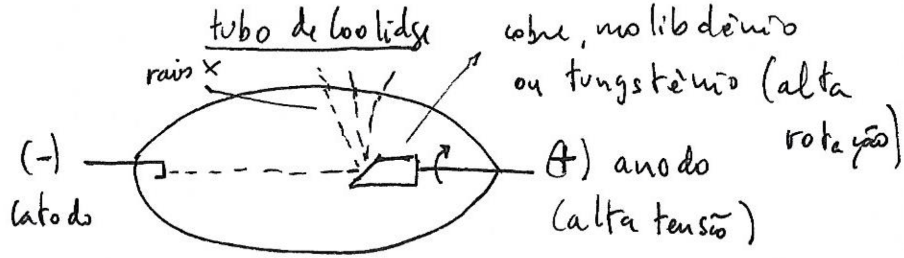
Raios X



Röntgen (1895) → observa que alguma coisa provocava luminescência em algumas substâncias. a cerca de 2 metros do tubo:

Lenard (1894) → raios que se propagam fora do tubo

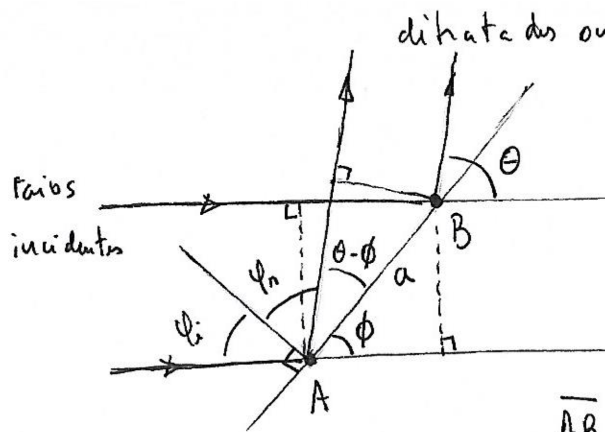
- não eram desviados por campos eletromagnéticos
- eram bloqueados por folhas metálicas
- maior penetração em folhas de papel ou madeira, que a radiação visível e ultravioleta.
- caráter corpuscular ou ondulatório?

Barkla (1905) → polarização

Laue (1912) → difração

$\Rightarrow \lambda \sim 10^{-9}$ cm (caráter ondulatório) transversal

Lei de Bragg (1913)



$\phi + \psi_i = \pi/2$

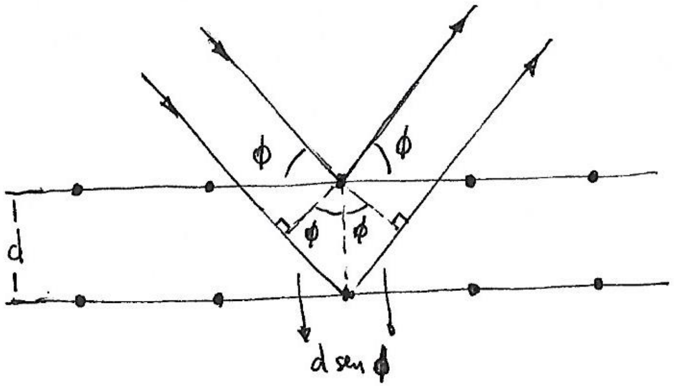
$(\theta-\phi) + \psi_r = \pi/2$

$\overline{AB} = a$

$$\begin{cases} \psi_i = \pi/2 - \phi \implies \text{sen}\, \psi_i = \cos\phi \\ \psi_r = \pi/2 - (\theta - \phi) \implies \text{sen}\, \psi_r = \cos(\theta - \phi) \end{cases}$$

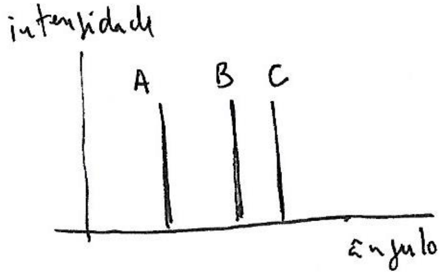
$$\begin{cases} \delta_{AB} = a\cos\phi - a\cos(\theta-\phi) \ \text{(dif. de marcha)} \\ \theta = 2\phi \implies \delta_{AB} = 0 \ \text{(interferência construtiva - máximo)} \end{cases}$$

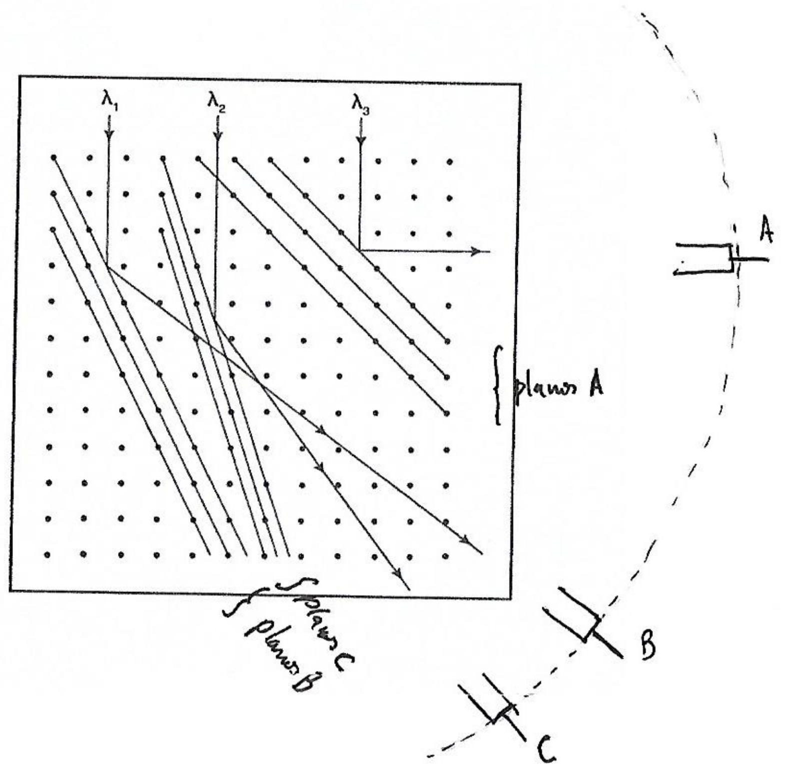
$\delta_{AB} = a(\text{sen}\,\psi_i - \text{sen}\,\psi_r) = 0 \implies \boxed{\psi_i = \psi_r}$ (difração pode ser vista como reflexões nos planos cristalinos)



diferença de marcha → $\boxed{2d\,\text{sen}\,\phi = n\lambda}$ (lei de Bragg)

interferência construtiva → $n = 1, 2, 3, \ldots$





Radioatividade

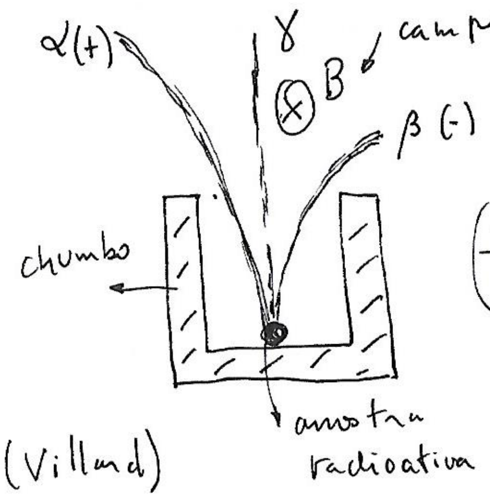
Becquerel (1896) – observa radiação penetrante emanada "espontaneamente" de sais de urânio.

- capaz de atravessar folhas de papel
- ionizar gases
- intensidade diminui bastante c/a distância
- independe do estado cristalino do urânio

Curie (1897) → descobre novas substâncias radioativas (polônio, rádio, ...)

Experimentos de Rutherford

α	grande poder de ionização (carga positiva) pequeno poder de penetração (folhas de papel)
β	baixo poder de ionização (carga negativa) penetração moderada (folhas metálicas)
γ	maior poder de penetração (carga nula) (Villard)



$$\left(\frac{q}{m}\right)_\beta = \left(\frac{q}{m}\right)_{elétron}$$

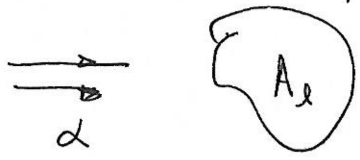
(Becquerel - 1899)

$$\left(\frac{q}{m}\right)_\alpha = \frac{1}{2}\left(\frac{q}{m}\right)_{H^+} = \frac{1}{2}\left(\frac{e}{m}\right)_{próton} \Rightarrow$$

hipóteses de Rutherford $\begin{cases} q_\alpha = 2e \\ m_\alpha = 4\, m_{H^+} \end{cases}$ núcleos de hélio (He)

Radioatividade artificial (Curie - Joliot - 1934)

captura α



$$\underset{\text{A}}{}\ Al^{27}_{13} + \alpha\,(He^4_2) \longrightarrow \overset{\text{isótopo instável do fósforo}}{P^{30}_{15}} + \overset{\text{nêutron}}{n} \qquad \text{(Chadwick - 1932)}$$

(A, Z)

$$P^{30}_{15} \xrightarrow{T_{1/2} \sim 3.25 \text{ min.}} Si^{30} + e^{+}$$

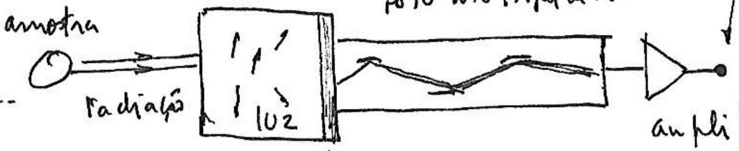
lei do decaimento (Rutherford - 1902)

atividade inicial

meia-vida

$$A_0 \xrightarrow{T_{1/2}} \frac{A_0}{2} = A(T_{1/2}) \xrightarrow{T_{1/2}} A(2T_{1/2}) = \frac{A_0}{4} = \frac{A_0}{2^2} \xrightarrow{T_{1/2}} A(3T_{1/2}) = \frac{A_0}{2^3} \cdots$$

$$\dashrightarrow A(\underbrace{nT_{1/2}}_{t}) = \frac{A_0}{2^n} = \frac{A_0}{2^{t/T_{1/2}}} = A(t)$$



$$\frac{dN_c}{dt} = A = -\frac{dN}{dt} \quad \text{(atividade)}$$

nº de partículas da amostra

$\left(\frac{dN_c}{dt}\right)$ taxa de emissão

$\frac{dN}{dt}$ → taxa de decaimento

$$A(t) = \frac{A_0}{e^{(\ln 2)\,t/T_{1/2}}} = \frac{A_0}{e^{0.693\,t/T_{1/2}}} = A_0\, e^{-t/\underbrace{(T_{1/2}/0.693)}_{\tau}}$$

τ → vida média

$$\boxed{A(t) = A_0 e^{-t/\tau}} \qquad \tau = \frac{T_{1/2}}{0.693}$$

lei do decaimento (Rutherford)

$$\begin{cases} -\dfrac{dN}{dt} = A(t) \\ A(t) = A_0 e^{-t/\tau} \end{cases} \Longrightarrow \begin{cases} \dfrac{dN}{dt} = -A(t) = -A_0 e^{-t/\tau} \\ \left.\dfrac{dN}{dt}\right|_0 = -A_0 \end{cases}$$

$$\Longrightarrow N(t) = A_0 \tau e^{-t/\tau} + C \quad (C = 0)$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{N(t) = N_0 e^{-t/\tau}}$$

$N(t)$: nº de núcleos sobreviventes

N_0: nº de núcleos iniciais $(N_0 = A_0 \tau)$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{M(t) = M_0 e^{-t/\tau}}$$

$M(t)$: massa

- meia vida é determinada por medidas da atividade em dois instantes

$$\begin{cases} A_1 = A_0 e^{-0.693 t_1/T_{1/2}} \\ A_2 = A_0 e^{-0.693 t_2/T_{1/2}} \end{cases} \Longrightarrow \frac{A_1}{A_2} = e^{(t_2 - t_1) 0.693/T_{1/2}}$$

$$\boxed{T_{1/2} = \frac{(t_2 - t_1) \times 0.693}{\ln (A_1/A_2)}} \quad \text{(meia vida)}$$

- $$\boxed{\tau = \frac{T_{1/2}}{0.693}} \quad \text{(vida média)}$$

$$\begin{cases} \lambda = \dfrac{1}{\tau} \quad \text{(cte de decaimento)} \\ A = A_0 e^{-\lambda t} \end{cases}$$

Datação c/ carbono 14 (Libby - 1947)

$$\left\{ \begin{array}{l} {}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + \beta \quad (n \rightarrow p + \beta) \\ \qquad\qquad\qquad\qquad \text{decaimento } \beta \\ T_{1/2} = 5730 \end{array} \right.$$

- Organismos vivos absorvem CO_2, o qual é constituído de Carbono 12 e uma pequena parcela de carbono 14.

$$\frac{N_{C_{12}}}{N_{C_{14}}} = 7.7 \times 10^{11} \text{ (abundância relativa)}$$

→ razão entre a quantidade de C_{12} e C_{14} nos compostos de CO_2, na atmosfera.

- após a morte, quando deixam de absorver CO_2, a massa de C^{12} permanece constante, enquanto a massa de C^{14} vai diminuindo.

$$N_0(C^{14}) = \frac{N_0(C^{12})}{N_0(C^{12})/N_0(C^{14})} = \frac{N(C^{12})}{7.7 \times 10^{11}} = A_0 \tau$$

$$N(C^{12}) \rightarrow \frac{m}{12} \times N_A$$

- a partir da atividade do C^{14} em uma amostra de organismo morto (carvão vegetal, fóssil de planta ou ossos de animais) pode-se determinar a idade da amostra

$$A = A_0 e^{-t/\tau} \Rightarrow \frac{A_0}{A} = e^{t/\tau} \Rightarrow \boxed{t = \tau \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = \frac{T_{1/2}}{0.693} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)}$$

Uma amostra de 25 g de carvão vegetal tem atividade de C^{14} igual a 250 desintegrações/min. Determine a idade da amostra.

$$\begin{cases} N(C^{12}) = 6.02\times10^{23} \times \dfrac{25}{12} = 1.25\times10^{24} \text{ núcleos de } C^{12} = N_0(C^{12}) \\ N_0(C^{14}) = \dfrac{1.25\times10^{24}}{7.7\times10^{11}} = 1.6\times10^{12} \Longrightarrow A_0 = \dfrac{1.6\times10^{12}}{\tau} = \dfrac{1.6\times10^{12}\times 0.693}{\underbrace{T_{1/2}}_{5730 \text{ anos}}} \end{cases}$$

$$A_0 = \frac{1.6\times10^{12}\times0.693}{5.73\times10^{3}\times3.65\times10^{2}\times24\times60} = \frac{1.1\times10^{12}}{3\times10^{9}} = \frac{11}{3}\times10^{2} = 367 \text{ desintegrações/min.}$$

$$t = \frac{T_{1/2}}{0.693}\ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = \frac{5730}{0.693}\ln\left(\frac{367}{250}\right) = \frac{0.384}{0.693}\times5730 = \boxed{3174 \text{ anos}}$$

Idade da Terra

$$\begin{cases} U^{235} \longrightarrow Pb^{207} \quad \left(T_{1/2} = 718 \text{ milhões de anos} \quad 0.718 \times 10^9 \text{ anos}\right) & \dfrac{N_{Pb}}{N_U} \simeq 29 \\ K^{40} \longrightarrow Ar^{40} \quad \left(T_{1/2} = 1.25 \times 10^9 \text{ anos}\right) & \dfrac{N_{Ar}}{K} \simeq 10.3 \end{cases}$$

Supondo-se que todos os Pb^{207} e Ar^{40} resultam de decaimentos do U^{235} e do K^{40},

nº de urânio no instante t (presente) $\begin{cases} N_U = N_0 e^{-t/\tau} \\ N_{Pb} = N_0 - N_U \end{cases}$

$$\Longrightarrow N_U = (N_{Pb} + N_U) e^{-t/\tau} \Longrightarrow e^{t/\tau} = \frac{N_{Pb}}{N_U} + 1$$

$$t = \tau \ln\left(\frac{N_{Pb}}{N_U} + 1\right) = \frac{T_{1/2}(U)}{0.693} \underbrace{\ln 30}_{3.4} = \frac{0.718 \times 10^9}{0.693} \times 3.4$$

$$\boxed{t \simeq 3.5 \times 10^9 \text{ anos}} \quad (\text{c/ o urânio})$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{P/ o potássio,} \\ t = \dfrac{1.25 \times 10^9}{0.693} \underbrace{\ln 11.3}_{2.425} \simeq 4.37 \times 10^9 \text{ anos} \end{array}}$$

- idade das rochas terrestres ou lunares
- aproximadamente, a idade da Terra e do Sistema Solar