

BEVEZETÉS A RÉSZECSEKEFIZIKÁBA 2.

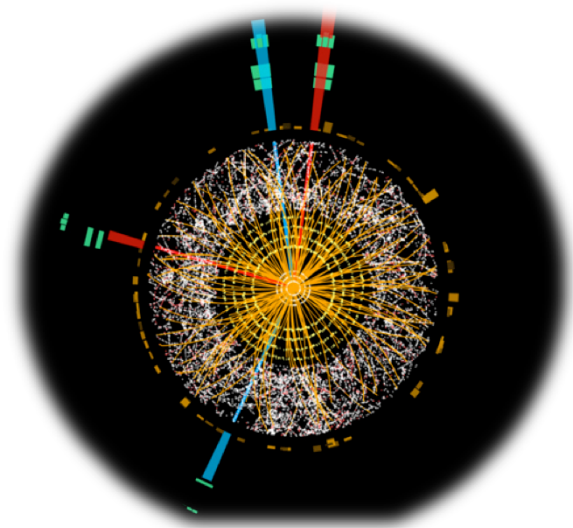
Pásztor Gabriella

University of Geneva & MTA Wigner FK

Gabriella.Pasztor@cern.ch

CERN Hungarian Teachers Programme

2013. augusztus 12-15.

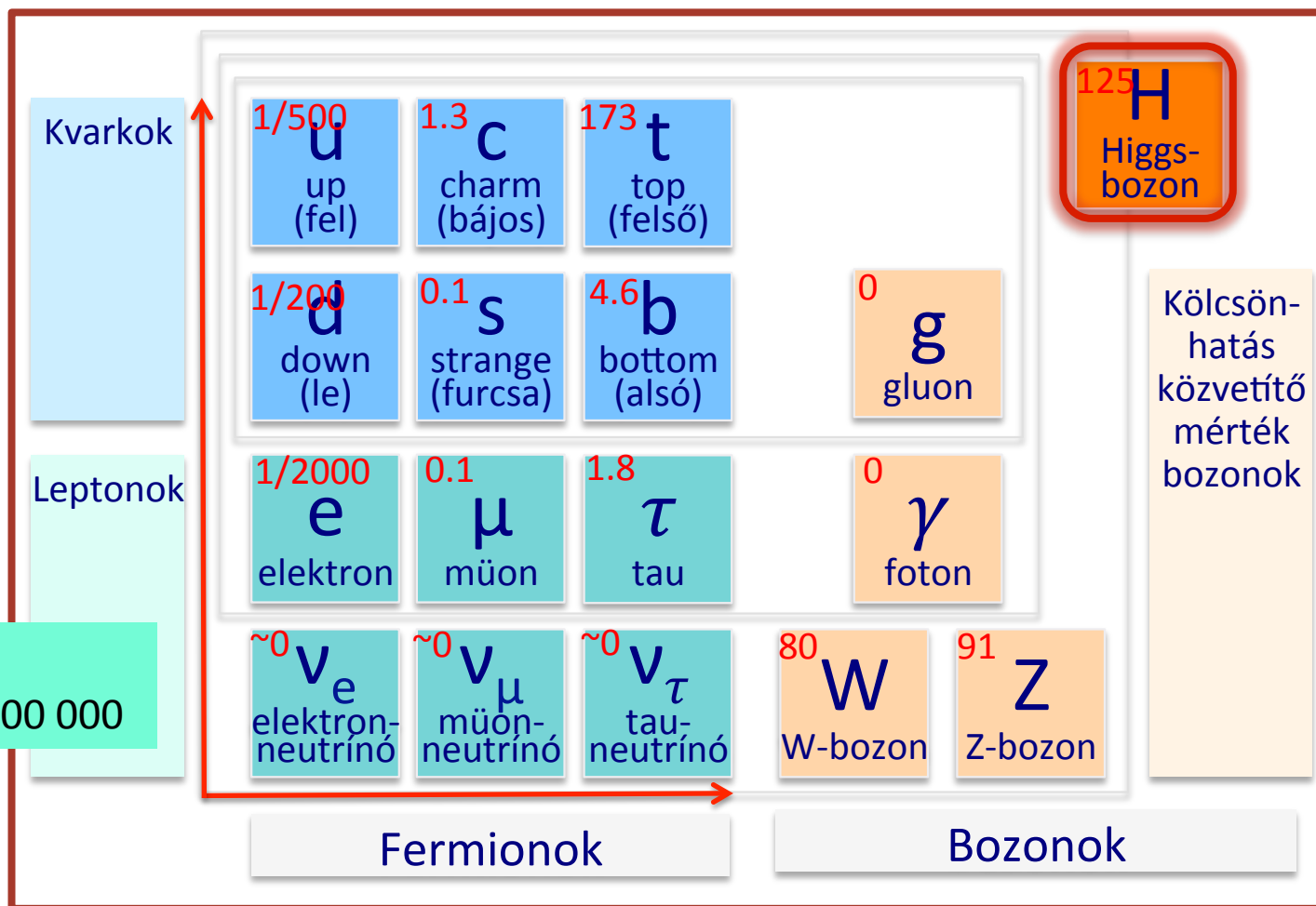


A STANDARD MODELL

Az elemi részecskék tömege (GeV/c²)

Óriási tömeg tartomány:

legkönnyebb $\geq 10^{11}$
legnehezebb



Neutrínó tömeg:
 $m < 2 \text{ eV} = 1 \text{ GeV}/500\,000$

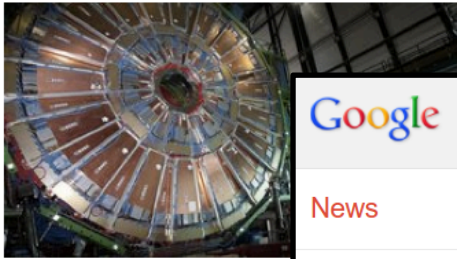
BBC NEWS 4 July 2012 Last updated at 19:03 GMT

Home UK Africa Asia Europe Latin America Mid-East US & Canada Business Health Sci/Envir
Magazine | In Pictures | Also in the News | Editors' Blog | Have Your Say | World Radio and TV | Special

HIGGS: FELFEDEZÉS!!! 2012. JÚLIUS 4.

LATEST: Turkey's armed forces say they have found bodies of two airmen whose plane was shot down

Scientists claim new particle discovery

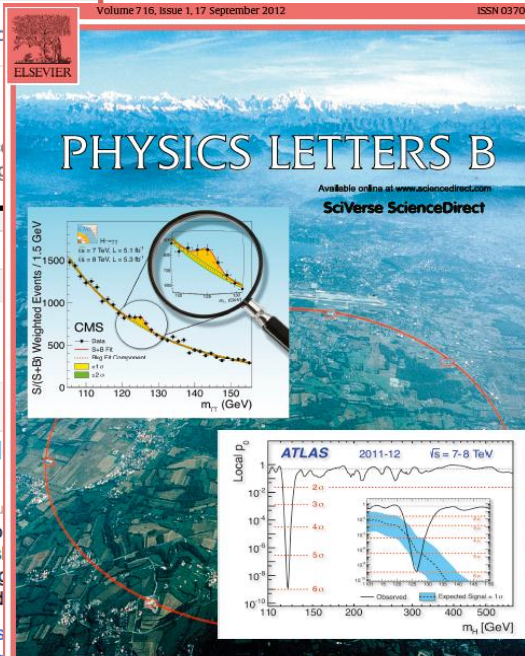


Scientists in Europe claim they have discovered a new particle consistent with the long-sought Higgs boson. **1419**

Google News

U.S. edition Modern

Top Stories



LE TEMPS SCIENCES & ENVIRONNEMENT

ACTUALITÉ ÉCONOMIE & FINANCE CULTURE LIFESTYLE OPINIONS

Monde Suisse Sports Sciences & Environnement Multimédia Société

PHYSIQUE Mercredi 4 juillet 2012

Le CERN a découvert une particule qui ressemble au boson de Higgs

Olivier Dessibourg/Agences

The Economist

In praise of charter schools
Britain's banking scandal spreads
Volkswagen overtakes the rest
A power struggle at the Vatican
When Lonesome George met Nora

A giant leap for science

Finding the Higgs boson

Physicists: New particle

USA TODAY - 41 minutes ago
GENEVA (AP) - Top physicists announced Wednesday, calling the new particle known as the "God particle."

Featured: Physicists
Live Updating: Higgs boson announcement from Wikipedia: Peter Higgs

Related: Higgs boson » CERN » Large Hadron Collider

The New York Times

Wednesday, July 4, 2012 Last Update: 8:23 AM ET

DIGITAL SUBSCRIPTION: 4 WEEKS FOR \$9.99

DIRECT Follow Us

BOSON DE HIGGS

Une découverte aussi prometteuse que l'électricité

Mis à jour le 05.07.2012 2 Commentaires

Des hommes de sciences comparent la mise au jour de la «particule de Dieu» à l'invention de l'électricité en 1831. Des avancées radicales sont à prévoir.

Discovery of New Particle Could Redefine Physical World

By DENNIS OVERBYE
58 minutes ago

The discovery by physicists at CERN's Large Hadron Collider, if confirmed to be the Higgs boson particle, could lead to a new understanding of how the universe began.

- The Lede Blog: What in the World is a Higgs Boson?

Fabrice Coffrini/Agence France-Presse — Getty Images
CERN officials held a press conference near Geneva on Wednesday.

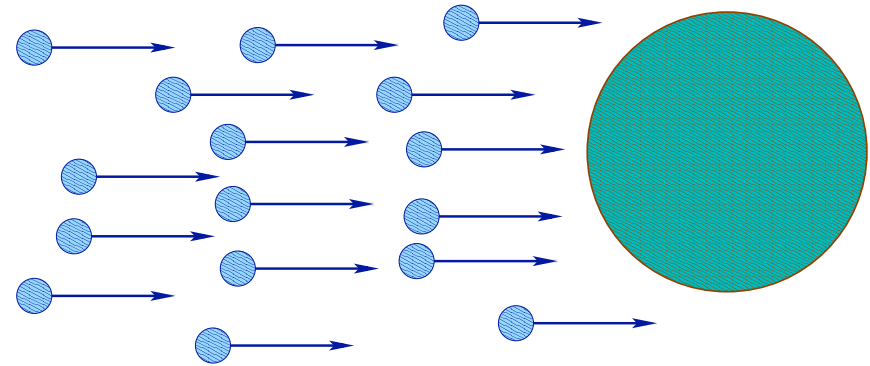
OPINION
EDITORIAL
Too Quiet Health Care
The Obama administration is forceful and effective. Republican reform is needed.

MARKETS
Britain
FTSE 100
5,680.60
-7.13
-0.13%
Data as of 04.07.2012

GET QUOTES

HATÁSKERESZTMETSZET

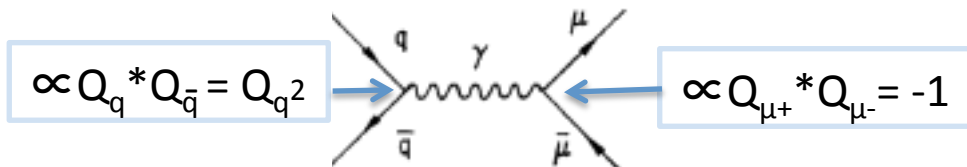
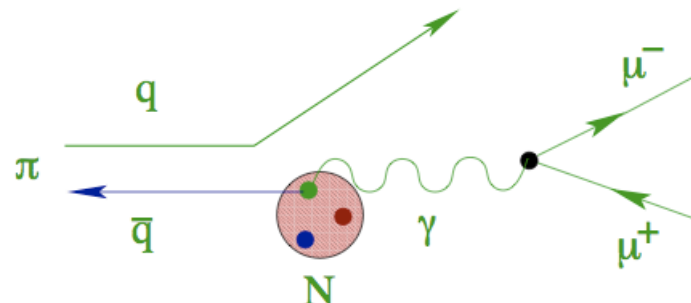
- Kölcsönhatási valószínűség mértéke:
 $\sigma = W / \phi$
- Fluxus, a bombázó részecskenyaláb áramsűrűsége:
 $\phi = \text{sűrűség} \cdot \text{sebesség}$
 $[\phi] = 1 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$
- Átmeneti valószínűség egységnyi idő alatt: W
 $[W] = 1 / \text{s}$
- Hatáskeresztmetszet:
 $[\sigma] = \text{m}^2$
barn: $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$
Részecskefizikában: $\text{pb} = 10^{-40} \text{ m}^2$



Bombázó részecskenyaláb Céltárgy részecskéje

PION–NUKLEON SZÓRÁS ÉS A KVARKOK TÖLTÉSE

- Kvark szabadon nem létezik, mégis vizsgálhatjuk a tulajdonságait részecsqueszórással
- Példa: pionszórás nukleonon:
 $\pi N \rightarrow \mu^+ \mu^- X$
 Kvark szóródik, anti-kvark befogódik
- Elemi kölcsönhatás: $q \bar{q} \rightarrow \mu^+ \mu^-$



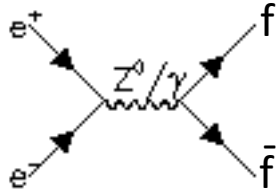
$$\propto Q_q * Q_{\bar{q}} = Q_q^2$$

$$\propto Q_{\mu^+} * Q_{\mu^-} = -1$$

- Hatáskeresztmetszet:

$$\begin{array}{l}
 \pi^- = (\bar{u}d) \\
 {}^{12}\text{C} \sim (18u + 18d) \\
 \pi^+ = (u\bar{d})
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 > \sigma \sim 18Q_u^2 = 18 \cdot \frac{4}{9} \\
 > \sigma \sim 18Q_d^2 = 18 \cdot \frac{1}{9}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \rightarrow \\
 \rightarrow
 \end{array}
 \boxed{\frac{\sigma(\pi^- \text{C} \rightarrow \mu^+ \mu^- \dots)}{\sigma(\pi^+ \text{C} \rightarrow \mu^+ \mu^- \dots)} \approx 4}$$

Kísérletileg rendben...



HADRONPÁR KELETKEZÉS HATÁSKERESZTMETSZETE e⁺e⁻ ÜTKÖZÉSBEN

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadronok})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} = \frac{\sigma(\sum_i e^+e^- \rightarrow q_i\bar{q}_i)}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} \sim \sum_i Q_{q_i}^2$$

- Töltés-négyzettel és a lehetséges végállapotok számától függ

- Szín nélkül:

$$R_0 = \sum_q Q_q^2$$

- 3 színnel:

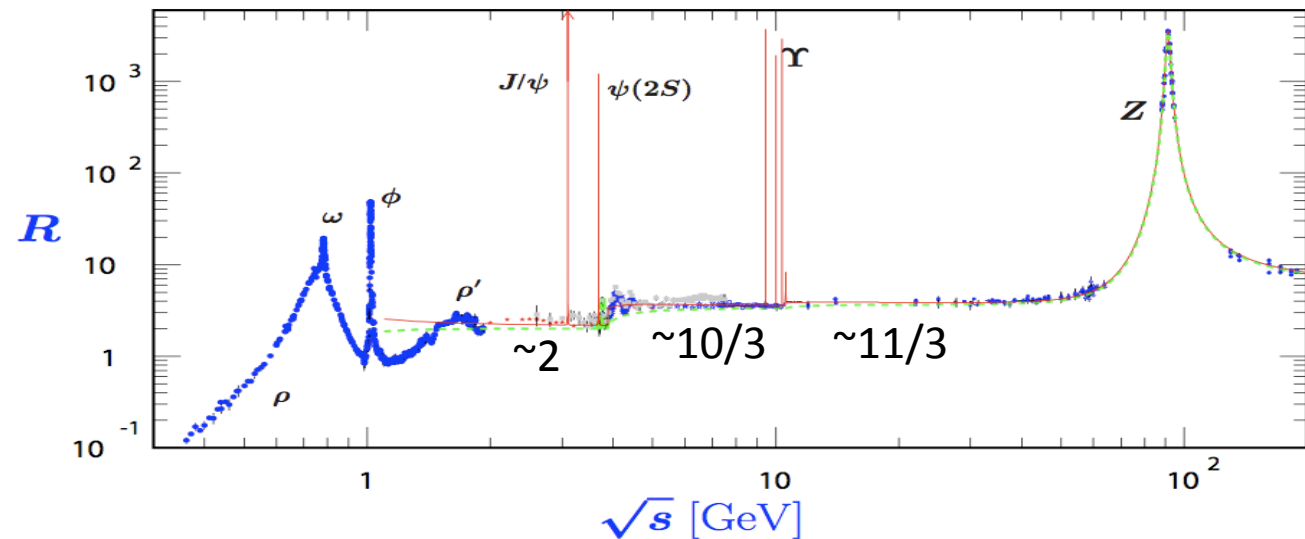
$$R_3 = 3R_0$$

- Magasabb energián több kvark fajta válik elérhetővé:

$$\{u, d, s\}: \quad R_0 = (2/3)^2 + 2 \cdot (1/3)^2 = 2/3; \quad R_3 = 2$$

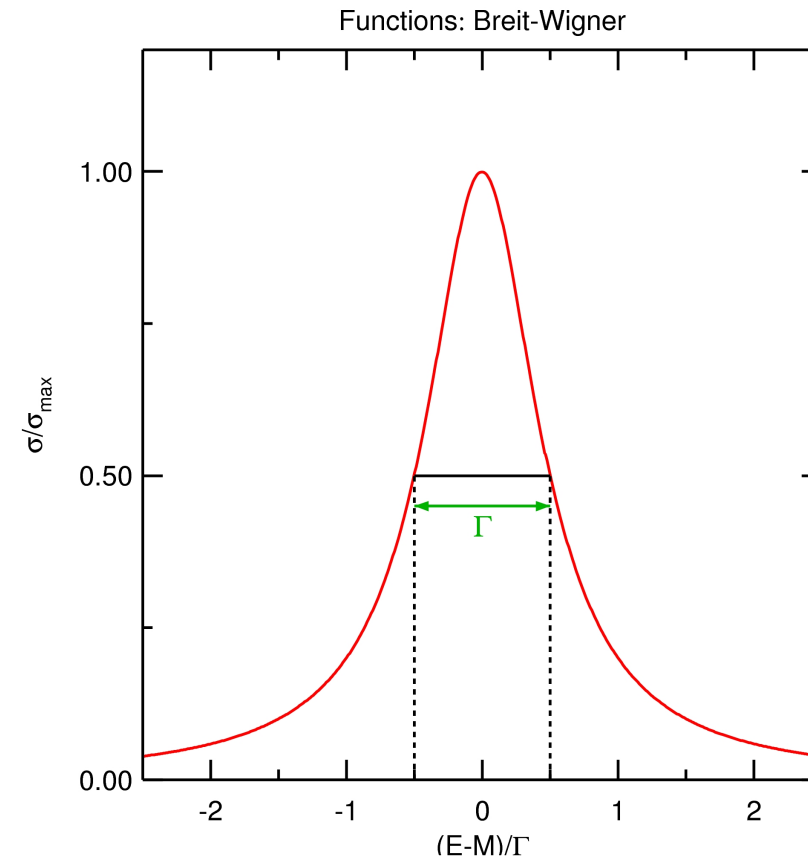
$$\{u, d, s, c\}: \quad R_0 = 2 \cdot (2/3)^2 + 2 \cdot (1/3)^2 = 10/9; \quad R_3 = 10/3$$

$$\{u, d, s, c, b\}: \quad R_0 = 2 \cdot (2/3)^2 + 3 \cdot (1/3)^2 = 11/9; \quad R_3 = 11/3$$



REZONANCIA

- Csúcs a differenciális hatáskeresztmetszetben egy adott energiánál szórás kísérletekben
- Egy rövid élettartamú részecske keletkezését és bomlását jelzi
- A rezonancia szélessége a részecske élettartamától függ:
 $\Gamma = 1 / \tau$
- Valószínűség-eloszlás:
$$f(E) = \frac{\Gamma/2}{(E - M)^2 + (\Gamma/2)^2}$$
- M: rezonancia helye
- Γ : rezonancia szélessége

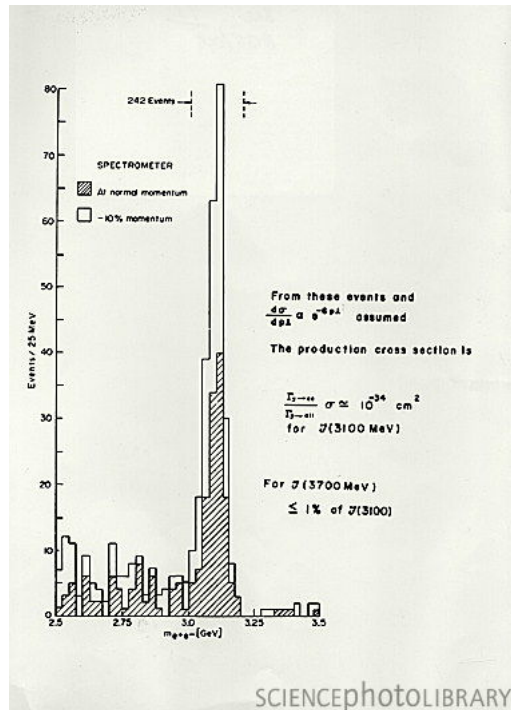


MIÉRT HASZNOSAK A REZONANCIÁK?

Új részecskék felfedezése

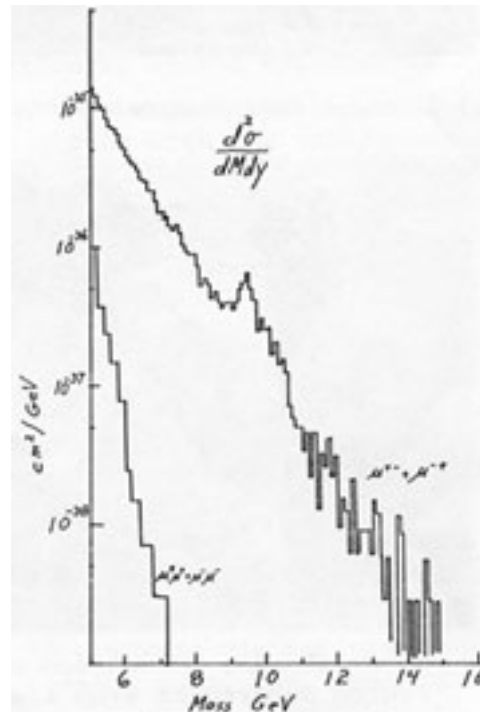
J/ψ ($c\bar{c}$), 1974

→ c kvark

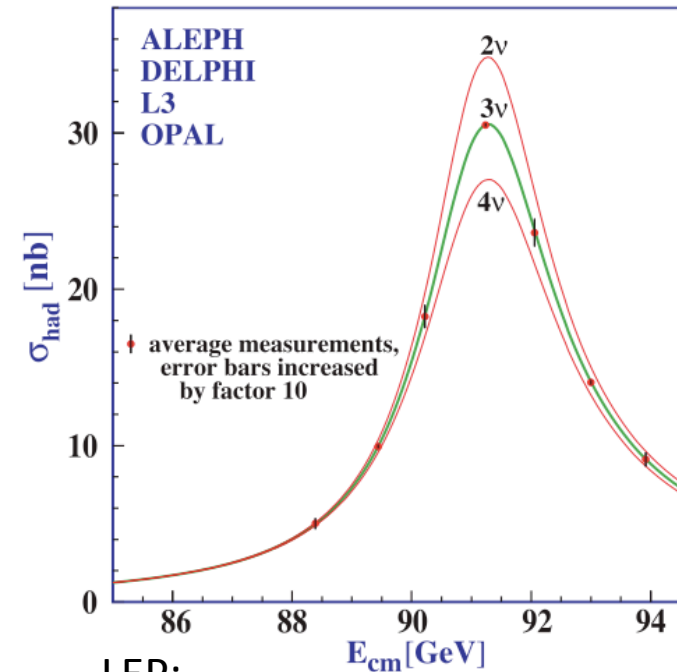


Upsilon ($b\bar{b}$), 1977

→ b kvark



Neutrínó családok számának meghatározása a LEP gyorsítón



LEP:

$$\Gamma_{inv}/\Gamma_Z = 0.200 \pm 0.055$$

$$\Gamma_{||}/\Gamma_Z = 0.033658 \pm 0.000023$$

$$\text{SM: } \Gamma_{\nu\nu}/\Gamma_{||} = 1.991 \pm 0.001$$

$$\Rightarrow N_\nu = \Gamma_{inv}/\Gamma_{\nu\nu} = 2.984 \pm 0.008$$

2. RÉSZ

Szimmetriák a részecskefizikában

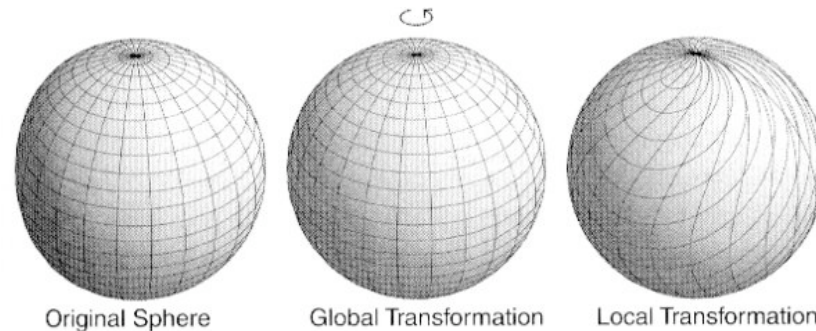
Elemi részecskék tömege és a Higgs-bozon



... avagy miért ünnepeltünk 2012. július 4-én?

SZIMMETRIÁK SZEREPE A FIZIKÁBAN

- **Noether-tétel:** minden szimmetriához tartozik egy megmaradó mennyiség
 - idő-eltolás → energia megmaradás
 - térbeli-eltolás → impulzus megmaradás
 - forgás → impulzusmomentum megmaradás
 - folytonos globális szimmetria elektromágneses térben → elektromos töltés
- **Lokális szimmetria:** pontról pontra meghatározott módon modosuló



- **Wigner-tétel:** fizikai törvények szimmetriája határozza meg a természetben található részecskék tulajdonságait
- A szimmetriák a fizikusok leghatékonyabb eszközei a világ megértésében
- **Mértékelmékekben minden erő (elemi kölcsönhatás) egy lokális mértékszimmetriából ered**

PARITÁSSÉRTÉS

- Paritás vagy tértükrözés, $P: (x,y,z) \rightarrow (-x,-y,-z)$
- A $\tau - \theta$ paradox: két részecske azonos tulajdonságokkal, de különböző paritással:
 $\tau^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$ és $\theta^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^+\pi^-$ $J^P(\pi)=1^-$
- 1956: T.D. Lee és C.N. Yang áttekinti az eddigi eredményeket **NOBEL 1957**
 - A paritás megmaradás kísérleti bizonyítékai mind EM és erős folyamatokra vonatkoztak
 - Ha a gyenge kh. sérti a paritást, $\tau^+ = \theta^+ (\equiv K^+)$
 - Javaslatok a kísérleti ellenőrzésére

• 1957:

Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay*

C. S. Wu, *Columbia University, New York, New York*

AND

E. AMBLER, R. W. HAYWARD, D. D. HOPPEs, AND R. P. HUDSON,
National Bureau of Standards, Washington, D. C.

(Received January 15, 1957)

The inspiring discussions held with Professor T. D. Lee and Professor C. N. Yang by one of us (C. S. Wu) are gratefully acknowledged.

Phys. Rev. 105 (1957) 1413-1414

Observations of the Failure of Conservation of Parity and Charge Conjugation in Meson Decays: the Magnetic Moment of the Free Muon*

RICHARD L. GARWIN,† LEON M. LEDERMAN,
AND MARCEL WEINRICH

*Physics Department, Nevis Cyclotron Laboratories,
Columbia University, Irvington-on-Hudson,
New York, New York*

(Received January 15, 1957)

The authors wish to acknowledge the essential role of Professor Tsung-Dao Lee in clarifying for us the papers of Lee and Yang. We are also indebted to Professor C. S. Wu⁶ for reports of her preliminary results in the Columbia discussions immediately preceding this experiment.

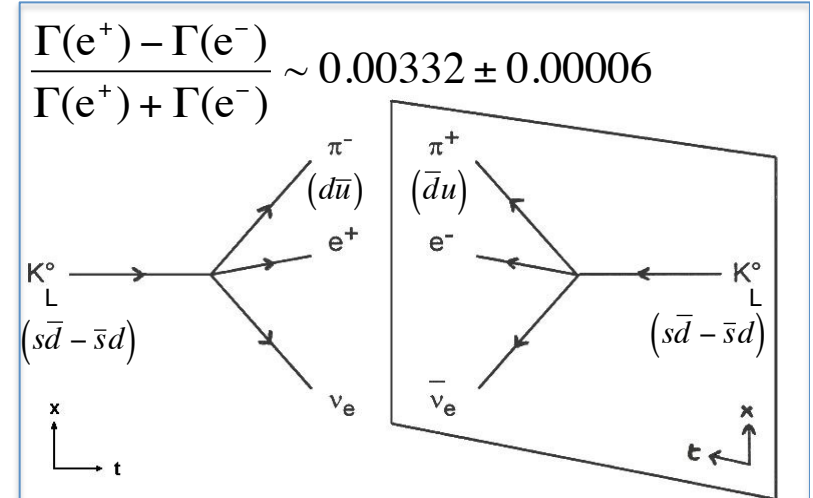
Phys. Rev. 105 (1957) 1415-1417

CP TÜKRÖZÉSI SZIMMETRIA SÉRTÉS

- **Paritás vagy tértükrözés, P:** $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$
1957: a bal-kezes neutrínó jobb-kezes tükörpárját nem észlelik \rightarrow paritássértés
- **Töltés-tükrözés, C:** részecske \rightarrow antirészecske
- **CP tükrözés:**

(pl. bal-kezes ν \rightarrow jobb-kezes anti- ν)
1964: CP-sértés gyenge folyamatokban,
semleges K^0 mezonok bomlásában
1980: Cronin, Fitch kísérleti Nobel díj

- **A részecskefizika Standard Modellje leírja a CP-sértés jelenségét, ám meg nem magyarázza annak eredetét**



- Anyag - antianyag aszimmetria: az univerzumban minden anyag részecskére $\sim 10^{10}$ foton (10^{10} megsemmisült részecske - antirészecske pár) jut
- **Az ismert CP sértő folyamatok lényegesen ritkábbak, mint amit az univerzumban észlelt aszimmetria magyarázata igényel**
- **Fontos kutatási irány napjainkban is a CP sértés**

CPT-INVARIANCIA

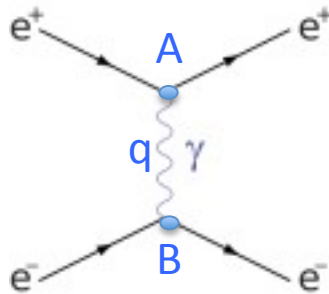
- A térelmélet alaptétele:
CPT $|p(r, t) \rangle \sim |p(\underline{-r}, -t) \rangle \sim |p(r, t) \rangle$
Szabad anti-részecske \sim tér-időben visszafelé haladó részecske
- CPT sérülése komoly problémákat okozna. Sérülne
 - a kölcsönhatások lokalitása, a kauzalitás, vagy
 - az unitaritás, az anyag, információ, ... megmaradás, vagy
 - A Lorent-invariancia.
- Feltételezés: CPT nem sérül
- Ellenőrizni kell (vannak CPT-sértő modellek)
- CERN AD anti-proton lassító (ALPHA, **ASACUSA**, ATRAP):
proton – anti-proton (m, q, μ) összehasonlítás
hidrogén – anti-hidrogén (spektroszkópia) összehasonlítás

MÉRTÉK-KÖLCSÖNHATÁSOK ELMÉLETE

- Pontszerű fermion (pl. elektron) mozog lokális (mérték)szimetriájú térben
- Standard Modellben 3-féle lokális szimmetria, 3 mértékkölcsönhatás van: elektromágneses, gyenge és erős (avagy szín) kölcsönhatás
- Szimmetria csoport: $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$
- Megmaradó töltések: elektromos töltés, gyenge izospin, szín-töltés
- Közvetítő mértékbozonok: foton, W és Z bozon, gluon

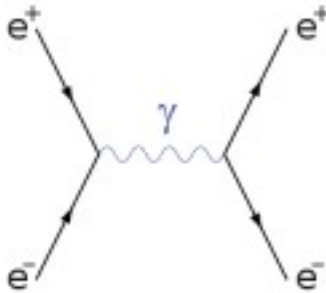
KVANTUMELEKTRODINAMIKA (QED)

- Elektromágneses jelenségek kvantumelmélete; (U(1) szimmetria)
- Töltött részecskék szóródása egymáson:



a belső (nem-észlelhető, virtuális) photon q impulzust visz át a két részecske között A -ból B -be

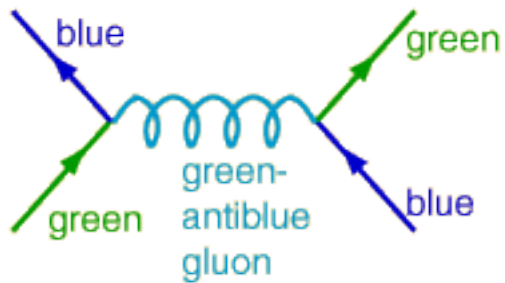
- Elektron-pozitron megsemmisülés



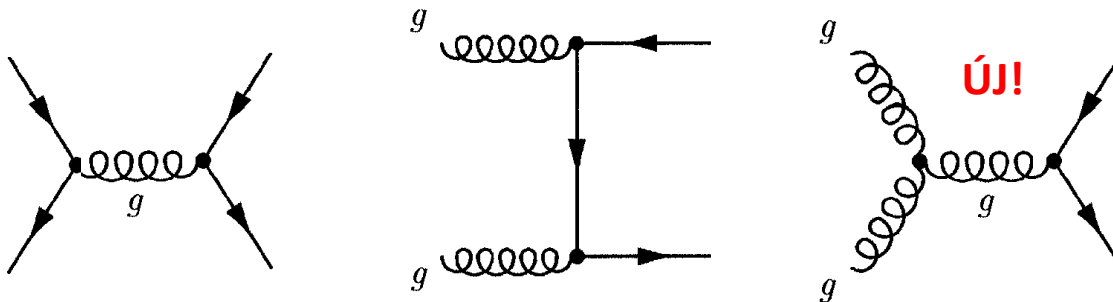
- A Feynman-gráfok megadják a receptet a kölcsönhatási valószínűségek kiszámolására

KVANTUMSZÍNDINAMIKA (QCD)

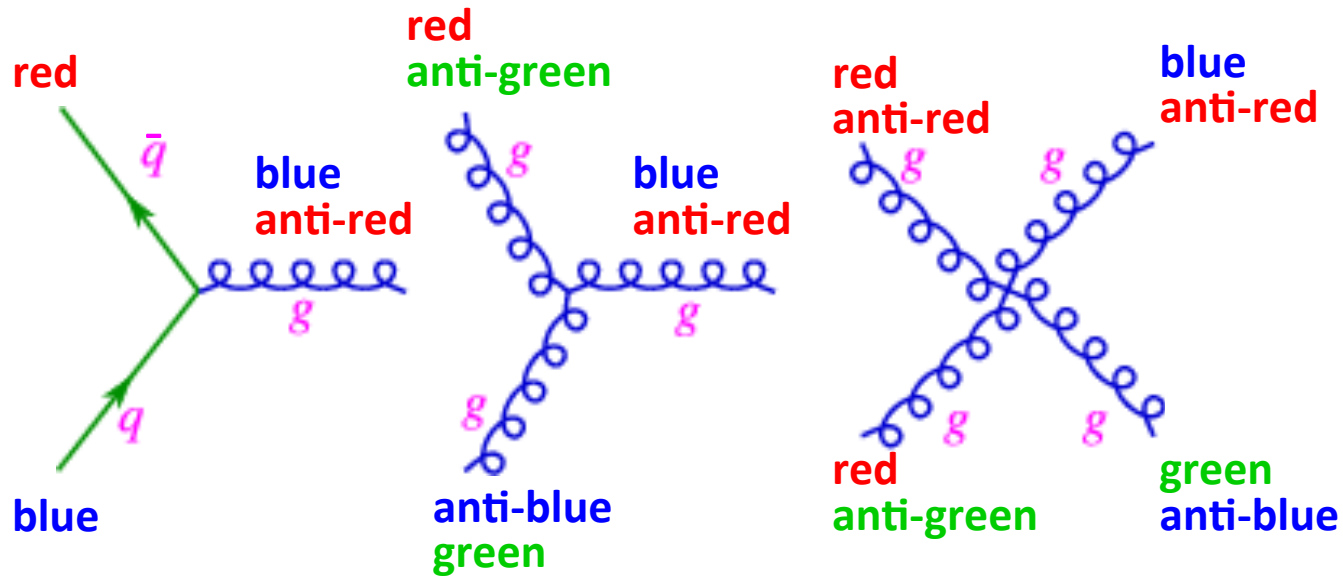
- Szín-szín kölcsönhatás kvantumelmélete; SU(3) szimmetria
- A közvetítő gluon színt hordoz: $R\bar{R}, G\bar{G}, B\bar{B}, R\bar{G}, R\bar{B}, G\bar{R}, B\bar{R}, B\bar{G}, G\bar{B}$
- Mivel $(R\bar{R}+G\bar{G}+B\bar{B})/\sqrt{3}=1$, csak 8 független



- A foton nem hordoz töltést. A gluon igen... van gluon-gluon kölcsönhatás!



GLUON-GLUON ÖNKÖLCSÖNHATÁS MECHANIZMUSA



A vertex (= csomópont) mindig “színtelen”!

MÉRTÉK-KÖLCSÖNHATÁSOK ELMÉLETE

- Pontszerű fermion (pl. elektron) mozog lokális (mérték)szimmetriájú térben
- Standard Modellben 3-féle lokális szimmetria, 3 mértékkölcsönhatás van: elektromágneses, gyenge és erős (avagy szín) kölcsönhatás
- Szimmetria csoport: $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$
- Megmaradó töltések: elektromos töltés, gyenge izospin, szín-töltés
- Közvetítő mértékbozonok: foton, W és Z bozon, gluon

- A fermionoknak és mértékbozonoknak nulla tömegűnek kell lennie ahhoz, hogy a mértékszimmetria megmaradjon
- Foton és gluon: OK
- Fermionoknak, W és Z bozonoknak van tömege

- Hogyan oldható fel ez az ellentmondás?

SPONTÁN SZIMMETRIASÉRTÉS

Analógia: Emberke a sombrérón

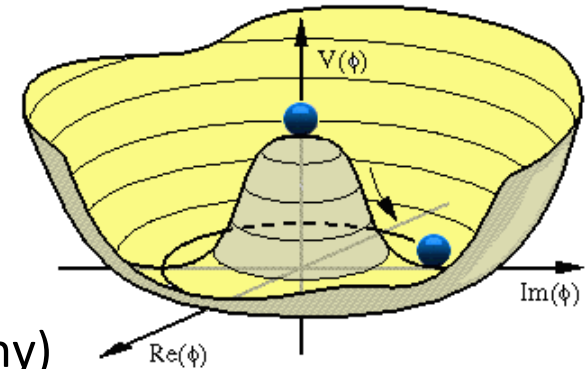
- A sombréro csúcsán ülő emberke szemével a világ teljesen kör (forgás) szimmetrikus
- A természet törvényei is szimmetrikusak (példánkban a gravitáció számára nincs kitüntetett irány)
- A csúcsról azonban bármilyen kicsi fluktuáció (remegés) kibillentheti emberkénket, aki egy véletlen irányban csúszik le a kalap karimájára
- Helyzete a karimán immár sérti a rendszer szimmetriáját, noha a természet törvényei szimmetrikusak maradnak (nincs kitüntetett irány)



SPONTÁN SZIMMETRIASÉRTÉS

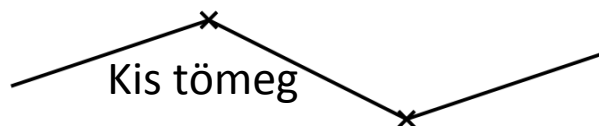
Analógia: Emberke a sombrérón

- A sombréro csúcsán ülő emberke szemével a világ teljesen kör (forgás) szimmetrikus
- A természet törvényei is szimmetrikusak (példánkban a gravitáció számára nincs kitüntetett irány)
- A csúcsról azonban bármilyen kicsi fluktuáció (remegés) kibillentheti emberkénket, aki egy véletlen irányban csúszik le a kalap karimájára
- Helyzete a karimán immár sérti a rendszer szimmetriáját, noha a természet törvényei szimmetrikusak maradnak (nincs kitüntetett irány)



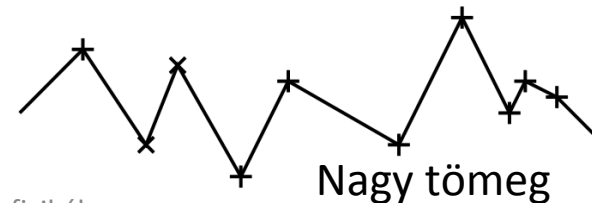
Brout – Englert – Higgs (BEH) mechanizmus (1964):

A Higgs-tér legalacsonyabb energiájú (alap) állapotában nem-nulla értéket vesz fel (\sim kalap karimájának sugara). Ezt a nem nulla értéket érzik azon elemi részecskék, akiknek van gyenge töltése (W, Z, fermionok és maga a Higgs is). Ezzel kölcsönhatásba lépve kapnak tömeget.



2015. augusztus 12-16

Pásztor: Bevezetés a részecskefizikába

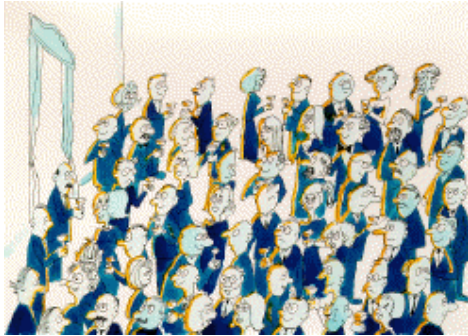


96

ELEKTROGYENGE KÖLCSÖNHATÁS

- Az elektromágneses és gyenge kölcsönhatás egyesítése a Higgs-mechanizmus közreműködésével
- Szimmetria csoport: $SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_Q$
- Közvetítők: nulla-tömegű foton, nehéz W^+ , W^- , Z

A TÖMEG EREDETE ÉS A HIGGS-BOZON



Képzeld el egy termet tele tanárokkal, akik halkan társalognak
→ Világunk megtöltve Higgs-mezővel



Belép egy híres ember és zavart kelt a tömegben, ahogy minden lépésénél magához vonza csodállói egy csoportját...



...ez megnehezíti haladását
→ tömeget kap, akárcsak egy részecske, amint áthalad a Higgs-mezőn



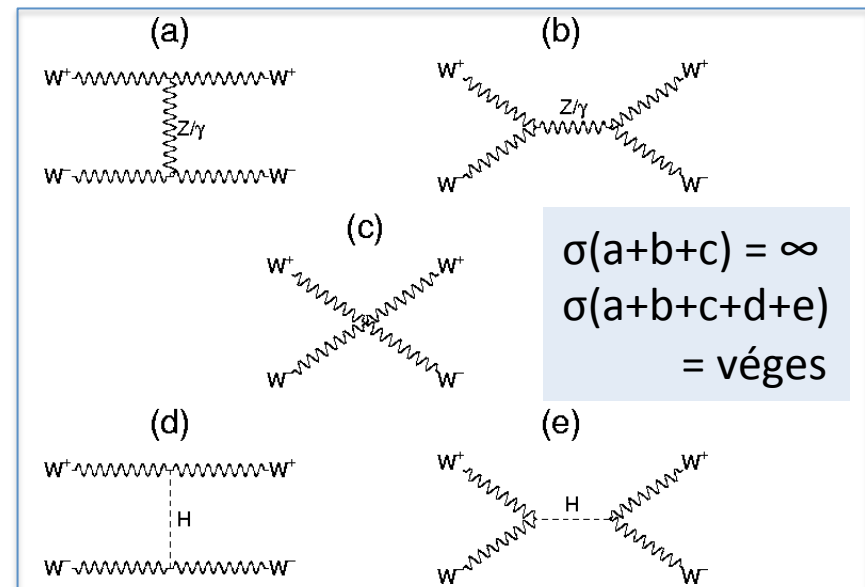
Ha egy szenzációs hír éri el a termet, az hasonlóképpen csoportosulásokat hoz létre...



...ezúttal maguk a tanárok között
→ analógiánkban, ezek a csoportok a Higgs-bozonok

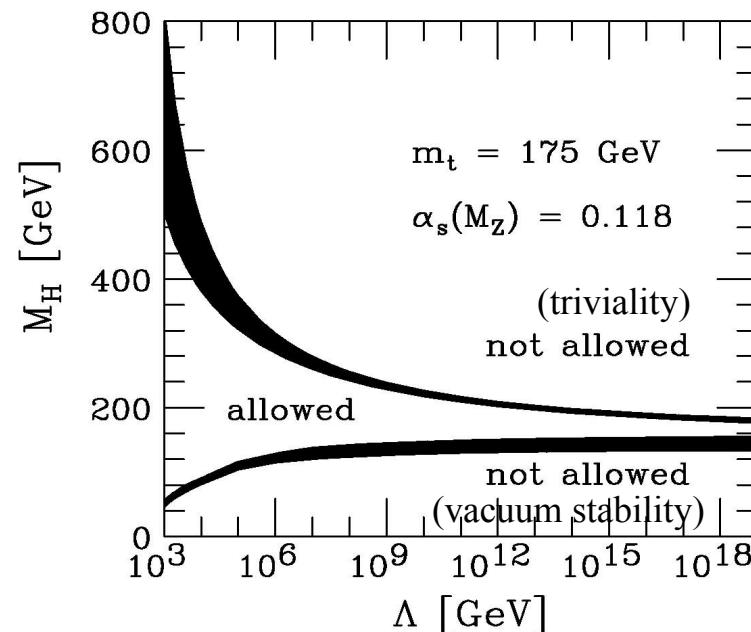
A TÖMEG EREDETE ÉS A HIGGS-BOZON

- A Standard Modellben az elemi részecskék tömege csupán egy bemenő paraméter
- **Kulcs kérdés: honnan származik a tömeg és miért van a különböző elemi részecskéknek eltérő tömege?**
- 1964-ban Peter Higgs, és függetlenül F. Englert, R. Brout valamint G. Guralnik, C.R. Hagen és T. Kibble javasolta megoldást:
A teret betölti egy fizikai mező (ú.n. Higgs-mező), és a részecskék ezzel a mezővel kölcsönhatva kapják tömegüket, minél erősebb a kölcsönhatás, annál nehezebb a részecske
- **Az elmélet következménye (a spontán szimmetriasértés mellékterméke) egy új nehéz semleges skalár részecske, a Higgs-bozon**
- Higgs-bozon nélkül a SM nem működik: baj van az elemi részecskék tömegével, sőt a gyenge kcsksh-ban divergenciák (végtelenek) is megjelennek



A STANDARD MODELL HIGGS-BOZONJA

- Skalár (spin=0), semleges, nehéz részecske
- Tömege a SM bemenő paramétere
- Unitaritás fennáll, ha $m_H \lesssim 700$ GeV
- Elméleti megfontolások alapján $115 \text{ GeV} \lesssim m_H \lesssim 180 \text{ GeV}$, ha a SM érvényes a Planck skáláig
- SM megadja a keletkezési hatáskeresztmetszetet és a bomlási valószínűségeket a Higgs tömegének függvényében, pl. $\sigma(H \rightarrow ff) \sim m_f^2/m_W^2$
- A Standard Modell utolsóként felfedezett eleme, a részecskefizika kulcs fontosságú része



T. Hambye and K. Riesselmann, Phys. Rev. D55, 7255 (1997), hep-ph/9708416 v1
 Bounds on the Higgs boson mass based on arguments of self-consistency of the SM. Λ denotes the energy scale at which the SM would become non-perturbative or the electroweak potential unstable.

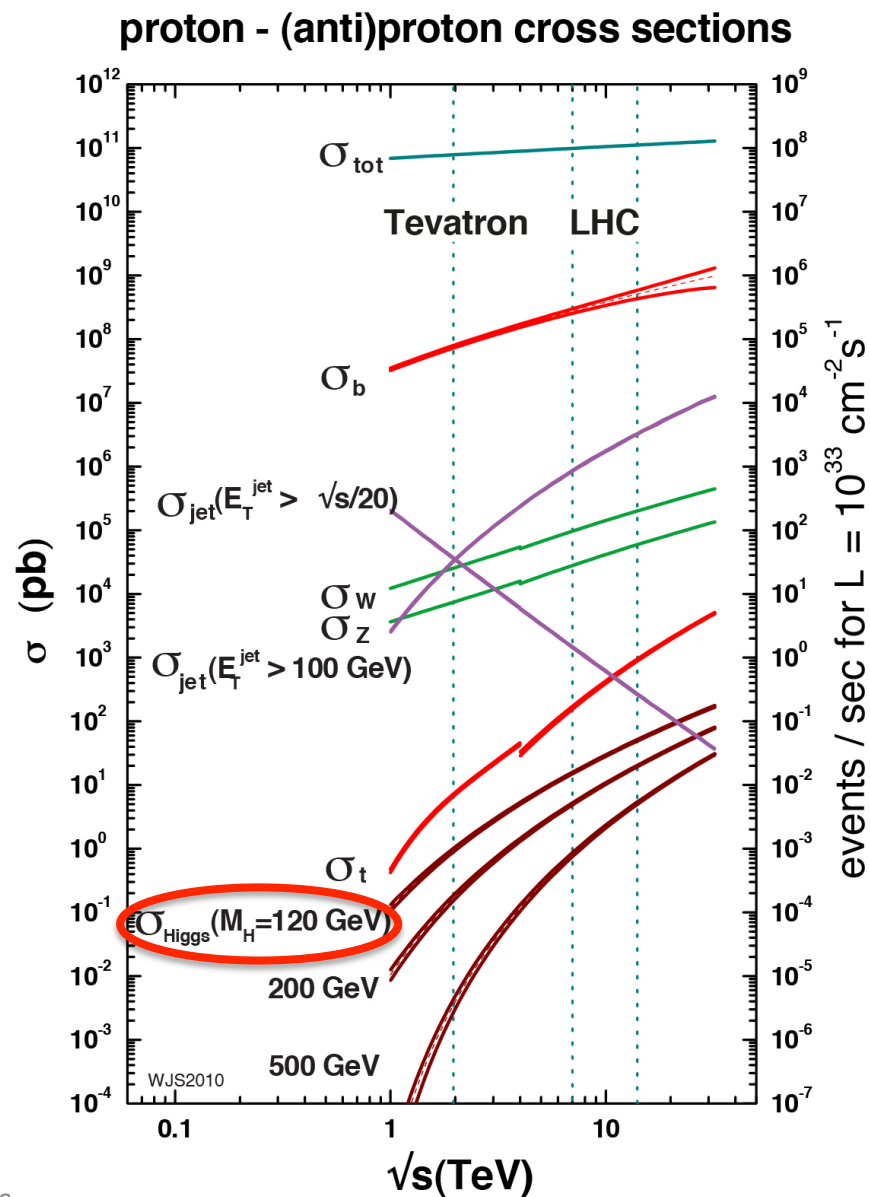
Unitaritás: Az összes lehetséges kimenetel valószínűség összege 1.

Határt ad a hatáskeresztmetszet energia függésére.

Trivialitás: Az elméletben csak nem-kölcsönható, szabad részecskék vannak.

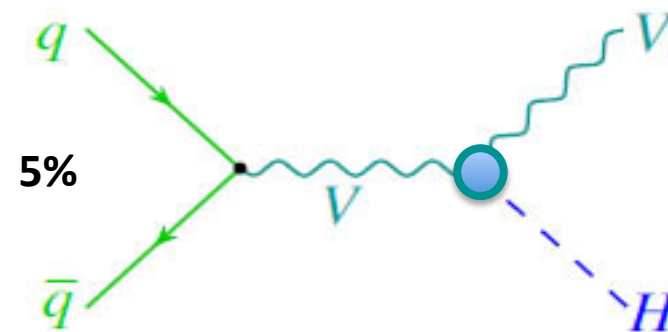
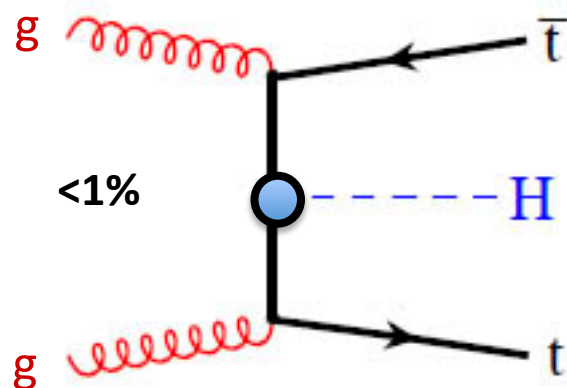
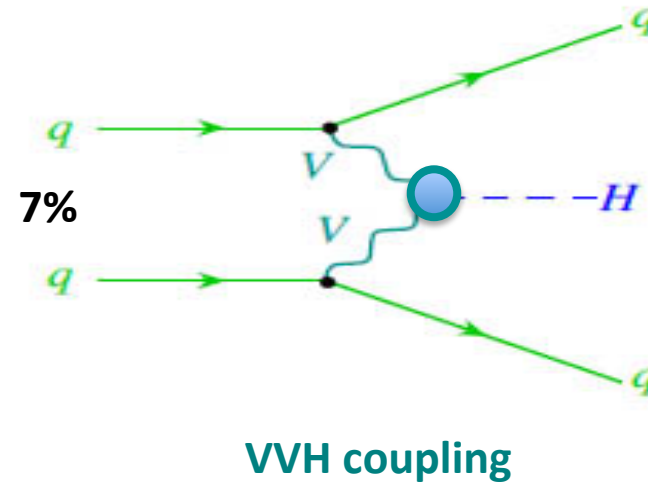
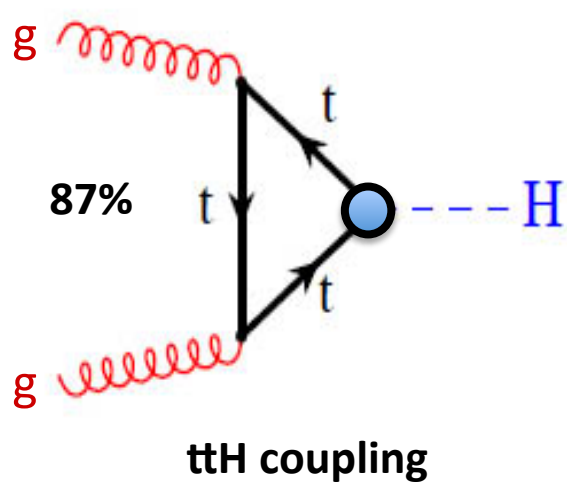
Vákuum stabilitás: A potenciál minimuma nem 0-ban van (azaz a kalap karimájának sugara nem 0!)

HIGGS KELETKEZÉS AZ LHC-N



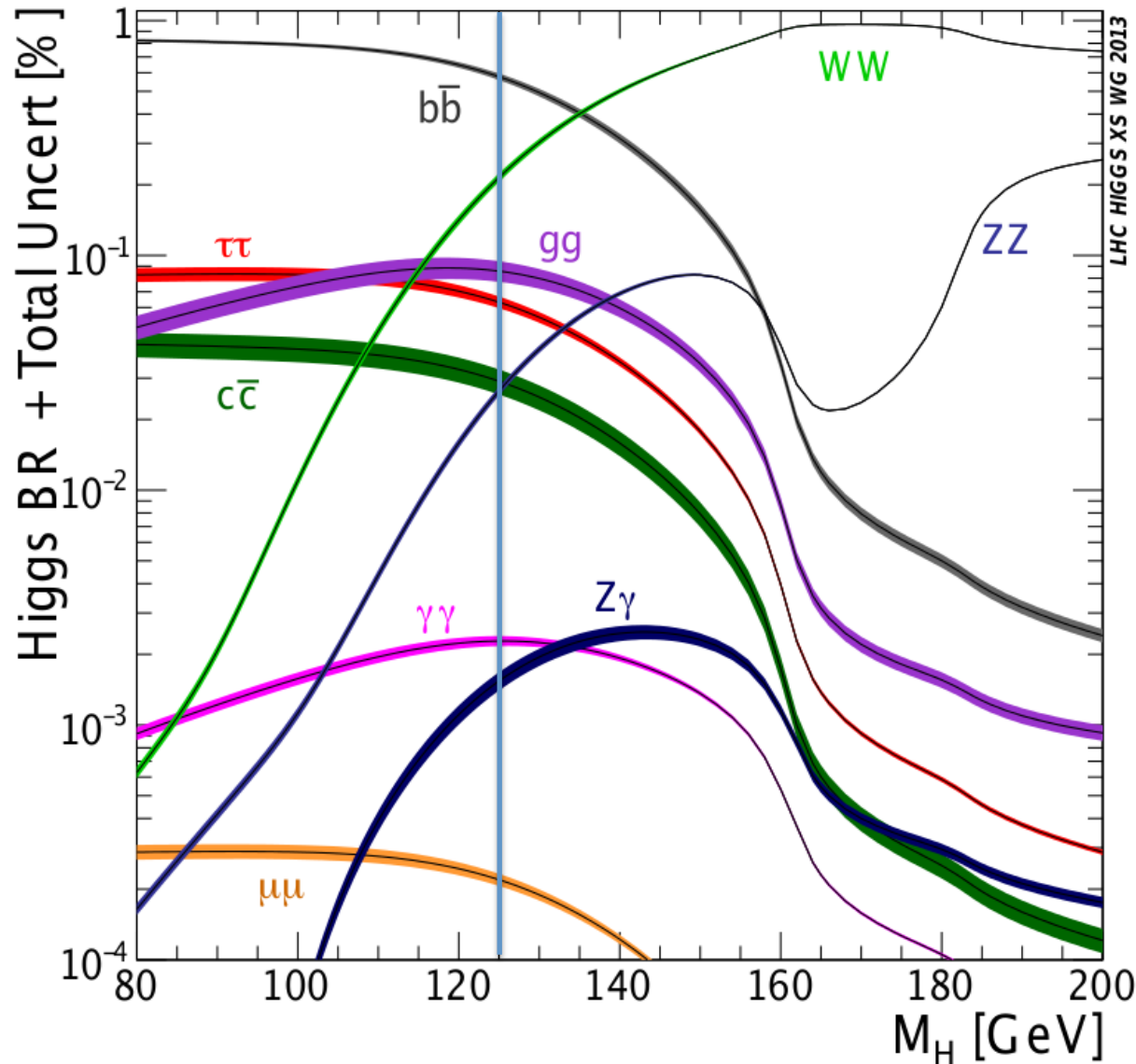
- Alacsony hatáskeresztmetszet:
 $\sigma = 22 \text{ pb} @ \sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$
- Sok “háttér” esemény közül kell kiválasztani a jelet

HIGGS KELETKEZÉS AZ LHC-N (ELMÉLETI JÓSLAT, $m_H=125$ GEV)



A különböző keletkezési módok különböző Higgs csatolásokról adnak információt

A SM HIGGS-BOZON BOMLÁSA



$m_H=125$ GeV:

- 58% $b\bar{b}$
- 22% WW
- 8.6% gg
- 6.3% $\tau\tau$
- 2.9% $c\bar{c}$
- 2.6% ZZ
- 0.23% $\gamma\gamma$
- 0.15% $Z\gamma$

KERESÉSI CSATORNÁK

$H \rightarrow ZZ$

- $H \rightarrow ZZ \rightarrow \text{llll}$: "Golden channel"

- $H \rightarrow ZZ \rightarrow \text{ll}\nu\nu$: Nagy tömegre

- $H \rightarrow ZZ \rightarrow \text{ll}qq$: Nagy tömegre

$H \rightarrow WW$

- $H \rightarrow WW \rightarrow \text{lv}lv$: Legérzékenyebb

- $H \rightarrow WW \rightarrow \text{lv}qq$: Leggyakoribb

$H \rightarrow \gamma\gamma$

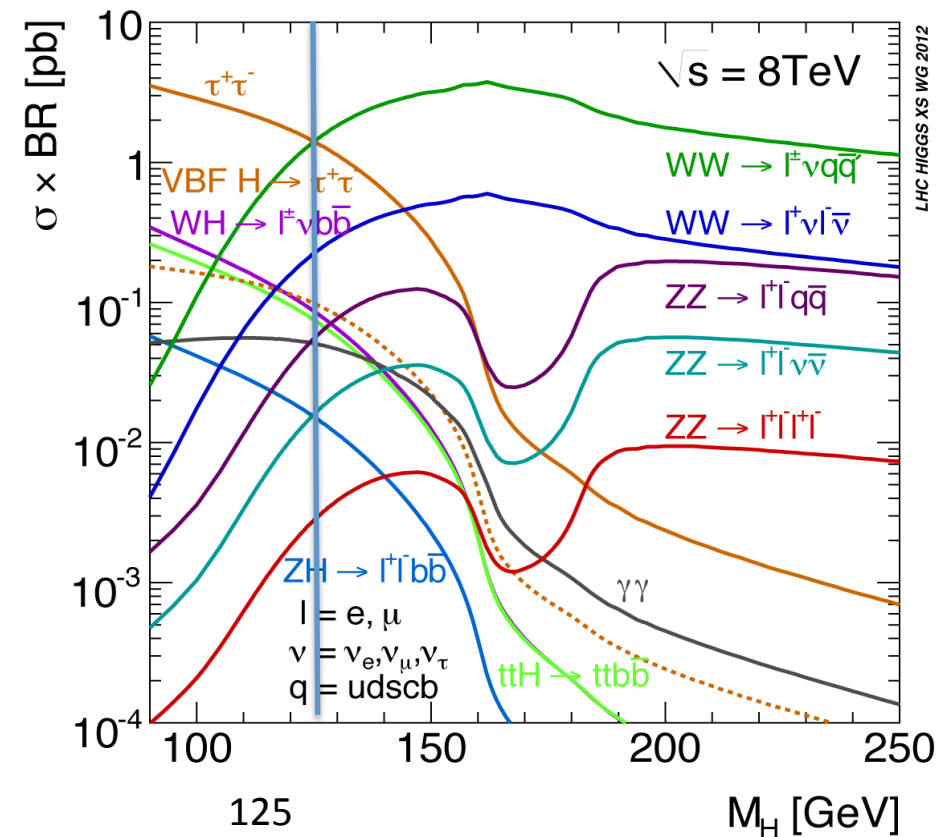
- Ritka, kis tömegre a legjobb

$H \rightarrow \tau\tau$

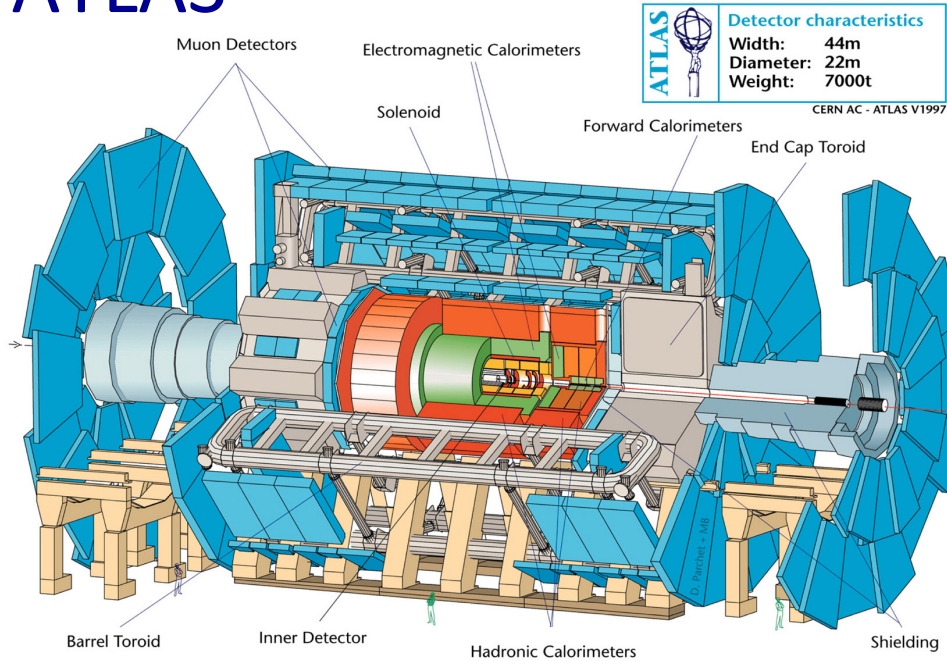
- Ritka, kis tömegre kedvező jel/háttér arány

$H \rightarrow bb$

- ttH , ZH , WH , hasznos de nehéz a jelentős háttér miatt



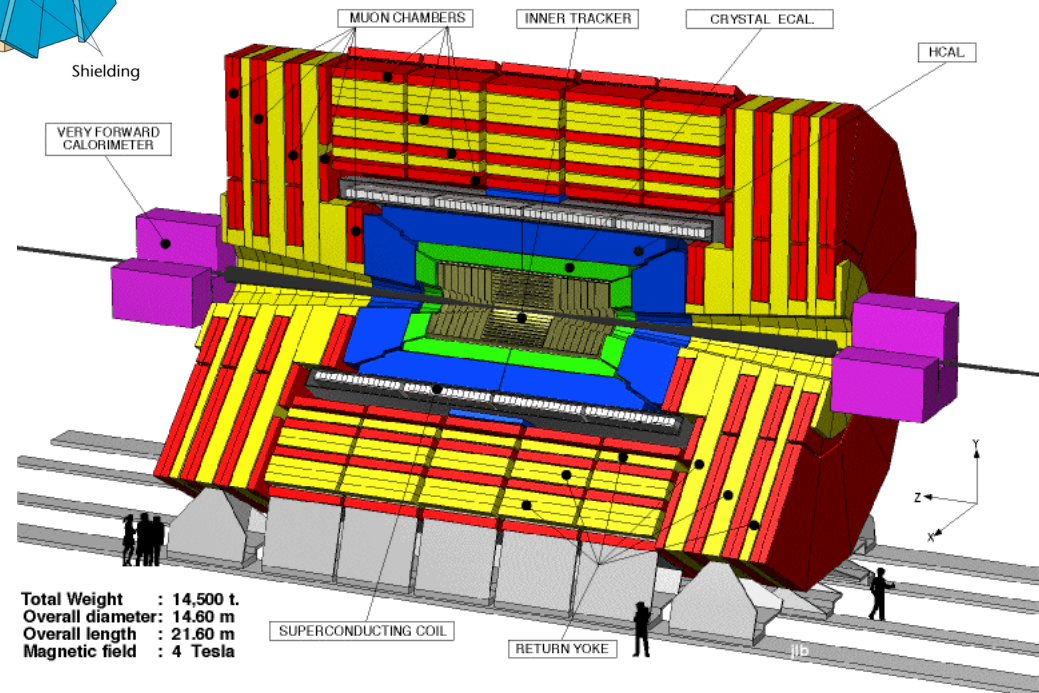
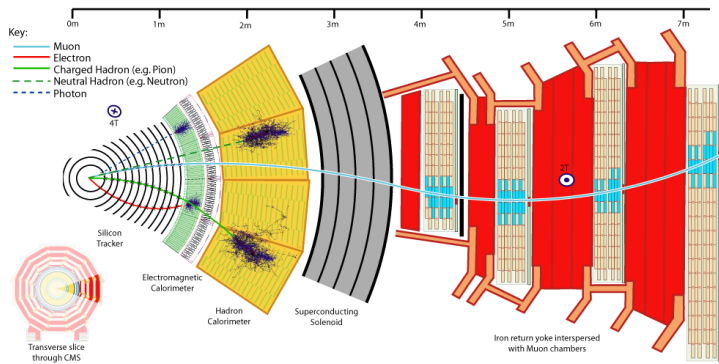
ATLAS



AZ LHC SOK-CÉLÚ DETEKTORAI

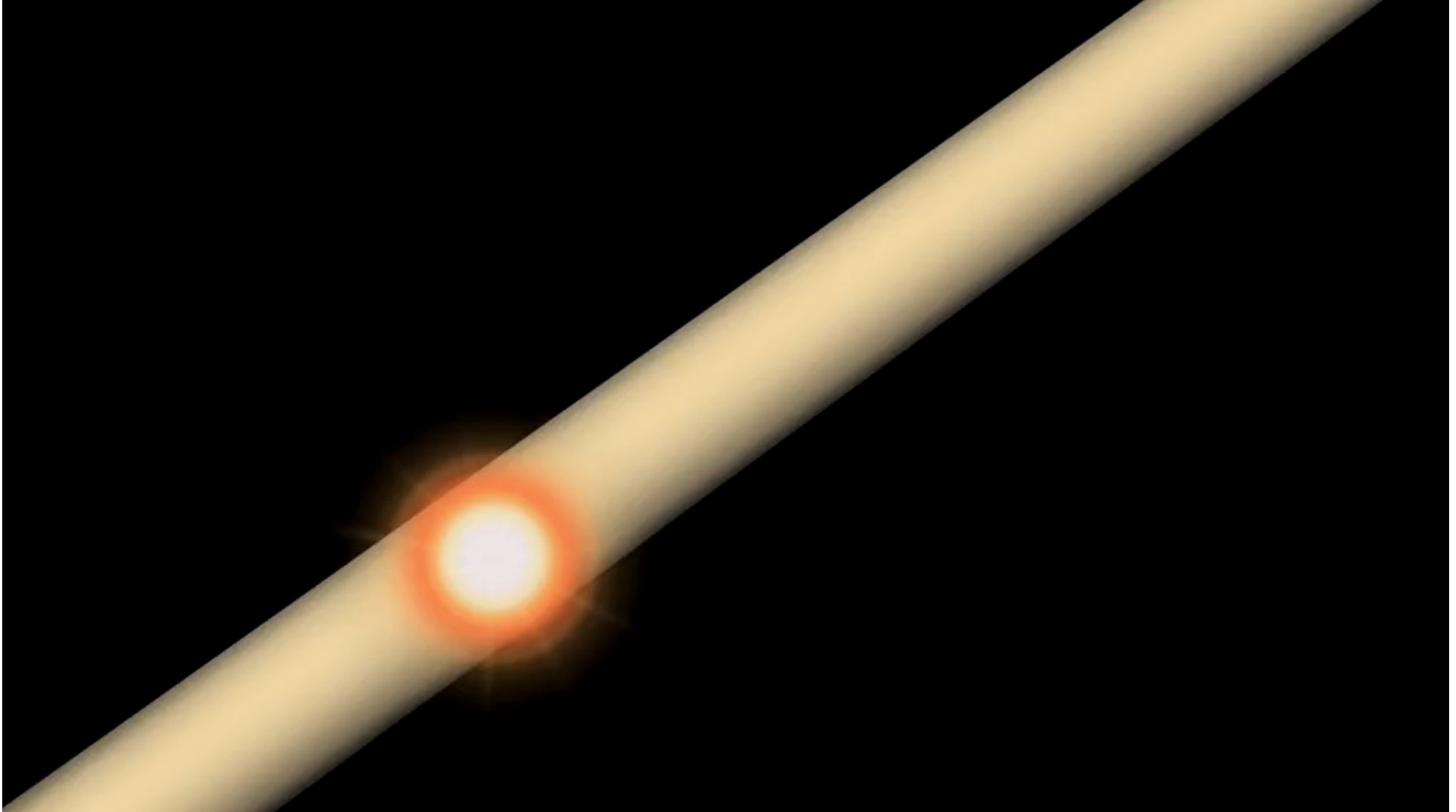
- Különböző filozófia a tervezésben
- Hasonló pontosság

CMS

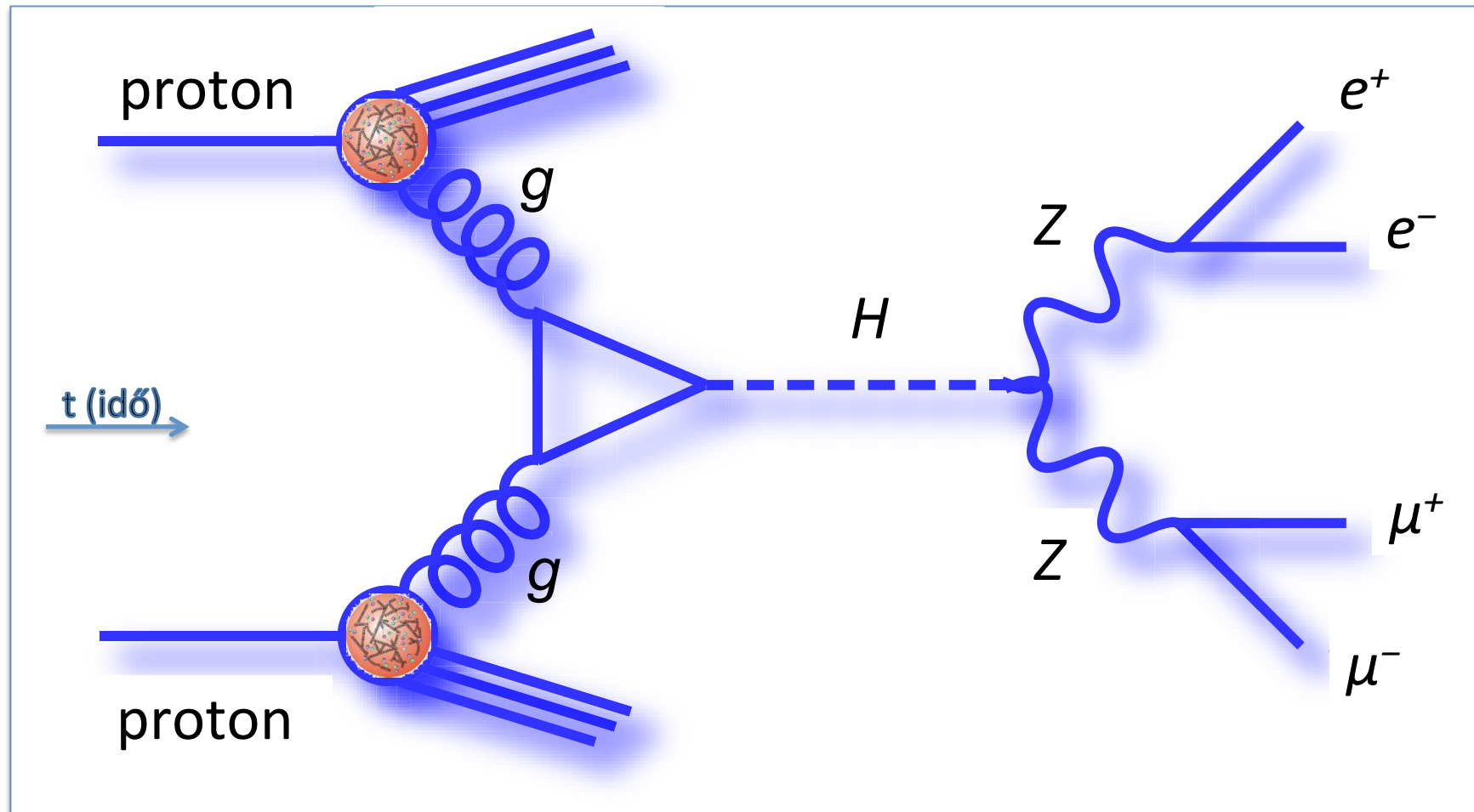


PROTON-PROTON ÜTKÖZÉS AZ ATLAS DETEKTORBAN

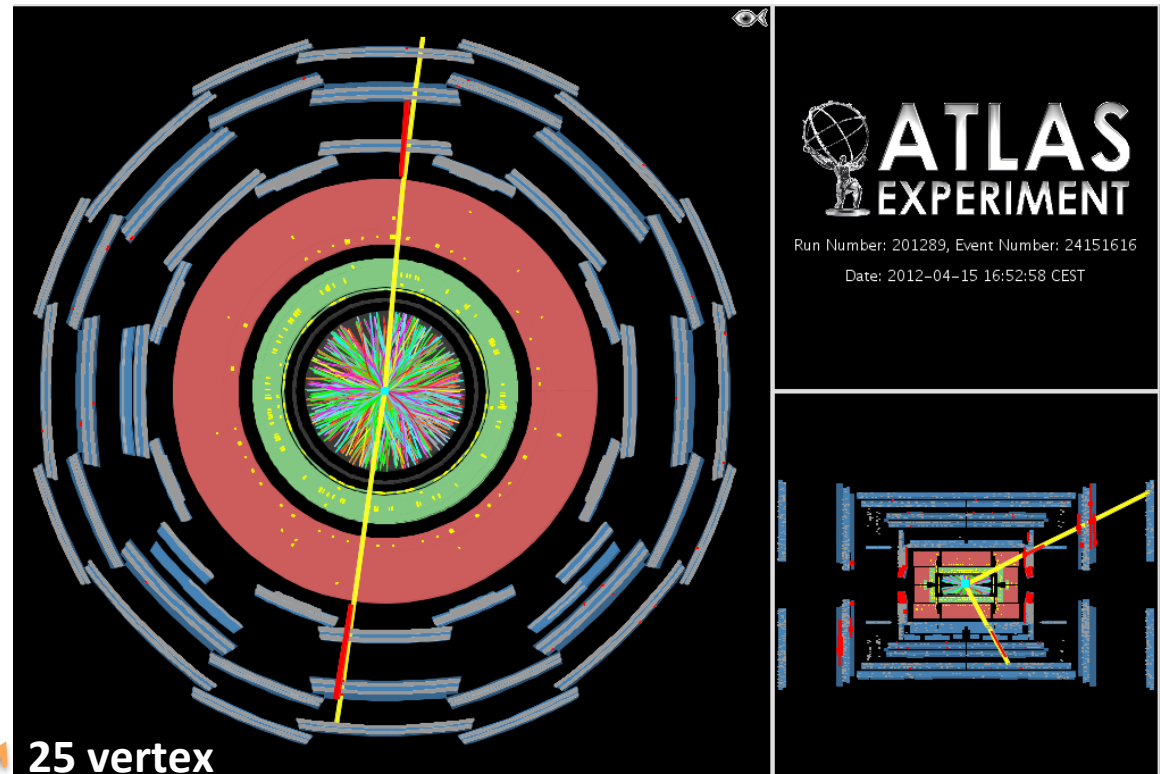
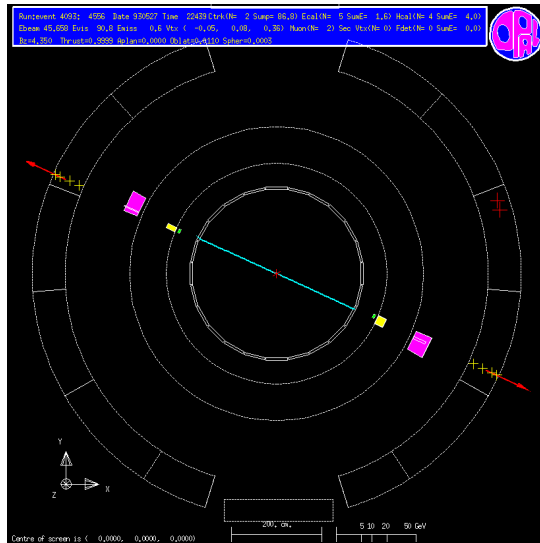
<http://cds.cern.ch/record/1406038?ln=en>



HIGGS-BOZON KELETKEZÉS AZ LHC-N

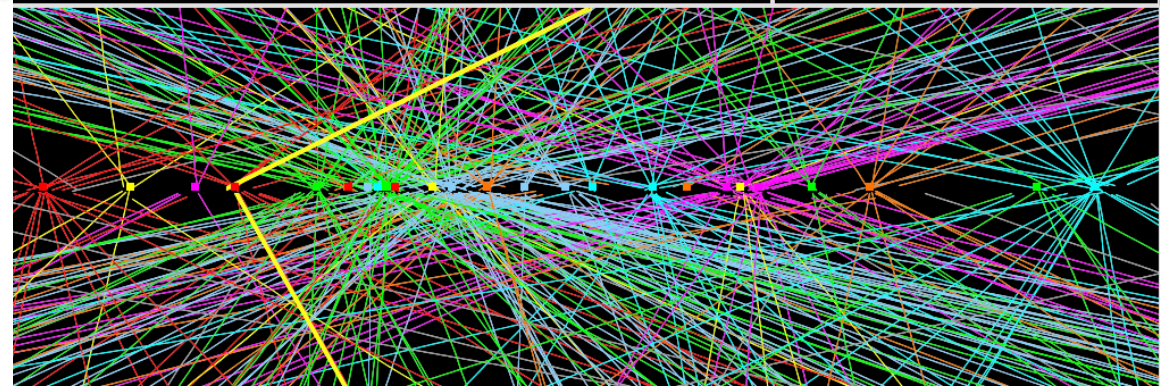


PROTON-PROTON ÜTKÖZÉSEK AZ LHC-N

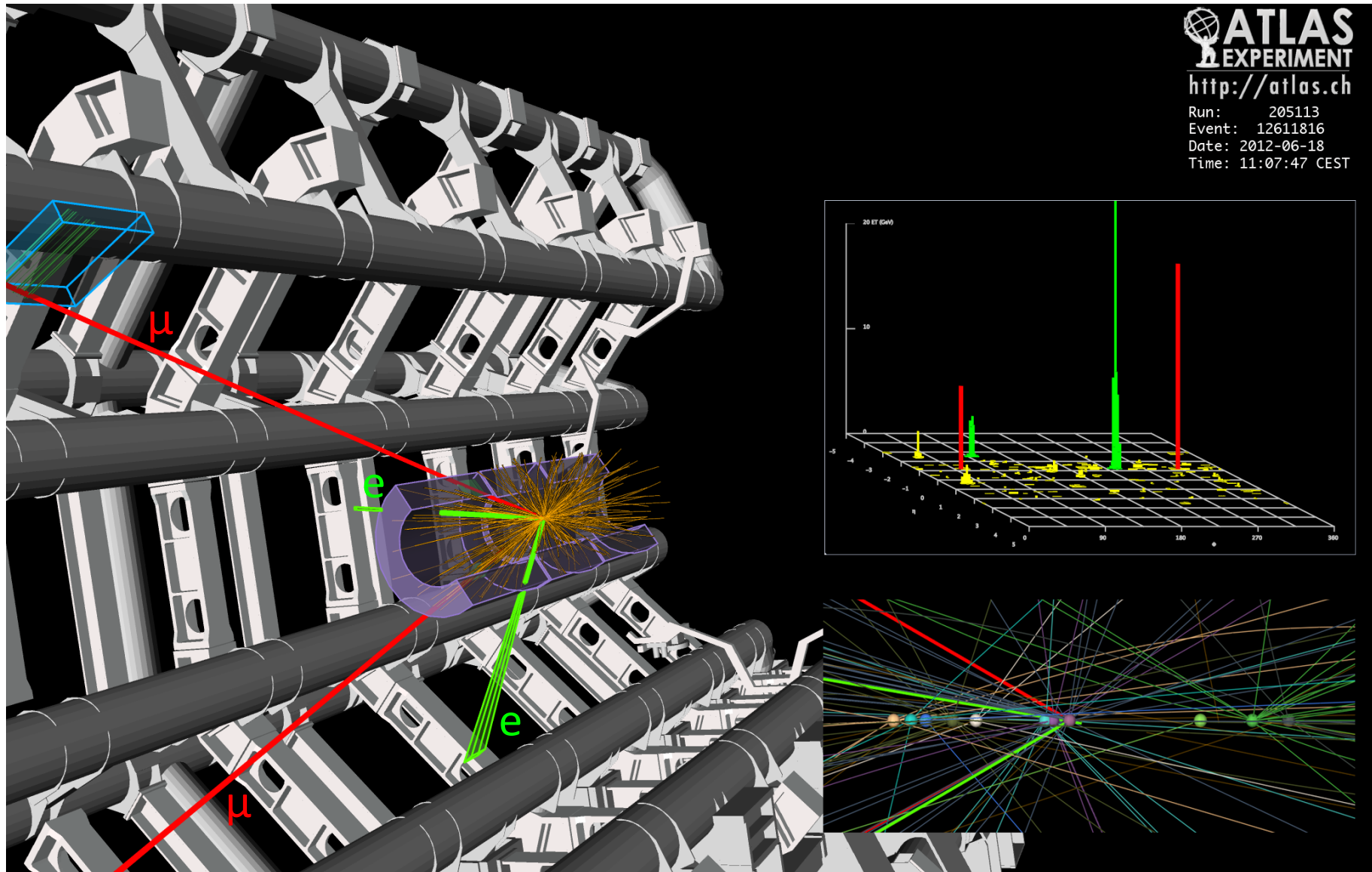


Z → $\mu\mu$ esemény ↑
a LEP gyorsítón és az LHC-n

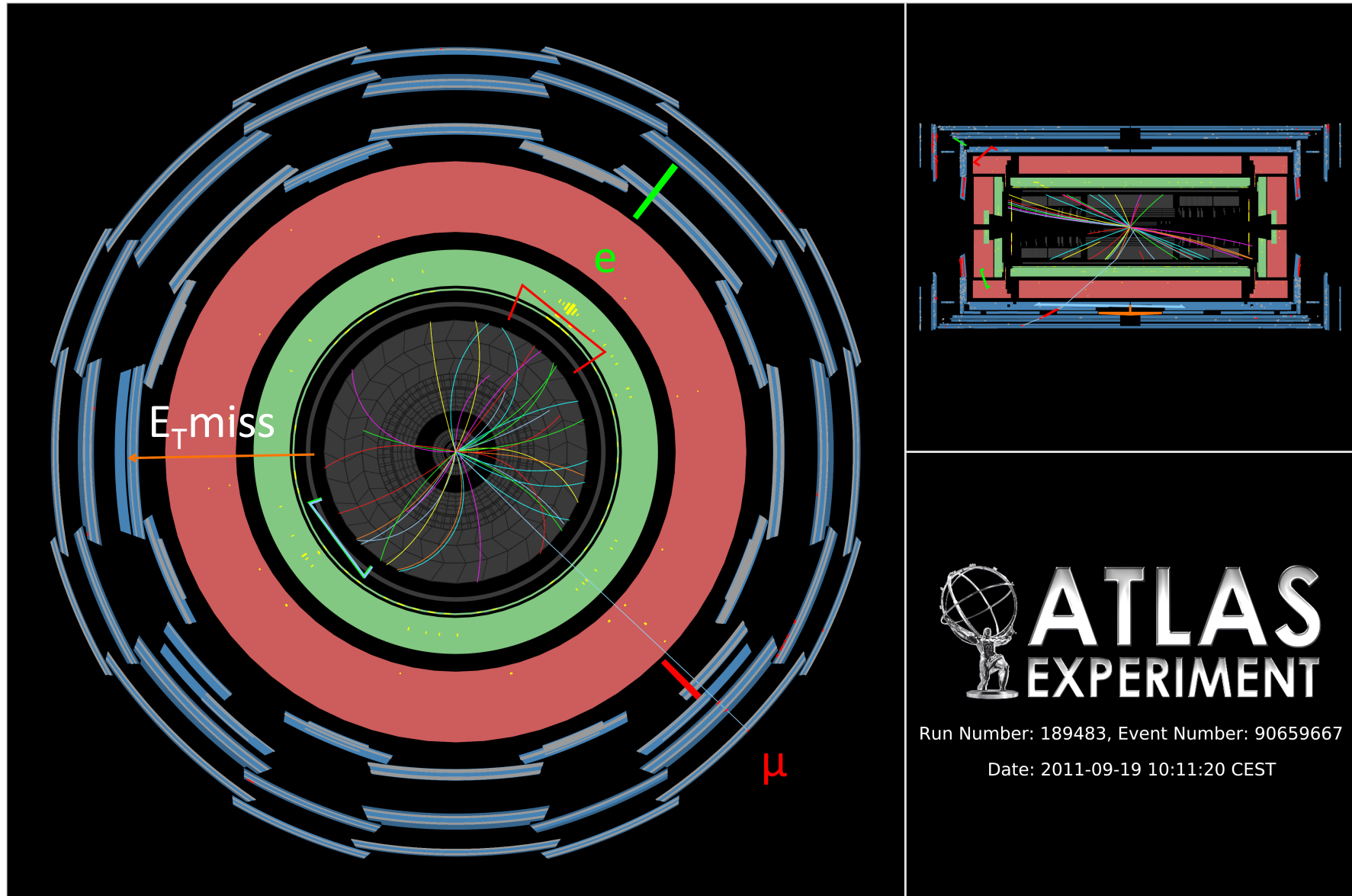
- A relativisztikus proton impulzusán kvarkok és gluonok osztoznak
- p-p ütközésben két kiterjedt, összetett objektum vesz részt, az események bonyolultak
- e-e vs. p-p : acélgolyó vs. hógolyó
- Az LHC-n nyalábtalálkozásonként nagyszámú kölcsönhatás következik be a nagy luminozitás miatt



$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow e^+e^- \mu^+\mu^-$ ESEMÉNY JELÖLT



$H \rightarrow WW \rightarrow e\nu \mu\nu$ ESEMÉNY JELÖLT

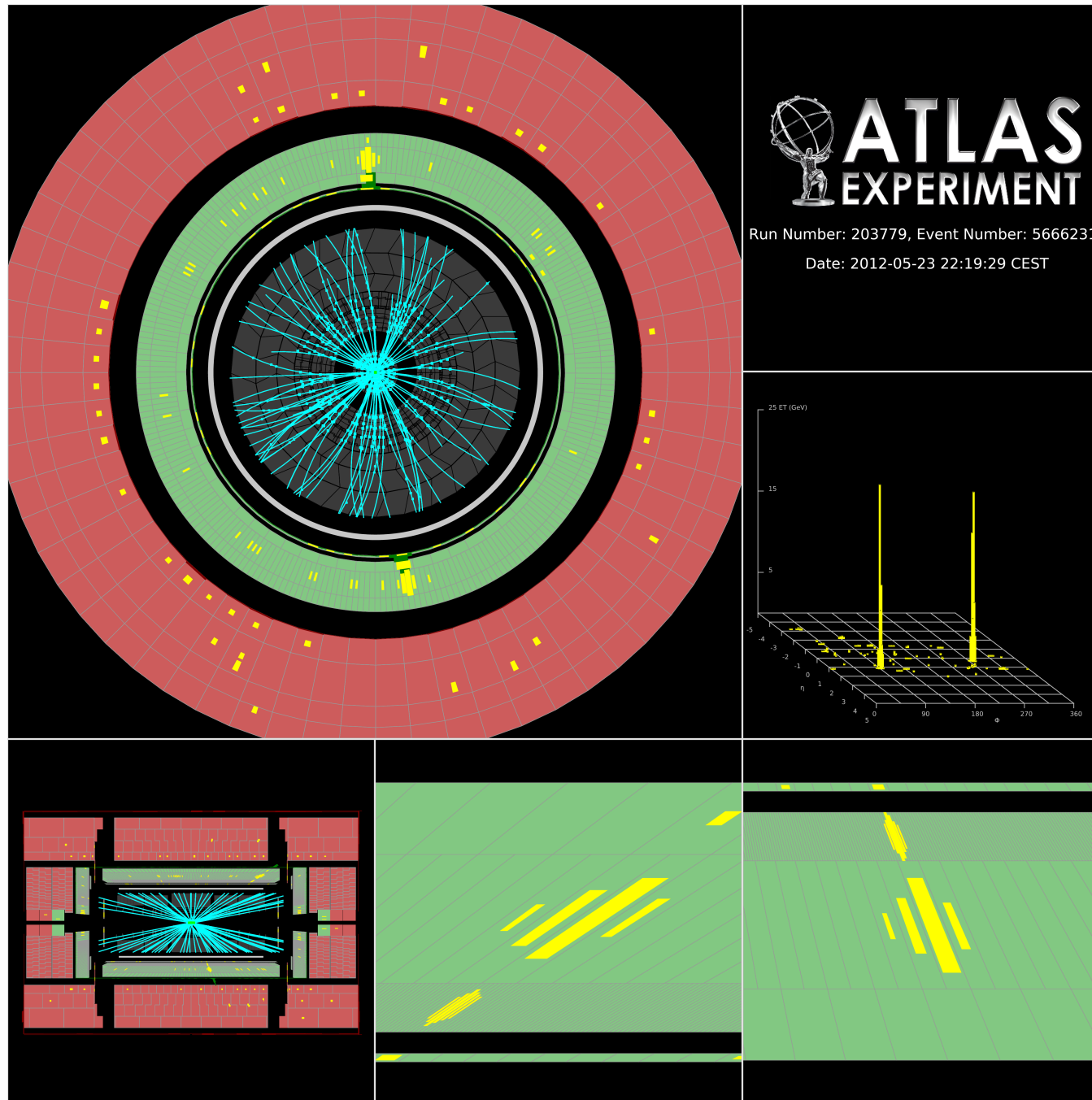


 **ATLAS**
EXPERIMENT

Run Number: 189483, Event Number: 90659667

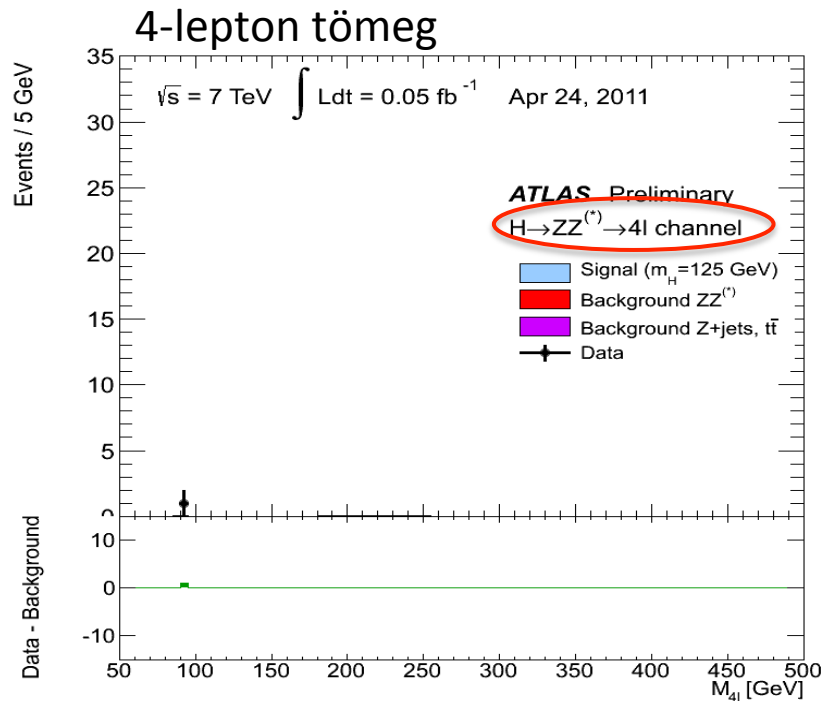
Date: 2011-09-19 10:11:20 CEST

$H \rightarrow \gamma\gamma$
ESEMÉNY JELÖLT



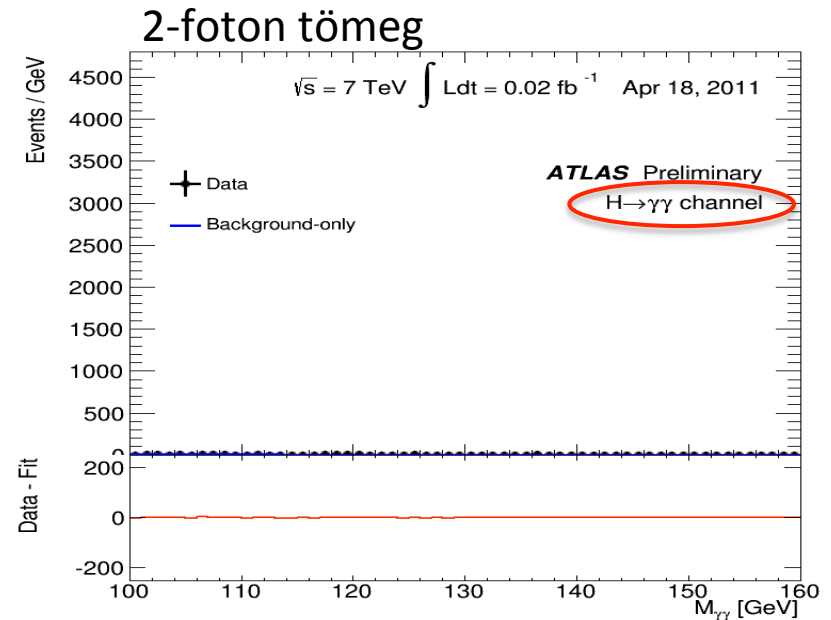
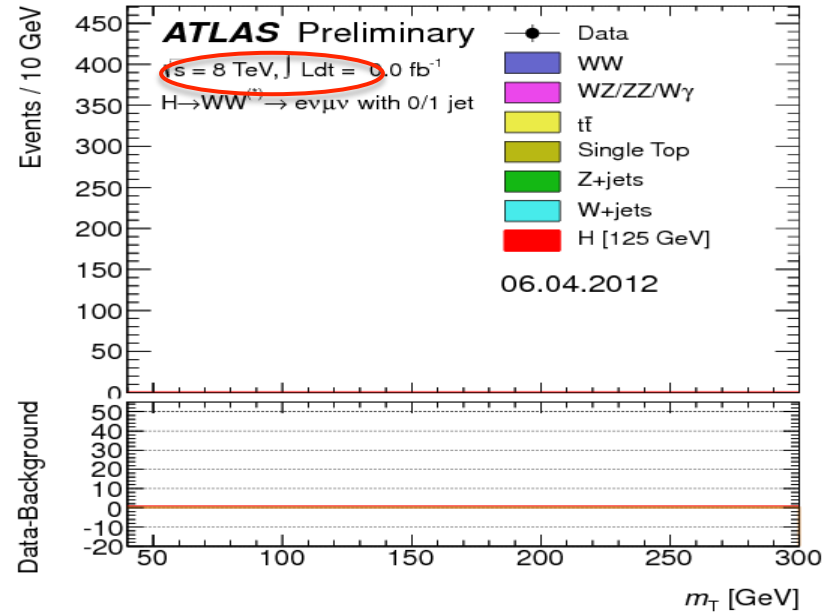
A FELFEDEZÉS FOLYAMATA

Higgs jelölt eseményekben
a rekonstruált tömeg



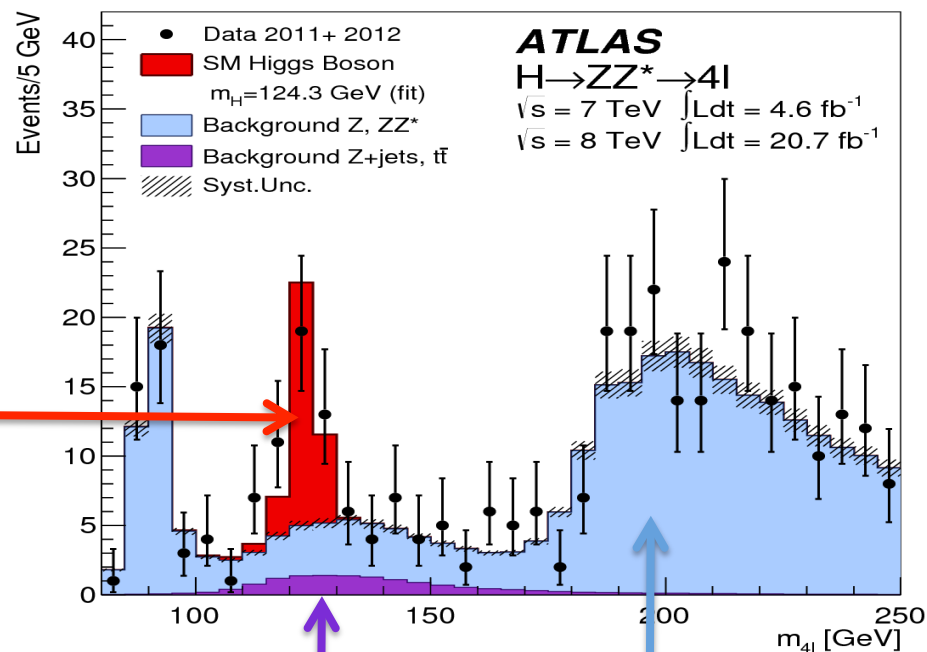
Jelentős háttér nem Higgs keletkezésből
származó folyamatokból!

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/HiggsPublicResults> (→ Animations)

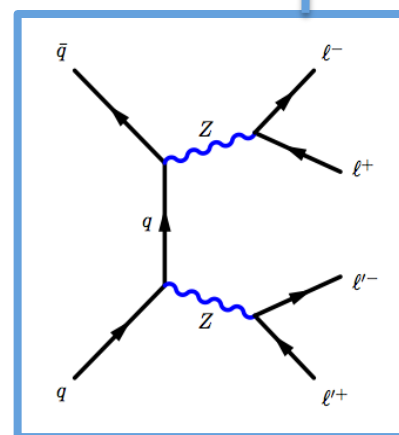
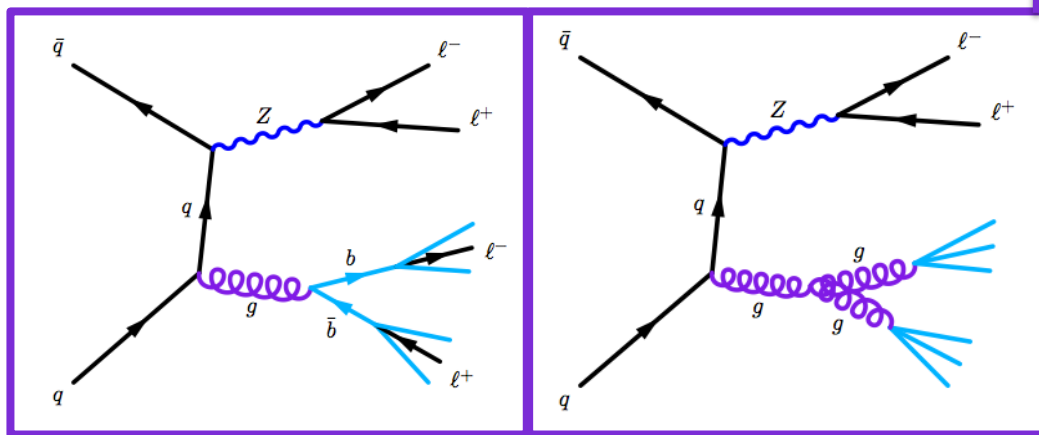


“HÁTTÉR” FOLYAMATOK

JEL (Higgs keletkezés)

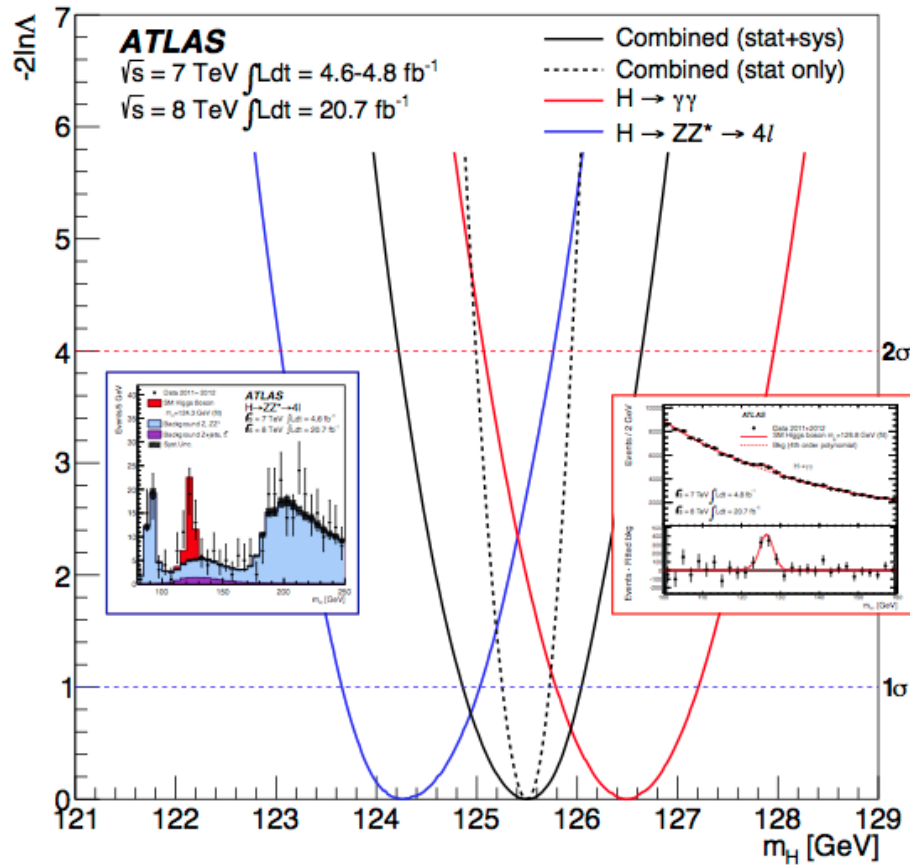


Háttér (csökkenthető)

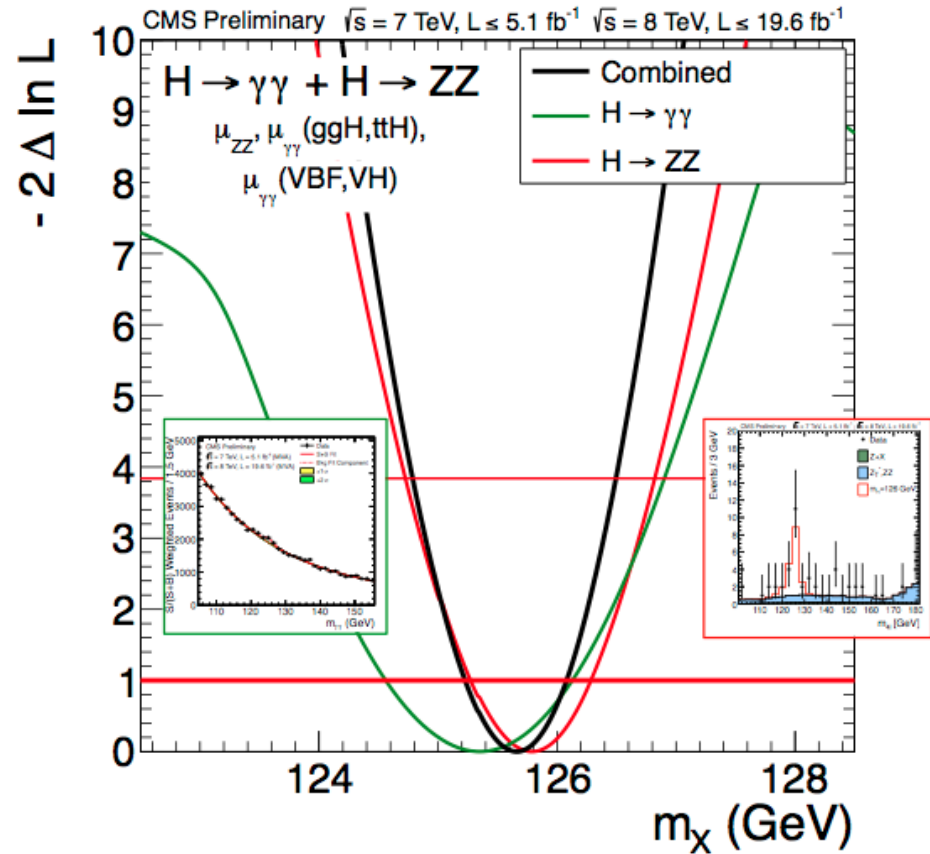


Háttér (nem csökkenthető, azonos végállapot!)

MÉRT HIGGS-BOZON TÖMEG

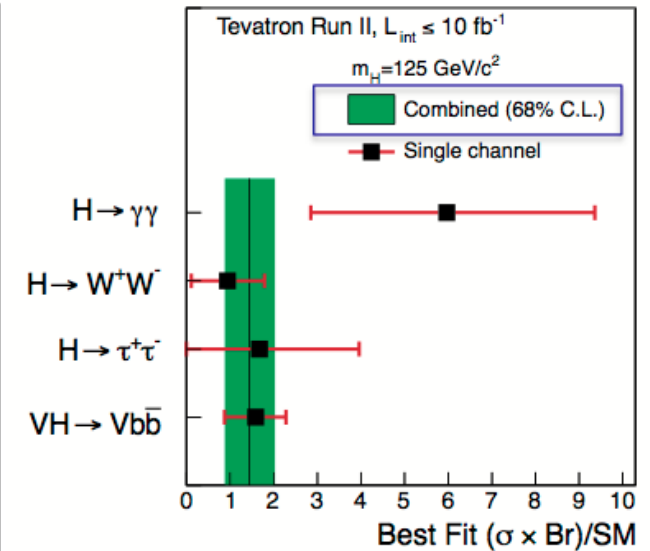
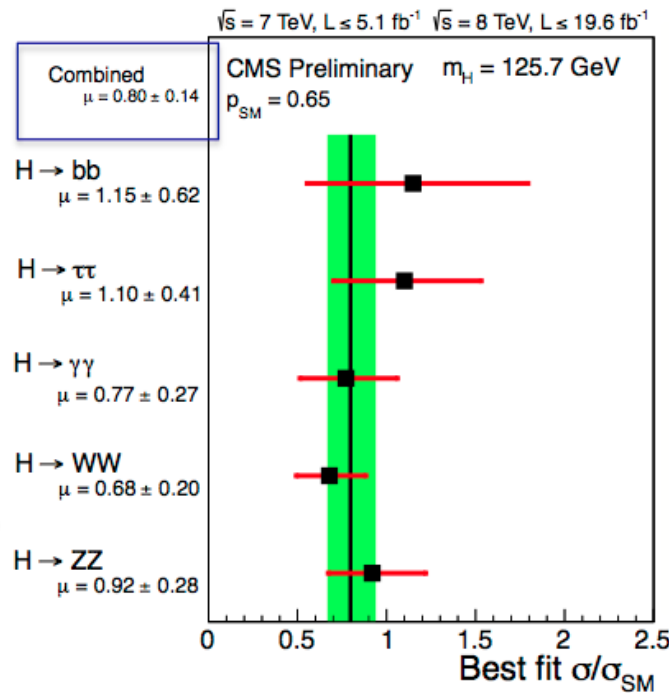
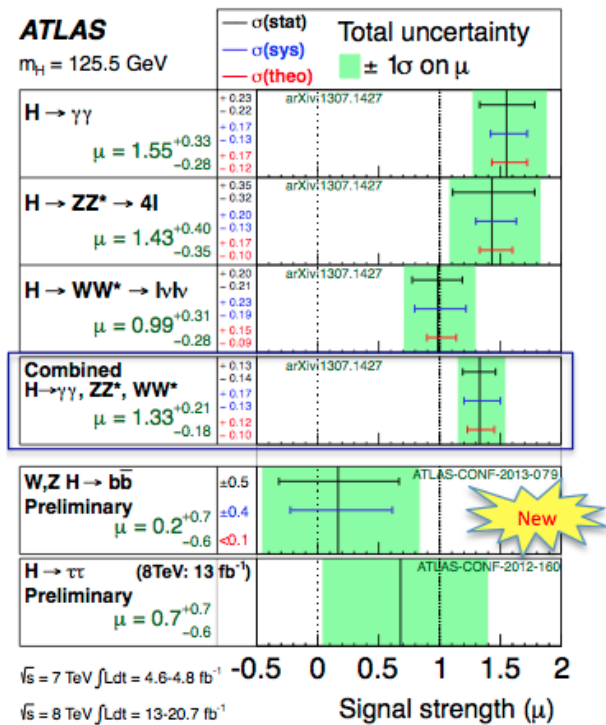


ATLAS: $M_H = 125.5 \pm 0.2_{\text{stat}} \pm 0.6_{\text{syst}} \text{ GeV}$



CMS: $M_H = 125.7 \pm 0.3_{\text{stat}} \pm 0.3_{\text{syst}} \text{ GeV}$

σ/σ_{SM} LEGVALÓSZÍNŰBB ÉRTÉKE A KÜLÖNBÖZŐ MÉRÉSI CSATORNÁKBAN

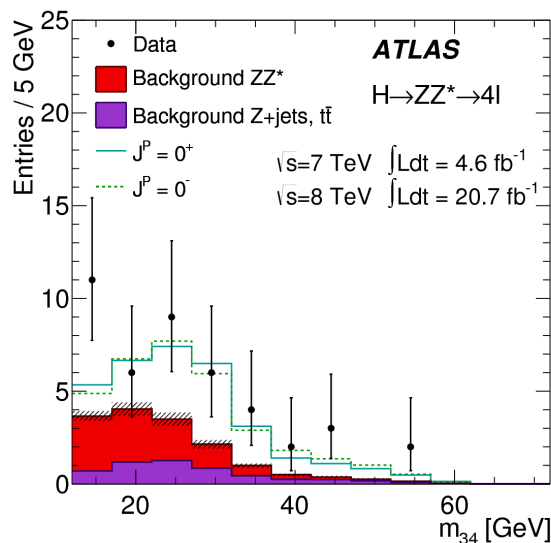
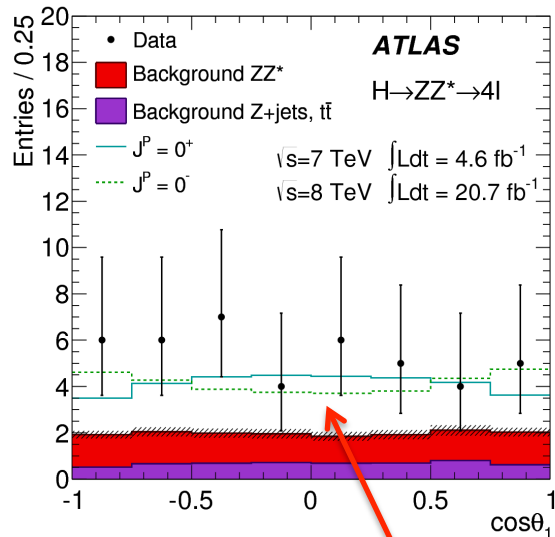


Kombinált eredmény (SM $\mu=1$):

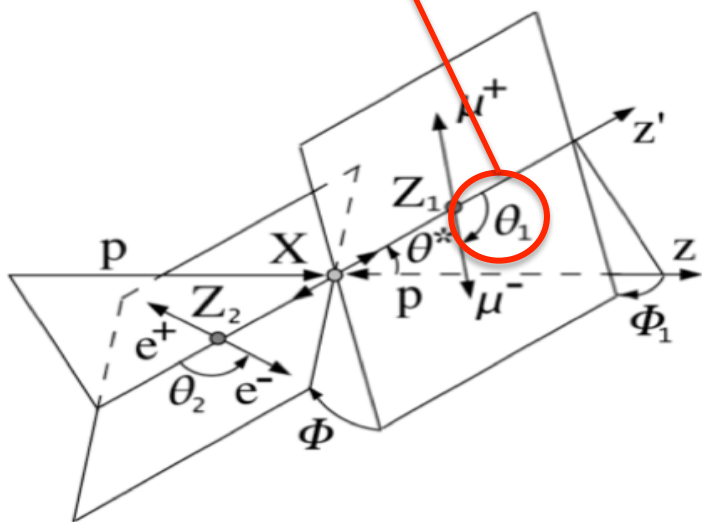
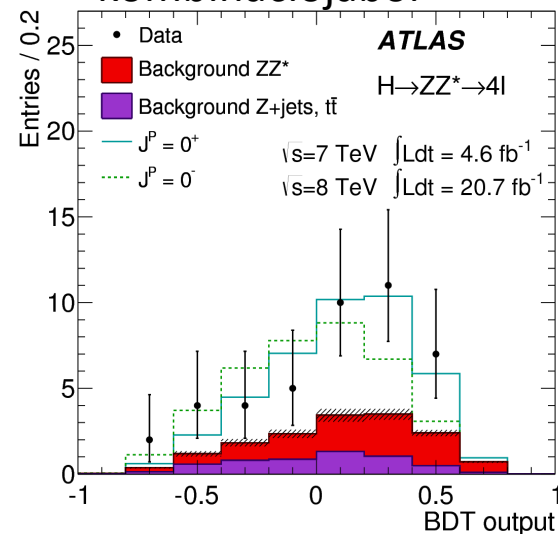
- **ATLAS ($\gamma\gamma, WW^*$ and ZZ^*)** $\mu = (1.33 \pm 0.20)$ (1.23 ± 0.18 including bb and $\tau\tau$)
- **CMS ($\gamma\gamma, \tau\tau, bb, WW^*$ and ZZ^*)** $\mu = (0.80 \pm 0.14)$
- **TEVATRON ($bb, \gamma\gamma, \tau\tau, WW^*$)** $\mu = (1.44 \pm 0.60)$

HOGYAN VIZSGÁLJUK A HIGGS-BOZON SPINJÉT, PARITÁSÁT?

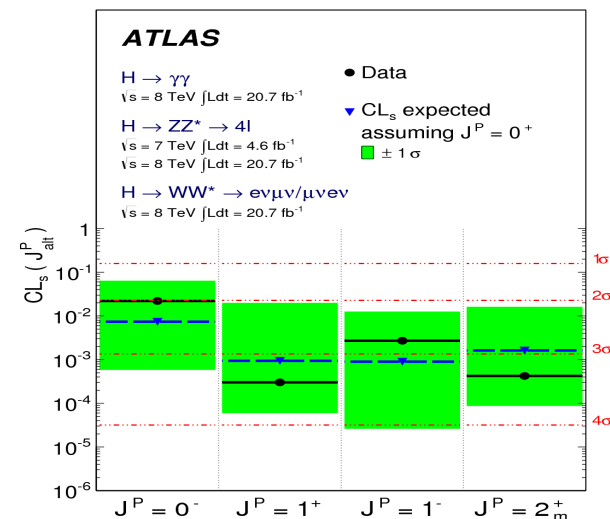
Példa: $H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell \ell'\ell'$ csatorna



Több mért eloszlás kombinációjából



**Az adataink a spin = 0
(és paritás=+1)
hipotézissel egyeznek
meg leginkább
→ Higgs-bozon**

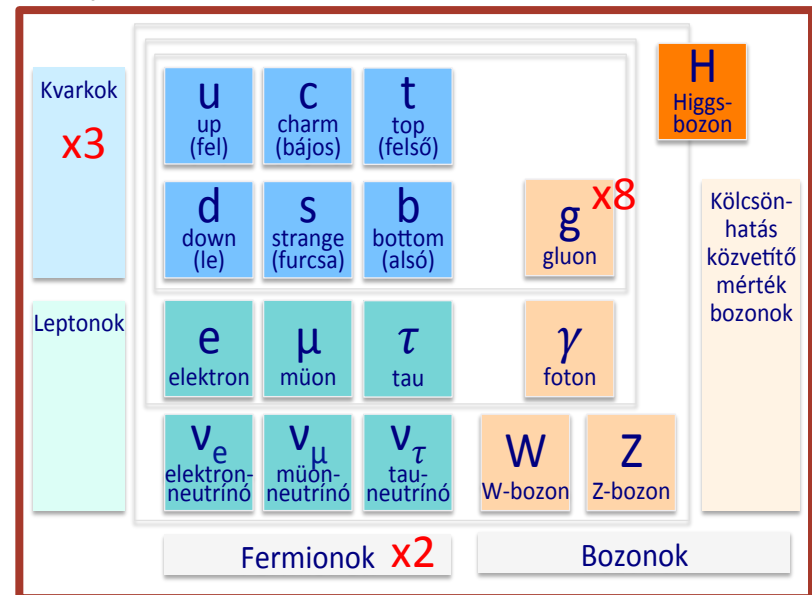


HIGGS - ÖSSZEFOGLALÓ

- A Higgs-bozon (pontosabban a BEH-mechanizmus) a SM kulcs fontosságú része, nélküle a SM nem lenne konzisztens
- Szükséges az elemi részecskék tömegének magyarázatához
- Az ATLAS és CMS kísérletek 2012-ben felfedeztek egy új részecskét, amelynek tulajdonságai (a mérési pontosságon belül) megegyeznek a Standard Modellben a Higgs-bozonra várt értékekkel
 - Tömege a várt tartományban van
 - Bozon (egész-spinű), hiszen $\gamma\gamma$, ZZ és WW végállapotokban észleltük
 - Az mért adatok a spin=0 értéket preferálják (minden más vizsgált hipotézissel szemben)
 - A keletkezés hatáskeresztmetszete a várakozásnak megfelelő minden mért végállapotban
 - A különböző részecskékhez a várakozásoknak megfelelően csatolódik
- **Felfedeztünk egy Higgs-bozont!**
- Több adatra van szükség, hogy a mérés pontosságát javítsuk és a SM-től való esetleges eltéréseket kimutassuk (amennyiben vannak ilyenek...)

STANDARD MODELL - ÖSSZEFOGLALÓ

- 3 fermion (+ anti-fermion) család, azaz (6 kvark*3 szín + 6 lepton) * 2 (egy családon belül az össztöltés nulla!)
- 12 kölcsönhatás-közvetítő bozon: γ , Z, W^+ , W^- , 8 gluon
- 19 paraméter
 - **3 kölcsönhatási erősség** (“csatolási állandó”)
 - **9 fermion tömeg:**
 $m_e, m_\mu, m_\tau, m_d, m_u, m_s, m_c, m_b, m_t$
 - 3 keveredési szög, 1 CP-sértő fázis x8a kvark szférában (CKM mátrix)
 - 1 QCD vákum paraméter
 - **2 Higgs paraméter**



Next... Mi van a Standard Modellen túl?

- *Hogyan illenek ebbe a képbe a neutrínók???*
- *Milyen elmélet adhat választ a Standard Modell nyitott kérdéseire?*

BÓNUSZ: HÍRES KÍSÉRLETEK

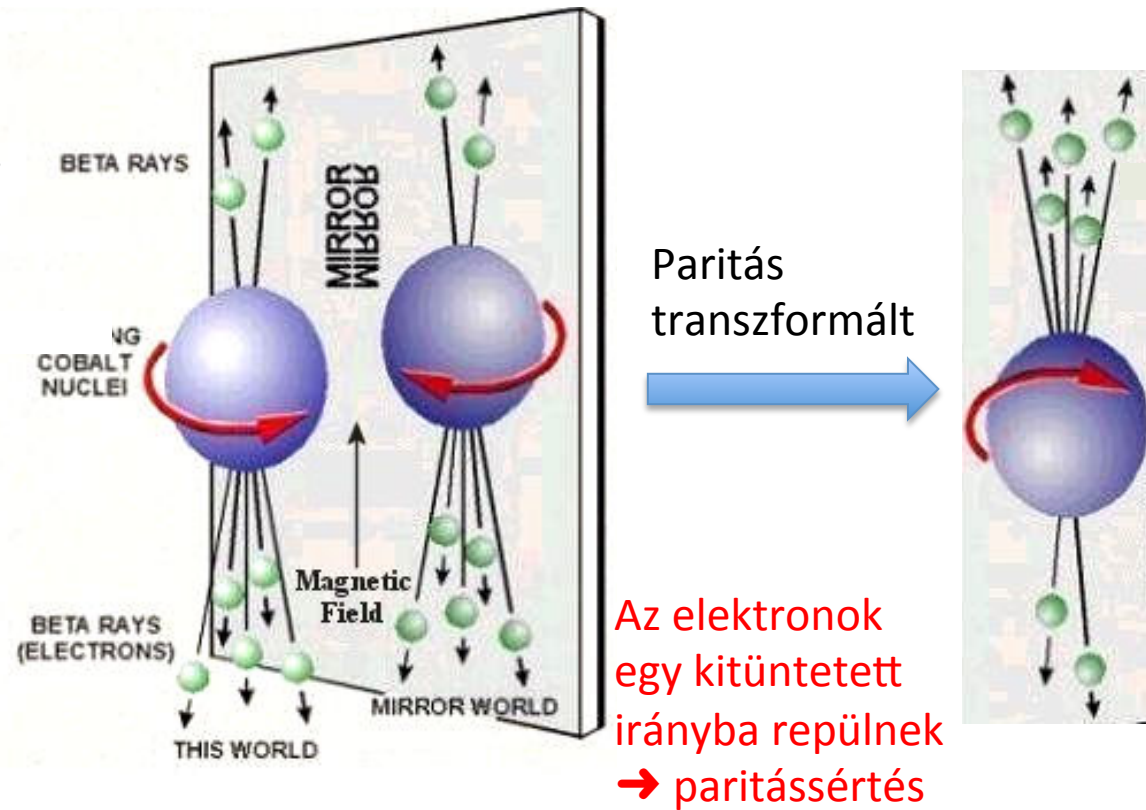
C.S. WU ET AL. KÍSÉRLET

- Polarizált ^{60}Co β -bomlásának vizsgálata
- Alacsony hőmérséklet ($T \approx 0.01\text{K}$), mágneses tér: Co atomok spinje beáll a mágneses tér irányába
- $^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni}^* e^- \nu_e$
 $J=5 \quad J=4 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$
 $\rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow$
- Az elektronok a mágneses tér irányával ellentétes irányba repülnek
- Maximális paritás sértés

Paritás

$$P(\vec{r}) = -\vec{r}$$

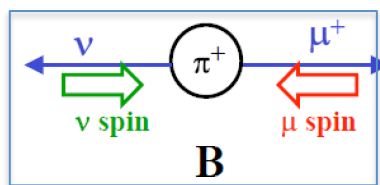
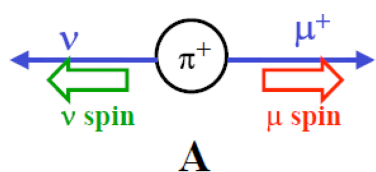
$$P(L) = P(\vec{r} \times \vec{p}) = L$$



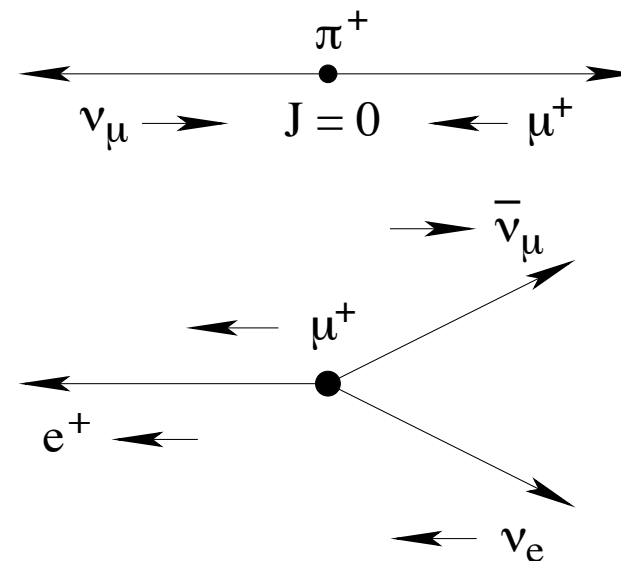
Az elektronok egy kitüntetett irányba repülnek
 → paritás sértés

R.L. GARWIN ET AL. KÍSÉRLET

- $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ folyamat vizsgálata egy 85 MeV-es pion nyaláb segítségével
- A $S=0$ pionokat megállítják szénben
- A $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ gyenge bomlásban keletkező muonokat lelassítják



- A muon is elbomlik gyenge kölcsönhatással
- A keletkező pozitronok irányát vizsgálják
- A pozitronok követik a muon spinjének irányát, amikor azt mágneses térben precesszálják
 \rightarrow a paritás sérül



R.L. GARWIN ET AL. KÍSÉRLET

3. ábra. Lederman kísérlete [4]: A szénben lefékeződő pionok bomlásánál keletkező müonok lelassulnak és a mágneses térben precesszálva időben változó irányban bocsátják ki a bomlási pozitronokat, ami a tükrözési szimmetria és paritásmegmaradás sértését jelenti.

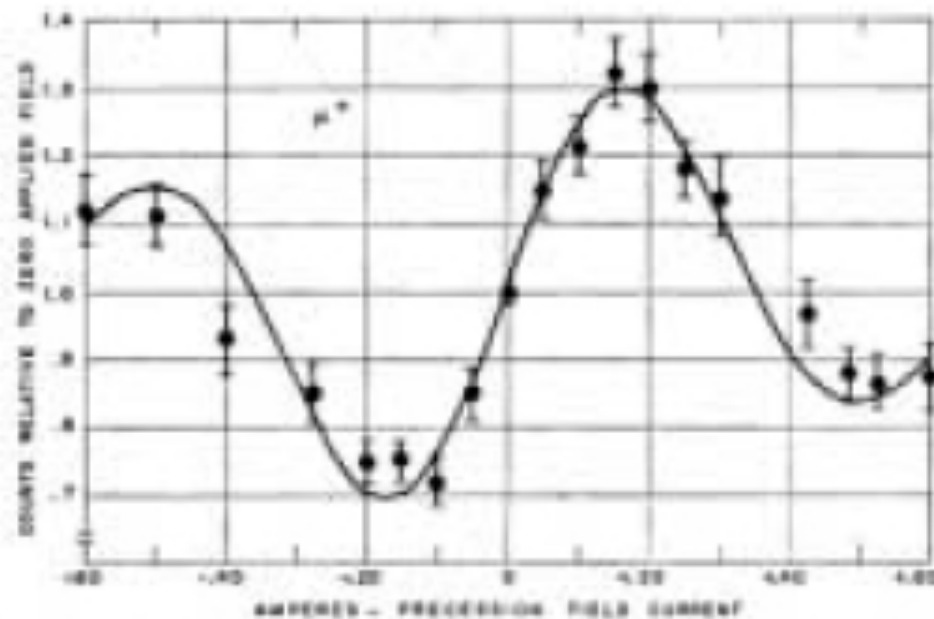
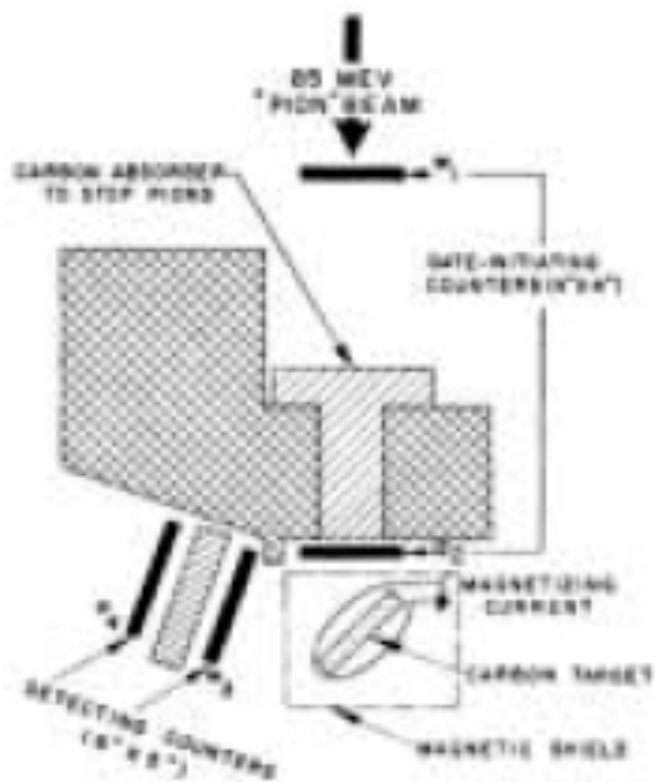
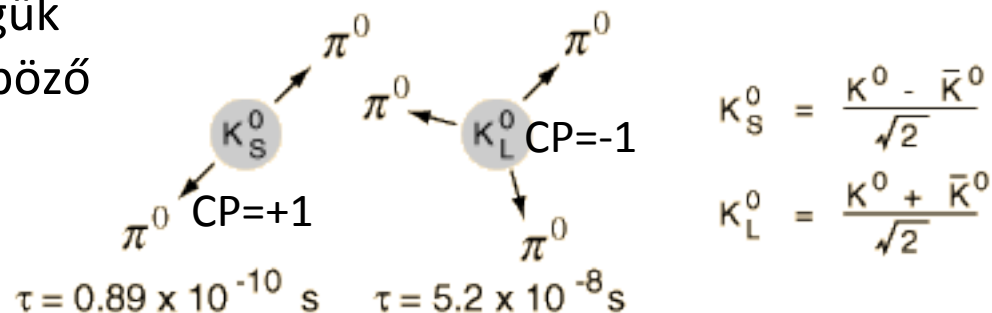


FIG. 2. Variation of gated 3-4 counting rate with magnetizing current. The solid curve is computed from an assumed electron angular distribution $1 - \frac{1}{2} \cos \theta$, with counter and gate-width resolution folded in.

CRONIN AND FITCH KÍSÉRLET

- Két fajta semleges kaon: tömegük azonos, de élettartamuk különböző



- Ha CP megmarad, K_L nem bomolhat 2 pionra

