Introducción

Física Nuclear y subnuclear

6 de febrero de 2024

Comparando unidades

- Longitud de Plank: $1{,}6162 \times 10^{-35} m$ [1]
- Radio de un cuark: $\leq 1 \times 10^{-18} m$
- Radio nuclear: $\approx 1 \times 1 \times 10^{-15} m$
- Radio del átomo: $\approx 1 \times 10^{-10} m$
- Grosor de un cabello: $\approx 8 \times 10^{-5} m$

[1] https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plkl

Prefijos para magnitudes

Potencia	Nombre	Símbolo	Potencia	Nombre	Símbolo
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	pate	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a

Unidades

Cantidad	Unidad	Abreviatura
Longitud	metro	m
Tiempo	segundos	s
Energía	electron volts	eV
Masa		eV/c^2
Momento		eV/c

¿eV/c y eV/c^2?

- $1eV = 1{,}6 \times 10^{-19} J$
- $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$

Propiedades relativistas

Partículas dentro del formalismo cuántico y relativista

$$
\begin{aligned}
p =& \gamma m v \\
E^2 =& p^2 c^2 + m^2 c^4
\end{aligned}
$$

Propiedades relativistas II

$$
\begin{aligned}
E^2 =& \gamma^2 m^2 v^2 c^2 + m^2 c^4 \\
=& \gamma^2 m^2 (\frac{v^2}{c^2}) c^4 + m^2 c^4 \\
=& \gamma^2 m^2 \beta^2 c^4 + m^2 c^4 \\
=& (\gamma^2 \beta^2 + 1) m^2 c^4 \\
=& \gamma^2 m^2 c^4
\end{aligned}
$$

Dispersión de Rutherford

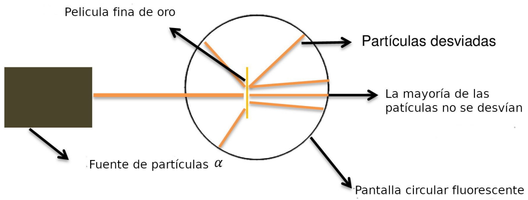


Figura: Arreglo experimental para la dispersión de Rutherford. Imagen adaptada a partir de "File:Peliculafinadeouro.jpg" por Costa Isa 14 con una licencia CC BY-SA 4.0

Cinemática clásica

$$
\begin{aligned}
\frac{1}{2} m_\alpha v_0^2 =& \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 + \frac{1}{2} m_t v_t^2 \\
v_0^2 =& v_\alpha^2 + \frac{m_t}{m_\alpha} v_t^2
\end{aligned}
$$

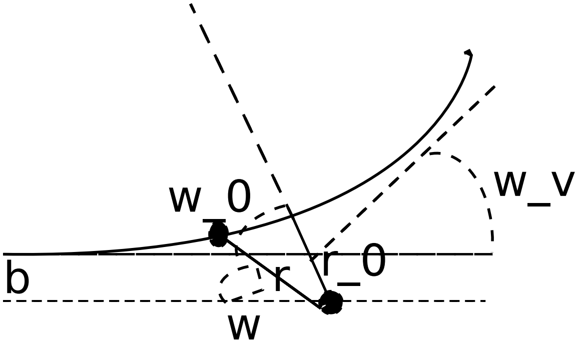
Usando $m_\alpha v_0 = m_\alpha v_\alpha + m_t v_t$

$$
v_t^2 \left(1 - \frac{m_t}{m_\alpha} \right) = 2 \overrightarrow{v_\alpha} \cdot \overrightarrow{v_t} \, .
$$

¿Qué nos está haciendo falta?

Interación:

$$V(r) = \frac{ZZ'e^2}{r}$$



Analizando

Imaginemos muy lejos:

$$E = \frac{1}{2} m v_0^2$$
$$v_0 = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

Conservación de momento angular

$$\ell = m v_0 b$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\ell}{m r^2}$$

Energía total

$$\begin{aligned}
E =& \frac{1}{2}m\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \frac{1}{2}mr^2\left(\frac{d\omega}{dt}\right)^2 + V(r) \\
=& \frac{1}{2}m\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \frac{1}{2}mr^2\left(\frac{\ell}{mr^2}\right)^2 + V(r)
\end{aligned}$$

$$\frac{dr}{dt} = -\left[\frac{2}{m}\left(E - V(r) - \frac{\ell^2}{2mr^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

Velocidad radial

Introducimos la ℓ en términos del parámetro de impacto

$$\frac{dr}{dt} = -\frac{\ell}{mrb}\left[r^2\left(1-\frac{V(r)}{E}\right)-b^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Manipulando la velocidad angular

$$\begin{aligned} d\omega =& \frac{\ell}{mr^2}dt = \frac{\ell}{mr^2}\frac{dt}{dr}dr \\ =& -\frac{\ell}{mr^2}\frac{dr}{\frac{\ell}{mrb}\left[r^2\left(1-\frac{V(r)}{E}\right)-b^2\right]^{\frac{1}{2}}} \\ =& -\frac{bdr}{r\left[r^2\left(1-\frac{V(r)}{E}\right)-b^2\right]^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \tag{1}$$

Ya casi

Metemos la física al integrar

$$\begin{aligned}\int_0^{\omega_0} d\omega =& -\int_\infty^{r_0} \frac{bdr}{r\left[r^2\left(1-\frac{V(r)}{E}\right)-b^2\right]^{\frac{1}{2}}} \\ \omega_0 =& b\int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r\left[r^2\left(1-\frac{V(r)}{E}\right)-b^2\right]^{\frac{1}{2}}}\end{aligned} \tag{2}$$

El púnto de mínima distancia, donde la $\frac{dr}{dt}$ se hace cero:

$$\begin{aligned}E - V(r) - \frac{\ell^2}{2mr^2} =& 0 \\ r^2\left(1-\frac{V(r)}{E}\right) - b^2 =& 0\end{aligned} \tag{3}$$

El final

Haciendo un cambio de variable e integral

$$\begin{aligned} \omega_0 =& b\int_{r_0}^{\infty}\frac{dr}{r\left[r^2\left(1-\frac{ZZ'e^2}{Er}\right)-b^2\right]^{\frac{1}{2}}} \\ \theta = \pi - 2\omega =& \pi - 2b\int_{r_0}^{\infty}\frac{dr}{r\left[r^2\left(1-\frac{ZZ'e^2}{Er}\right)-b^2\right]^{\frac{1}{2}}}, \end{aligned} \tag{4}$$

Llegaremos a un término

$$b = \frac{ZZ'e^2}{2E} cot\frac{\theta}{2}$$

Sección eficaz I

- No es una sola partícula, son un bonche
- Densidad de partículas N_0 $\left(\frac{part.}{tiempo \times \text{área}}\right)$
- Parámetro de impacto de b a $b + db$
- Dispersadas de θ a $\theta - d\theta$
- Ángulo sólido $2\pi N_0 bdb$ (part. dispersadas/ tiempo)
- $\Delta\sigma = 2\pi bdb$

Sección eficaz

$$\Delta\sigma(\theta,\phi) = b\ db\ d\phi$$
$$\Delta\sigma(\theta,\phi) = -\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta,\phi)d\Omega = -\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta,\phi) sen\theta d\theta d\phi.$$

Se llega

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) = \left(\frac{ZZ'e^2}{4E}\right)^2 \frac{1}{sen^4\theta}$$

Sección eficaz de Mott y Point

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Mott} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Rutherford} cos^2\frac{\theta}{2} = 4z^2Z^2\alpha^2\frac{E2}{|q|^4}cos^2\frac{\theta}{2}, \tag{5}$$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Point} = \frac{E'}{E}\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Mott} . \tag{6}$$

Camino libre medio

Definición

El camino libre medio λ es la distancia promedio que viaja una partícula entre colisiones dentro de un medio material.

$$\lambda = \frac{1}{n\sigma}$$

Coeficiente de atenuación

$$\mu = n\sigma$$