

A z a t o m m a g o k alapvető tulajdonságai



Mérhető mennyiségek

- Az atommagok mérete, tömege, töltése, spinje, mágneses momentuma, elektromos kvadrupól momentuma

Az atommag töltés- és nukleon-eloszlása

- Rutherford szórás $\Rightarrow 10^{-12}$ cm

$$R = r_0 A^{1/3}$$

- α -bomló magok $R \Leftrightarrow T_{1/2}$
- gyors neutronok, diffrakciós szórás $\sigma = 2R^2 \pi$
- müion atomok $m_\mu = 207m_e$
- gyors elektronok

Robert Hofstadter

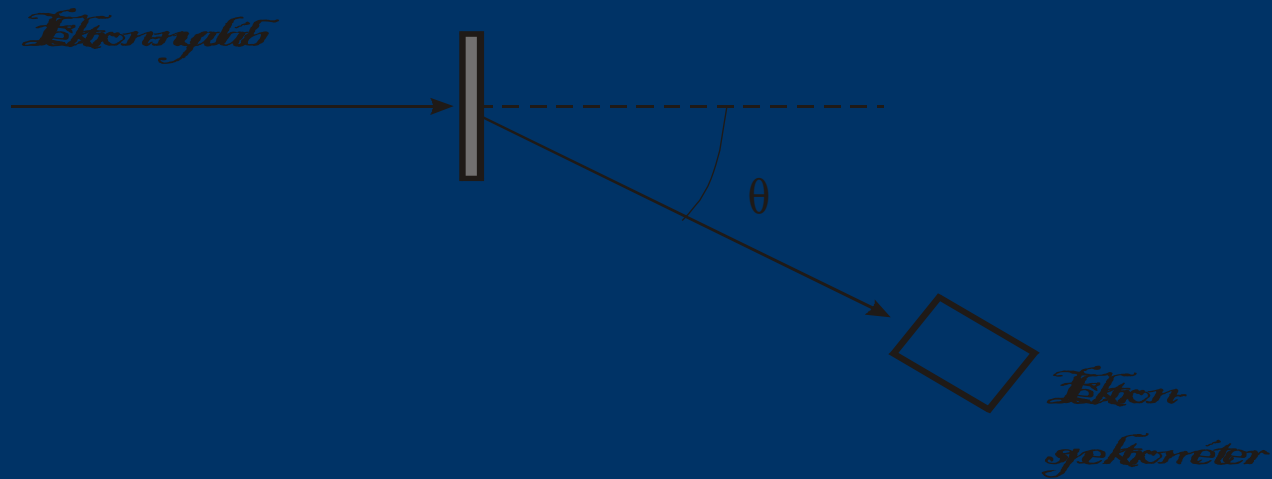
Az elektronokat több száz MeV-es energiára gyorsítják. ami nagyságrendekkel meghaladja az elektron nyugalmi energiáját: $m_0 c^2 = 0.51 \text{ MeV}$.

$$E = \sqrt{(pc)^2 + (m_0 c^2)^2} \approx pc$$

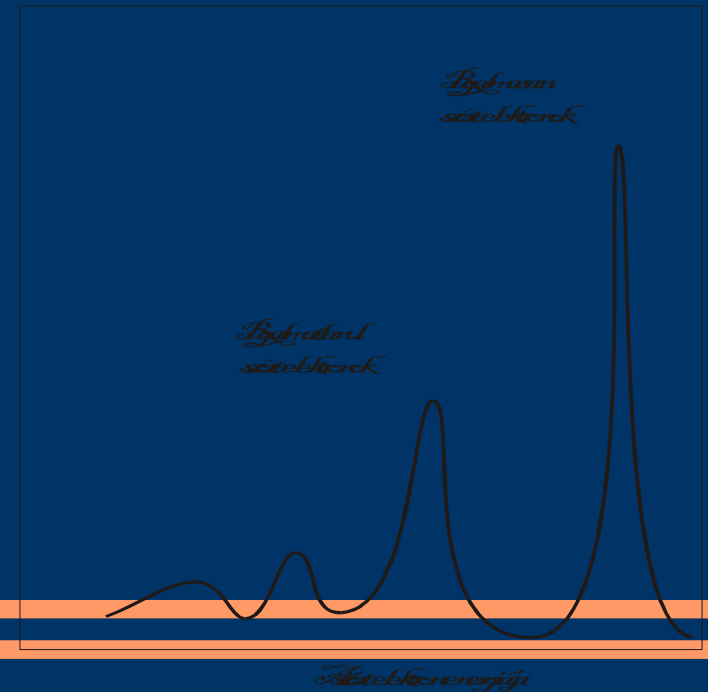
$$\lambda = \frac{\hbar}{p} = \frac{\hbar c}{E} \approx \frac{200}{E (\text{MeV})} \text{ fm} \qquad q = \frac{|\Delta p|}{\hbar} = \frac{2 E}{\hbar c} \sin \frac{\vartheta}{2}$$

redukált hullámhossz tartozik; ez meghatározza, hogy adott E energiájú elektronokkal milyen felbontás érhető el, pl.: $E = 100 \text{ MeV} := 2 \text{ fm}$, $E = 20\,000 \text{ MeV} := 0.01 \text{ fm}$.

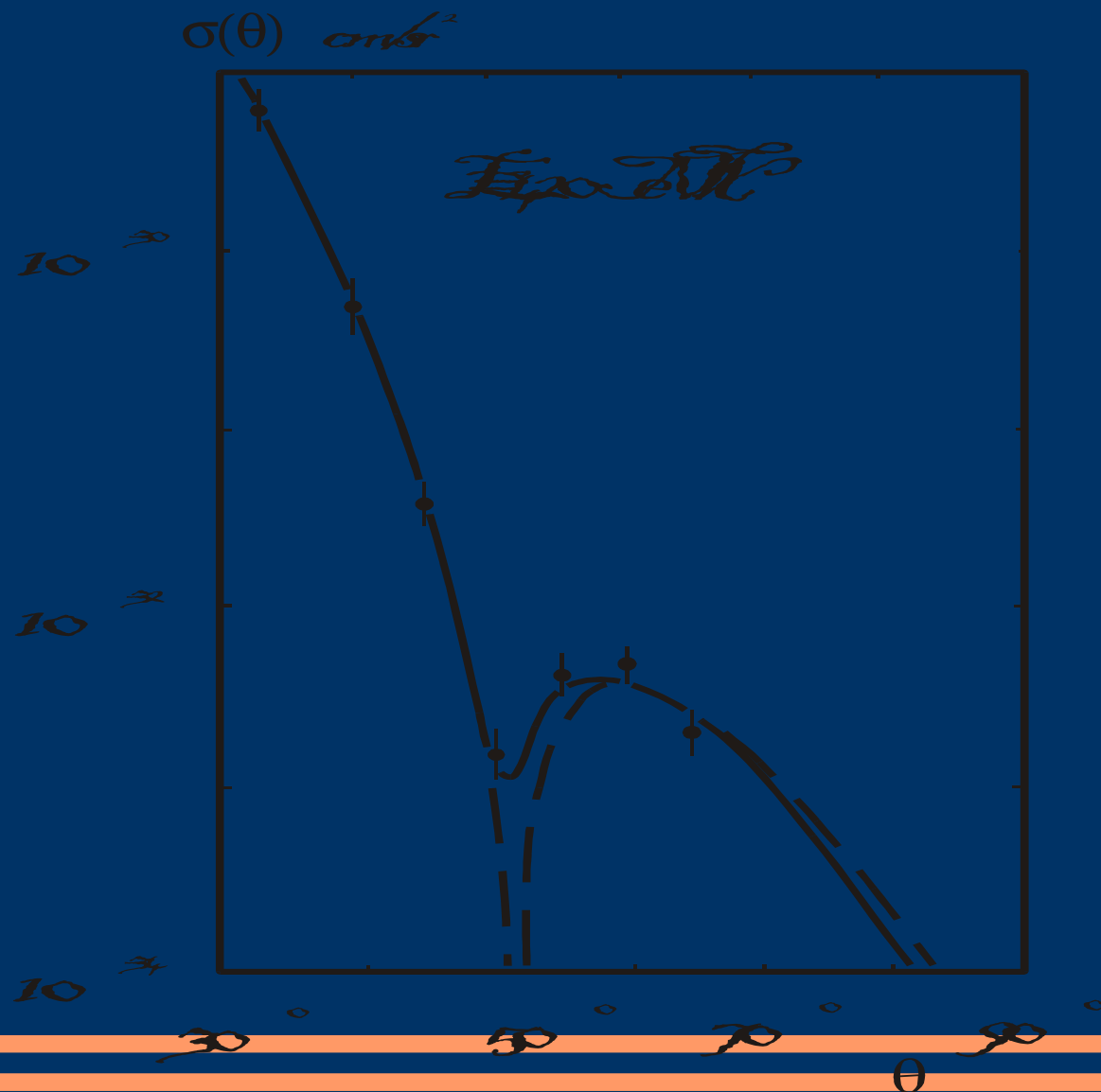
Elektron-szórási kísérlet elrendezése



Az elektron-spektrum



Differenciális szórási hatáskeresztmetszet



A Mott formula pontszerű atommagra:

$$s_M(J) = \frac{Z^2 e^4 \cos^2 \frac{J}{2}}{4 E^2 \sin^4 \frac{J}{2} \left[1 + \frac{2 E}{M c^2} \sin^2 \frac{J}{2} \right]}$$

Kiterjesztés véges méretű töltéseloszlásra

$$s(J) = s_M(J) \left| \int \rho(\vec{r}) e^{i(\vec{q} \cdot \vec{r})} d^3 \vec{r} \right|^2 = s_M(J) |F(\vec{q})|^2$$

Gömbszimmetrikus töltés-eloszlásra:

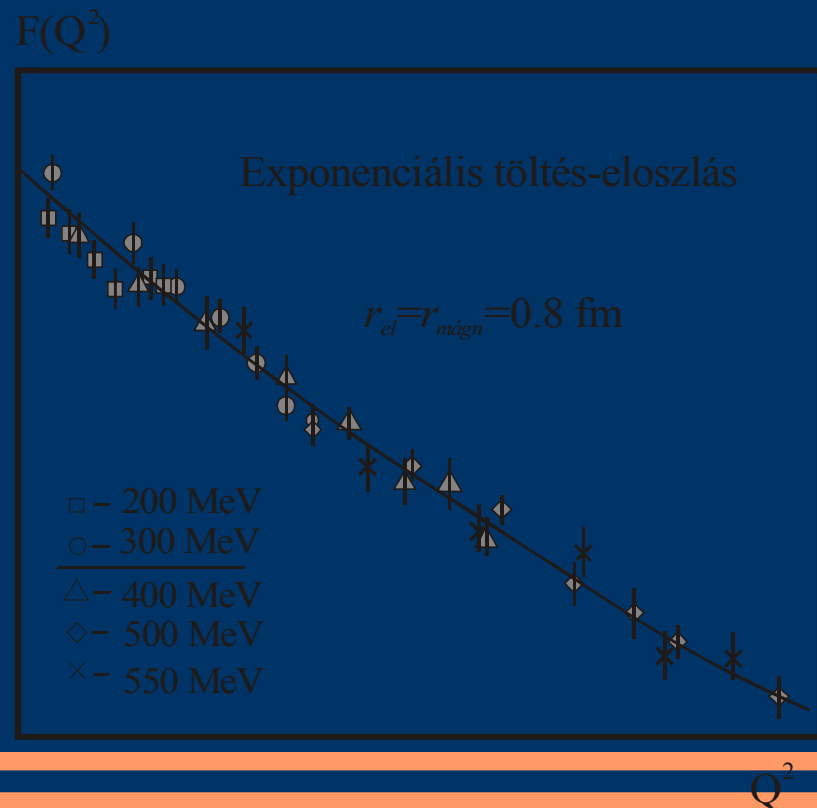
$$F(q) = \int \rho(r) \frac{\sin qr}{qr} dv$$

E=100 MeV-nél alacsonyabb energiájú szórás:

$$F(q) = \int \rho(r) \frac{\sin qr}{qr} dv = \int \rho(r) \frac{qr - \frac{(qr)^3}{3!} + \dots}{qr} dv = \int \rho(r) dv - \frac{q^2}{6} \int \rho(r) r^2 dv =$$
$$1 - \frac{q^2 \langle r^2 \rangle}{6} + \dots$$

négyzetes átlag-sugár

$$\langle r^2 \rangle^o \int \rho(r) r^2 dv$$

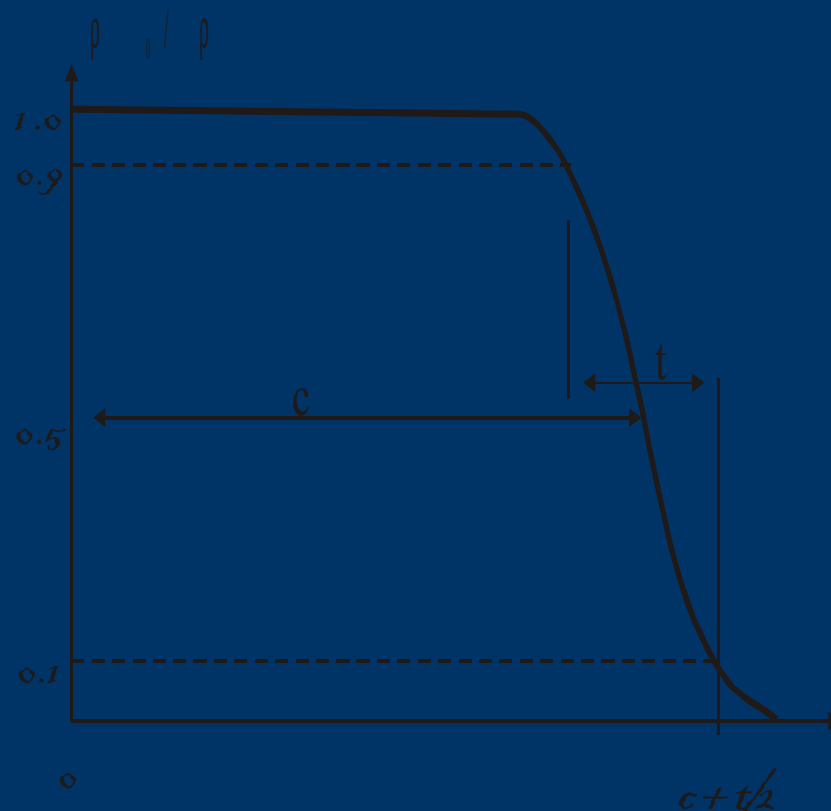


Nagy energiájú elektronok szórása

Modell függvények alkalmazása.

*2-paraméteres Fermi-féle
sűrűségeloszlás*

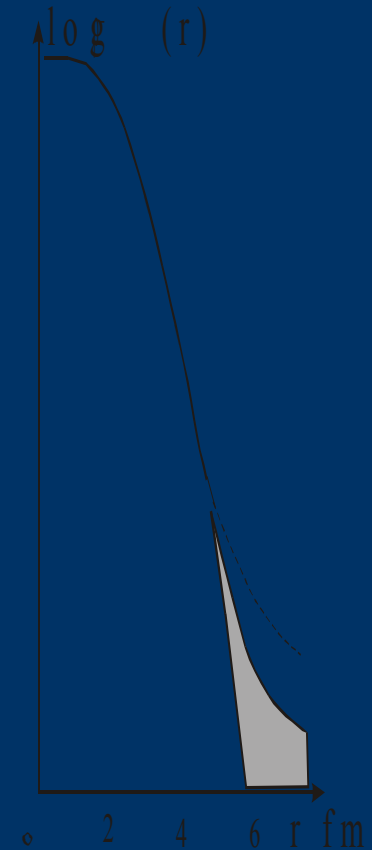
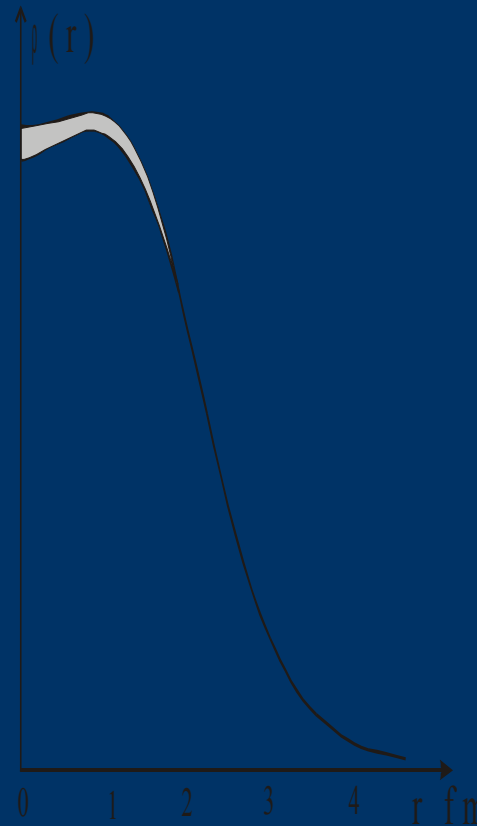
$$\rho_F(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{\frac{r-c}{t}}}$$



$$S^2(p_1, \square p_2, \square \dots \square) = \sum_i \left[\sigma(\vartheta_i) - \sigma_{Mod}(\vartheta_i; \square p_1, \square p_2, \dots \square) \right]^2$$

Modell-független kiértékelés

A Gauss-összeg módszer



Modell-független eljárással kapott $\rho(r)$ töltéssűrűség-eloszlás
a $\pm \Delta \rho(r)$ hibasávval

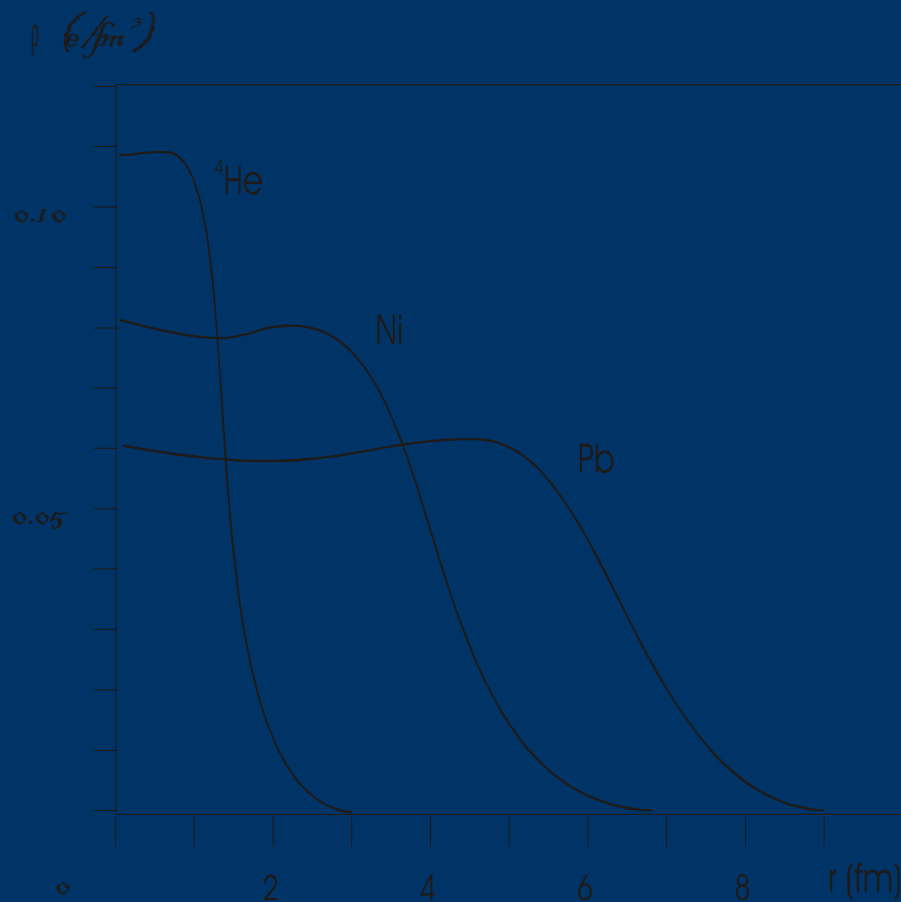
Fourier-Bessel eljárás

$$F(q) = \int \rho(r) \frac{\sin(qr)}{qr} d^3r = \int \rho(r) j_0(qr) d^3r$$

inverz transzformáció:

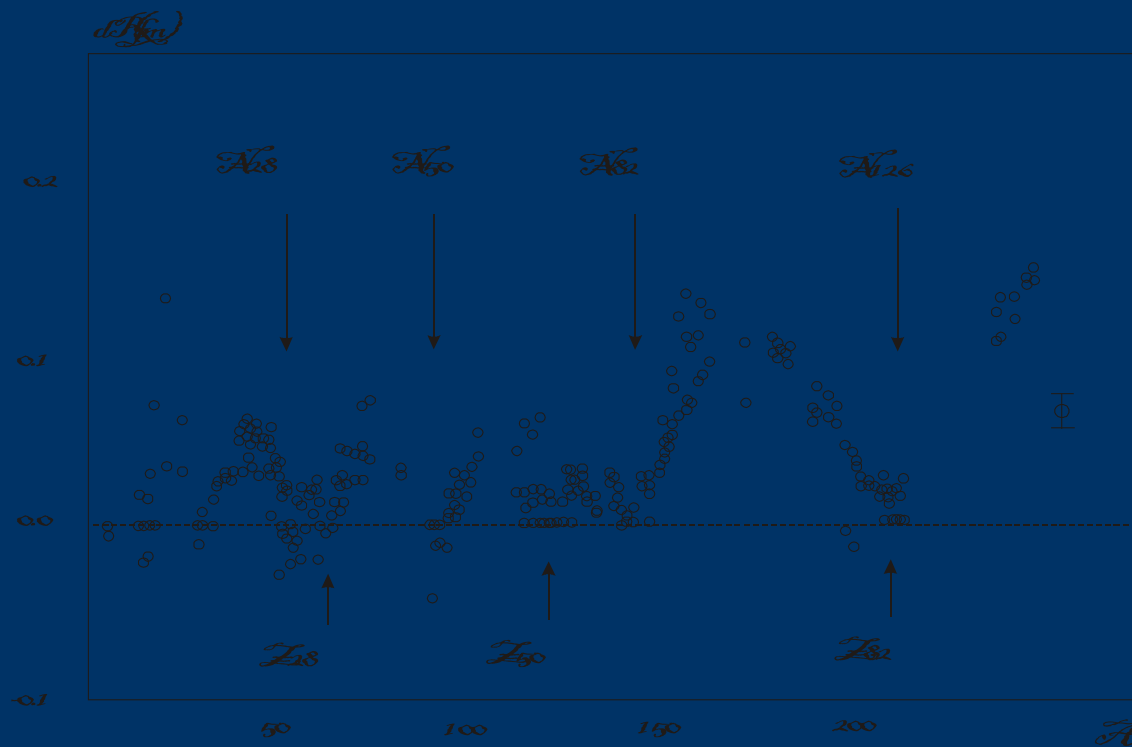
$$\rho(r) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty F(q) j_0(qr) d^3q = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\infty q^2 F(q) j_0(qr) dq$$

A töltés-eloszlás mérések eredményei



Néhány mag töltés-sűrűség eloszlása

$$R_{st} = r_0 \left(Z_{st} + N_{st} \right)^{1/3} = r_0 A_{st}^{1/3}$$



A töltés-sugár tömegszám-függésének finomszerkezete a stabilitási sáv mentén

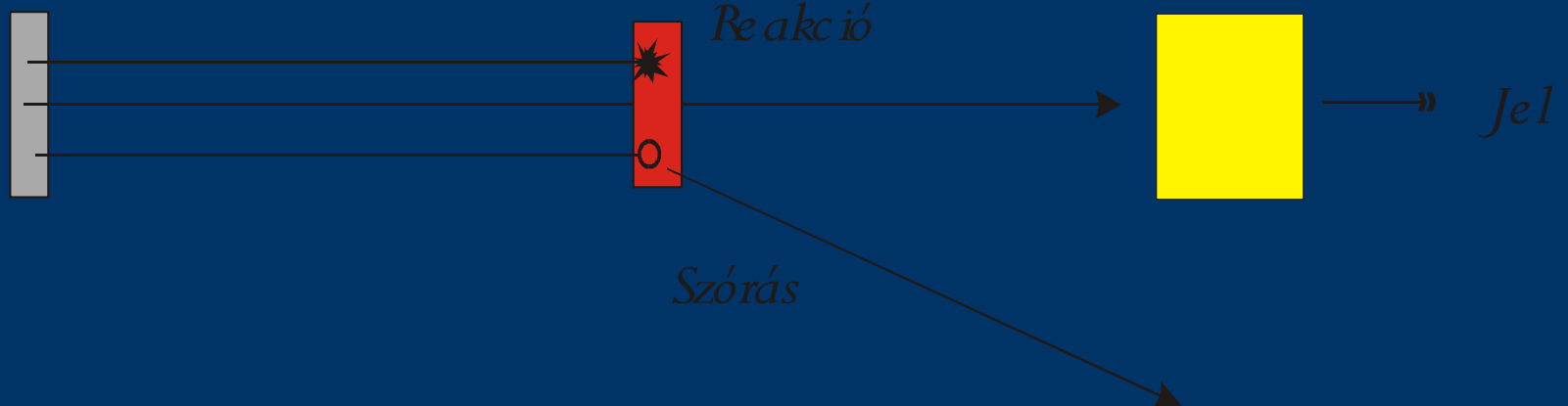
Az atommag nukleon-eloszlása

Totális neutron-hatáskeresztmetszetek mérés

Neutron-főnyás

Alfa

Detektor



$$I = I_0 e^{-tn\sigma_T}$$

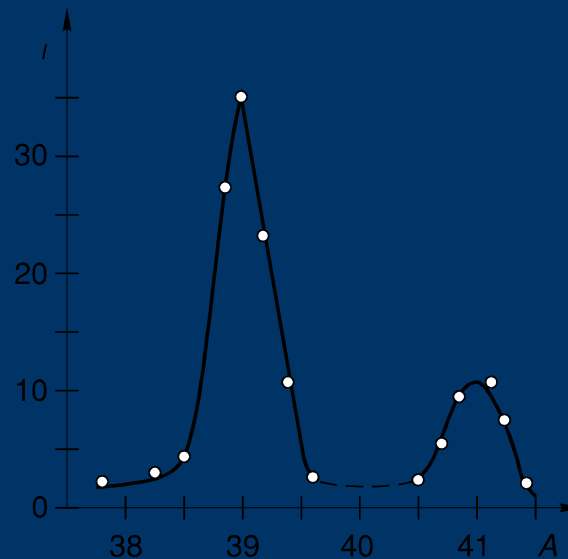
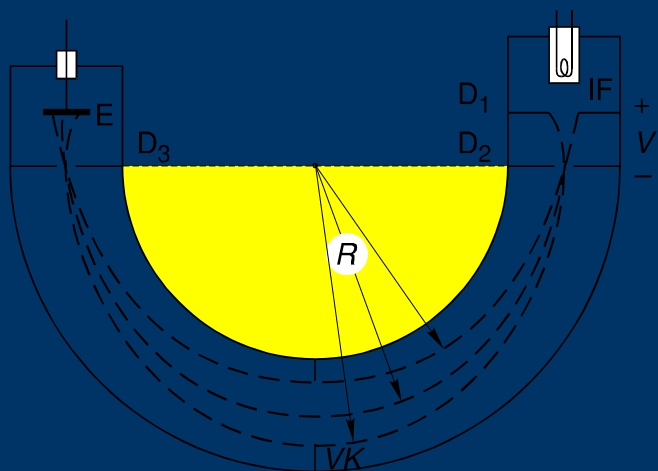
$$s_T = \frac{1}{tn} \ln \frac{I_0}{I}$$

Az atommag tömege

$$eV = \frac{1}{2} M v^2$$

$$evB = \frac{Mv^2}{R}$$

$$M = \frac{eR^2 B^2}{2V}$$

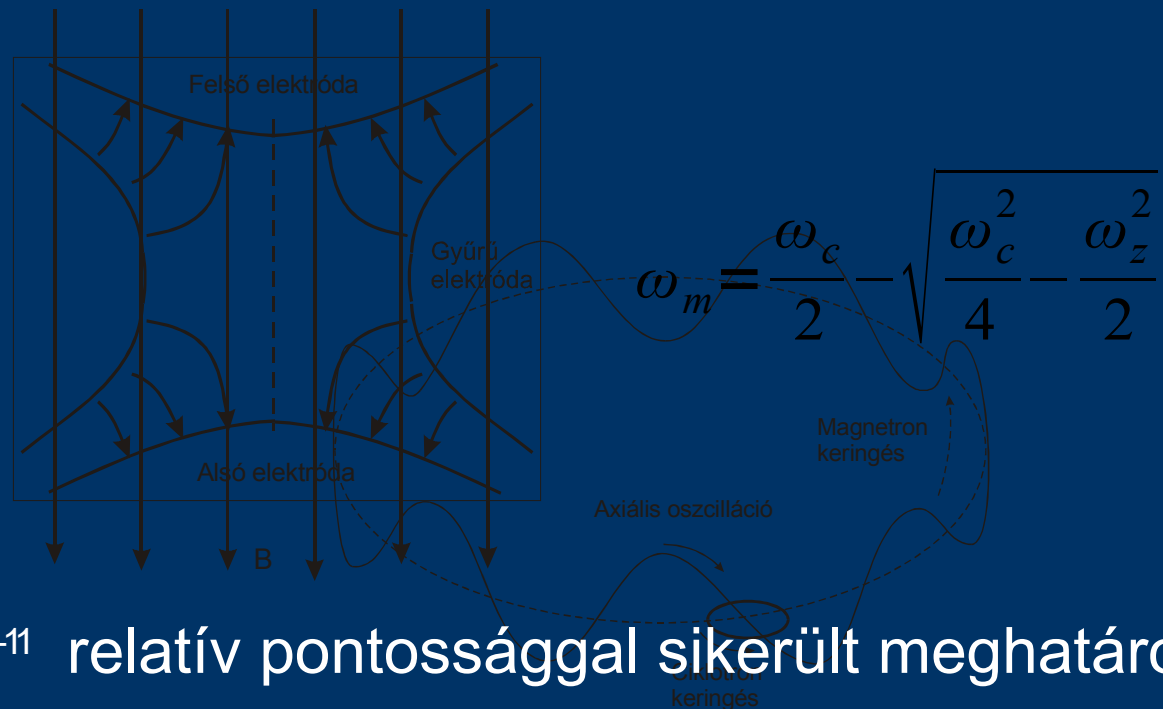


$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

Penning-csapda, geonium atomok

$$\omega_c = \frac{v}{R} = \frac{e}{M} B$$

A Penning-csapda felépítése:



a proton tömegét 10^{-11} relatív pontossággal sikerült meghatározni

a 3H és 3He tömegek 10^{-9} pontosságú
mérése.

$$E_0 \equiv [M(Z) - M(Z+1) - m_d] \cdot c^2 = E_d + E_\nu + m_\nu c^2$$

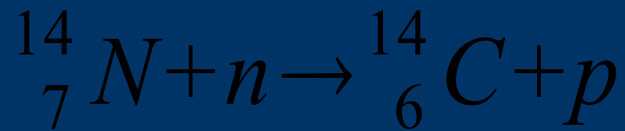


Mag-folyamatok energiamérlege



$$(M_A+M_B)c^2+E_A+E_B=(M_C+M_D)c^2+E_C+E_D$$

az elektromosan *semleges* neutron tömegének mérésére



$$M_p = 938.3 \text{ MeV}/c^2 = 1836.1 m_e$$

$$M_n = 939.6 \text{ MeV}/c^2 = 1838.6 m_e$$

Az atommag kötési energiája

$$E_k(Z,A)=[ZM_p+(A-Z)M_n-M(Z,A)].c^2$$

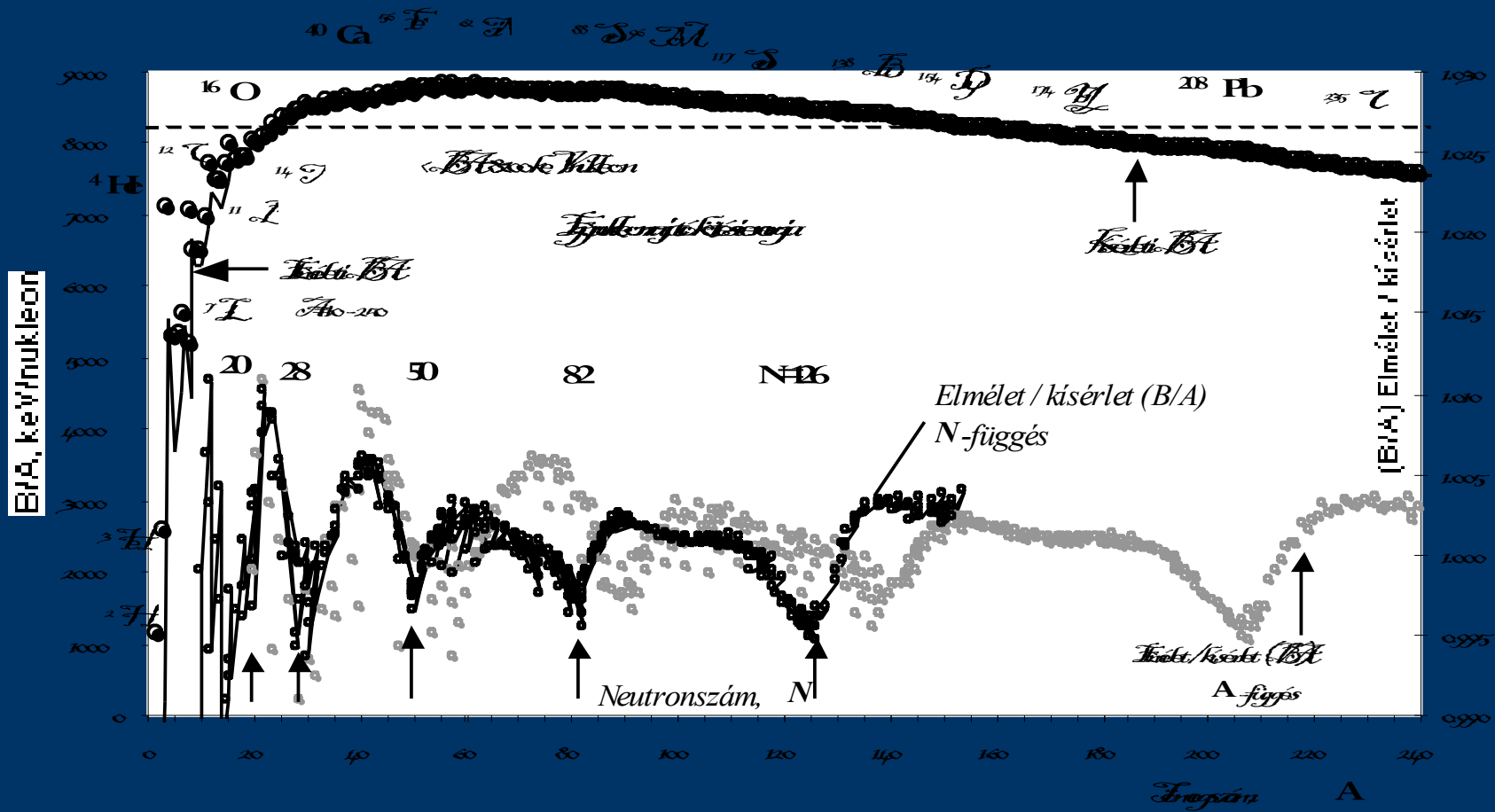
$$\varepsilon(Z,A)=\frac{E_k}{A}$$

A leválasztási (szeparációs) energia

$$S_n=[M_n+M(Z,A-1)-M(Z,A)].c^2$$

$$S_\alpha=[M_\alpha+M(Z-2,A-4)-M(Z,A)].c^2$$

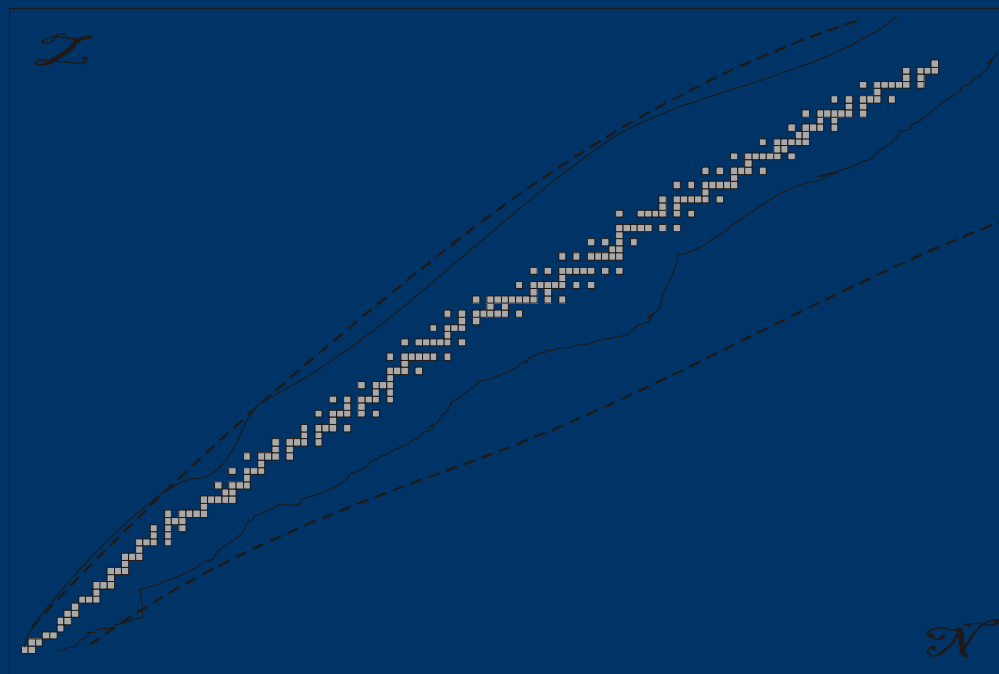




A kötési energia fenomenológikus értelmezése

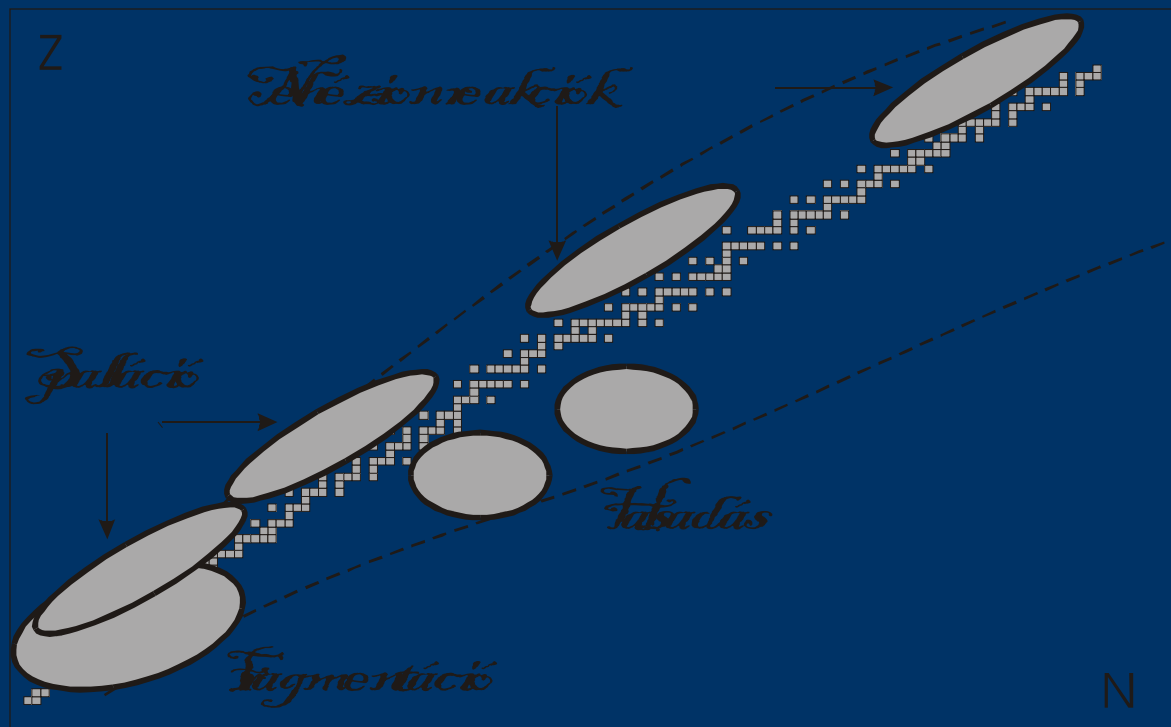
- $B = v \cdot A$ *térfogati energia*, $v \sim 15850 \text{ keV}$
 - $- s \cdot A^{2/3}$ *felületi energia*, $s \sim 18360 \text{ keV}$
 - $- c \cdot Z \cdot (Z-1) / A^{1/3}$ *Coulomb-energia*, $c \sim 722 \text{ keV}$
 - $- a \cdot (A - 2 \cdot Z)^2 / A$ *aszimmetria tag*, $a \sim 23220 \text{ keV}$
 - $+ p \cdot \delta / A^{1/2}$ *párenergia*, $p \sim 11985 \text{ keV}$
 - $\delta = +1$ páros Z , páros N atommagokra,
 - 0 páratlan $A = Z + N$ magokra,
 - -1 páratlan Z , páratlan N esetén
-
-

Nukleon-stabilitási határok; a határ-magok tulajdonságai



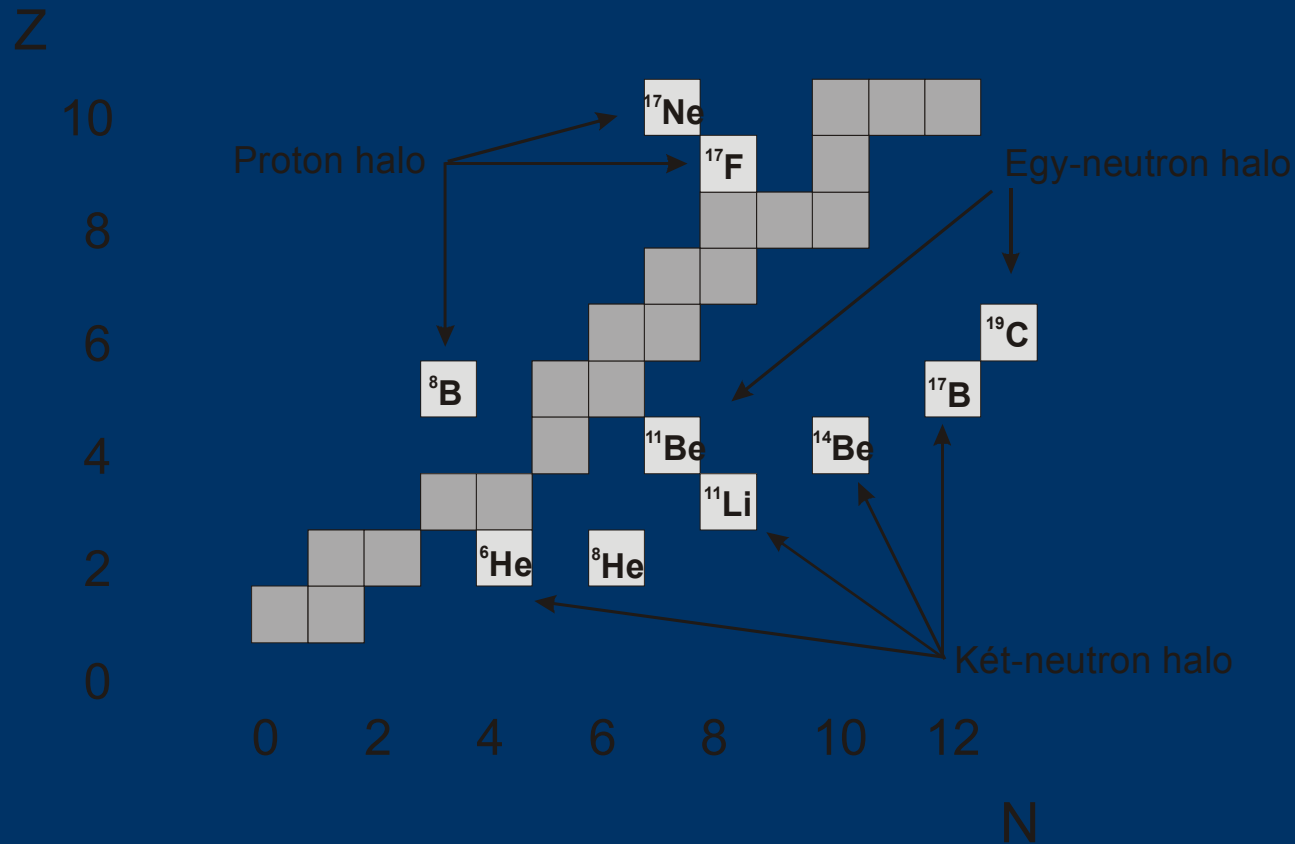
Stabil magok, az ismert β -bomló magok és a nukleon-stabilitás becsült határvonalai

A stabilitási határvonal menti atommagok kísérleti vizsgálata

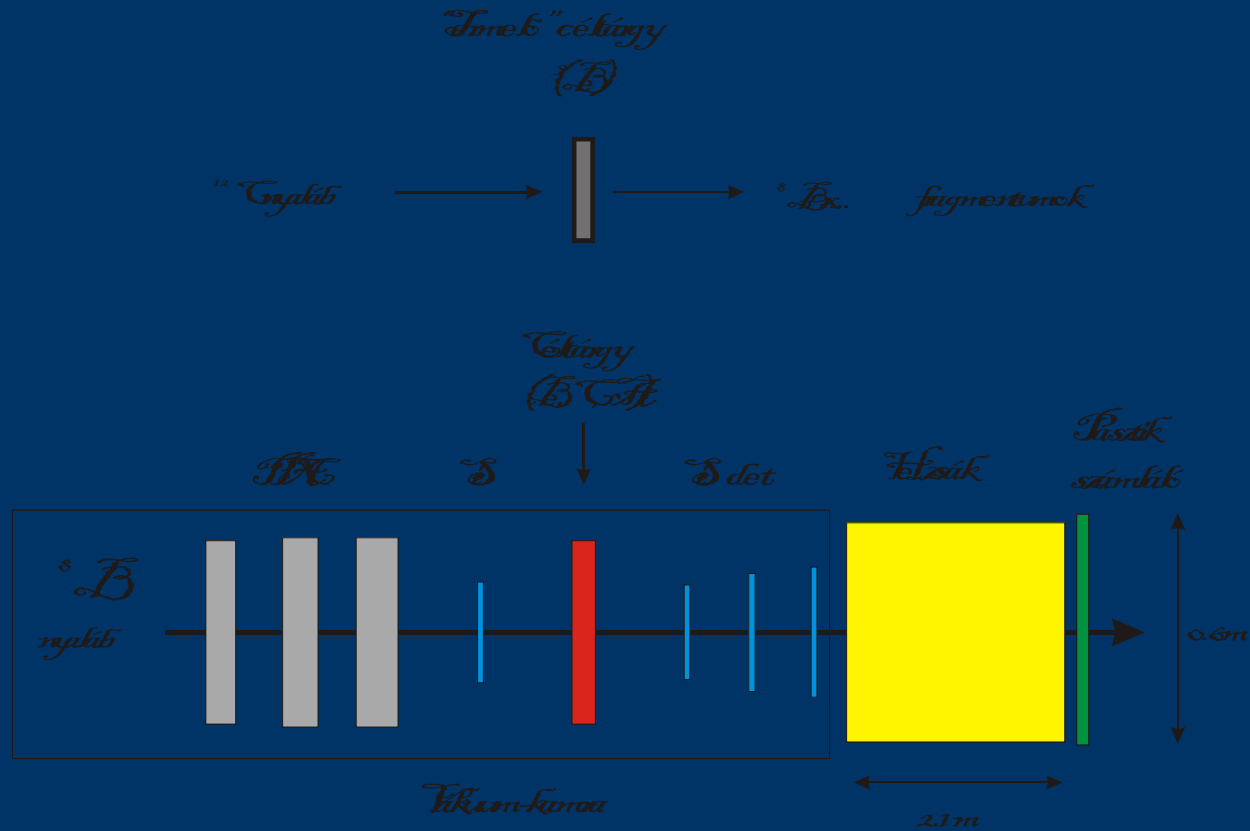


A stabilitási sávon kívüli nuklidok előállítására szolgáló magreakciók

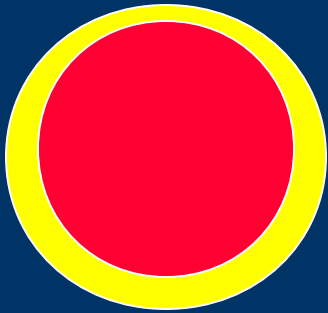
Milyenek a határvonal közelébe eső atommagok?



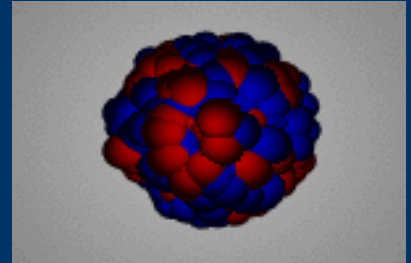
Hatáskeresztmetszet mérő elrendezés



A neutron bőr



$$R_n - R_p \approx 0.04 R_p$$

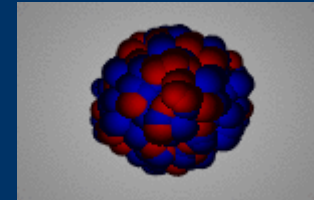
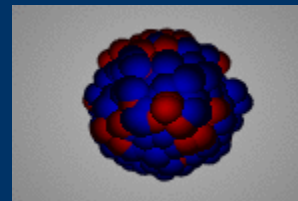
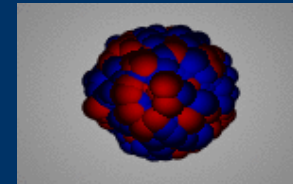
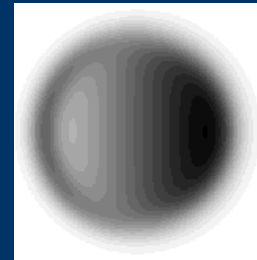
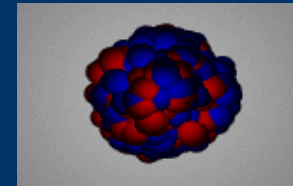
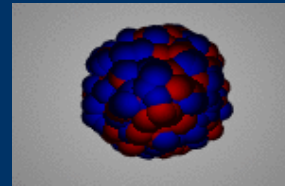
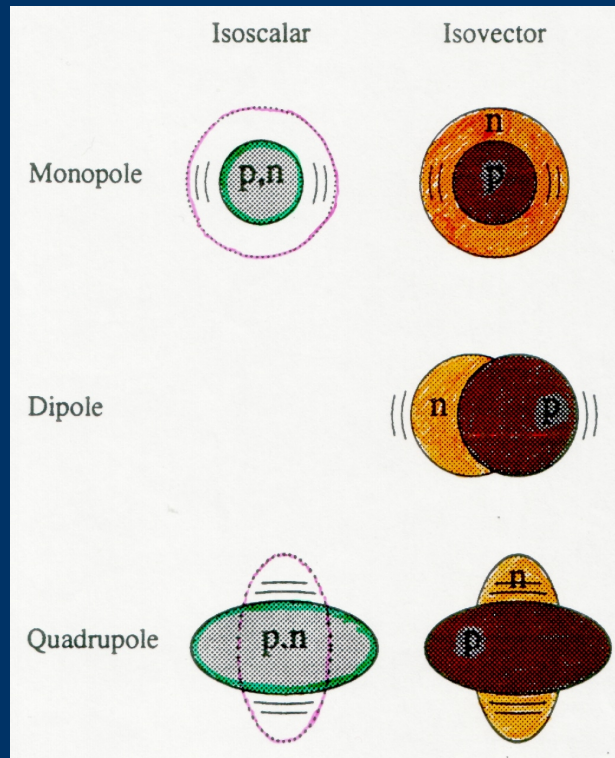


Mérése az óriásrezonanciák gerjesztésével

- Majdnem tiszta neutronanyag az atommag felületén
- A nukleáris kölcsönhatás szimmetria tagjának pontosítása
- A neutron gazdag atommagok szerkezete
- A neutroncsillagok sugara

Óriásrezonanciák, eredmények a folyadékcsepp modellel

$$\Delta W = \alpha A - \beta A^{2/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \zeta \frac{(A/2 - Z)^2}{A} + \delta A^{3/4}$$



Az atommagok spinje és mágneses momentuma

- Az elektron spinje és mágneses momentuma
- $\mu_l = \frac{e}{2m_0} l$ $\mu_s = \frac{e}{m_0} s \rightarrow$ finomszerkezet
- Hiperfinom szerkezet $\rightarrow$ az atommag spinje!!!

e 

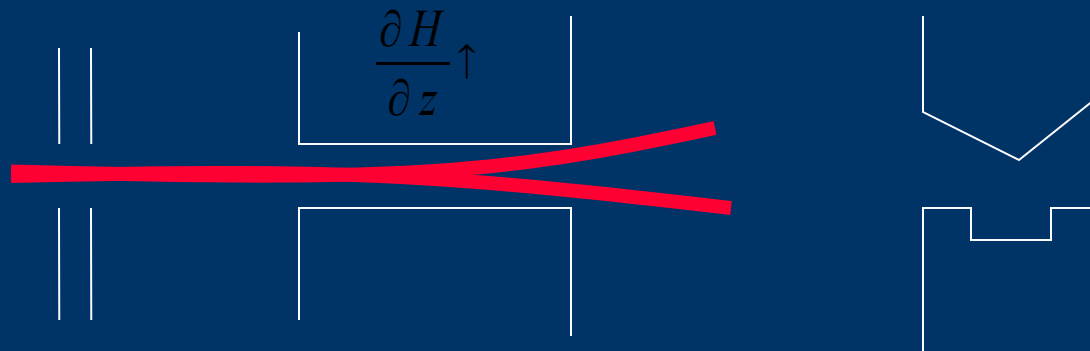
$$U \sim F(F+1) - J(J+1) - I(I+1)$$

1.) $J > I \rightarrow 2I+1$ vonal

2.) $J < I$ intervallum szab.

Eltérítés inhomogén mágneses térben

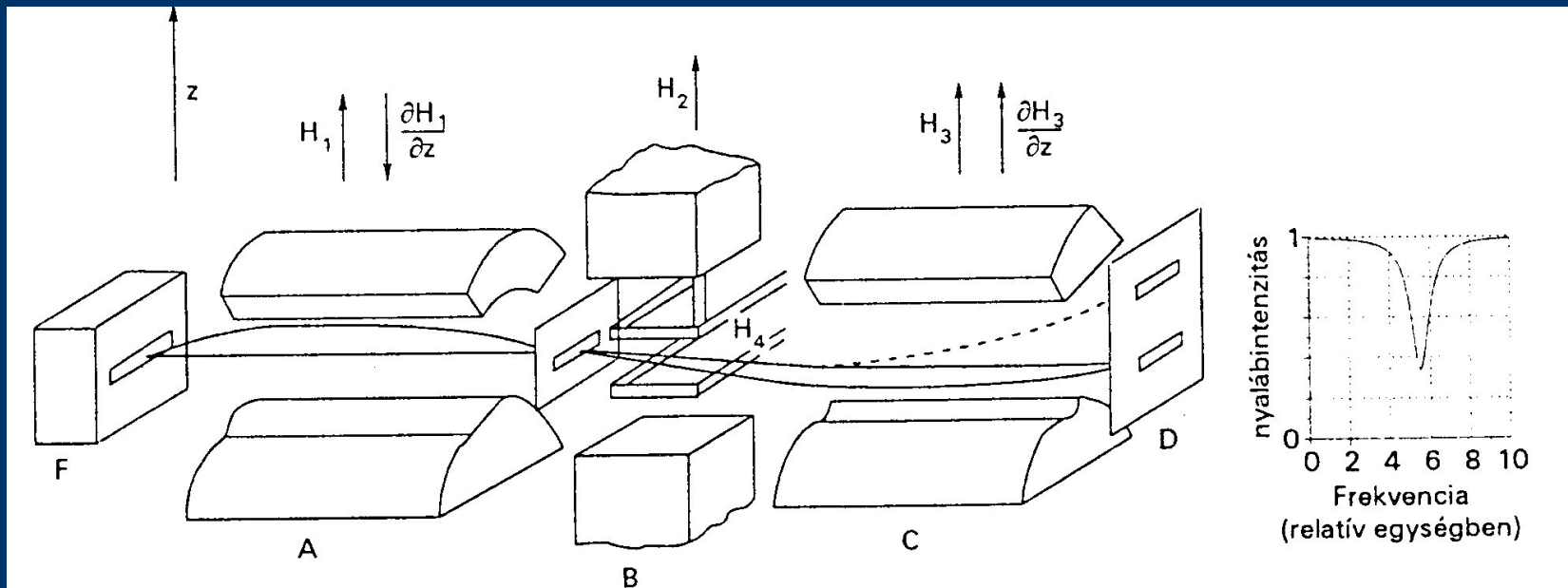
- Stern (1933) $\mu_{\text{nag}} \cong 0.001 \mu_{\text{elektron}}$
- Proton – Lorentz erő
- H – atomok
- H₂ – orto- és parahidrogén



Rezonancia módszerek

$$E = \hbar \omega \sim \mu H$$

A molekulasugár módszer (Rabi, 1939)



A mag-mágneses rezonancia abszorpció (NMR)



Állandó mágneses tér



A neutron mágneses momentumának mérése

- Bloch (1940)



A proton és a neutron mágneses momentuma

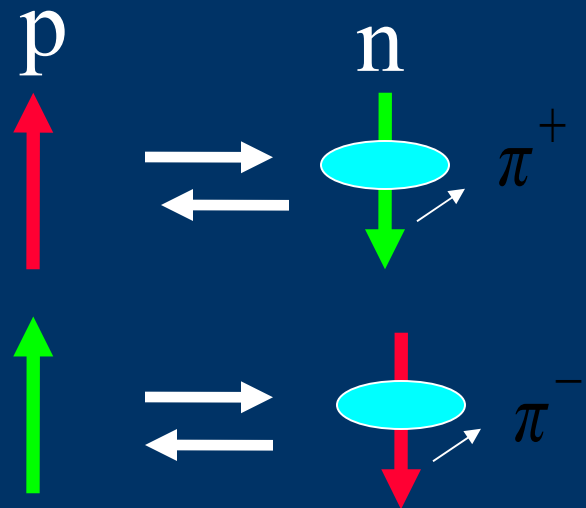
- Dirac $s=1/2 \Rightarrow \mu_N = \frac{e\hbar}{2Mc} \Rightarrow g=2$

$$g_s^{free}(p) = 5.59$$

$$g_s^{free}(n) = -3.83$$

???

A π -mezon elmélet

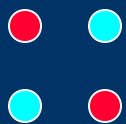


Az atommagok mágneses momentuma

- A páros-páros magok esetén 0
- Tekintsük a páratlan tömegszámú magokat
- A Schmidt-féle egyrészecske-modell
- $I=L+1/2$ és $I=L-1/2$ közé eső értékek mind a proton mind a neutron gerjesztések esetén

Az elektromos kvadrupólmomentum

- A nem gömbszerű töltéseloszlás jellemzése



$$Q_{\lambda} = \sum_{k=1}^Z r_k^{\lambda} Y_{\lambda}^0(\theta_k)$$



$$Q_0 = \frac{2}{5} eZ(a^2 - b^2)$$

A kvadrupólmomentum mérése

A hiperfinom felhasadás

$$\Delta U = \frac{\partial E}{\partial z} Q$$

A kvadrupolmomentumokra kapott kísérleti eredmények

- Minimumok a mágikus számoknál

