

Új, 125 GeV nyugalmi tömegű részecske megfigyelése

CMS Együttműködés, CERN

2012. július 4.

Összefoglalás

A mai, a CERN-ben és az ICHEP 2012 konferencián¹ megtartott együttes szemináriumon a CERN Nagy Hadronütköztető (LHC) Compact Muon Solenoid (CMS) kísérletének kutatói bemutatták a Standard Modell (SM) Higgs-bozon keresésére vonatkozó, 2012 júniusáig gyűjtött adatok kiértékelésén alapuló előzetes eredményeiket.

A CMS detektor öt standard deviációnak² (5 szigma) megfelelő statisztikus szignifikanciájú többleteseményt észlelt a várt háttérhez képest 125 GeV³ tömegérték környezetében. Annak valószínűsége, hogy a háttér ekkora fluktuációjának következtében kapjuk a fenti eredményt csupán egy a hárommillióból. A rendelkezésre álló kísérleti bizonyítékok a legjobb tömegfeloldással rendelkező két-foton, illetve két töltött leptonpár (elektronok, vagy müonok) kibocsátásával járó bomlási csatornáknak a legerősebbek. Ez az eltérés, az értelmezésünk szerint olyan új, körülbelül 125 GeV körüli nyugalmi tömeggel rendelkező részecske keletkezésének köszönhető, melyet eddig még nem sikerült kimutatni.

A CMS detektor által gyűjtött adatok alapján ugyanakkor 95%-os konfidenciaszinten⁴ kizárható az SM Higgs-bozon a 110 – 122,5 GeV, valamint a 127 – 600 GeV tömegtartományon. Az alacsonyabb tömegértékeket a CERN LEP gyorsítóján korábban már ugyanekkora konfidencia szinten kizárták.

A különböző bomlási csatornák elemzésére kapott eredmények a statisztikus, valamint a szisztematikus bizonytalanságon belül konzisztensek az SM Higgs-bozon elméletileg jósolt tulajdonságaival. Több adatra van azonban még szükség ahhoz, hogy meg lehessen állapítani, vajon ez az új részecske az SM Higgs-bozon összes tulajdonságát hordozza, vagy vannak-e olyan tulajdonságai, melyek eltérnek. Ez utóbbi megfigyelés a Standard Modellen túli új fizikai folyamatokra engedne következtetni.

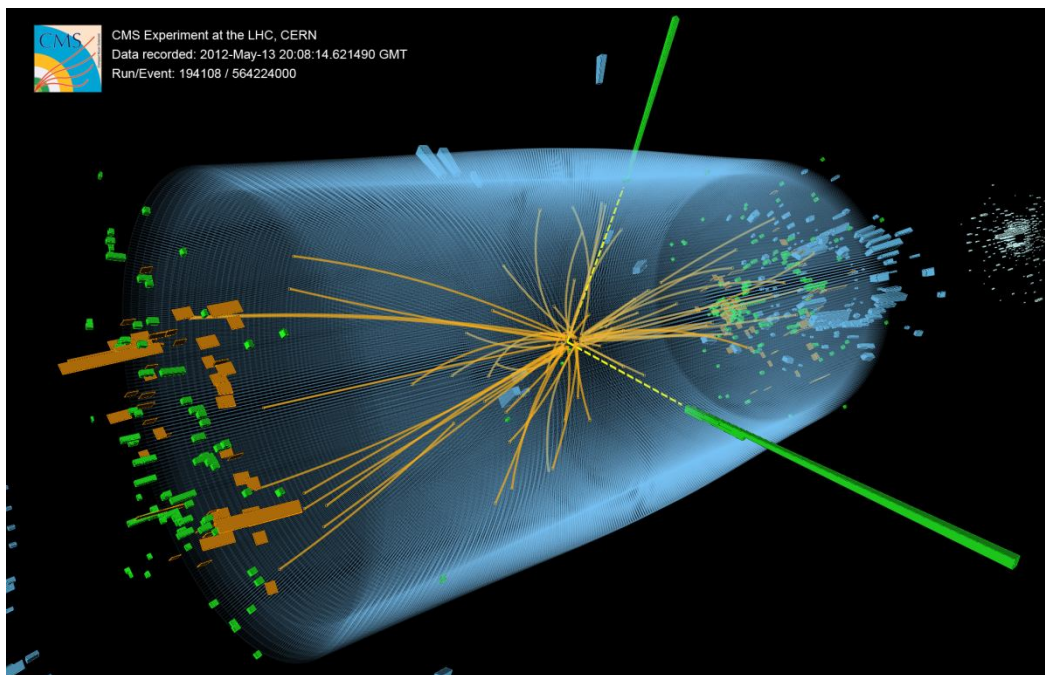
Az LHC lenyűgöző mennyiségű adatot szállít a kísérletek számára. 2012 végére a CMS kísérlet reményei szerint a jelenlegi adatmennyiség háromszorosa áll majd rendelkezésre. Ennek segítségével a CMS jobban meg tudja majd magyarázni az újonnan megfigyelt részecske tulajdonságait. Ez az adatmennyiség azt is lehetővé teszi, hogy az együttműködés számos egyéb, az új fizikai folyamatok megfigyelését megcélzó kutatásai még pontosabb eredményeket érjenek el.

A CMS részecskekeresési stratégiája

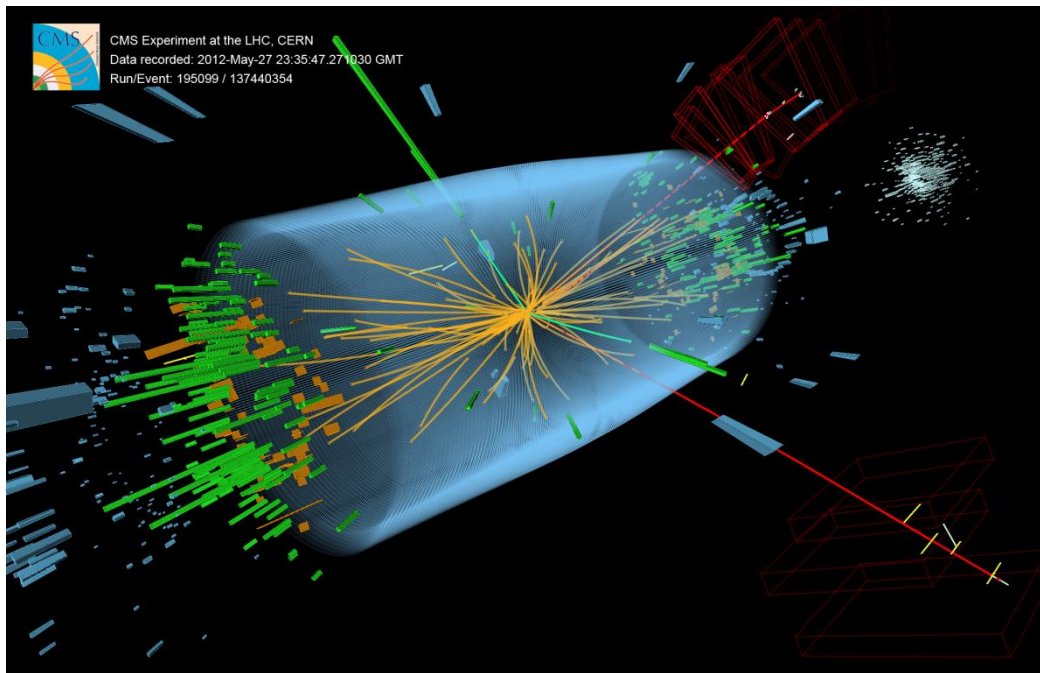
A CMS kísérlet elemezte a rendelkezésére álló teljes adathalmazt, mely a 2011-ben, illetve 2012 június 18-ig gyűjtött proton-proton ütközések adatait tartalmazza. Ez az adathalmaz a 2011-es 7 TeV tömegközépponti energián $5,1 \text{ fb}^{-1}$ integrált luminozításhoz⁵, valamint a 2012-ben 8 TeV-en gyűjtött $5,3 \text{ fb}^{-1}$ integrált luminozításhoz tartozó adatokat tartalmazza.

A Standard Modell szerint a Higgs-részecske csak nagyon rövid ideig „él” mielőtt más, már eddig is jól ismert részecskékre bomlana el. A CMS együttműködés az öt legfőbb Higgs-bozon bomlási csatornát tanulmányozta. Ezek közül három bozonpárokban ($\gamma\gamma$, ZZ vagy WW) végződik, míg a másik kettő fermionokat (bb vagy $\tau\tau$) tartalmaz a végállapotban, ahol a γ a foton, a Z és W a gyenge kölcsönhatás közvetítő részecskéit, a b az ún. alsó (bottom) kvarkot, míg a τ a tau-leptont jelöli. A $\gamma\gamma$, ZZ és WW bomlási csatornák analízise egyformán érzékeny a Higgs-bozon keresésekor a 125 GeV környéki tömegtartományon. A három imént említett bomlási csatorna mindegyike nagyobb érzékenységet mutat, mint a bb és $\tau\tau$ bomlási csatornák analízise.

A $\gamma\gamma$ és ZZ bomlási csatornák vizsgálata igen nagy fontossággal bír, mert segítségükkel az új részecske tömege nagy pontossággal határozható meg. A $\gamma\gamma$ csatornában a Higgs-bozon tömege az annak elbomlásakor keletkező két nagyenergiájú foton energiájának és mozgási irányának a CMS kristálykaloriméterében (ECAL, 1. ábra) történő méréséből számítható ki. A ZZ csatornában a tömeg meghatározásához a két Z -bozon bomlásakor keletkező két elektronpár, két müonpár, vagy egy elektronpár és egy müonpár megfigyelése szükséges (2. ábra). Ezek az adatok az ECAL-ból, a belső helyzetmeghatározó aldetektorból (Tracker), illetve a müondetektorból származnak.



1. ábra A CMS detektor által a 2012-ben, 8 TeV tömegközépponti energiájú proton-proton ütközések során megfigyelt esemény. Jelen esemény olyan tulajdonságokkal rendelkezik, melyeket egy SM Higgs-bozon két fotonra (szaggatott sárga vonalak, valamint zöld téglalaktok) történő bomlásától várunk. Ez az esemény azonban létrejöhet más, már ismert Standard Modell háttérfolyamatok eredményeként is.



2. ábra A CMS detektor által a 2012-ben, 8 TeV tömegközépponti energiájú proton-proton ütközések során megfigyelt esemény. Ez az esemény olyan tulajdonságokkal rendelkezik, melyeket egy SM Higgs-bozon Z-bozonpárra bomlása során várunk. A Higgs elbomlása során keletkező Z-bozonok mindegyike tovább bomlik: egyikük egy elektron párra (zöld vonalak és téglatestek), míg másikuk egy müonpárra (vörös vonalak) esik szét. Ez az esemény azonban létrejöhet más, már ismert Standard Modell háttérfolyamatok eredményeként is.

A WW bomlási csatorna vizsgálata a fentebb említettekénél bonyolultabb. A W-részecskék megfigyelése a bomlásuk során keletkező elektronok és neutrínók, illetve müonok és neutrínók mérésén alapul. A neutrínók úgy haladnak át a CMS detektoron, hogy közben észlelésük nem lehetséges, így ezért az SM Higgs-bozon WW bomlási csatornájának elemzése során a megfigyelt többletadatok egy, a fentebb említett csatornáknál szélesebb csúcs mentén oszlanak el. A bb bomlási csatornában az eredményeket a SM egyéb folyamataiból származó igen nagy háttér terheli, így a kiértékelés inkább olyan eseményekre összpontosított, amelyekben a Higgs-bozon egy W-, vagy egy Z-bozonnal keletkezik együtt, amelyek azután elektron(ok)ra, vagy müon(ok)ra bomlanak el. A τ bomlási csatornában a τ -részecskék elektronokra, vagy hardonokra bomlásának megfigyelése a használt kiértékelési módszer alapja.

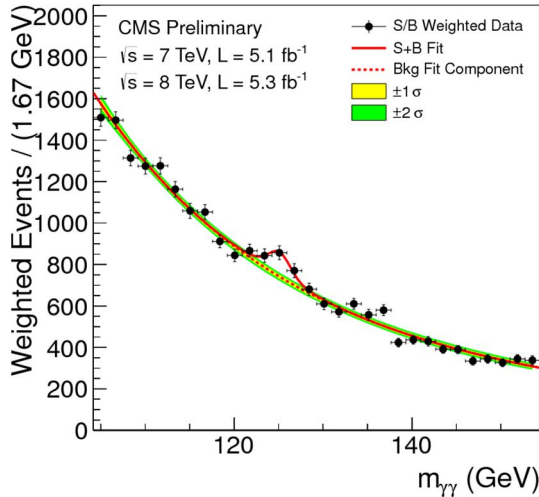
A CMS által elért eredmények összefoglalása

A CMS kísérlet számára rendelkezésre álló adatmennyiség elegendő ahhoz, hogy segítségével 95%-os szinten kizárható legyen a Higgs-bozon létezése a 110 – 600 GeV tömegtartományon. A CMS rendelkezésére álló adatok alapján a SM Higgs-bozon létezése a 110 – 122,5 GeV és 127 – 600 GeV tömegtartományokon kizárt 95%-os konfidencia szint mellett.

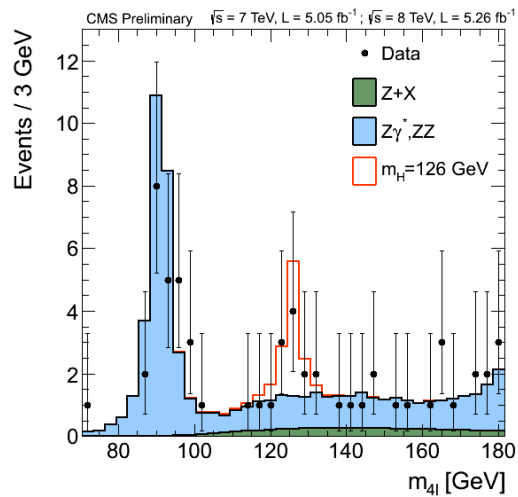
A 122,5-127 GeV tömegtartományon a Higgs-bozon létezése nem zárható ki, mivel kísérletünk az alábbi öt bomlási csatornából háromban eseménytöbbletet észlelt:

- **A $\gamma\gamma$ bomlási csatorna:** A $\gamma\gamma$ tömegeloszás a 3. ábrán látható. A mért adatok 125 GeV nyugalmi tömeg közelében 4,1 szigmányi eseménytöbbletet mutatnak a háttérhez képest. A kétfoton végállapot megfigyelése azt mutatja, hogy az új részecske bozon és nem fermion, valamint nem lehet 1-es spinű részecske.

- **A ZZ bomlási csatorna:** A 4. ábrán látható a négy leptonos végállapothoz (két elektronpár, két müonpár, vagy egy elektronpár és egy müonpár) tartozó tömegeloszlás. A bomlási szögeket is figyelembe véve a megfigyelt háttér feletti eseménytöbbség 3,2 szigma 125,6 GeV nyugalmi tömeg közelében.
- **A WW bomlási csatorna:** A tömegeloszlásban megfigyelt nagy kiterjedésű eseménytöbbség 1,5 szigma.
- **A bb és $\tau\tau$ bomlási csatornák:** Nem figyelhető meg eseménytöbbség.

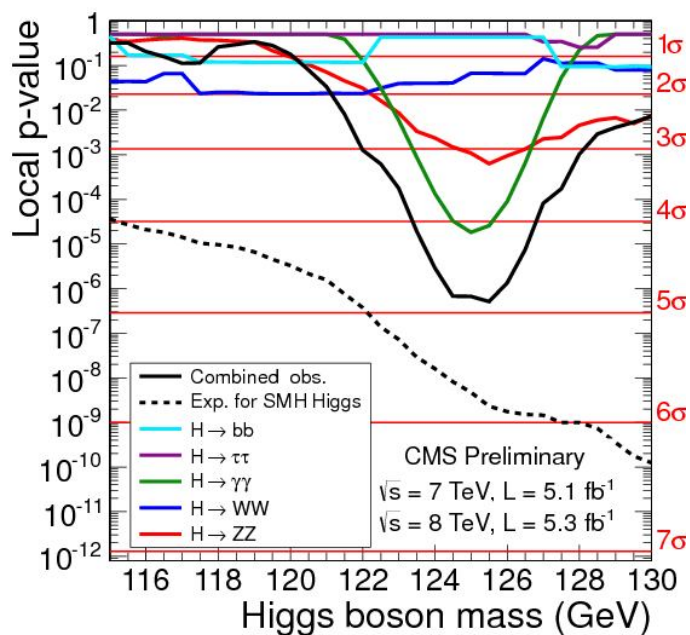


3. ábra A kétfoton ($\gamma\gamma$) invariáns tömegeloszlása a CMS által 2011-ben és 2012-ben gyűjtött adatokban (fekete pontok hibásávokkal). Minden egyes eseménykategóriában az adatok jel és háttér arányával kerültek súlyozásra. A folytonos vörös vonal a háttér és a jel együttes illesztett görbéje, míg a szaggatott vonal kizárólag a háttérrel mutatja.



4. ábra A rekonstruált négylepton-tömeg eloszlása összegezve a $4e$, 4μ , valamint $2e2\mu$ bomlási csatornákra. A pontok a mért adatokat, a színezett területek a háttérrel, míg a vörös határvonallal megjelölt terület a várt jelet mutatja. Az ábrán látható hisztogramok egymás tetejére halmozott (ún. stacked) hisztogrammokként vannak ábrázolva. Az ábrán megjelenő mérési adatok a 7- és 8 TeV tömegközépponti energián gyűjtött összes adat alapján lettek kiszámítva.

A mind az öt bomlási csatornát érintő összevont eredmény (5. ábra) a háttérrel meghaladó 4,9 szigmányi eseménytöbbséget ad eredményül. Azonban csupán a két legérzékenyebb és legnagyobb tömegfelbontással rendelkező bomlási csatornára vonatkozó adatok kombinált eredménye 5,0 szigma statisztikus szignifikanciát mutat. Annak valószínűsége, hogy a háttér ekkora fluktuációjának következtében kapjuk a fenti eredményt csupán egy a háromezről.



5. ábra Mind az öt bomlási csatornát figyelembe véve annak a megfigyelt valószínűsége (p-value) a Higgs-bozon tömegének függvényében, hogy kizárólag a háttérfolyamatok hoznak létre ugyanannyi, vagy még több megfigyelt eseményt a CMS által gyűjtött és feldolgozásra került adatokban. Fekete görbe jelöli az összes bomlási csatorna kombinált valószínűségi értékét.

Az új részecske nyugalmi tömegére $125,3 \pm 0,6$ GeV adódott a vonatkozó bomlási csatornák egymáshoz viszonyított elágazási arányától függetlenül. Az új részecske keletkezési valószínűsége (σ_{DAT}) jó egyezésben van a SM Higgs-bozonra várt keletkezési valószínűséggel (σ_{SM}): $\sigma_{\text{DAT}}/\sigma_{\text{SM}} = 0,80 \pm 0,22$.

Nagy gondossággal kellett eljárni számos, a kísérlet pontosságát érintő részlet tanulmányozásakor, az események kiválogatásánál, a hátterek becslésénél, valamint a többi lehetséges szisztematikus és statisztikus bizonytalanság becslésekor. A 2011-es adatokon alapuló analízis⁶ eseménytöbbletet mutatott 125 GeV környékén. Így annak érdekében, hogy elkerüljük a 2012-es adatok szelektív kritériumainak választásából eredő esetleges torzítást és ezzel együtt az eseménytöbblet mesterséges megnövelését, a 2012-es adatok kiértékelése „vakon”⁷ történt, azaz az új részecske szempontjából fontos tömegrégió vizsgálata nem történt meg addig, amíg az összes analízis paraméter nem került rögzítésre és elfogadásra.

A teljes ellenőrizhetőség érdekében a vizsgálatokat legalább két, egymástól független csoport is elvégezte. Ezen felül a fenti eredményeket további nagyon fontos észlelések is alátámasztják:

- Az eseménytöbblet 125 GeV körül mind a 2011-es (7 TeV), mind a 2012-ben gyűjtött adatokban (8 TeV) mutatkozik;
- Az eseménytöbblet ugyanannál a tömegértéknél mutatkozik mind a két nagyfelbontású bomlási csatornában ($\gamma\gamma$ és ZZ);
- A WW bomlási csatornában megfigyelt eseménytöbblet konzisztens egy 125 GeV nyugalmi tömegű részecske bomlása során várt eseménytöbblettel;
- Az eseménytöbblet megfigyelhető számos, fotont, elektront, müont, illetve hadronokat tartalmazó végállapotban.

A mai napon bemutatott eredmények további finomításra kerülnek azért, hogy a nyár végén publikálásra éretté válhassanak.

A kutatás tervezett folytatása

A megfigyelt körülbelül 125 GeV nyugalmi tömegű új részecske a statisztikus bizonytalanságon belül megfelel a SM Higgs-bozonnak. Azonban több adatra van szükség ahhoz, hogy olyan paraméterei is meghatározhatók legyenek, mint a bomlási csatornáinak ($\gamma\gamma$, ZZ , WW , bb és $\tau\tau$) elágazási arányai, vagy spinje és paritása, illetve annak megállapítása, hogy a most megfigyelt részecske valóban a SM Higgs-bozon, vagy egy új, a Standard Modellen túli fizika hírhozója.

Az LHC különlegesen jól üzemel. 2012 végére a CMS együttműködés azt várja, hogy megháromszorozódik a rendelkezésre álló adatmennyiség és így lehetővé válik a most megfigyelt részecske természetének behatóbb vizsgálata. Amennyiben erről a részecskéről bebizonyosodik, hogy azonos a SM Higgs-bozonnal, akkor meg fog történni tulajdonságainak, valamint a Standard Modellre gyakorolt hatásainak részletes vizsgálata. Amennyiben viszont ha az igazolódik be, hogy a most megfigyelt részecske nem a SM Higgs-részecske, akkor a CMS fel fogja deríteni az általa megmutatott új fizika tulajdonságait. Ez azt is eredményezheti, hogy az LHC által létrehozható esetleges más új részecskék megfigyelésére is mód nyílik. Bármelyik lehetőség is következzen be, a kutatások folytatódni fognak olyan új részecskék és erők után, melyeket esetlegesen csak az LHC jövőbeli működése során magasabb energiákon, illetve nagyobb luminozítás mellett lehet megfigyelni.

Információk a CMS kísérletről

További információk a CMS kísérletről annak weboldaláról (<http://cern.ch/cms>), illetve a cms.outreach@cern.ch email címen érhetők el.

A CMS egyike az LHC a két nagy általános célú kísérletének, melyeket az új fizikai folyamatok utáni kutatás céljából építettek. Arra tervezték, hogy az LHC nagy energiájú proton-proton, illetve nehézion ütközéseiben létrejövő különböző részecskéket és jelenségeket tanulmányozza és képes legyen olyan kérdésekre megkeresni a válaszokat, mint „Miből épül fel a Világegyetem és milyen erők hatnak benne kölcsön?”, vagy „Miből keletkezik a tömeg?”. A detektor már eddig is ismert részecskék és fizikai folyamatok eddig nem látott pontosságú mérésére képes, de úgy lett megalkotva, hogy megtaláljon új, eddig nem megíósolt fizikai folyamatokat is. Ez a kutatás nem csak a Világegyetem működésének jobb megértését szolgálja, de a korábbi kísérleteknél már megszokott módon olyan új technológiák megjelenését is inspirálja, amelyek megváltoztathatják mindennapi életünket is.

A CMS koncepcionális terve 1992-re nyúlik vissza. Az óriási detektor (15m átmérőjű, csaknem 29m hosszú, valamint 14000t súlyú) megalkotása 16 évig tartott a világ eddigi egyik legnagyobb együttműködésének, melyben 39 ország 169 egyetemének és kutatóintézetének több mint 3100 kutatója és mérnöke vett részt.

¹ ICHEP jelöli a 36. International Conference on High Energy Physics konferenciát, amely az ausztrál Melbourne-ben kerül megrendezésre 2012. július 4 és 11. között. A jelen közleményben megjelenő eredmények közzlésére egyszerre kerül sor: fizikailag a CERN-ben, illetve élő videokapcsolaton keresztül az ICHEP-en.

² A standard deviáció a mérési adatok fluktuációját írja le az átlagérték körül. Értékével jellemezhető, hogy a mérési adatok mennyire egyeznek meg az adatok megértésére használt hipotézissel. A fizikában a standard deviáció mértékegysége a szigma. Minél nagyobb ez a szigma érték, annál kevésbé összeegyeztethető a mérési eredmény a hipotézissel. Jellemzően, minél váratlanabb a

felfedezés, annál nagyobb szigma érték kell ahhoz, hogy a fizikusok meggyőződjenek a felfedezés valódiságáról.

³ Az elektronvolt (eV) az energia mértékegysége. Egy GeV 1 000 000 000 eV energiát jelent. A részecskefizikában a tömeg és az energia nagyon hasonló fogalmakat jelent, így elterjedten használt az eV/c^2 , mint a tömeg mértékegysége, amely az Einstein által felírt $E=mc^2$ képletből származtatható. A részecskefizikusok még elterjedtebben használják az ún. természetes egységeket, ahol például $c=1$ (ennélfogva $E=m$).

⁴ A konfidenciaszint annak a statisztikus mértéke, hogy 100 mérésből mennyi eredmény várható az elvárt tartományon belülre. Ha például a konfidenciaszint 95%-os, akkor ez azt jelenti, hogy az eredmények az esetek 95%-ában valószínűleg megegyeznek az előre jelzettekkel. (Forrás: [NADbank](#))

⁵ Az integrált luminozitás (angolul): (<http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html>)

⁶ A CMS Kísérlet Higgs-bozon keresési eredményei 2011-ig (angolul):

<http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011>

⁷ „Vak” adatfeldolgozás (angolul): <http://cms.web.cern.ch/news/blinding-and-unblinding-analyses>