

A primordiális nukleoszintézis számítógépes szimulációja

Pásztor Attila, ELTE

Témavezető: Csótó Attila

Atomfizikai Tanszék

Primordiális nukleoszintézis

- Jelenlegi elképzeléseink szerint a kémiai elemek az ősrobbanás utáni percekben-órákban és a csillagfejlődés különböző szakaszaiban keletkeztek
- ősrobbanás utánihoz közeli elemgyakoriság megfigyelésekből kapható a következő izotópokra: ^2H , ^4He , ^7Li
- ősrobbanás modell + további ismert fizika (statisztikus fizika, magfizika, részecskefizika...) \rightarrow kiszámolhatók az elemeloszlások

Primordiális nukleoszintézis

- Az ősrobbanás után durván 10MeV-től 10keV hőmérsékletig modellezzük az univerzumot
- Az időfejlesztett paraméterek a fotonhőmérséklet, a neutrínóhőmérséklet, a barionszámsűrűség és a könnyű elemek(H,D,T,³He,⁴He,⁷Li,⁷Be) gyakoriságai
- A megoldott egyenletrendszer tartalmazza a Friedmann-egyenleteket(Amelyek a kozmológiai változók időfejlődését adják.) és a rátaegyenleteket(Ezek lényegében Boltzmann-egyenletek a könnyű atommagokra)

Az egyenletek

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho$$

$$\dot{H} = -H(\rho + P) \quad \Rightarrow \quad \dot{T} = \dots$$

$$\rho = \rho_\gamma + \rho_e + \rho_\nu (+\rho_b + \rho_x) \quad \dot{T}_\nu = \dots$$

$$\dot{n}_\nu + 3Hn_\nu = 0$$

$$\dot{n}_B + 3Hn_B = 0$$

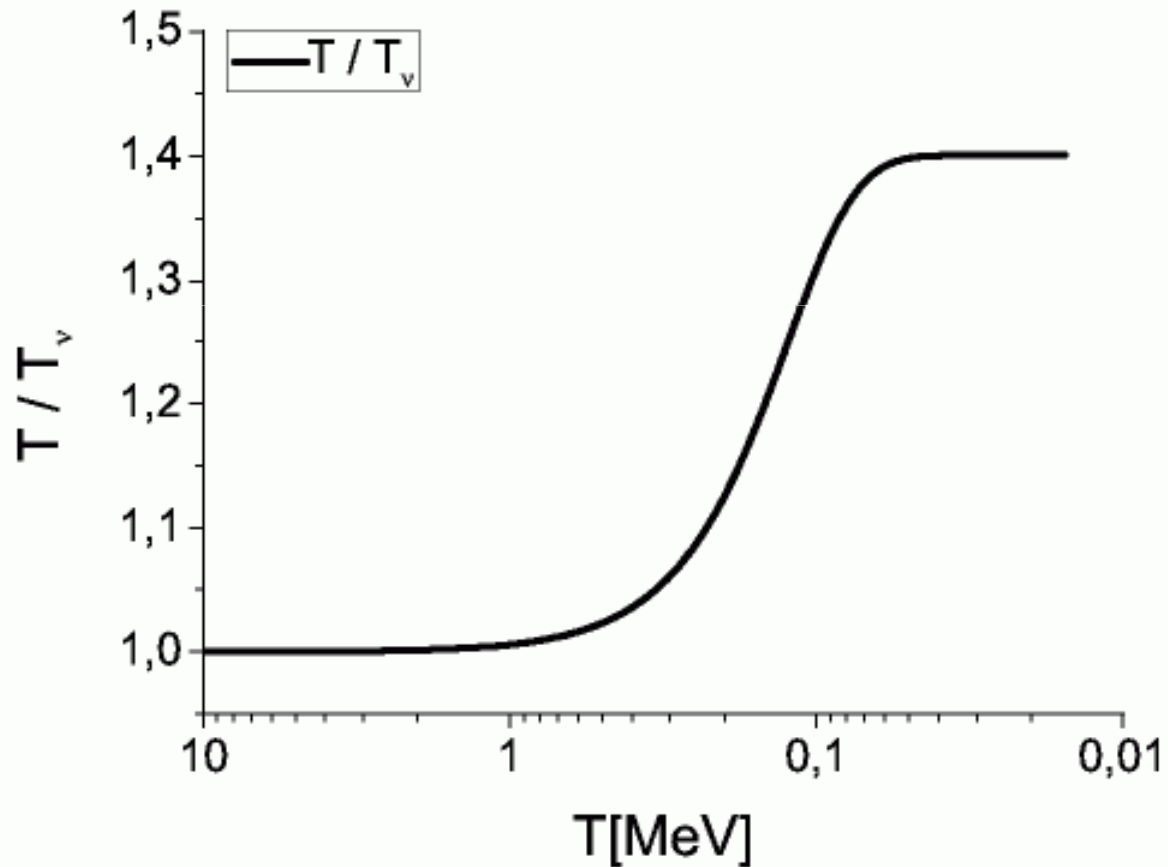
$$\dot{Y}_i = \sum_j C_j^i Y_j - \sum_j C_i^j Y_i + \sum_{jk} C_{jk}^i Y_j Y_k - \sum_{jk} C_{ij}^k Y_i Y_j + \dots$$

$$C(T, T_\nu, n_B, \sigma)$$

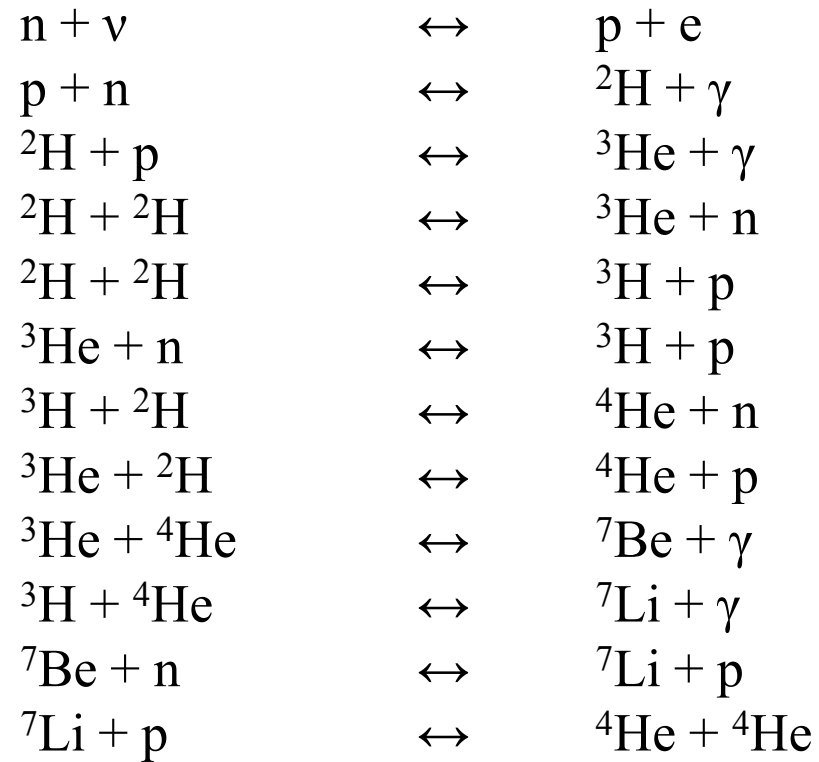
A modell paramétereirei

- Barion-foton arány
- Könnyű neutrínófajták száma, vagy másképp a relativisztikus effektív degenerációs fok
- A neutron átlagos életideje, vagy másképp a Fermi-állandó
- Magreakciók hatáskeresztmetszetei, illetve az azokból kapott ráták
- Kötési energiák(deutérium!), $m_n - m_p$
- Gravitációs állandó

A neutrínóhőmérséklet

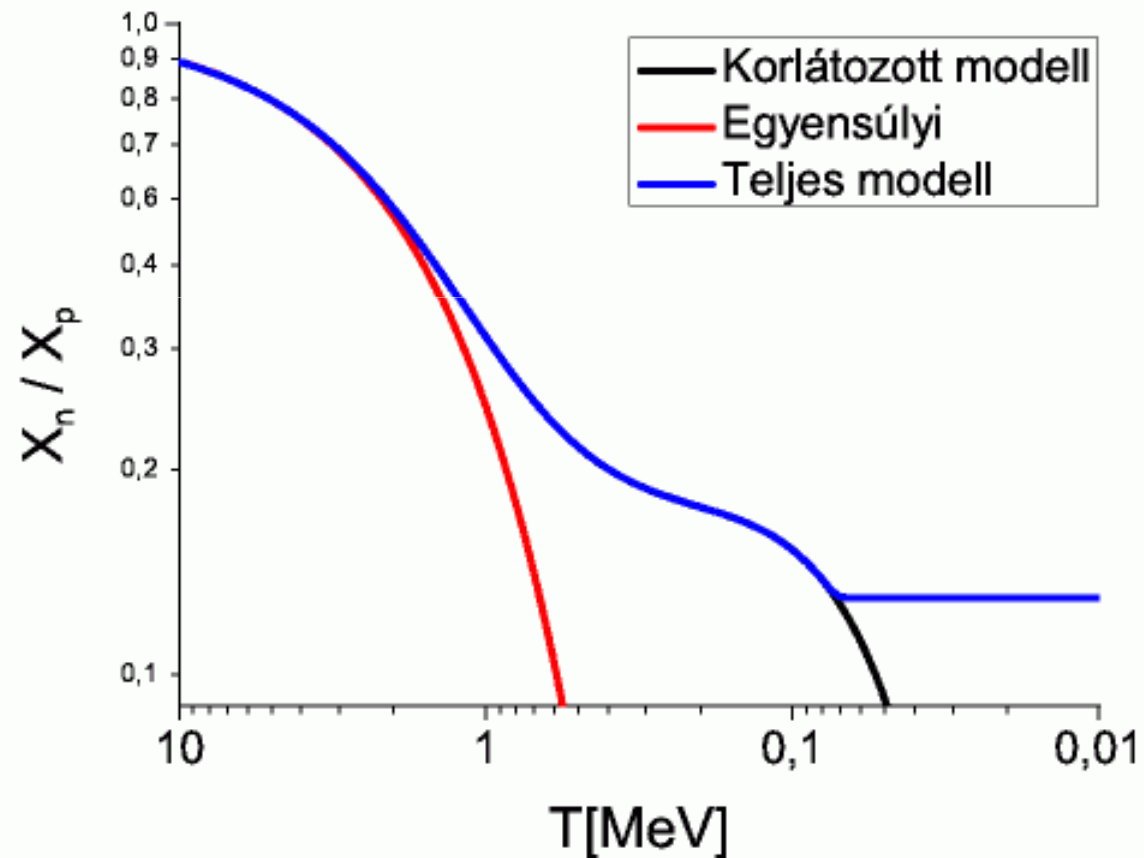


A domináns magreakciók

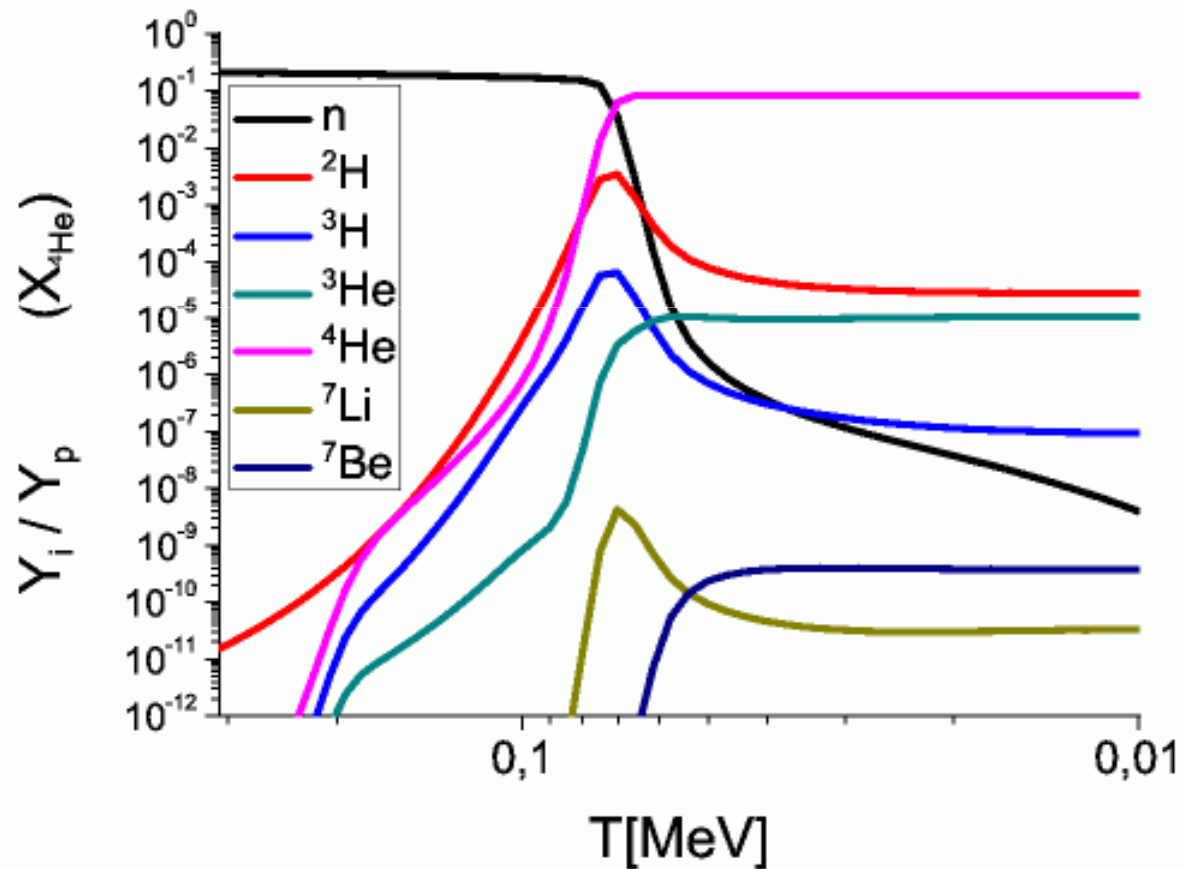


Neutron-proton arány

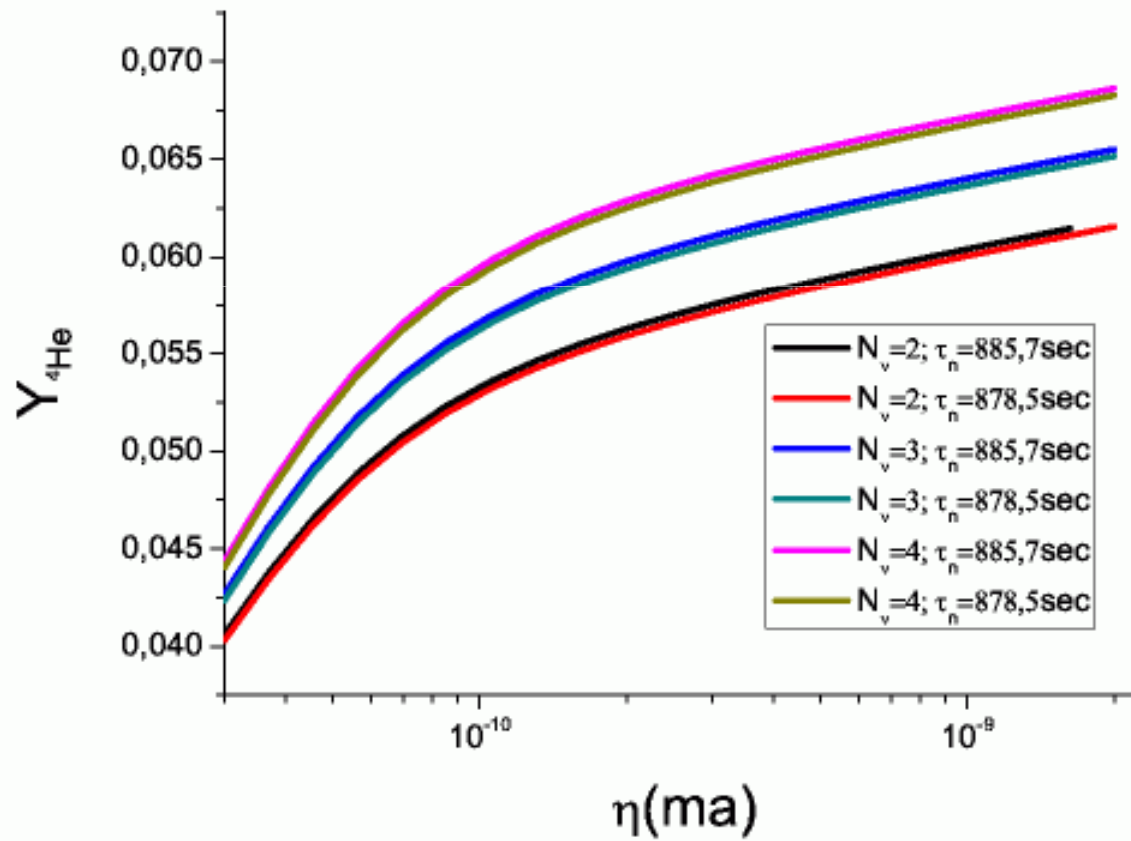
$$(N/P)_{\text{egy}} = \exp(-(m_n - m_p)/T)$$



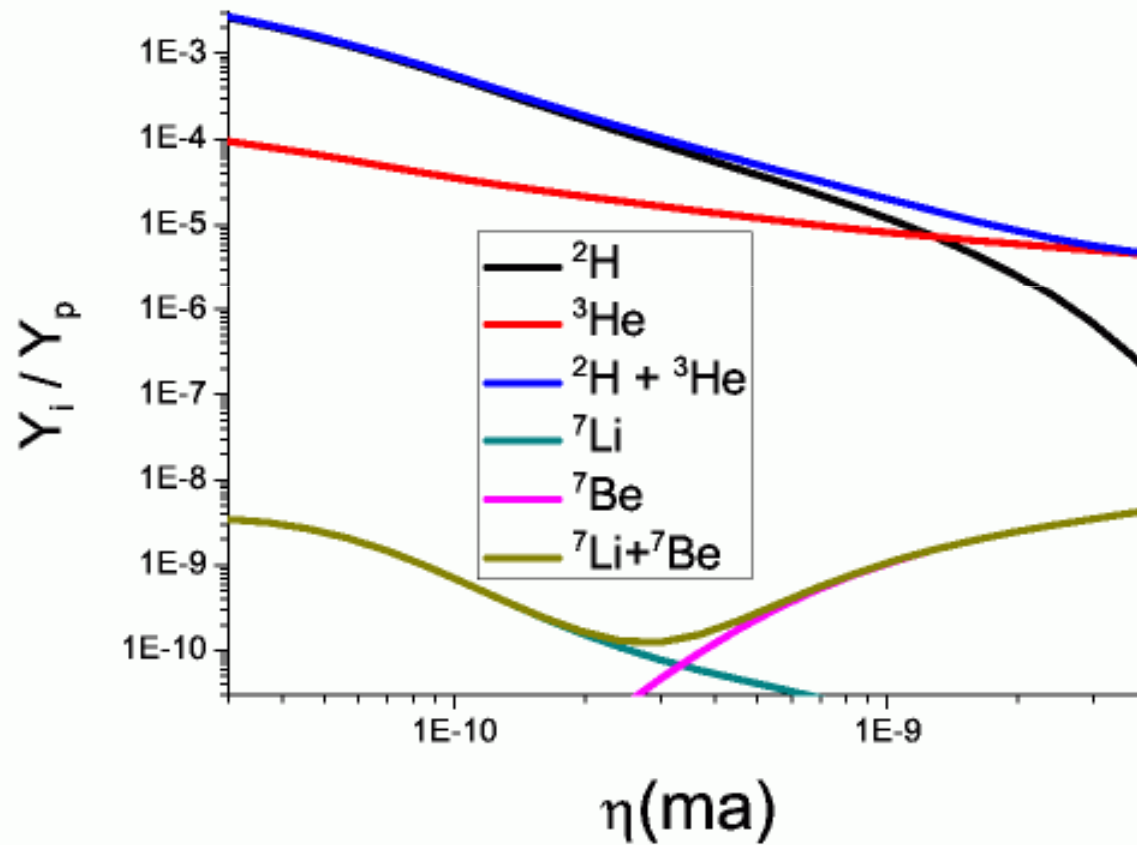
Az elemek keletkezése



Paraméterfüggés 1.



Paraméterfüggés 2.



Effektív degenerációs fok

Relativisztikus anyag energiasűrűsége:

$$\rho = (\pi^2/30) \cdot g_* \cdot T^4$$

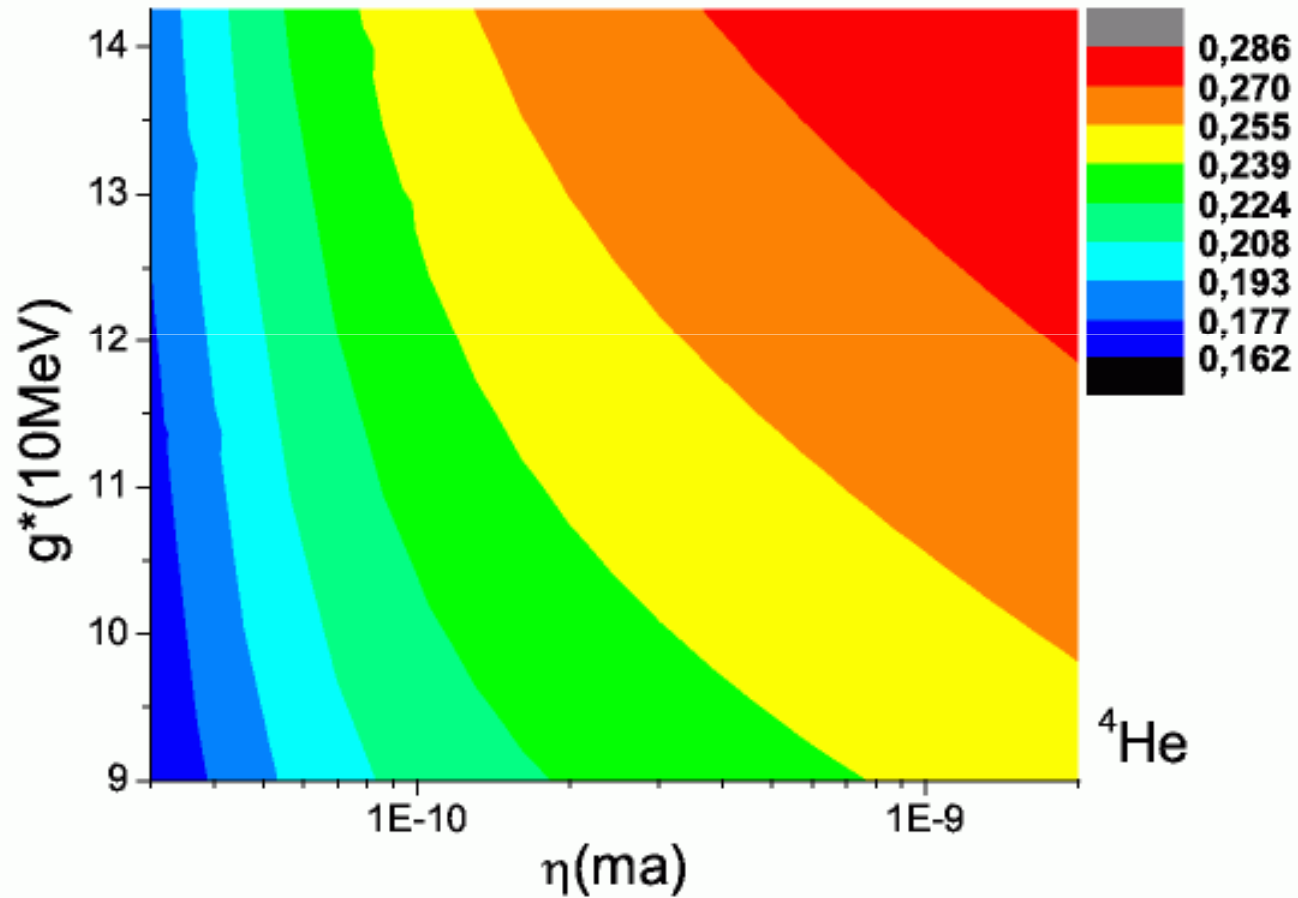
Effektív degenerációs fok:

$$g_* = (7/8) \cdot \sum g_f \cdot (T_f/T)^4 + \sum g_b \cdot (T_b/T)^4$$

Pl. 10MeV-en fotonok+elektronok, pozitronok+neutrínók:

$$2 + (7/8) \cdot 2 \cdot 2 + (7/8) \cdot 2 \cdot 3 = 10.75$$

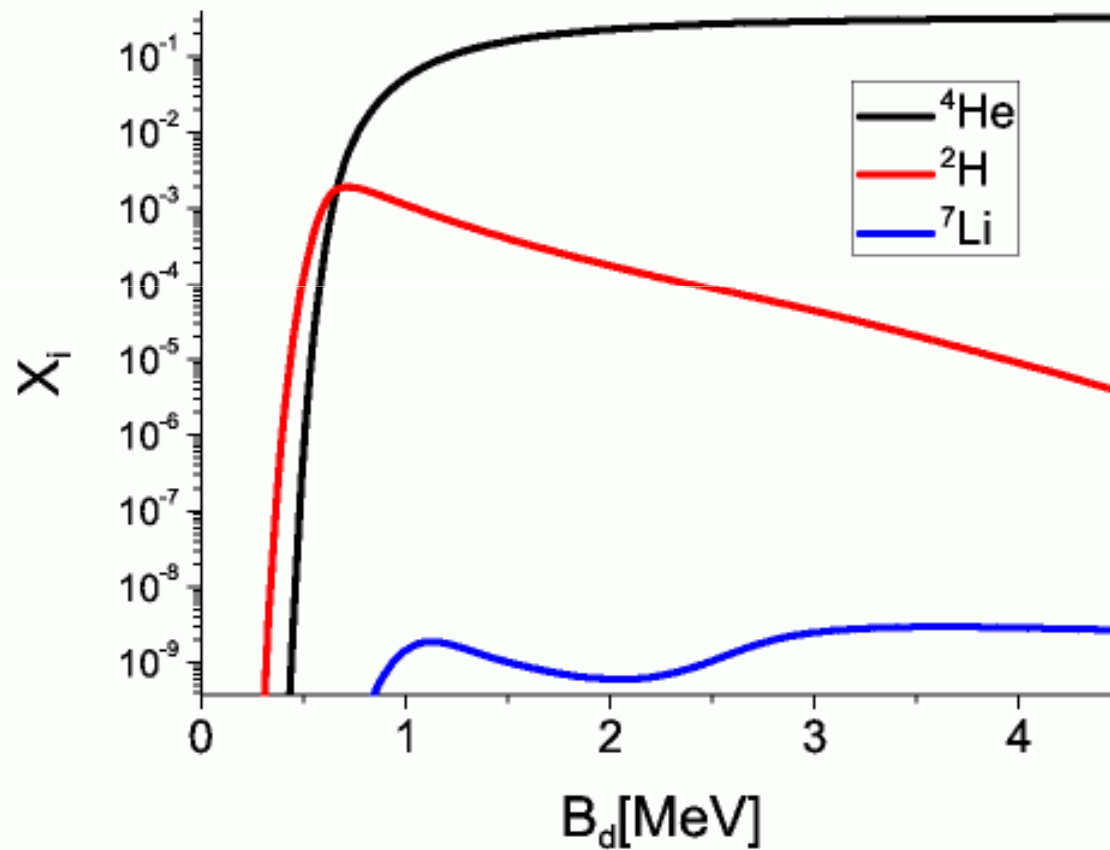
Paraméterfüggés 3.



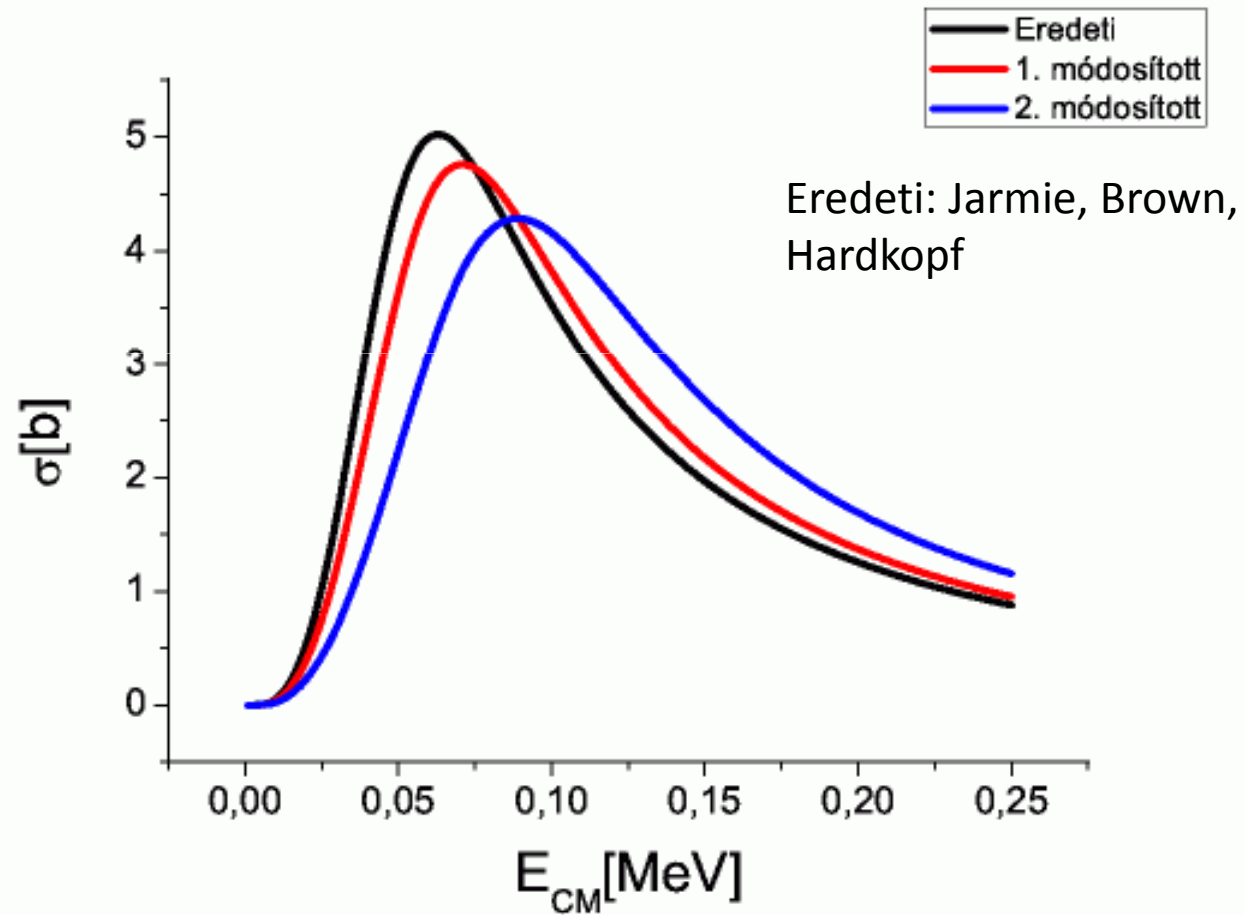
Változó fizikai állandók

- Kvazárok spektrumvonalainak megfigyeléséből úgy tűnik, hogy a finomszerkezeti állandó időben nőhet(Webb et al) $\sim 10^{-5}$
- Elméleti feltételezések szerint, ha ez így van, akkor a többi kölcsönhatás csatolási állandója is változik
- Közös vonás: erős kölcsönhatás jobban változik mint az EM

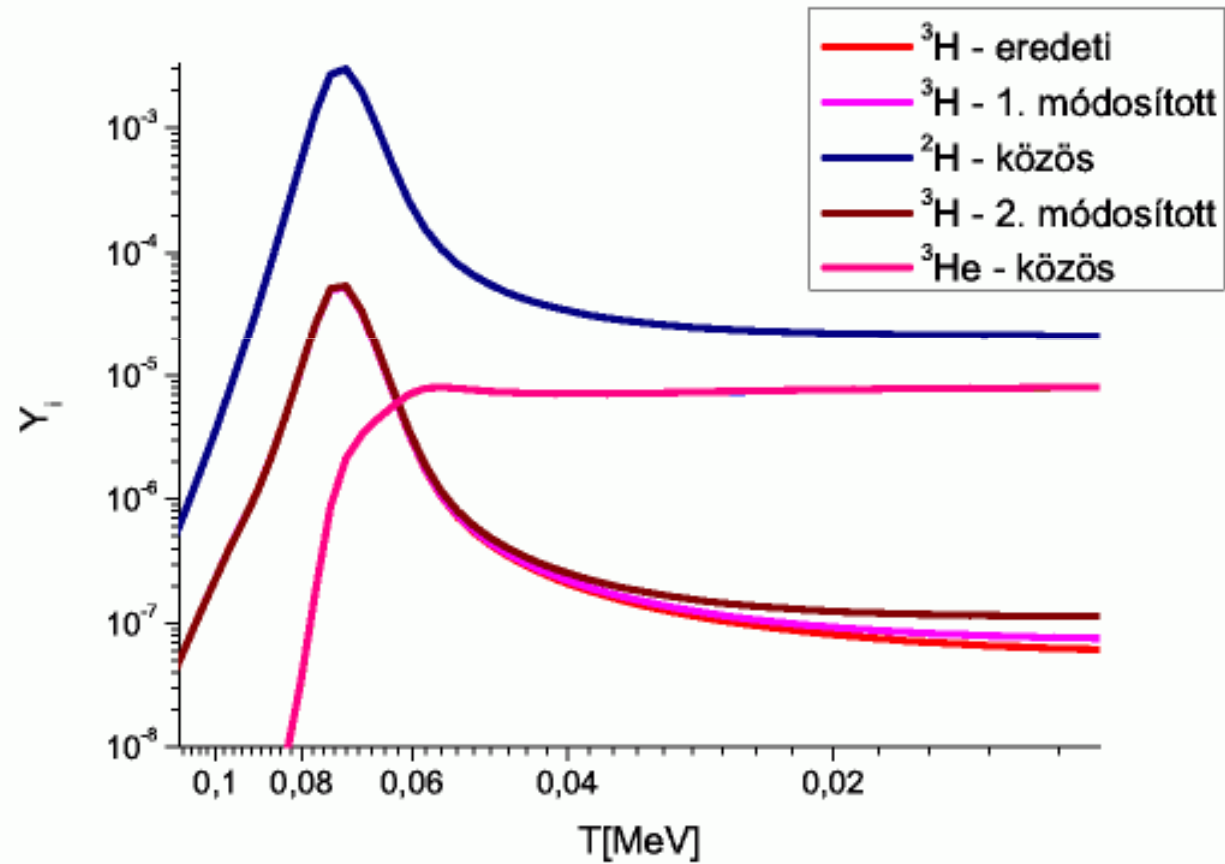
A deutérium kötési energiája



Rezonanciaparaméterek, $t(d,n)\alpha$



Rezonanciaparaméterek változtatása



Egyéb lehetőségek is vannak

- Pl. ha kisebb volt az EM kölcsönhatás erőssége -> kisebbek voltak a kvarktömegek -> kisebb volt a pion tömege -> ha eléggé kicsi a pion tömege akkor pl. a ${}^5\text{He}$ mag is kötött lehet, ami drasztikusan megnövelné a Li gyakoriságát Flambaum -> a deutérium kötési energiája fontosabb
- „Töltött univerzum”, elektrosztatikus erő miatt „effektív tömeg” vezethető be
Massó, Rota -> $|n_q/n_\gamma| < 10^{-43}$