

Interacción de la radiación con la materia



Temario

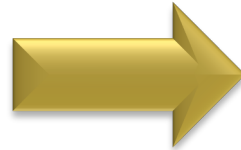
- ✓ Interacción de partículas cargadas (alfa y beta)
- ✓ Interacción de partículas no cargadas (radiación X y gamma)

Utilidad de conocer la interacción de la radiación ionizante con la materia:

- ✓ La producción de rayos X (interacción de electrones)
- ✓ La protección radiológica, en especial en calcular el blindaje
- ✓ La dosimetría
- ✓ Los procesos de detección
- ✓ La selección de detectores y de dosímetros
- ✓ Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes, por ejemplo en medicina, en la industria (medidas de espesores, densidades, niveles, etc.), etc.

Radiación ionizante directa

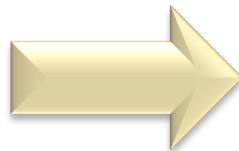
Partículas cargadas (alfa y beta)



Ionización y excitación
de los átomos (interacción de Coulomb)

Radiación ionizante indirecta

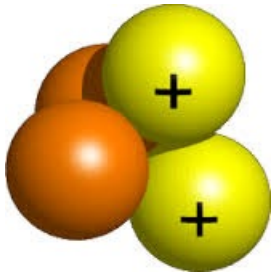
*Partículas no cargadas (neutrones,
X y gamma)*



Transferencia de energía a las partículas
cargadas (interacción electromagnética
o nuclear)

Partículas cargadas

Partículas alfa



- ✓ Monoenergéticas de 3-8 MeV de energía
- ✓ Pesadas y cargadas
- ✓ Reaccionan fuertemente con la materia
- ✓ Producen un gran número de iones por unidad de longitud

Ejemplo:

Alfa de 5 MeV viajan aprox 3.6 cm en aire

Para otros materiales: $d \propto 1/\rho$ (del medio)

Partículas alfa

- ✓ Su trayectoria es recta
- ✓ Se caracterizan por un rango medio
- ✓ Rango medio: espesor que reduce la intensidad del haz de partículas alfa a la mitad

Cuando se frena “colecta” dos electrones y se transforma en un átomo de helio

Partículas alfa

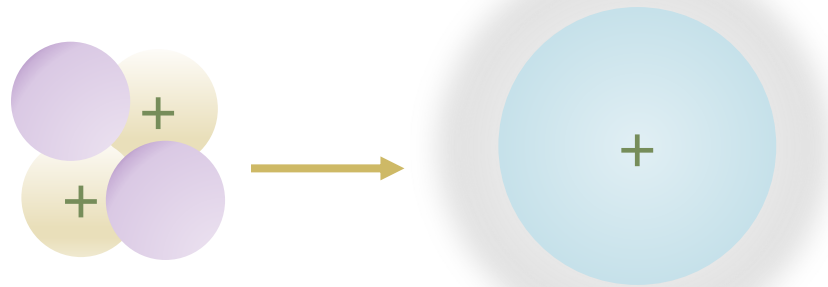
- ✓ La interacción puede resultar en:
 - excitación del electrón
 - remoción del electrón del átomo (ionización)



Si es muy energético puede ionizar otros átomos

Partículas alfa

Interacción alfa-núcleo

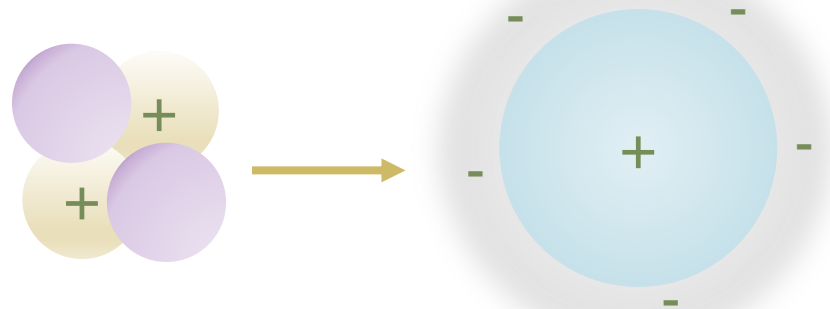


- ✓ Desviada sin cambio en la energía (dispersión de Rutherford)
- ✓ Desviada con pequeño cambio en la energía
- ✓ Absorbida por el núcleo



Transformación nuclear
(despreciable para alfas)

Interacción alfa-electrones



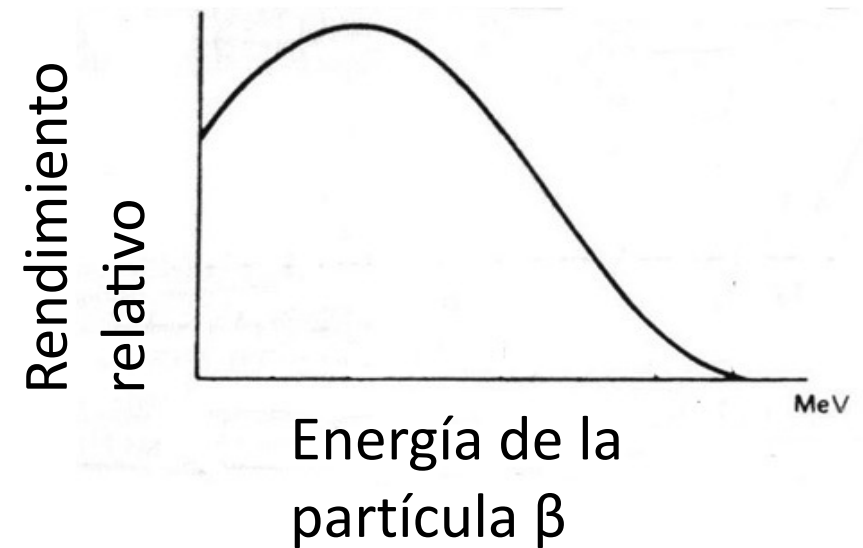
- ✓ Ionización y excitación de electrones

Partículas beta

Pueden interaccionar con:

Núcleos o electrones del medio

- Pierden su energía a una velocidad menor
- Su energía es un continuo
- Las partículas beta de baja energía son rápidamente absorbidas en pequeños espesores



Partículas beta

Interacción beta-núcleo

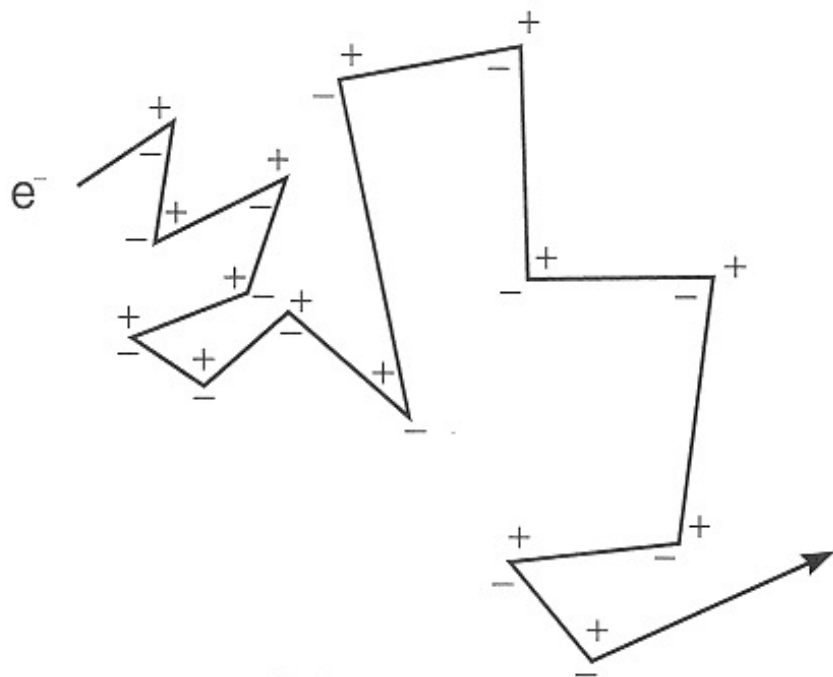
- ✓ Desviadas con o sin cambio en la energía

Interacción beta-electrones

- ✓ Repulsión (β^-) Coulómbica resulta en ionización
- ✓ Difieren de las partículas α en que pueden perder energía por radiación (bremsstrahlung)

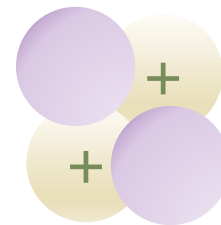
Trayectoria y rango

e^-



A

Path > Range



α^{++}



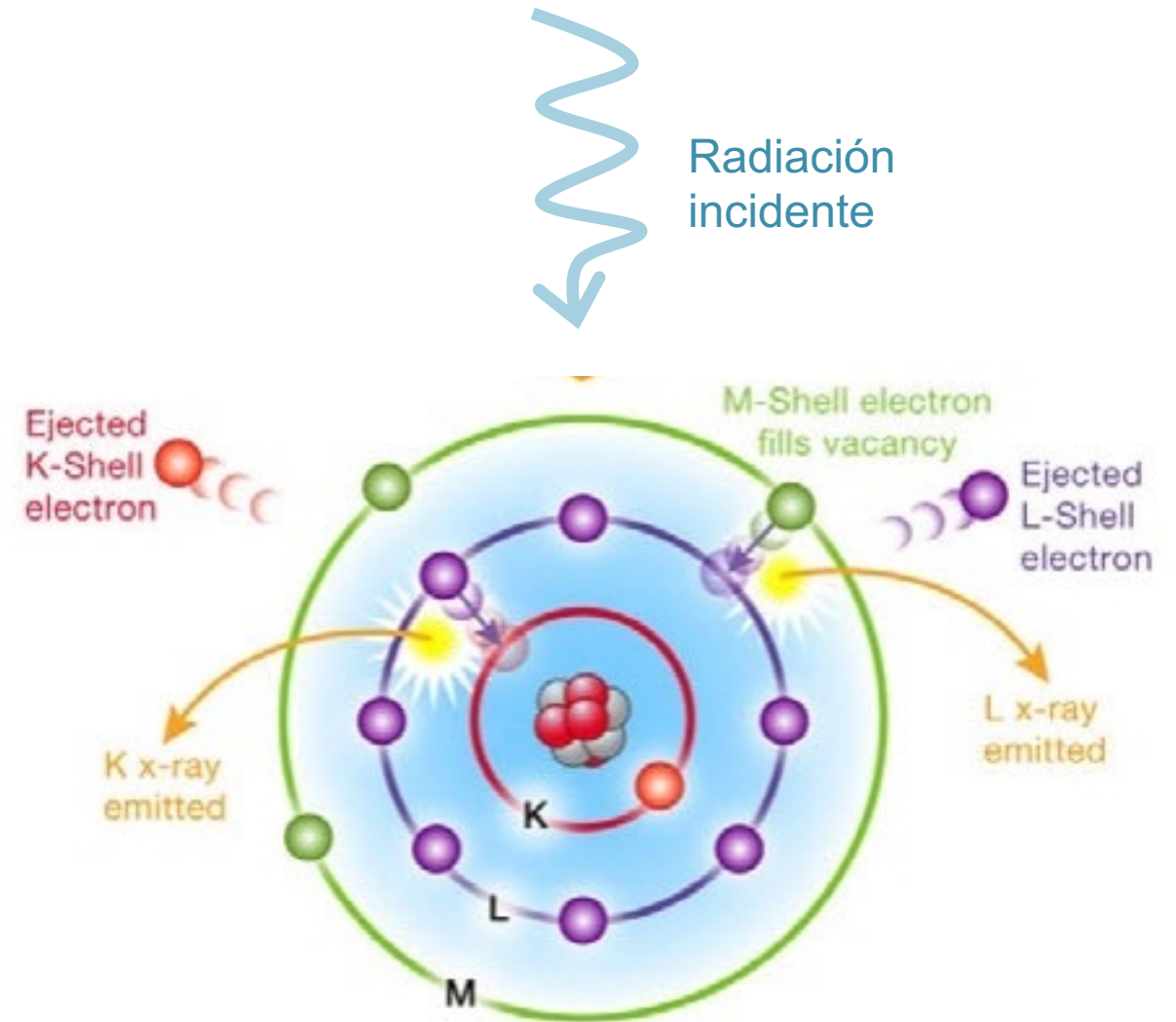
B

Path = Range

Mecanismos de emisión de radiación

Emisión de rayos X característicos

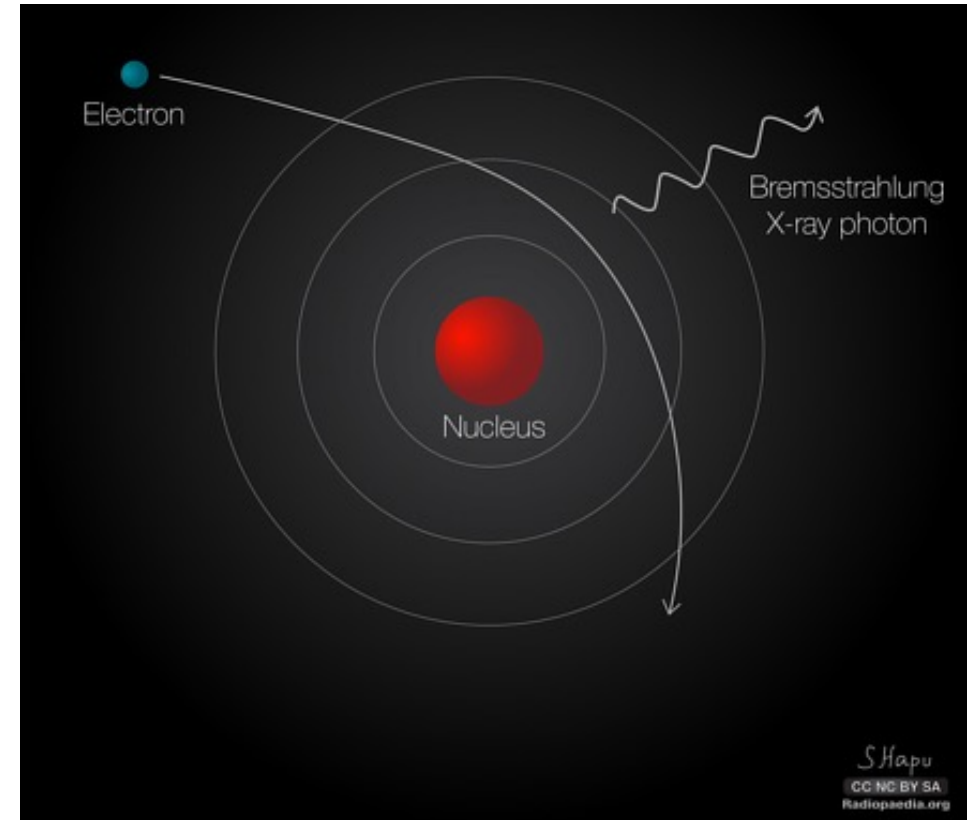
- ✓ La interacción excita electrones a un nivel energético superior
- ✓ Se desexcita en un tiempo del orden de nanosegundos pasando a un nivel inferior (rayos X característicos: $K\alpha$, $K\beta$, etc.)



Mecanismos de emisión de radiación

Bremsstrahlung (radiación de frenado)

- ✓ El electrón se acerca al núcleo y por atracción se desvía
- ✓ Se frena y desacelera (una carga al frenarse irradia energía)
- ✓ Energía del orden de rayos X
- ✓ Estos rayos X pueden ser absorbidos o escapar
- ✓ El bremsstrahlung es un espectro continuo que termina en la energía del electrón.

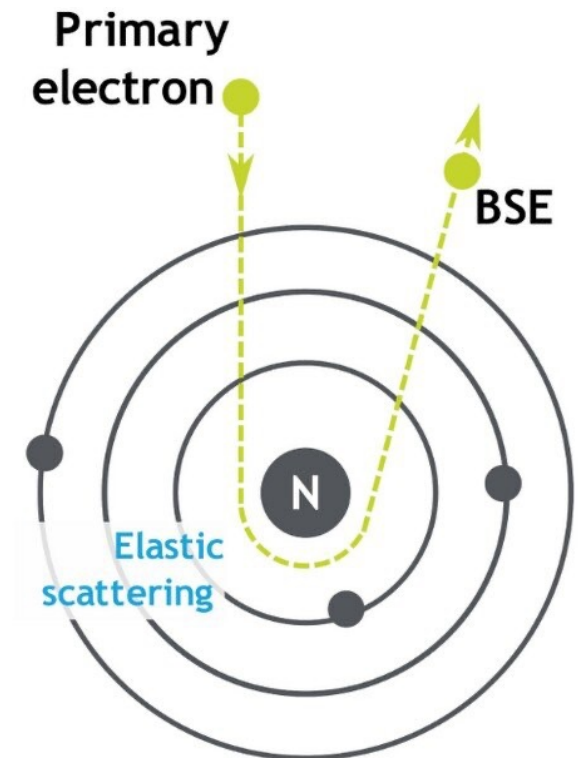


Cuando un electrón interactúa con la materia los rayos X característicos y el Bremsstrahlung se superponen

Backscattering o retrodispersión

- ✓ Los electrones sufren deflexiones de gran ángulo en su trayectoria
- ✓ Estos electrones no depositan toda su energía en el medio absorbente, por lo que pueden tener un efecto significativo en la respuesta de los detectores

Efecto más pronunciado para electrones con baja energía incidente y absorbentes con alto número atómico



Autoabsorción

- ✓ Una fracción de las partículas β emitidas es absorbida por la propia muestra
- ✓ Depende de:
 - densidad del medio
 - Z del medio
 - energía de las partículas

Positrones (β^+)

- ✓ La trayectoria, la pérdida de energía específica y el rango de los positrones en un absorbente es similar a la de los electrones (β^-)

Absorción de las partículas β

- ✓ Se absorben rápidamente en pequeños espesores de material absorbente
- ✓ La curva de transmisión tiene una forma similar a exponencial
- ✓ Se define un coeficiente de atenuación n

$$I = I_0 e^{-nx}$$

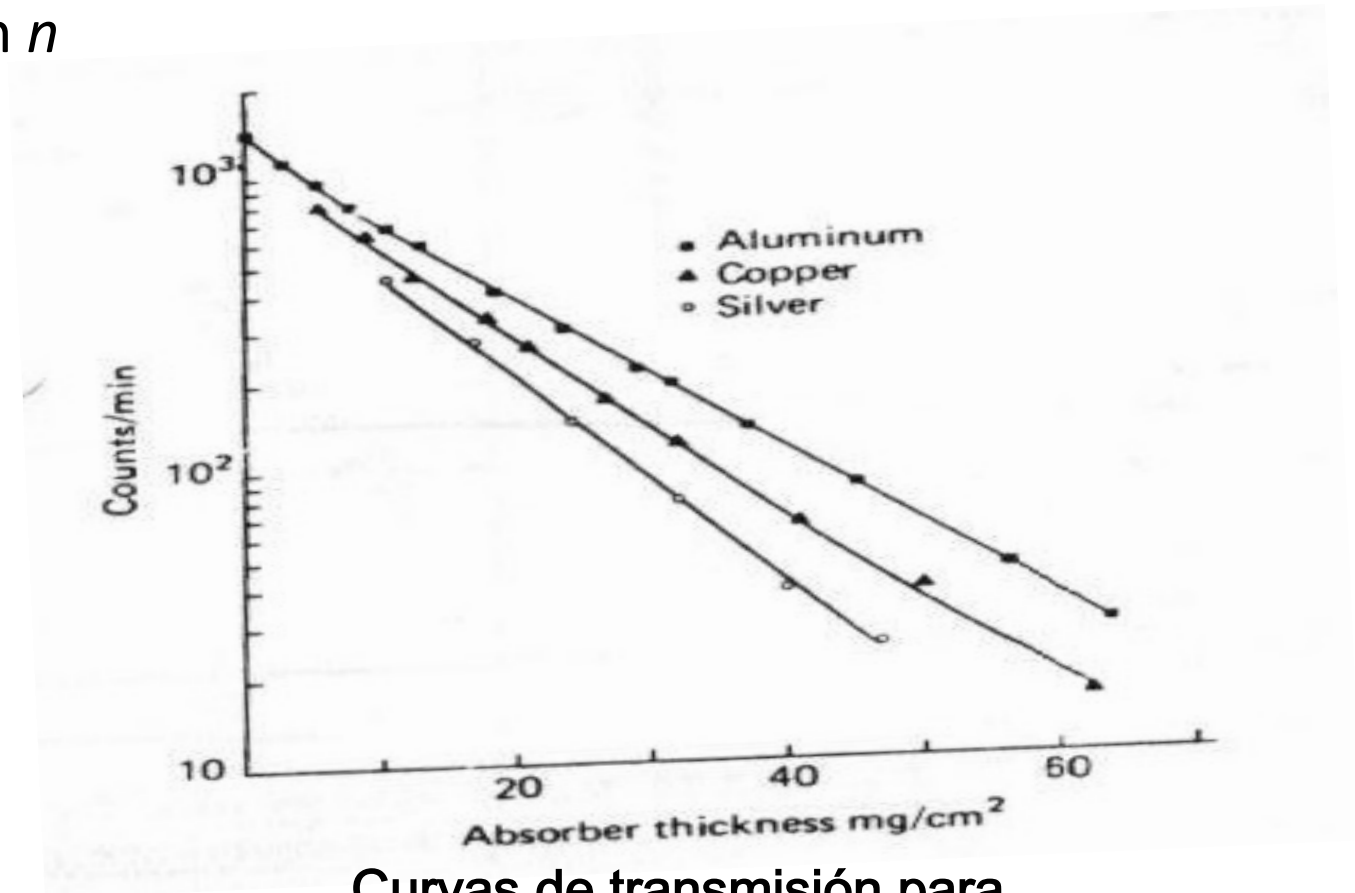
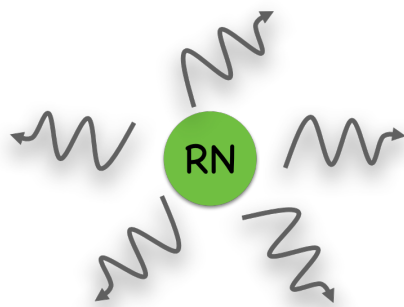
x : espesor de absorbente en g/cm^2



Detector



x
Espesor



Curvas de transmisión para partículas β de ^{185}W

¿Qué sucede al final con las partículas emitidas?

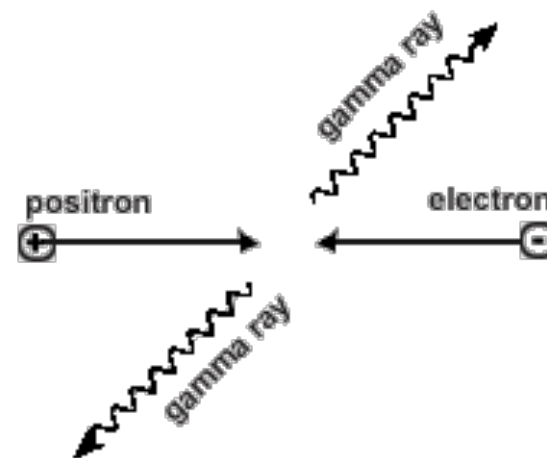
Depende de la carga de la partícula

β^-  Se combina con un ión positivo
Se convierte en un “electrón libre”

β^+  Cuando se frena es atraída por un electrón

Aniquilación

Se producen dos fotones gamma de 511 keV



Partículas no cargadas – Radiación X y γ

Tres mecanismos de interacción:

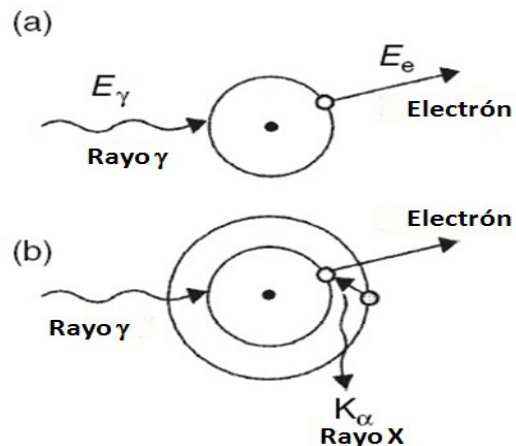
Efecto fotoeléctrico

Efecto Compton

Producción de pares

Efecto fotoeléctrico

Interacción del rayo gamma con el átomo como un todo:



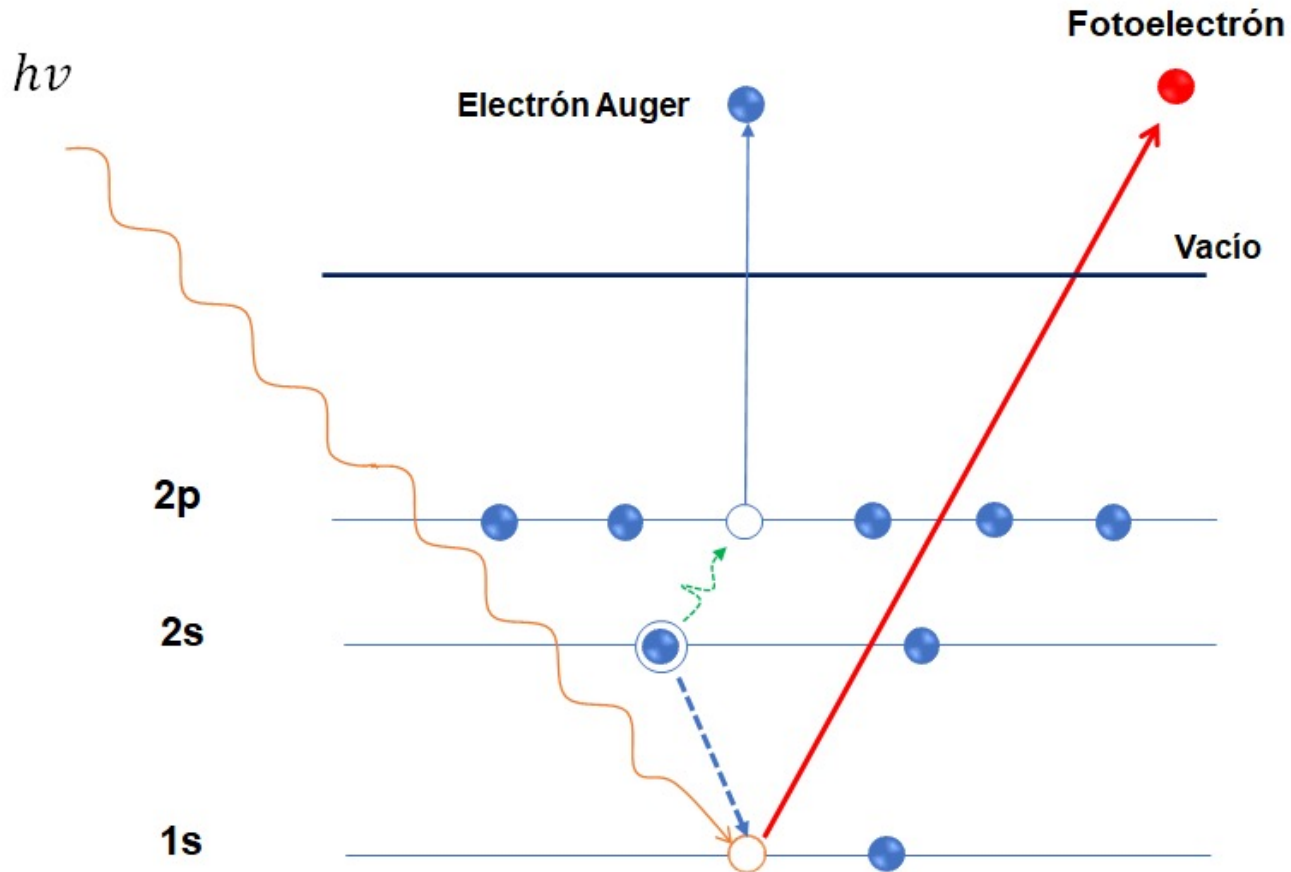
Eyecta el electrón y queda un ión
Resultado: vacante generalmente en la capa K

Partículas no cargadas – Radiación X y γ

Dos maneras de desexcitación del átomo

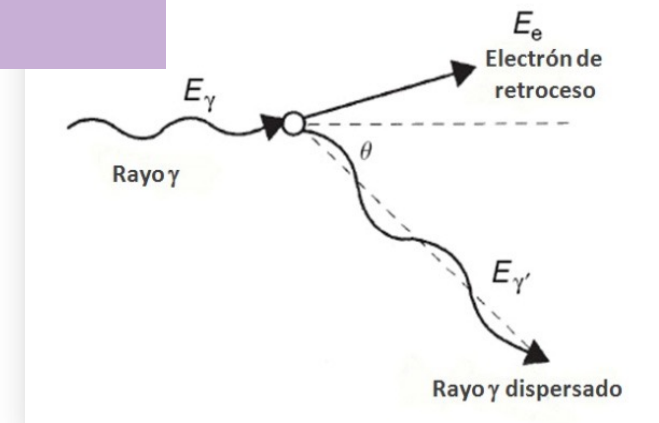
Electrones Auger

Fluorescencia de rayos X

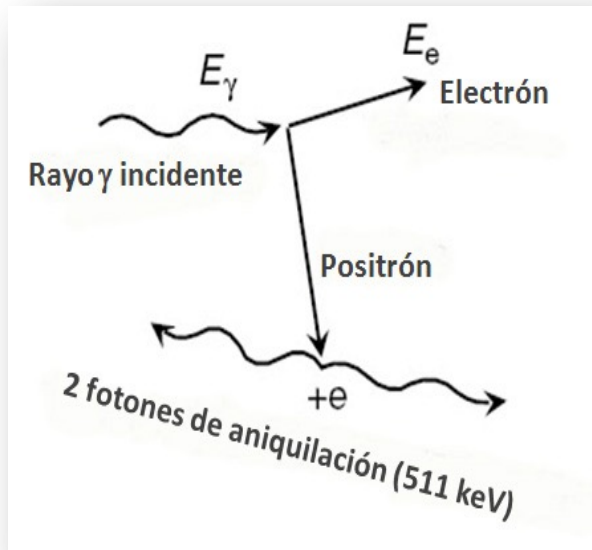


Dispersión de Compton

- ✓ Dispersión inelástica de un rayo gamma con un electrón
- ✓ Se transfiere parte de la energía del rayo gamma al electrón



Producción de pares



Conversión del rayo gamma en un par ELECTRÓN - POSITRÓN

$$E_\gamma \geq 1022 \text{ keV}$$

Energía de las partículas en reposo (511 keV cada una)

Absorción-atenuación

ATENUACIÓN: Reducción del número de radiaciones al pasar por un espesor x de material

$$A = A_0 e^{-\mu x}$$

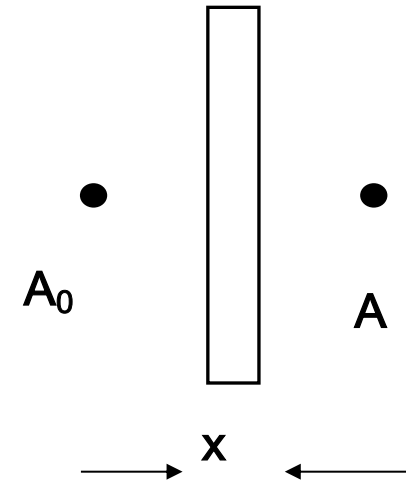
$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

μ depende de:

- Energía de la radiación
- Z del medio (o densidad del medio)

μ :

- Se busca en tablas o gráficas
- Se determina para el material de interés



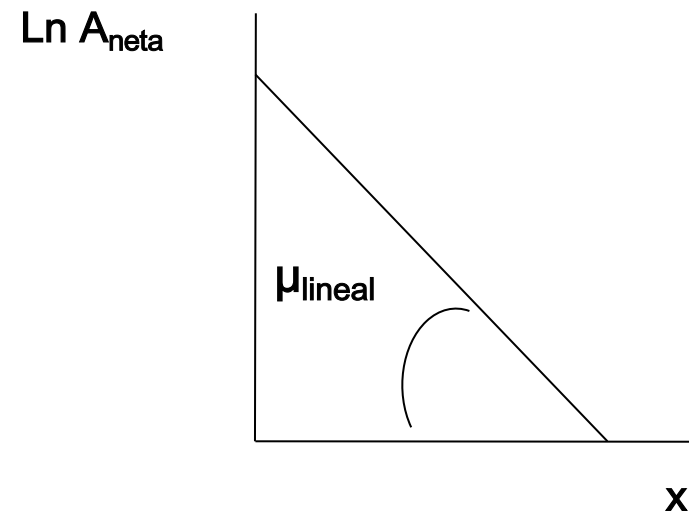
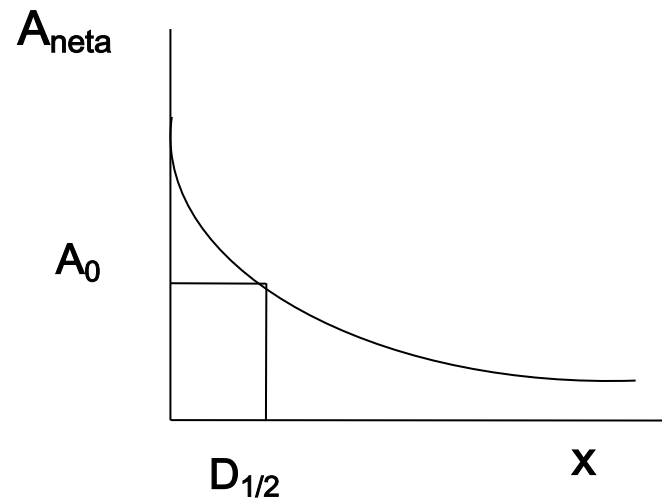
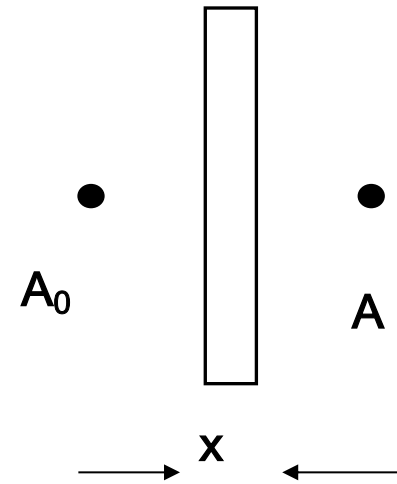
$$A = A_0 e^{-\mu x}$$

μ : coeficiente de absorción lineal (1/cm)

$$\mu_{\text{másico}} = \mu_{\text{lineal}}/d$$

$\mu_{\text{másico}}$ (cm^2/g)

$$D_{1/2} = \ln 2 / \mu_{\text{másico}}$$



Ejemplos



Fuente radiactiva γ

Material de espesor x y
coeficiente de absorción μ

Detector

Sin el material mido I_0 y con el material mido I

Referencias

- ✓ Repartido “Interacción de la Radiación con la Materia”, Ivana Aguiar, Curso de Radioquímica, Facultad de Química, UdelaR
- ✓ “Interaction of radiation with matter”, <http://www.tesec-int.org/TechHazard-site%2008/Radiation-interaction.pdf>