

Alacsony energiás magfizikai folyamatok hatáskeresztmetszetének mérése

Körtefái Dóra

Magfizika szeminárium

2018. 11. 06.

Áttekintés

- ▶ Nukleáris asztrofizika
- ▶ Direkt hatáskeresztmetszet mérés
- ▶ Indirekt hatáskeresztmetszet mérés
 - Coulomb-disszociáció
 - Trójai faló módszer
 - ANC módszer
- ▶ ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ reakció hatáskeresztmetszetének mérése

Nukleáris asztrofizika

- ▶ Célja a csillagokban lejátszódó magfizikai folyamatok megismerése. (energiatermelés, nukleoszintézis)
- ▶ Magas hőmérséklet \rightarrow ionizált plazma állapot
- ▶ Energiaeloszlás: Maxwell-Boltzmann eloszlás

$$P(E)dE = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{E}}{(k \cdot T)^{3/2}} \cdot e^{-\frac{E}{k \cdot T}} dE$$

- ▶ Az eloszlás maximumának energiája magfizikában kicsi
- ▶ Például: Napban $k \cdot T \simeq 1.3\text{keV}$, szupernóva robbanásokban $< 0.5\text{keV}$

Alacsonyenergiás magreakciók

- ▶ A reakciók a Coulomb gát alatti energiákon játszódnak le.
- ▶ Pl: ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ esetén a Coulomb gát 1 MeV fölötti, $k \cdot T$ 3 nagyságrenddel kisebb
- ▶ Magreakciók alagút effektussal játszódnak le
- ▶ Valószínűséget a Gamov-faktor adja

$$T \cong \exp\left(-\frac{2 \cdot \pi}{\hbar} \cdot \sqrt{\frac{m}{2 \cdot E}} \cdot Z_0 \cdot Z_1 \cdot e^2\right) = e^{-2\pi\eta}$$

Gamow ablak

- ▶ Alagúteffektus valószínűsége az energiával exponenciálisan nő
 - ▶ Maxwell-Boltzmann eloszlás nagyobb energiákon exponenciálisan csökken
- ⇒ A reakciók a Gamow ablakban játszódnak

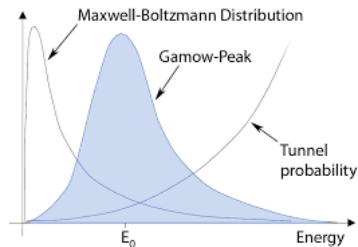


Figure 1: Gamow energia-ablak

Direkt mérések

- ▶ Gamow ablakban hatáskeresztmetszetek kicsik, nanobar nagyságrend
- ▶ Közvetlen meghatározás helyett extrapoláció
- ▶ Cél: a Gamow ablakhoz minél közelebb mérni
 - Föld alatti mérések (LNGS)
 - Detektorok speciális tervezési
 - Nyalábintenzitás növelése

Direkt mérések

- ▶ Ha a hatáskeresztmetszet sok nagyságrenddel kisebb, mint a legalacsonyabb energiás mérés esetén közvetlen extrapoláció nem helyes
⇒ Asztrofizikai S faktor bevezetése

$$\sigma(E) = \frac{1}{E} \cdot S(E) \cdot e^{2 \cdot \pi \eta(E)}$$

- ▶ Az S faktort zérus energiához extrapolálják, itt $\sigma \rightarrow 0$, és S véges
- ▶ Elméleti korrekció direkt méréseknél is szükséges ← elektronárnyékolási jelenség

Indirekt mérések

- ▶ Nem azt a reakciót mérik, aminek a hatáskeresztmetszetét keresik
 - ▶ Elméleti megfontolások szükségesek
 - ▶ Nagyobb, könnyebben mérhető hatáskeresztmetszetek
 - ▶ Nincs elektronárnyékolás
- Coulomb-disszociáció
 - Trójai Faló (THM)
 - Aszimptitikus Normalizáció (ANC)

Coulomb-disszociációs módszer

- ▶ A hatáskeresztmetszetet a Coulomb-felhasadási inverz folyamat méréséből származtatják
- ▶ Coulomb-disszociáció: Egy részecske relativisztikus sebességgel halad el egy töltött részecske mellett és annak terében gerjesztődve felbomlik.
- ▶ Példa: ${}^7\text{Li}(n, \gamma){}^8\text{Li}$ hatáskeresztmetszete az időtükrözöttjének hatáskeresztmetszetéből számolható

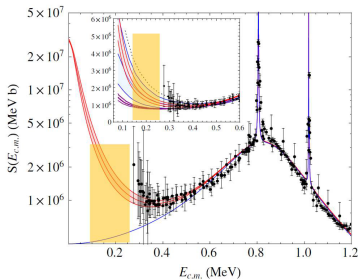
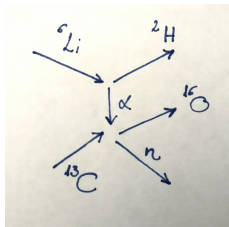
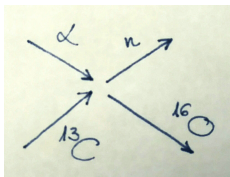
$$\sigma(n, \gamma) = \frac{E_\gamma^2}{2 \cdot \mu \cdot c^2 \cdot E_d} \cdot \frac{2 \cdot (2j_{8\text{Li}} + 1)}{(2j_{7\text{Li}} + 1) \cdot (2j_n + 1)} \cdot \sigma(\gamma, n)$$

Trójai faló módszer

- ▶ Kéttest magreakció helyett alkalmasan megválasztott háromtest magreakció hatáskeresztmetszetét mérik
- ▶ Coulomb-szórás járuléka elhanyagolhatóvá válik → Coulomb gát kiküszöbölése
- ▶ Használható akkor is, ha a vizsgált magreakció gerjesztési függvényében rezonanciák vannak

Példa a trójai faló módszerre

$^{13}\text{C} + \alpha \rightarrow n + ^{16}\text{O}$ reakció helyett $^{13}\text{C} + ^6\text{Li} \rightarrow ^2\text{H} + ^{16}\text{O} + n$ hatáskeresztmetszetét mérik.



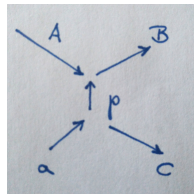
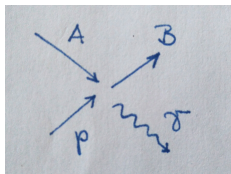
ANC módszer

- ▶ 3 test reakció hatáskeresztmetszetéből származtatják a 2 test reakcióét
- ▶ Periférikus transzfer reakciók hatáskeresztmetszetét mérik ($a = c + p$, $B = A + p$)

$$\sigma = | \langle I_{Ap}^B(r) | \hat{O}(r) | \psi_i^{(+)}(r) \rangle |^2$$

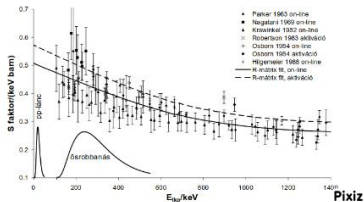
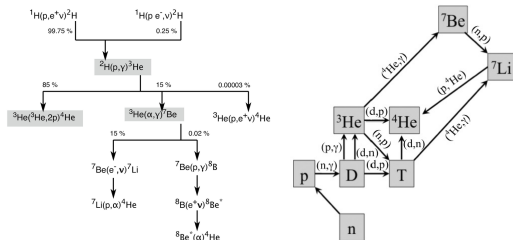
$$I_{Ap}^B(r) \approx C \cdot \frac{W_{-\eta, l+1/2}(2\kappa r)}{r}$$

- ▶ A direkt befogási keresztmetszet arányos az ANC négyzetével



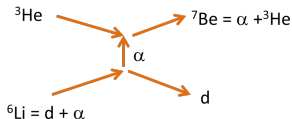
${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ reakció

- ▶ pp-lánc egyik kulcsreakciója
→ Napmodellek tesztelése, Nap összetétele
- ▶ Ősrobbanás nukleoszintézise
 ${}^7\text{Li}$ probléma megoldása a BBN modellekben



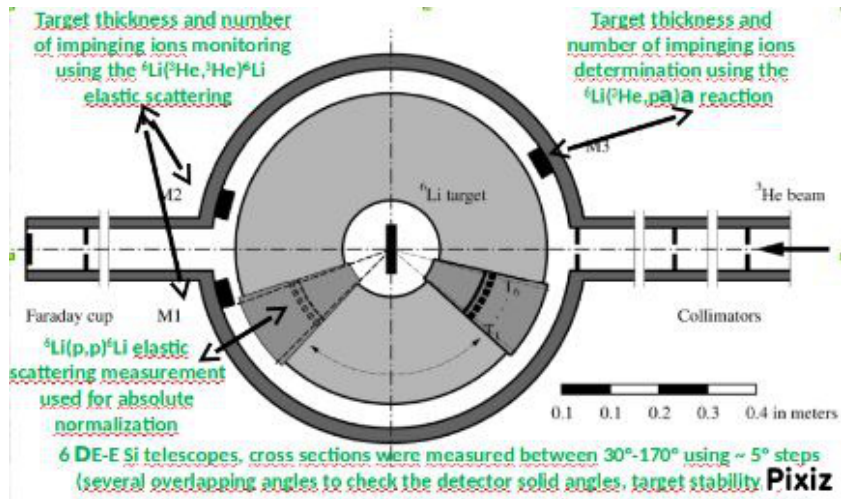
${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ reakció hatáskeresztmetszetének mérése ANC technológiával

- ▶ A transzfer reakció: ${}^6\text{Li} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^7\text{Be} + d$

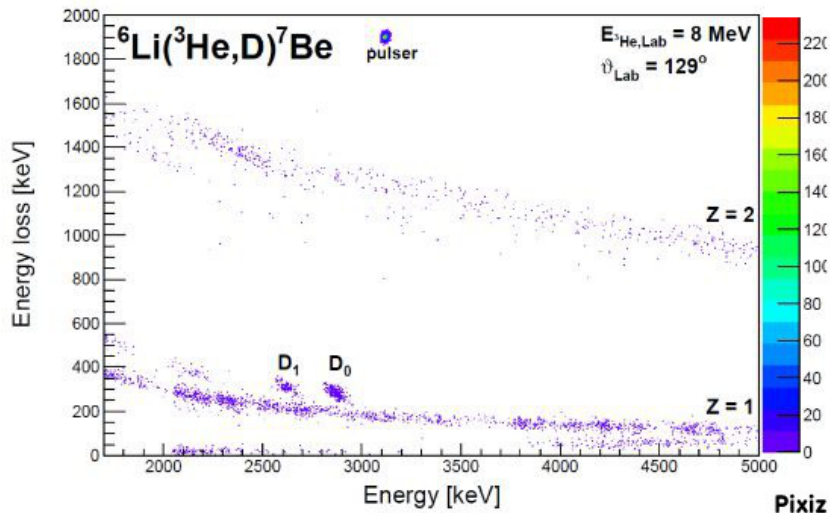


- ▶ Mérést a Florida State University-n végezték
- ▶ 98% tisztaságú ${}^6\text{Li}$ céltárgy, különböző energiájú ${}^3\text{He}$ nyaláb (3 MeV, 5 MeV, 8 MeV)
- ▶ d szögeloszlását, és rögzített szögnél az energiáját mérik

Kísérleti elrendezés:



Tipikus spektrum:



Források:

- ▶ Kiss Gábor Gyula: Alacsony hatáskeresztmetszetek mérése indirekt eljárásokkal
- ▶ Kiss Gábor Gyula: Investigation of the ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ reaction using the Asymptotic Normalization Coefficient technique
- ▶ Izsák Rudolf: A ${}^8\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Li} + n$ Coulomb-disszociációs magreakció kísérleti vizsgálata
- ▶ Gyürky György: Asztrofizikai jelentőségű befogási reakciók kísérleti vizsgálata
- ▶ <http://atomki.mta.hu/files/2016/02/2007KiemelkedoEredmenyek.pdf>