Introducción

Física Nuclear y subnuclear

21 de agosto de 2023

¿Qué estudia la fisica nuclear y subnuclear?

- Partículas fundamentales
- Métodos experimentales en común
- Interacciones fundamentales
- Física moderna

Fuerzas en la naturaleza

Fuerza	Rango de acción	Particula mediadora
Gravitacional	∞	gravitón
Electromagnética	∞	fotón (γ)
Nuclear fuerte	$\approx 1F$	gluones
Nuclear débil	$\approx 10^{-3}F$	bosones $W^{\pm}$ y Z^0

Comparaciones

$$\frac{V_{em}}{V_{grav}} \approx 10^{36}$$

$$\frac{V_{fuerte}}{V_{em}} \approx 2 \times 10^{3}$$

$$\frac{V_{em}}{V_{debil}} \approx 1{,}2 \times 10^{4}$$

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

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

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

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

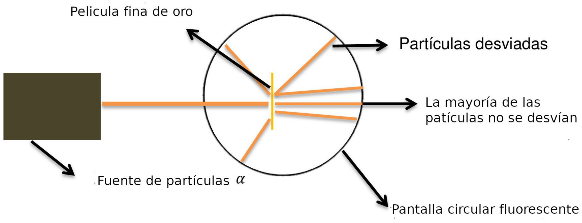


Figura: Arreglo experimental para la dispersión de Rutherford. Imagen adaptada a partir de “File:Peliculafinadeouro.jpg” por Costa Isa 14 con una licencia CC BY-SA 4.0

Cinemática clásica

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

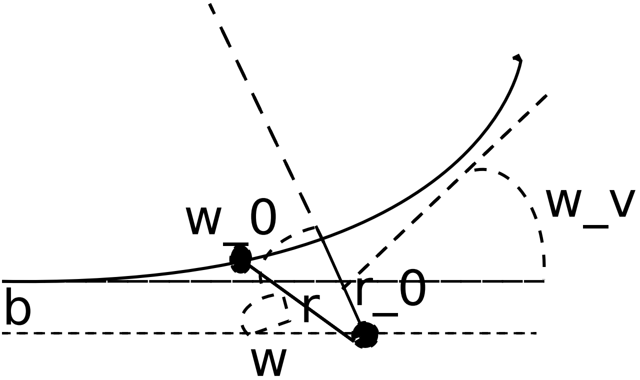
Usando $m_\alpha v_0 = m_\alpha v_\alpha + m_t v_t$

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

¿Qué nos está haciendo falta?

Interación:

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



Analizando

Imaginemos muy lejos:

$$
\begin{aligned}
E &= \frac{1}{2} m v_0^2 \\
v_0 &= \sqrt{\frac{2E}{m}}
\end{aligned}
$$

Conservación de momento angular

$$
\begin{aligned}
\ell &= m v_0 b \\
\frac{d\omega}{dt} &= \frac{\ell}{mr^2}
\end{aligned}
$$

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

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

$$\omega_0 = b\int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r\left[r^2\left(1-\frac{V(r)}{E}\right)-b^2\right]^{\frac{1}{2}}} \tag{2}$$

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

$$E - V(r) - \frac{\ell^2}{2mr^2} = 0$$

$$r^2\left(1-\frac{V(r)}{E}\right) - b^2 = 0 \tag{3}$$

El final

Haciendo un cambio de variable e integral

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

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 $(\frac{part.}{tiempo \times \text{área}})$
- 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

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

Se llega

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

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

$$\mu = n\sigma$$