

Mag- és neutronfizika

Magreakció mechanizmusok



Ezek tulajdonképpen „szélsőséges” modellek.

1. Potenciálszórás

A bombázó részecske itt csak az atommag által keltett (nukleáris) potenciálon szóródik, a mag belső szerkezetével nem lép kölcsönhatásba, összetétel-változás, nukleoncsere stb. nincs.

Általában kis bombázó energián valósul meg.

2. Direkt magreakciók

A bombázó részecske gyorsan, egy lépésben hat kölcsön az atommaggal, ill. annak valamely részével.

Mit jelent az, hogy „gyorsan”? Mihez képest?

Példa: legyen a bombázó nyaláb 10 MeV energiájú protonnyaláb

Azaz $\frac{1}{2}mv^2 = 10 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ Ebből

$$v = \sqrt{\frac{3,2 \cdot 10^{-12}}{1,67 \cdot 10^{-27}}} = 4,4 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Egy atommag mérete } R \sim 10^{-14} \text{ m,}$$

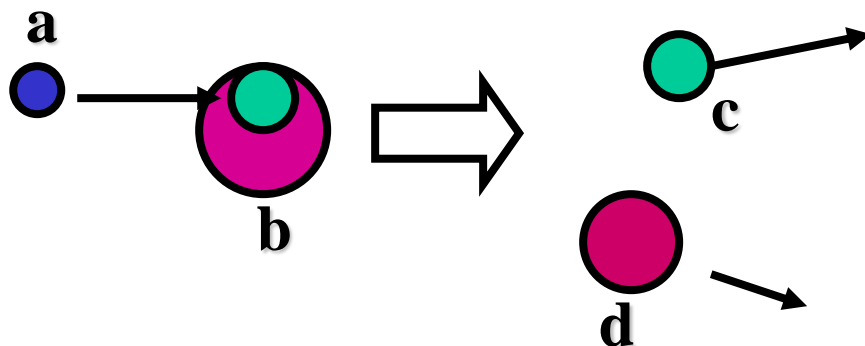
a protonok „kölcsönhatási ideje” az atommaggal tehát:

$$t = \frac{2R}{v} \approx 8,8 \cdot 10^{-21} \text{ s} \sim 10^{-20} \text{ s} \quad \text{Ez a direkt reakciók idejének nagyságrendje.}$$

A direkt magreakciók során a bombázó részecske általában csak a mag egy-két nukleonjával lép kölcsönhatásba. A mag többi része tétlenül „nézi” csak az eseményeket („spectator”).

Direkt magreakciók fontosabb típusai

a) Knock-out reakció (kilökés)



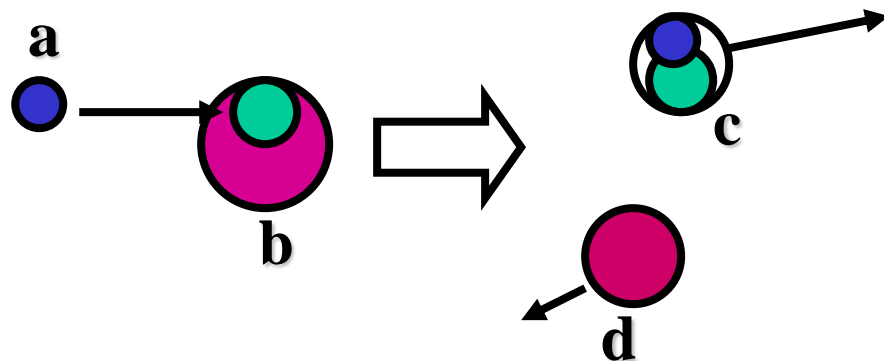
A bombázó részecske ütközik egy nukleonnal (vagy kis nukleoncsoporttal), és azt kilöki a magból

Jellemző reakciók: nagy energiájú bombázó részecskék, (n,n') , (n,p) , (p,n) , (p,p') , (α,n) , (α,p) stb.

Jellegzetességek:

- a meglökött részecske „előre” lép ki, azaz a differenciális hatáskeresztmetszet kis szögeknél nagy, nagy szögeknél kicsiny. „előre szórás”
- a teljes **impulzus** jelentős részét kapja a kilökött részecske, a maradék mag csak kicsit lökődik meg.

b) Pick-up reakció („felcsípés”)



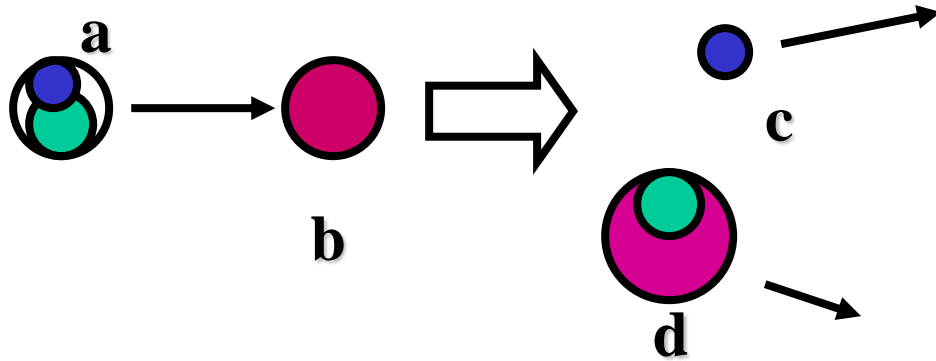
A bombázó részecske felcsíp egy nukleont (vagy kis nukleoncsoportot), és azzal egyesülve lép ki a magból

Jellemző reakciók: nagy energiájú bombázó részecskék, (n,d), (p,d), (d,⁶Li), (α,⁶Li) stb.

Jellegzetességek:

- a részecskecsoport „előre” lép ki (előre-szórás), azaz a differenciális hatáskeresztmetszet kis szögeknél nagy, nagy szögeknél kicsiny.
- a kilépő részecske sebessége \sim bejövő részecske sebessége, emiatt a kilépő részecske impulzusa nagyobb, mint a belépőé. A maradék mag csak kicsit visszafelé „lökődik meg”.

c) Stripping reakció („levetkőztetés”)



Az összetett bombázó részecskéből leszakad egy nukleon (vagy kis nukleoncsoport) az atommagon történő áthaladása közben, és csak a maradék lép ki a magból

Jellemző reakciók: nagy energiájú bombázó részecskék,
(d, n), (d, p), (${}^6\text{Li}$, d), (${}^6\text{Li}$, α) stb.

Jellegzetességek:

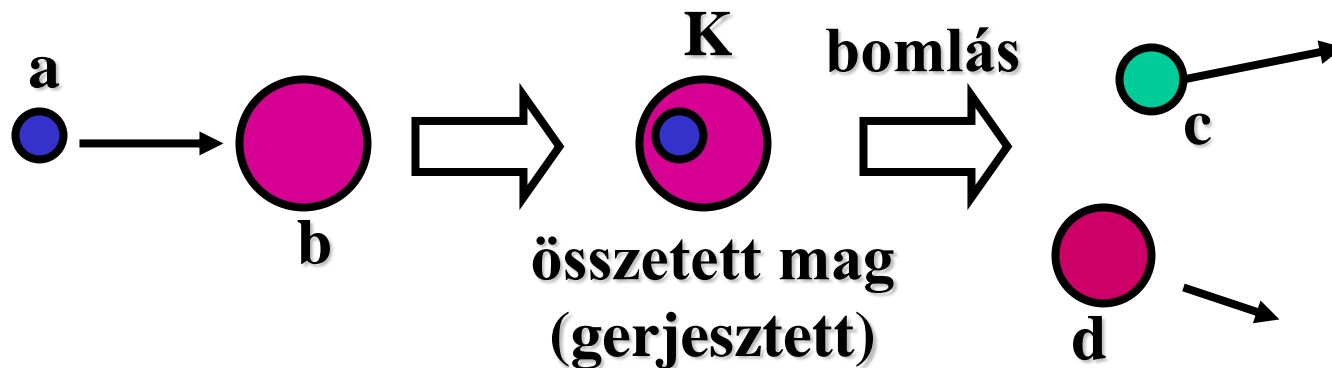
- a maradék részecske „előre” lép ki, azaz a differenciális hatáskeresztmetszet kis szögeknél nagy, nagy szögeknél kicsiny (előre szórás).
- a kilépő részecske **sebessége** kb. akkora, mint a bombázó részecske sebessége volt, ezért az impulzusa kisebb.
- a visszalökött mag kb. akkora **impulzust** kap, amekkorát az átvett részecskecsoport képviselt a reakció előtt.

3. „Összetett mag” (compound-mag) képződésével járó magreakciók

A folyamat két, egymást követő lépésben megy végbe:

a) A bombázó részecske **beépül** az atommagba, új mag keletkezik: ez az összetett (vagy közbenső) mag. A lépés reakcióenergiája az összetett magon belül valamennyi részecskére eloszlik – „termalizálódik”. Az összetett mag **gerjesztett állapotban** keletkezik.

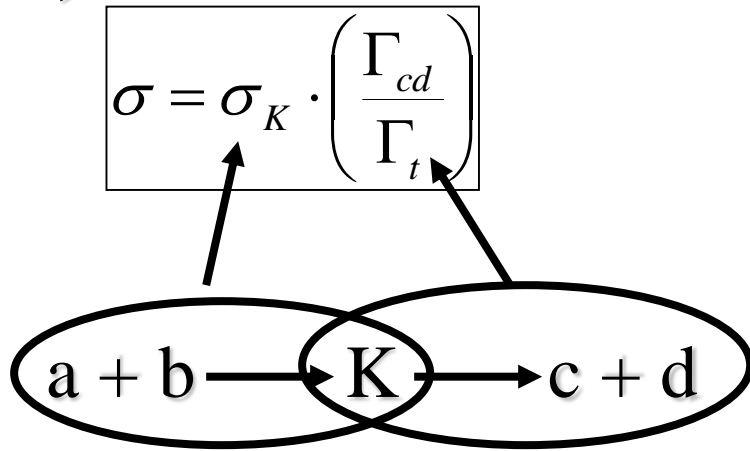
b) Az összetett mag a gerjesztett állapotából **elbomlik** valamelyik bomlási „csatornába”



Sajátosságai:

- a) A reakció ideje sokkal hosszabb, mint a direkt reakcióké ($t > 10^{-16}$ s).
- b) Az összetett mag **létrejöttét** az szabja meg, hogy van-e az adott energiának megfelelő gerjesztett állapot a magban. „Rezonanciák” fellépte!
- c) Az energia eloszlása miatt „hőmérsékleti egyensúly” áll be (termalizáció). Emiatt az összetett mag már nem „emlékszik” arra, hogy hogyan keletkezett. Ennek több következménye van:
 - α) A bomláskor kilépő részecskék irányeloszlása független a bejövő részecskék irányától (**izotróp szögeloszlás** CM rendszerben)
 - β) A bomlás módját egyedül az összetett mag állapota határozza meg (független attól a módtól, ahogyan az összetett mag létrejött). **Elágazási arányok**

d) A reakció hatáskeresztmetszete két tényező szorzatára bontható

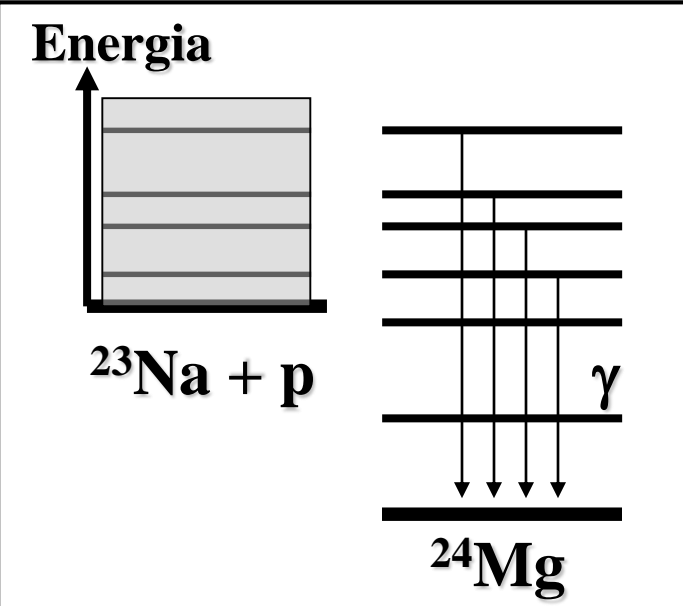


Itt σ_K az összetett mag képződésének hatáskeresztmetszete

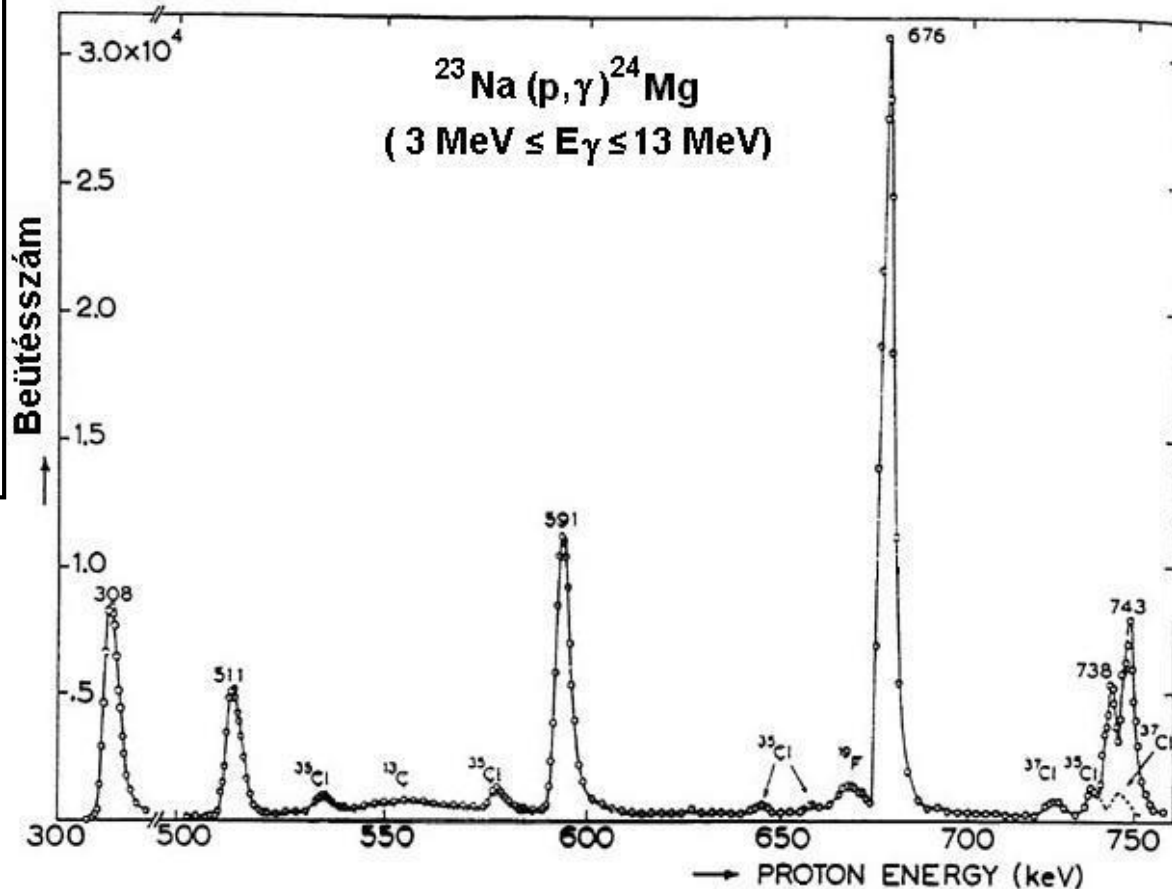
$\left(\frac{\Gamma_{cd}}{\Gamma_t} \right)$ az „elágazási arány”.

Az **elágazási arány** azt mutatja meg, hogy az összes lehetséges bomlási módból hányad részben bomlik a gerjesztett állapot a $c + d$ részecskékre.

1. Példa A közbelső mag létrejötte csak meghatározott energiákon lehetséges \longrightarrow rezonanciák



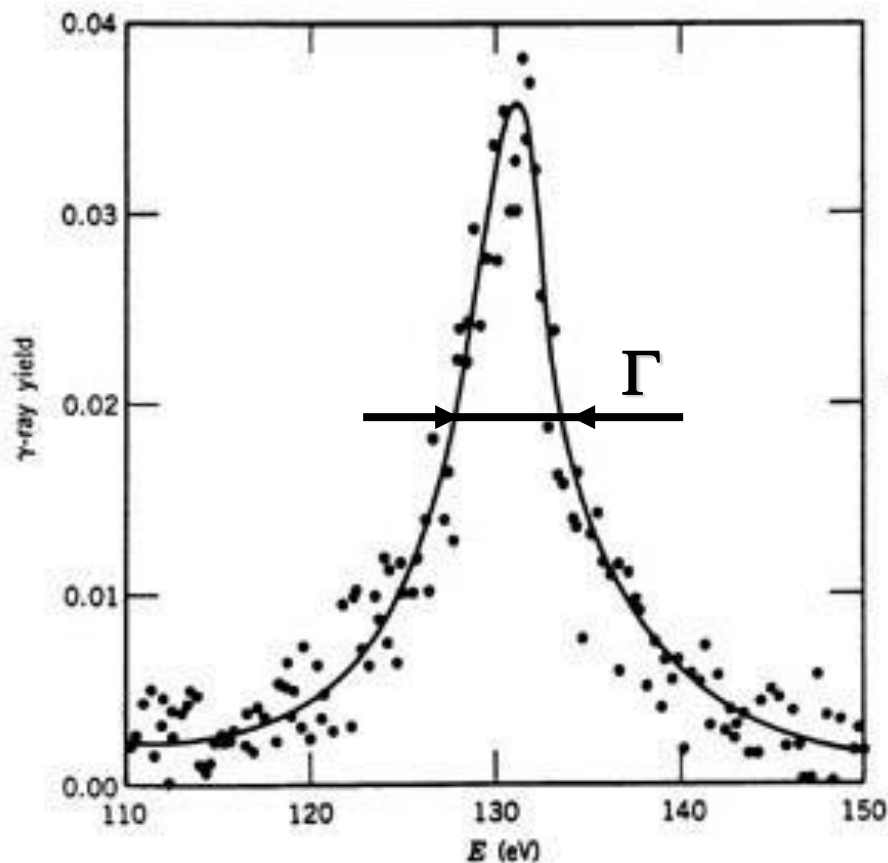
Kísérlet: $^{23}\text{Na}(p,\gamma)^{24}\text{Mg}$



P. W. M. Glaudemans and P. M. Endt, *Nucl. Phys.* **30**, 30 (1962).

A különálló rezonanciák alakja

Breit-Wigner formula:



E_0

$$\sigma(E) \sim \frac{\left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}{(E - E_0)^2 + \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}$$

„hely”

„szélesség”

A rezonancia szélessége és az állapot τ élettartama összefügg:

$$\Gamma \cdot \tau \approx \frac{h}{2\pi}$$

Illetve a T felezési idővel:

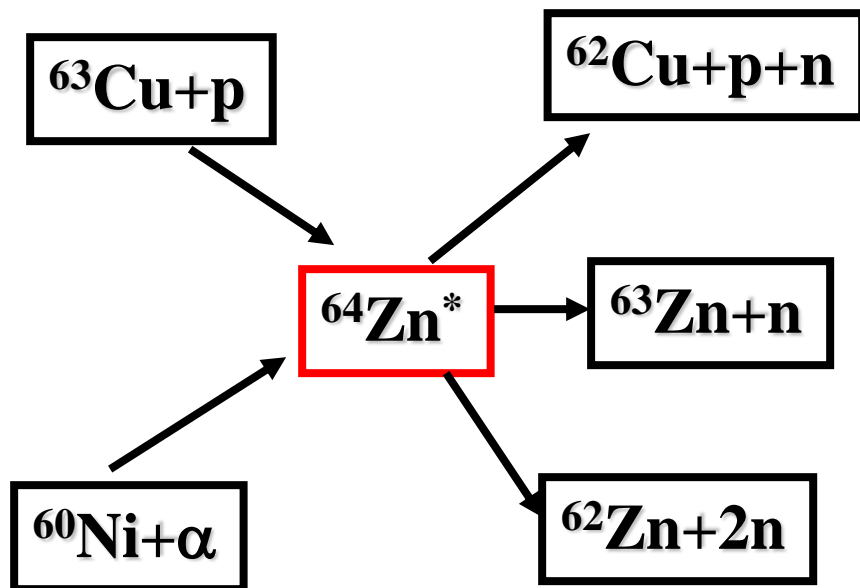
$$\Gamma \cdot T \approx \frac{h}{2\pi} \cdot \ln 2$$

Itt h a Planck-állandó

Az összefüggés oka: Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés (kvantummechanika)

2. Példa:

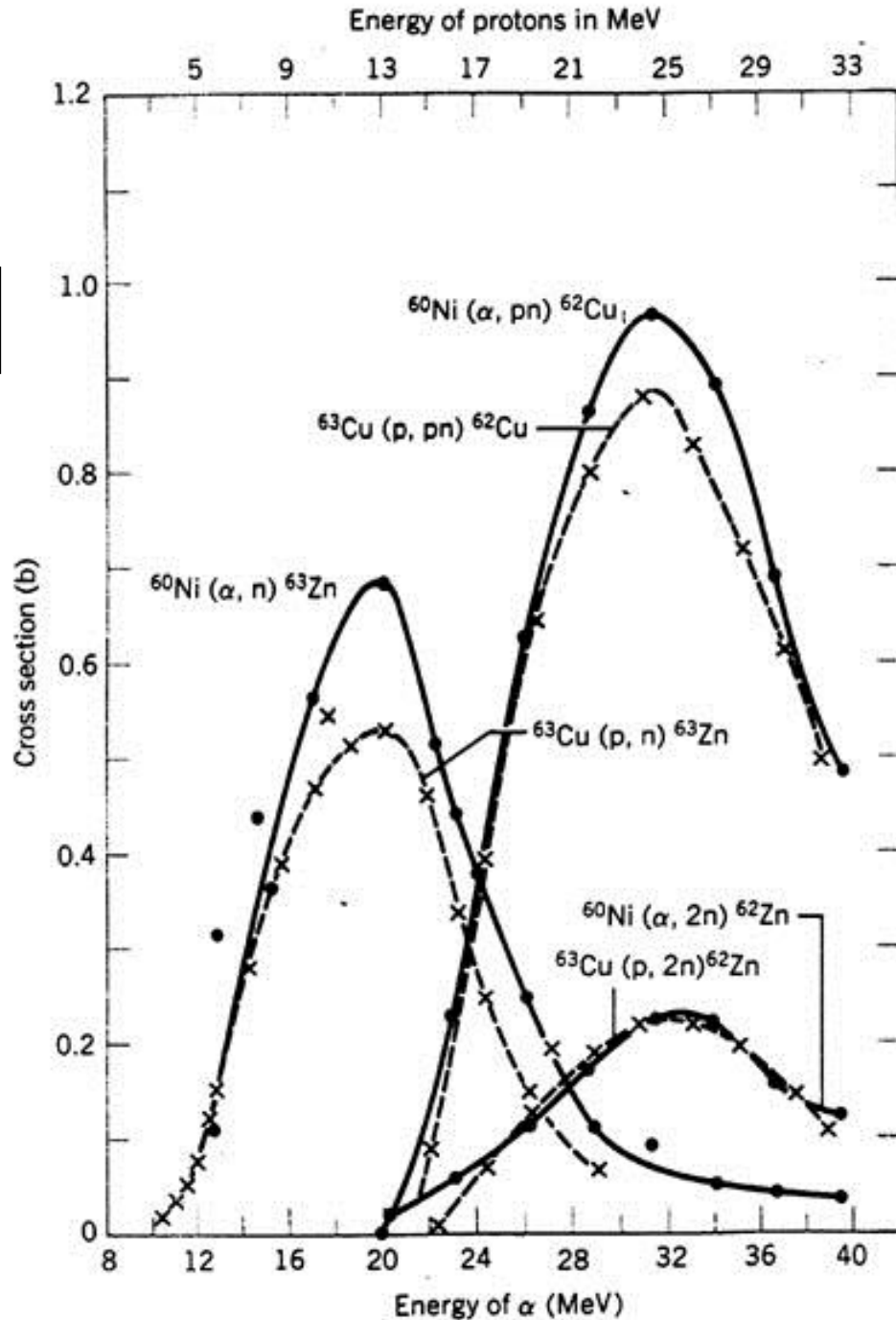
A bomlási mód független a keletkezéstől



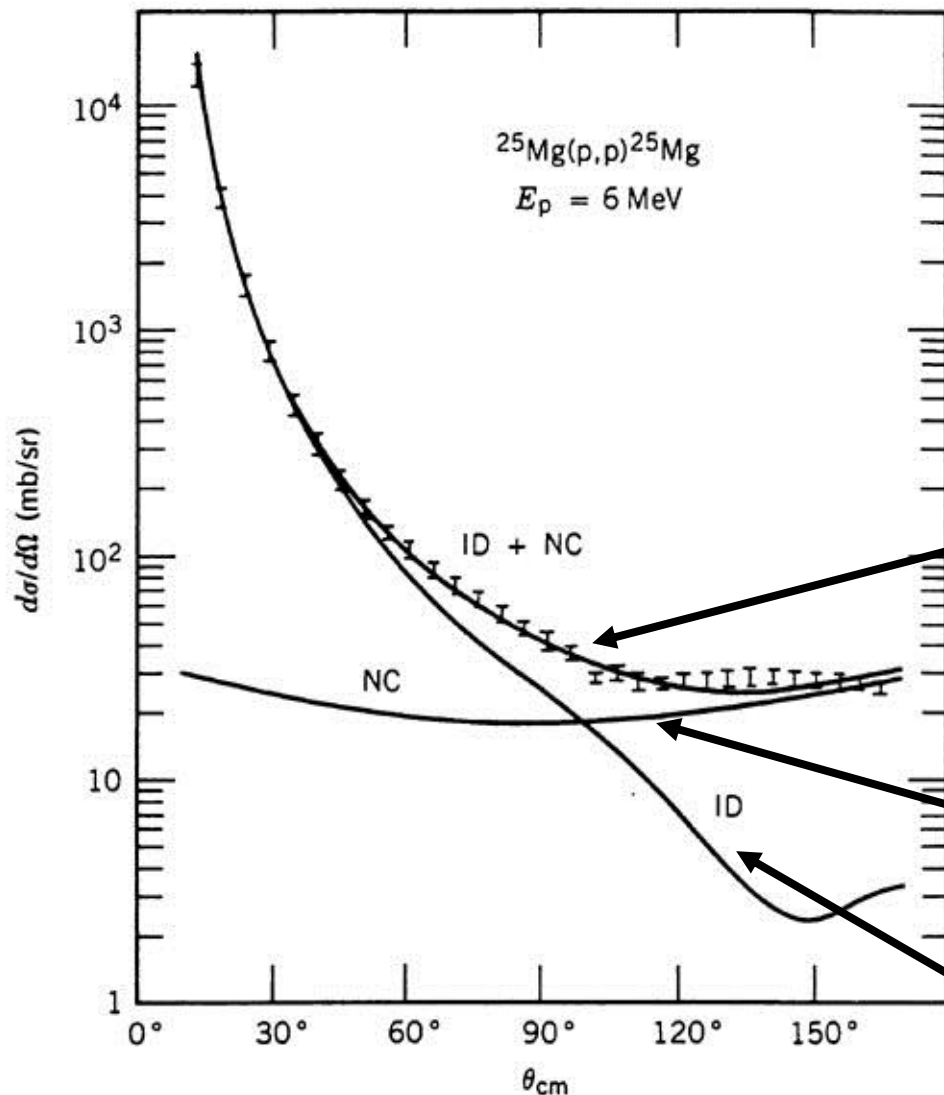
létrehozási
módok

összetett mag

bomlási
módok



Vannak esetek, amikor a „direkt” és „compound” reakciómechanizmus egyszerre, keverten jelentkezik.



Pl. $^{25}\text{Mg}(p,p')^{25}\text{Mg}$
szögeloszlása

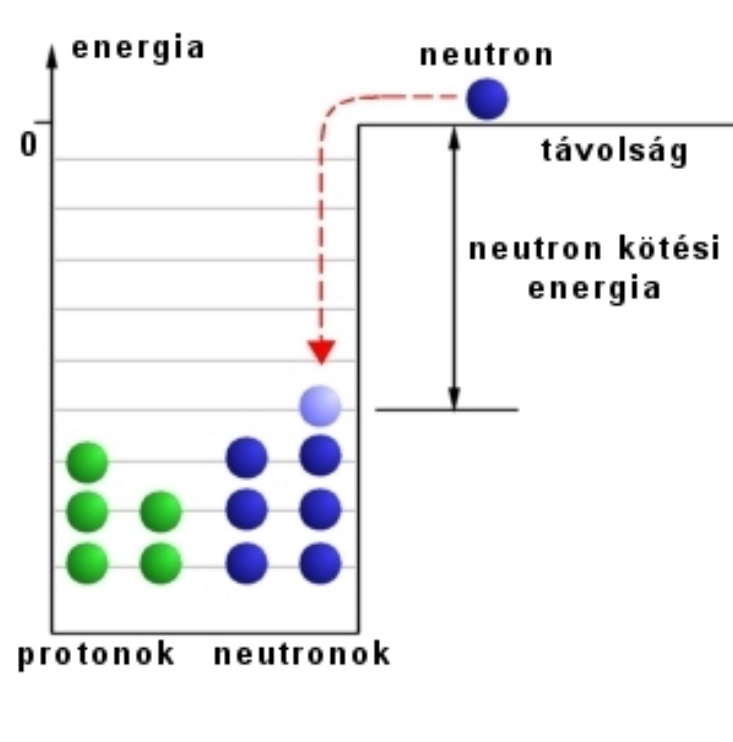
Kísérletileg mért értékek

„compound” járulék
(majdnem szögfüggetlen)

„direkt” járulék
(erős előre-szórás)

Speciális neutronos reakciók hatáskeresztmetszete

1) Kis energiájú neutronok befogása



Általában exoterm folyamat, mert befogáskor a neutron kötési energiája felszabadul.

A neutron semleges, ezért aktiválási energia sincs \longrightarrow akármilyen kis energiájú neutron is létrehozhatja

A bekövetkezés valószínűsége arányos azzal az idővel, amit a neutron a mag közelében eltölt

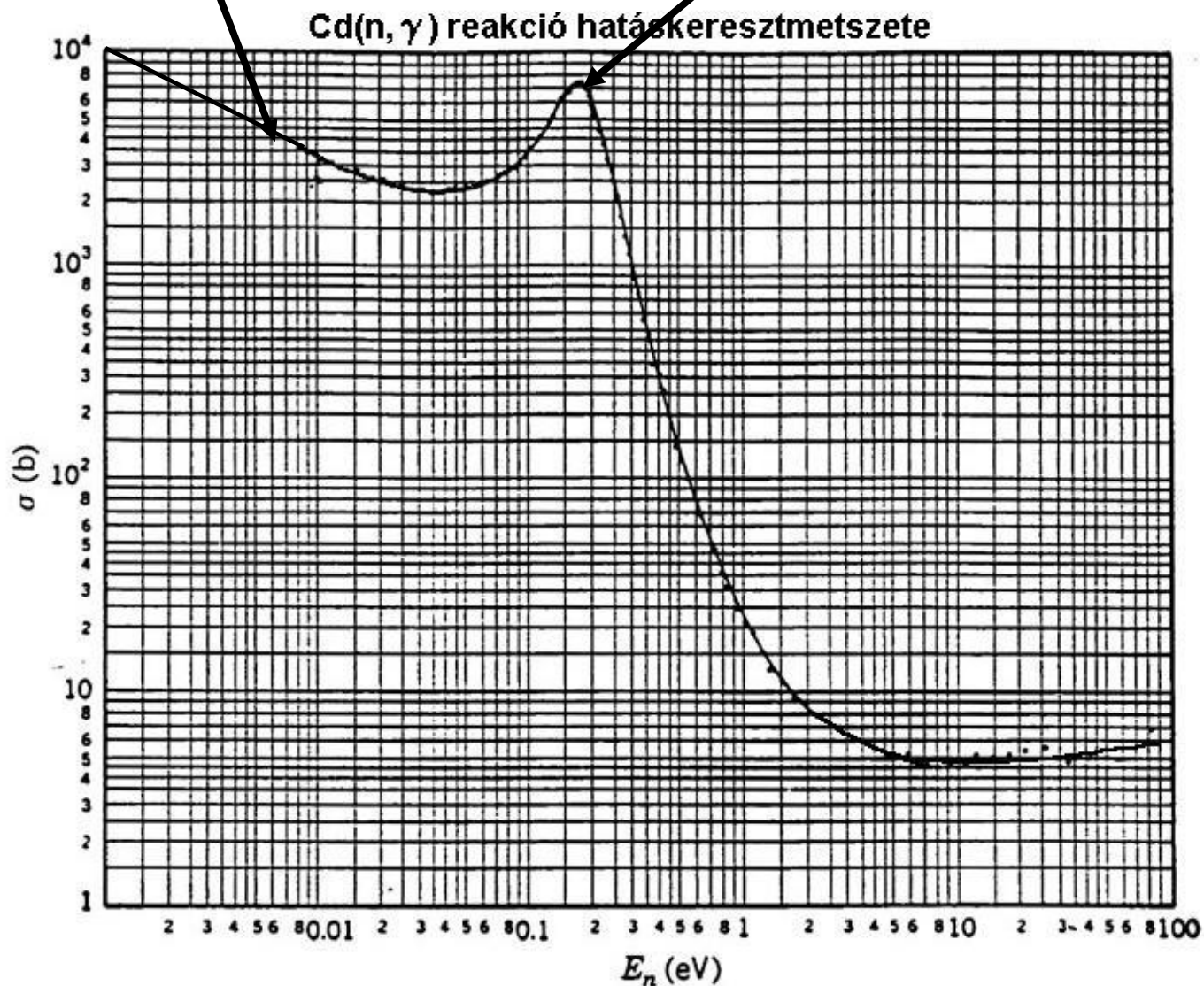
$$\sigma \sim t = \frac{2R \leftarrow \text{mag sugara}}{v \leftarrow \text{neutron sebessége}}$$

Ez az ún. $1/v$ hatáskeresztmetszet

Pl. a kadmium neutronbefogási hatáskeresztmetszete $\sigma_{n,\gamma}$:

$1/v$ tartomány

rezonancia



**Fontos
n-elnyelő és
árnyékoló
anyag!!**

2. Példa

Urán-izotópok hasadási hatáskeresztmetszete



^{235}U és ^{238}U hasadási hatáskeresztmetszetének függése a neutronenergiától

^{238}U -nál energiaküszöb