




A mikrorészecskék fizikája

Horváth Ákos, Varga Dezső
ELTE Atomfizikai Tanszék
ELTE Komplex Rendsz. F. Tsz.



A kurzus tematikája

1. Úton az elemi részecskék felé, a részecskék standard modellje
 - mikrorészecskék felépülése elemiekből
2. Részecskegyorsítók, kvarkanyag
 - Gyorsítók felhasználása, hétköznapi jelenségek leírása elemi szinten
3. Neutrínófizika
4. Az univerzum rövid története
 - ?
5. Úton az egzotikus atommagok felé
 - A kémiai elemek keletkezése, modern

1. Úton az elemi részecskék felé

A mikrorészecskék felfedezésének története atommag, neutron, pi-mezon, pozitron, antiproton, J-psi, üpszilon, osztályozás, partonok, részecskecsaládok, alapvető kölcsönhatások, közvetítő részecskék, W^\pm ; Z^0 felfedezése

2. Részecskegyorsítók, kvarkanyag

A részecskegyorsítók fejlődése, ütköző nyalábok, biztonságos-e, kvarkanyag a mikrorészecskékben, kvarkok kvantumszámjai (színezés), kvarkbezárás, kvarkanyag fázisdiagrammja, radioaktivitás, kozmikus sugárzás a kvarkképben

3. Neutrínófizika

A neutrínók reakciói (gyenge kölcsönhatás folyamatai, történelmi kísérletek, antineutrínó, béta-bomlások, semleges áramok), neutrínódetektálás, a neutrínók forrásai, a Napneutrínó-rejtély, neutrínóoszilláció, KamLand

4. Az univerzum rövid története

Ősrobbanás elmélete az ősrobbanás elmélet főbb időszakai, hadronizáció, nukleoszintézis különböző helyeken, sugárzás leválása, kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás, csillagfejlődés

5. Úton az egzotikus atommagok felé

Egzotikus atommagok Milyen atommagok léteznek, hol van az izotóptérkép széle, szupernehéz elemek.

Úton az elemi részecskék felé

- 1897 elektron – 2008++ Higgs bozon (?)
- Mikrorészecskék – elemi részecskék
- Egyre nagyobb tömegű részecskék felfedezése
- Antianyag elképzelés, antianyag napjainkban
- Részecskecsaládok
- Kölcsönhatások, közvetítő részecskék
- Mi a tömeg?

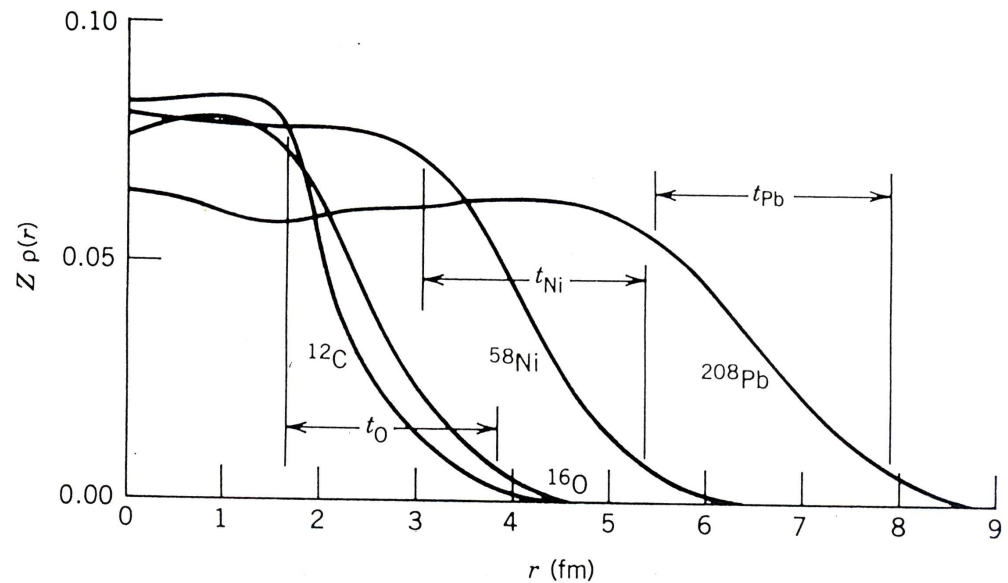
Történeti lépések

- 1895 Röntgen szivattyú
- 1896 Becquerel véletlen
- 1897 Thomson katódsugárcső
- 1898 Curie-házaspár
- 1911 Rutherford alfa-forrás
- 1932 Chadwick alfa-forrás
- 1933 Anderson ködkamra
- 1947 Powell, Lattes fotoemulzió
- 1953 Hofstadter Linac
- 1955 Segre Bevatron

Az atommagok mérete

Nagyenergiájú elektronszórás (szóráskép,
Rutherford ötletéhez hasonlóan)

Hofstadter, Stanford, Linac



Az antianyag (fermionok)

- Dirac-egyenlet ($\frac{1}{2}$ spinű részecskék)

$$\sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2} = E \qquad m^2 c^4 + p^2 c^2 = E^2$$

$$\begin{pmatrix} mc^2 & c\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{p} \\ c\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{p} & -mc^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_+ \\ \phi_- \end{pmatrix} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} \phi_+ \\ \phi_- \end{pmatrix}$$

- Antianyag: a negatív energiás állapot **hiánya!** (mint lyukak a félvezetőben)

Pozitron

Anderson:

ködkamra

kozmosz sugárzás

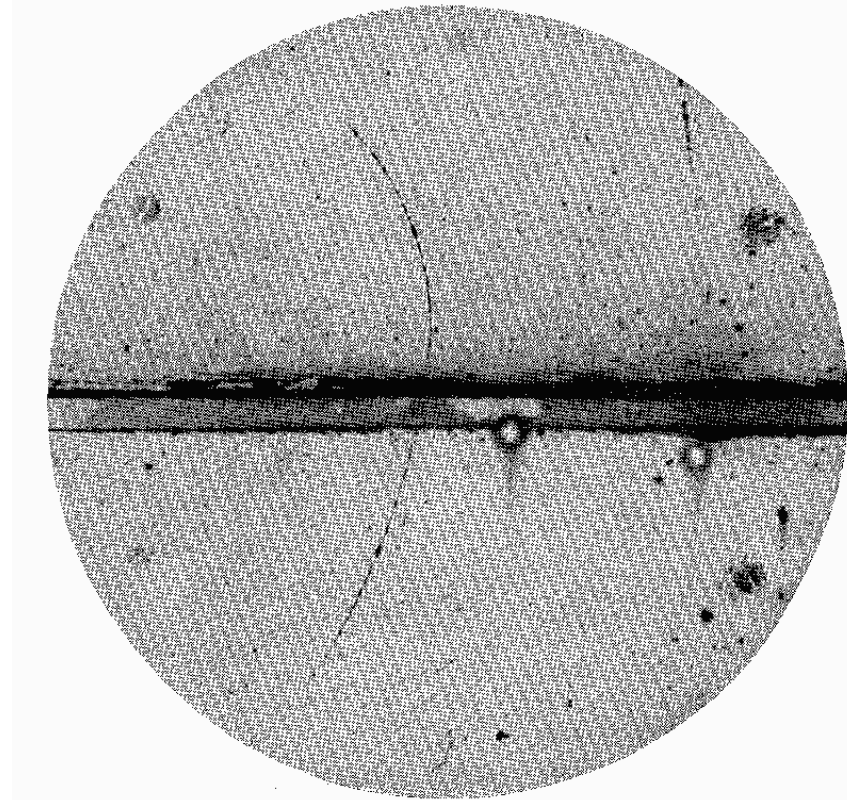
1300 db fénykép

pozitronium

PET

Antihidrogén

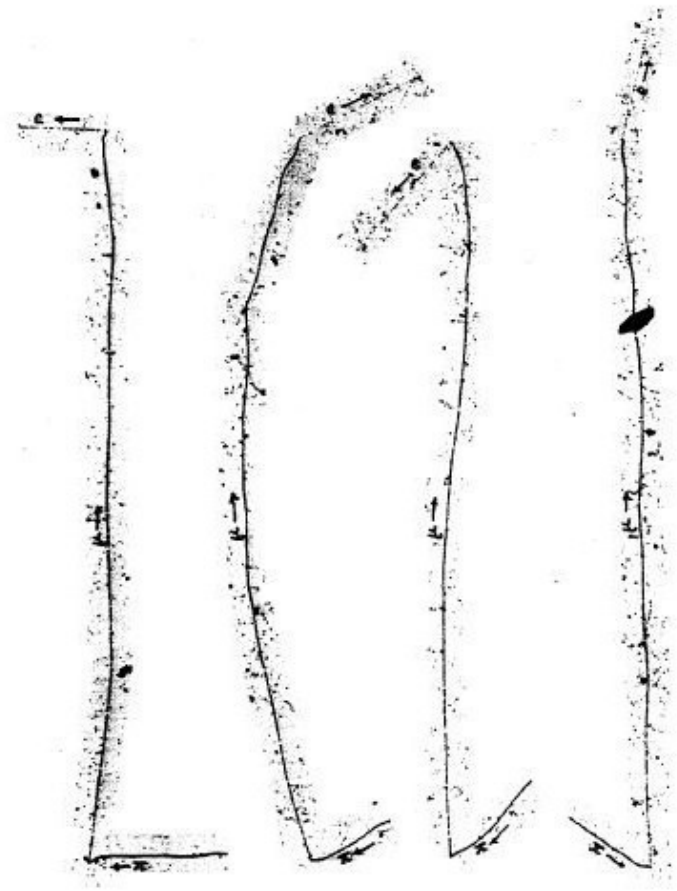
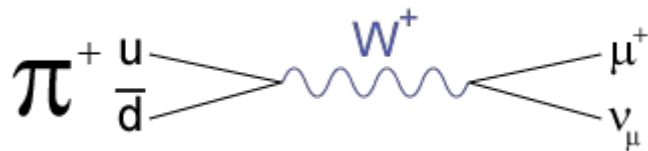
Kozmosz sugárzás



Pi-mezon

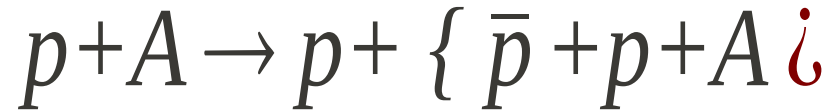
Yukawa – magerők közvetítője

Modern felfogásban: két kvark kötött állapota



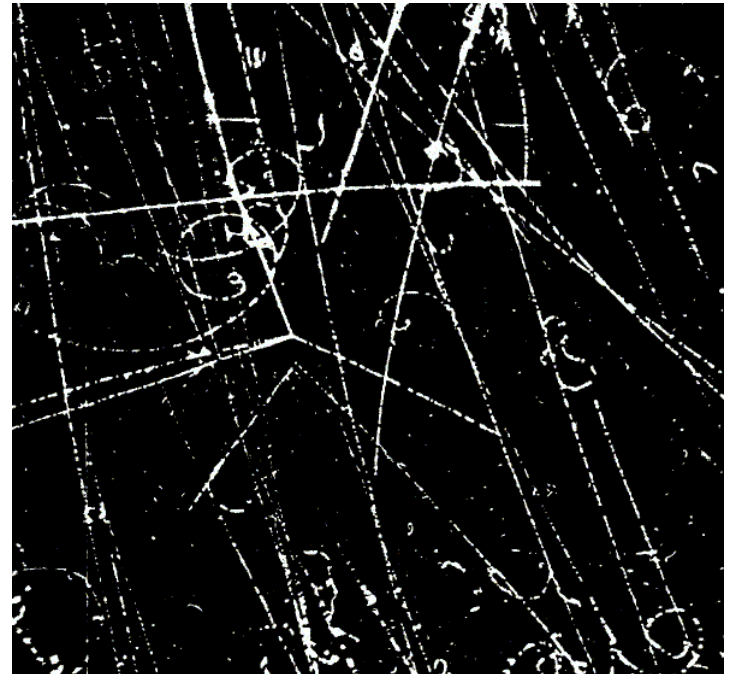
Antiproton

- Segre, Chamberlain – Berkeley, Bevatron, 6 GeV

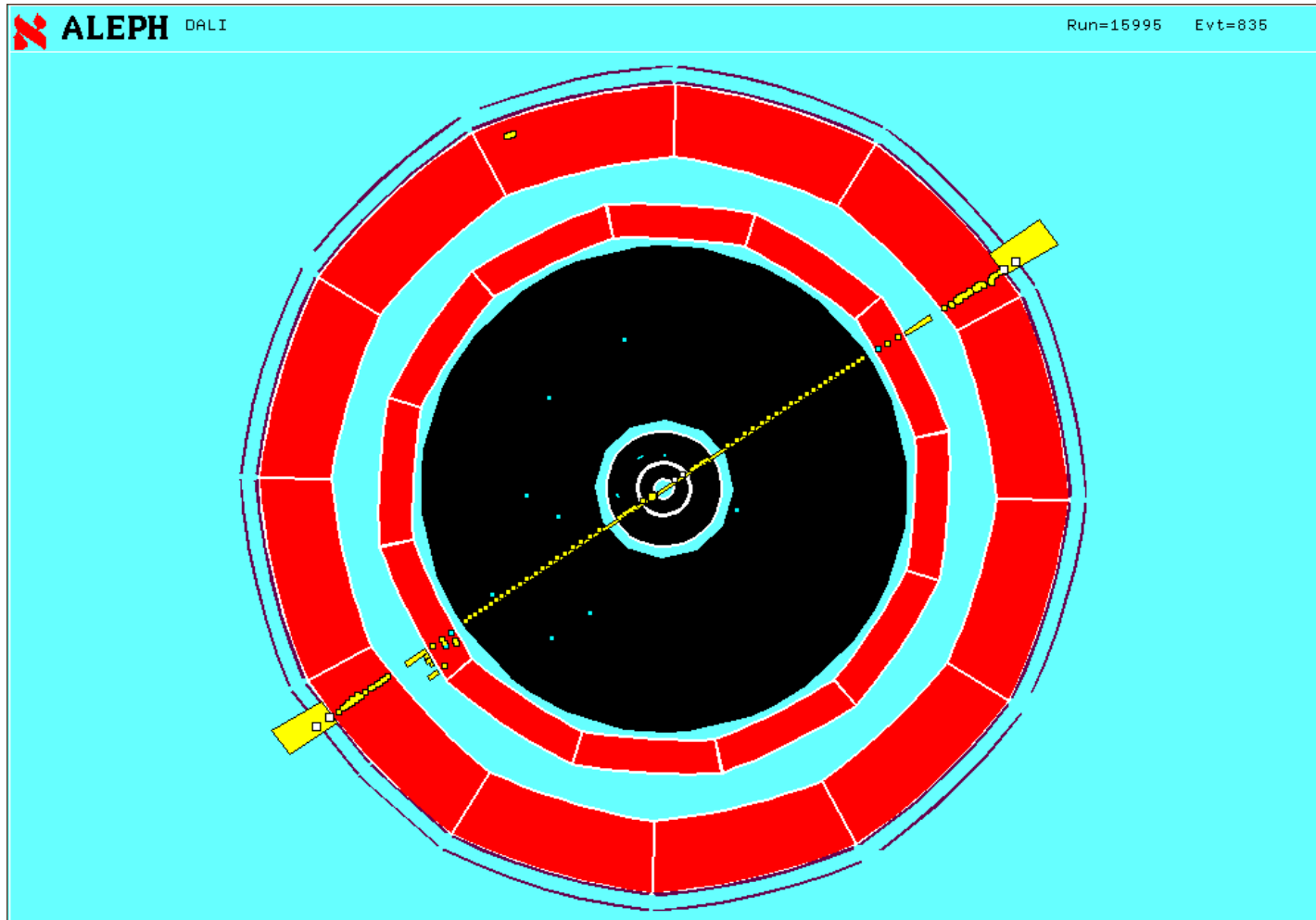


HF: mi a küszöbenergia?

Annihilációs csillag
(nem „energiába”
sugárzik szét!)



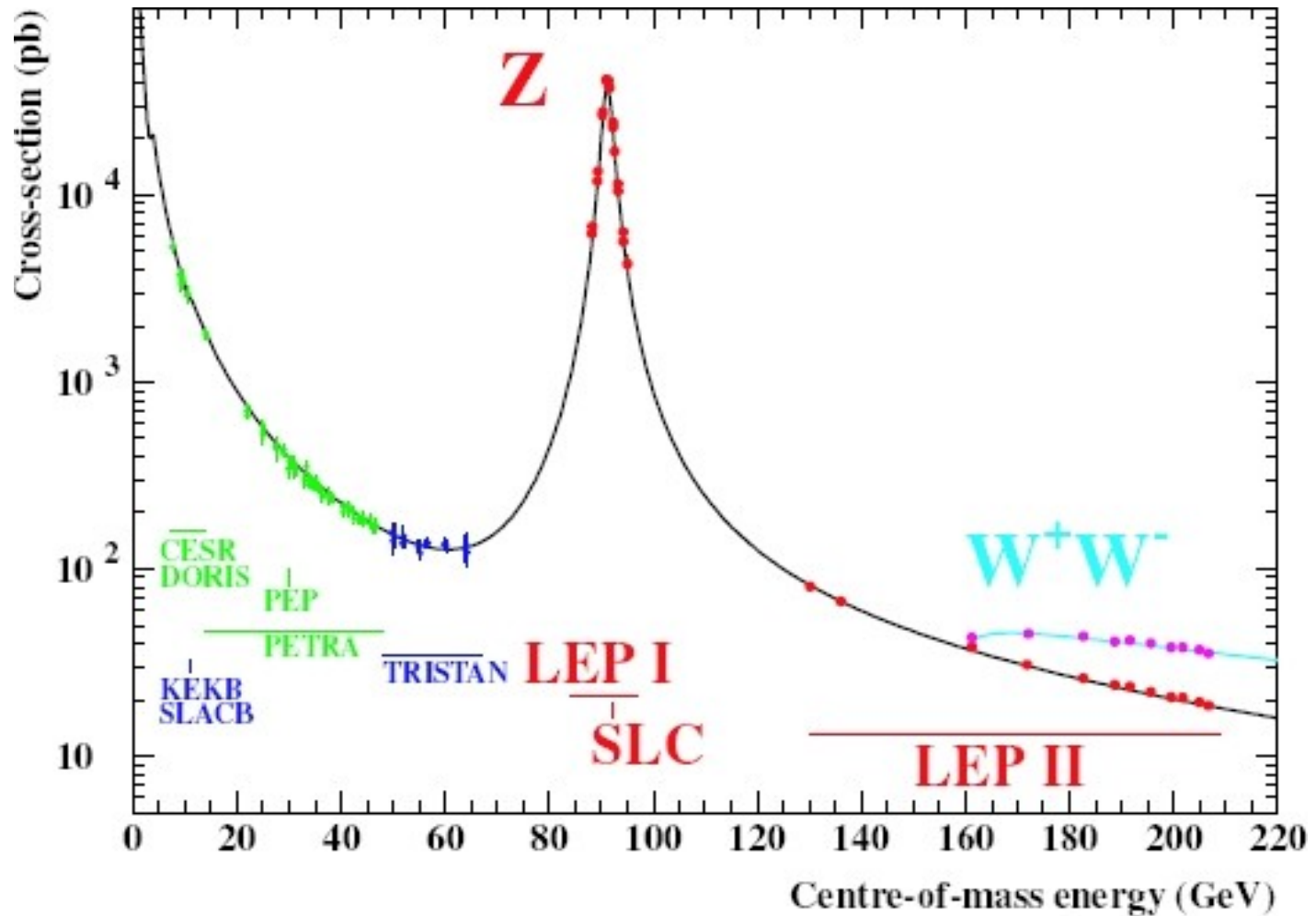
Instabil részecskék megfigyelése: bomlástermékek



Z részecske bomlása két müonra

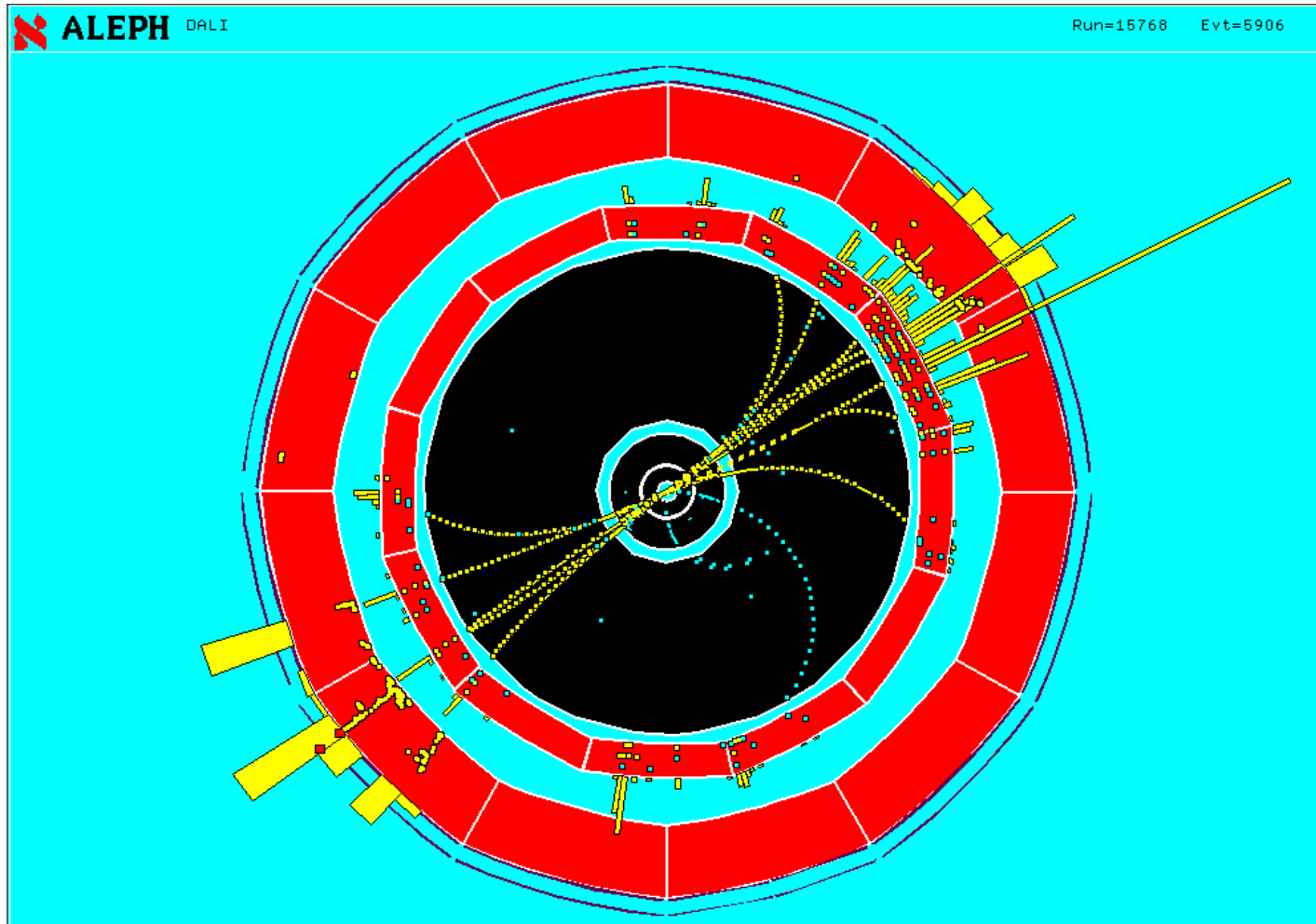
Z részecske (gyenge kölcsönhatást közvetíti): adott energián csúcs

Kölcsönhatás valószínűsége



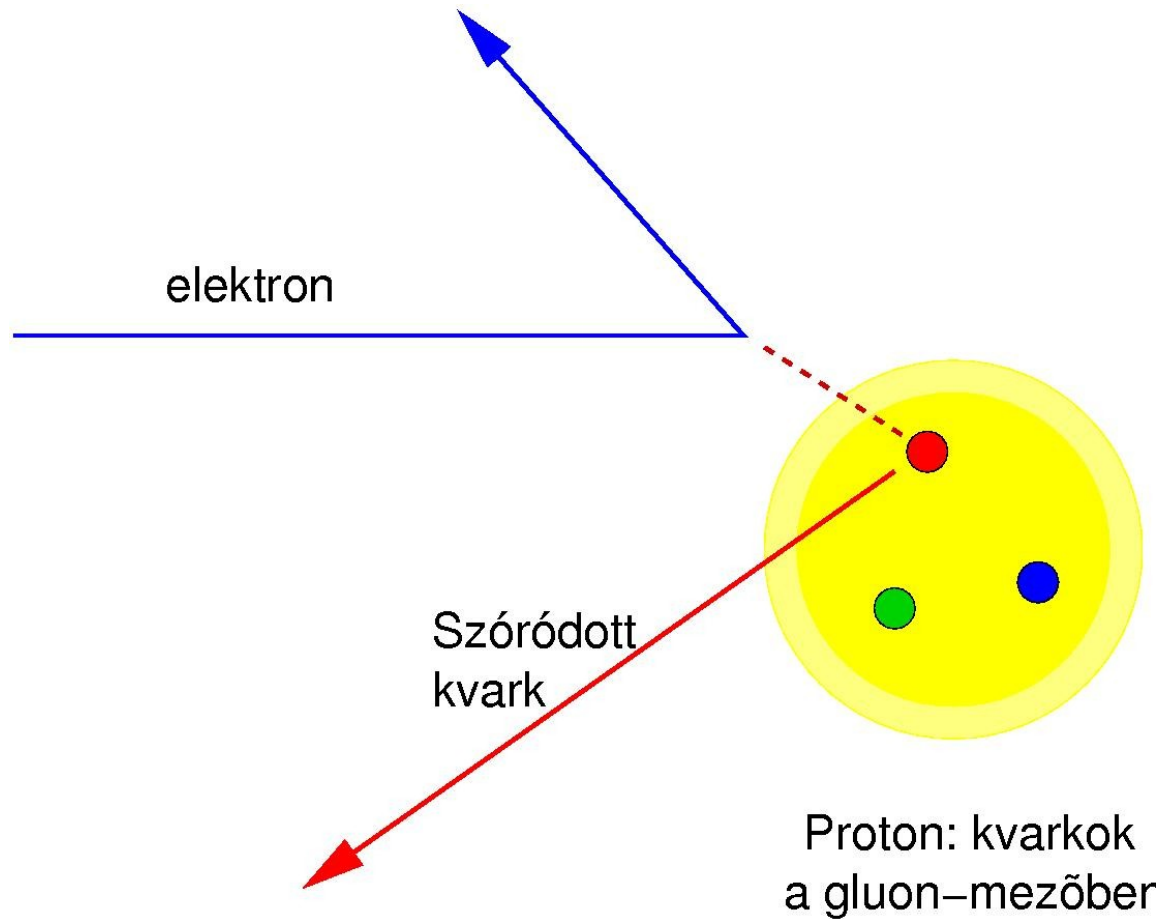
Összenergia (e+ e- részecskék)

Kvarkok: szabadon nem léteznek...

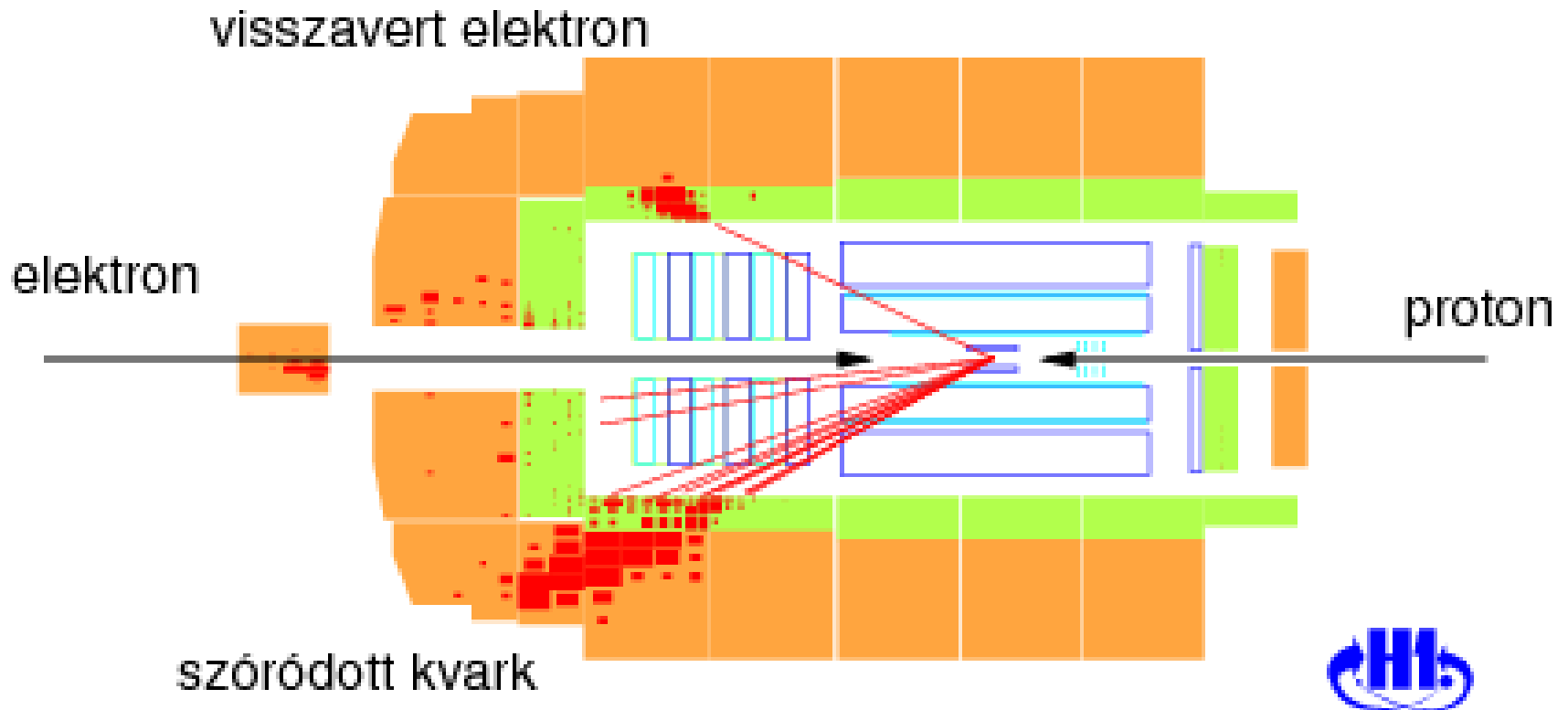


Z részecske bomlása két kvarkba:
a kvarkok részecskezáport (jetet) keltenek

Hogyan figyeljük meg a kvarkokat a protonban? Elektronszórás!

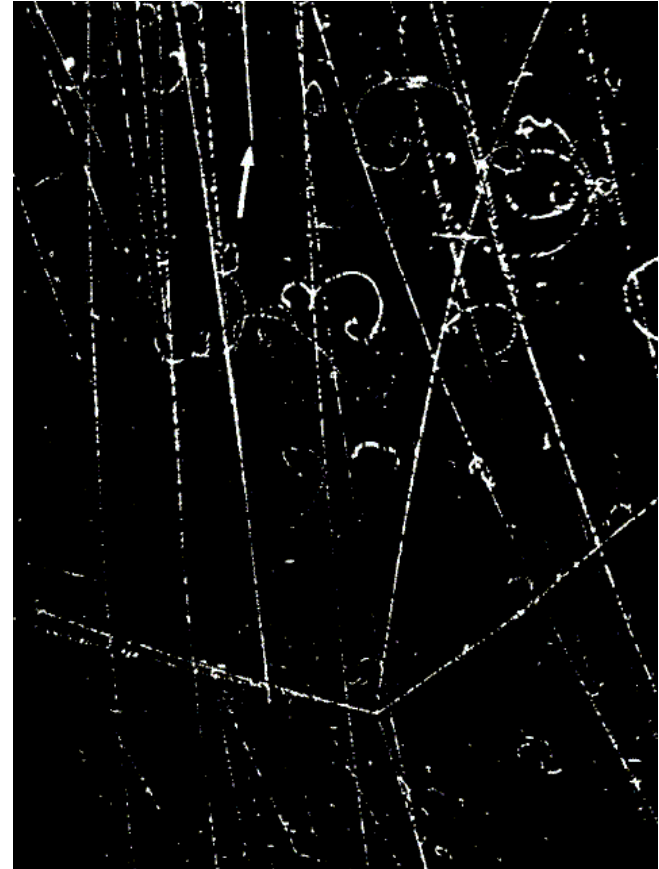
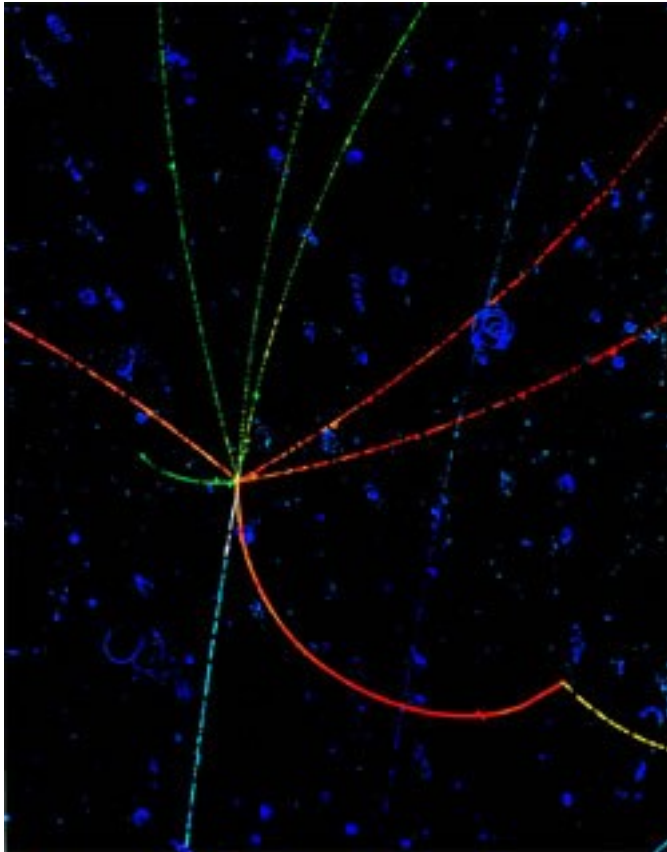


Elektron meglök egy kvarkot

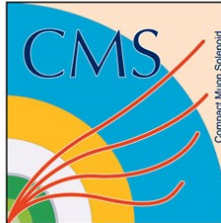


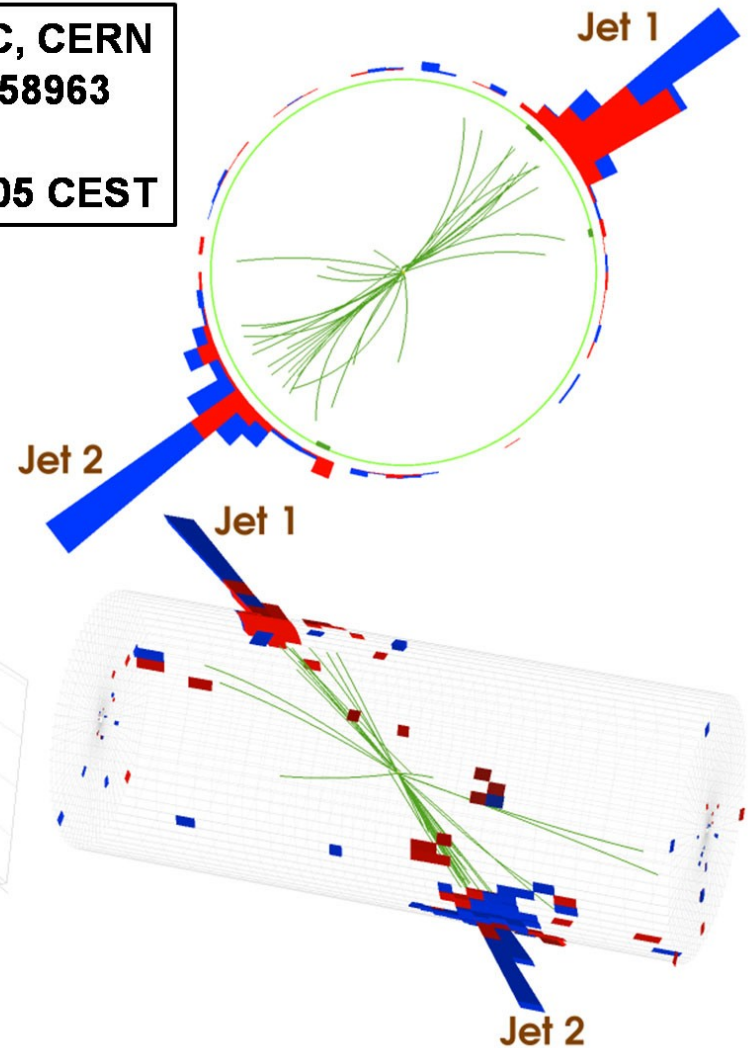
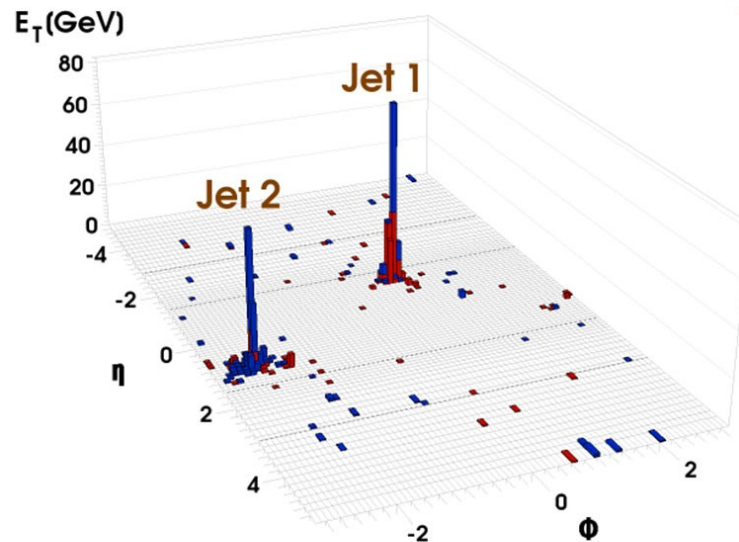
Miért viselkednek ilyen furcsán a kvarkok???

Protonok kölcsönhatása - $p+p$ ütközés



LHC: kvark-kvark ütközés (erős k.h.)

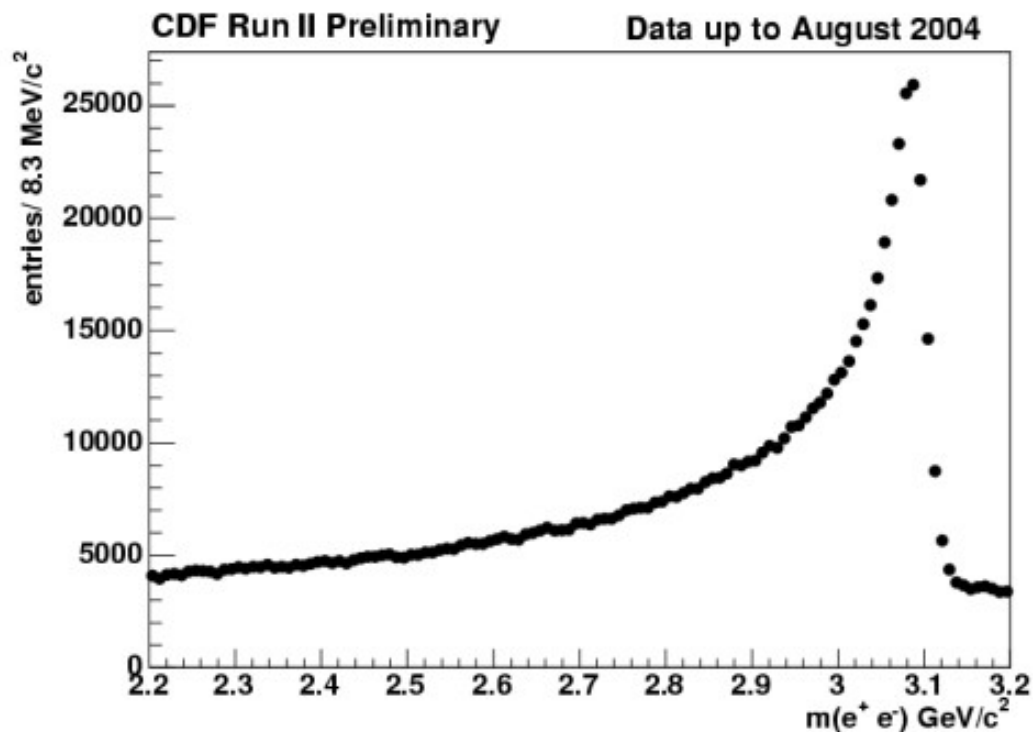
 **CMS Experiment at LHC, CERN**
Run 133450 Event 16358963
Lumi section: 285
Sat Apr 17 2010, 12:25:05 CEST



J/psi

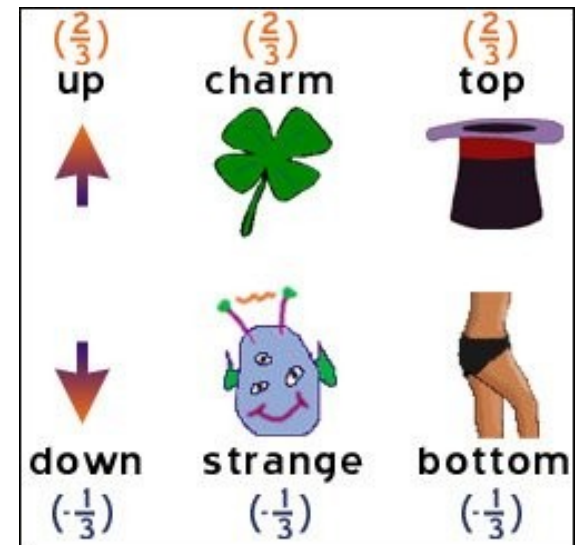
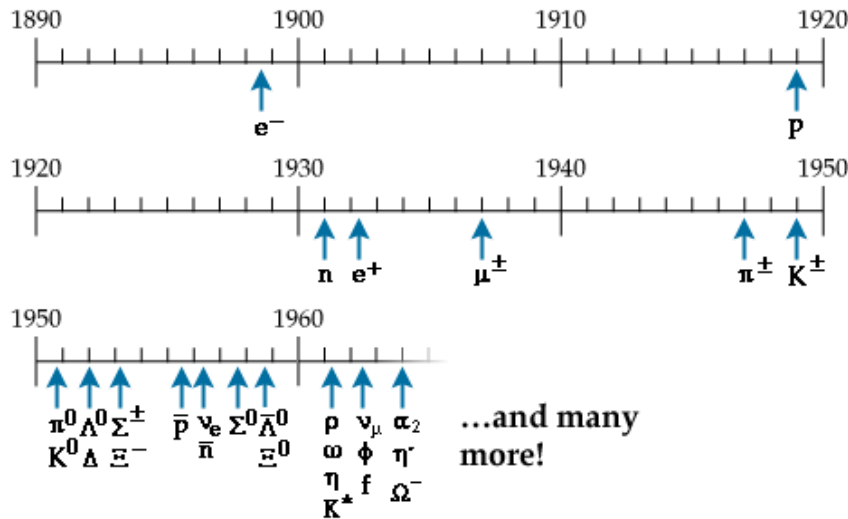
Physical Review Letters on 2 December, 1974

B. Richter (Stanford), C.C. Ting (BNL)



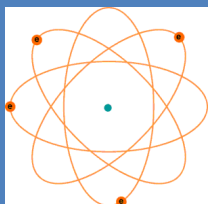
Elemi részecskék?

Nagyon fontos tapasztalat:
minden erősen kölcsönható „elemi”
részecske 2 vagy 3 kvarkot tartalmaz!!!



részecskecsaládok

Leptonok



elektron

μ

müon

τ

tau



antirészecskék, kvark-színek

ν_{μ}

ν_{τ}

Hadronok

u



up

c



charm

t



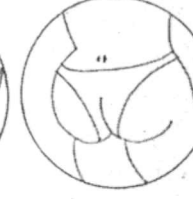
top



down



strange



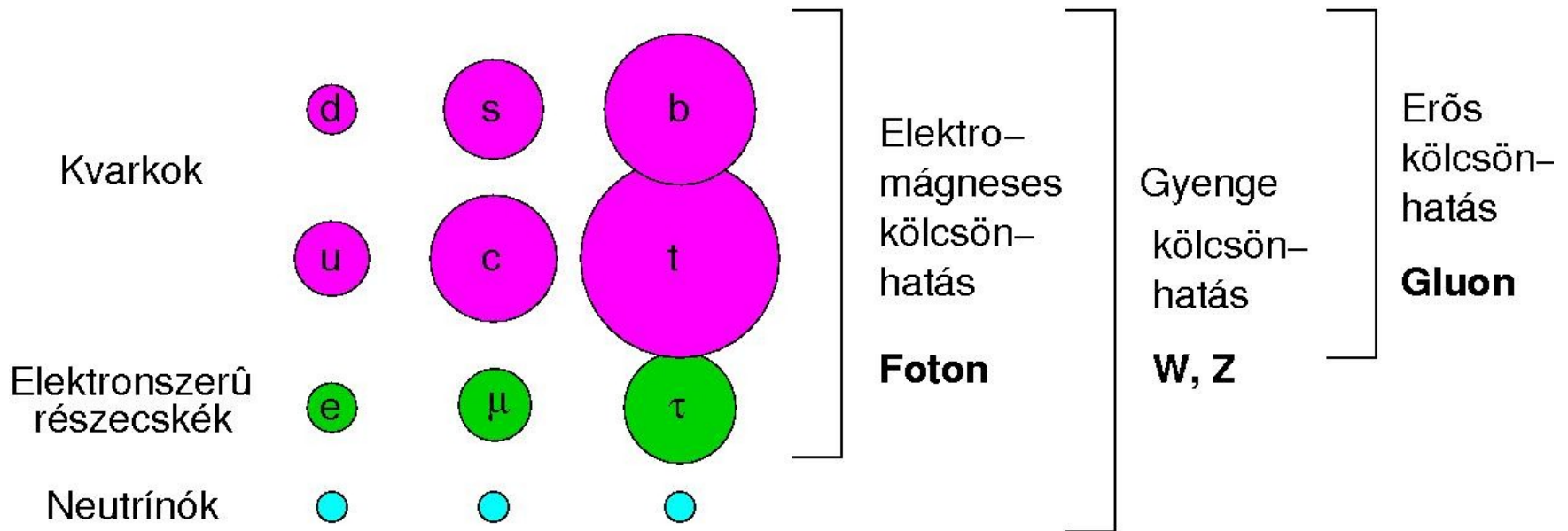
bottom

d

s

b

Rendszerezés: legegyszerűbb objektumok



A kölcsönhatás-fajtákhoz tartoznak a közvetítő részecskék:
foton, Z, W, gluonok
Csak közvetítő részecskén keresztül zajlik mind!

A kölcsönhatások alaptulajdonságai

- Elektromágneses: **töltött részecskék** között hat (kvarkok, elektronszerű részecskék; neutrínók nem)
- Erős: **kvarkok között** hat (leptonok között nem).
Nem változtatja a kvarkok **típusát és számát**
- Gyenge: minden típus között hat, **változtatja a kvarktípust**. Megőrzi az össz kvarkszámot és leptonszámot