

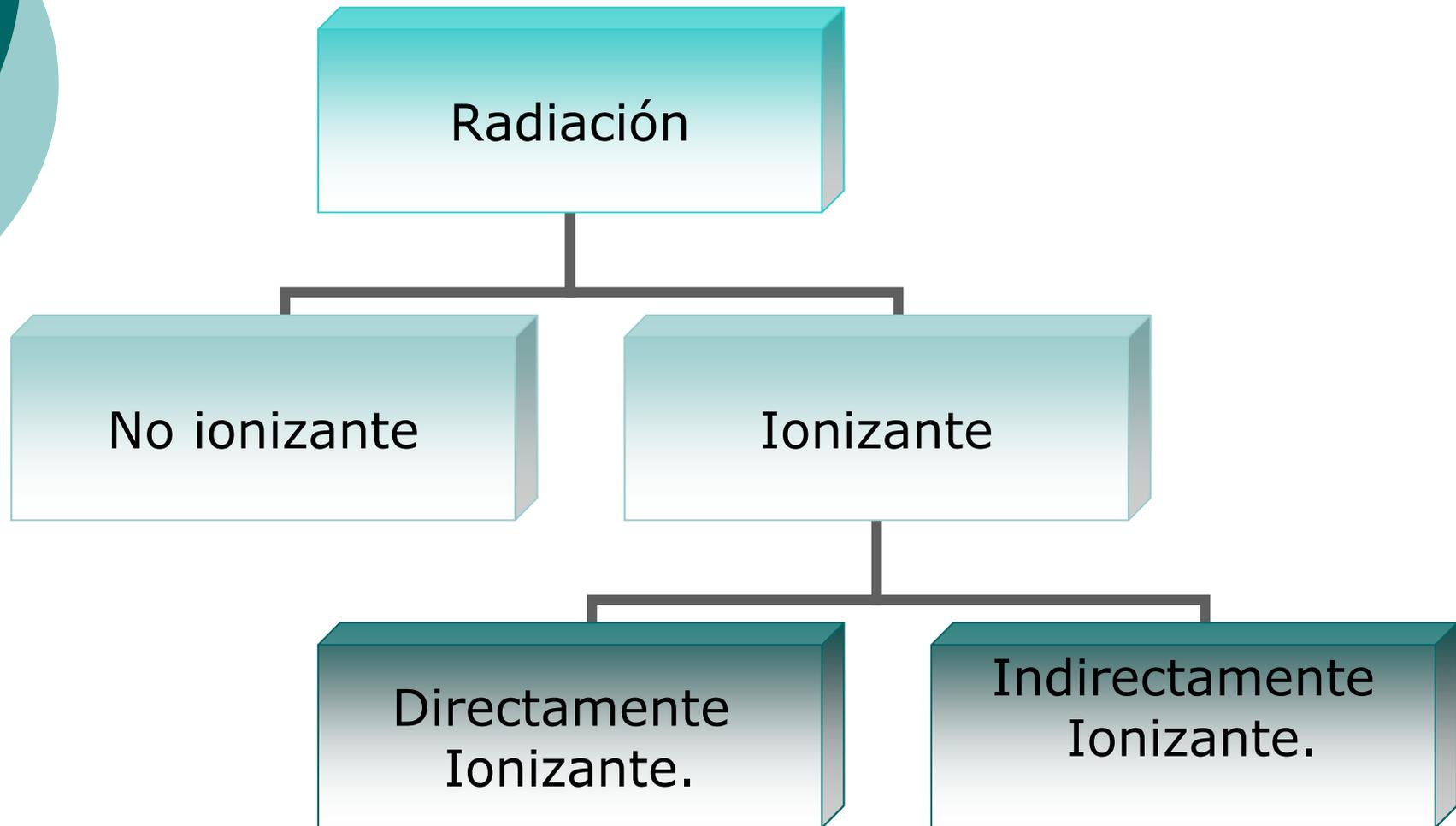
Propiedades Generales de Radiación X y Gamma.

Curso de actualización en Protección
Radiológica

Lic. Alejandro Germanier.

2013

Radiación.





Tipos de radiación.

Directamente ionizante.

Partículas cargadas.

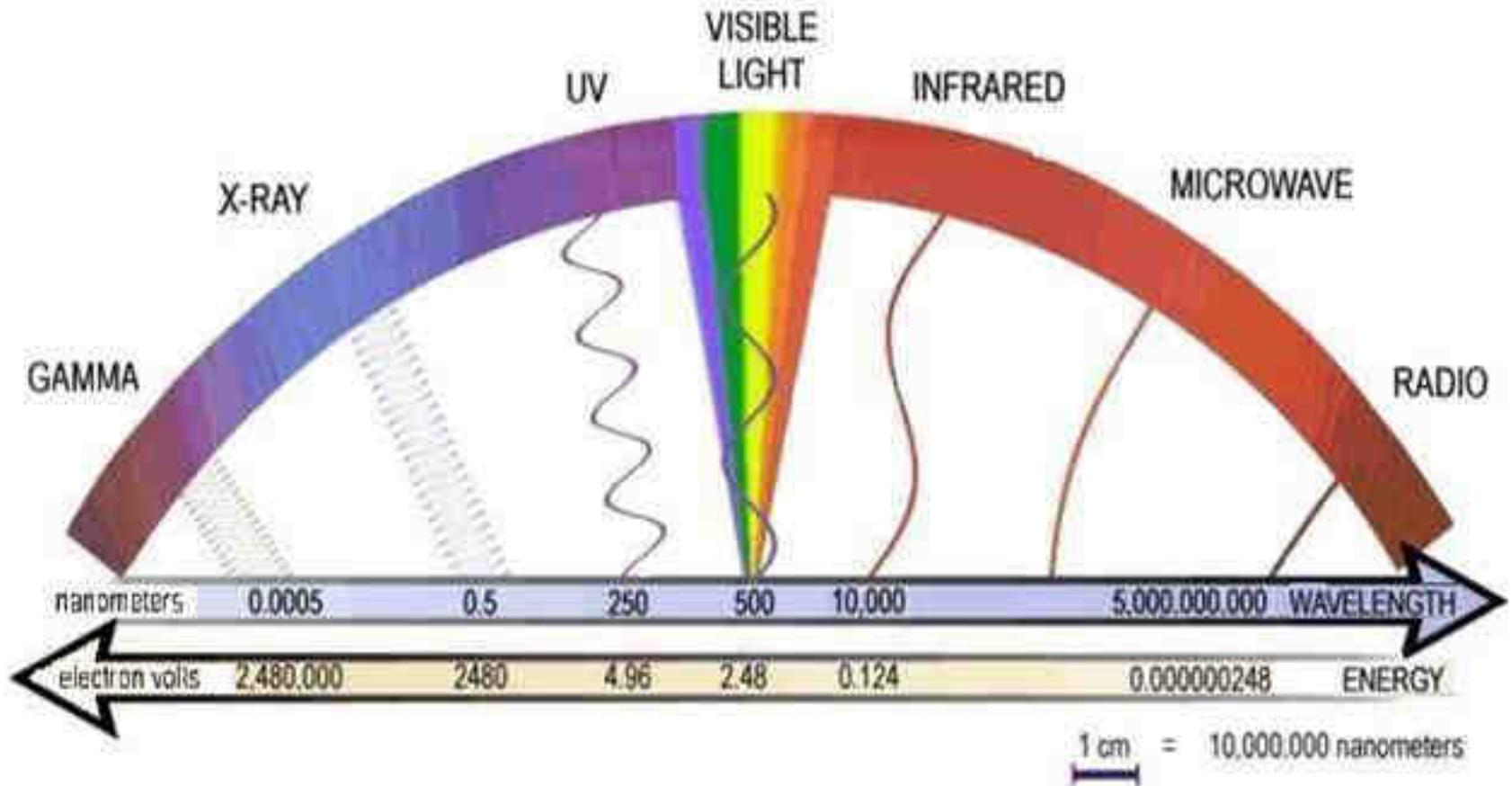
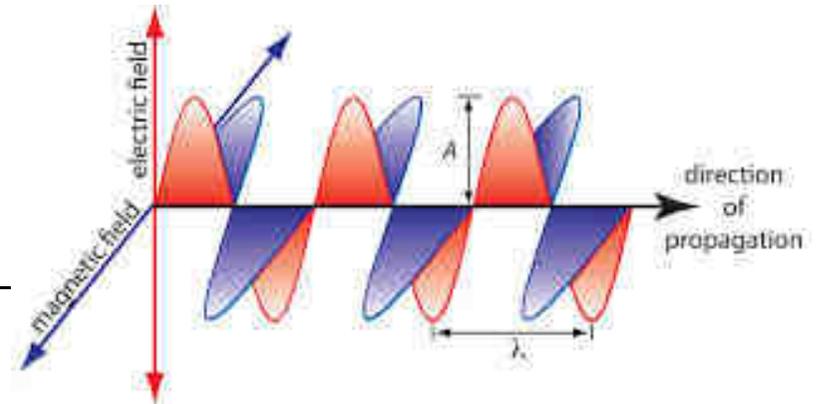
- Electrones.
- Protones.
- Positrones.
- Partículas α .
- Iones pesados.

Indirectamente ionizante.

Partículas neutras.

- Fotones
 - Rayos X
 - Rayos γ
- Neutrones.

Fotones.

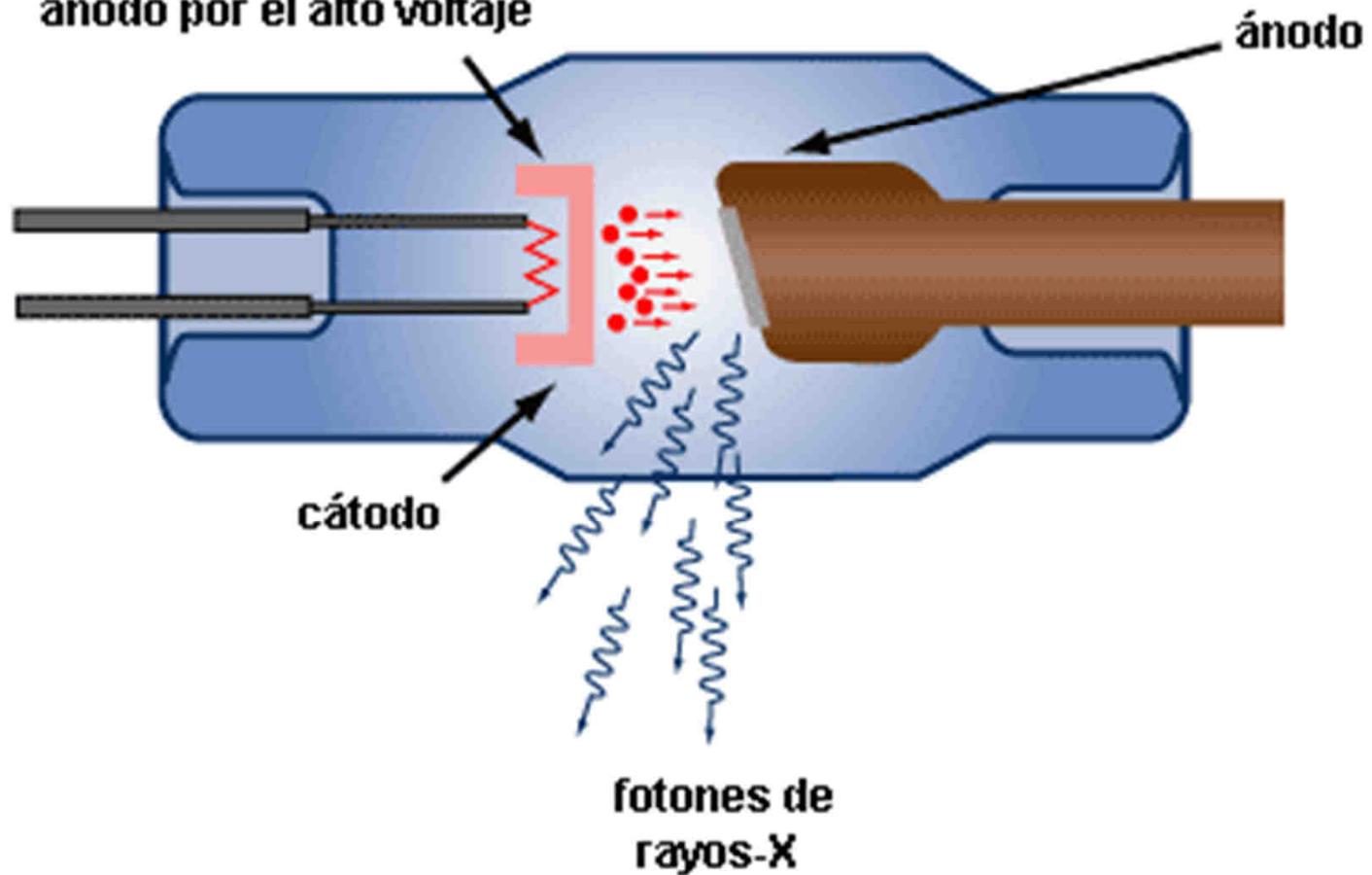




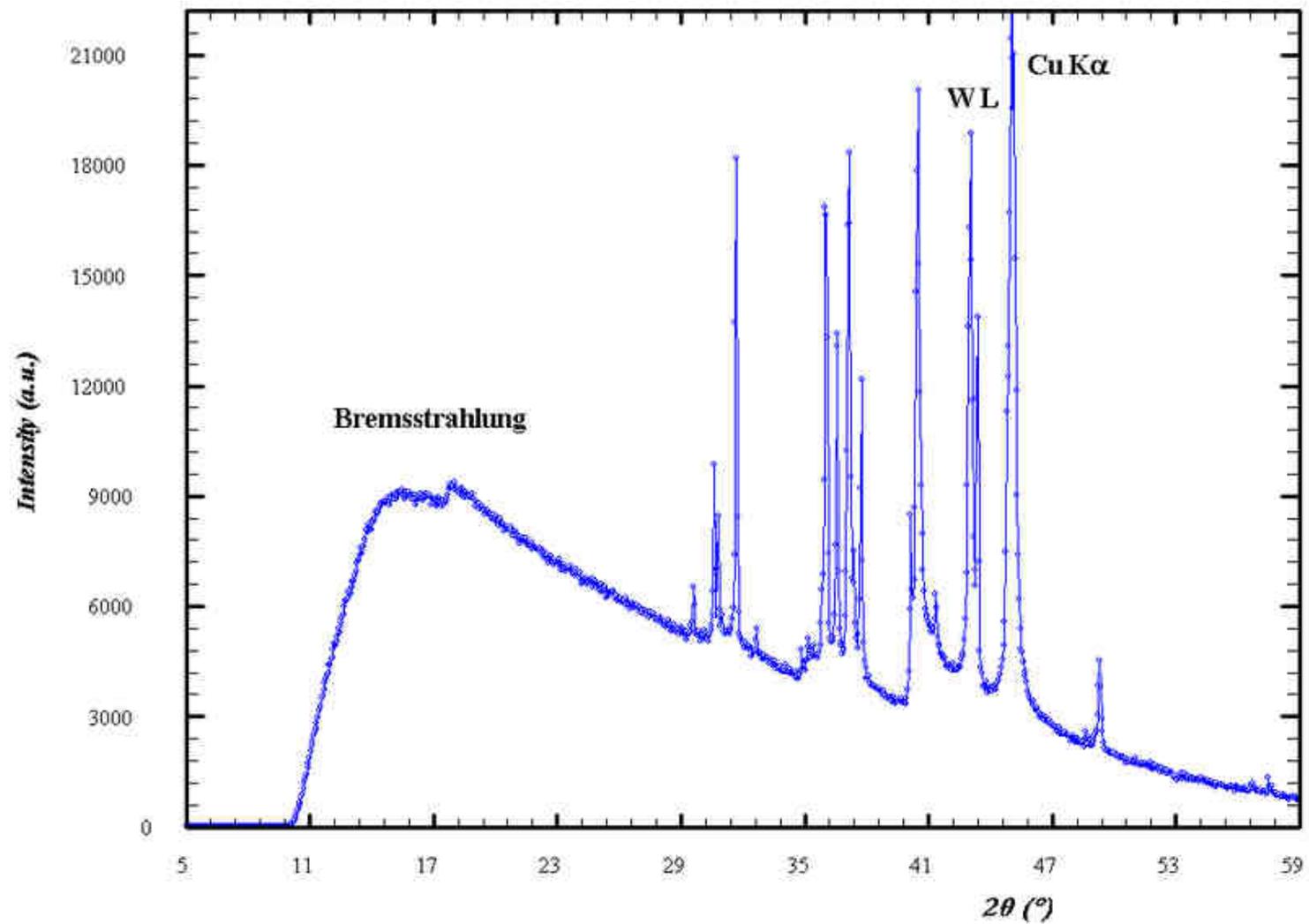
Fotones.

- **Rayos X Característicos.** Transiciones electrónicas entre capas atómicas.
- **Bremsstrahlung.** Radiación de frenado de electrones, interacción electrón - núcleo.
- **Rayos γ .** Resultado de transiciones nucleares.
- **Cuanto de aniquilación.** Aniquilación positrón-electrón.

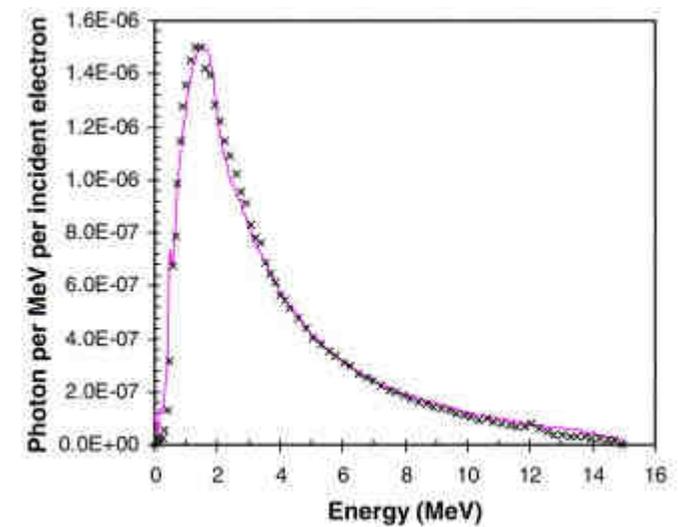
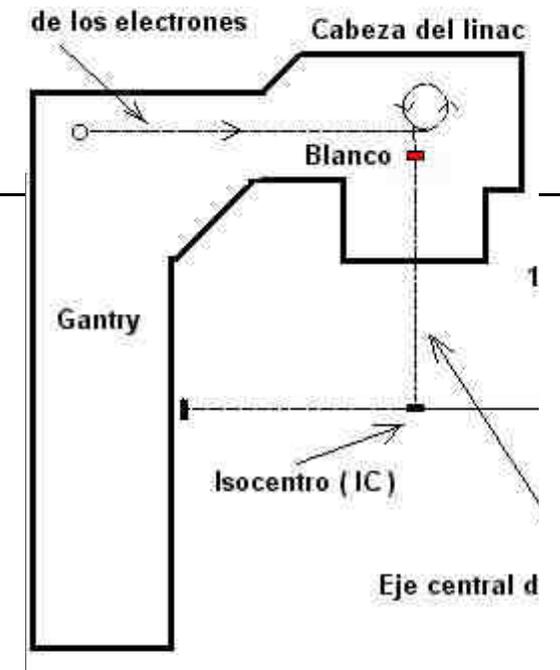
el filamento al rojo vivo emite electrones por emisión termoiónica, que son acelerados hacia el ánodo por el alto voltaje



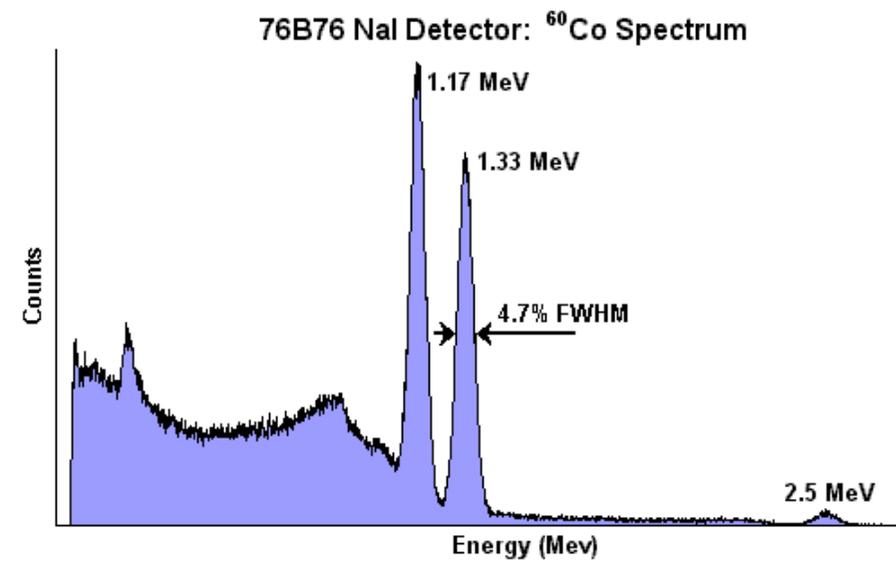
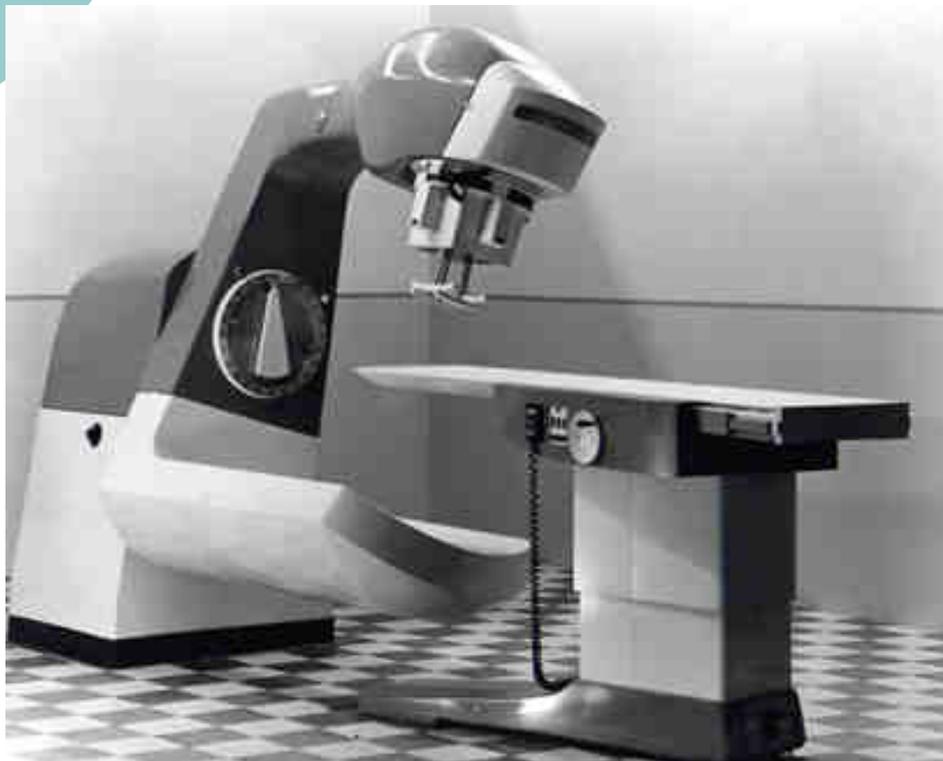
Rayos X característicos y Bremsstrahlung



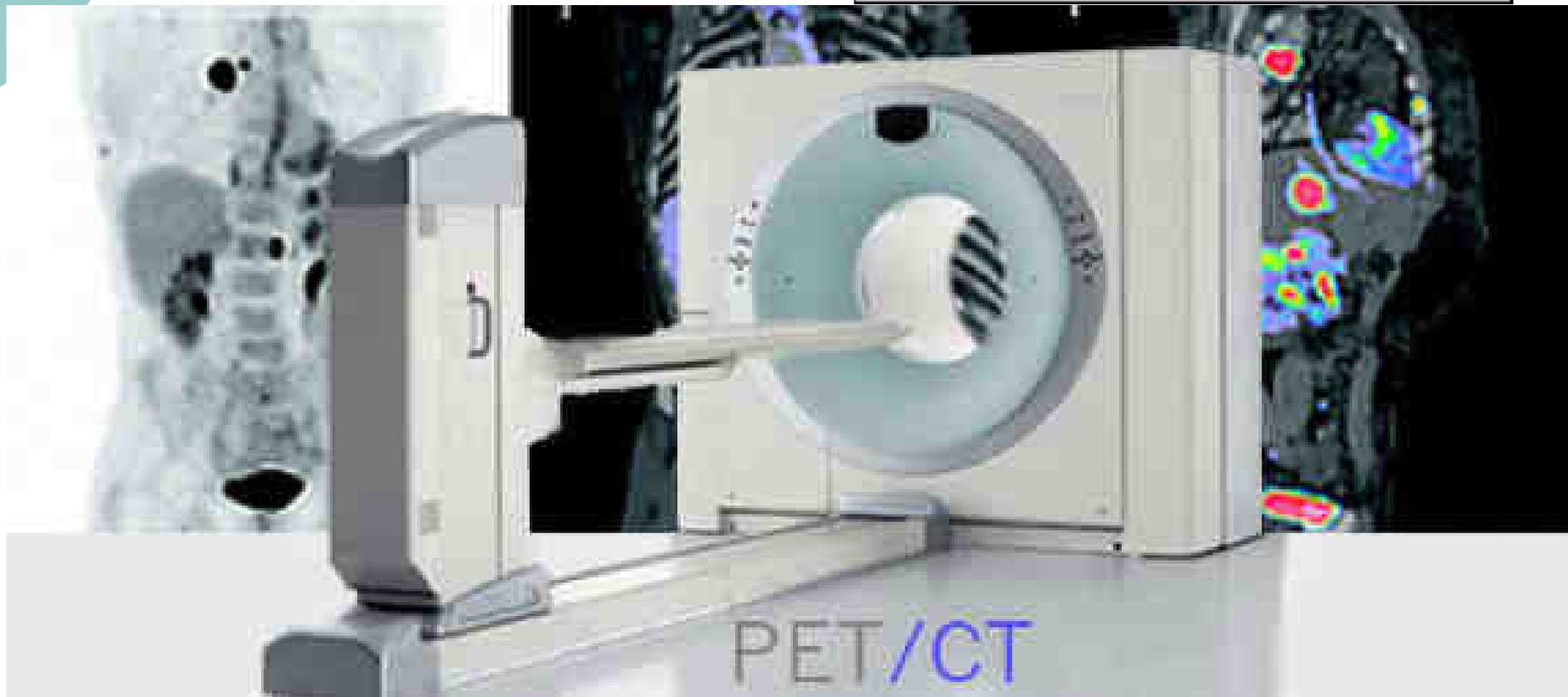
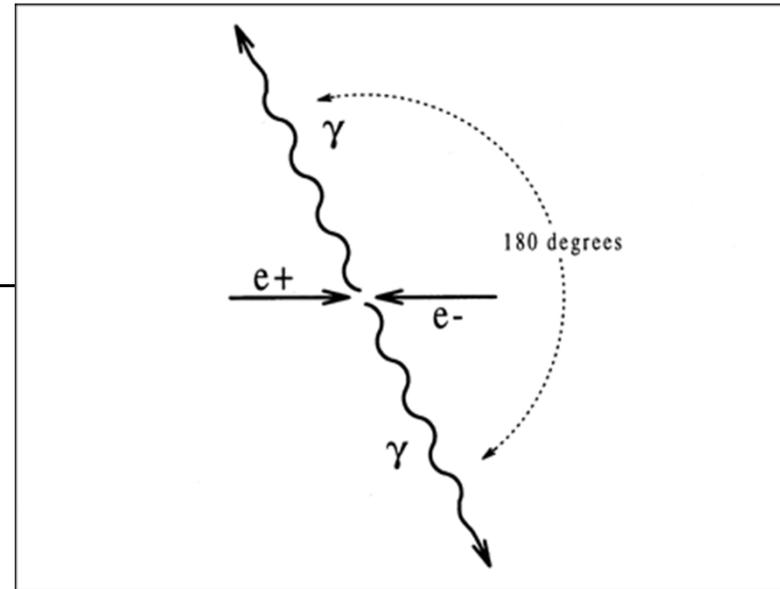
Bremsstrahlung



Rayos γ



Aniquilación de positrones





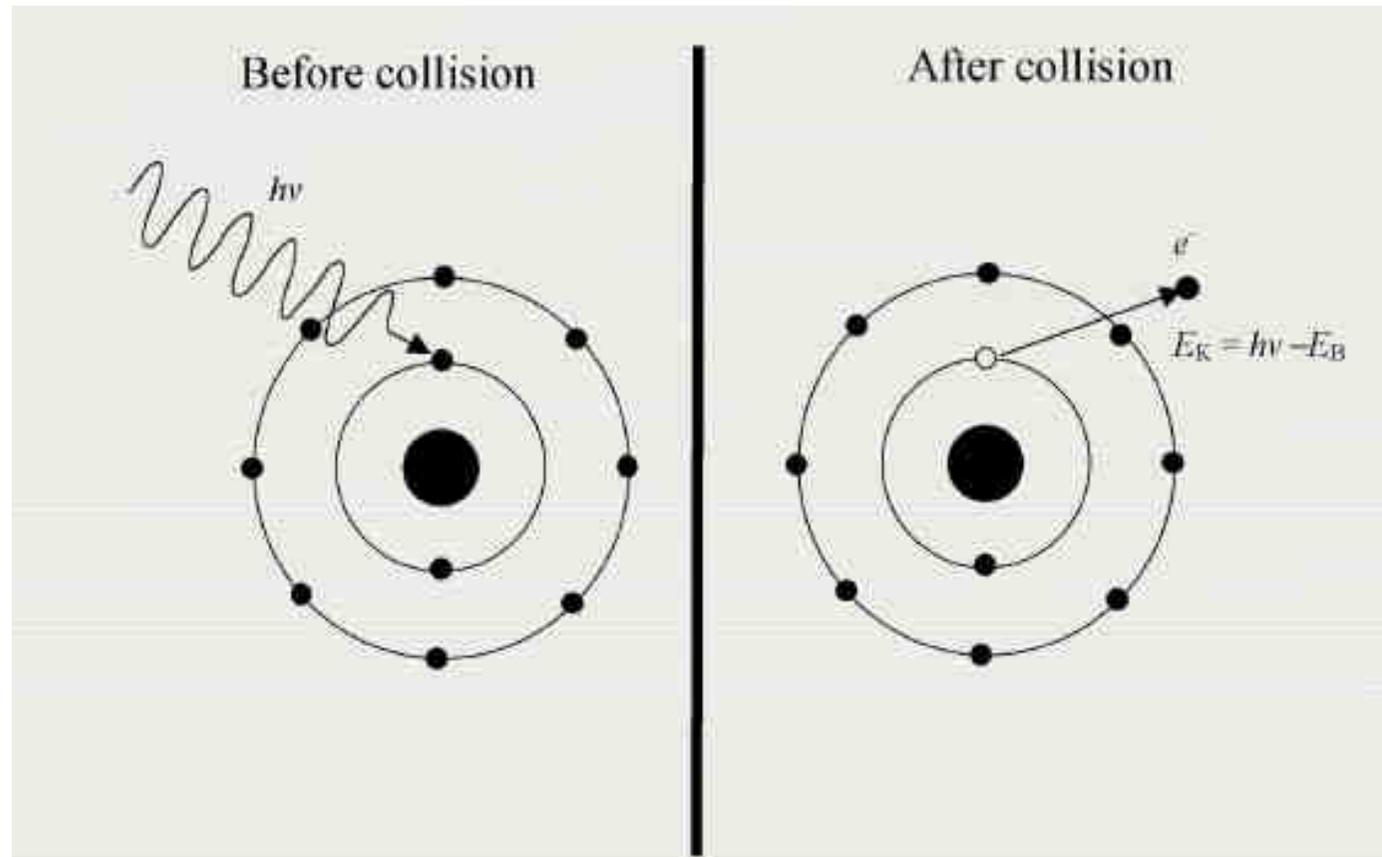
Interacción de los fotones con la materia

- **Efecto fotoeléctrico:** Interacción con electrones ligados al átomo.
- **Efecto Compton:** Interacción con electrones libres.
- **Producción de pares:** Interacción con campo eléctrico del núcleo atómico.

Interacción de los fotones con la materia

Efecto fotoeléctrico.

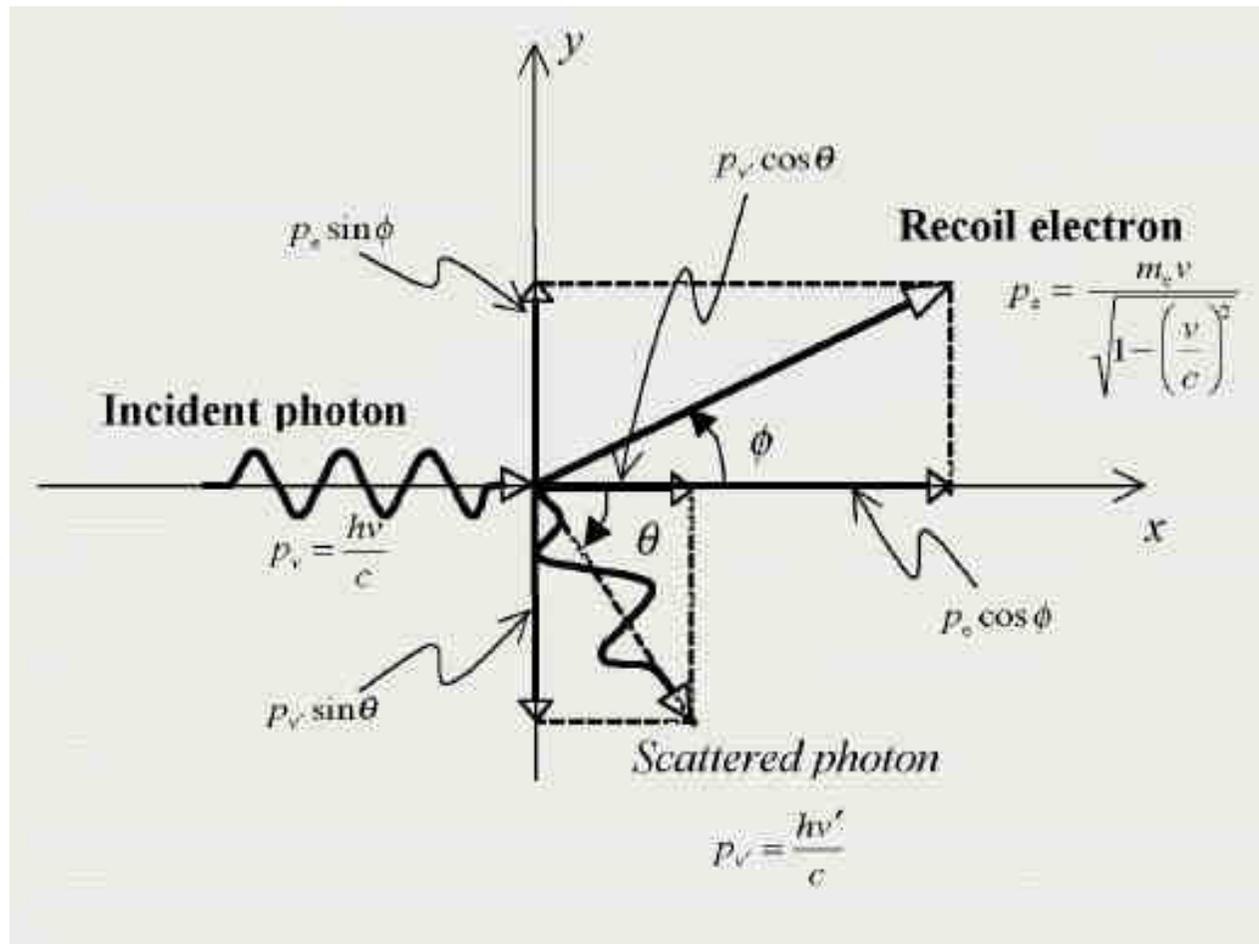
Interacción con electrones ligados al átomo.



Interacción de los fotones con la materia

Efecto Compton:

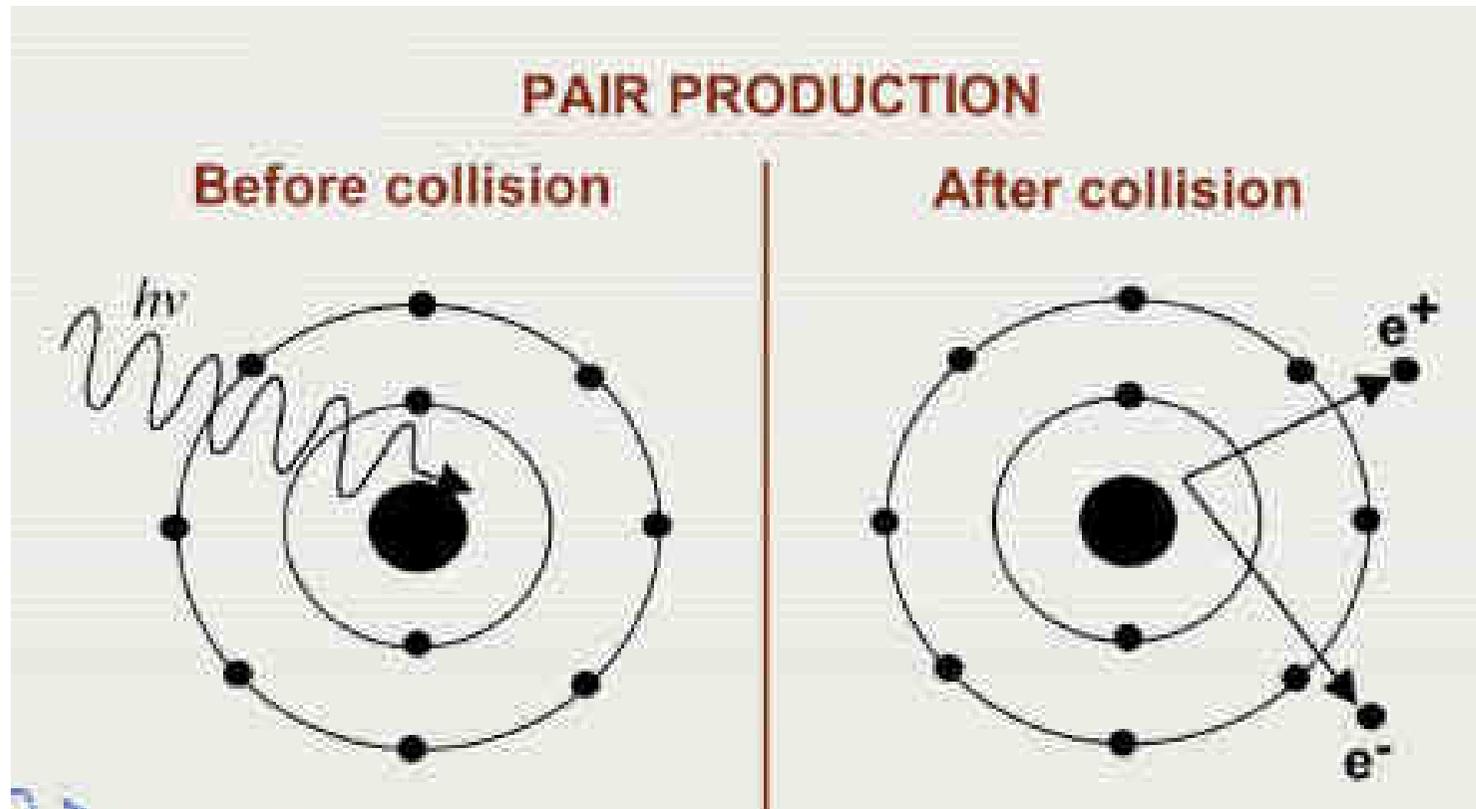
Interacción con electrones libres.



Interacción de los fotones con la materia

Producción de pares:

Interacción con campo eléctrico del núcleo atómico.





Interacción de los fotones con la materia

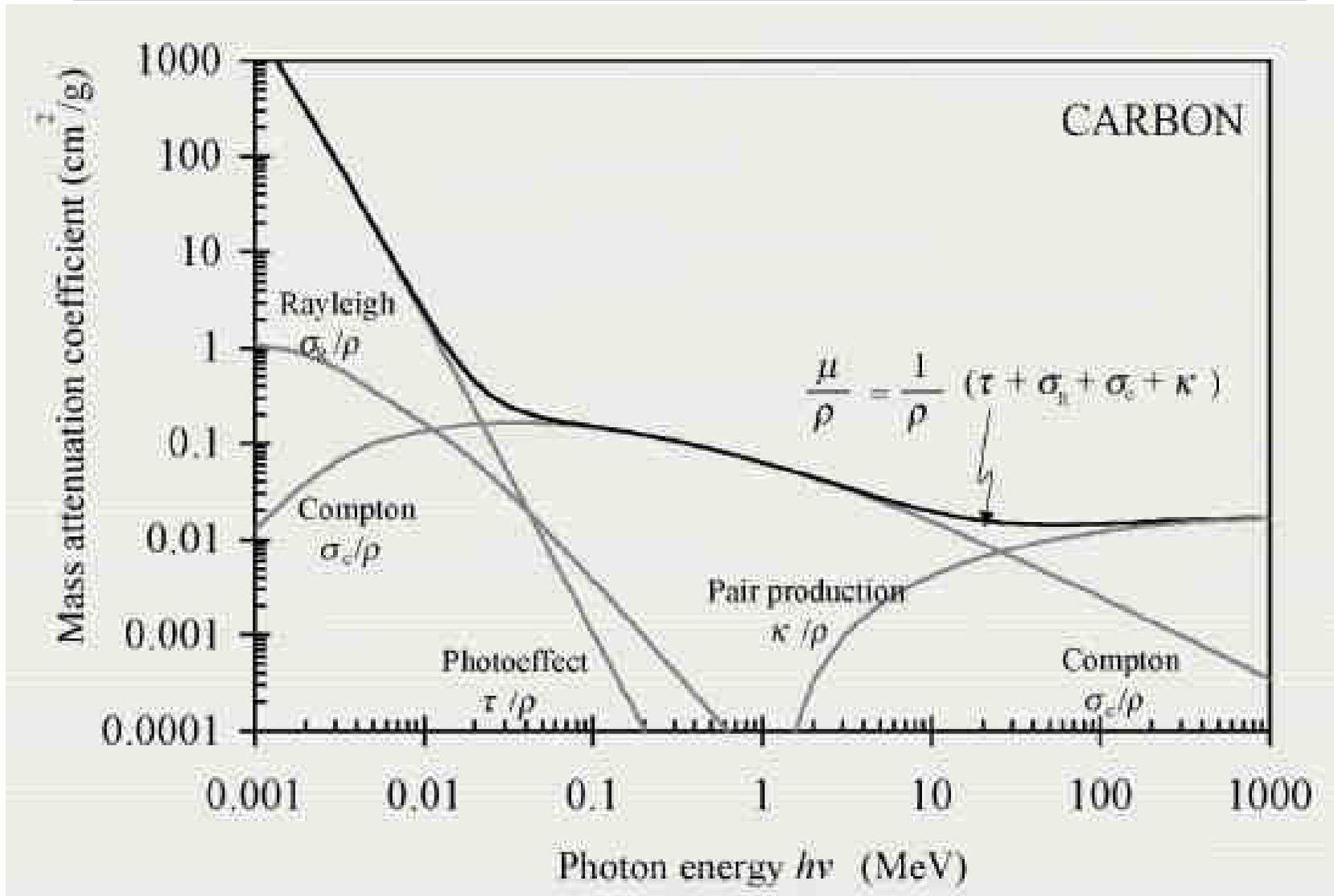
Atenuación de fotones.

La probabilidad producir alguna de las interacciones con un átomo en una material depende de

- **La energía ($h\nu$) del fotón.**
- **El número atómico Z del material.**

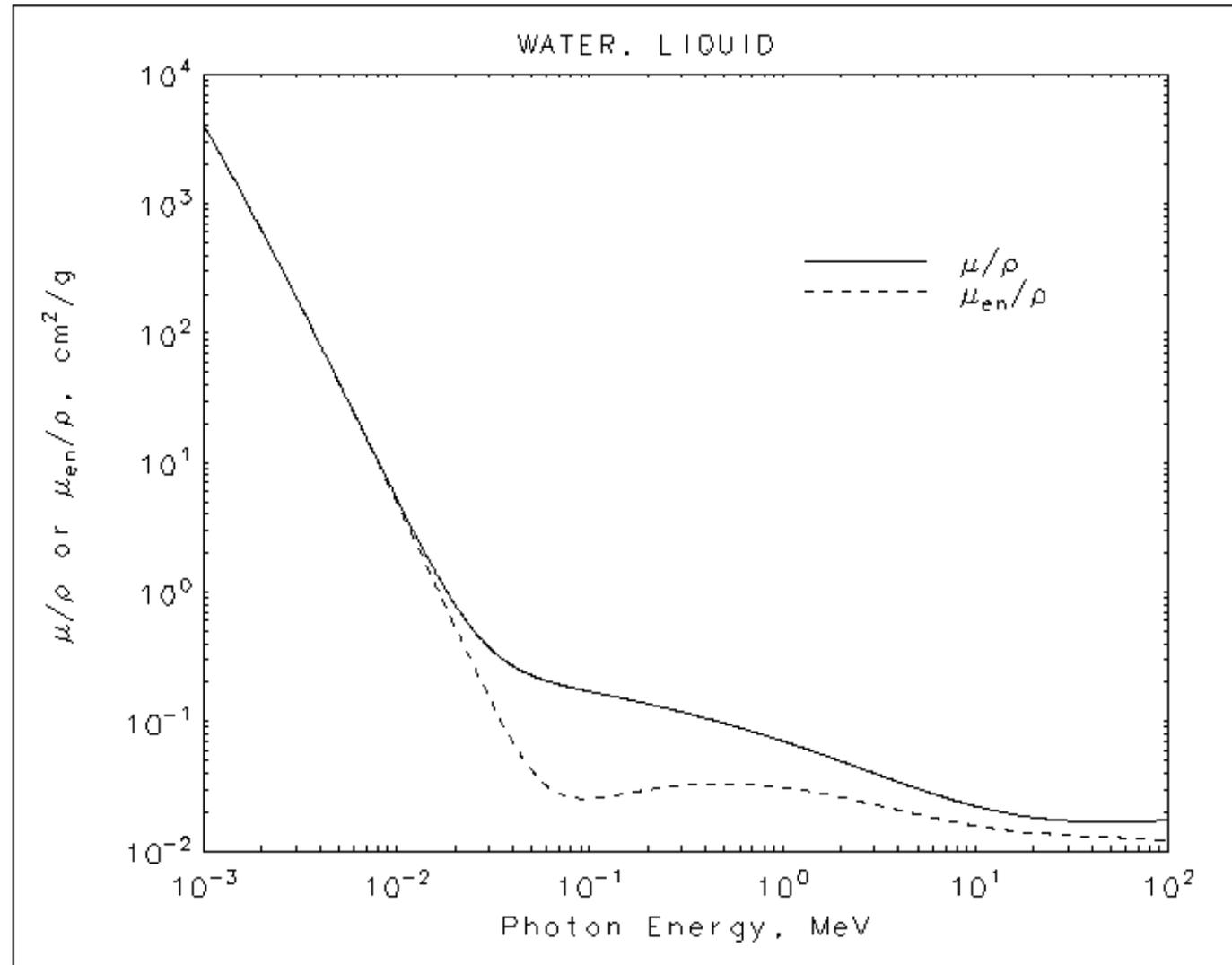
Interacción de los fotones con la materia

Atenuación de fotones



Interacción de los fotones con la materia

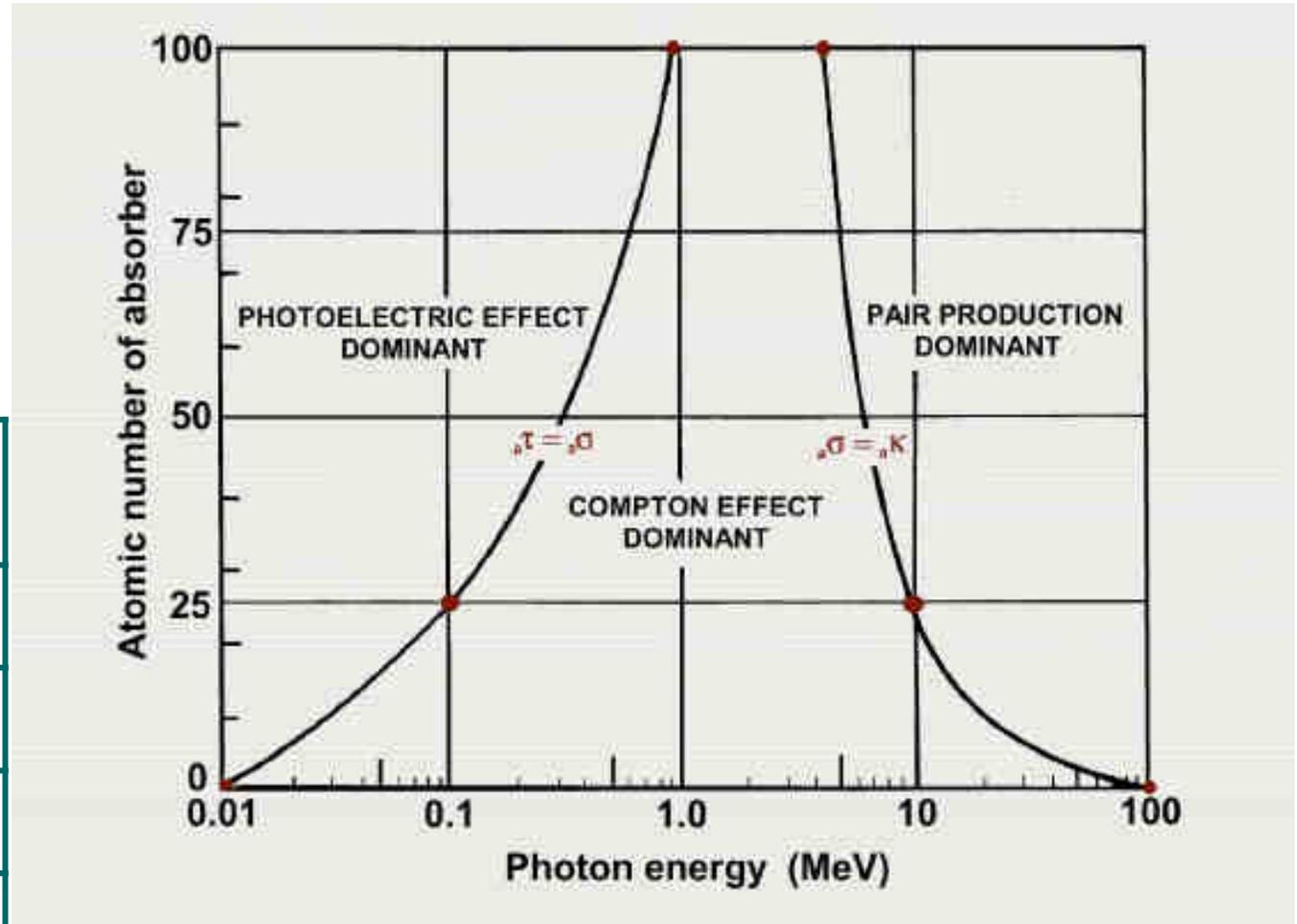
Atenuación de fotones



Interacción de los fotones con la materia

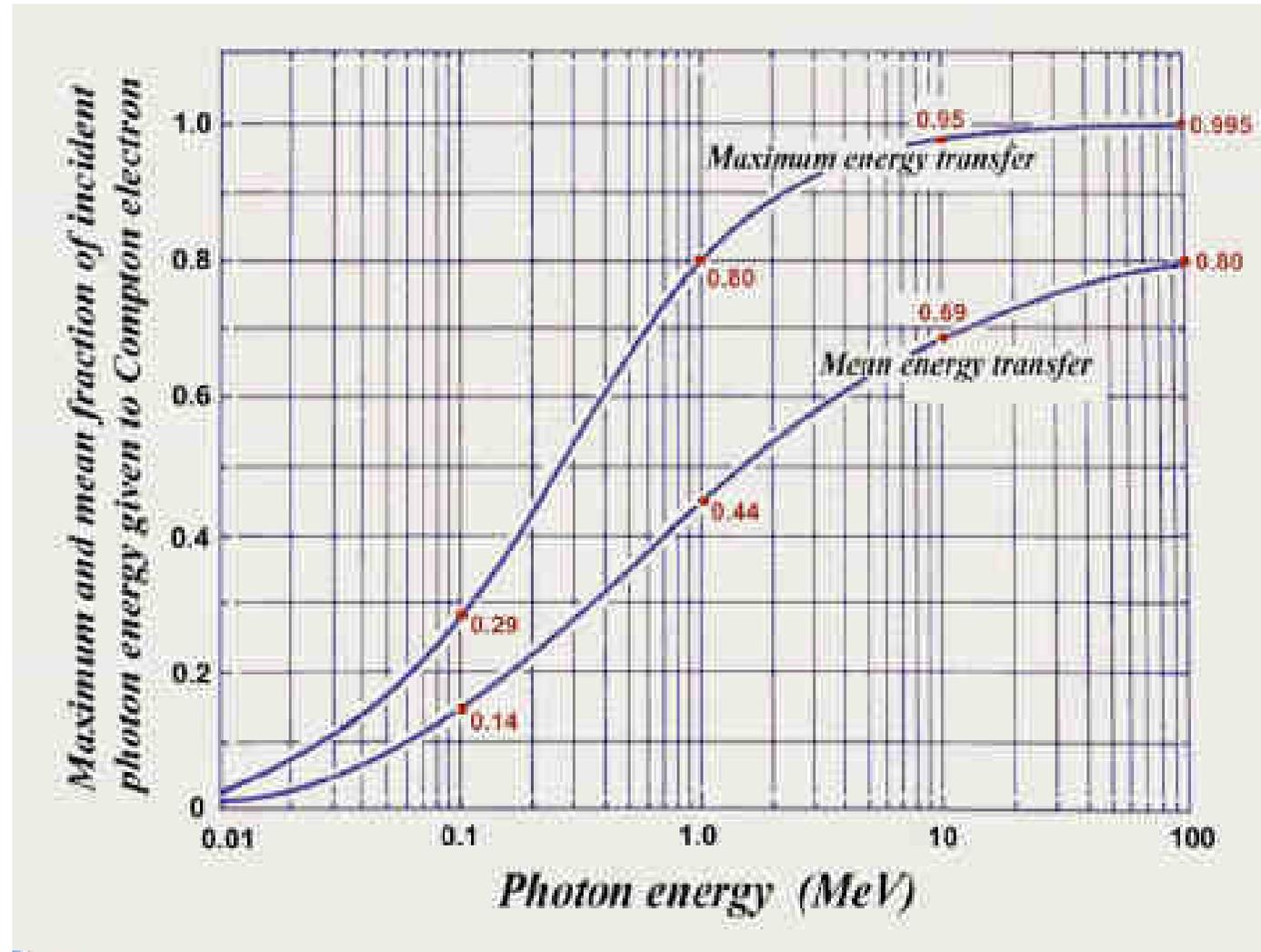
Regiones de predominancia relativa

<i>Material</i>	<i>Z_{ef}</i>	<i>Dens (g/cm³)</i>
Agua	7.42	1.0
Musc	7.46	1.0
Grasa	5.92	0.91
Aire	7.64	0.00129
Calcio	20.0	1.55



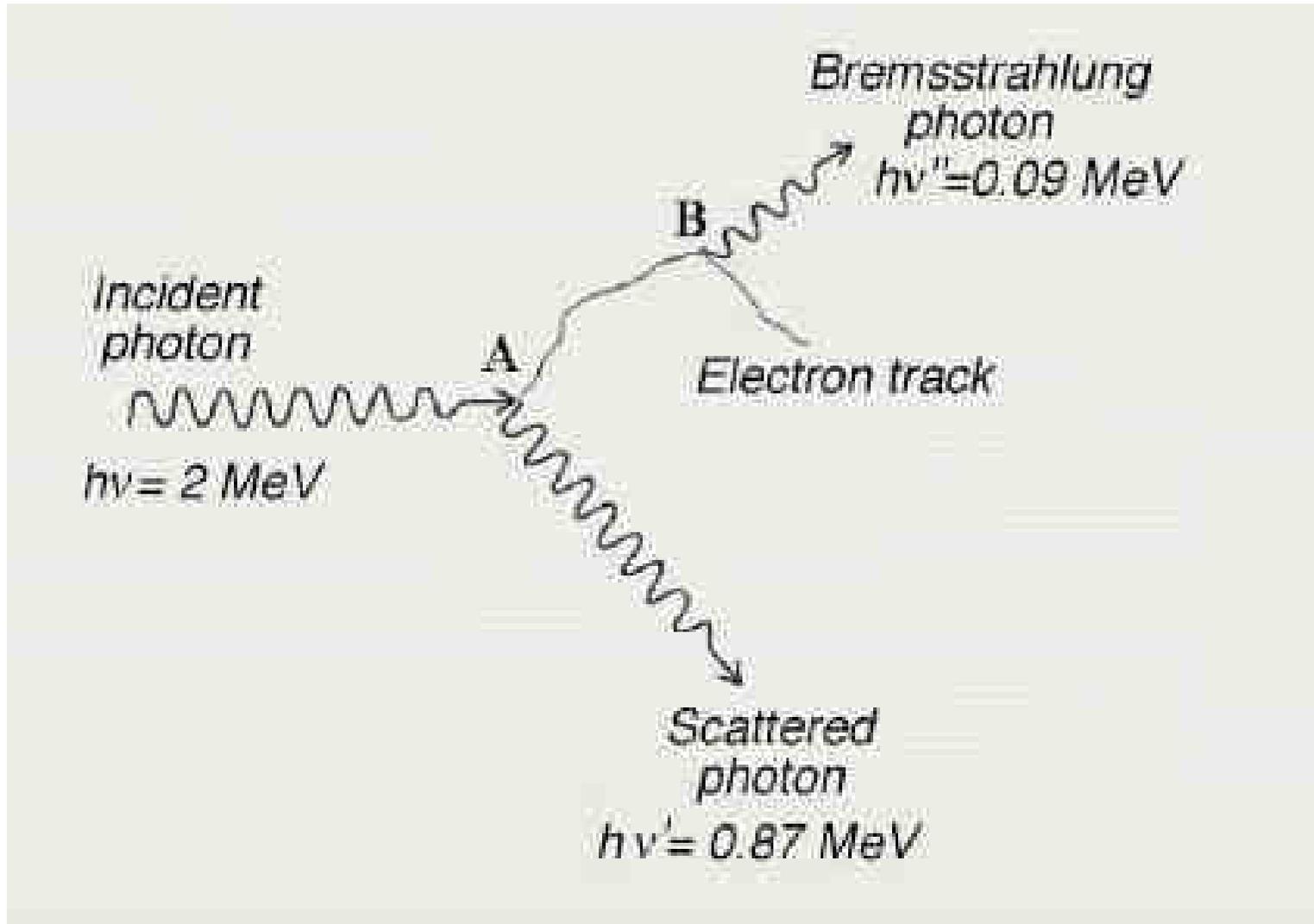
Interacción de los fotones con la materia

Efecto Compton. Energía transferida al electrón



Interacción de los fotones con la materia

Efecto Compton. Energía transferida al electrón





Interacción de los electrones con la materia

- **Electrón energético atraviesa la materia -> Interacción Coulomb (eléctrica) con los átomos del material.**
 - **Electrones en orbitales atómicos.**
 - **Núcleos atómicos.**
- **En estas colisiones el electrón puede:**
 - Perder energía cinética (colisión y radiación).
 - Cambiar dirección de movimiento (dispersión o scattering).



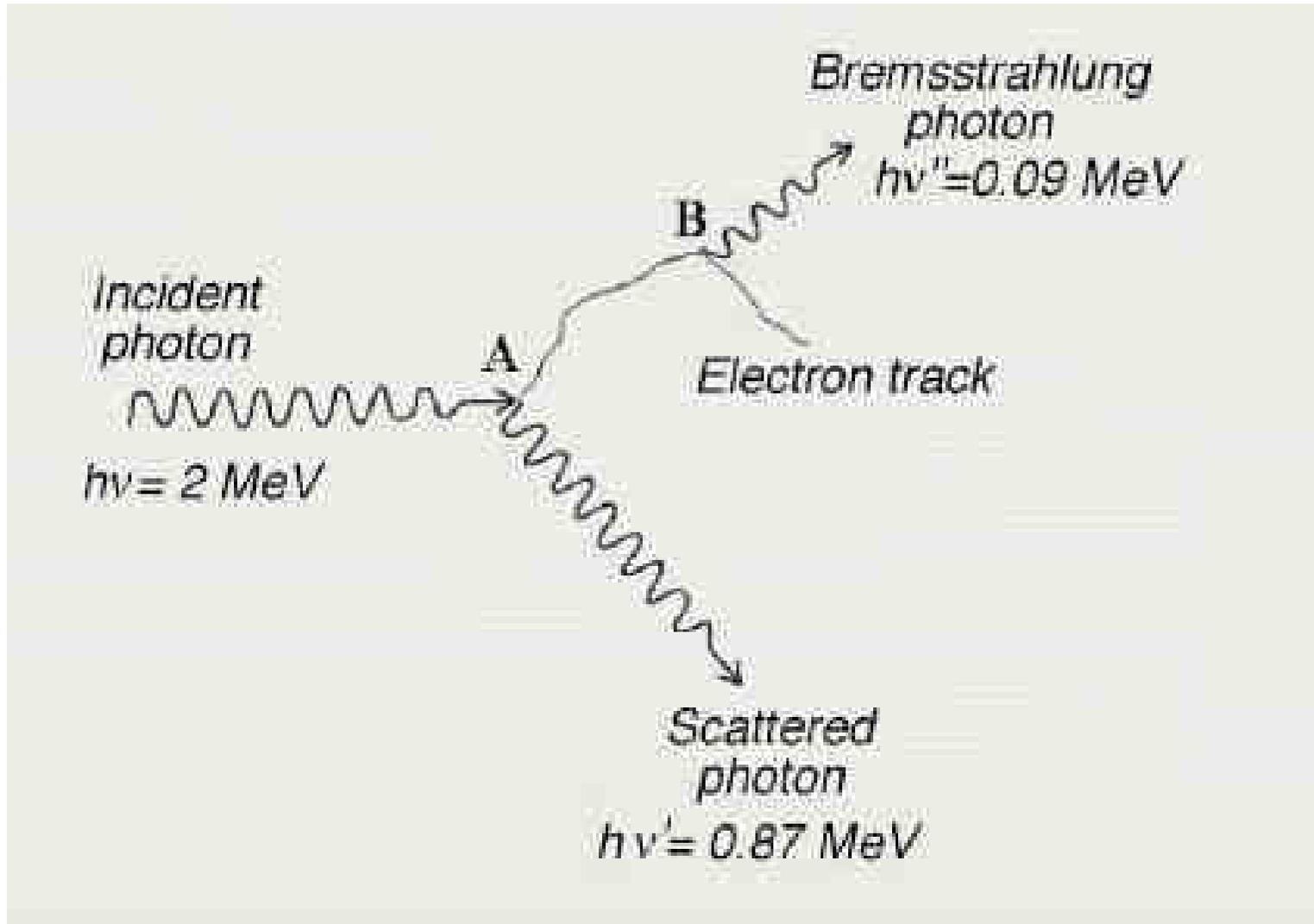
Interacción de los electrones con la materia

- **Perdida por colisión electrones atómicos.**
 - **Ionización.**
 - **Excitación.**

- **Pérdidas por colisiones con el núcleo atómico.**
 - Perdida por radiación de frenado (bremsstrahlung).

Interacción de los fotones con la materia

Efecto Compton. Energía transferida al electrón

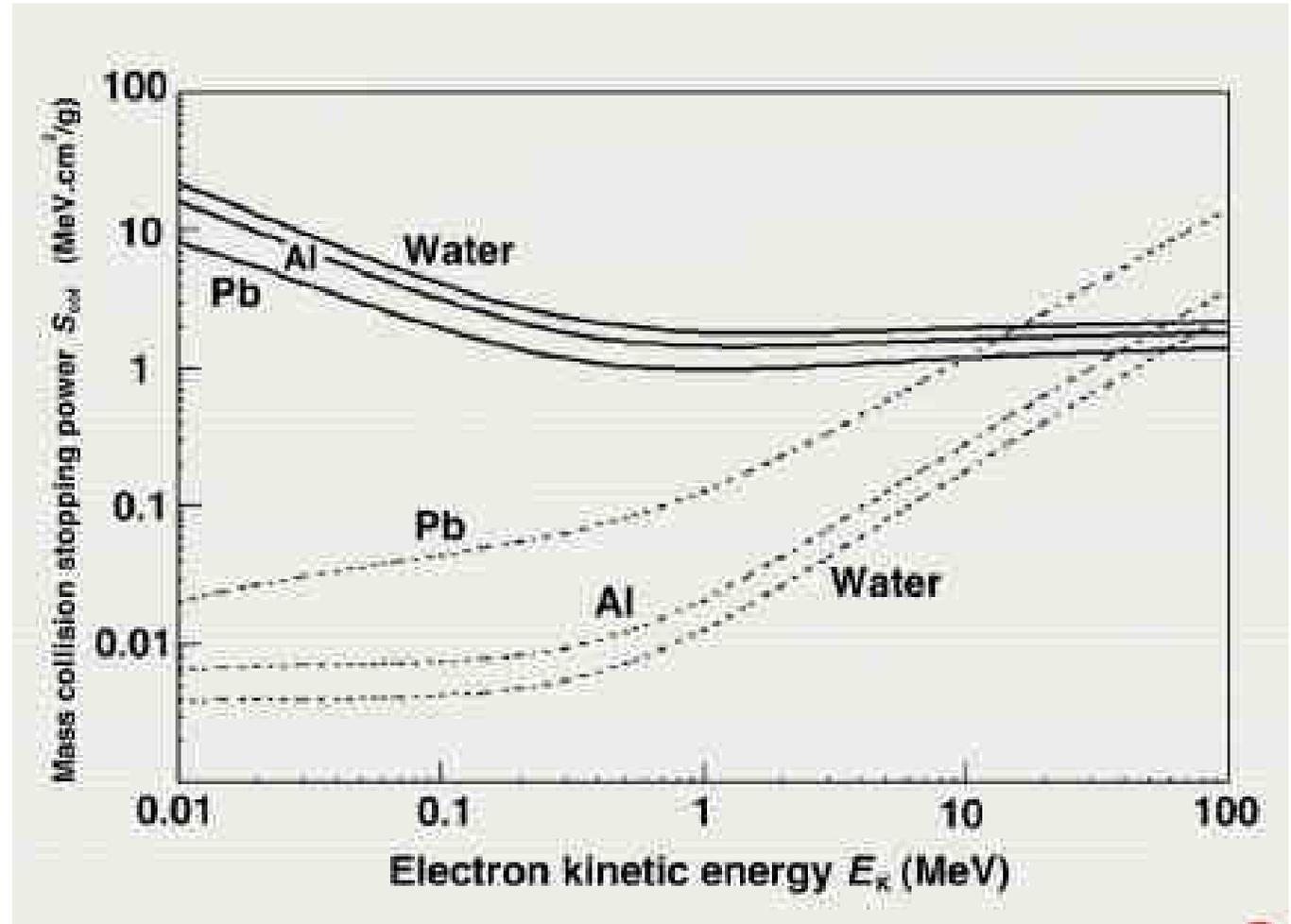


Interacción de los electrones con la materia

Línea sólida:
colisión.

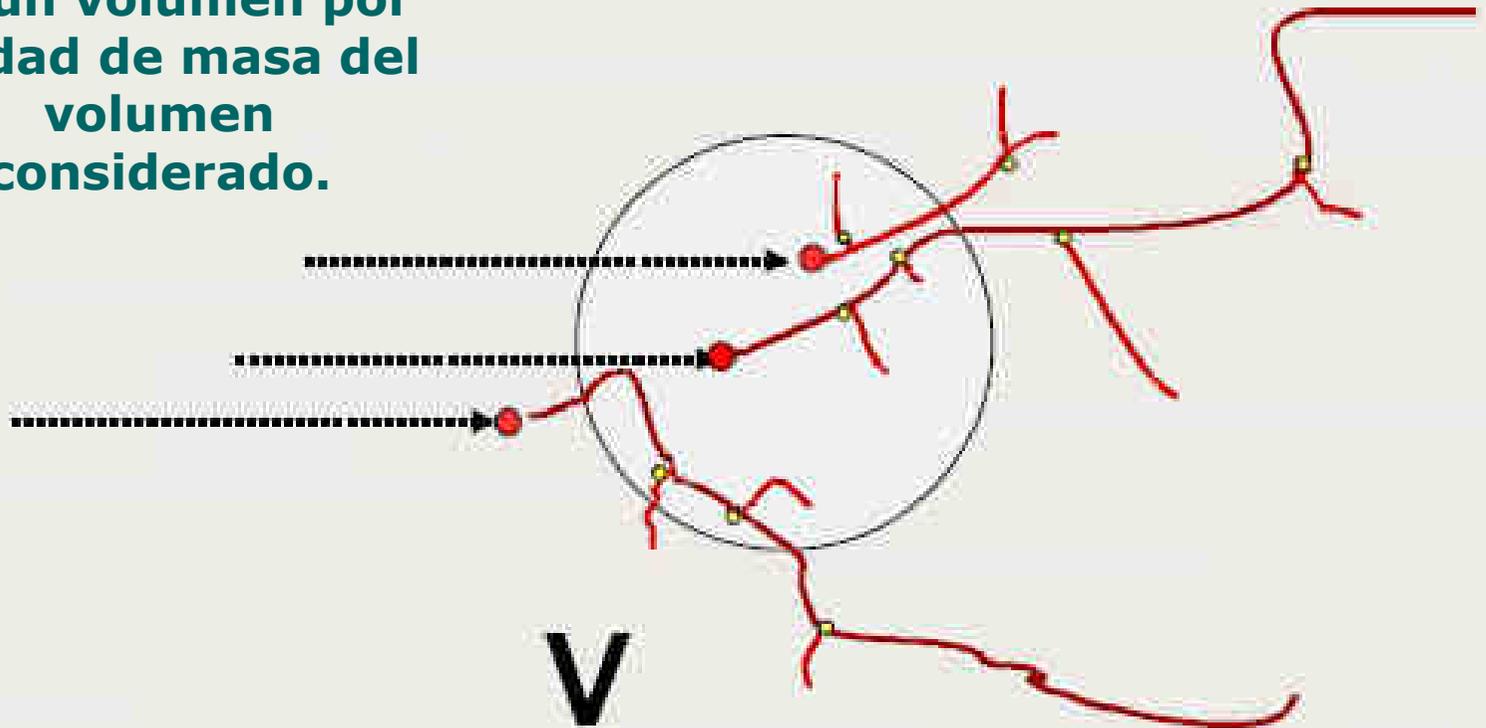
Línea de
puntos:
radiación.

La pérdida de energía por colisión es mayor para Z bajos, porque Z altos tienen menos densidad electrónica.

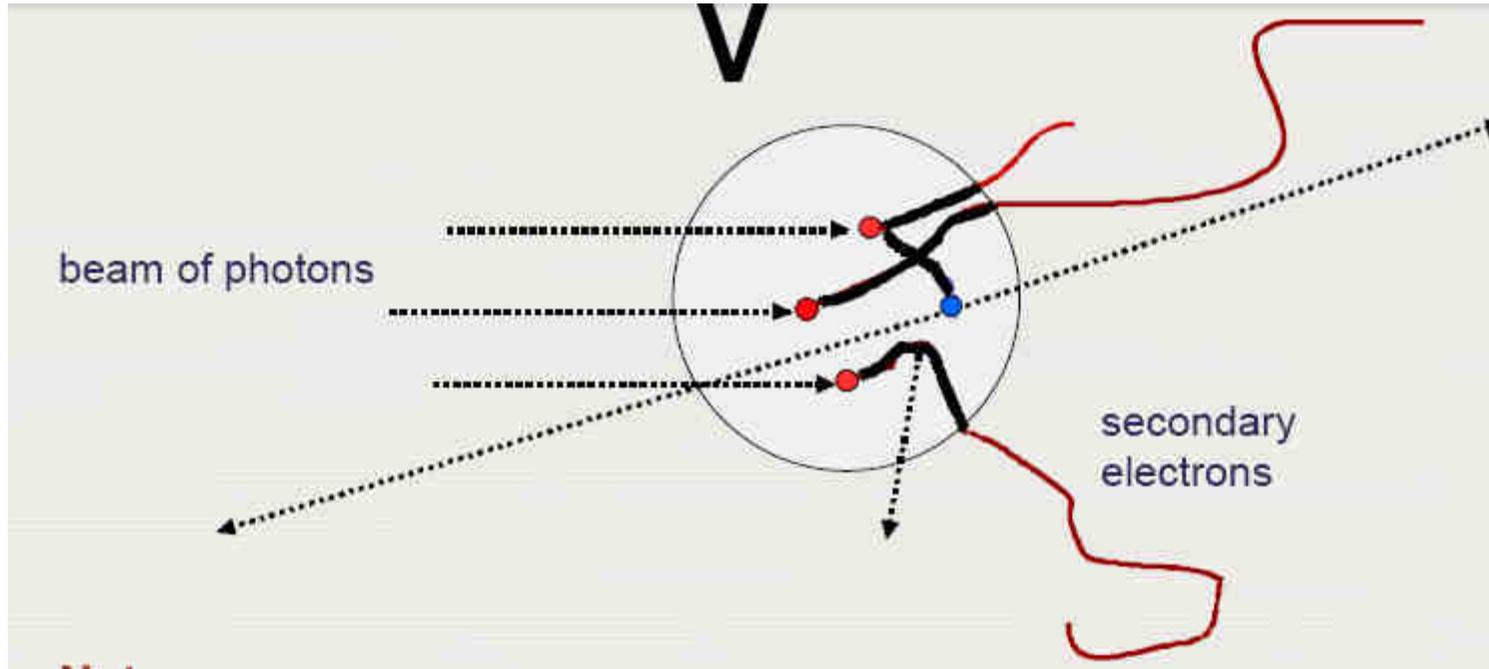


Dosis de radiación.

**Energía impartida
en un volumen por
unidad de masa del
volumen
considerado.**



Definición de Dosis.



$$D = \frac{d\bar{\mathcal{E}}}{dm} \left[\frac{J}{kg} \right] \quad \therefore [Gy]$$

Dosis es el promedio de la energía impartida en un volumen por unidad de masa del volumen considerado.



Radioprotección.

Cantidades y unidades.

- Dosis en órgano.
- Dosis Equivalente.
- Dosis Efectiva.
- Dosis comprometida.



Radioprotección.

Cantidades y unidades.

Dosis en órgano D_T .

Definida como la Dosis media en un tejido u órgano específico T del cuerpo humano.

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int_{m_T} D \, dm = \frac{\mathcal{E}_T}{m_T}$$

m_T masa de órgano o tejido considerado.

\mathcal{E}_T total de la energía impartida en el tejido u órgano.



Radioprotección.

Cantidades y unidades.

Dosis equivalente H_T

Definida como la Dosis en un tejido u órgano $D_{T,R}$ considerando el tipo de radiación que produce la dosis.

$$H_T = W_R D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ Dosis impartida en el tejido T por el tipo de radiación R

W_R Factor de peso para el tipo de radiación R, tiene en cuenta la efectividad para producir un detrimento biológico.



Radioprotección.

Cantidades y unidades.

W_R es un factor adimensional ($w_R \geq 1$) que depende de cómo se distribuye la energía impartida

Tipo de radiación	W_R
Fotones de todas las energías	1
Electrones y muones, todas las energías	1
Neutrones con energías,	
<10 keV	5
10 keV a 100 keV	10
>10 keV a 2 MeV	20
>2 MeV a 20 MeV	10
>20 MeV	5
Protones, salvo los de retroceso, de $E > 2$ MeV	5
Partículas alfa, fragmentos de fisión y núcleos pesados	20



Radioprotección.

Cantidades y unidades.

Dosis equivalente H_T tiene unidades $[J/kg]$ que recibe el nombre de *Sievert* $[Sv]$.

- Dosis en órgano $D_{T,R}$ es una medida de la energía absorbida por un órgano promediada por su masa.
- Dosis Equivalente H_T es una medida del daño biológico (detrimento) producido por una $D_{T,R}$.
- Si un órgano es irradiado por más de un tipo de radiación tendremos.

$$H_T = \sum w_R D_{T,R}$$



Radioprotección.

Cantidades y unidades.

Dosis Efectiva (E).

Es definida como la suma de las dosis equivalentes de cada tejido u órgano multiplicado por un factor específico para cada tejido (w_T).

$$E = \sum w_T H_T$$

La unidad es el Siebert [Sv]



Radioprotección.

Cantidades y unidades.

El factor específico para cada tejido (w_T) está especificado por la IAEA en los Estandares de seguridad Básicos (BSS).

Para el público en general son:

$w_T = 0,20$ - gónadas.

$w_T = 0,12$ - pulmón, medula ósea roja, colon, estómago.

$w_T = 0,05$ - vejiga, mama, hígado, esófago, tiroides.

$w_T = 0,01$ - piel, superficie del hueso.

$w_T = 0,01$ - para todo el cuerpo.



Radioprotección. Cantidades y unidades.

Dosis Efectiva (E) es una medida del detrimento probable resultante de una determinada dosis de radiación.

Los límites anuales de Dosis están especificados en **Dosis Efectiva** y **Dosis Equivalentes** para piel y cristalino.

Para Argentina

ARN Norma Básica de Seguridad Radiológica.

AR 10.1.1 revisión 3 (2001).

<http://200.0.198.11/normas/10-1-1R3.pdf>



Radioprotección.

Cantidades y unidades.

ARN Norma Básica de Seguridad Radiológica.
AR 10.1.1 revisión 3 (2001).

Exposición ocupacional

- Dosis efectiva $E < 100 \text{ mSv}$ en 5 años. (no debe superarse los 50 mSv) en un único año)
- Dosis equivalente
 - $H_{\text{cristalino}} < 150 \text{ mSv/año}$ $H_{\text{piel}} < 500 \text{ mSv/año}$
- **Exposición al público.**
- Dosis efectiva $E < 1 \text{ mSv/año}$.
- Dosis equivalente
 - $H_{\text{cristalino}} < 15 \text{ mSv/año}$ $H_{\text{piel}} < 50 \text{ mSv/año}$



Radioprotección. Cantidades y unidades.

DOSIS COMPROMETIDA

Dosis resultante de la incorporación en el organismo de un material radiactivo. Esta dosis está siempre referida a un intervalo de tiempo, si no se especifica se entiende que es:

- Adultos periodo de 50 años.
- Niños periodo de 70 años.



Bibliografia.

- Podgorsak E. B. , **Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers And Students.** International Atomic Energy Agency.
- J. H. Hubbell+ and S. M. Seltzer. Radiation and Biomolecular Physics Division, PML, NIST.
<http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/>
- INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST IONIZING RADIATION AND FOR THE SAFETY OF RADIATION SOURCES. SAFETY SERIES No. 115. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. VIENNA, 1996.



Nuevo símbolo de advertencia de radiactividad adoptado por la [ISO](#) en 2007 para fuentes que puedan resultar peligrosas.

Estándar ISO #21482.