

A vadászat **Részecskék keresése az LHC** **CMS detektorában**

Jancsó Gábor összeállítása alapján

Vértesi Róbert

vertesi.robert@wigner.mta.hu



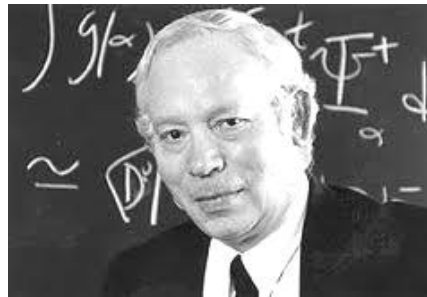
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont
Részecske- és Magfizikai Intézete

$W^\pm$ és Z^0 bozonok

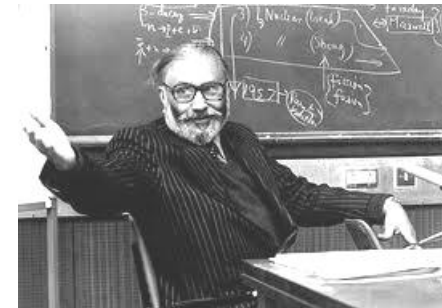
- Ők jósolták meg elméletileg:



Sheldon Glashow



Steven Weinberg



Abdus Salam

- Kísérleti kimutatás: CERN, 1983



Carlo Rubbia

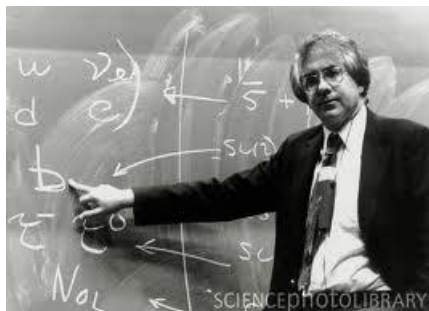


Simon van der Meer

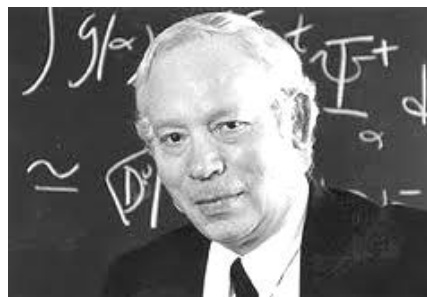
$W^\pm$ és Z^0 bozonok

- Ők jósolták meg elméletileg:

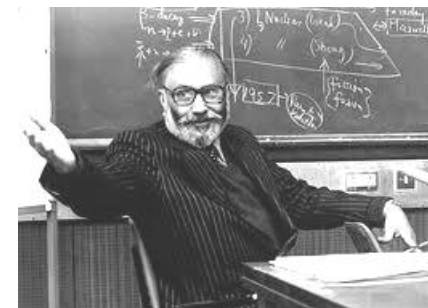
Nobel-díj 1979



Sheldon Glashow



Steven Weinberg



Abdus Salam

- Kísérleti kimutatás: CERN, 1983

Nobel-díj 1984



Carlo Rubbia



Simon van der Meer

De ne feledjük, hogy ezek a felfedezések sok ezer fizikus/mérnök/technikus, PhD hallgató együttes erőfeszítésének köszönhetőek!

A W és Z bozonok szerepe

- A gyenge kölcsönhatás közvetítői
- Igen nagy a tömegük
 - $m_W \approx 80 \text{ GeV}/c^2$
 - $m_Z \approx 91 \text{ GeV}/c^2$(összehasonlításképp: $m_p \approx 1 \text{ GeV}/c^2$)
- Élettartamuk rendkívül rövid: 10^{-25} s
 - Csak a bomlásaik alapján azonosíthatjuk őket
 - **Ez lesz a mai feladatunk is!**

A Higgs-bozon



Francois Englert & Peter Higgs

- Az ő –sok évvel korábbi– elméleti „jóslatuk” alapján indult meg az izgalmas kísérleti kutatás a Standard Modell hiányzó részecskéje, a Higgs bozon után

A Higgs-bozon

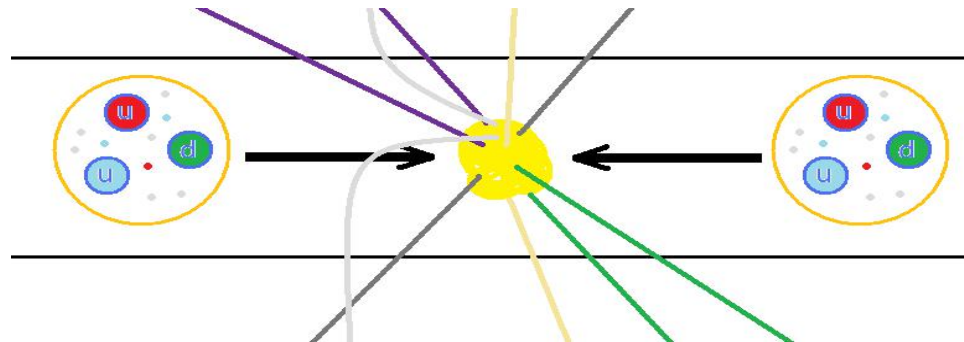


Francois Englert & Peter Higgs

- Az ő –sok évvel korábbi– elméleti „jóslatuk” alapján indult meg az izgalmas kísérleti kutatás a Standard Modell hiányzó részecskéje, a Higgs bozon után ***Nobel-díj 2013***
- **2012. július 4.: a CERN LHC két kísérlete (ATLAS, CMS) bejelentette a H^0 felfedezését**

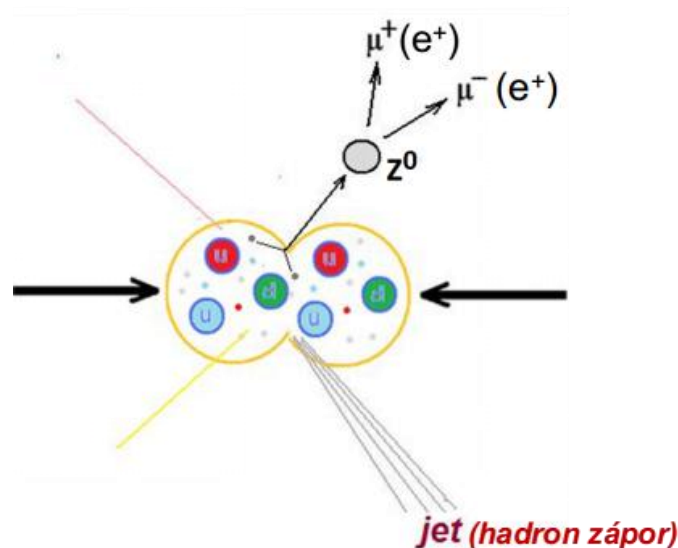
Ütközések a CERN-ben

- CERN LHC (Large Hadron Collider) CMS detektora
- Nagy energiájú protonokat ütköztetünk egymással
- A heves ütközési *esemény* során sok-sok részecske keletkezik ($E=mc^2$)



- Lesznek olyan események, ahol W és Z bozonok, néha még Higgs is keletkezik
- Fizikus kollégák ilyen eseményből válogattak néhány ezret össze a Diákműhely számára

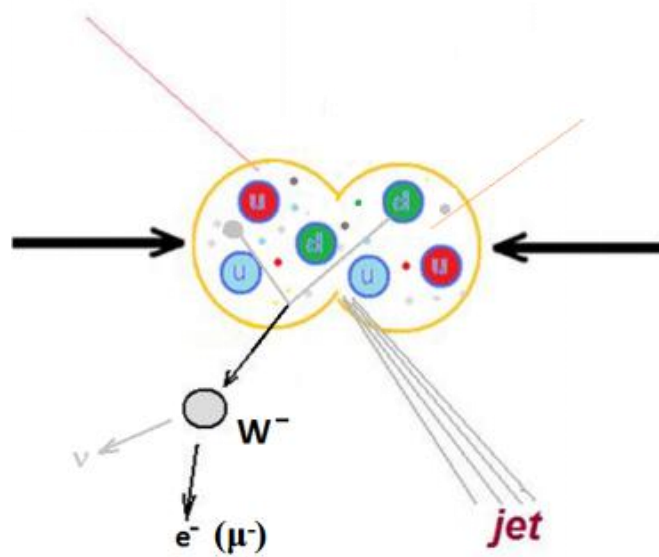
A **Z bozon** bomlásai



$$Z \rightarrow \begin{cases} e^+e^- \\ \mu^+\mu^- \end{cases}$$

- Az elektronos és müonos bomlást vizsgáljuk
 - Melyikből mennyi van?
- A keletkező Z-bozon tömegét szeretnénk megismerni
 - A Z-bozonból keletkező leptonpárt a detektorunk elcsípi
 - A leptonok impulzusait ismerjük
 - Ezekből az adatokból **a Z bozon tömege kiszámítható**

A W bozon bomlásai

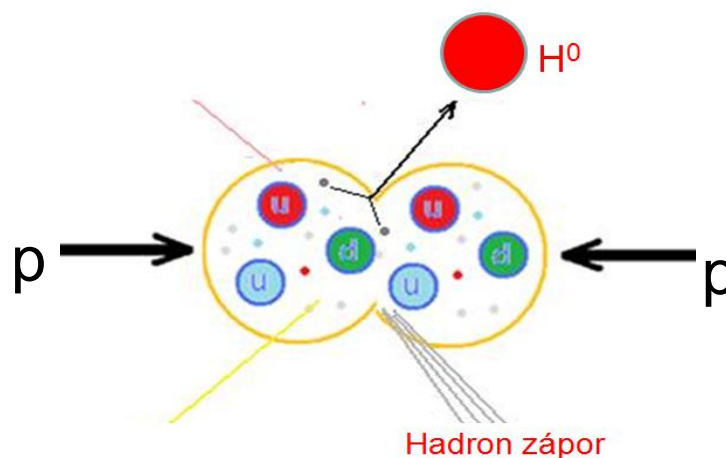


$$W^\pm \rightarrow \begin{cases} e^\pm \nu \\ \mu^\pm \nu \end{cases}$$

- Az elektronos és müonos bomlást vizsgáljuk
 - Melyikből mennyi van?
- A W bozon tömege
 - Probléma: a neutrínó "megszökik"
 - Csak a hiányzó energiát észleljük
 - A leptonos bomlásból a W tömegét nem tudjuk meghatározni!

A Higgs-részecske bomlásai

- Rendkívül rövid élettartam: $\sim 10^{-25}$ s



- A Higgs-bozon különböző bomlási csatornái:

$$H^0 \rightarrow \gamma\gamma$$

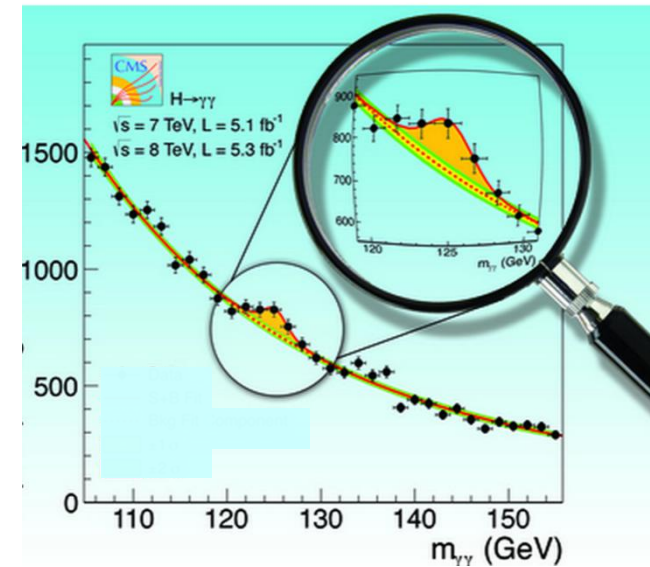
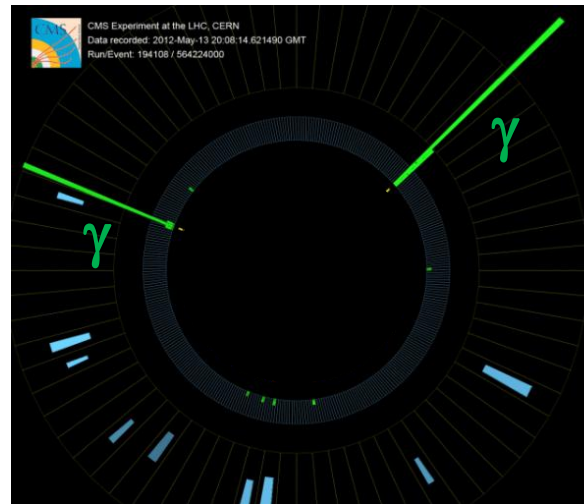
$$H^0 \rightarrow Z^0 + Z^{0*} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} e^+e^- + e^+e^- \\ \mu^+\mu^- + \mu^+\mu^- \\ e^+e^- + \mu^+\mu^- \end{array} \right.$$

- A fotonok és leptonok adatait mérhetjük és ebből a Higgs-bozon tömege meghatározható
- Méréseink során a fenti két bomlási móddal találkozhatnak a szerencsések.

A Higgs bozon felfedezése a CERN LHC-nál

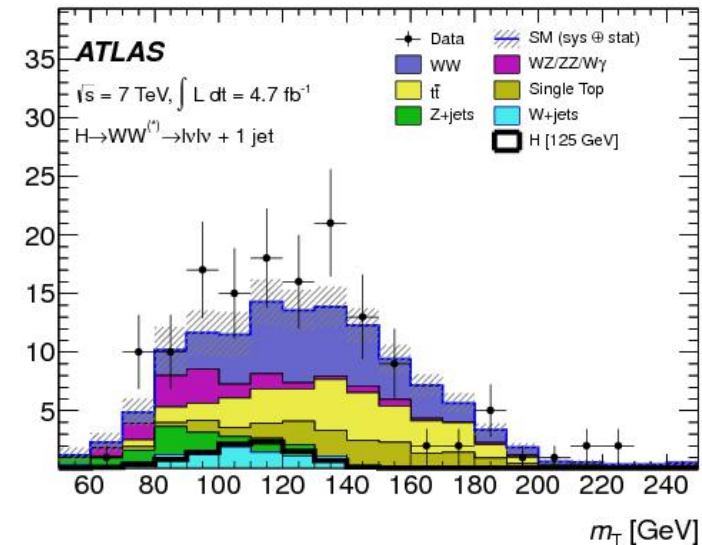
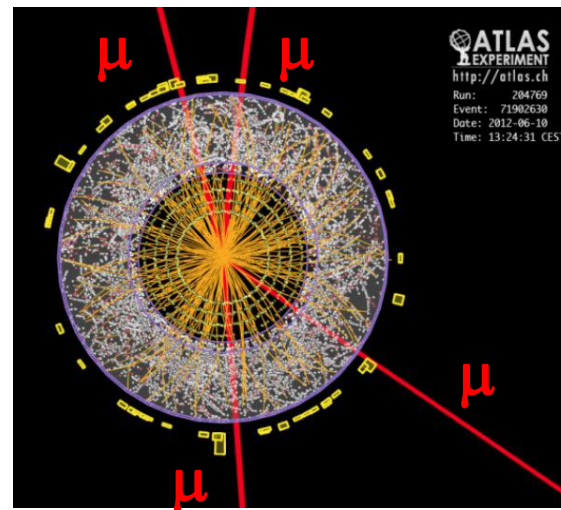
CMS kísérlet

$$H^0 \rightarrow \gamma\gamma$$

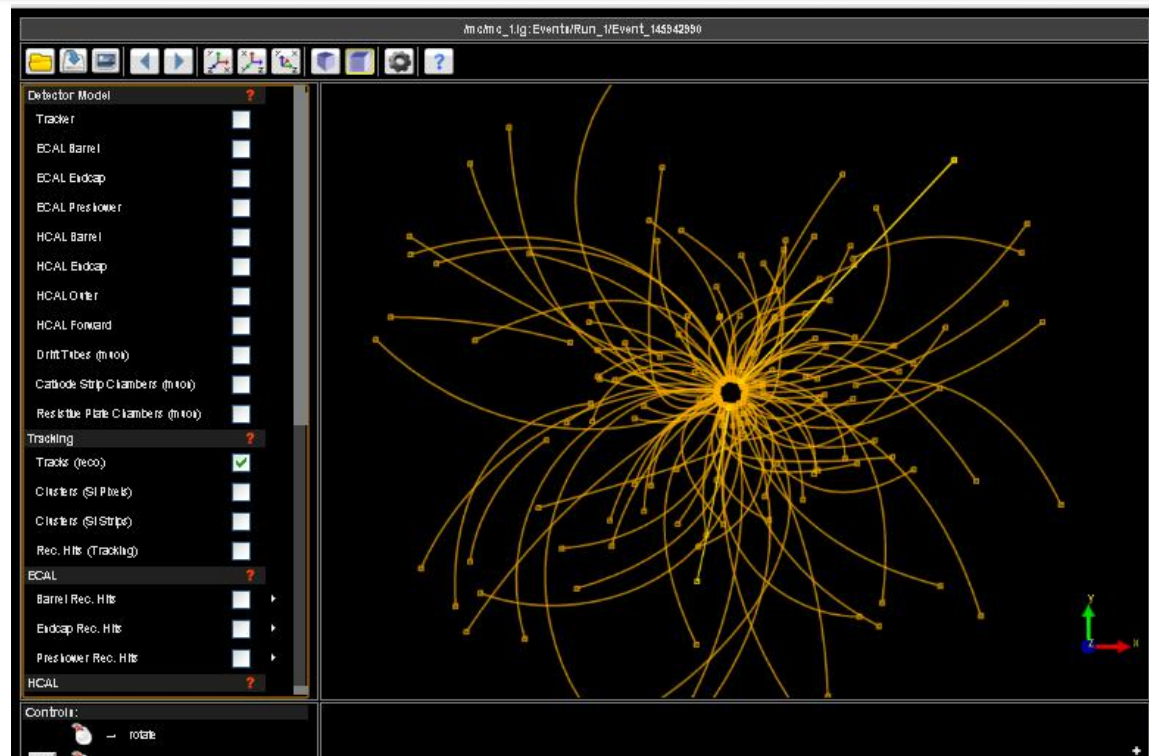


ATLAS kísérlet

$$H^0 \rightarrow Z^0 Z^{0*} \rightarrow (\mu^+ \mu^-) + (\mu^+ \mu^-)$$

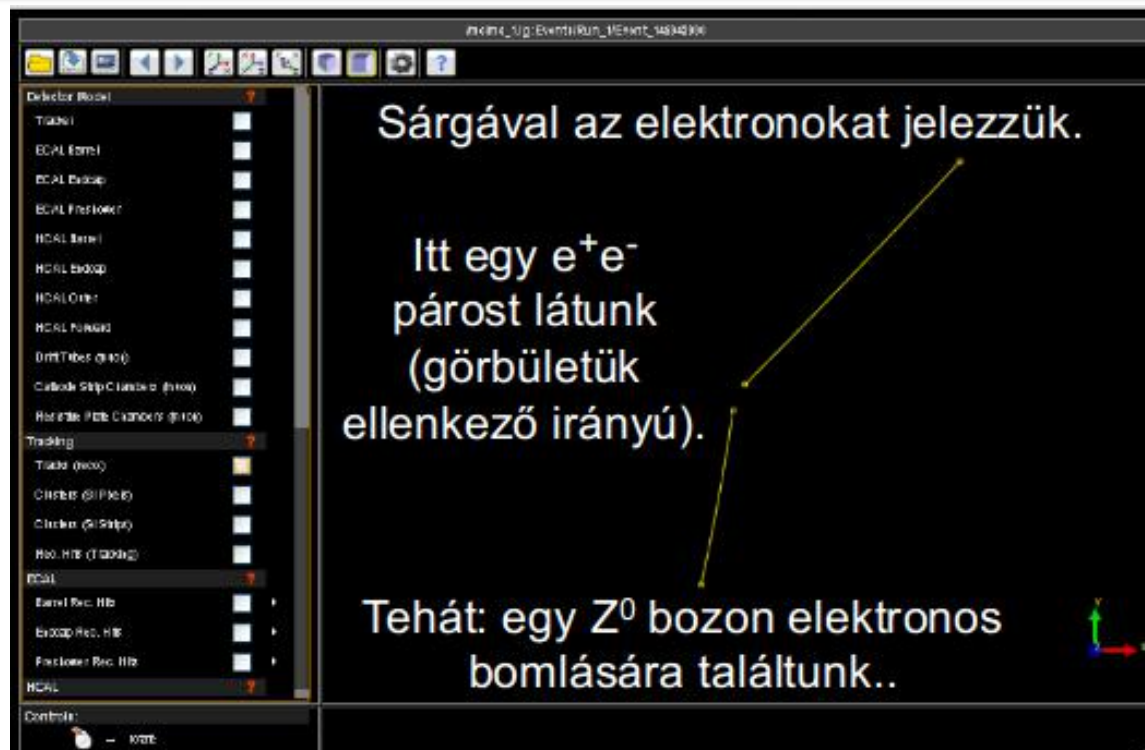


A "valóság" jóval bonyolultabb



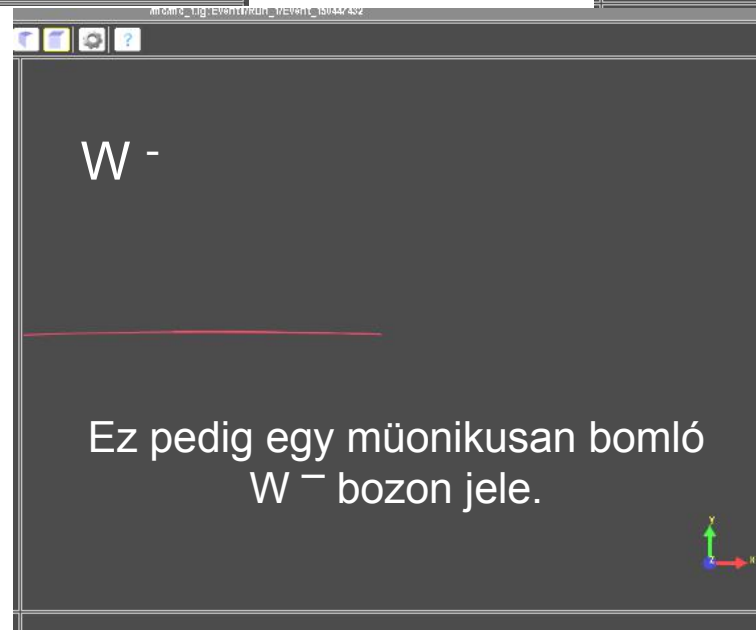
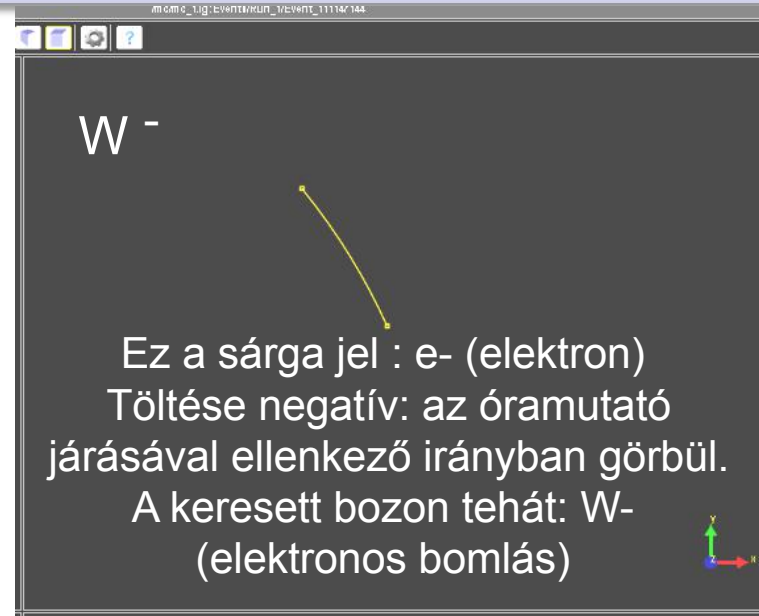
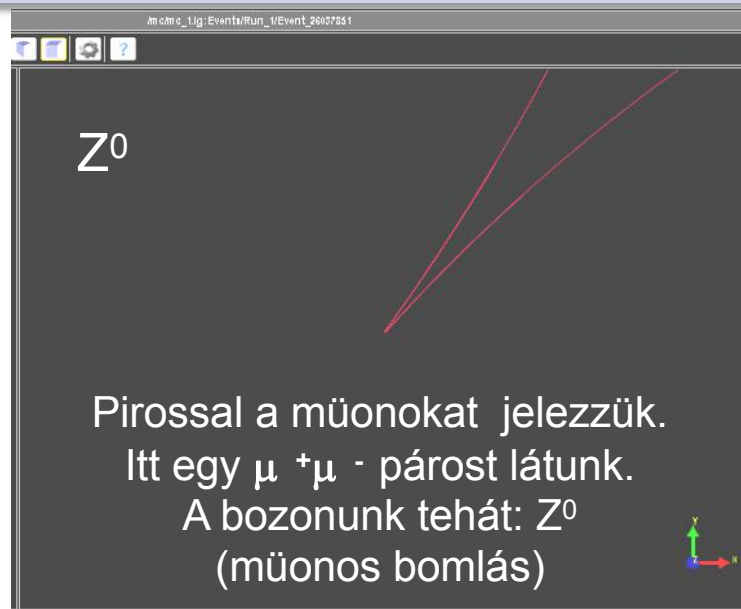
- Részecskepályák dzsungele - hogy találunk itt W-t vagy Z-t?
 - Szerencse: a részecskék nagy többsége hadron
 - Minket az elektronok (vagy müonok) érdekelnek

A "valóság" jóval bonyolultabb



- Részecskepályák dzsungele - hogy találunk itt W-t vagy Z-t?
 - Szerencse: a részecskék nagy többsége hadron
 - Minket az elektronok (vagy müonok) érdekelnek
- Szoftveres azonosítás segítségével kiválogathatóak a nekünk kellő részecskék - könnyebben rekonstruálható a W, Z ...

Néhány jellemző kép



A mérés menete

- A CMS kísérlet egy-egy eseményéről kell döntést hoznunk
 1. Milyen részecskéket látunk/sejtünk?
 W^+ , W^- , Z^0 , vagy valami egyéb ("zoo")?
 2. Elektronos vagy müonos bomlást látunk?
 3. Mekkora a talált részecskepárból (e^+e^- , $\mu^+\mu^-$) *rekonstruált tömeg*?
Ezt a számítást a program elvégzi
 4. Az eredményeket egy táblázatba rögzítjük
- A mérések végén összesítjük a mérőpárok adatait
(Akár 1000 körüli esemény is lehet)
- A következő fontos kérdésekre keressük a választ:
 1. Mi a W/Z elektronos és müonos bomlásainak az aránya? ($W^\pm \rightarrow e^\pm \nu / W \rightarrow \mu^\pm \nu$)
 2. Mi a W^+ és a W^- bozonok aránya? (W^+/W^-)
 3. Látunk-e a semleges részecskék *tömegspektrum*-diagramján olyan jeleket, amikből Z^0 vagy más részecske keletkezésére következtethetünk? Mennyi a tömege, ha igen?

A mérés menete

- A CMS kísérlet egy-egy eseményéről kell döntést hoznunk
 1. Milyen részecskéket látunk/sejtünk?
 W^+ , W^- , Z^0 , vagy valami egyéb ("zoo")?
 2. Elektronos vagy müonos bomlást látunk?
 3. Mekkora a talált részecskepárból (e^+e^- , $\mu^+\mu^-$) *rekonstruált tömeg*?
Ezt a számítást a program elvégzi
 4. Az eredményeket egy táblázatba rögzítjük
 - A mérések végén összesítjük a mérőpárok adatait
(Akár 1000 körüli esemény is lehet)
 - A következő fontos kérdésekre keressük a választ:
 1. Mi a W/Z elektronos és müonos bomlásainak az aránya? ($W^\pm \rightarrow e^\pm \nu / W \rightarrow \mu^\pm \nu$)
 2. Mi a W^+ és a W^- bozonok aránya? (W^+/W^-)
 3. Látunk-e a semleges részecskék *tömegspektrum*-diagramján olyan jeleket, amikből Z^0 vagy más részecske keletkezésére következtethetünk? Mennyi a tömege, ha igen?
- Az elméleti fizikusok ezeket kiszámolták (Standard modell)
 - **Az elmélet helyességének próbája a kísérlet!**
Ezért is fontosak az ilyen kísérleti válaszok.
 - A pontos értékek meghatározásához események millióit kell megvizsgálni!
Nekünk csak néhány százra lesz egyesített erőnk ☹

CIMA: az eredmények kigyűjtése

Event index: 2 ▼	Event number: 1-2	final state ☐ Electron ☐ Muon	primary ☐ Higgs ☐ W	☐ Z ☐ W+	☐ Zoo ☐ W-	Mass:
Event index 1	Event number 1-1	Chosen Values e,W		Mass		

W bozon (W+ / W- / W)

1 nyom: **elektron** vagy **müon**: **Klikk** az elektron vagy müon dobozba, és **Klikk W+/W-** ba a töltésnek megfelelően ha a töltését nem tudjuk meghatározni a **W**-be

Z bozon

2 ellentétes töltésű nyom : (e+e-) vagy ($\mu^+ \mu^-$)
Klikk az e vagy mü-be és a Z-be

Zoo

2 azonos töltésű nyom, vagy $1e^+ 1\mu^+$, vagy 3 nyom: **Klikk** a Zoo-ba

H⁰ (igen ritka)

H⁰ → ZZ (4nyom) → 2(e+e-) vagy 2($\mu^+ \mu^-$) vagy (e+e-) és ($\mu^+ \mu^-$)

H⁰ → $\gamma \gamma$ Nincs töltött nyom (e vagy μ)

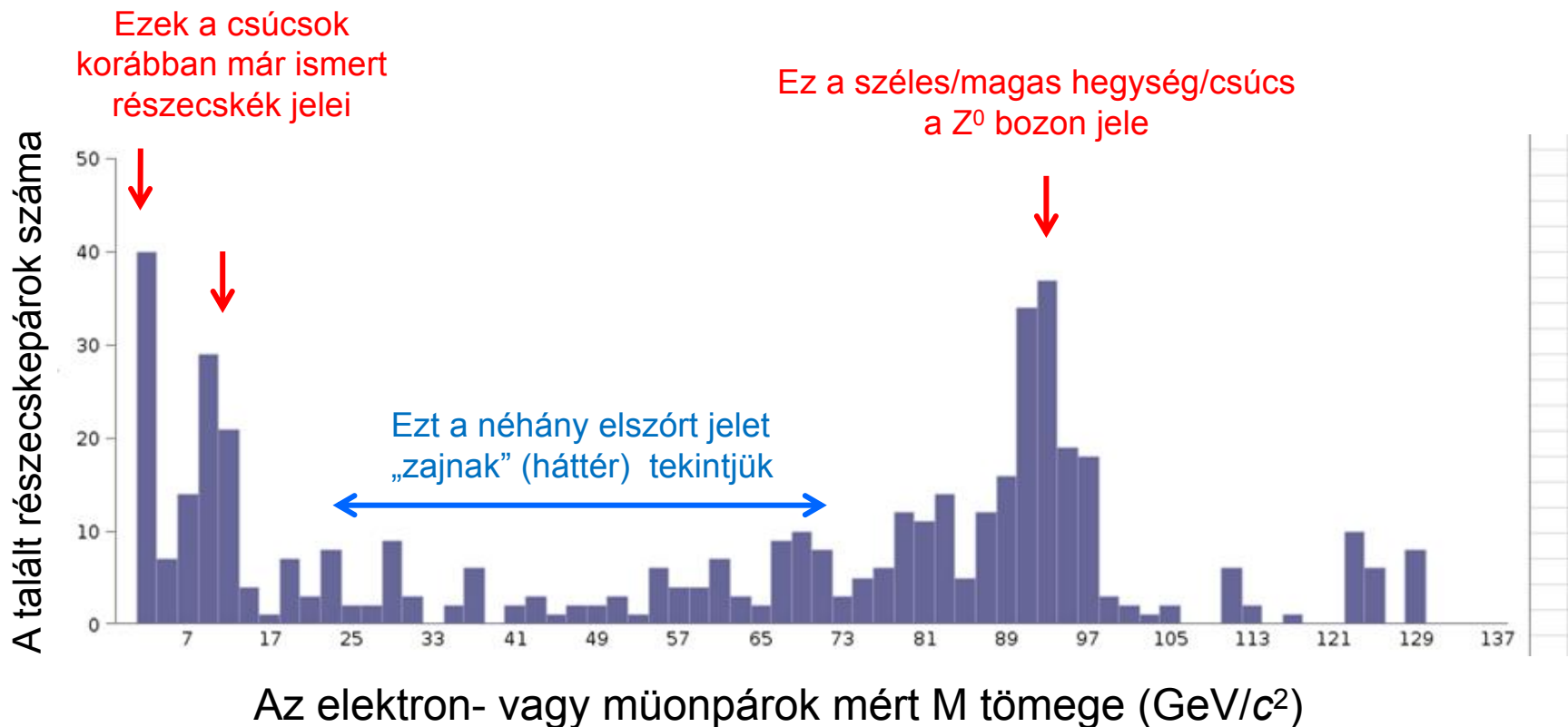
de az EM kaloriméterben két nagy energia-depozit látható

Emlékeztető. Elektron: sárga, müon: piros. Töltés: pozitív az óramutató járásával egyező görbület

Eredmények

- A mérések végeztével egyesítjük a helyi és többi intézet eredményeit
- A videokonferencián a CERN szervező moderátora fogja ismertetni a kapott adatokat, és közösen elemezzük őket

Egy korábbi mérési alkalom eredménye:



A visualization of particle tracks, likely from a particle detector, showing numerous red and yellow streaks radiating from a central point, suggesting a high-energy collision event. The tracks are dense and chaotic, filling the frame with a sense of dynamic movement.

Köszönöm a figyelmet!

**Ebéd után látogatás a Van-de-Graaf gyorsítónál.
Utána találkozunk itt, és rövid megbeszélés után
kezdődhet a részecskevadászat!**