Mag- és neutronfizika

Atommag-reakciók

Jelentőségük: az atommagokról szerzett ismereteink nagy része atommag-reakciók vizsgálatából származik

Első mesterségesen létrehozott (megfigyelt) atommag-reakció:

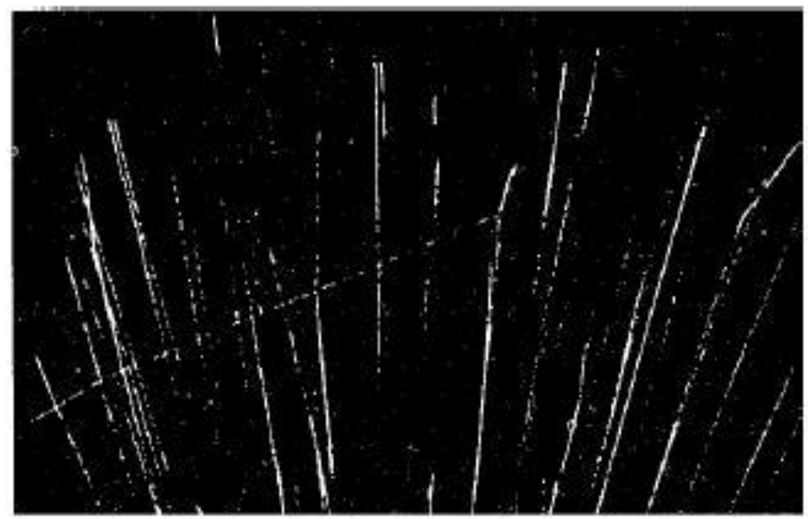
E. Rutherford (1919)

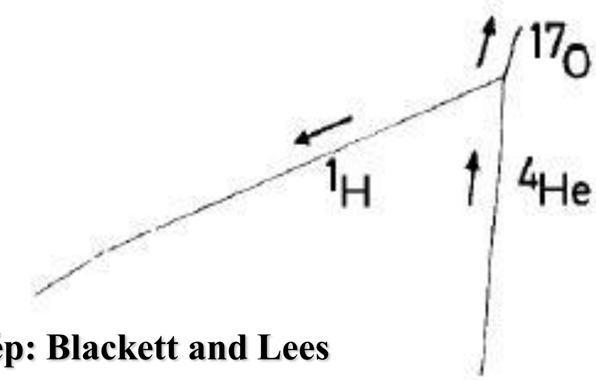
Megfigyelése: ködkamrában

$$ {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} $$

α-részecske, rádiumból

Nitrogén, ködkamra töltőgáz





Kép: Blackett and Lees

Általánosan:

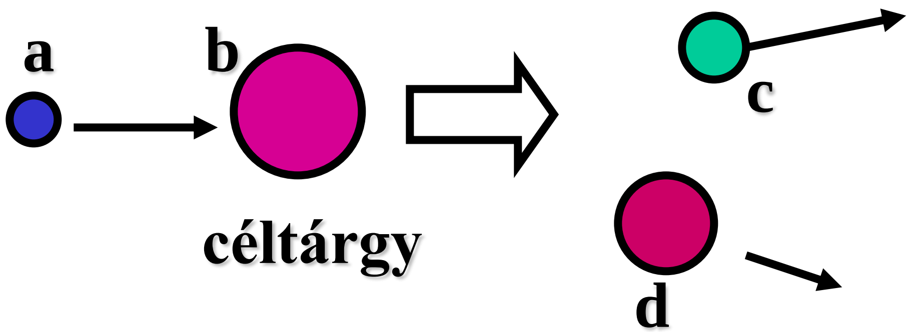
a + b ⟶ c + d + e + … (jelölés)

Kiinduló állapot ⟶ **Végállapot**

(Kettőnél több részecske ütközése nem valószínű)

Gyakran az egyik részecske a laboratóriumban nyugalomban van: ⟶ céltárgy (target),

a másik pedig mozog ⟶ bombázó részecske (projectile)



kiinduló állapot

Jelölés: b (a, c) d

céltárgy (áll)

végállapot

Szórások: speciális magreakciók

Jellemző: a = c, (és b = d), azaz
a részecskék típusa (összetétele) nem változik meg.

Rugalmas szórás: a részecskék nem gerjesztődnek,
a teljes mozgási energia megmarad

Rugalmatlan szórás: részecskék gerjesztődnek (utána γ–bomlás),
a teljes mozgási energia NEM marad meg.

Példák magreakcióra	elnevezés	rövid jelölés
$n+{}^{235}_{92}U\rightarrow{}^{235}_{92}U+n'$	**rugalmas neutronszórás** *(n,n')*	${}^{235}_{92}U(n,n')^{235}_{92}U$
$n+{}^{235}_{92}U\rightarrow{}^{235}_{92}U+n'+\gamma$	**rugalmatlan *n*-szórás** *(n,n'γ)*	${}^{235}_{92}U(n,n'\gamma)^{235}_{92}U$
$n+{}^{235}_{92}U\rightarrow{}^{236}_{92}U+\gamma$	***n*-befogás *γ*-emisszióval, sugárzásos befogás** *(n,γ)*	${}^{235}_{92}U(n,\gamma)^{236}_{92}U$
$\alpha+{}^{9}_{4}Be\rightarrow{}^{12}_{6}C+n$	***n*-kibocsátás *α*-részecske hatására,** (α,n) **reakció**	${}^{9}_{4}Be(\alpha,n)^{12}_{6}C$
$n+{}^{59}_{27}Co\rightarrow{}^{58}_{27}Co+2n$	*(n,2n)* **reakció**	${}^{59}_{27}Co(n,2n)^{58}_{27}Co$

Megmaradó mennyiségek magreakcióknál:

- nukleonszám (A) (bariontöltés)
- elektromos töltés

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

- könnyűrészecske-szám (leptontöltés) (ha elektron, pozitron, neutrínó stb. is szerepel a reakcióban)

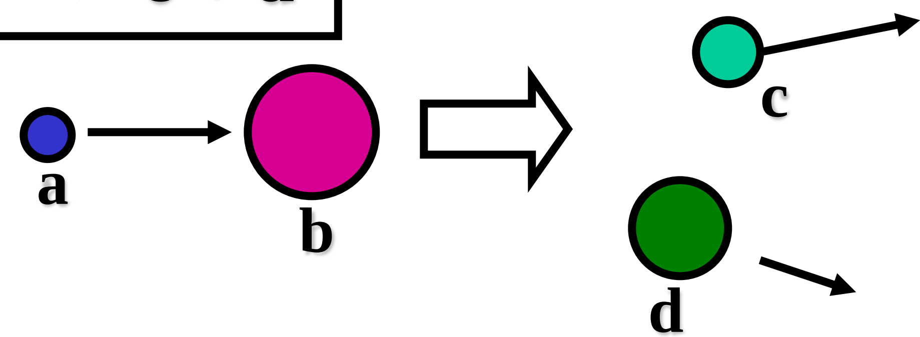
- energia ($E = mc^2$ figyelembe vételével)
- impulzus (lendület)
- perdület (impulzusmomentum)

Kinematikai paraméterek

Energiaviszonyok

A vizsgált magreakció: $\boxed{a + b \longrightarrow c + d}$

M_a, M_b stb. a részecskék **tömege**,
T_a, T_b stb. a **mozgási energiájuk**



Az energia megmaradása:

$$(M_a \cdot c^2 + T_a) + (M_b \cdot c^2 + T_b) = (M_c \cdot c^2 + T_c) + (M_d \cdot c^2 + T_d)$$

Gyűjtsük egy oldalra a tömegeket:

$$\boxed{(M_a + M_b - M_c - M_d)\cdot c^2 = T_c + T_d - T_a - T_b = Q} \qquad (*)$$

A Q mennyiség neve: reakcióenergia

<u>Fizikai jelentése</u> a második egyenlet alapján látható:

$$(T_c + T_d) - (T_a + T_b) = Q$$

$Q > 0 \longrightarrow$ **A reakció mozgási energiát termelt (exoterm, exoerg, „energiatermelő" reakció)**

$Q < 0 \longrightarrow$ **A reakció mozgási energiát fogyasztott (endoterm, endoerg, „energiafogyasztó" reakció)**

$Q = 0 \longrightarrow$ **A reakcióban a mozgási energia megmaradt (ilyen pl. a rugalmas szórás)**

$$\boxed{(M_a + M_b - M_c - M_d)\cdot c^2 = T_c + T_d - (T_a + T_b) = Q} \qquad (*)$$

Energiaküszöb endoterm reakcióknál $(Q<0)$.

Mivel $T_c + T_d \geq 0$, **ezért** $(T_a + T_b) \geq -Q > 0$.

Szavakban: a kiinduló részecskéknek legalább ekkora mozgási energiája kell legyen ahhoz, hogy a reakció végbemenjen!

A reakcióenergia és a részecskék tömege:

A (*) egyenletből $Q = (M_a + M_b - M_c - M_d)\cdot c^2$

Ennek segítségével meghatározható a reakcióenergia!

Itt az M_a, M_b **stb. nem feltétlenül a részecskék alapállapoti nyugalmi tömege! Pl. ha a** d **részecske** E **energiájú gerjesztett állapotban keletkezik, akkor** $M_d = M_d(0) + E/c^2$

alapállapoti nyugalmi tömeg

<u>**Aktiválási energia**</u> **(elektromosan töltött reakciópartnerek esetén)**

A fúziós energiatermelés egyik alap-reakciója:

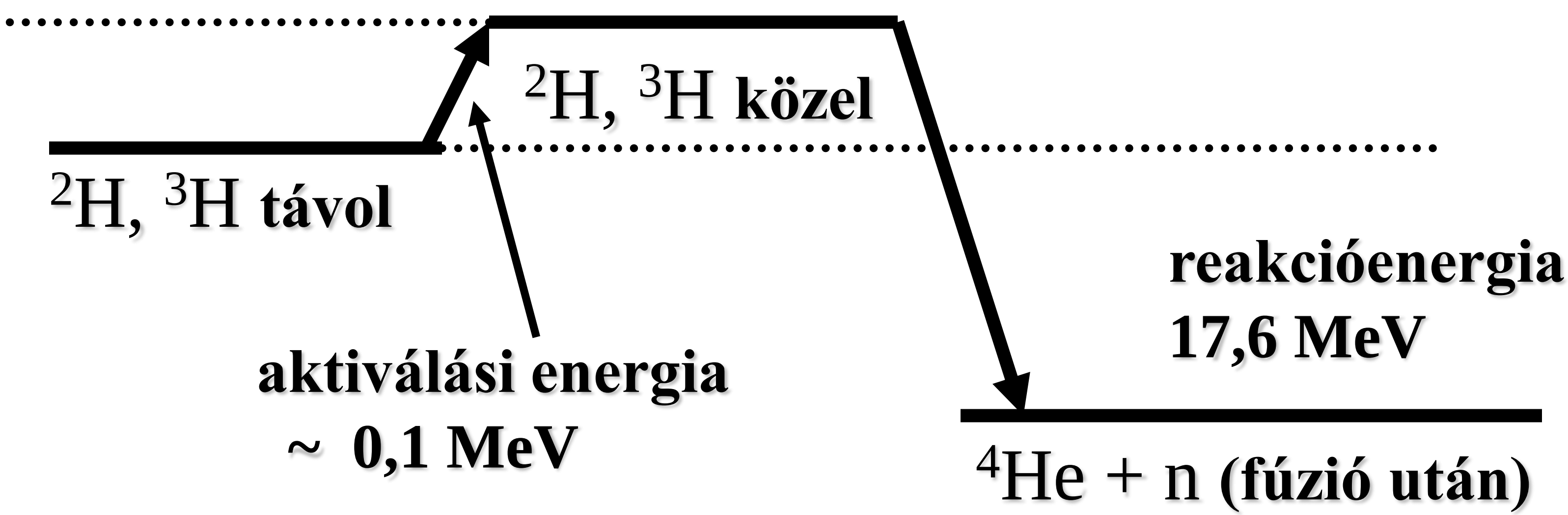
$$ {}_{1}^{2}\mathrm{H} + {}_{1}^{3}\mathrm{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + \mathrm{n} + 17{,}6\ \mathrm{MeV} $$

A reakció exoterm, mégsem megy magától végbe!

Ok: a nukleáris kölcsönhatás rövid hatótávolságú, és a reakciópartnereknek közel kell egymáshoz kerülniük.

A Coulomb-taszítás miatt ehhez (mozgási) energia kell!

Az energiaviszonyok tehát:



Atommag-reakciók kinematikai leírásának alapjai

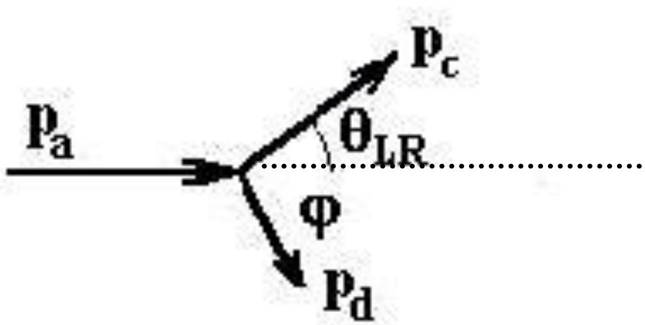
Alap: energia- és lendület-megmaradás.

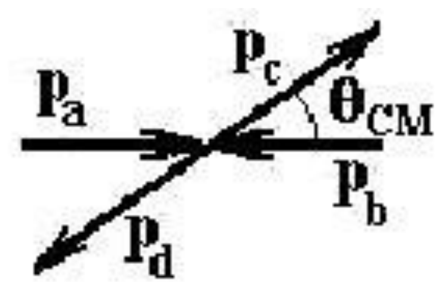
Energia-megmaradással már foglalkoztunk.

Lendület-megmaradás: $\boxed{p_a + p_b = p_c + p_d}$ **vektor-egyenlet!!**

Koordinátarendszer választás:

Laboratóriumi rendszer	**Tömegközépponti rendszer** (center of mass, CM)
(Itt születnek a mérési eredmények)	(Ez a reakció „természetes” koordinátarendszere)
A céltárgymag általában nyugszik, azaz $p_b = 0$, vagyis $p_a = p_c + p_d$	$p_a + p_b = p_c + p_d = 0$





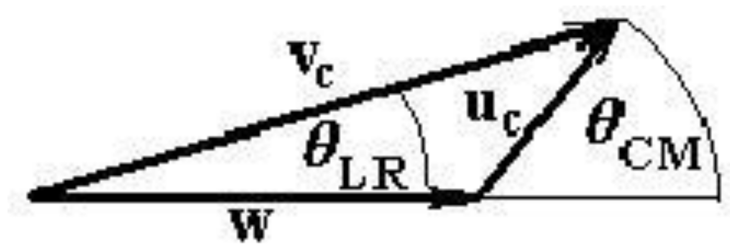
Természetesen $\theta_{LR} \neq \theta_{CM}$

A két rendszer egymáshoz képest egyenes vonalú egyenletes mozgást végez $\mathbf{w}$ sebességgel.

$$\mathbf{w} = \frac{\mathbf{p}_a + \mathbf{p}_b}{M_a + M_b}$$

Itt a jobb oldalon a laboratóriumi rendszerben mért impulzusok vannak (levezetés a gyakorlaton).

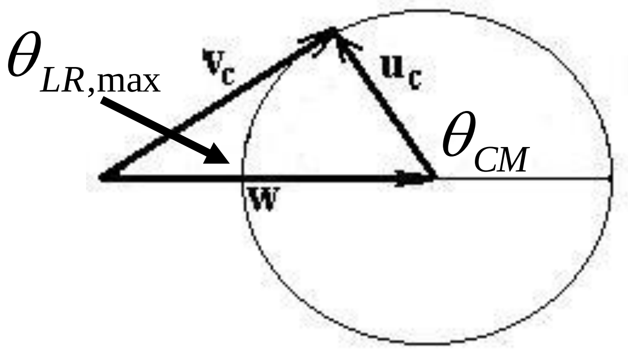
A laboratóriumi és a CM-rendszerben mért szögek közötti összefüggés:



Itt v_c a c részecske laboratóriumi rendszerben mért sebessége, u_c pedig a CM rendszerben mért sebesség

Nyilván $u_c \sin\theta_{CM} = v_c \sin\theta_{LR}$ **amiből** $\sin\theta_{LR} = \dfrac{u_c}{v_c}\sin\theta_{CM}$

Ebből $|\sin\theta_{LR}| \le \dfrac{u_c}{v_c}$



Ha $u_c < v_c$, akkor csak bizonyos szögtartományokban lehetnek szóródott részecskék !
(Bármekkora is a θ_{CM})

Ennek feltétele: $|w| > |u_c|$

Ez olyankor következik be, amikor a bombázó részecske tömege nagyobb, mint a céltárgymag tömege.
Pl. $^1H(\alpha, \alpha')^1H$ reakció (α-részecskék szóródása protonokon

Kiegészítés endoterm magreakciók energiaküszöbéhez

Láttuk: $(T_a + T_b) \ge -Q$ **. Ez azonban csak CM-rendszerben igaz, mert itt a rendszer eredő impulzusa (és mozgási energiája) is 0. Ezek a mozgási energiák tehát CM-rendszerbeli energiák.**

Laboratóriumi rendszerben van eredő lendület, és így mozgási energia is, amelynek a reakció után is meg kell maradni!

Tegyük fel, hogy a b céltárgymag áll, azaz $T_b=0$.

Ekkor az endoterm reakció energiaküszöbe:
(levezetés a gyakorlaton)

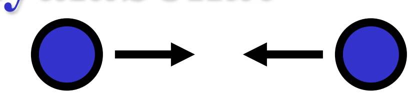
$$\boxed{T_a > -Q\left(1+\frac{M_a}{M_b}\right)}$$

Itt T_a a laboratóriumi rendszerbeli mozgási energia

Ha $M_a >> M_b$, akkor $T_a >> -Q$ is lehet az endoterm magreakció végbemenetelének feltétele!

<u>Kis kitérő:</u>

Ha ellentétes impulzusú részecskékből álló ütközőnyalábokat használunk, akkor Lab.rendszer = CM rendszer



Ilyen megoldással különösen nagy energiakoncentráció lehetséges (részecskefizika, nagy tömegű, egzotikus részecskék keltése)