

**LABORATORIO  
DE  
FÍSICA NUCLEAR**

**FISICA NUCLEAR y PARTÍCULAS  
CURSO 2010 – 2011**

# PRÁCTICAS DE LABORATORIO

- 1 ) LECTURA DE APUNTES
- 2 ) REALIZACIÓN DEL **CUESTIONARIO** EN LA WEB → CLAVE
- 3 ) RESERVAR HORA EN LABORATORIO
- 4 ) REALIZACIÓN DE **1 PRÁCTICA VIRTUAL**
- 5 ) ENTREGAR PRÁCTICA VIRTUAL (CON CLAVE)
- 6 ) REALIZAR **1 PRÁCTICA EN LABORATORIO**
- 7 ) ENTREGAR PRÁCTICA DE LABORATORIO
- 8 ) RELLENAR LA ENCUESTA SOBRE EL LABOR.

- El laboratorio comenzará el 8 de noviembre y finalizará el 22 de noviembre de 2010.
- **La fecha límite de entrega de cuestionarios es el 1 de diciembre de 2010** (tanto de la práctica presencial como de la virtual).
- El horario para realizar las prácticas presenciales será de 10:30-13:00 y de 15:30-17:00.
- El laboratorio de nuclear se encuentra en el sótano, junto al aula de informática.
- Se pueden reservar horas del laboratorio a través de la web:  
<http://nuclear.fis.ucm.es/wiki/doku.php?id=calendario>
- Las practicas se recomienda realizarlas en parejas, aunque se podrán hacer en grupos de hasta 3 personas. En cualquier caso, los cuestionarios se entregarán individualmente.
- El tiempo estimado para realizar una práctica es de unas 2 horas.
- En el laboratorio habrá un cuaderno de firmas para controlar la asistencia.
- Sobre cualquier tipo de cuestión relacionada con el laboratorio se puede enviar un email a: [laboratorio@nuclear.fis.ucm.es](mailto:laboratorio@nuclear.fis.ucm.es)

# Calendario de prácticas de laboratorio de Física Nuclear y de Partículas

Para apuntarse a una franja horaria y práctica determinada debe editar esta Wiki siguiendo las indicaciones.

<http://nuclear.fis.ucm.es/wiki/doku.php?id=calendar>

El usuario y la contraseña para acceder a la wiki se obtiene al completar el test previo.

Para reservar una hora, verifique que la casilla deseada está libre (LIBRE) y edite la página ***introduciendo la clave resultado del test***. Nunca introduzca su nombre ni apellido.

Está absolutamente contraindicado remplazar o eliminar claves introducidas previamente. Si una casilla no está libre simplemente elija otra. Recuerde que la Wiki mantiene un control de cambios que permite revertir al contenido eliminado y determinar el momento de la felonía.

# ESPECTROS DE RADIACIONES NUCLEARES

$\alpha$        $\beta$

$\gamma$

- Determinación de los espectros alfa, beta y gamma de distintas fuentes
- Comparación con los resultados teóricos para esas fuentes.

# PRÁCTICAS PRESENCIALES

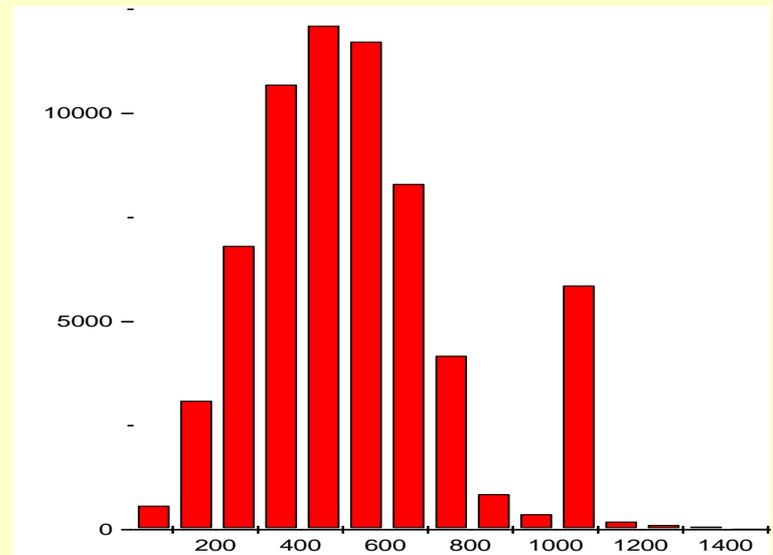
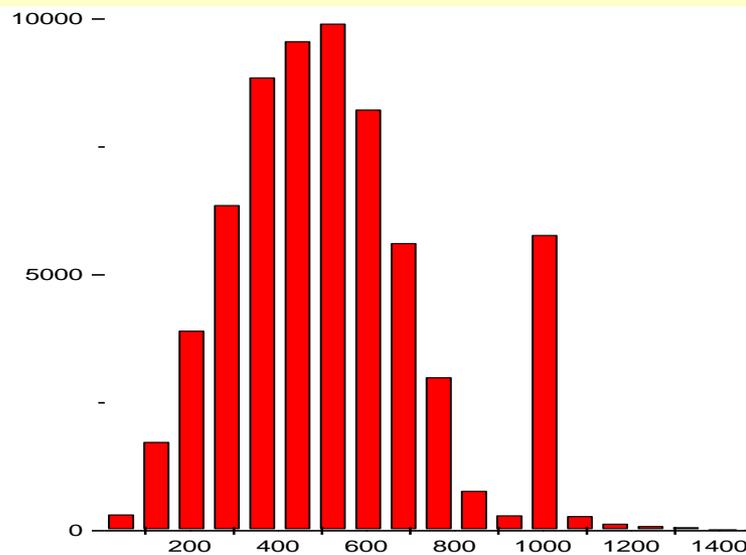
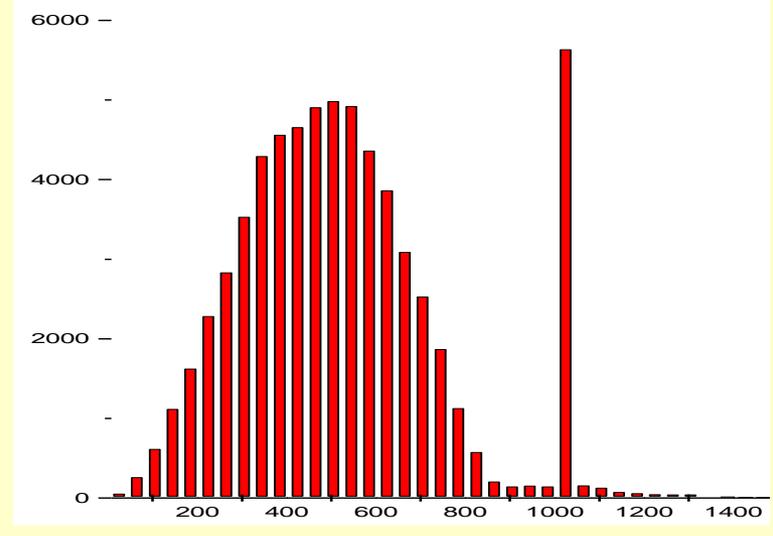
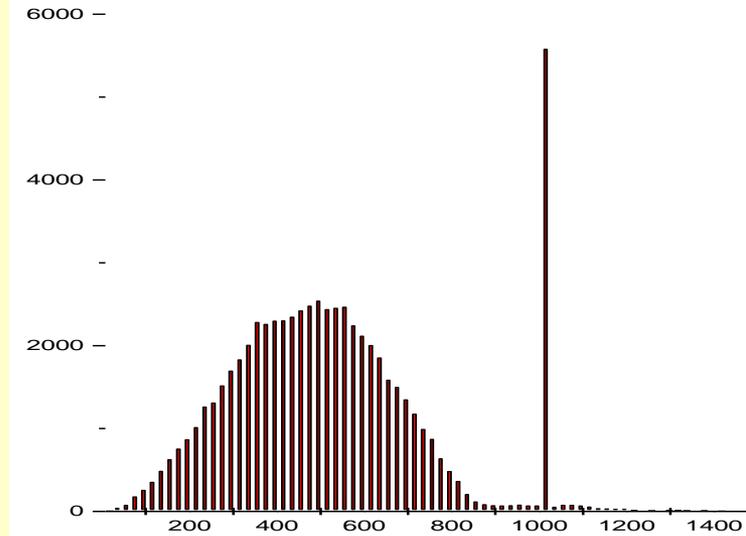
# RADIACIÓN ALFA



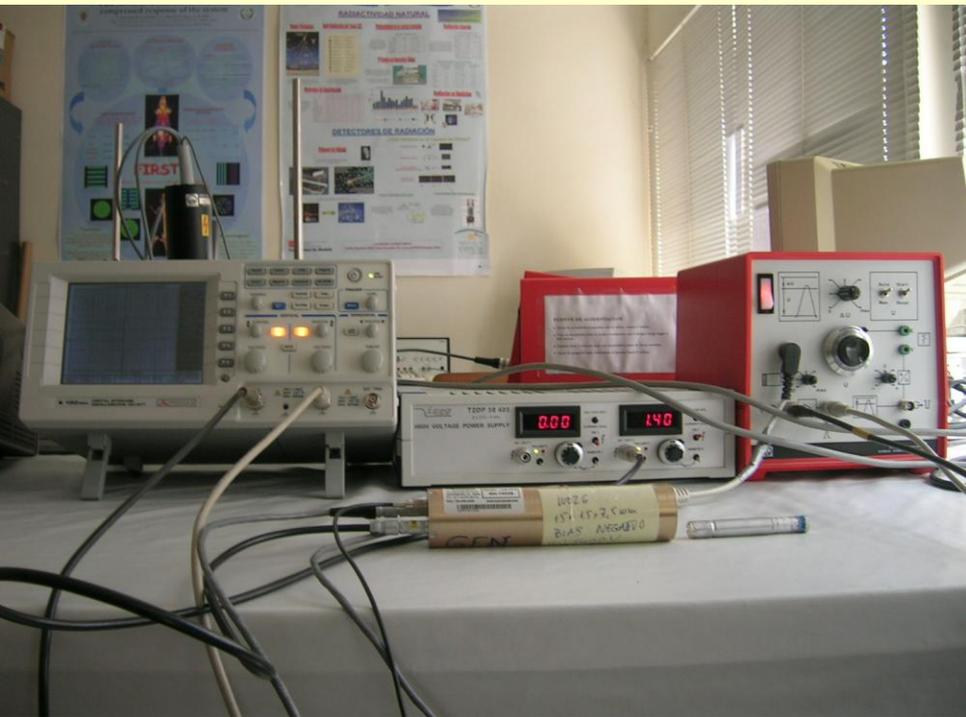
# RADIACIÓN BETA



# ESPECTRO BETA DEL $^{137}\text{Cs}$

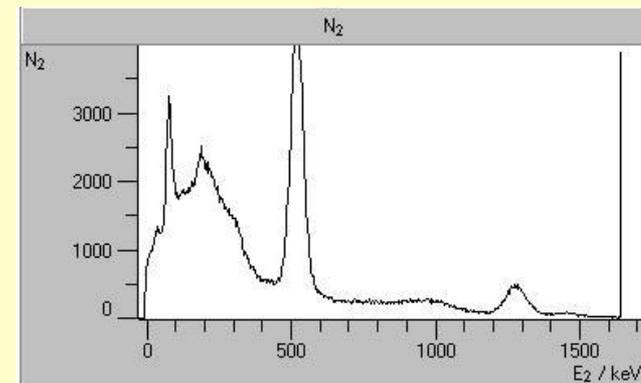
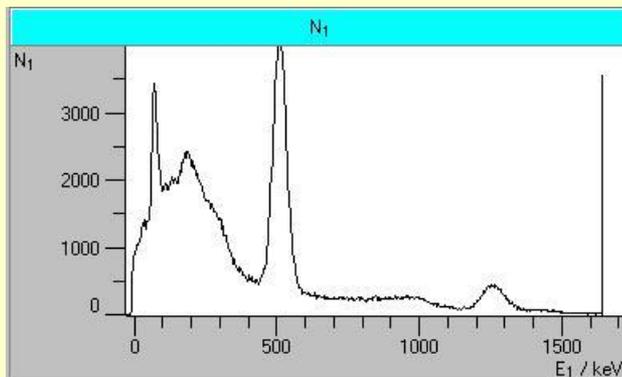
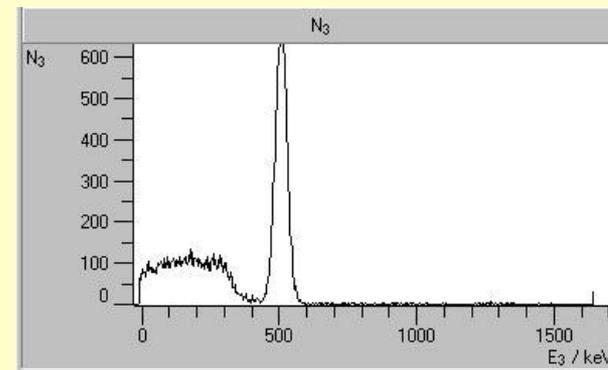
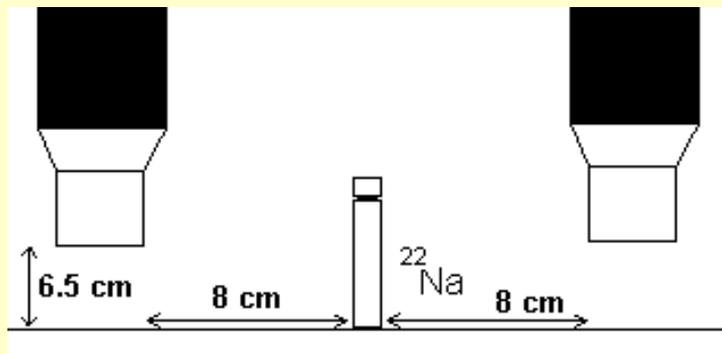


# RADIACIÓN GAMMA

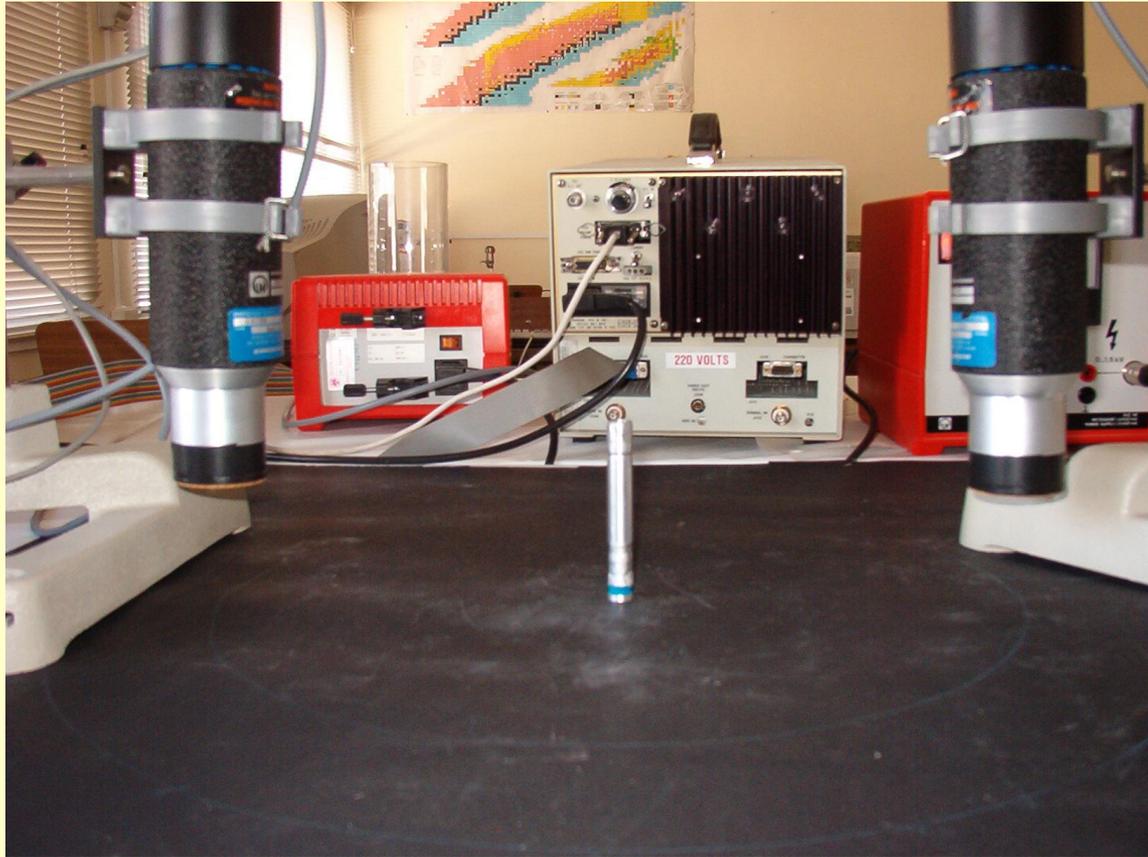


# COINCIDENCIAS GAMMA

## ANIQUILACIÓN ELECTRÓN - POSITRÓN

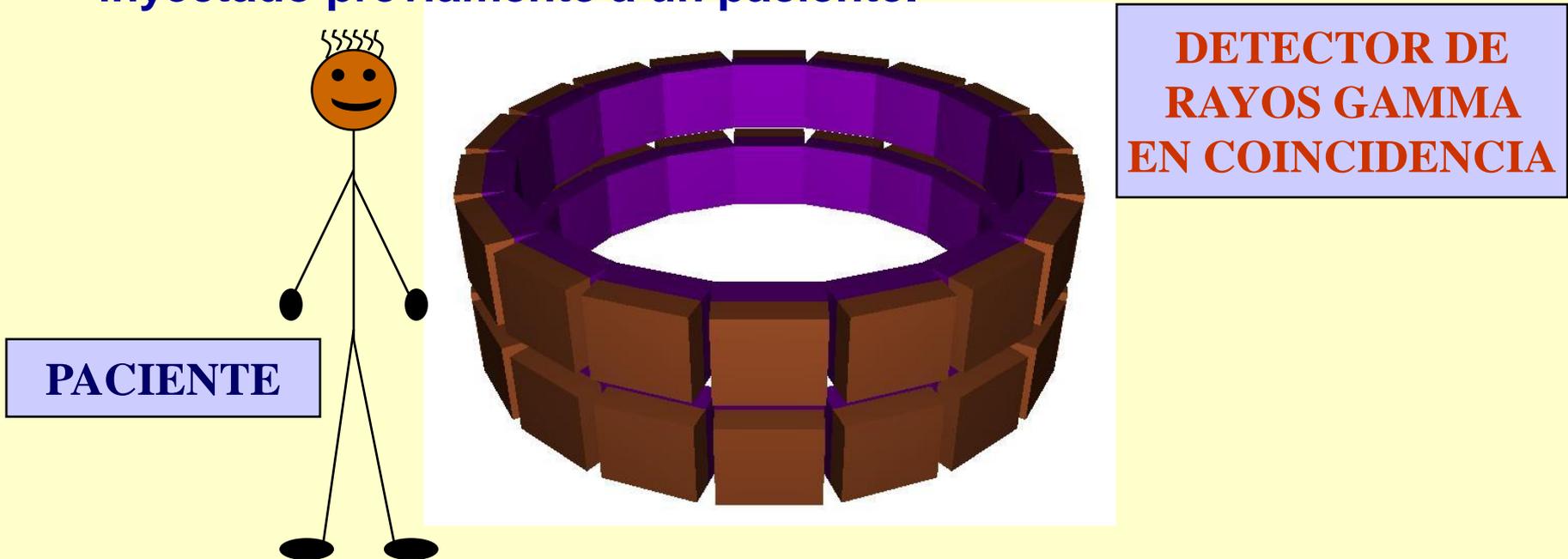


# COINCIDENCIAS GAMMA



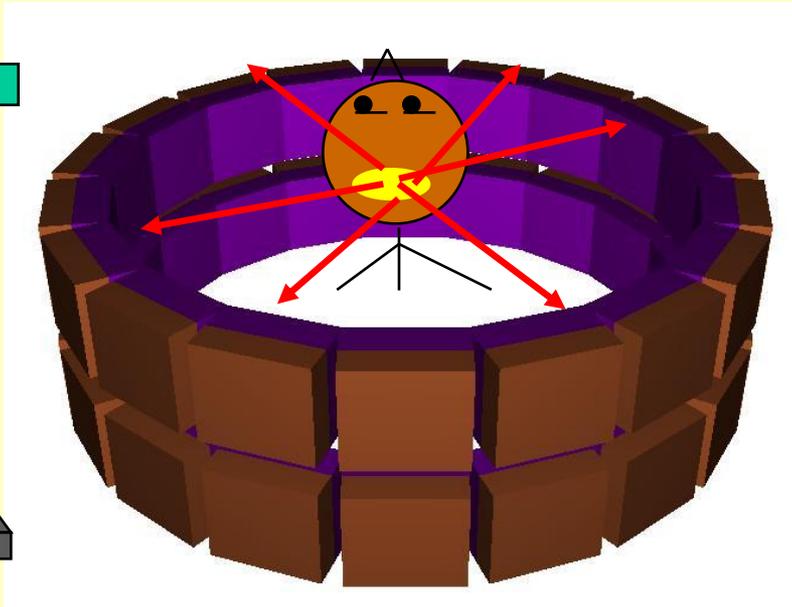
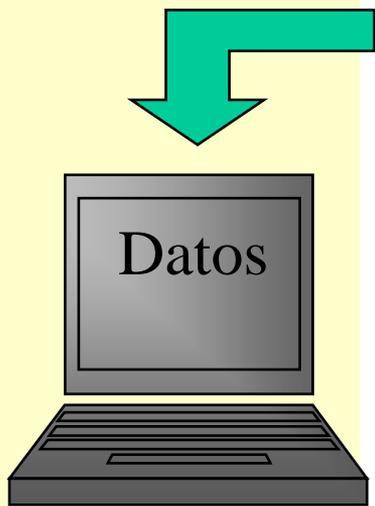
# TOMOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES (PET)

- Esta técnica de imagen médica se basa en la detección de los rayos gamma de 511keV que se generan en la aniquilación de los positrones que emite un determinado radiofármaco inyectado previamente a un paciente.



# TOMOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES (PET)

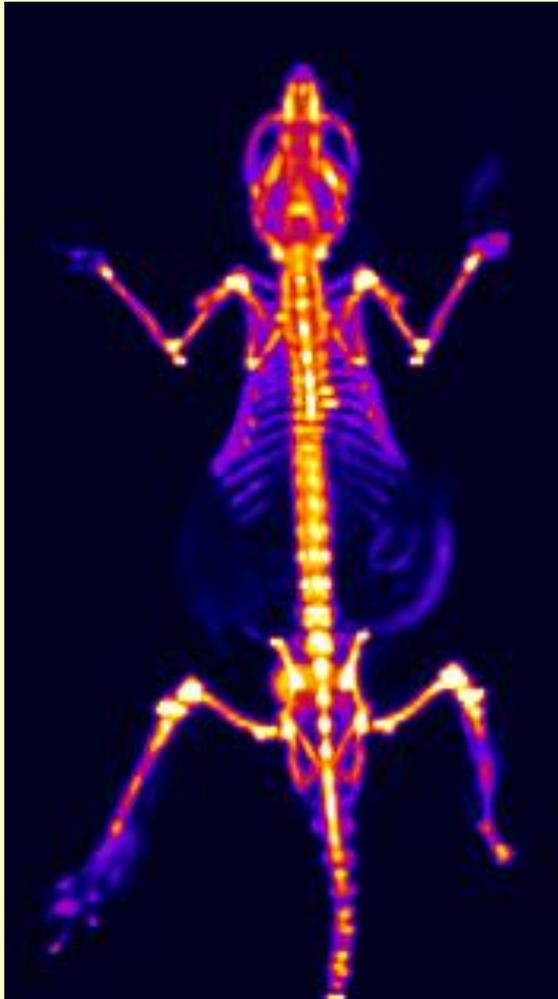
- Una vez inyectado el radiofármaco al paciente, se sitúa éste en un detector de rayos gamma con una electrónica que permita realizar análisis de coincidencias.
- Los positrones emitidos recorrerán una pequeña distancia (rango) y se aniquilarán con algún electrón del medio generando dos rayos gamma prácticamente colineales.



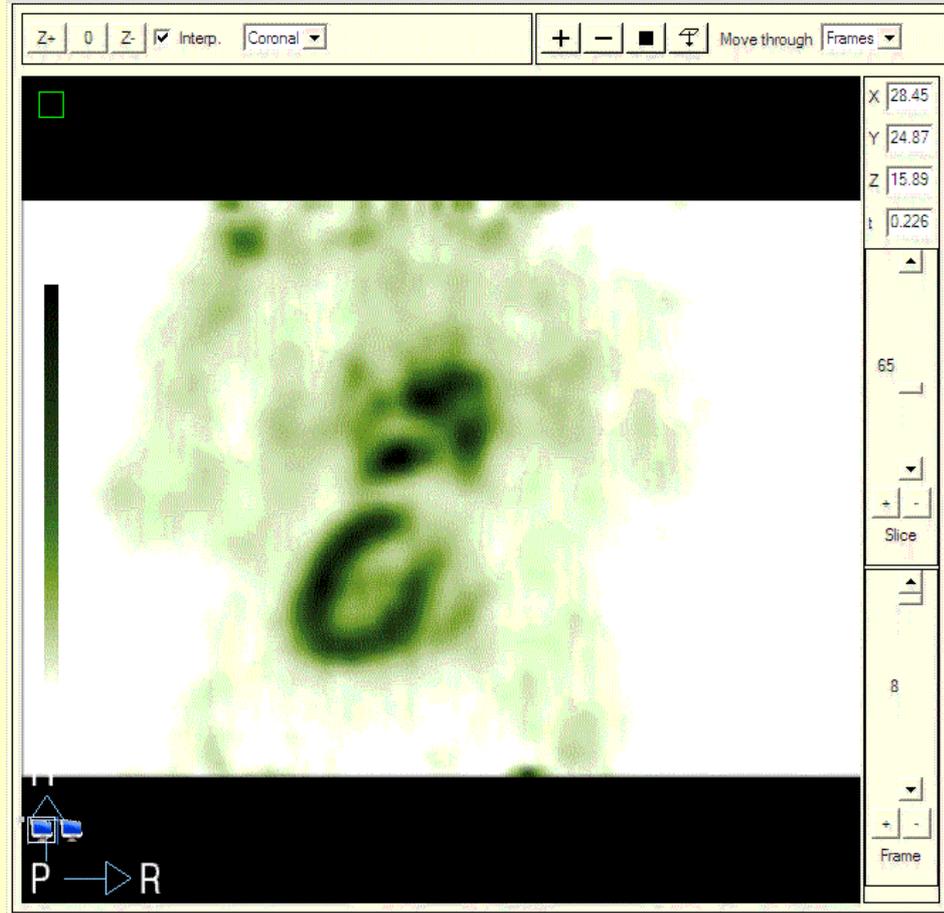
**RADIOISÓTOPOS  
 $\beta^+$  DE VIDA CORTA**

**2 RAYOS  $\gamma$   
COLINEALES**

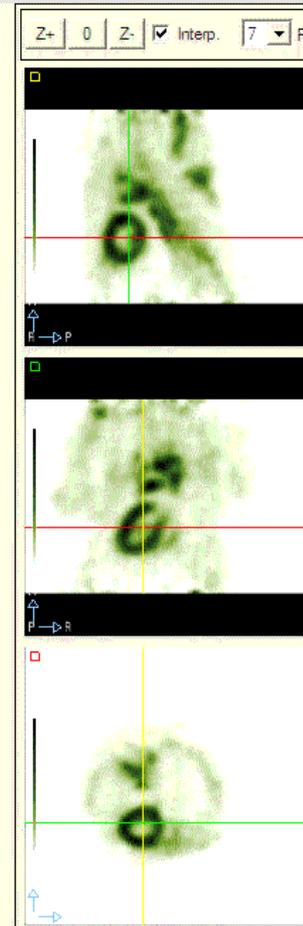
# PET



ESTUDIO CON  $^{18}\text{F}$



ESTUDIO CON FDG  
(GLUCOSA CON  $^{18}\text{F}$ )



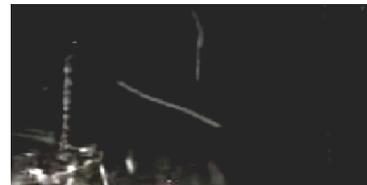
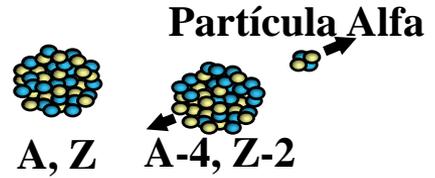
# PRÁCTICAS VIRTUALES

# PRÁCTICAS VIRTUALES

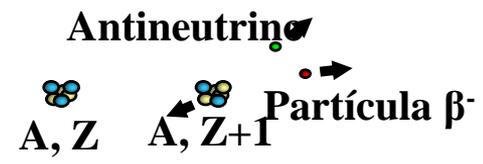
	<b>GUIONES Y CUESTIONARIO DE LA PRÁCTICA</b>
<b>ENSANCHAMIENTO DOPPLER</b>	<a href="#"><u>Acceso a la práctica</u></a>
<b>TIEMPO DE VUELO</b>	<a href="#"><u>Acceso a la práctica</u></a>
<b>GAMMA</b>	<a href="#"><u>Acceso a la práctica</u></a>
<b>PET</b>	<a href="#"><u>Acceso a la práctica</u></a>
<b>CAMARA DE NIEBLA</b>	<a href="#"><u>Acceso a la práctica</u></a>

# **DETECTORES DE RADIACIÓN**

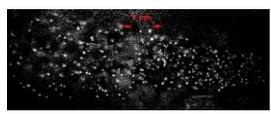
# PARTÍCULA ALFA



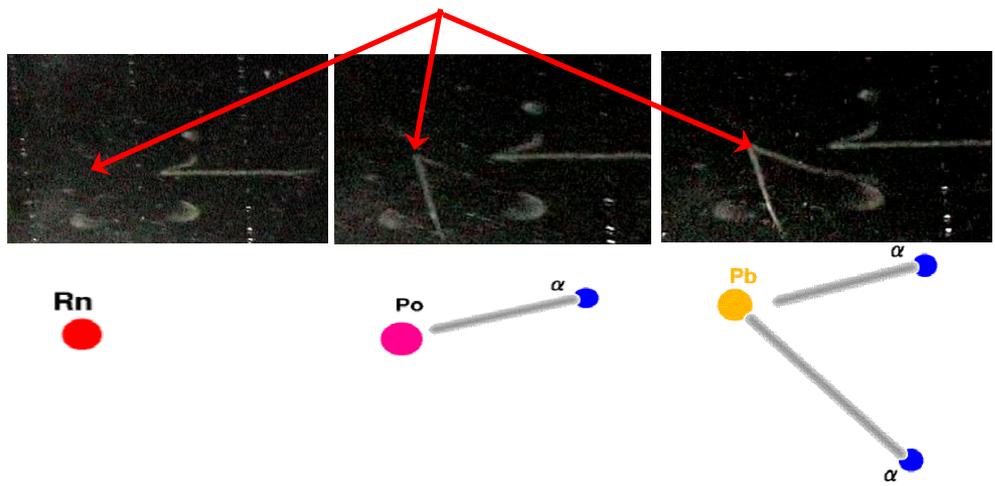
# PARTÍCULA BETA



# RAYO GAMMA (EFECTO FOTOELÉCTRICO)



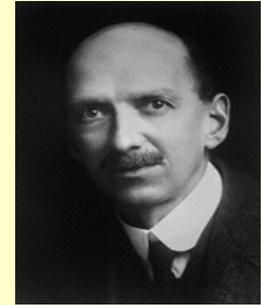
# DOBLE ALFA EN CASCADA



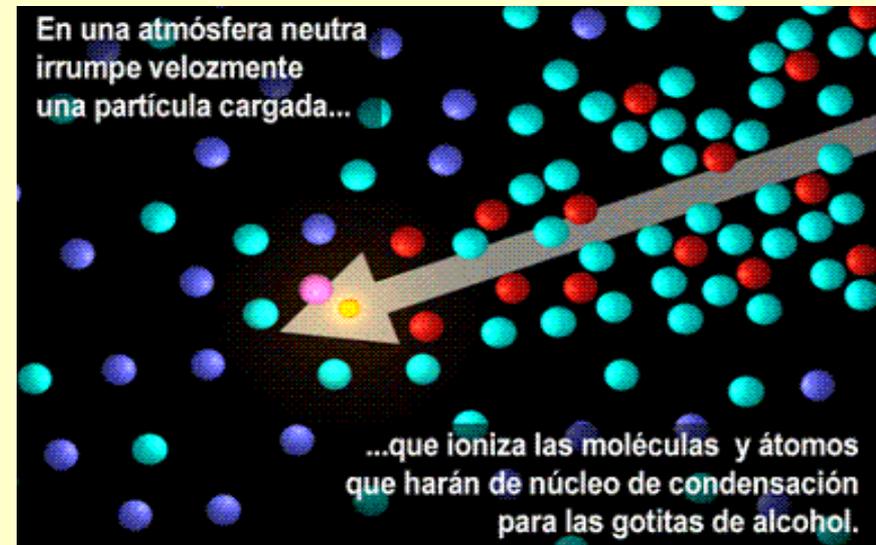
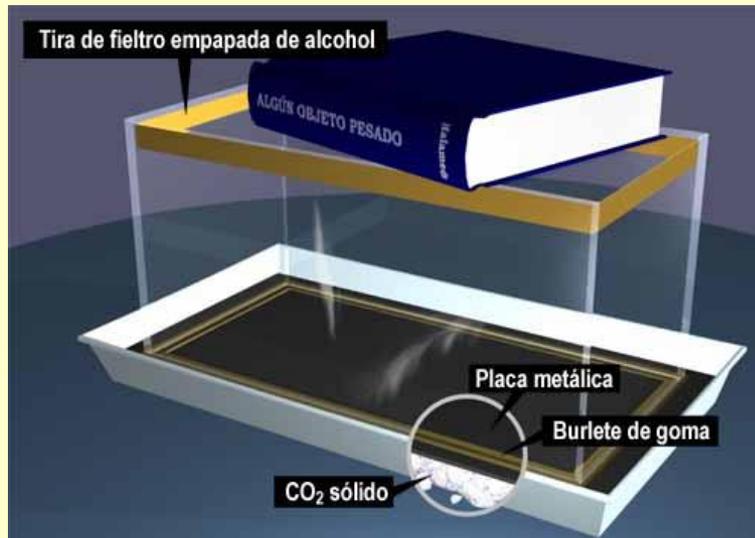
# DETECTORES DE RADIACIÓN

## Cámara de Niebla

La Cámara de Niebla nos permite observar a simple vista las trayectorias recorridas por partículas elementales y otras radiaciones ionizantes



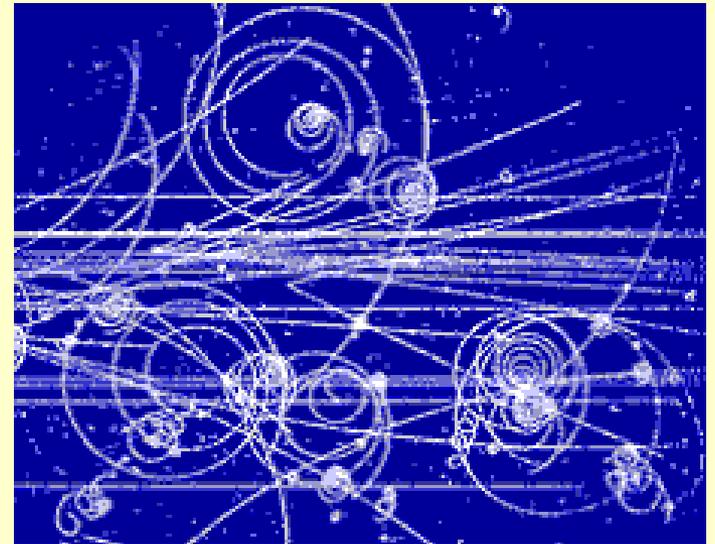
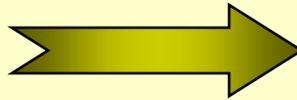
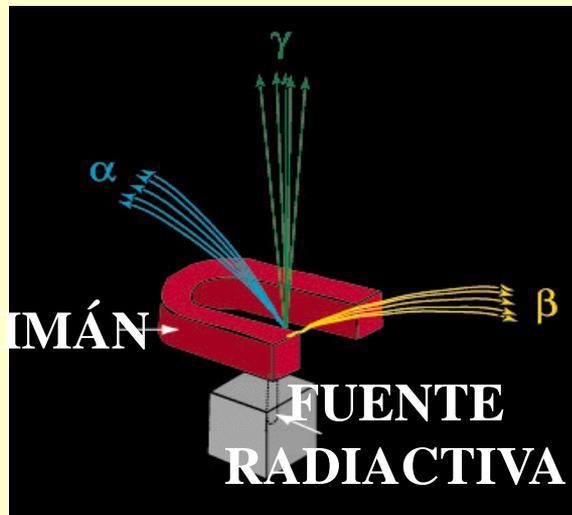
Charles Wilson  
(1869 – 1959)



# DETECTORES DE RADIACIÓN

## Cámara de Niebla

Si aplicamos campos magnéticos, podemos provocar trayectorias curvilíneas en las partículas cargadas y observarlas con la Cámara de Niebla



# DETECTORES DE RADIACIÓN

La mayoría de los detectores de radiación presentan un comportamiento similar:

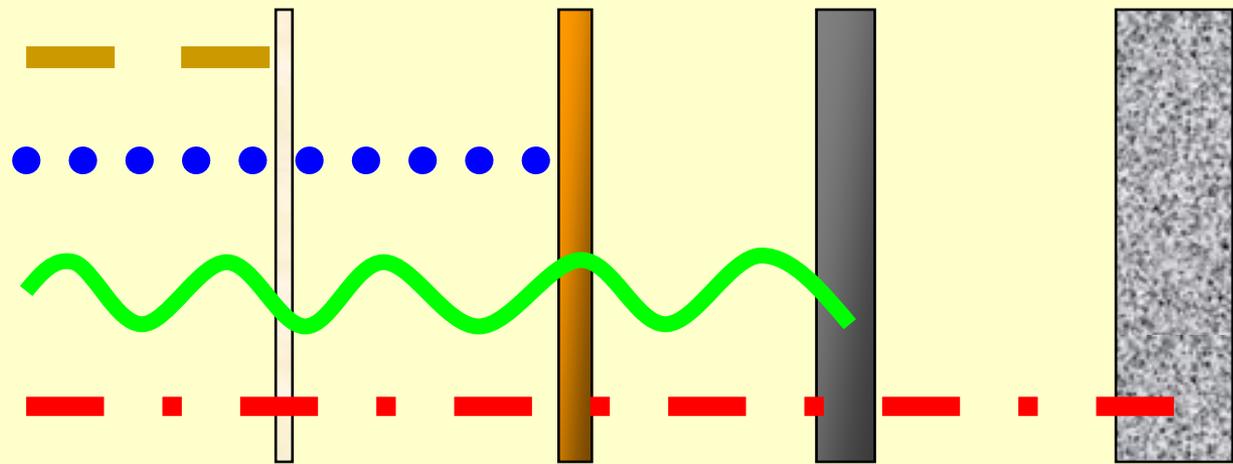
1. La radiación entra en el detector e interacciona con los átomos de éste.
2. Fruto de esta interacción, la radiación cede toda o parte de su energía a los electrones ligados de estos átomos.
3. Se libera un gran número de electrones de relativamente baja energía que son recogidos y analizados mediante un circuito electrónico.

# TIPOS DE DETECTORES

**EL TIPO DE MATERIAL del detector depende de la clase de radiación a estudiar:**

- Para detectar **partículas alfa** de desintegraciones radiactivas o partículas cargadas de reacciones nucleares a baja (MeV) energía, basta con detectores muy finos, dado que el recorrido máximo de estas partículas en la mayoría de los sólidos es típicamente inferior a las 100 micras.
- En el caso de los **electrones**, como los emitidos en las desintegraciones beta, se necesita un grosor para el detector de 0.1 a 1 mm.
- Sin embargo, para detectar **rayos gamma** puede que un grosor de 5 cm resulte aún insuficiente para convertir estos fotones tan energéticos (MeV o superior) en un pulso electrónico.

# INTRODUCCIÓN A LA INTERACCIÓN RADIACIÓN-MATERIA



ALFA  $\alpha$

BETA  $\beta$

# PARTÍCULAS CARGADAS PESADAS

Aunque la dispersión (o scattering) coulombiana de partículas cargadas por los núcleos (llamado scattering de Rutherford) es un proceso importante en física nuclear, tiene poca influencia en la pérdida de energía de las partículas cargadas a lo largo de su trayectoria dentro del detector. Debido a que los núcleos del material del detector ocupan solamente en torno a  $10^{-15}$  del volumen de sus átomos, es 1015 veces más probable para una partícula el colisionar con un electrón que con un núcleo. Por tanto, el mecanismo de pérdida de energía dominante para las partículas cargadas es el scattering coulombiano por los electrones atómicos del detector.

La conservación de la energía y el momento en una colisión frontal elástica entre una partícula pesada de masa  $M$  y un electrón de masa  $m$  (que supondremos por sencillez, en reposo) da una pérdida de energía cinética a la partícula de:

$$\Delta T = T \cdot \left( \frac{4m}{M} \right)$$

*Para una partícula alfa de 5 MeV (valor típico en las desintegraciones alfa), esta cantidad es de 2.7keV*

# PARTÍCULAS CARGADAS PESADAS

- 1** – Ocurrirán muchos miles de estos sucesos antes de que la partícula deposite toda su energía. (Una colisión frontal da el máximo de transferencia posible de una partículas incidente al electrón. En la mayoría de las colisiones esta pérdida de energía será mucho menor).
- 2** – En una colisión entre una partícula cargada y un electrón, la partícula cargada es desviada un ángulo despreciable, por lo que la partícula sigue una trayectoria prácticamente rectilínea.
- 3** – Debido a que la fuerza coulombiana tiene un alcance infinito, la partícula interacciona simultáneamente con muchos electrones y por tanto, pierde su energía de un modo gradual pero continuo a lo largo de su trayectoria.

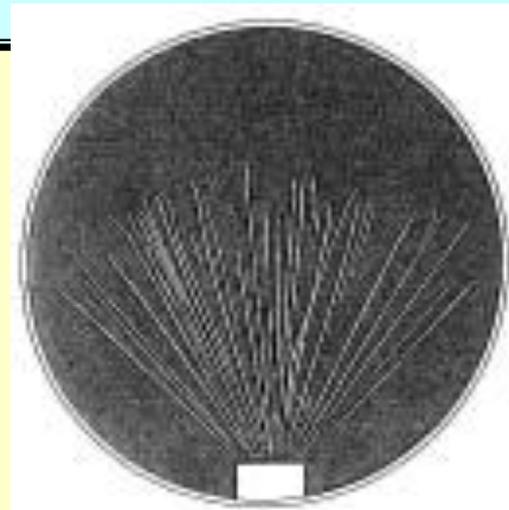
# PARTÍCULAS CARGADAS PESADAS

Después de viajar un cierta distancia, habrá perdido toda su energía; esta distancia se denomina el **alcance de la partícula**.

El alcance viene dado por el tipo de la partícula, su energía y el tipo de material en el que penetra. En la figura siguiente se muestran las trayectorias de partículas  $\alpha$  detectadas mediante una cámara de niebla.

Se puede apreciar que existe una distancia bien definida más allá de la cual no hay ya partículas. Normalmente se trabaja con un valor medio del alcance, definido de forma que la mitad de las partículas lo alcancen y la otra mitad no. Para partículas pesadas, la variación de los valores en torno al alcance medio es muy pequeño, por lo que éste se convierte en una cantidad útil y bien definida.

*Trayectorias de partículas  $\alpha$  de la desintegración del  $^{210}\text{Po}$  en una cámara de niebla.*

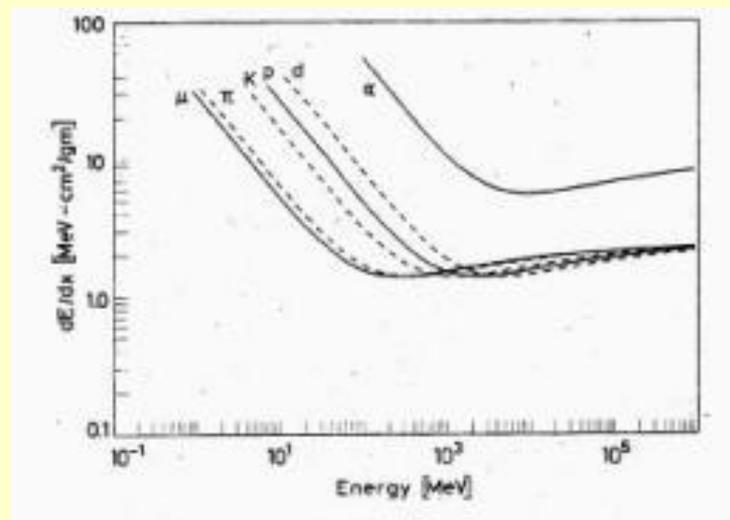


# PARTÍCULAS CARGADAS PESADAS

La relación teórica entre el alcance y la energía puede ser obtenida mediante el cálculo mecánico cuántico del proceso colisional. Este cálculo fue realizado por primera vez en 1930 por Hans Bethe. El resultado da la energía perdida por unidad de longitud (a veces llamado poder de frenado):

$$\frac{dE}{dx} = \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \cdot \frac{4\pi z^2 N_0 Z \rho}{mc^2 \beta^2 A} \cdot \left[ \text{Ln} \left( \frac{2mc^2 \beta^2}{I} \right) - \text{Ln}(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

*Poder de frenado para diferentes partículas pesadas en función de la energía.*



# PARTICULAS CARGADAS LIGERAS

Los electrones y los positrones interaccionan mediante scattering coulombiano con los electrones atómicos del mismo modo que las partículas pesadas cargadas. Hay, sin embargo, una serie de importantes diferencias:

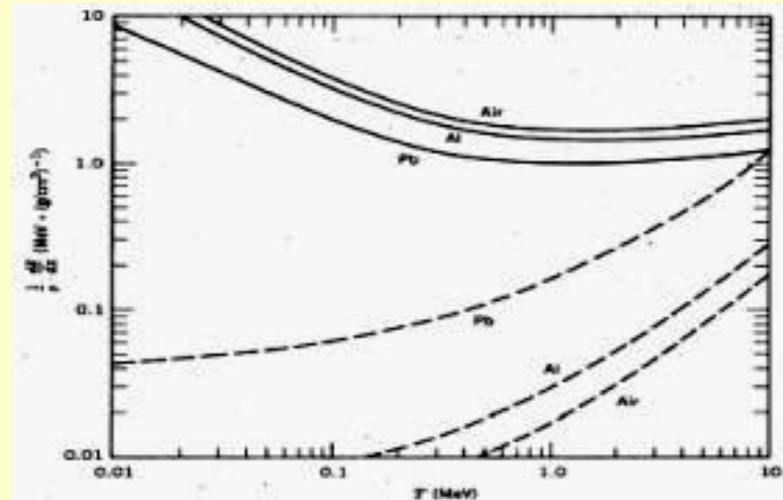
- 1** – Los electrones, particularmente aquellos emitidos en las desintegraciones  $\beta$  viajan con velocidades relativistas.
- 2** – Los electrones sufrirán grandes desviaciones en las colisiones con otros electrones, y por tanto, seguirán trayectorias **erráticas**. El alcance (definido como la distancia lineal de penetración en el material) será muy distinto de la longitud total de la trayectoria que el electrón siga.
- 3** – En las colisiones frontales con otro electrón, una gran fracción de la energía inicial puede ser transferida al electrón que recibe el impacto. De hecho, hay que tener en cuenta que en estos casos, no se puede distinguir en el estado final cual de los dos electrones era inicialmente el incidente y cual el blanco.
- 4** – Debido a que el electrón sufre rápidos cambios en la dirección y en la magnitud de su velocidad, está sometido a grandes aceleraciones. Como las partículas cargadas al ser aceleradas emiten radiación electromagnética, estos electrones emiten una radiación conocida como "**Bremsstrahlung**" (Expresión alemana que significa "radiación de frenado").

# PARTÍCULAS CARGADAS LIGERAS

La pérdida total de energía es la suma de dos contribuciones:

$$\frac{dE}{dx} = \left( \frac{dE}{dx} \right)_c + \left( \frac{dE}{dx} \right)_r$$

*Pérdida de energía para electrones: por colisiones (continuo) y radiación (discontinuo).*



# RADIACIÓN GAMMA

*-EFECTO FOTOELÉCTRICO*

*-DISPERSIÓN COMPTON*

*-PRODUCCIÓN DE PARES*

# RADIACIÓN GAMMA

## **EFECTO FOTOELÉCTRICO**

En el efecto fotoeléctrico un fotón es absorbido por un átomo y uno de los electrones atómicos (fotoelectrón) es liberado.

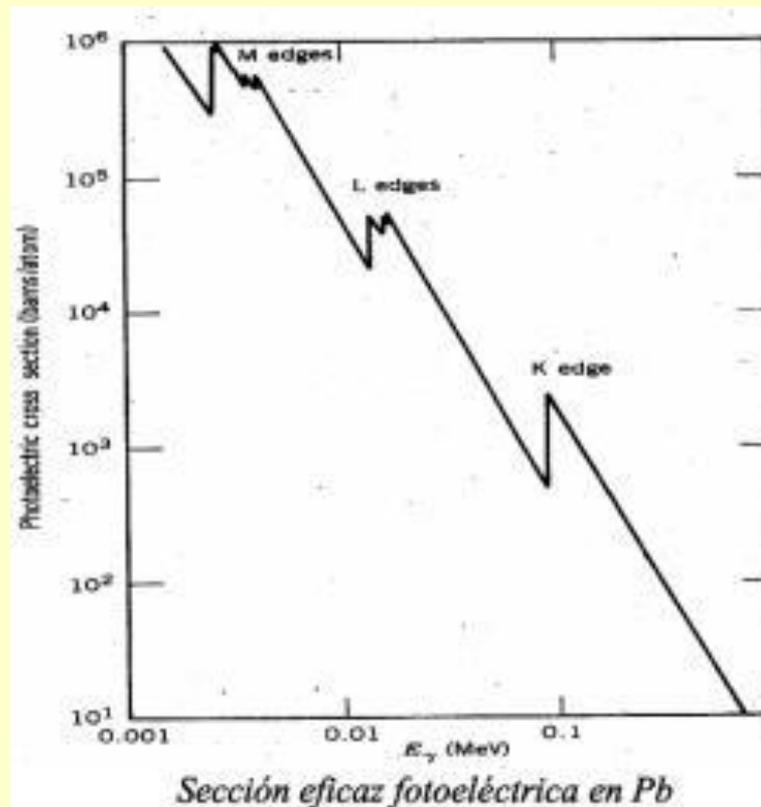
(Nota: Los electrones libres no pueden absorber fotones para cumplir simultáneamente con la conservación de la energía y el momento).

La energía cinética del electrón liberado es igual a la energía del fotón incidente menos la energía de enlace que tenía el fotoelectrón:

$$T_e = E_\gamma - B_e$$

# RADIACIÓN GAMMA

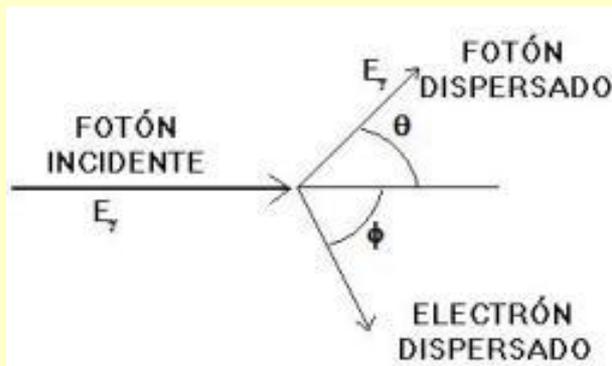
## EFFECTO FOTOELÉCTRICO



# RADIACIÓN GAMMA

## DISPERSIÓN COMPTON:

La dispersión (scattering) Compton es el proceso por el cual un fotón cambia de dirección y energía al interactuar con un electrón atómico casi libre que se lleva la energía del fotón



# RADIACIÓN GAMMA

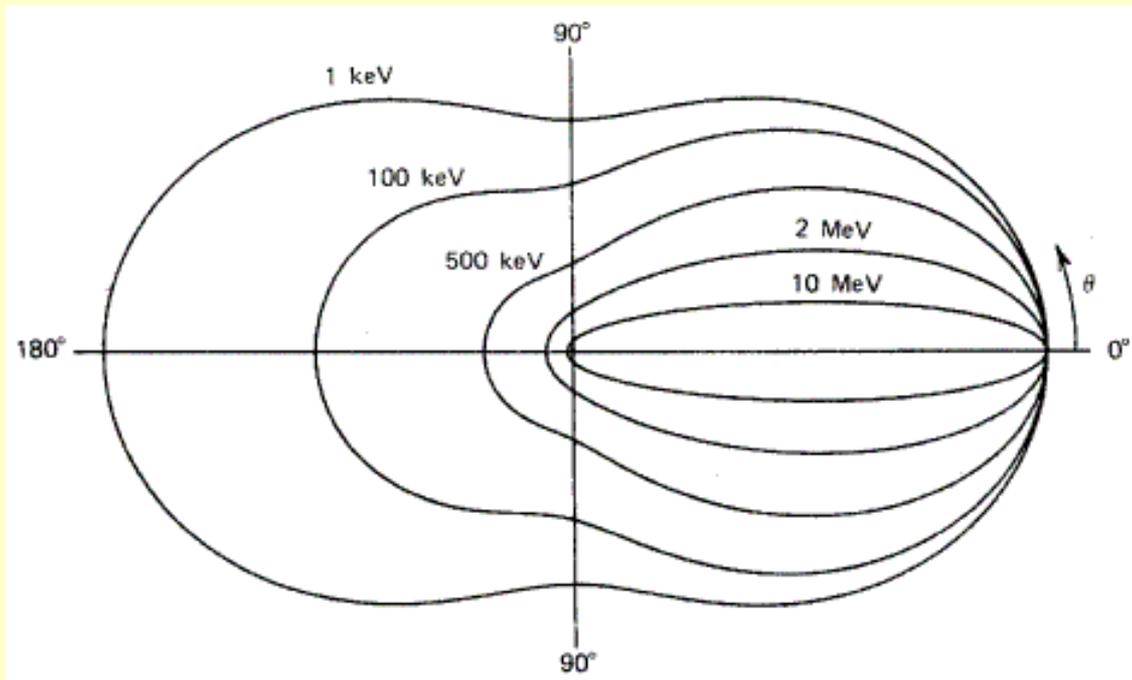
## DISPERSIÓN COMPTON:

Si consideramos al electrón como libre y en reposo (una buena aproximación dado que la energía del fotón es normalmente mucho mayor que las bajas energías de ligadura de los electrones de las capas externas), entonces la conservación del momento lineal y la energía (usando dinámica relativista) nos da:

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

Los fotones dispersados varían en su energía dependiendo del ángulo  $\Theta$  de dispersión desde el caso  $\Theta \sim 0$ ,  $E'_{\gamma} \gg E_{\gamma}$  hasta  $\Theta \sim \pi$ ,  $E'_{\gamma} \gg 1/2 \cdot mc^2 \gg 0.25 \text{ MeV}$ .

# RADIACIÓN GAMMA



*Sección Eficaz Diferencial Compton para distintas energías (usando un diagrama polar).*

# RADIACIÓN GAMMA

## PRODUCCIÓN DE PARES

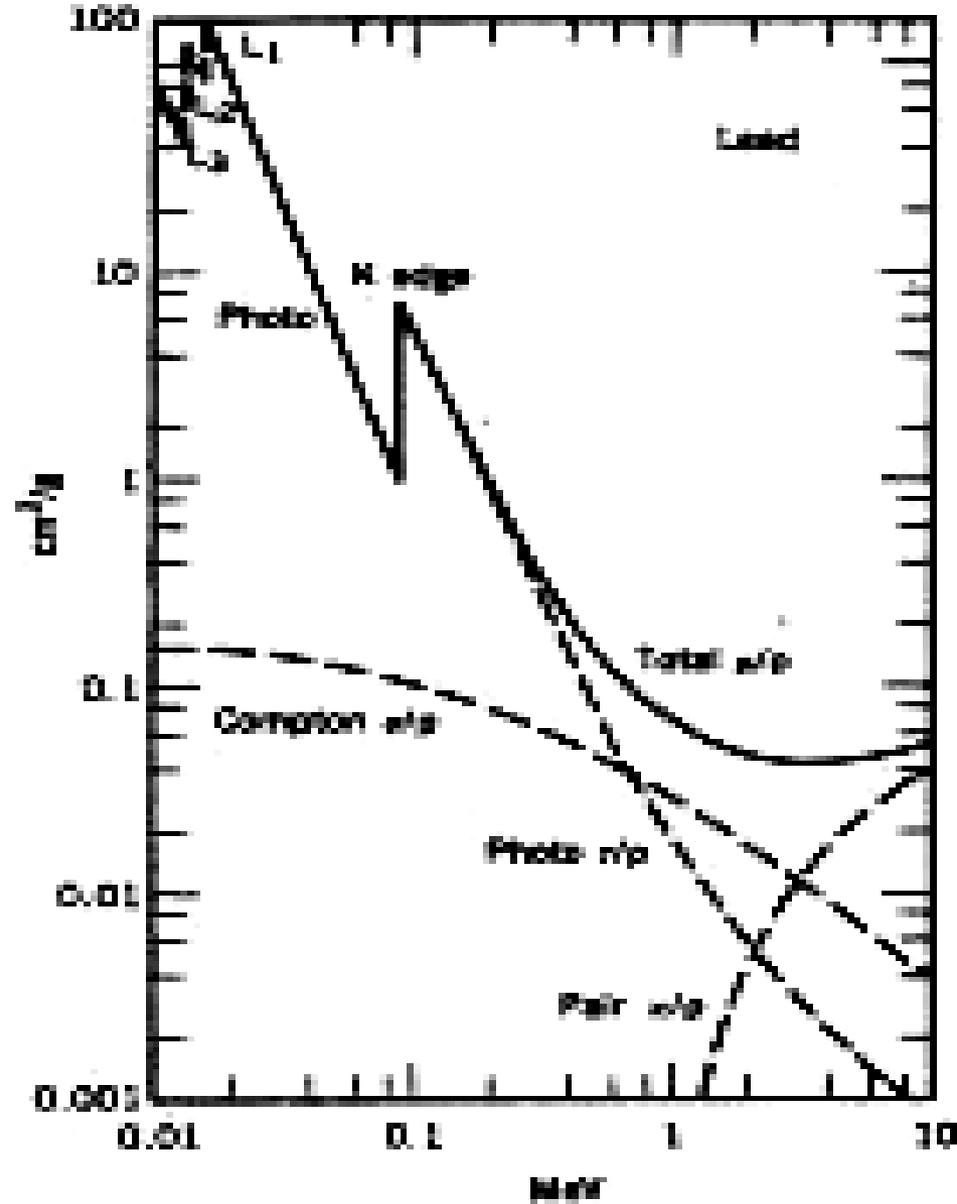
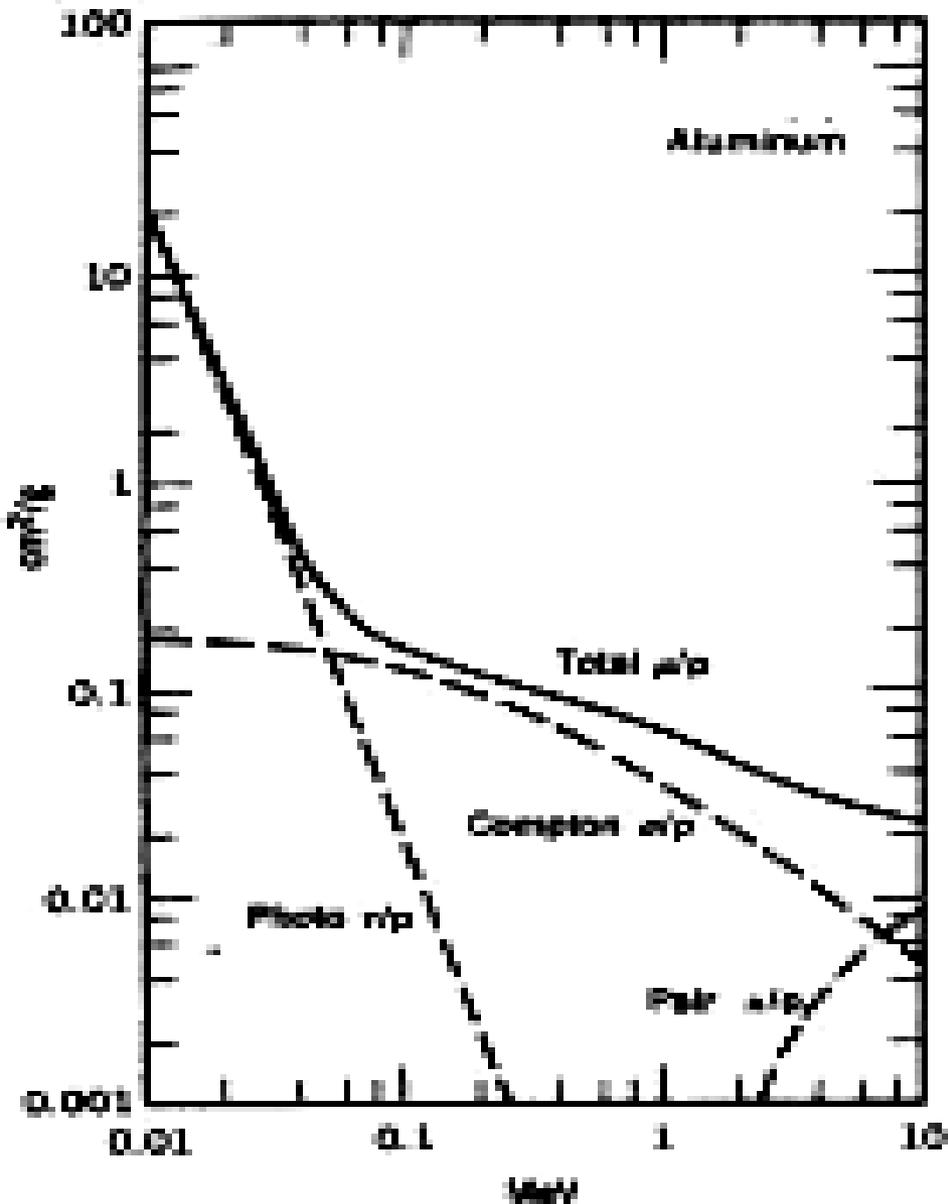
El tercer proceso de interacción de un fotón energético con la materia es el de producción de pares, en el que un fotón en presencia de un átomo puede desaparecer creando un par electrón-positrón:  $\gamma \rightarrow e^-e^+$ .

$$E_\gamma = T_{e^-} + m_{e^-}c^2 + T_{e^+} + m_{e^+}c^2$$

$$m_{e^-} = m_{e^+} \equiv m = 0,511 \text{ MeV}$$

Existe, por tanto, una energía umbral por debajo de la cual no puede darse este proceso:  $E_{\min} = 2mc^2 = 1,022\text{MeV}$ .

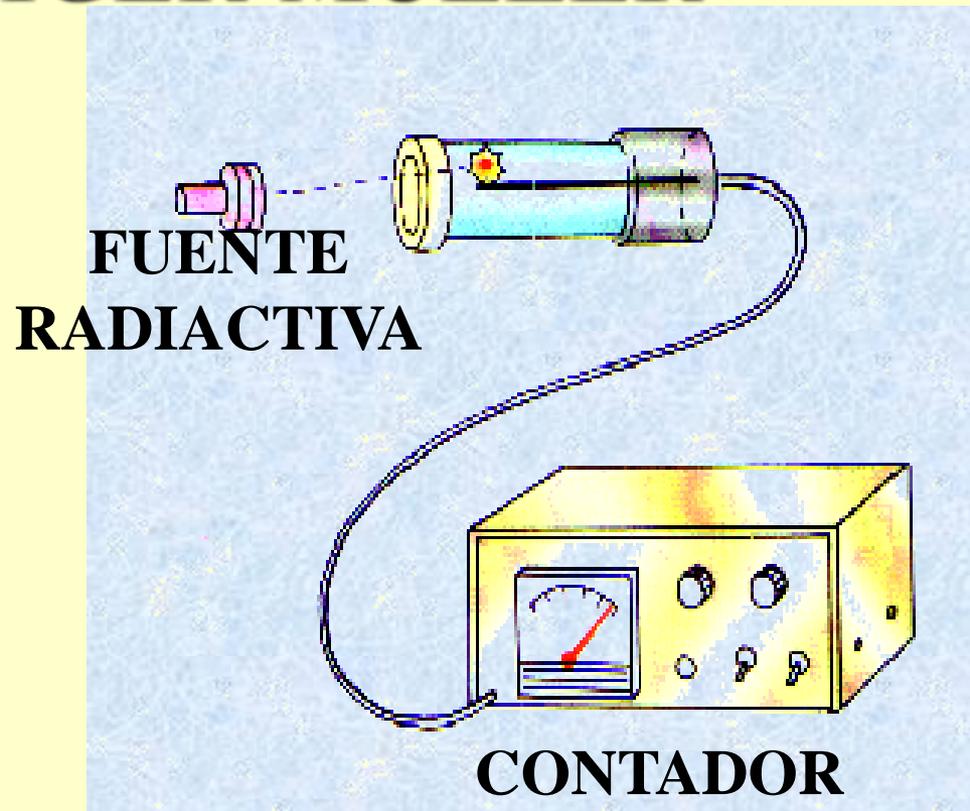
# RADIACIÓN GAMMA $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$



# DETECTORES DE RADIACIÓN

## TUBO GEIGER-MÜLLER

El tubo Geiger-Muller es un detector gaseoso en el cuál un par de electodos recogen pares electrón-ión producidos por la radiación ionizante en los átomos y moléculas del gas.



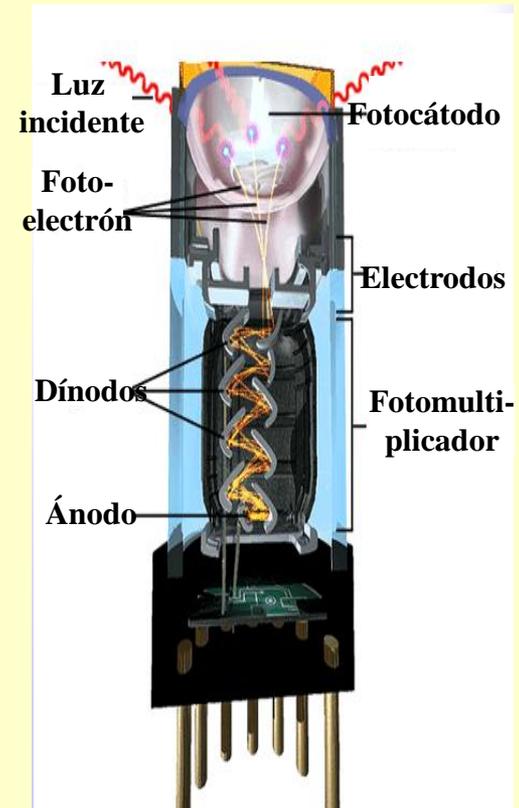
# DETECTORES DE RADIACIÓN

## CONTADOR DE CENTELLEO

El Contador de centelleo sirve para detectar rayos X y rayos  $\gamma$ .

Un fotón incide sobre un cristal centelleador cediendo total o parcialmente su energía, la cuál es reemitida en forma de luz visible.

Ésta luz es transformada en corriente eléctrica, la cuál medimos fácilmente.



# NOTAS IMPORTANTES:

- Hay que saber distinguir entre los espectros emitidos (teóricos) y los espectros medidos (dependen del detector empleado).
- En las prácticas de alfa, gamma y coincidencias es necesario calibrar los detectores. Éstos reciben pulsos electrónicos que serán en general proporcionales (más o menos) a la energía que ha dejado la partícula en el detector. Estos pulsos se ordenan en una serie de canales. Hay que determinar la relación canal-energía haciendo uso de fuentes conocidas.
- Aunque las fuentes son de baja actividad, hay que minimizar lo máximo posible la exposición a las fuentes.

# CONSULTAS Y DUDAS:

- Se recomienda visitar la pagina web:  
<http://nuclear.fis.ucm.es>
- Para consultar dudas se puede enviar un email a: [laboratorio@nuclear.fis.ucm.es](mailto:laboratorio@nuclear.fis.ucm.es)