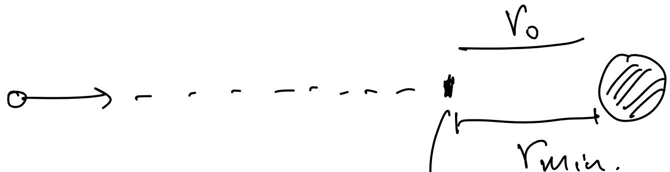
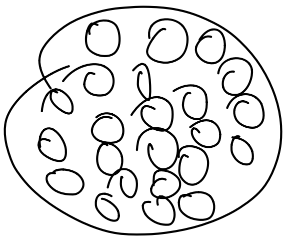


↪ punto di inversione del moto

$U(r_0) = K \simeq 5$ MeV.

$U(r) = \alpha \dfrac{Z_p Z_N}{r}$ $\qquad \alpha \dfrac{2 Z_N}{r_0} = 5$ MeV.

$r_0 \simeq \dfrac{2 \times 79}{137} \dfrac{1}{K} \simeq \dfrac{1}{K}.$



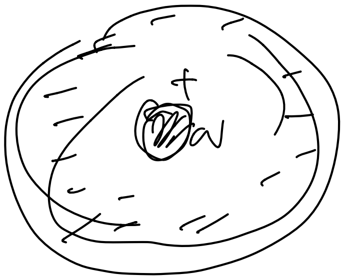
A, Z

$r_N \simeq r_0 A^{1/3}$ fenomenologica

$r_0 \simeq 1.1$ fm.

Au, $A = 79 \Rightarrow$ $\quad r_{Au} \simeq 1 \times 79^{1/3} \simeq 5-10$ fm.

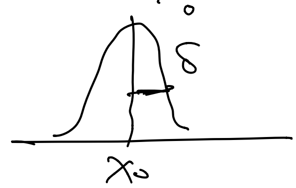
$r_N < 30$ fm $\ll 1$ Å $\simeq r_{atomico}$.



elettroni:

misura

$x_0 \pm \delta$



$K = E - m$ $\qquad \beta \to 0$ $\qquad K \simeq \dfrac{p^2}{2m}$

$x_0 \in [x_0 - 3\sigma, x_0 + 3\sigma]$

$x = 0 \pm 3.$

$x < 7.5$ @ 95% CL.

100 misure

mi aspetto 95 volte
di misurare $x < 7.5$

Rutherford: $\Rightarrow$ stabilito modello nucleare.

Scoperta del protone

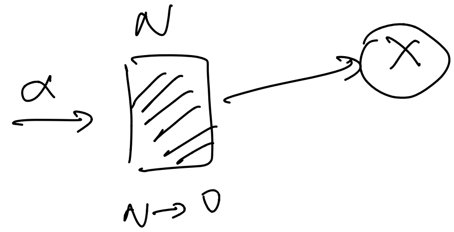
Rutherford 1918

sfruttando raggi α

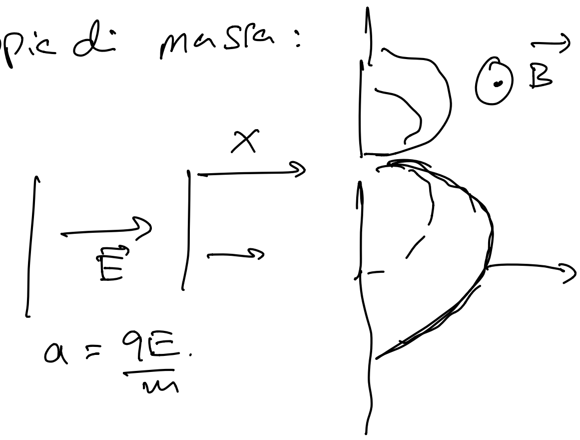
$$\alpha + {}^{14}_{7}N \longrightarrow {}^{17}_{8}O + X$$

azoto

trasmutazione nucleare.



spettroscopia di massa:



$q>0$

$q<0$.

$R \propto \frac{q}{m}$

$a = \frac{qE}{m}$.

v

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}).$$

$$\vec{a} = \frac{q}{m}(\vec{v} \times \vec{B}).$$

$$a = \frac{q}{m} vB$$

misura $\frac{q}{m}$ $\Rightarrow$ stabili che $x \equiv p$

scoperta del neutrone

Chadwick 1931

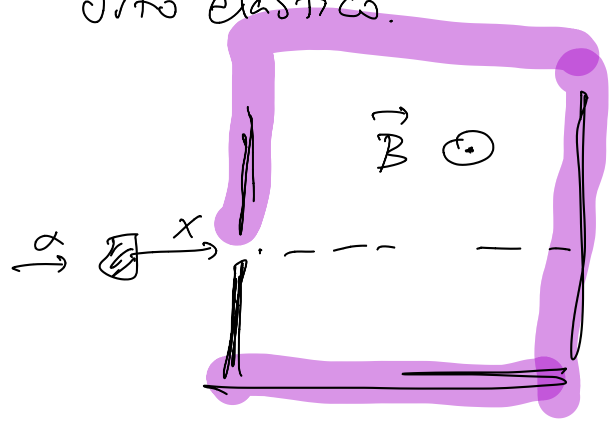
$$\alpha + {}^{9}_{4}Be \longrightarrow {}^{12}_{6}C + X$$

Li, B

urto anelastico.
particelle iniziali $\neq$ particelle fin.

$$\alpha + N \longrightarrow \alpha + N$$

urto elastico.



osservazioni sperimentali:

- X neutra
- non ionizzante
- molto penetrante rispetto ad α, β (e^-)

Ipotesi su X:

- fotoni γ
- nuove particelle con $m \neq 0$

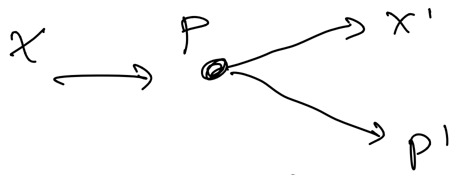
Metodo sperimentale per capire se $x = \gamma$ oppure part. nuova.

$$\alpha + {}^{9}_{4}Be \to {}^{12}_{6}C + \gamma$$

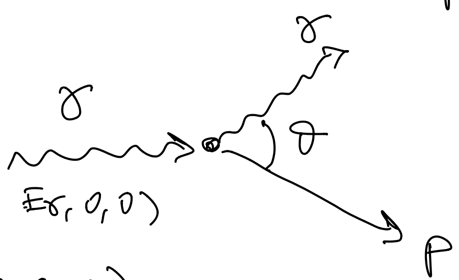
$$\hookrightarrow \gamma + p \to \gamma + p \quad \hookrightarrow K_p$$

sperimentalmente si osservava che $K_p \simeq 5$ MeV.

misura nel lab.



$\cancel{K}_p \simeq 5$ MeV.



$$P_\gamma = (E_\gamma, E_\gamma, 0, 0)$$

$$P_p^i = (m_p, 0, 0, 0)$$

$$P_i = P_\gamma + P_p^i$$

$$\vec{P}_\gamma' \cdot \vec{P}_p' = P_\gamma' P_p' \cos\theta = E_\gamma' P_p' \cos\theta.$$

$$P_f = P_\gamma' + P_p'$$

$$P_\gamma' = (E_\gamma', \vec{P}_\gamma')$$

$$P_p' = (E_p, \vec{P}_p')$$

$$P_f = P_p' + P_\gamma'$$

stato iniziale:

$$P_i^2 = |P_\gamma|^2 + |P_p|^2 + 2 P_\gamma \cdot P_p$$

$$|P_\gamma|^2 = E_\gamma^2 - |\vec{P}_\gamma|^2 = E_\gamma^2 - E_\gamma^2 = 0$$

$$|P|^2 = m^2 = E^2 - p^2.$$

$$= 0 + m_p^2 + 2(m_p E_\gamma - \cancel{0 \cdot E_\gamma}) = m_p^2 + 2 m_p E_\gamma$$

$$P_f^2 = |P_\gamma'|^2 + |P_p'|^2 + 2 P_\gamma' \cdot P_p' = 0 + m_p^2 + 2(E_\gamma' E_p - \vec{P}_\gamma' \cdot \vec{P}_p')$$

$$P_f^2 = P_i^2 \Rightarrow \quad m_p E_\gamma = E_\gamma' E_p - E_\gamma' P_p' \cos\theta.$$

$$E_\gamma' = \frac{m_p E_\gamma}{E_p - P_p' \cos\theta} = E_\gamma \frac{m_p}{E_p - P_p' \cos\theta}$$

$\theta = \pi \Rightarrow E_\gamma' = \dfrac{m_p}{E_p + P_p'}$

sperimentalmente $K_p = 5$ MeV. $K_p = \dfrac{P_p'^2}{2m} \Rightarrow P_p' = \sqrt{2 m_p K_p}$

$m_p \simeq 1000$ MeV $\simeq 100$ MeV.

$$E_\gamma' \simeq \frac{1000 \text{ MeV}}{1000 + 5 + 100 \text{ MeV}} E_\gamma \Rightarrow \frac{E_\gamma'}{E_\gamma} \simeq 0.905$$

$\boxed{E_\gamma' \simeq 0.9 \, E_\gamma}$ da calcolo $\sqrt{s'}$.

$$E_\gamma' - E_\gamma = 0.9 E_\gamma - E_\gamma = -(0.1) E_\gamma.$$

Conservazione energia:

$$E_\gamma + \cancel{m_p} = E_\gamma' + E_p' = E_\gamma' + \cancel{m_p} + K_p$$

$$E_\gamma - E_\gamma' = K_p = 0.1 \, E_\gamma$$

$$E_\gamma \simeq 10 \, K_p \simeq 50 \text{ MeV}$$

$\alpha + Be \to C + \gamma$

$\gamma + p \to \gamma + p$

$K = 5$ MeV.

Hai bisogno di avere

$E_\gamma \simeq 50$ MeV.

Ipotesi: $x = \gamma$, $E_\gamma = 50$ MeV.

Invece sperimentalmente si vedeva che $E_\gamma \ll 50$ MeV.

$\Rightarrow x \neq \gamma$.

Chadwick: $\alpha + {}^{9}_{4}Be \to {}^{12}_{6}C + n$

nuova particella neutra.

$\dfrac{|m_p - m_n|}{m_p} \simeq 10\%$

Esercizio: rifare i conti con $m_n = m_p$

$m_p \simeq 938.3$ MeV

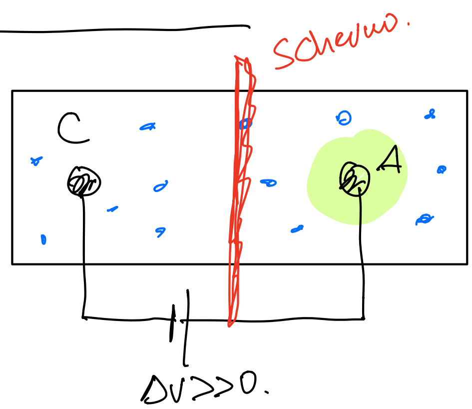
$m_N \simeq 939.6$ MeV

$\frac{m_n - m_p}{m_p} \simeq 0.1\%$

γ, p, n, e^-

Scoperte dell'elettrone

Fine 800.



Studio in funzione di:

- ΔV
- tipo di gas.
- pressione
- materiale del catodo.

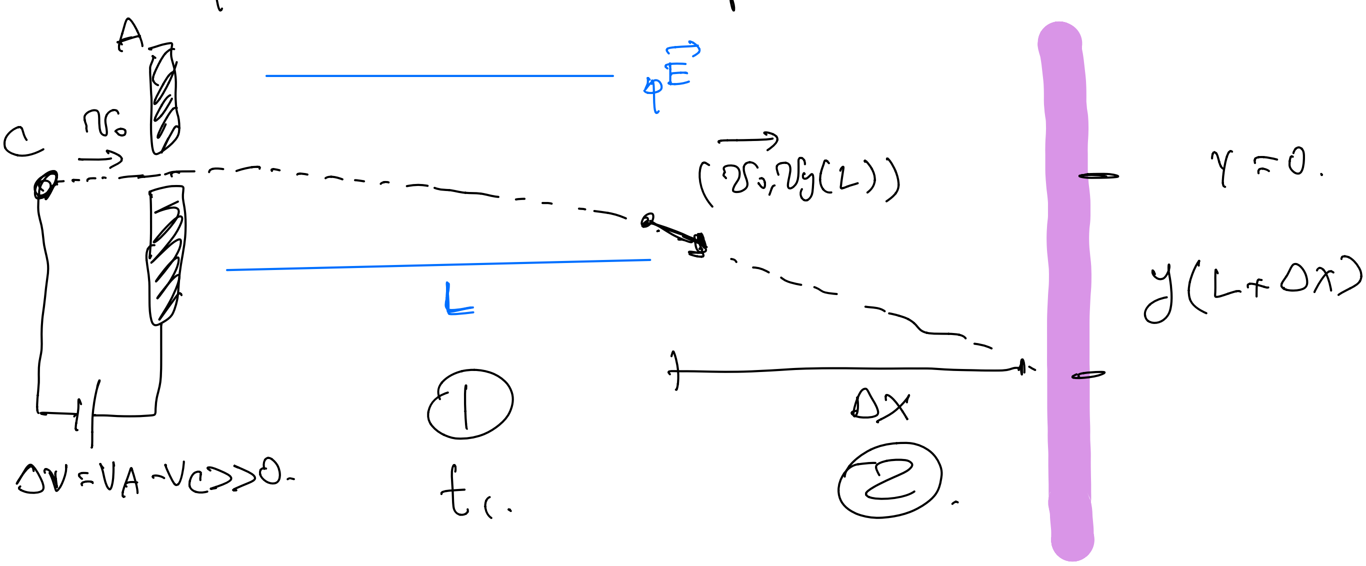
Osservazioni sperimentali.

- luminiscenza verde vicino all'anodo
- scariche elettriche anche per ΔV modeste
- cessare interponendo lo schermo tra A e C
- aumento di lumin. con ΔV ↗
- applicando $\vec{B}$ fenomeno variava

Ipotesi: natura corpuscolare.
carica elettrica

raggi catodici

Thompson nel 1897 esperim. con tubo catodico.



① $\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{q}{m} E \end{cases}$ $\begin{cases} v_x(t) = v_0 \\ v_y(t) = \frac{q}{m} E t \end{cases}$ $\begin{cases} x(t) = v_0 t \\ y(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{q}{m} E\right) t^2 \end{cases}$

$t_1 = \frac{L}{v_0}$ nel condensatore.

$v_x(L) = v_0$.

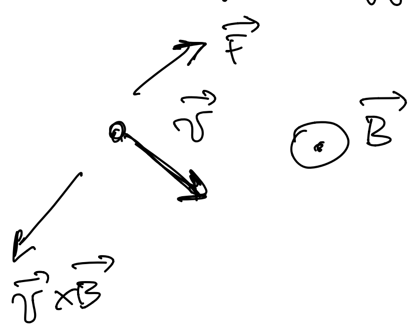
$v_y(L) = \frac{q}{m} E t_1 = \frac{q}{m} E \frac{L}{v_0}$

$y(\text{schermo}) = y(L+\Delta x) = y(t_1) + v_y(t_1)\, t_2$.

$t_2 = \frac{\Delta x}{v_0}$

$y(L+\Delta x) = \frac{1}{2}\frac{q}{m} E \left(\frac{L}{v_0}\right)^2 + \frac{q}{m} E \frac{L}{v_0} \frac{\Delta x}{v_0} =$

$= \frac{q}{m} E \frac{L}{v_0^2} \left(\frac{L}{2} + \Delta x \right)$



$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$.

$q < 0$. $\vec{F}$ antiparallela a $\vec{v} \times \vec{B}$.

$\Rightarrow$ Bilanciare $\vec{E}$ con $\vec{v} \times \vec{B}$.

$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \Rightarrow \cancel{q}\ E - vB = 0$.

$\boxed{v_0 = \frac{E}{B}}$ Ricavo v_0 da campi E, B applicati.

$y(L+\Delta x) = \frac{q}{m} E L \frac{B^2}{E^2} \left(\frac{L}{2} + \Delta x \right)$

grandezze misurate $\Rightarrow$ stimare $\frac{q}{m}$ dai dati.

$\frac{q}{m}$: invariante per tipo di gas, pressione, ΔV $\Big\}$ $\Rightarrow$ prop. del proiettile.

Thompson: $\frac{q}{m} = 1.76 \times 10^{11}\ C\,Kg^{-1}$ $q<0$

Nobel 1906.

$\frac{q}{m}$ $\qquad \vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B})$.

$\vec{a} = \frac{q}{m}(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B})$.

per misurare m: serve misura indipendente della carica

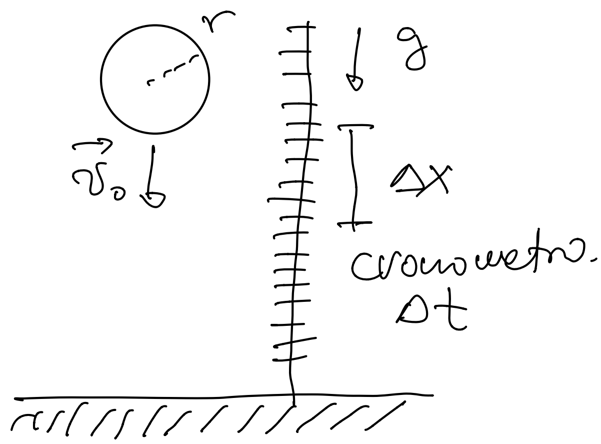
$$\underbrace{\left(\frac{q}{m}\right)}_{\text{mis.}} \times \underbrace{\left(\frac{1}{q}\right)}_{\text{misurato}} = \underbrace{m}_{\text{misurata}}.$$

Esperimento di Millikan $\qquad$ misura di q $\qquad$ esp. 1909

Nobel 1923

misura di q dal moto di olio nebulizzato.

- gocce olio in caduta.
- si caricano per attrito
- osservo moto viscoso nell'aria.



$$F = mg - 6\pi\eta r v_0 = 0$$

η coeff. viscosità del mezzo.

$v_0 = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

r: raggio della goccia.

v_0: velocità limite.

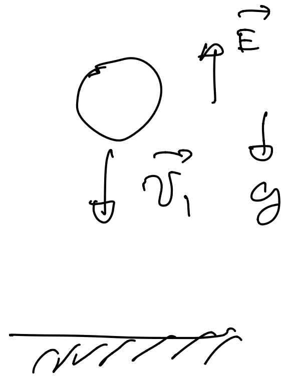
$$mg = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho g = 6\pi\eta r v_0$$

$$\frac{2}{3} r^2 \rho g = 3\eta v_0 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{3 \cdot 3\eta v_0}{2\rho g}}$$

$$= \sqrt{\frac{9}{2}\frac{\eta v_0}{\rho g}}$$

misure di v_0 $\Rightarrow$ stime di r.

Ripetere misure applicando campo $\vec{E}$ esterno.



$$F = mg - 6\pi\eta r v_1 - qE = \emptyset .$$

$$qE = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho g - 6\pi\eta r v_1$$

$$q = \frac{1}{E}\left(\frac{4\pi}{3} r^3 \rho g - 6\pi\eta r v_1 \right).$$

tirate fuori $6\pi\eta r$

$$q = \frac{1}{E} 6\pi\eta r (v_0 - v_1)$$

misurate

v_0: vel. mis. con $E = 0$

v_1: vel. mis. con $E \neq 0$.

$$q = 1.59 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

Ripetere esperimento con mat. diversi.
campi diversi.

$$Q = N \times (q)$$

Thompson $\frac{q}{m}$.

Millikan q

$$\Rightarrow \quad m = \frac{1.59 \times 10^{-19}}{1.76 \times 10^{11}} = 0.911 \times 10^{-30} \text{ kg}.$$

$\simeq 0.511$ MeV

α, p, e^- (β), γ