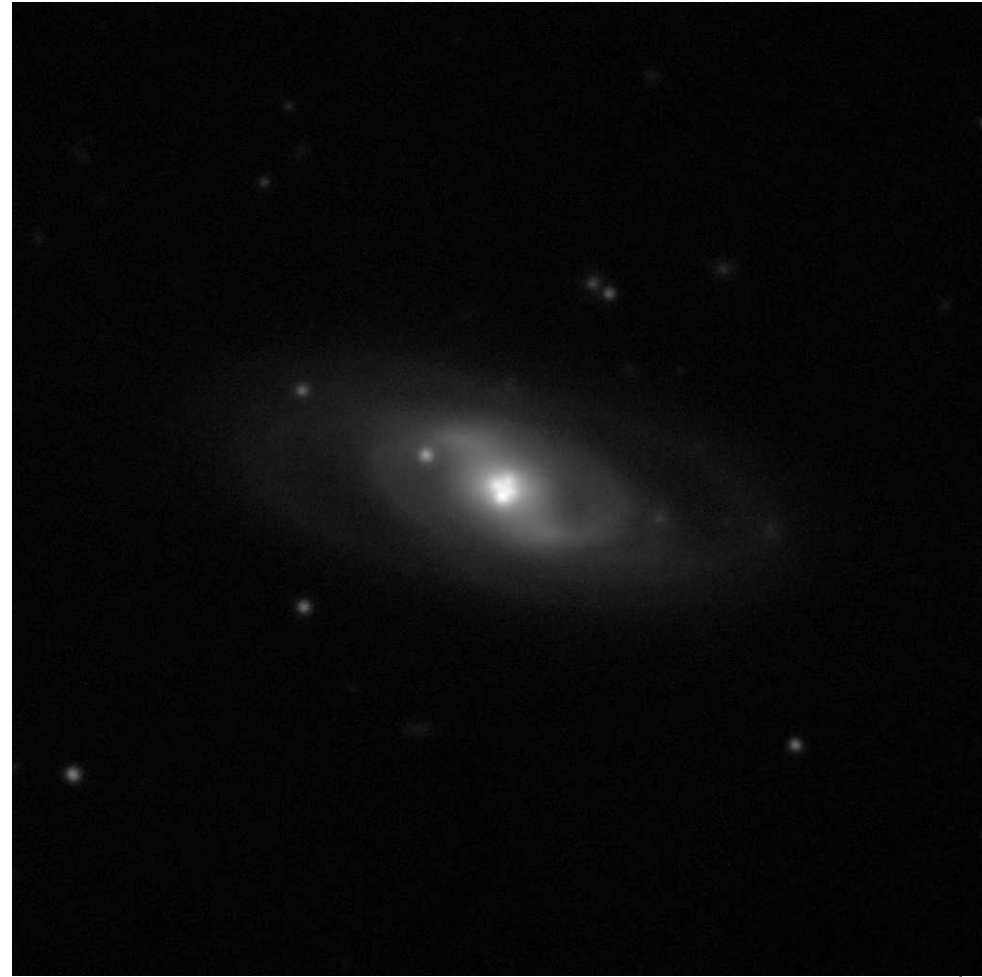
Galaxisok magjában fekete lyukak (*black hole, BH*):

$M_{\text{BH}} > 3$ naptömeg, R_{BH} pár km

Einstein-kereszt:

10 milliárd fényévre levő pulzárt
több pontba nagyít és fókuszál 1
milliárd fényévre levő fekete lyuk

(ESO, Very Large Telescope,
Chile, 2008)



Veszélyeztetjük-e a Naprendszert?

Bizonyos elméleti modellek szerint nagyenergiájú p-p ütközésben keletkezhetnek mikroszkópikus fekete lyukak. Kis tömegűek, azonnal elpárolognak.

A kozmikus sugarak milliárdszor nagyobb energiával bombázzák a légkört, Holdat, bolygókat évmilliárdok óta, de nem keletkezett nagy fekete lyuk.

Az LHC-ben sem valószínű, de meglátjuk???

YouTube animáció



Rengetegféle modell van



Előkészületek az LHC indításához

- Tervezés kezdete: 1984 (5 évvel a LEP indulása előtt!)
- Új detektorüregek kiásása 1998-tól LEP-alagút megemelkedik működés közben \Rightarrow mágnesek pozíciójának folyamatos kompenzálása
- LEP leállítása (óriási ellenállás): 2000 vége.
- LEP-gyorsító és detektorok eltávolítása: 2001
- 9300 mágnes ellenőrzése (javítása!), levitele, összehegesztése: 2002-2007.
- Mágnesek lehűtése 1,9 K-re (hidegebb, mint a világűr): 2008 jan-aug
- Protoncsomag belövése: 2008. szept.



Az LHC vezérlőterme, 2008.09.10



Felkészülés a gyorsító-üzemléódra: a hiba

- A dipólmágnesek áramának fokozatos növelése (kb. 9000 A-re) szektoronként történt.
- A 8 szektorból 7 áramát sikeresen felhozták
- Szept. 19: A 8.-nál kiolvadt egy forrasztás két mágnes között. Sokezer volt, ív, lyuk a hűtőrendszer csövén, több tonna szuperfolyékony hélium lökészerűen kifúj, kilökve a helyéről több 35-tonnás mágneset.
- 53 egységet (39 terelőmágneset és 14 több kisebb mágneset tartalmazó dobozt) javítás céljából a felszínre kell hozni: a felmelegítés nagyon lassú, hónapokig tartott.
- A tartalékokból pótolják őket, de a cserére is jó néhány hónap kell.
- Pótlólagos ellenőrzés beépítése, nehogy hasonló történhessen.



LHC-mágnes a baleset után



Részecskefizikai módszerek *haszna*

- Világháló: CERN, 1989 \Rightarrow nagyvilág: 1994–
- Müonspin-rezonancia módszere (kémia, szilárdtestfizika)
- Pozitronemissziós tomográfia az orvosi diagnosztikában
- Gyorsítók fele (cca. 7000!) gyógyászatban: hadronterápia
- Grid-hálózatok a számítástechnikában



Részecskefizika a mindennapokban

Alapkutatás, közvetlen gyakorlati haszna nem várható.

De élesíti az elmét, pedagógiai haszna óriási:

- Kreatív gondolkodásra serkent
- Az órási méretek miatt komoly technikai fejlesztéseket indukál: **100000 egyforma műszerre tender!**
- Élenjáró programozástechnikai gyakorlat: bankok előszeretettel alkalmaznak HEP-PhD-t szerzett fizikusokat (**rossz nyelvek szerint ennek köszönhető a jelenlegi világválság**)



Konklúzió helyett

"Van egy elmélet, miszerint, ha egyszer kiderülne, hogy mi is valójában az Univerzum, és mit keres itt egyáltalán, akkor azon nyomban megszűnne létezni, és valami más, még bizarrabb, még megmagyarázhatatlanabb dolog foglalná el a helyét"

"Van egy másik elmélet, amely szerint ez már be is következett"

Douglas Adams: *Vendéglő a világ végén* (Nagy Sándor fordítása)



Köszönöm a figyelmet



Köszönetnyilvánítás

- Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal
- OTKA NK67974, K72172 és H07C-74153
- EU FP6 MC-ToK 509252 és FP7 III 031688
- Magyar és Osztrák Tudományos Akadémia
- TÉT JAP-21/2006 és Tokiói Egyetem
- Megértő együttműködő partnereink

