Atommagok szerkezete

Nukleáris technológia 1. előadás

2023. február 27.

Atommagok szerkezete

- Mikor számít az atommagok szerkezete?
  - Radioaktív bomlások
  - Magreakciók
    - Magreakciók a Napban
    - Magreakciók szupernovákban
    - Magreakciók a hasadás után, reaktorokban
    - Magreakciók a fúziós reaktorokban
    - Atommag ütközések a Földön természetes környezetben

Méretskála

atom 0,1 nm

10000×

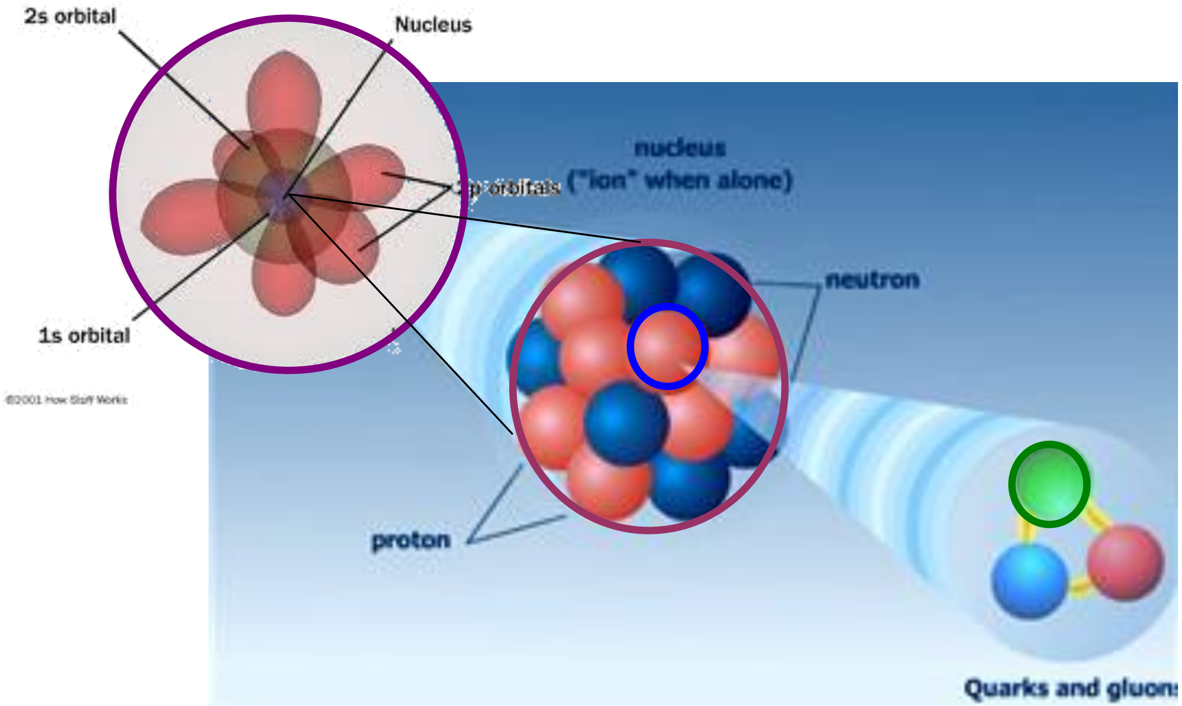
atommag 10 fm

10×

nukleon 1 fm

kvark „elemi”

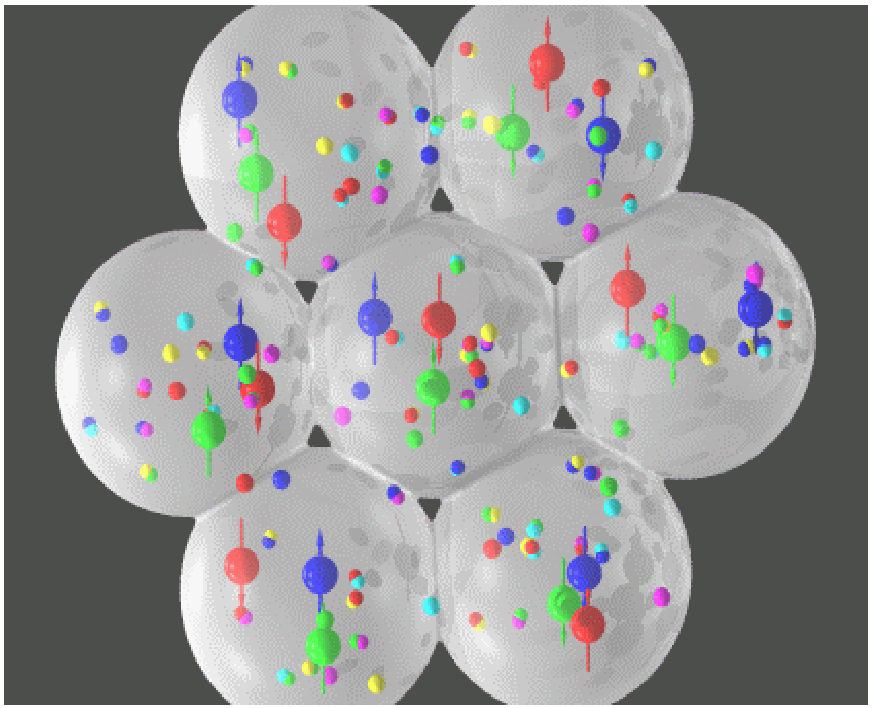
Leírás: KVM/QFT



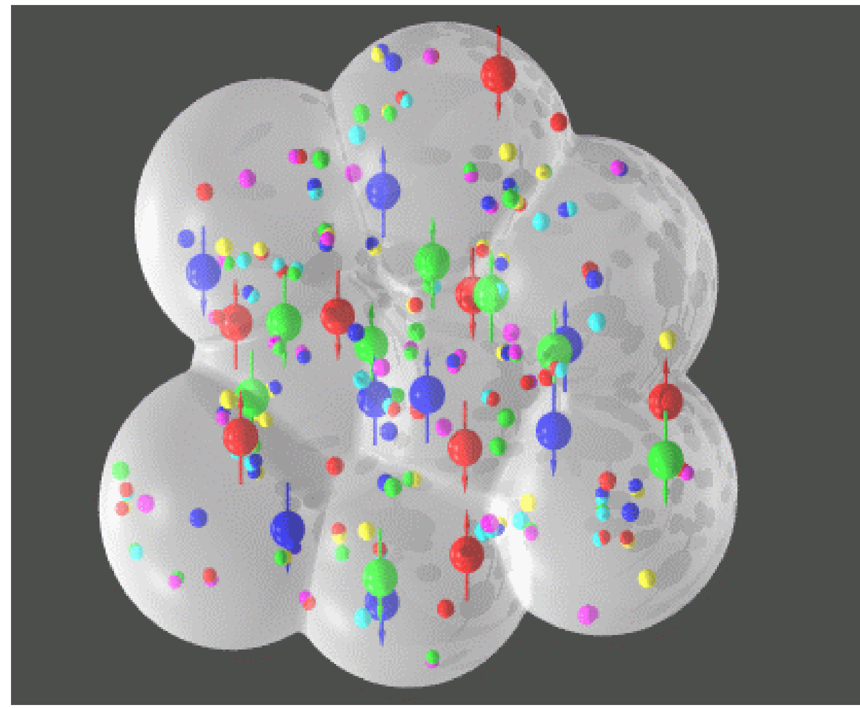
EM	erős II	erős I
foton*	pi-mezon*	gluonok
0	140 MeV	0
∞	1 fm	∞
etöltés	hadronok	kvarkok
etöltés	btöltés	sztöltés

Méretskála

A barionok belsejébe nagyítva találjuk a kvarkanyagot



Magfizika



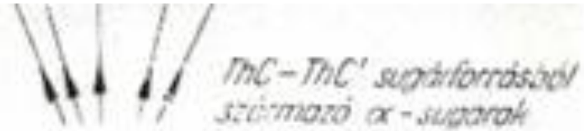
Nehézion fizika

E = f (sűrűség, „átlagsebesség”)

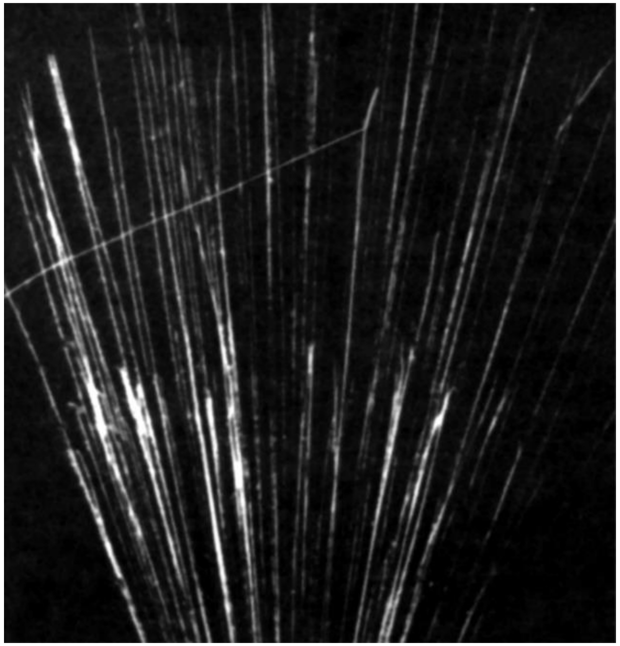
Atommag szint

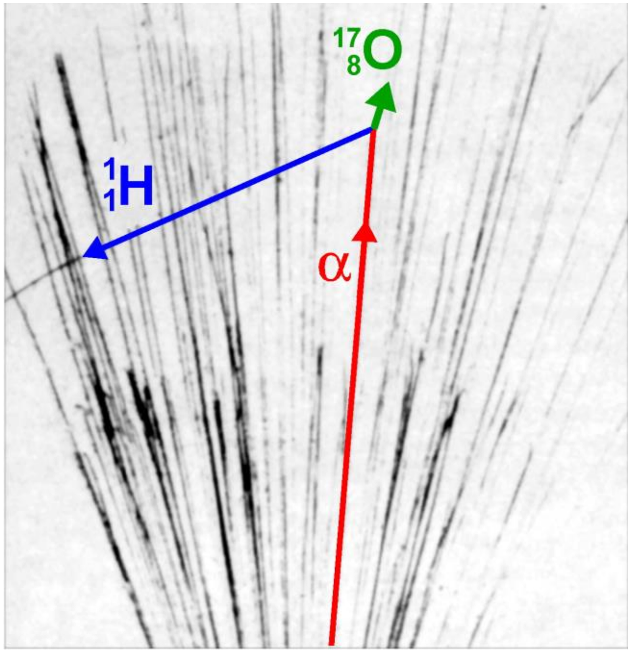
- Honnan tudjuk, hogy miből áll?

Ködkamra!



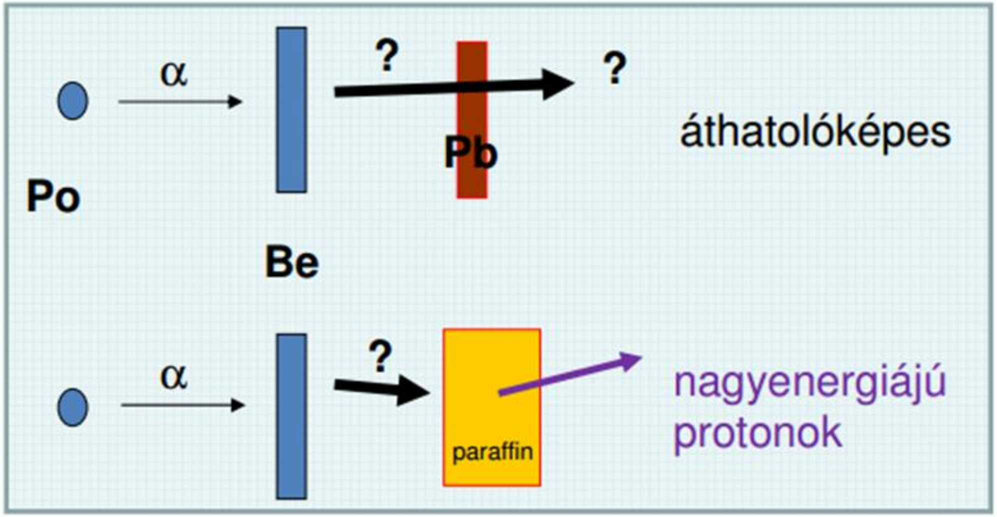
BLACKETT ködkamra-felvételei az $\alpha + {}_7N^{14} \to {}_8O^{17} + p$ reakcióról. Ez a magátalakulás volt az első magreakció, amelyet sikerült megfigyelni (RUTHERFORD 1919.).





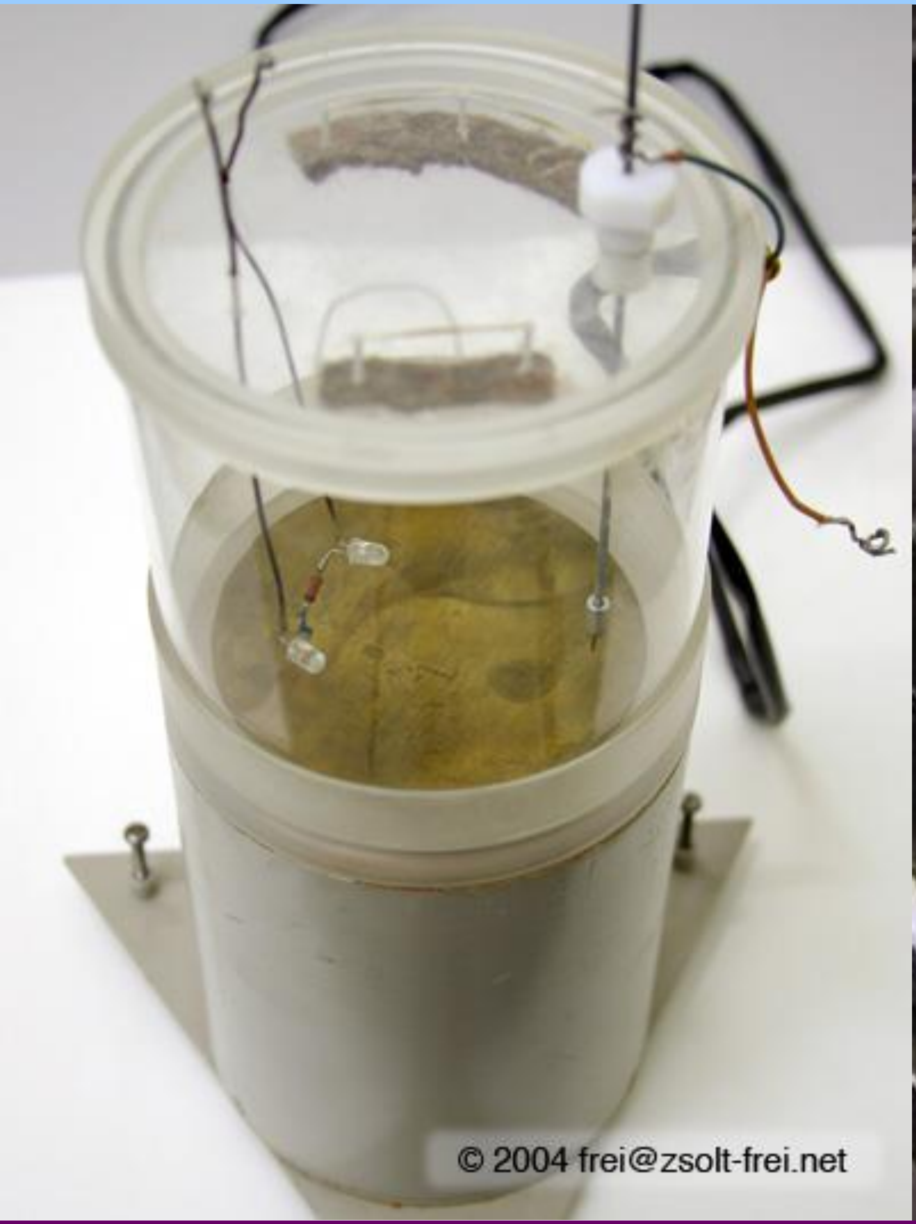
Atommag szint

- Neutron felfedezése Chadwick 1932



Következmény: atommag alkotóelemei, magerő létezése

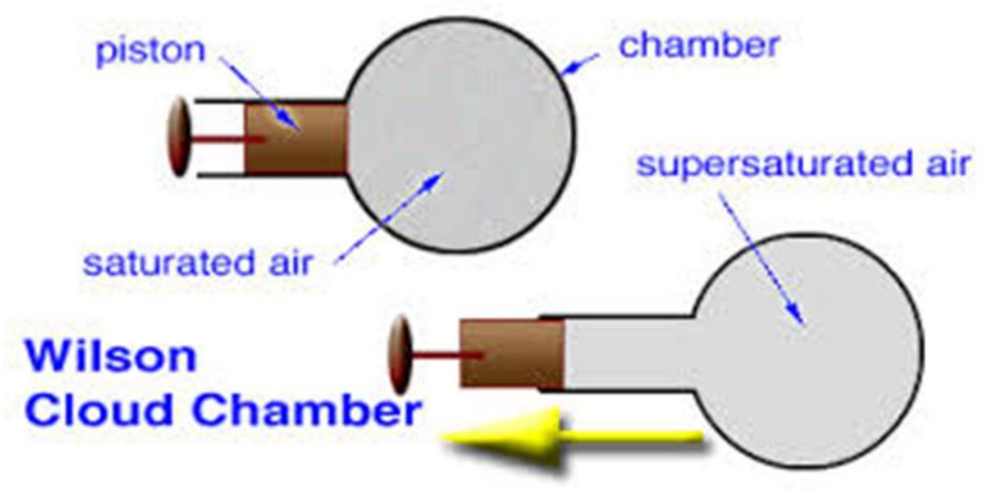
Ködkamra



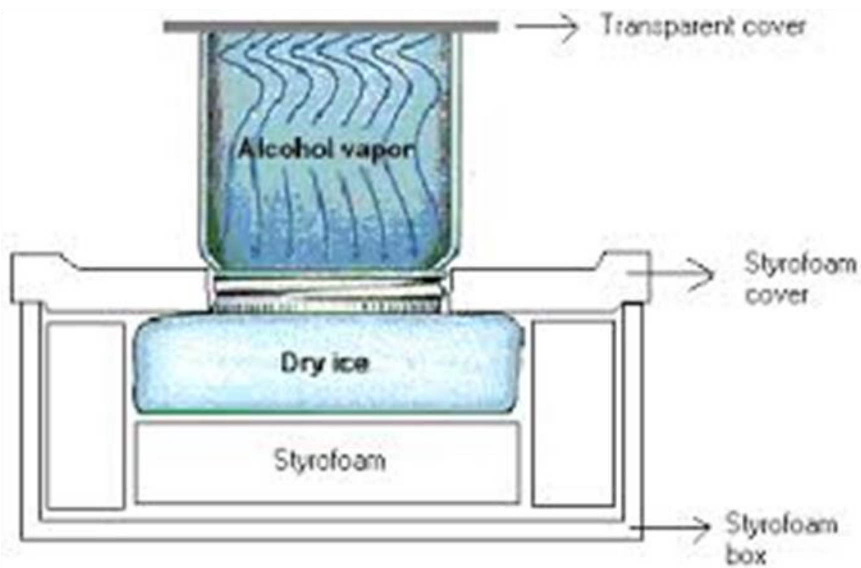
Ködkamra

Osztályozás a működésük alapján

Expanziós ködkamra



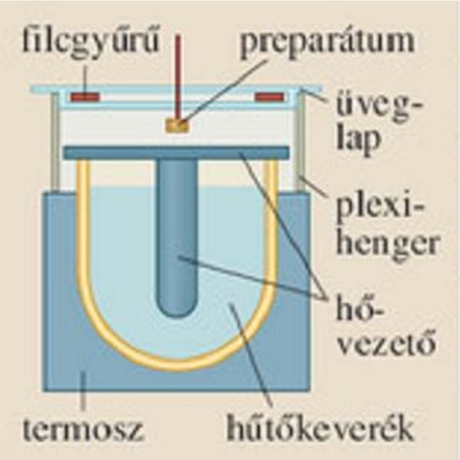
Diffúziós ködkamra

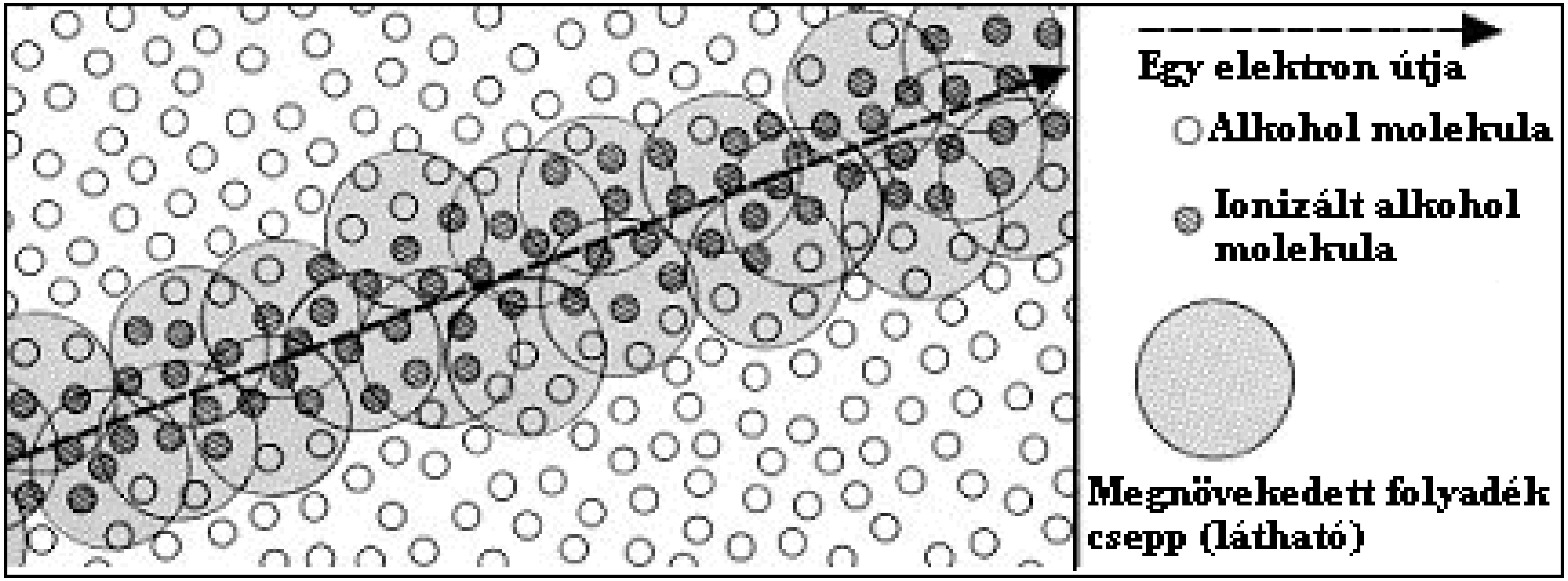


Ködkamra

Működése

Ionizáció jelensége
Látható csepp képződése
Érzékeny térfogat kérdése





Bethe-Bloch-formula

NEHÉZ TÖLTÖTT RÉSZECSKÉK IONIZÁCIÓS ENERGIALEADÁSA

- Bethe-Bloch formula:

  - $\sigma_{st} = \frac{dE}{dx} = -\frac{4\pi Z_T^2 (ke^2)^2 \cdot n_e}{m_e \cdot v_0^2}\left(\ln\frac{2m_e v_0^2}{I_{átl}} - \ln(1-\beta^2) - \beta^2\right)$

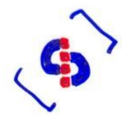
(1) Coulomb kcsh. homogén elektronokkal

(2) elektron tömegének relativisztikus növ.

(3) E.M. tér relativisztikus kezelése (Lorentz kontrakció)

(4) Polarizációs effektusok

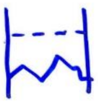
  - skála törvény $\sigma_{st} \sim (\dots)\,\frac{Z^2 A}{E}\cdot\ln(\dots)$



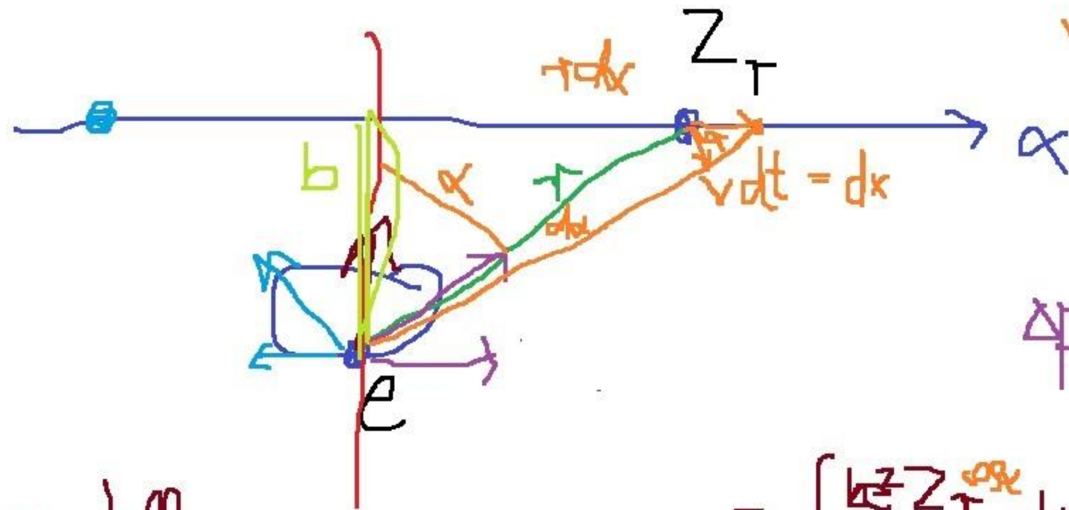
- Hatótávolság
  - $R \sim \frac{1}{AZ^2}E^{1.73}$

Bragg-görbe

- Energialeadás statisztikus jellege (Straggling)
  - inhomogén elektron-eloszlás
  - többszörös szórás



Bethe-Bloch-formula



$$v\,dt\cdot\cos\alpha = r\,d\alpha$$

$$dt = \frac{r}{v\cos\alpha}\,d\alpha$$

$$\Delta p = \int F_\perp\,dt =$$

$$= \int \frac{ke^2 Z_T \cos\alpha}{r^2}\,dt = \int \frac{ke^2 Z_T}{r^2}\cos\alpha =$$

$$= \int \frac{ke^2 Z_T \cos\alpha}{r^2}\cdot\frac{r}{v\cos\alpha}\,d\alpha =$$

$$= \frac{ke^2 Z_T}{v}\int_{-90}^{90}\frac{\cos\alpha}{b}\,d\alpha = \frac{ke^2 Z}{vb}2$$

1. e áll
2. tr egyenes
3. v = áll

$$E_1 = \frac{\Delta p^2}{2m_e} = f(b)$$

$$E_s = \int_{b_{min}}^{b_{max}} n_e \frac{2\pi b\,db}{dx} E_1$$

számolóban van

Bethe-Bloch-formula

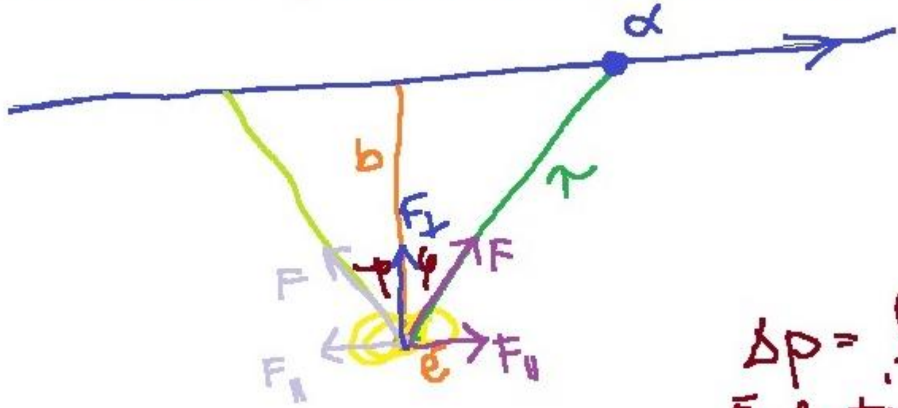
$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n z^2}{m_e v^2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \cdot \left[\ln\left(\frac{2 m_e v^2}{I}\right)\right]$$

$$-\left\langle\frac{dE}{dx}\right\rangle = \frac{4\pi}{m_e c^2} \cdot \frac{n z^2}{\beta^2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \cdot \left[\ln\left(\frac{2 m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1-\beta^2)}\right) - \beta^2\right]$$

Skálatörvény: $Z^2 A/E$

Bethe-Bloch-formula kiegészítés

Nehéz részecskék ionizációs fékeződése:



$$F = \frac{ke^2 Z_r}{r^2}$$

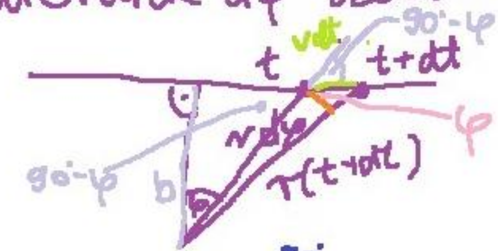
$$F_\perp = \frac{ke^2 Z_r}{r^2}\cos\varphi$$

$$\Delta p = \int F_\perp \, dt$$

$F_\parallel$ hatása $\emptyset$: $-\varphi$ kiejti φ-t, ha az e^- áll.

$$\Delta p = \int \frac{ke^2 Z_r}{r^2}\cos\varphi \, dt$$

áttérünk $d\varphi$ szerinti integrálásra:



$$r\,d\varphi = v \cdot dt \cdot \cos\varphi$$

$$\Downarrow$$

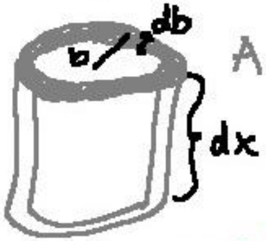
$$dt = \frac{r}{v\cos\varphi}\,d\varphi$$

$$\Delta p = ke^2 Z_r \int_{-90°}^{90°} \frac{\cos\varphi}{r^2}\cdot\frac{r}{v\cdot\cos\varphi}\,d\varphi = \frac{ke^2 Z_r}{v}\int_{-90°}^{90°}\frac{d\varphi}{r} = \frac{ke^2 Z_r}{v}\int_{-90°}^{90°}\frac{d\varphi}{b/\cos\varphi} = \frac{ke^2 Z_r}{v\cdot b}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\pi/2}\cos\varphi\,d\varphi$$

$$\Delta p = \frac{ke^2 Z_r}{v\cdot b}\cdot 2 \quad\Rightarrow\quad E_1 = \frac{\Delta p^2}{2m_e} = \frac{4k^2e^4 Z_r^2}{2v^2 m_e b^2}$$

Bethe-Bloch-formula kiegészítés

Hány elektronnak adja át az energiát?



$A = 2\pi b \cdot db$

$V = A \cdot dx = 2\pi b \cdot db \cdot dx \Rightarrow N(b) = n_e \cdot V = 2\pi b\, n_e\, db\, dx$

$\Rightarrow E(b) = N(b) \cdot E_1 = n_e 2\pi b\, db\, dx \cdot \frac{2k^2e^4Z_1^2}{v^2 \cdot b^2} = \frac{4\pi k^2 e^4 Z_1^2 n_e}{m_e v^2}\, dx \cdot \frac{db}{b}$

$$E_{össz} = \frac{4\pi k^2 e^4 Z_1^2 n_e}{m_e v^2} \cdot dx \int_{b_{min}}^{b_{max}} \frac{db}{b} = \frac{4\pi k^2 e^4 Z_1^2 n_e}{m_e v^2}\, dx \ln \frac{b_{max}}{b_{min}}$$

$E_{össz}$ = a dx úton leadott energia összesen, jelöljük $-dE_\alpha$-val. Így:

$$\frac{dE_\alpha}{dx} = -\frac{4\pi k^2 e^4 Z_1^2 n_e}{m_e v^2} \ln \frac{b_{max}}{b_{min}}$$

de $b_{min} = ?$ $\longrightarrow$ $E_{min} = (\ldots)\frac{1}{b_{max}^2}$, $E_{max} = (\;)\frac{1}{b_{min}^2}$ $\Bigg\}$ $\frac{b_{max}}{b_{min}} = \sqrt{\frac{E_{max}}{E_{min}}}$

↳ ez a klasszikus számolás hibája, QED-ben van a 2x-es spinfaktor miatt.

ezzel $\frac{dE}{dx} = -\frac{4\pi k^2 e^4 Z_1 n_e}{m_e v^2} \ln \frac{E_{max}}{E_{min}} \cdot \frac{1}{2}$

Bethe-Bloch-formula kiegészítés

E_{max} a b_{min}-hez tartozó, 1 e^--nak átadott, maximális energia.
Ez centrális ütközéskor jön létre:

$m_\alpha \gg m_e$
tkp = α-val együtt
← mozgó rendszer
v-vel visszapattan az e^-

Visszatérünk a lab koordinátarendszerbe:
→ v-t kell hozzáadni mindenhez.
$\bar{e}$ sebessége 2v lesz. $E_{max} = \frac{1}{2} m (2v)^2 = 2mv^2$

$E_{min} = I$ átlagos ionizációs potenciál.
Táblázatból kell kinézni. Ekkor az e^- szinte állva keletkezik és az α nagyon messze suhant el.

Ezeket behelyettesítve:

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{4\pi n_e k e^2 Z_r^2}{m_e v^2} \ln \frac{2 m_e v^2}{I}$$

→ angolul a neve: stopping power

A további tagok relativisztikus effektusokból jönnek:
$M_e = \frac{m_e}{\sqrt{1-\beta^2}}$; valamint az α EM tere polarizációs hullámokat hoz létre
emiatt lesz egy $-\beta^2$-es tag.