

# Müon-katalizált fúzió

Loránd Áron

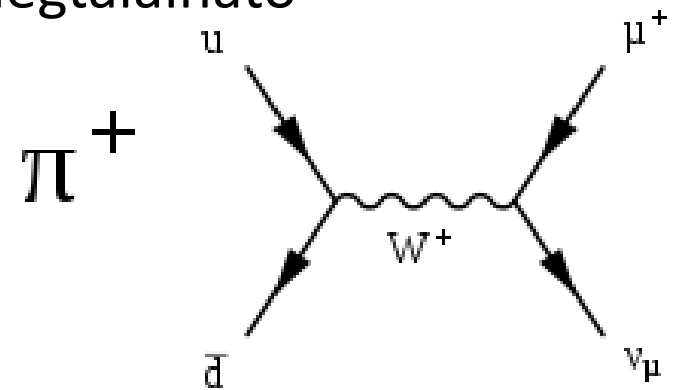
2020. XI. 26.

# Müonok felfedezése

- "A természet adott nekünk egy részecskét, amely elméletileg megalapozatlan, és egyáltalán semmire se jó." (Gell-Mann)
- 1936-37: Anderson és Neddermeyer, kozmikus sugárzásból
  - de ők pionnak hitték
    - ez kézenfekvő lett volna Yukawa jóslatából
- De! 1946: Conversi: a talált részecskék nem mutatnak kapcsolatot az erős kölcsönhatással

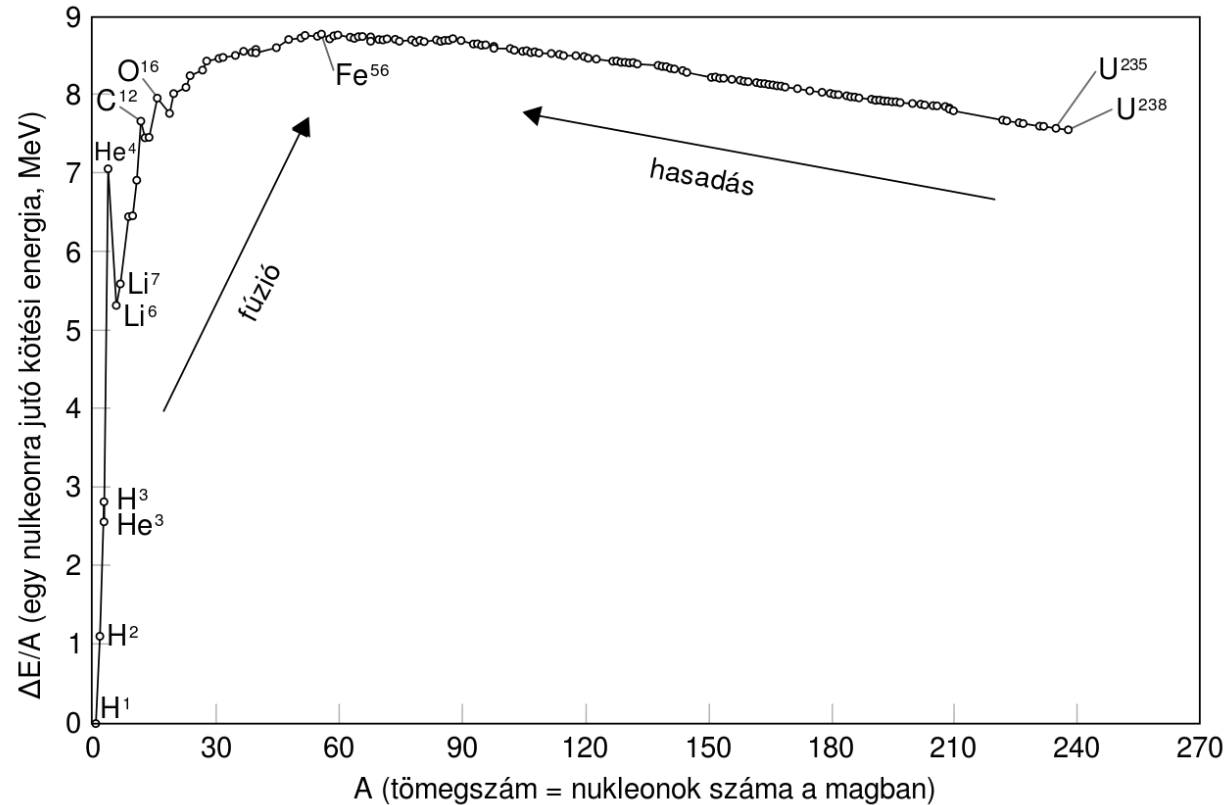
# Mik is a müonok akkor?

- nehéz elektron
- lepton
- az első részecske, ami a közönséges atomban nem megtalálható
- $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  vagy  $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ 
  - (ionizált H pl. Li-ionba bombázása)
- $207 m_e$  tömeg, e töltés,  $\frac{1}{2}$  spin (fermion)
  - nem vonatkozik rájuk a Pauli-elv!
- átlagos élettartam (laborban):  $2,2 \mu\text{s}$
- elektron-helyettesítő szerep, müonium (Mu)



# A fúzióról

- termonukleáris: magas hőmérséklet, magas sűrűség



# A $\mu$ CF története I.

- 1947-48: Frank és Szaharov felvetik az ötletét
- később, 1954-ben Zeldovics is írt róla
- '56-ban Alvarez vezetésével kísérletileg is igazolják (Teller Ede javaslatára)
  - buborékkamrás P-D fúzió  $\rightarrow$   ${}_2^3\text{He}^+$  (helion) +  $\gamma$  + 5,5 MeV
  - de ők P-D gázkeveréssel kísérleteztek, ami nem volt hatékony!
- végül Jackson '57-es úttörő cikke:
  - átfogó összefoglalás
  - energiefelszabadulás megjóslása
  - nem hatékony energiaforrásként
  - javaslat: „alpha-sticking problem” (l. később) megoldása
    - (ez utóbbit Wigner vetette fel Jacksonnak)

# A története II.

- 1967: Vesman modellje, ami megmagyarázta az eredményeket (Tallin)
  - $(d-\mu^-t)^+$  hiperfinom rezonancia általi megalakulása
- 1977: Gershtein és Ponomarev et al. (Dubna) rájöttek Vesman modellje alapján, hogy bizonyos hőmérsékleten és magas sűrűségű deutérium-trícium gázkeverék esetén sokkal gyorsabb a fúzió, így jóval több fuizonálás képes végbemenni
- 1982: Jones és munkatársai (LAMPF): hőmérsékletfüggés igazolása + 1 müon 150 fúzió létrejöttéhez elég
- azóta újabb és újabb kísérleti igazolások + elmélet-javító + hatékonyság növelő próbálkozások

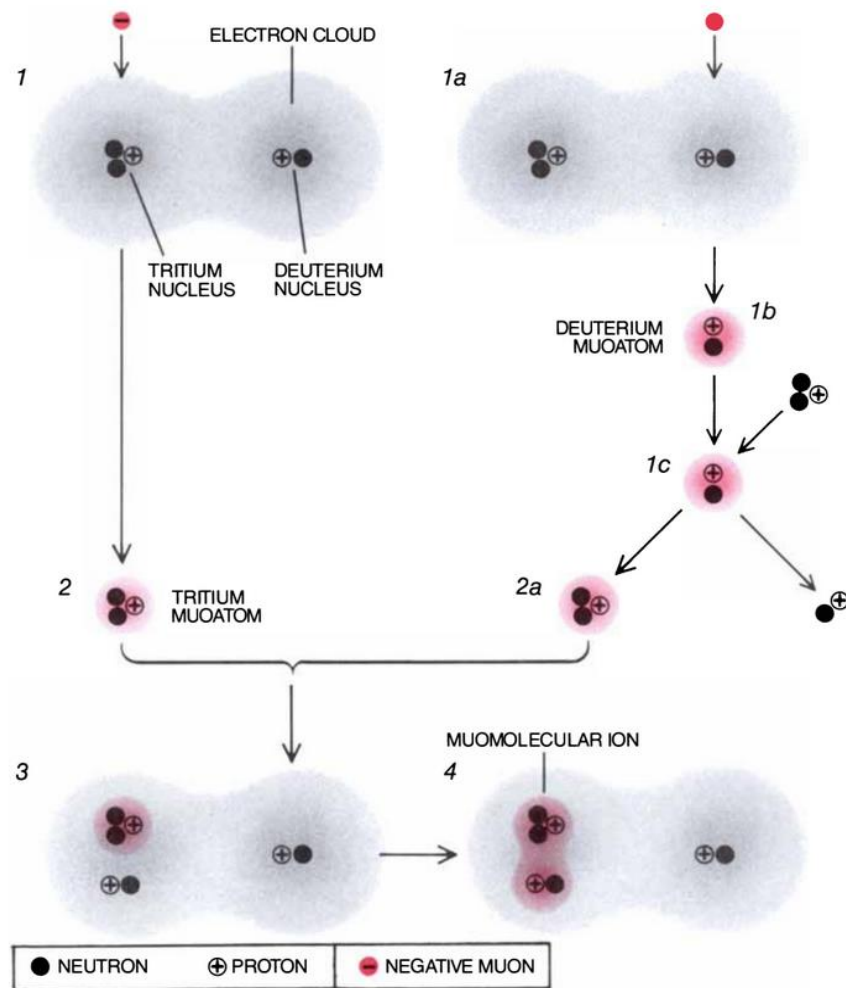
# Tulajdonságok

- „alacsony” hőmérsékletű magfúzió
  - (szobahőmérséklet, de abszolút 0 fok „közelében” (5-20 K) is sikerült fuzionáltatni)
  - leghatékonyabban azonban 900°C körül működik (Melvin Leon)
- sokkal kevesebb káros (radioaktív) hulladék
- a nagyszámú neutronok használhatók bomlásokhoz
- fúzió-láncnál keletkező hőmérséklet
- nem szükséges trícium a beinduláshoz
  - (plazmafúziónál többnyire igen)

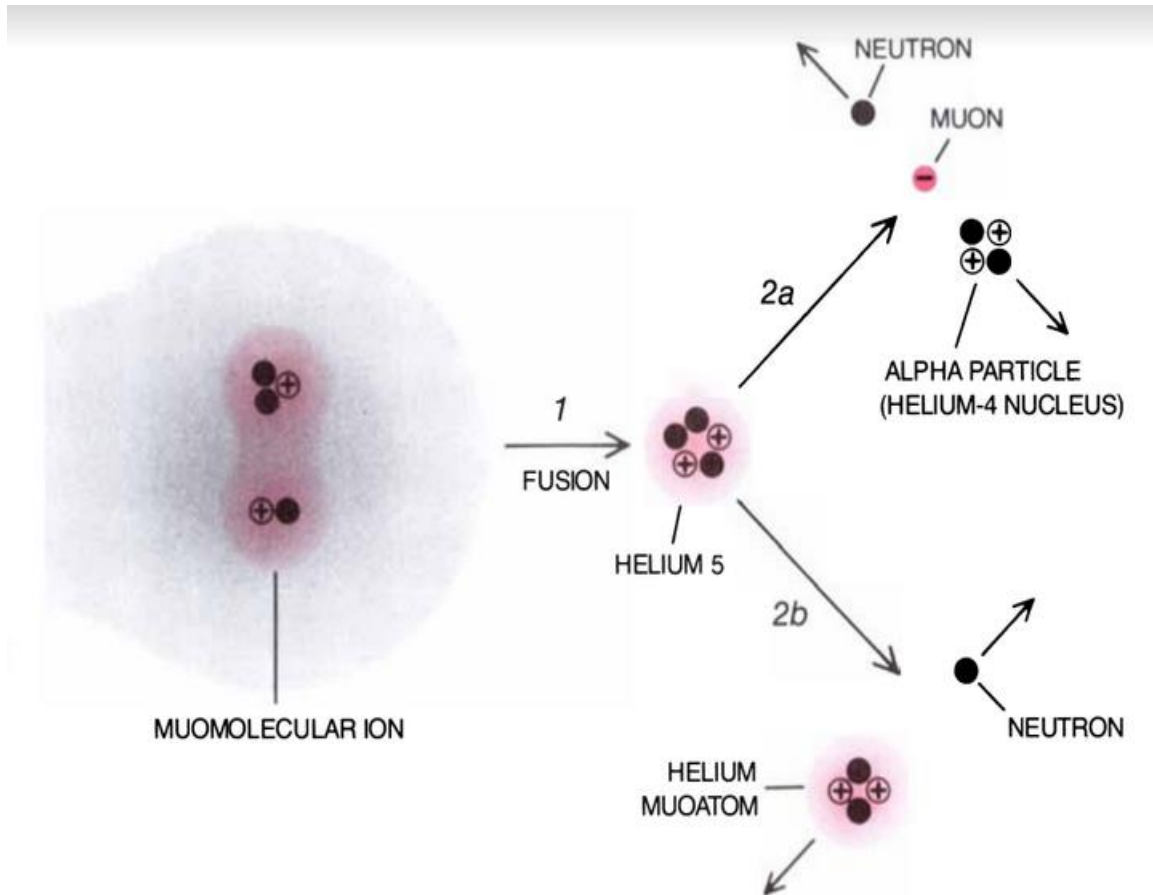
# A mechanizmus – pl. $D_2$ - $T_2$ fúzió

- a müonos hidrogén atomsugara jóval kisebb, mint a „sima” hidrogéné
  - > sokkal magasabb valószínűség a fuzionálásra
- müon (bomló pion) nyaláb -> P+D(+T) blokk, ami kb. 3 kelvines, és kilök egy  $e^-$ -t a helyéről
- egy müonpálya kb. 260 fm-es; attól messzebről nézve egy  $t\mu^-$  müonos atom inkább már neutronra hasonlít, így meg tudja közelíteni a  $D_2$ - $T_2$  gázkeverékben egy  $D_2$  magját
  - mivel a nehezebb müon leárnyékolja a magot
- ekkor a d-mag helyén ún.  $(d-\mu^-t)^+$  *mezomolekula*-ion (muomolecular ion) jön létre
  - ebben a „kötőanyag” a müon
- végül a két atommag fuzionál (~10 ns alatt), létrejön a  $^4\text{He}$ , egy nagyenergiás neutron kilökődik, és a müon továbbhalad

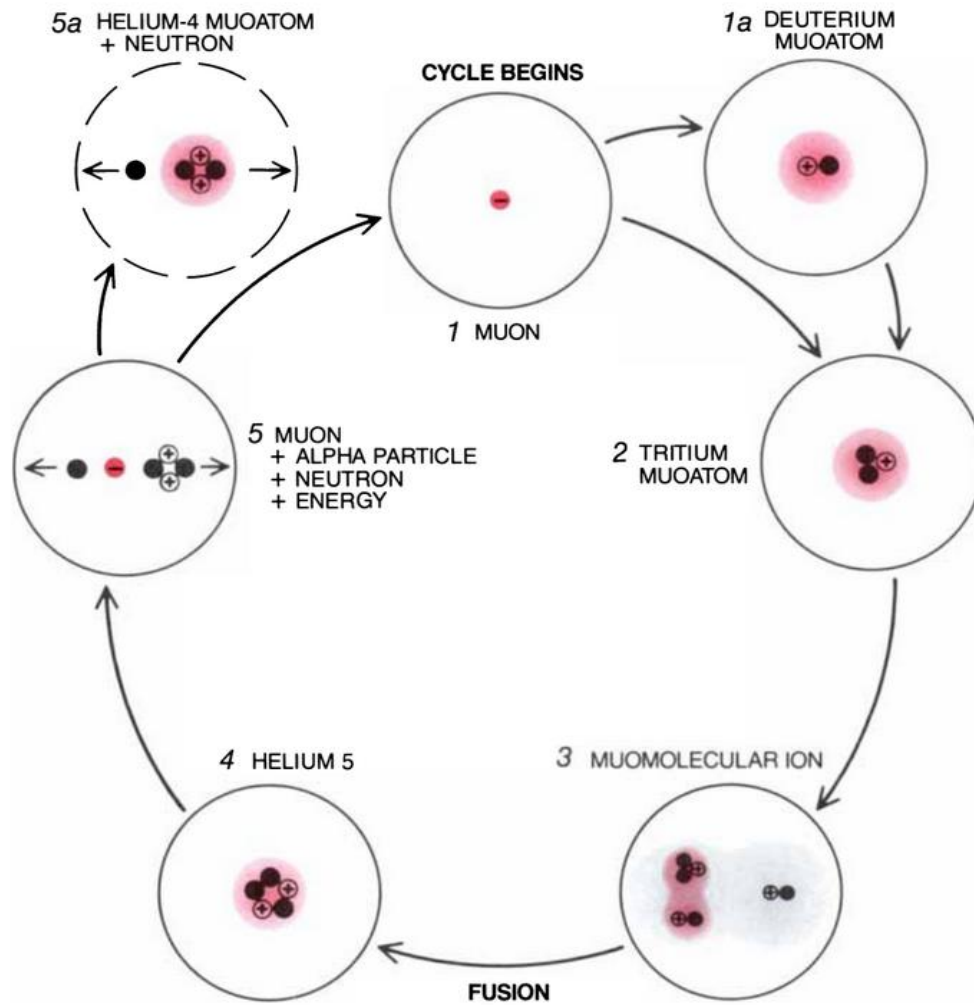




**INITIAL STEPS** of muon-catalyzed fusion bring a deuterium nucleus and a tritium nucleus into unusually close proximity. First a muon invades a molecule consisting of two nuclei held together by an electron cloud. The muon may collide with a tritium nucleus (1). Then, as a quantum-mechanical consequence of the muon's high mass, the muon falls into a very tight orbit around the nucleus, forming what is called a tritium muoatom (2). Alternatively (1a), the muon may collide with a deuterium nucleus, forming a deuterium muoatom (1b). In a later collision (1c) the muon can be transferred to a tritium nucleus, forming a tritium muoatom (2a). The tritium muoatom then penetrates the electron cloud of another molecule and collides with a deuterium nucleus (3). The tritium nucleus, the deuterium nucleus and the muon then combine within the molecule to form a muomolecular ion, in which the muon holds the nuclei together much as an electron binds nuclei in an ordinary molecule (4). Because of the muon's high mass, the nuclei in a muomolecular ion are approximately 200 times closer together than the nuclei in an ordinary molecule.



**FUSION** occurs as a tritium nucleus and a deuterium nucleus in a muomolecular ion combine, forming a helium nucleus and a free neutron and releasing energy. Because the tritium and deuterium nuclei in the muomolecular ion are held close together by a muon, the strong nuclear force can cause them to fuse (*1*) into a helium-5 nucleus orbited by a muon. The helium-5 nucleus breaks up almost immediately. Usually (*2a*) it breaks into a neutron, an alpha particle, or helium-4 nucleus, and a muon. Sometimes, however (*2b*), the positively charged alpha particle captures the negatively charged muon, forming a helium muoatom and preventing the muon from catalyzing another reaction. In any case, the fusion releases kinetic energy: the neutron and the alpha particle move away at high speed.



**REACTION CYCLE** of a cold-fusion reaction starts and ends with a free muon (1). A tritium muoatom forms (2), sometimes by way of a deuterium muoatom (1a). The muoatom combines with a deuterium nucleus to form a muomolecular ion (3), which fuses to make a helium-5 nucleus (4). The helium 5 splits into an alpha particle and a neutron, releasing energy (5). If the muon sticks to the alpha particle (5a), the cycle is interrupted because the catalyst has been removed; sticking is a primary obstacle to the development of muon-catalyzed fusion. If the muon does not stick, it is free to begin another cycle (1).

# Gondok

- a müonok instabilak, nagyon rövid élettartamúak
- „alpha-sticking problem”
  - „p” valószínűséggel a müon hozzátapad az  $\alpha$ -részecskéhez
    - Jackson szerint  $p \approx 1\%$
    - de újabban  $p = (0,3-0,5)\%$  (Steven E. Jones et al., illetve Allen N. Anderson mérései által)
      - azóta még megerősítve

# Energiamérleg

- egyelőre több energia -, mint +
  - elő kell állítani a müonokat ( $\sim -5 \text{ GeV}/\mu$ )
- a müon nem feltétlenül ragad meg egy fuzionálás után
  - ezért hívják katalizátornak a müont
  - azonban átlagosan 150 (100-200) után bekerül egy hélium atomba
    - egy fúziónál 17,6 MeV energia szabadul fel
- vagyis az energiamérleg:  $(-5 + 150 \times 0,018) \text{ GeV} = -2,3 \text{ GeV}$

# Lehetséges hatékonyság növelés

- lehetséges megoldások: -> nehéz!
  - müonok energiatakarékosabb előállítása
  - hogyan lehetne megakadályozni, hogy megragadjanak a héliumban
  - hogyan lehetne „kiszakítani” őket

# Források, hivatkozások

- Wikipedia a müonokról, pionokról, fúzióról:

<https://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%BCon&editintro=MediaWiki%3AEditintro-section-0>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Muon>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Pion>

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Magf%C3%BAzi%C3%B3>

- <https://www.termvil.hu/archiv/szamok/tv2003/tv0311/solt.html>

- <https://youtu.be/aDfB3gnxRhc>

- Steven E. Jones és Johann Rafelski cikke

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!