

# Úton az elemi részecskék felé

Atommag és részecskefizika

2. előadás 2010. február 16.

# A neutron létének következményei I.

1. Az atommag alkotórészei –  $Z$  db proton +  $N$  db neutron,  
 $A=N+Z$  az atommag tömege  
 (újdonság: **nincs elektron az atommagban**)
2. A protonokat egy új erő tartja össze, ami erősebb az elektromágneses taszításnál: **MAGERŐ: protonok és neutronok között ható erő**

Kötési energia:  $E_{köt} = (m - Zm_p - Nm_n)c^2$

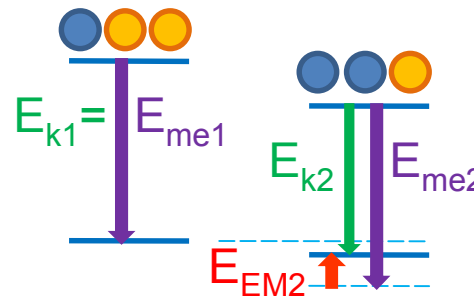
Az atommag kötési energiája két részből áll  $E_{köt} = E_{EM} + E_{magerő}$

3.  ${}^3\text{H}$  és  ${}^3\text{He}$  összehasonlítása  
 (legegyszerűbb atommagok)



$2pn+nn$     $2pn+pp$

$$E_{nn} = E_{pp}$$



$$Q_{\beta n} = 780\text{keV} + 511\text{keV}$$

$$Q_{\beta 3H} = 18,6\text{keV} + 511\text{keV}$$

$$E_{k1} - E_{k2} = 780\text{keV} - 18,6\text{keV} = 761,4\text{keV}$$

$$E_{EM2} \approx (3/5)ke^2/R = 0,6 \cdot 1,44\text{MeVfm} / 1,15\text{fm} = 750\text{keV}$$

$$E_{me1} - E_{me2} = E_{k1} - E_{k2} - E_{EM2} = 760\text{keV} - 750\text{keV} \approx 0\text{keV}$$

# A neutron és következményei II.

4. A magerők függetlenek attól hogy proton vagy neutron vesz részt benne  
Ezt a pp, pn és pn szórás kísérletek is alátámasztják

→ neutron, proton a magerők szempontjából azonos

5. A tömegük is majdnem azonos,  $m_n c^2 = 939 \text{ MeV}$ ,  $m_p c^2 = 938 \text{ MeV}$   
 $(m_n - m_p) c^2 = 1,29 \text{ MeV} = 0,13\%$  nagyon kicsi

6. Két majdnem azonos tömegű részecske,  
melyek a magerő szempontjából azonosak,

egy részecske melynek p és n a két állapota: N=nukleon  
magerő → nukleáris kölcsönhatás

nukleonok=proton+neutron, közöttük hat a magerő:

ezeket a magerő töltéseinek is lehet nevezni: nukleáris töltések

a 4. → a magerő nukleáris-töltés-szimmetrikus, és nukleáris-töltés-független  
egyébként bonyolult és nem teljesen általános potenciállal megadható  
(lásd. III. év Csótó Attila előadása)

# Az izospin

Az elemi részecskéknek van saját perdületük, ezek két irányba állhatnak, neve:  $\frac{1}{2}$ -es spin.

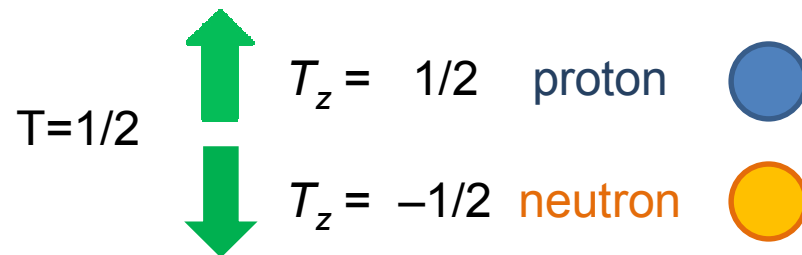
Az energiájuk általában (B tér nélkül) nem függ a spin beállításától.

A nukleonoknak van nukleáris töltése, ez két állapot lehet (proton, neutron). formálisan teljesen analóg a spinhez: neve izospin.

A két állapot energiája a magerők szempontjából nem függ az izospin beállításától (tehát, hogy proton vagy neutron a részecske. )

A nukleon izospinje  $T = \frac{1}{2}$ . Az izospin harmadik komponense mutatja meg a „beállási irányt” az izospin térben.

Ebben a paraméterben különbözik a proton a neutrontól.



# Pozitron

Anderson:  
ködkamra  
 kozmikus sugárzás  
1300 db fénykép

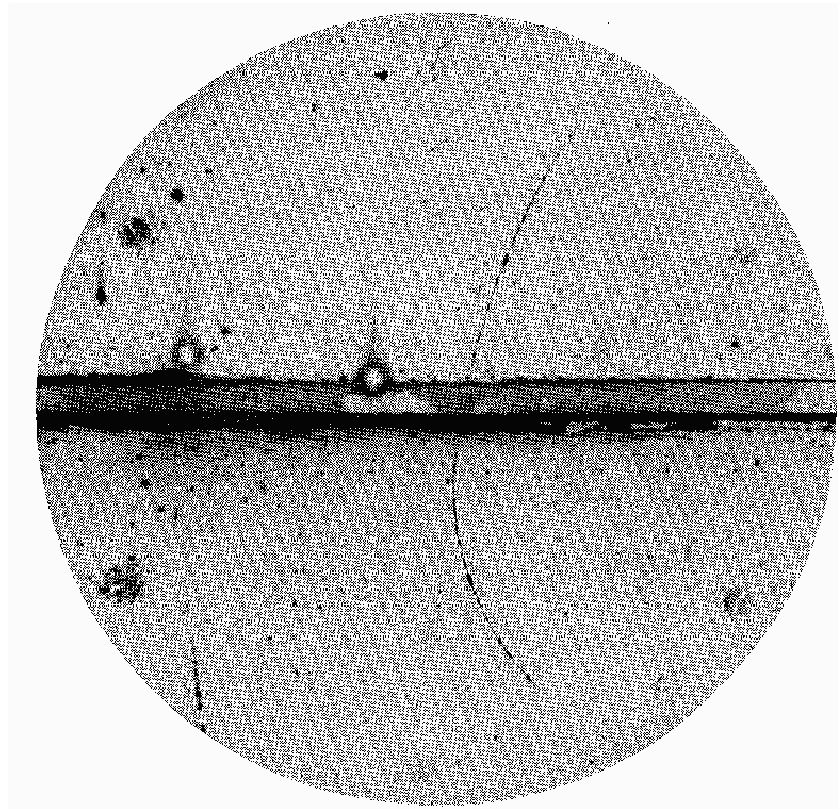
pozitrónium

PET

Antihidrogén

Kozmikus sugárzás

antirészecske: tömeg azonos, töltés ellentétes



# Az antianyag

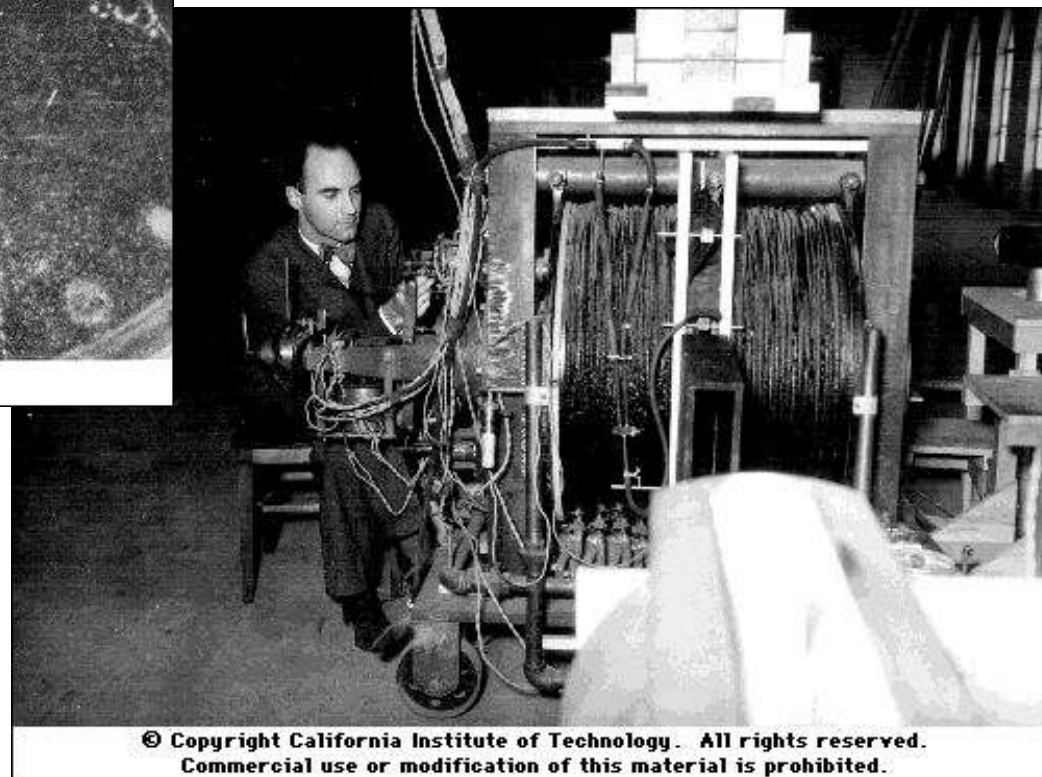
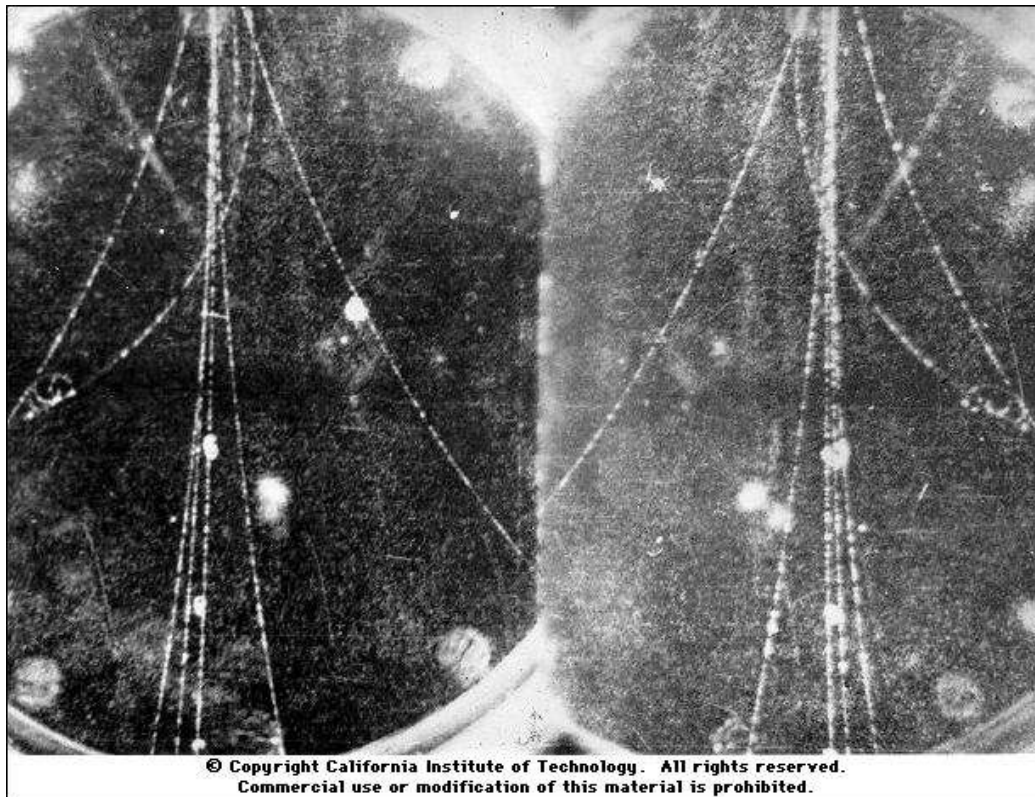
- Dirac-egyenlet

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

$$\left( \beta m c^2 + \sum_{k=1}^3 \alpha_k p_k c \right) \psi(\mathbf{x}, t) = i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}(\mathbf{x}, t)$$
$$\beta = \begin{pmatrix} 1_2 & 0 \\ 0 & -1_2 \end{pmatrix}$$

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

# elektron-pozitron párkeltés



# Pozitron annihiláció

- Szétsugárzás, elektron + pozitron
  - pozitron lelassul: ionizálja a környezetét
  - befogódik egy elektronnal egy pozitronium atomba
  - pozitronium atomban a két részecske hullámfüggvénye átfed
  - megsemmisülnek, nyugalmi tömeg eltűnik
  - az energia sugárzás formájába alakul át
  - lendületmegmaradás: két db 511 keV-es foton



# A müon felfedezése

- Anderson és Neddermayer

kozmosz sugárzás

ködkamra felvételek mágneses térben

pályasugár  $mv/qB \rightarrow p$

nyomsűrűség  $dE/dx \propto q/v \rightarrow$  tömeg (E)

nyugalmi tömeg  $m_0c^2 = \sqrt{E^2 - p^2c^2}$

A pályagörbületének iránya mutatja a töltés előjelét

A proton és az elektron tömege közötti tömegű új részecskét fedeztek fel.  $m \approx 210 m_{\text{elektron}} \approx 106 \text{ MeV}$

neve: müon, jele:  $\mu$

# Pi-mezon felfedezése

1947 Powell,  
Lattes

fotoemulzió (Ag)  
hegytető

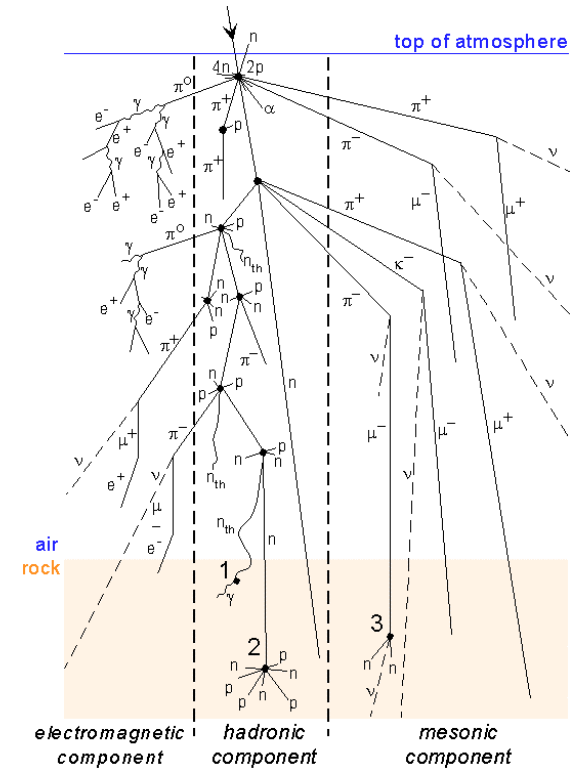
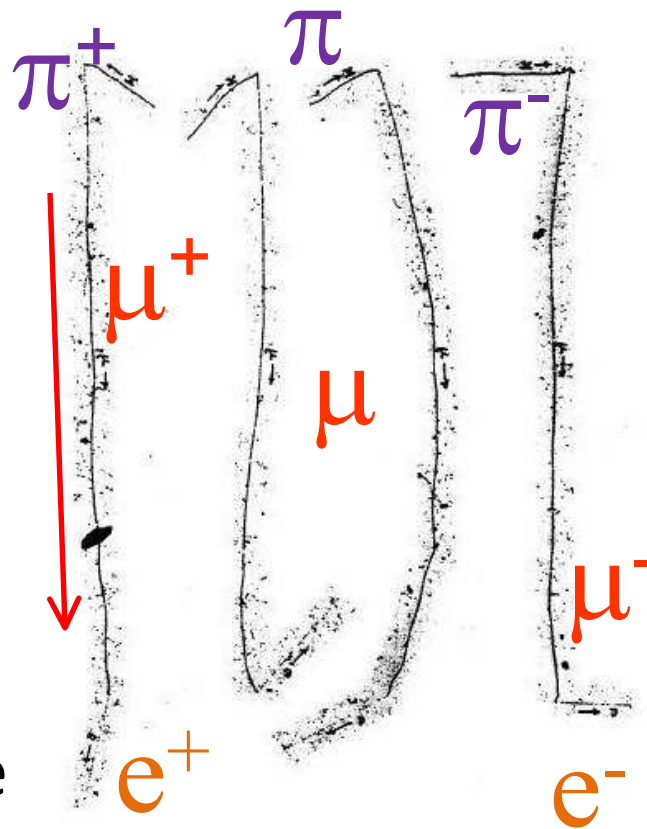
kozmikus sugárzás  
 $mc^2 \approx 150 \text{ MeV}$

keletkezés:

protonok ütközése  
atommagokkal.

hamar elbomlik müonra,

a pálya megtörik: láthatatlan részecskék



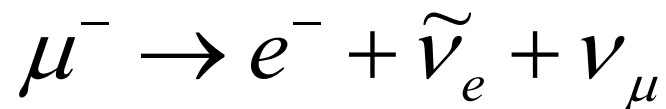
# Leptonszám

Pi mezon bomlásakor az impulzusmegmaradás sérülni látszik: semleges részecske  $\nu_\mu$  (műonneutrínó) keletkezik



A két neutrínó nem azonos:  
leptonszám megmaradás törvénye

A műon is bomlik!



Elektronikus és műonikus leptonszám is van!

# Pi-mezonok

A gyorsítóknak is könnyen elő lehet állítani, ha a felgyorsított proton energiája nagyobb 200 MeV-nél, 1948-ban ez elindult a Berkeley-i ciklotronban

Így felfedezték a pozitív és negatív töltésű pi-mezon mellett a semleges pi-mezont is. Tömegük egyforma. (Hasonlóan a neutron és a proton tömegéhez)  
De hárman vannak, van pi-null mezon is! izospin=1,  $T_z=-1,0,1$

Yukawa – magerők közvetítője,

a magerők közvetítő részecske modellje (minden kölcsönhatásra alkalmas)

$$d=ct=hc/\Delta E=hc/mc^2=1,3 \text{ fm} \quad \text{ha } mc^2=150 \text{ MeV}$$

