

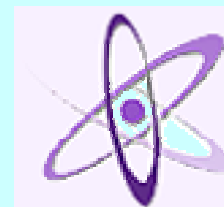


UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA

INTERACCION DE LAS RADIACIONES ELECTROMAGNETICAS CON LA MATERIA

B.C. Paola Audicio

Asistente de Radiofarmacia, CIN



C I N

**Centro de
Investigaciones
Nucleares**

Facultad de Ciencias - Universidad de la República

Radiación ionizante:

- ✓ ionización del material atravesado



- ✓ excitación de las estructuras orbitales
- ✓ radiación secundaria

Radiaciones: - de partículas (α y β)
- radiación electromagnética

Parámetros involucrados

Energía característica

Partículas α : energía cinética del haz monoenergético discreto.

Partículas β : energía máxima del espectro continuo.

Radiación electromagnética γ : $\nu = c/\lambda$

Haz discreto, $E = h\nu$ (J = kg.m²/s², eV, keV y MeV)

Intensidad y Flujo

Intensidad: cantidad de unidades energéticas (partículas o fotones) por unidad de tiempo (Ampere, Coulombios/seg.)

Flujo: cantidad de unidades energéticas (partículas o fotones) por unidad de tiempo y área.

Fenómenos producidos en el material

$M \rightarrow M^+ + e^-$: Ionización primaria.

35.5 eV: energía promedio para producir un par iónico en aire, para toda radiación.

materiales semiconductores: pocos eV para radiación electromagnética $\longrightarrow$ detectores.

Ionizaciones secundarias.

Consecuencias:

- generación de agentes físicos:
 - cargas eléctricas
 - fotones luminosos
- generación de agentes químicos
- efectos biológicos de las radiaciones

Ionización Específica: cantidad de pares ión-electrón (o carga equivalente) / unidad de recorrido.

Radiaciones α y β

Alta ionización y baja penetración

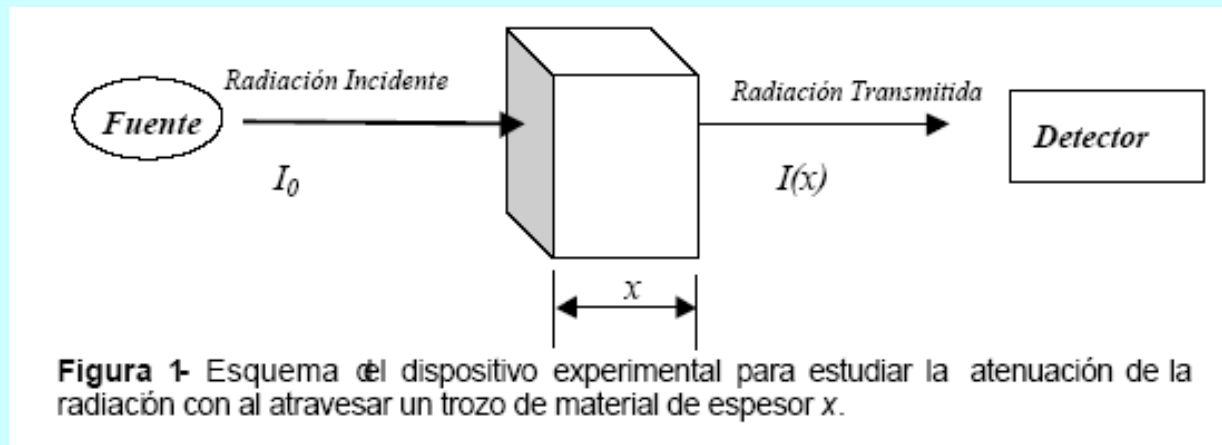
Radiaciones γ y rayos X

Baja ionización y alta penetración.

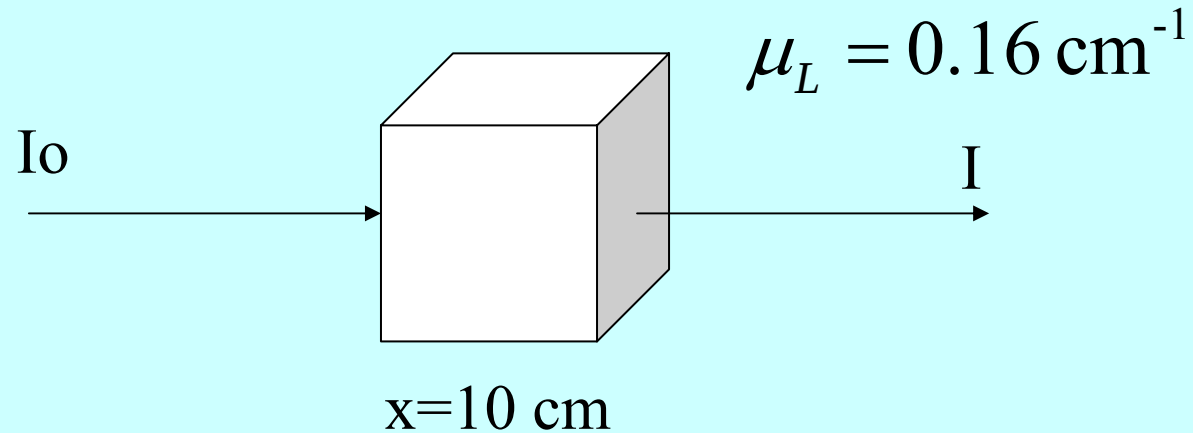
$$I = I_0 e^{-(\mu \cdot x)}$$

Ley de Bouger-Lambert (1729 y 1768)

μ : coeficiente de atenuación, depende de energía del fotón y el número atómico del material. Puede expresarse en forma lineal inversa (cm^{-1}) o en forma másica (cm^2/g).



Ej: Determinar el factor de transmisión para fotones de 140 KeV en 10 cm de tejido blando



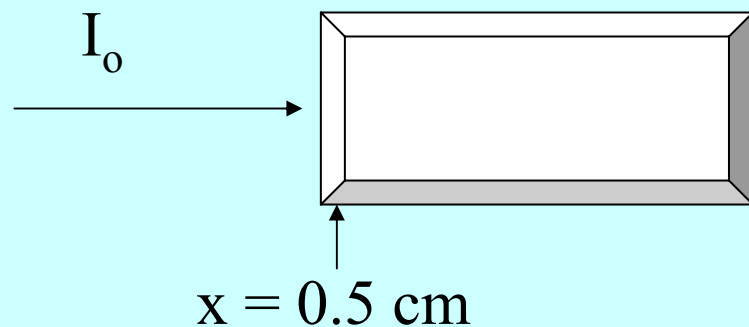
$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-(0.16 * 10)} = 0.20$$

Ej: Se dispone de una cámara de ionización de aire con paredes de acero de 0.5 cm de espesor. Radiación Gamma de ^{135}I (1.6 MeV) inciden en las paredes de la cámara para ionizar el aire y ser detectadas.

- a) Calcular la fracción de radiación gama que atraviesa el espesor de la pared de acero.
- b) Considerando un recorrido en aire de 10 cm calcular la fracción de radiación gamma que es absorbida por el aire.

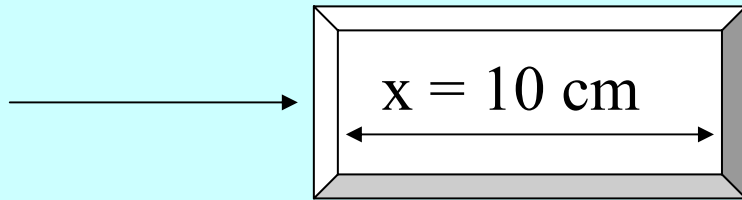
$d_{\text{aire}} = 0.00122 \text{ g/cc}$, $d_{\text{acero}} = 7.8 \text{ g/cc}$, $\mu_m \text{ acero} = 0.05 \text{ cm}^2/\text{g}$, $\mu_m \text{ aire} = 0.025 \text{ cm}^2/\text{g}$



$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-(0.05 \cdot 7.8 \cdot 0.5)} = 0.82$$

b) Considerando un recorrido en aire de 10 cm calcular la fracción de radiación gamma que es absorbida por el aire.

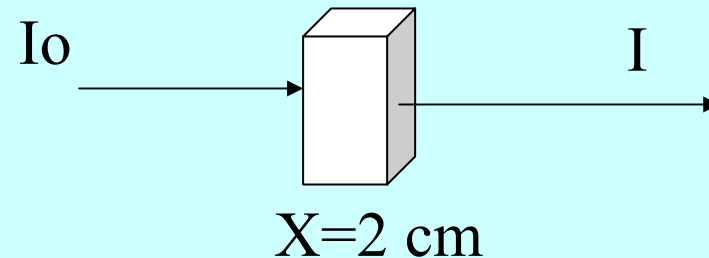


$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-(0.025 \cdot 0.00122 \cdot 10)} = 0.9997$$

Ej.: Se desea conocer la capacidad de absorción de radiación gamma de un material desconocido . Para ello se emplea una fuente de ^{131}I ($E= 364 \text{ KeV}$) la cual se mide 2 veces conservando la geometría, pero en una medida interponiendo un espesor de 2 cm de dicho material. La relación de conteo entre la fuente sin filtro y con filtro es de 1300. Calcular el coeficiente de atenuación del material estudiado.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} = 1/1300$$



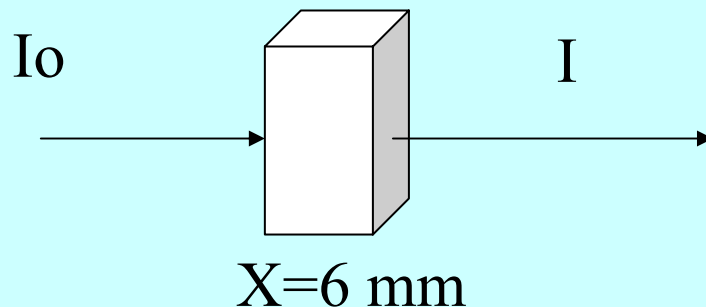
$$\mu = 3.58 \text{ cm}^{-1}$$

Ej.- Debe medirse la actividad de ^{99}Mo en presencia de su hijo $^{99\text{m}}\text{Tc}$ de mayor intensidad. Para mejorar la medida se interpone entre la muestra y el detector una lamina de plomo de 6 mm de espesor. Calcular:

a) El % de radiación correspondiente el $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (140 KeV) absorbida por el filtro.

$$\mu_L (140 \text{ KeV}) = 30 \text{ cm}^{-1}, \mu_L (740 \text{ KeV}) = 1.1 \text{ cm}^{-1}$$

a)

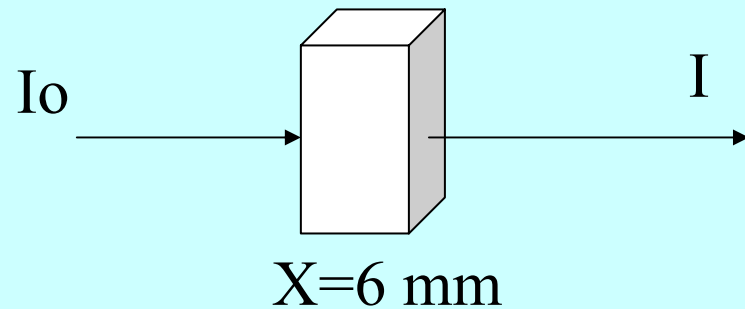


$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-30 \cdot 0.6} = 1.5 \cdot 10^{-8}$$

$$\frac{I_0 - I}{I_0} * 100 \cong 100 \%$$

b) El % de radiación correspondiente al ^{99}Mo (740 KeV) absorbida por el filtro.

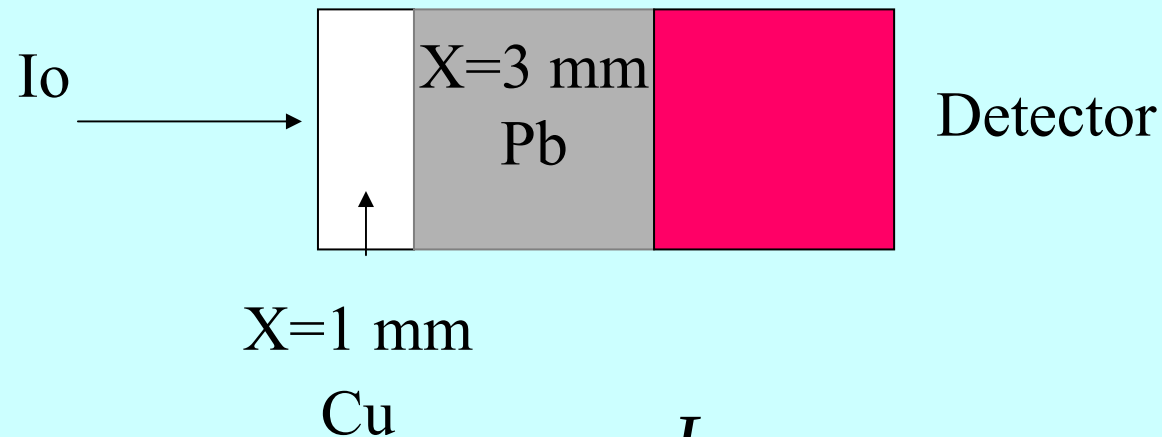


$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-1.1 * 0.6} = 0.52$$

$$\frac{I_0 - I}{I_0} * 100 = 48 \%$$

Ej. - Por las condiciones de trabajo, un detector de centelleo sólido debe ser blindado con 1 mm de Cu y 3 mm de Pb. Si sobre la pared exterior del material incide una radiación de 0.3 MeV, calcular el % transmitido al detector.



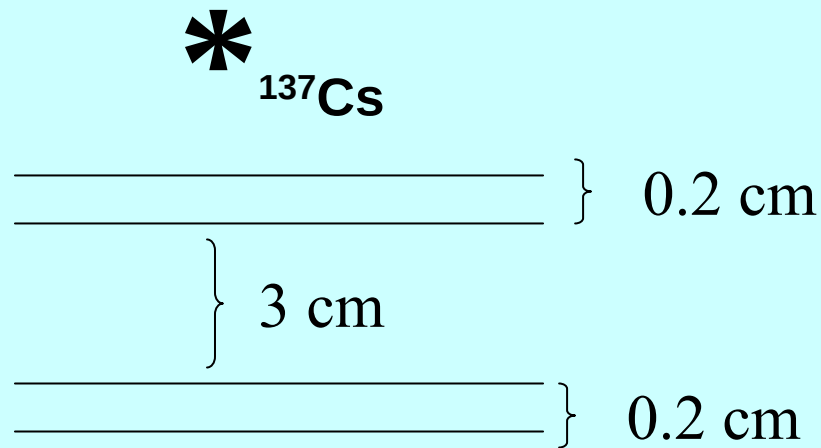
$$\mu_L \text{ Cu} = 1.0 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_L \text{ Pb} = 4.4 \text{ cm}^{-1}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-(\mu_{Cu} X_{Cu} + \mu_{Pb} X_{Pb})}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-(1 \cdot 0.1 + 4.4 \cdot 0.3)} = 0.24 \rightarrow \boxed{24\%}$$

Ej. 8- Una fuente colimada de ^{137}Cs (662 KeV) se encuentra ubicada a un lado de una cañería de acero de 3 cm de diámetro y 0.2 cm de espesor de pared, por donde circulan sedimentos. Si el % de transmisión a través de la cañería es de 65.4, estimar el coeficiente de atenuación lineal de dicha solución.



$$\frac{I}{I_0} = e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3)} = 0.654$$

Dato: $\mu = 0.56 \text{ cm}^{-1}$ en acero

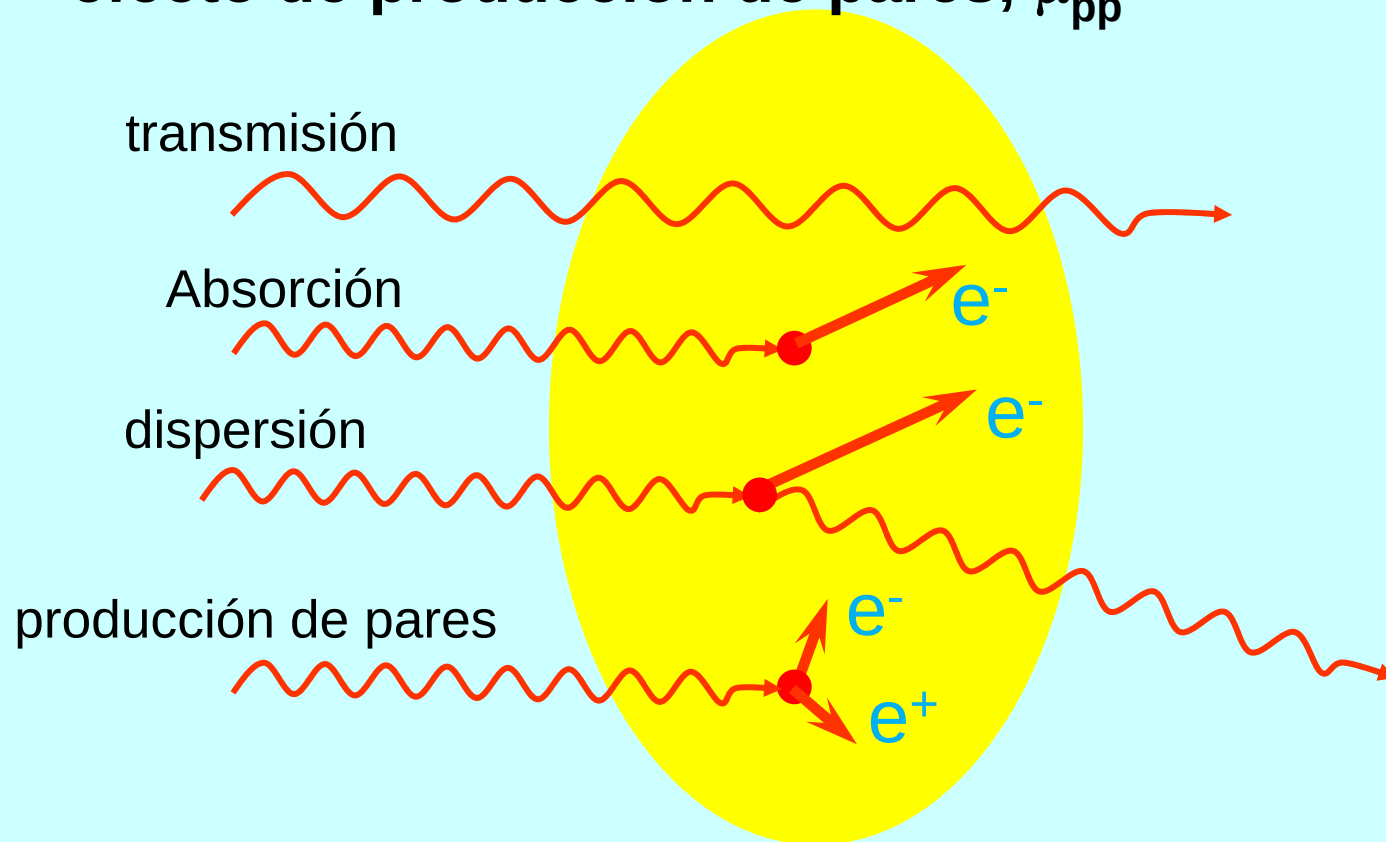
$$\frac{I}{I_0} = e^{-((0.2 * 0.56) * 2 + \mu_2 * 3)} = 0.654$$

$$0.424 = 0.224 + \mu * 3$$

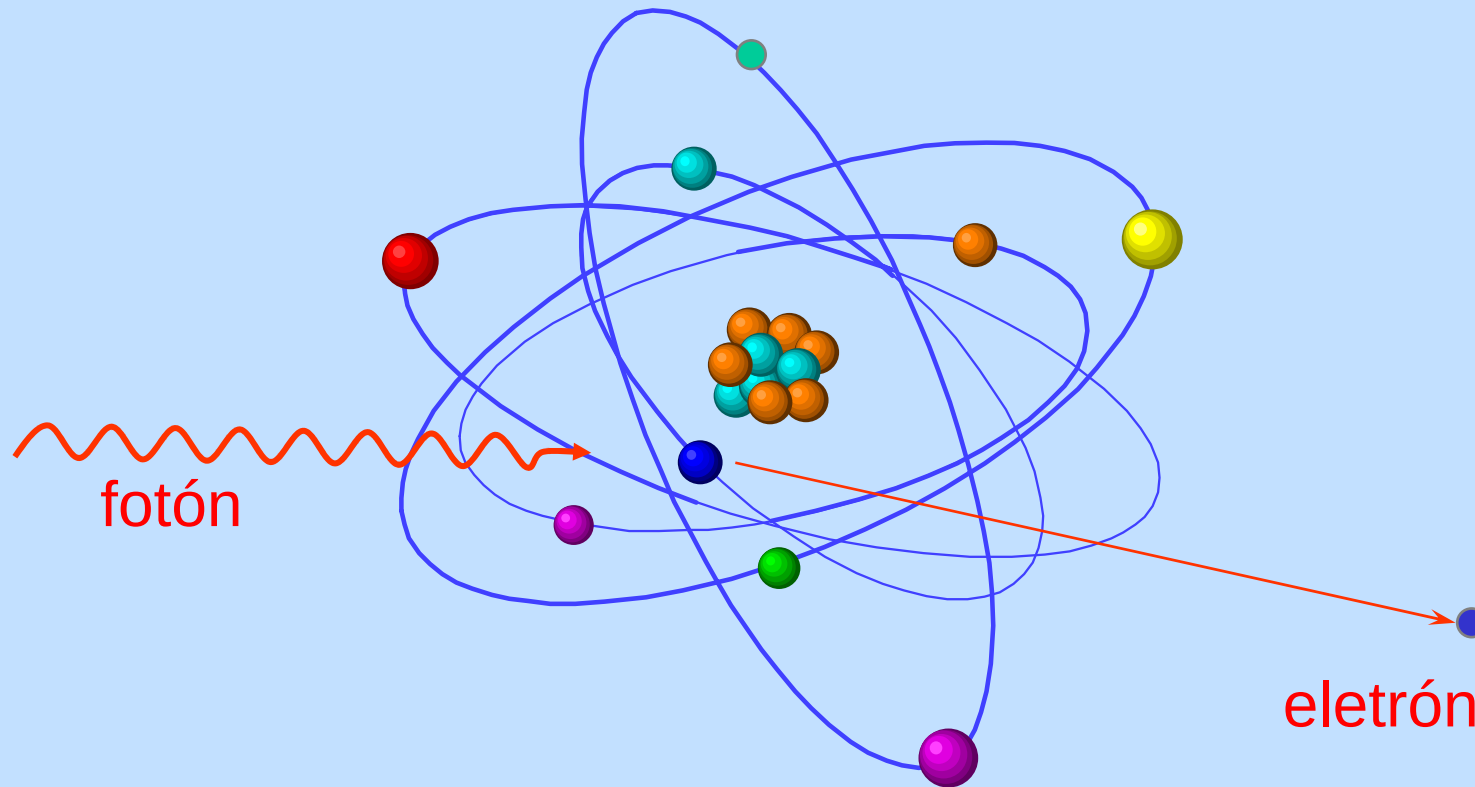
$$0.067 \text{ cm}^{-1} = \mu$$

Tipos de interacción

- ❑ efecto fotoeléctrico, μ_f
- ❑ efecto Compton, μ_c
- ❑ efecto de producción de pares, μ_{pp}



Efecto fotoeléctrico



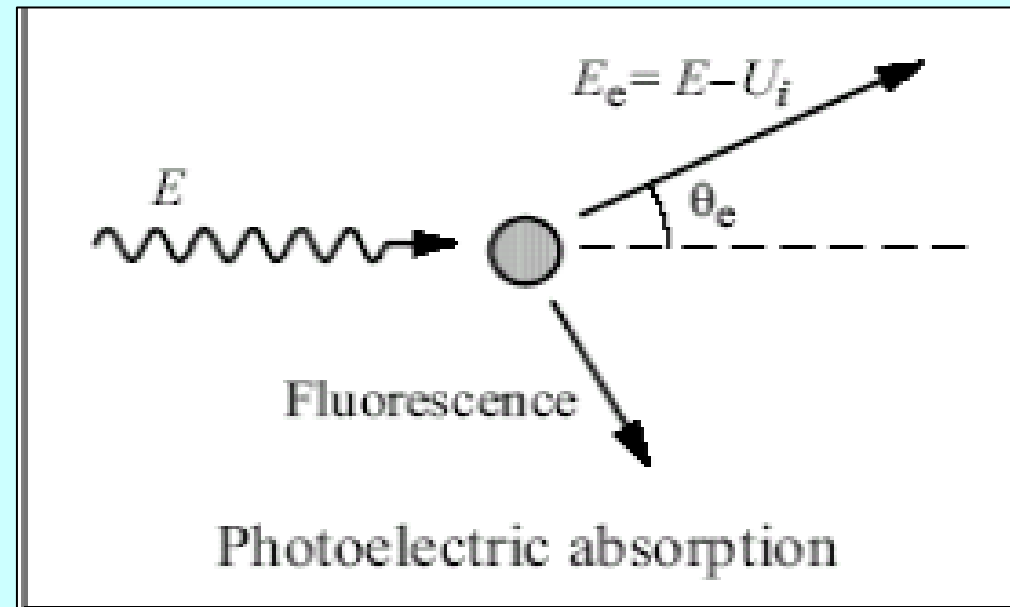
radiación
característica

- La energía de los rayos gamma (o rayos X) es completamente absorbida por un electrón atómico, generalmente de una capa interna.

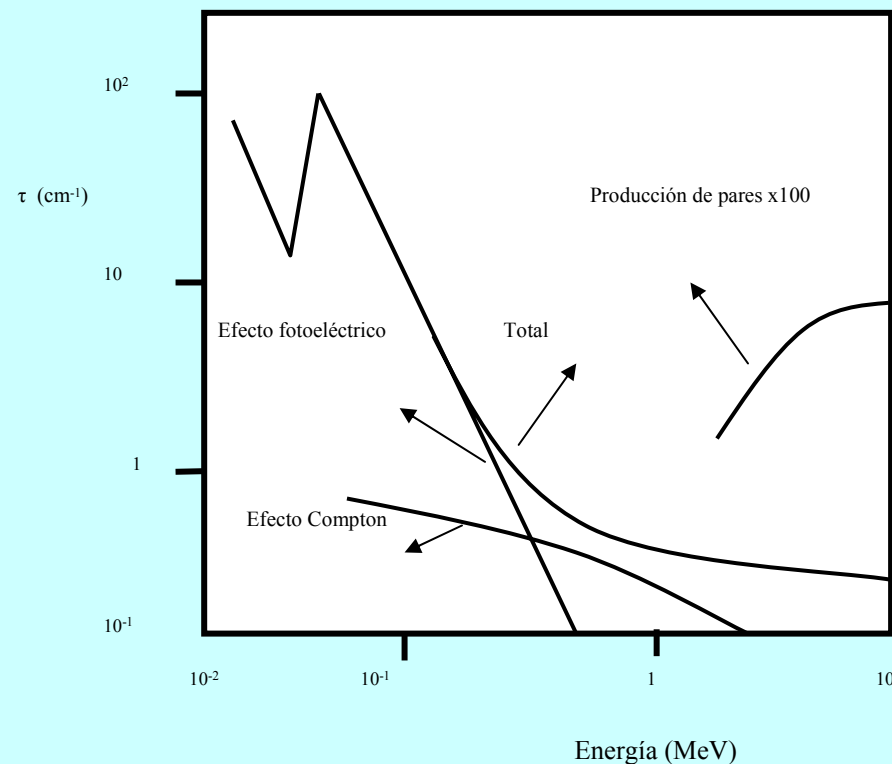
Efecto fotoeléctrico:

El fotón incidente es absorbido y se emite un electrón secundario, quedando el átomo blanco ionizado

$$E_{e^-} = h\nu - E_1 \approx h\nu$$



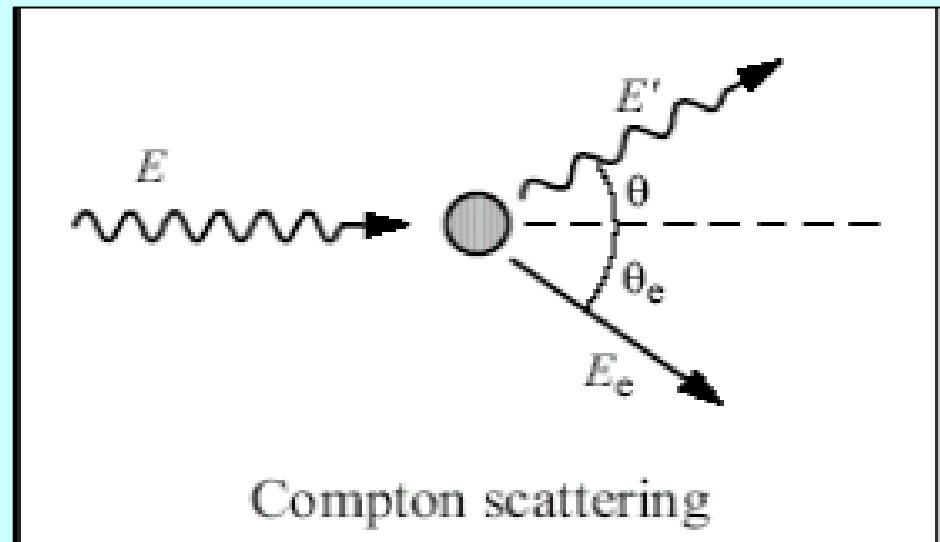
Este mecanismo de interacción de fotones con la materia es el dominante cuando la energía de los rayos es baja, (inferior a los 50 keV para el aluminio y a los 500 keV para el plomo)



Efecto Compton:

El fotón incidente interacciona con un electrón atómico desviándose y perdiendo energía. El electrón sale despedido, produciéndose un vacante en el átomo blanco. La energía del fotón rechazado resultante de un efecto Compton viene dada por:

$$E_{\gamma}' = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{mc^2}(1 - \cos \theta)}$$



Mientras que la energía comunicada al electrón será el resto de la energía del fotón incidente o sea

$$E_e = E_\gamma - \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{mc^2} (1 - \cos \theta)}$$

siendo:

E_γ – la energía del fotón incidente

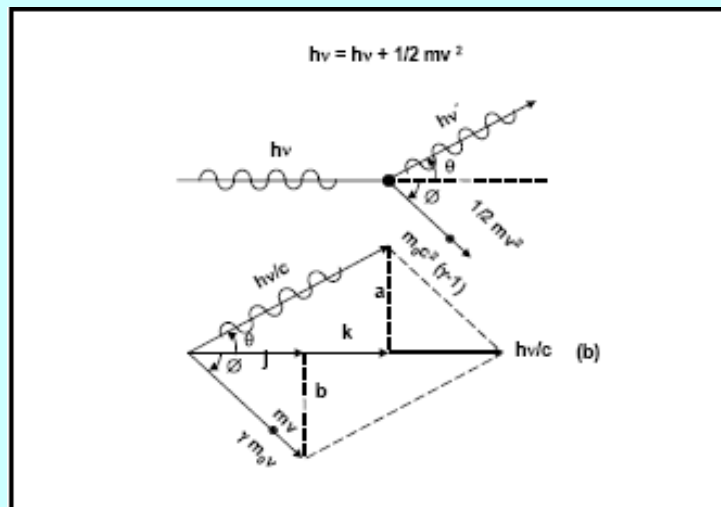
E'_γ - la energía del fotón rechazado

E_e – la energía cedida al electrón

θ – el ángulo formado por las direcciones del fotón incidente y del fotón rechazado, conocido como el ángulo de rechazo

Este proceso, conocido como **efecto Compton**, constituye el mecanismo de absorción más importante para radiación γ con energías entre los 0,5 y los 10 MeV.

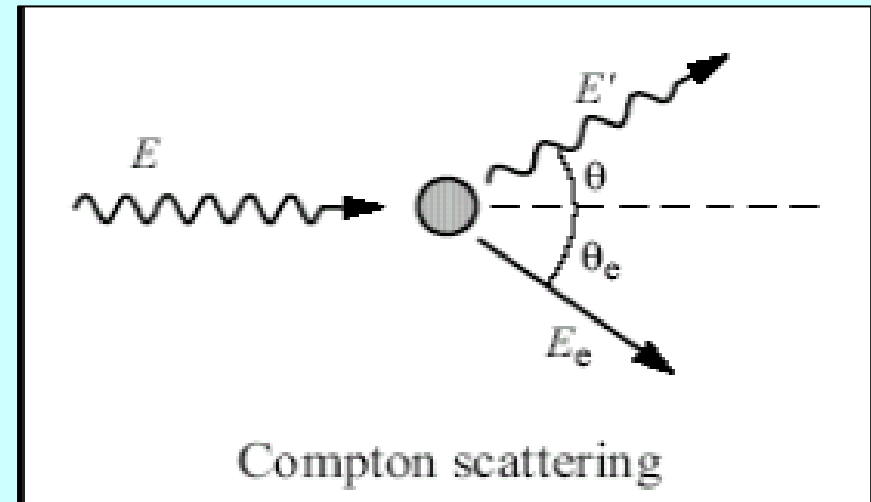
Una característica destacada del mismo es que la radiación difundida tiene una longitud de onda que depende del ángulo de difusión y que es mayor que la del haz incidente



Ej: Calcular la energía del fotón resultante y del electrón resultante, luego de la interacción de un fotón de 1 MeV por efecto compton de 90 °. Reitera el calculo para fotones de 0.1 MeV y comparar los resultados.

$$E_{\gamma}' = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{mc^2}(1 - \cos\theta)}$$

$$E_e = E_{\gamma} - \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{mc^2}(1 - \cos\theta)}$$



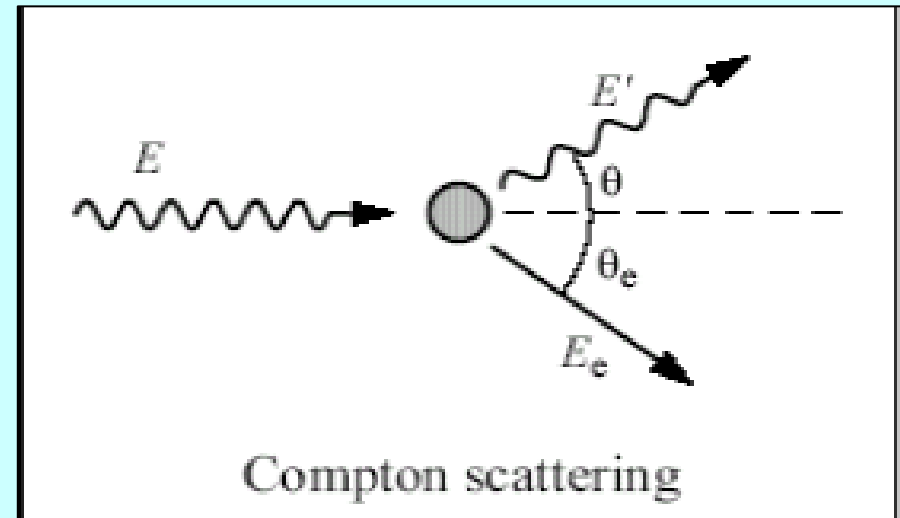
$$E_{\gamma} = 1 \text{ MeV}$$

$$\theta = 90^{\circ}$$

$$E_{\gamma}' = \frac{1}{1 + \frac{1}{0.511}(1 - \cos 90^{\circ})} = 0.338 \text{ MeV}$$

$$E_e = 1 - 0.338 = 0.662 \text{ MeV}$$

$$E_\gamma = 0.1 \text{ MeV} \quad \theta = 90^\circ$$

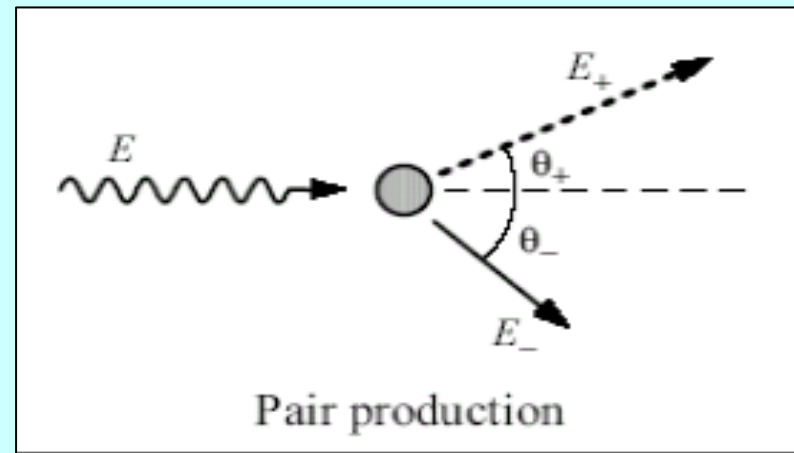


$$E'_\gamma = \frac{0.1}{1 + \frac{0.1}{0.511}(1 - \cos 90)} = 0.084 \text{ MeV}$$

$$E_e = 1 - 0.084 = 0.016 \text{ MeV}$$

Producción de pares: e^- y e^+ .

El fotón es absorbido creándose en su lugar un electrón y un positrón. Esta “reacción” sólo es posible si la energía del fotón supera los 1022 keV.



$$h\nu = 2m_e c^2 + \frac{1}{2} m_e v_{e^-}^2 + \frac{1}{2} m_e v_{e^+}^2$$

El proceso puede ocurrir sólo si la energía del fotón incidente es $> 1.02 \text{ MeV}$.