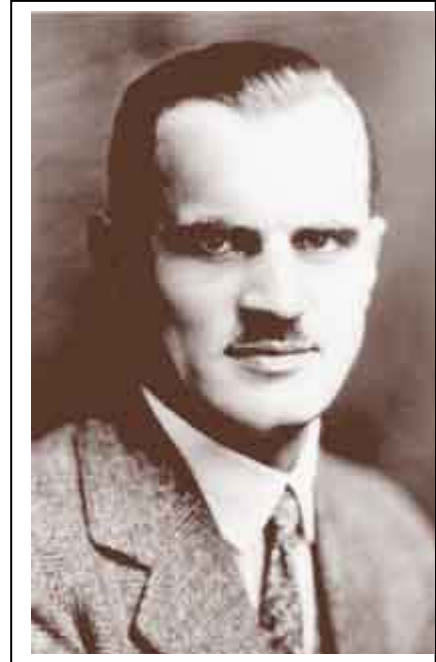


NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA RADIACION

1. RADIACION DEL CUERPO NEGRO.
2. ELECTRONES Y EFECTO FOTOLECTRICO
3. RAYOS X y EFECTO COMPTON
4. CREACION DE PARES

Compton, Arthur Holly

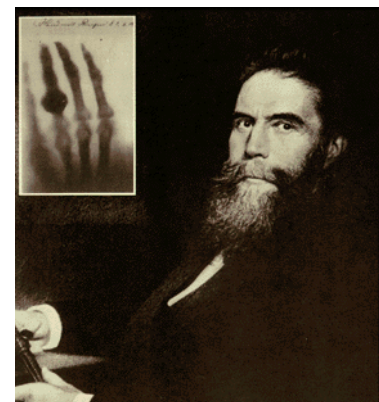
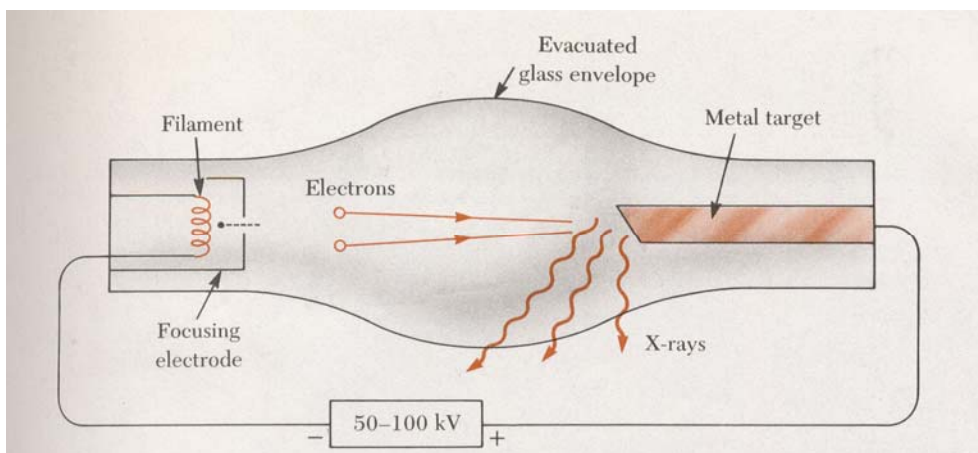
(Wooster, EE UU, 1892-Berkeley, id., 1962) Físico estadounidense. En 1916 se doctoró por la Universidad de Princeton. De 1923 a 1945 fue profesor de física en las universidades de Minnesota, Saint Louis y Chicago. Compton es recordado principalmente por el descubrimiento y explicación en 1923 del efecto que lleva su nombre, el efecto Compton, que le valió el Premio Nobel de Física, juntamente con C. Th. R. Wilson, en 1927. Compton explicó que el cambio que se producía en la longitud de onda de los rayos X tras colisionar con electrones se debía a la transferencia de energía desde el fotón al electrón; este descubrimiento confirmó la naturaleza dual (onda-partícula) de la radiación electromagnética. También es notable su trabajo sobre los rayos cósmicos al confirmar la variación de su distribución en función de la latitud.



3. RAYOS X y EFECTO COMPTON

RAYOS X o RAYOS ROËNTGEN

Wilhem Roentgen (1845-1923) observó que una radiación altamente energética de naturaleza desconocida se producía cuando “Electrones rápidos incidían sobre una placa metálica. Radiación que fue llamada “Rayos X”.



Los RX son producidos por bombardeo de un metal Cu, con electrones de 50 KeV de energía cinética

Propiedades observadas a los Rayos X.

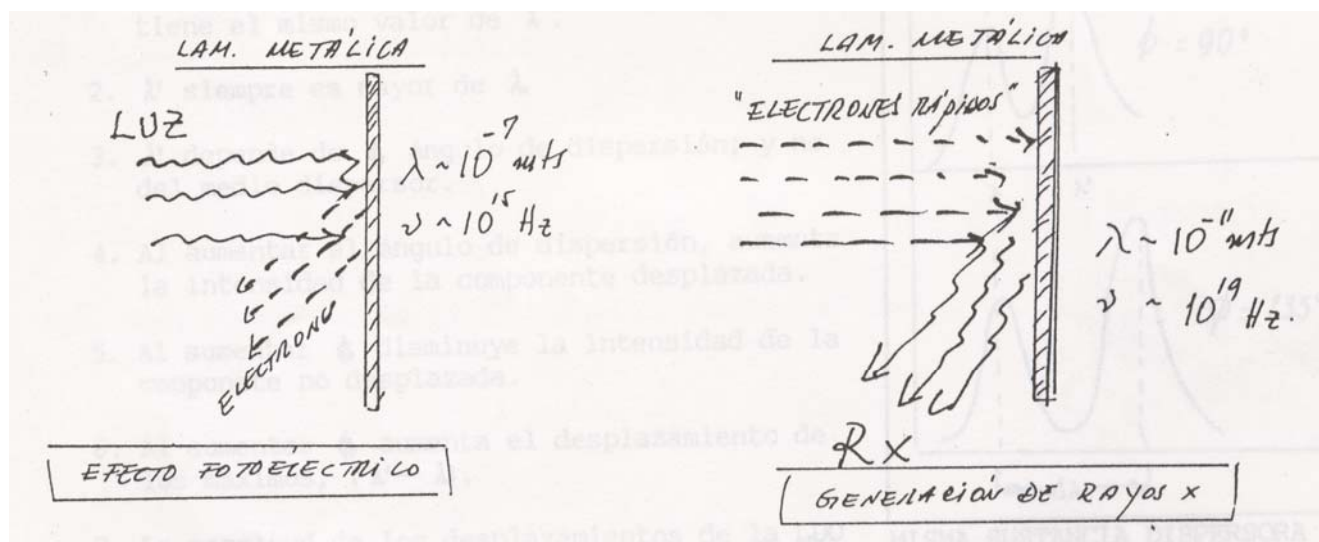
1. Se propagaban en línea recta, aún en presencia de 1CE x 1CM.
2. Atravesaban fácilmente sustancias opacas.
3. Hacían relucir sustancias fotográficas.
4. Impresionaban placas fotográficas.
5. Mientras mayor era la velocidad de los "e" los RX eran más penetrantes \Rightarrow RX tenían mayor energía.
6. Mientras mayor era el N° de "e", mayor era la intensidad de los RX.

Sólo se pudo saber de su naturaleza, una vez que Einstein, formulara su teoría del efecto fotoeléctrico.

Los RX eran ondas electromagnéticas

1906 : Barkla estableció experimentalmente la naturaleza ondulatoria de los RX.

1912 : Max Von Laue midió los LDO de los RX.

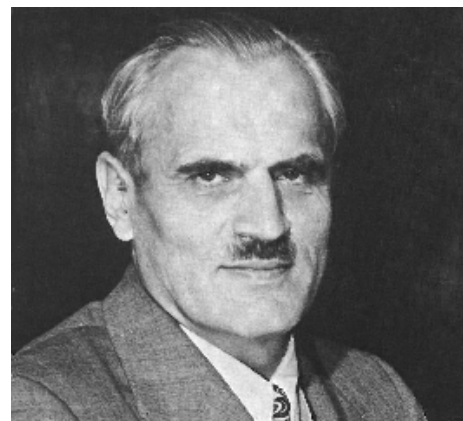


EFECTO COMPTON (1923)

Una prueba adicional sobre la validez del concepto de **fotón** la proporcionó Arthur H. Compton, que midió la **dispersión** de los Rayos X por electrones libres. De acuerdo a la Teoría Clásica, cuando una Onda Electromagnética de frecuencia ν , incide sobre un material que contiene cargas, éstas oscilarán con dicha frecuencia y volverán a emitir OEM de la misma frecuencia.

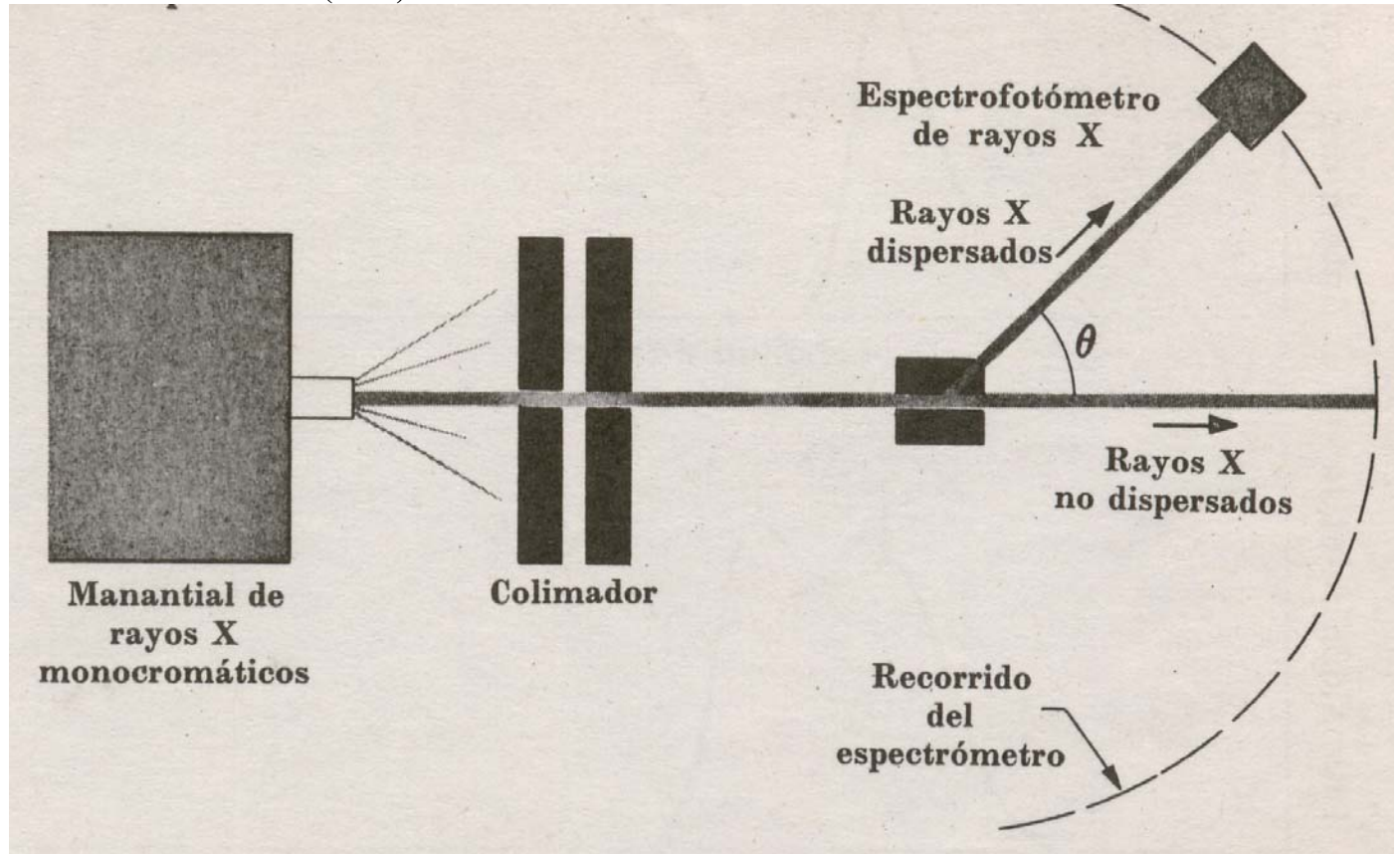
Los primeros experimentos mostraron que cuando los RX eran dispersados por la lámina metálica, los RX secundarios implicados en el experimento eran menos penetrantes que los RX primarios.

Al principio se pensó que estos RX secundarios eran radiación fluorescente, característica del elemento radiante. Radiación fluorescente se dice de las radiaciones emitidas por sustancias que transforman la LUZ que reciben en radiación luminosa de mayor LDO.



Arthur H. Compton

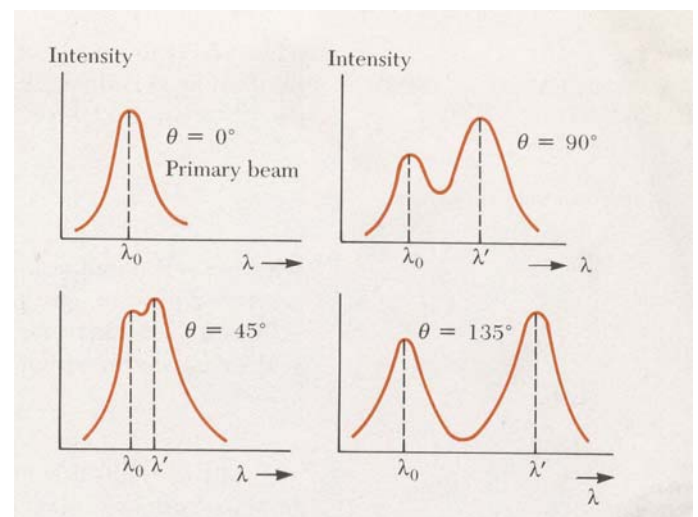
EFECTO COMPTON (1923)

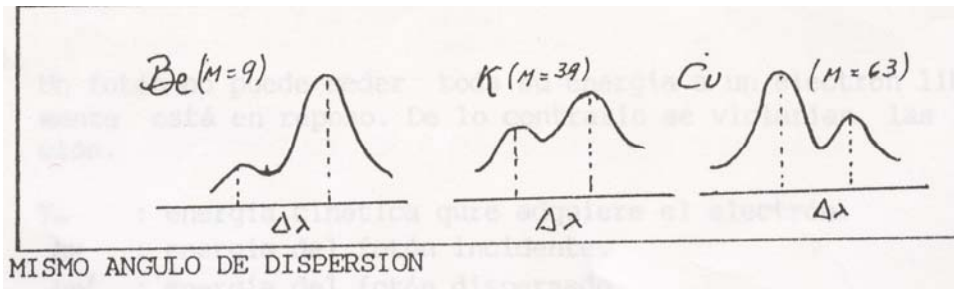


Aunque la fluorescencia es característica de los elementos más pesados, experimentos posteriores demostraron una diferencia entre la penetración de los RX secundarios de los elementos más ligeros, tales como el carbón (que no tiene fluorescencia observable).

Una cuidadosa evidencia experimental, determinó las siguientes propiedades de los RX dispersados:

1. La REM dispersada consiste en dos LDO, la original λ y una LDO adicional λ' , que casi tiene el mismo valor de λ .
 λ' siempre es mayor de λ .
3. λ' depende de ϕ , ángulo de dispersión; y no del medio dispersor.
4. Al aumentar el ángulo de dispersión, aumenta la intensidad de la componente desplazada.
5. Al aumentar ϕ disminuye la intensidad de la componente no desplazada.
6. Al aumentar ϕ aumenta el desplazamiento de los máximos, $(\lambda' - \lambda)$
7. La magnitud de los desplazamientos de la LDO $(\lambda' - \lambda)$ es independiente de la naturaleza dispersora.



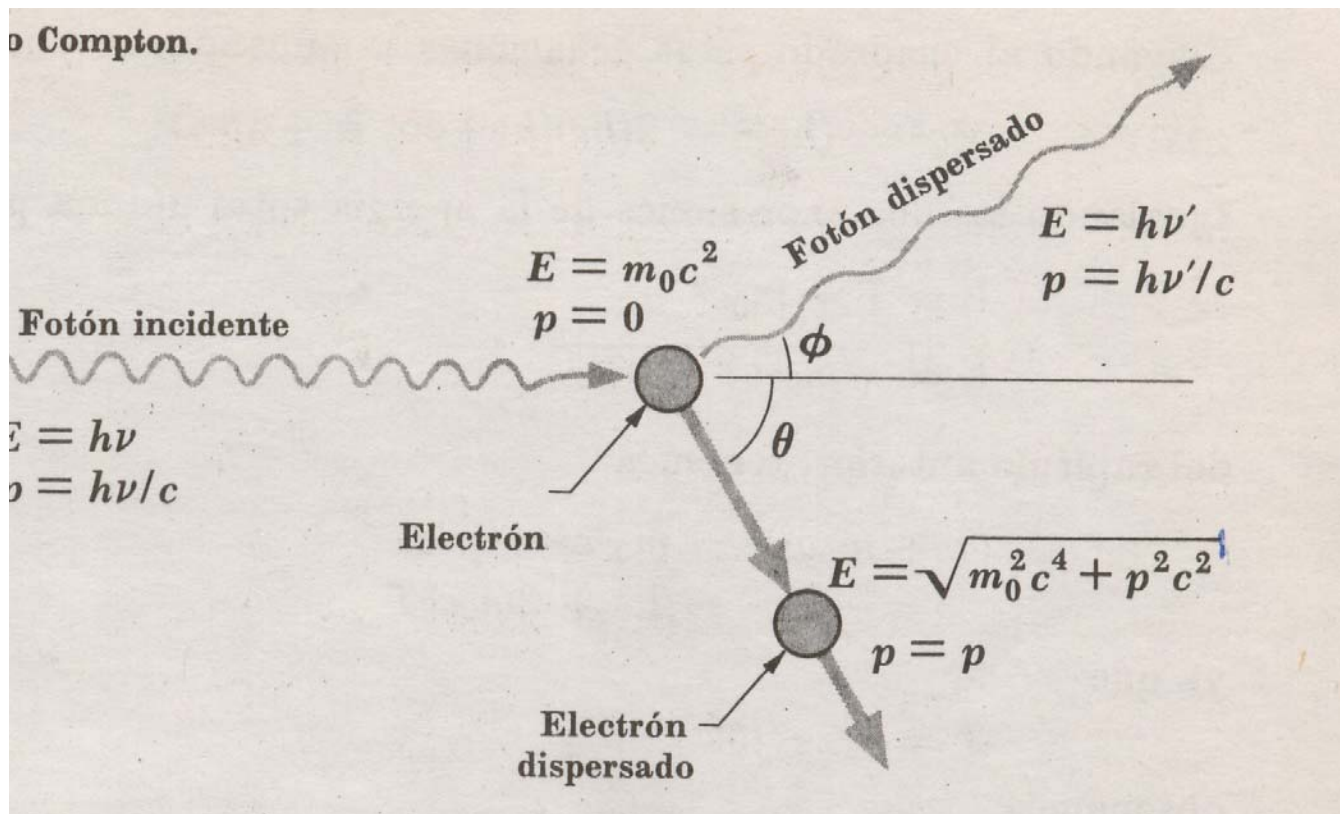


Los mecanismos de la dispersión de Compton, no guardan relación con las propiedades individuales de los átomos.

En los elementos ligeros, el número de electrones que intervienen en el Efecto Compton es mayor que el número relativo de electrones que intervienen en elementos pesados, ya que en el primer caso la energía de ligazón de los electrones es menor.

El Efecto Compton, se puede explicar suponiendo que se realiza a costo de los electrones que están tan débilmente ligados a los átomos; que esta ligadura puede despreciarse.

EL MODELO COMPTON PARA EFECTO COMPTON se puede analizar cuantitativamente y en perfecto acuerdo con los resultados experimentales, aceptando que:





1. Los RX un flujo de fotones que tienen una energía, $E = h\nu$ y un momentum lineal, $\vec{p} = \hat{x} \frac{h\nu}{c}$
2. Estas partículas colisionan elásticamente con los electrones libres (débilmente ligados).
3. Al interactuar el fotón incidente con el electrón libre sufre una dispersión, ϕ

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA:

$$h\nu + mc^2 = h\nu' + \sqrt{m^2c^4 + c^2\vec{p}_a^2}$$

CONSERVACIÓN DEL MOMENTUM LINEAL:

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e$$

recordemos que: $|\vec{p}| = p = \frac{h\nu}{c}$ $|\vec{p}'| = p' = \frac{h\nu'}{c}$ y $\vec{p} \cdot \vec{p}' = pp' \cos \phi$

combinando adecuadamente las ecuaciones anteriores obtenemos:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \phi)$$

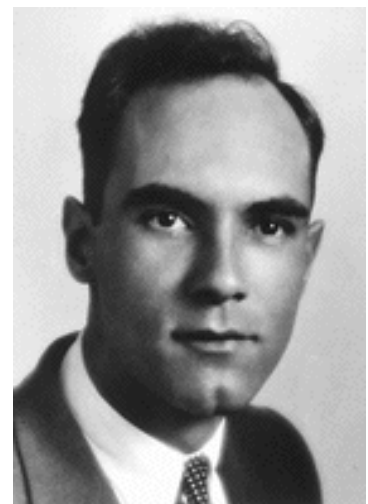
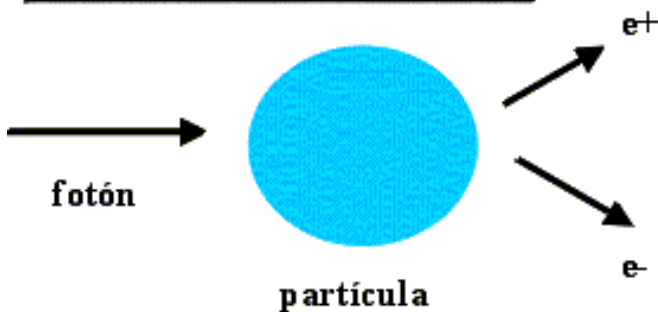
$\frac{h}{mc}$: longitud de onda Compton de la partícula dispersora.

NOTA: Un fotón no puede ceder toda su energía a un electrón libre, que inicialmente está en reposo. De lo contrario se violarían las leyes de conservación.

- T** : energía cinética que adquiere el electrón.
- $h\nu$** : energía del fotón incidente.
- $h\nu'$** : energía del fotón dispersado.

4. CREACION DE PARES

El proceso de creación de pares



CREACIÓN DE PARES: Anderson (1932)

Las primeras evidencias sobre el proceso “Creación de pares” y de la existencia del positrón las obtuvo Anderson, mientras investigaba la Radiación Cósmica.

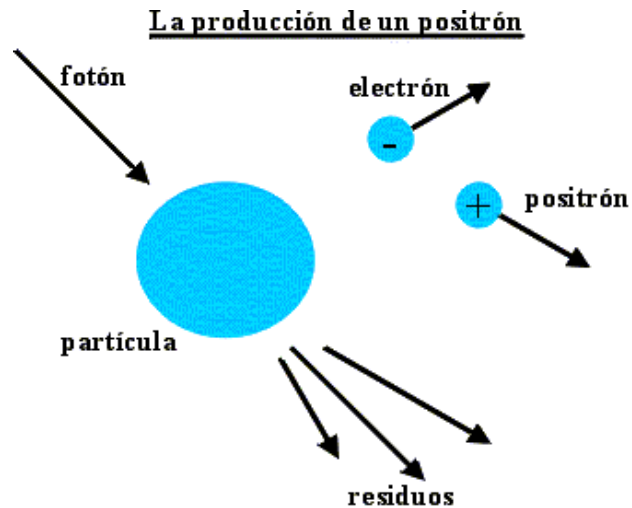
Si por las cercanías de un núcleo pesado pasa un fotón γ , el fotón desaparece, con la subsecuente aparición de un par de electrones, es decir, un electrón ordinario y un positrón.

El positrón es la antipartícula del electrón.

$$m(e^+) = m(e^-) = 9,1 \cdot 10^{-31}(\text{kg}).$$

$$q(e^-) = -1,602 \cdot 10^{-19}(\text{Coul})$$

$$q(e^+) = +1,602 \cdot 10^{-19}(\text{Coul})$$



ANILACIÓN DE MATERIA

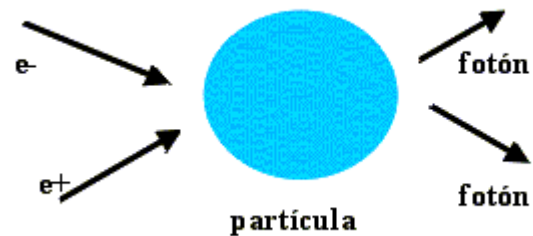
Una partícula en contacto con su antipartícula, de inmediato se aniquilarán, es decir, desaparecen y aparecen fotones. Su energía de reposo se transforma en energía pura de movimiento.

En la interacción debe conservarse:

❖ La energía del sistema. $\sum E_i = \text{Cte.}$

❖ El momentum lineal del sistema.

La aniquilación de un par electrón-positrón



$$\sum \vec{p}_i = \text{Cte}$$

INTERACCIÓN DE LAS OEM CON LA MATERIA

FOTON \Leftrightarrow ELECTRON

1. ABSORCIÓN FOTOELECTRICA

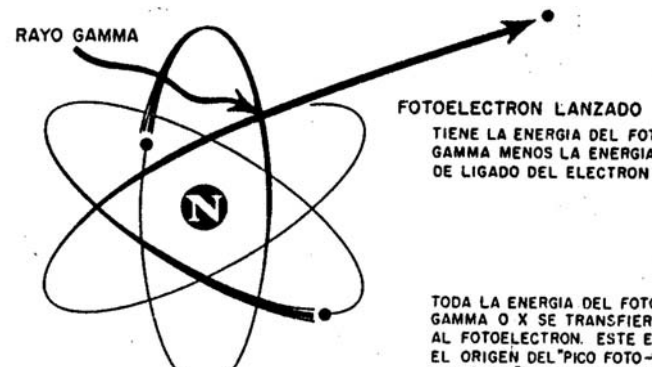
(Einstein: 1905)

FOTON \Leftrightarrow e_{ligado}

OEM = LUZ \rightarrow $\nu \sim 10^{15}$ (Hz)

El fotón es absorbido por el electrón.

El electrón queda libre.



2. DISPERSIÓN DE COMPTON

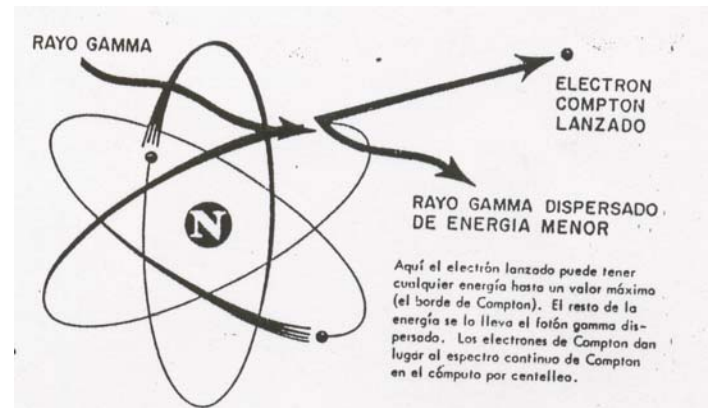
(Compton: 1923)

FOTON \Leftrightarrow e_{libre}

OEM = RX \rightarrow $\nu \sim 10^{19}$ (Hz)

❖ Fotón dispersado.

❖ Electrón en movimiento.



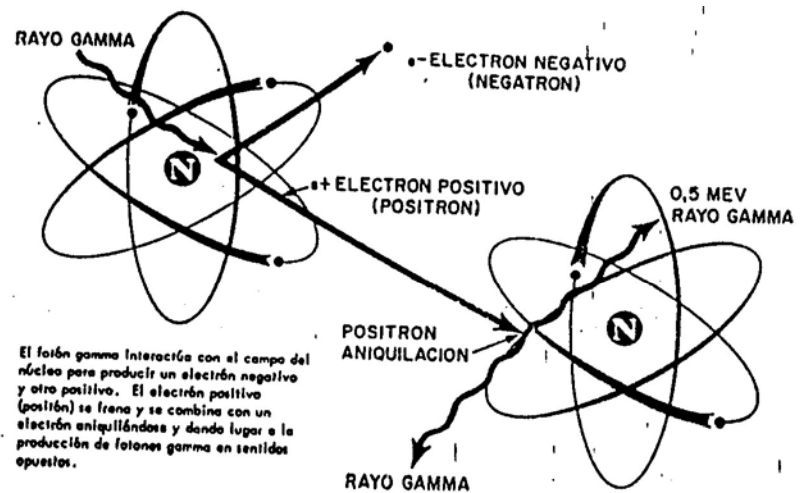
3. CREACIÓN DE PARES

FOTON \Leftrightarrow e_{libre}

OEM = $R \gamma \rightarrow \nu \geq 10^{22}$ (Hz)

❖ Fotón absorbido en la interacción.

❖ Aparece el par (e^+, e^-)



En estos tres fenómenos la REM tiene naturaleza corpuscular.

EN LOS FENOMENOS

❖ DIFRACCIÓN

❖ INTERFERENCIA

La OEM manifiestan un comportamiento típico de las ondas. Por lo tanto diremos que:

LA LUZ (y en general las OEM) tiene un comportamiento dual.



PROBLEMAS: RAYOS X Y EFECTO COMPTON

Problema N°23

A partir de los postulados de Compton:

1. Demuestre la relación de dispersión para un fotón que interactúa con un electrón:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \phi)$$

2. ¿A qué se le llama Longitud de Onda Compton?

Problema N°24

Un fotón de 10^4 [eV] interactúa con un electrón libre y en reposo, dispersándose en un ángulo de 60° .

DETERMINE:

1. La variación de longitud de onda del fotón.
2. La variación de frecuencia del fotón.
3. La variación de energía del fotón.
4. La energía cinética que adquiere el electrón.
5. El momentum lineal \vec{p}_a , que adquiere el electrón.

Problema N°25

Hallar la energía y la longitud de onda de un fotón, que puede imprimirle a un electrón libre y en reposo un máximo de 60 [KeV] de energía.

Problema N°26

Un haz de Rayos X de LDO, $\lambda = 0,612 \text{ \AA}$, experimentan un **scattering de Compton** bajo un ángulo de 40° con respecto de la dirección de incidencia.

1. ¿Qué longitudes de onda espera encontrar, al analizar la radiación dispersada?
2. ¿Cuánta energía cinética adquieren los electrones de retroceso?
3. ¿En qué dirección se mueven los electrones?

Problema N°27

A partir de Principios de conservación, demuestre que la frecuencia del fotón dispersado y la frecuencia del fotón incidente (en el modelo de Compton), Satisfacen la relación:

$$v' = \frac{v}{1 + \frac{hv}{mc^2} (1 - \cos \phi)}$$

Problema N°28

Determine la longitud de onda del fotón incidente, que es capaz de imprimir a un electrón (libre e inicialmente en reposo), una energía cinética, $T_{\text{máx}}$, igual al doble de su energía en reposo.



Problema N°29

Un fotón de energía, $h\nu$, incide sobre un electrón libre de masa en reposo, m , el cual se encuentra inicialmente en reposo.

1. Demuestre que la energía cinética que adquiere el electrón, debido a la interacción con el fotón satisface la relación:

$$T = \frac{h^2 v^2 (1 - \cos \phi)}{mc^2 + h\nu(1 - \cos \phi)} = \frac{2 \frac{h\nu}{mc^2} h\nu}{\operatorname{cosec}^2(\phi/2) + 2 \frac{h\nu}{mc^2}} = \frac{2\alpha h\nu}{\operatorname{cosec}^2(\phi/2) + 2\alpha}$$

(ϕ : ángulo que forma el fotón dispersado con la dirección de incidencia).

(θ : ángulo que forma la dirección del movimiento del electrón en retroceso, con dirección de incidencia).

2. Demuestre que la energía del fotón incidente, en función de la energía cinética que adquiere el electrón, satisface la relación:

$$h\nu = \frac{1}{2} \left[T + \sqrt{T^2 + \frac{4Tmc^2}{1 - \cos \phi}} \right] \quad \text{donde} \quad \alpha = \frac{h\nu}{mc^2}$$

3. Demuestre que el ángulo de retroceso de electrón satisface la relación:

$$\cot g\theta = \left(1 + \frac{h\nu}{mc^2}\right) \operatorname{tg}(\phi/2) = (1 + \alpha) \operatorname{tg}(\phi/2)$$

4. Demuestre que la energía cinética de electrón, en función del ángulo que la dirección de su movimiento, forma con la dirección de incidencia, viene dada por:

$$T = h\nu \frac{2\alpha \cos^2 \theta}{(1 + \alpha)^2 - \alpha^2 \cos^2 \theta} \quad \text{y} \quad T_{\max} = \frac{2h^2 v^2}{mc^2 + 2h\nu}$$

Problema N°30

En un dispositivo experimental, el fotón dispersado y el electrón de retroceso son recibidos por detectores, que están ubicados simétricamente con respecto a la dirección del fotón incidente. Si la energía del fotón incidente es $E = 10[\text{MeV}]$. DETERMINE:

1. El desplazamiento angular de los detectores, θ
2. La energía del fotón dispersado, E' .
3. La energía del electrón de retroceso, E .

Problema 31

En un experimento de dispersión de Compton, el electrón que adquiere la energía cinética máxima, penetra en una cámara de niebla donde existe un Campo Magnético de $0,150 [\text{Wb/m}^2]$

La trayectoria de electrón en un círculo de radio $2 [\text{cm}]$. DETERMINE:

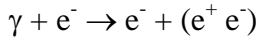
1. La energía del electrón.
2. La energía del fotón incidente.



CREACIÓN DE PARES – ANIQUILACIÓN

Problema N°32

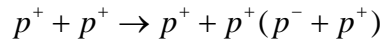
Un fotón gamma generalmente crea un par (electrón – positrón) en las vecindades de un núcleo atómico; pero también puede producir un par, en la interacción con un electrón libre y en reposo:



Determine para este último caso “ la energía umbral de la creación.”

Problema N°33

El Bevatrón de Berkeley fue diseñado para producir protones negativos, mediante el bombardeo de gas hidrógeno con protones. Una reacción posible Es:



Como consecuencia de esta reacción tenemos “la creación de un (protón-antiprotón)”.

Determine la energía característica del Bevatrón para esta creación.

(Energía cinética mínima que deberá entregarle a los protones incidentes para producir esta creación.

Dé su resultado en función de $E_0(p)$.

Problema N°34

Un electrón que se mueve a una velocidad $\hat{x} \frac{2}{5} \sqrt{6}c$ se aniquila con un positrón en reposo.

Observándose en la aniquilación dos fotones resultantes que forman ángulos de dispersión iguales.

DETERMINE

1. La energía de cada fotón.
2. El ángulo de dispersión.

Problema N°35

Un positrón choca de frente a un electrón y ambos se aniquilan. si cada partícula tiene una energía cinética de 1 [MeV].

1. Determine la longitud de onda de los fotones resultantes.

Problema N°36

Un electrón con una velocidad de $0,8c$ se aniquila con un positrón en reposo, produciendo dos fotones; uno de los cuales viaja en la misma dirección y sentido del electrón incidente.

1. Determine la energía en cada fotón.
 $E_0(e) = 0,511$ [MeV].

Problema N°37

Un electrón y un positrón, que viajan juntos, se aniquilan; observándose dos fotones resultantes. Determine la energía y momentum lineal (módulo y dirección) de cada uno si:

1. Uno de los fotones se mueve en la misma dirección y sentido de las partículas iniciales.
2. Uno de los fotones se mueve perpendicularmente a la dirección del movimiento inicial.