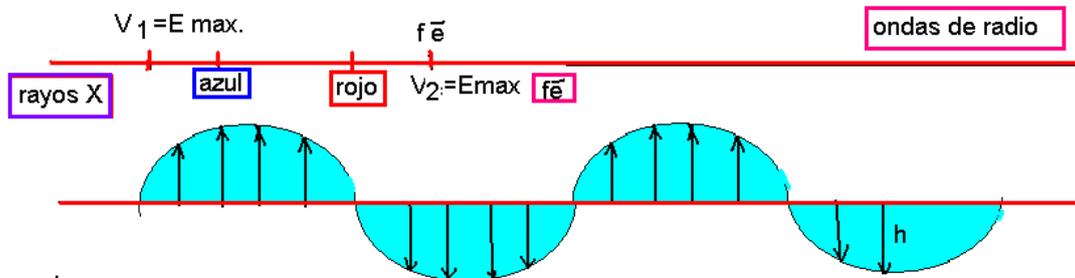




Tema: Efecto fotoeléctrico –Efecto Compton-longitud de ondas de De Broglie

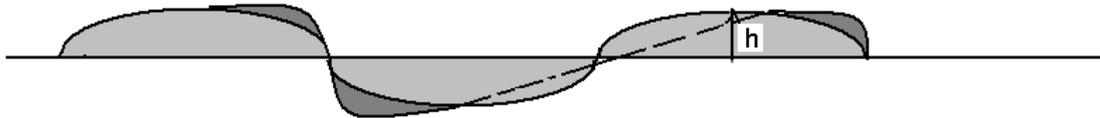
ONDA ELECTROMAGNÉTICA: Es una variación en el tiempo de un campo eléctrico

Una onda al oscilar genera un campo magnético.



La perturbación electromagnética se propaga a la velocidad de la luz c .

ADEMAS : $c = \lambda \times f$



La ondas que se generan por la vibración de ambos planos son perpendiculares entre si. La energía que transmite una onda electromagnética en el espacio esta dada por el modelo matemático obtenido por Víctor Poyting.

$$S = \frac{1}{\mu_0} E \times B, \text{ donde } \mu_0 : \text{ permisividad del medio de propagación.}$$

E: Intensidad del campo magnético generado por la oscilación o perturbación electromagnética.

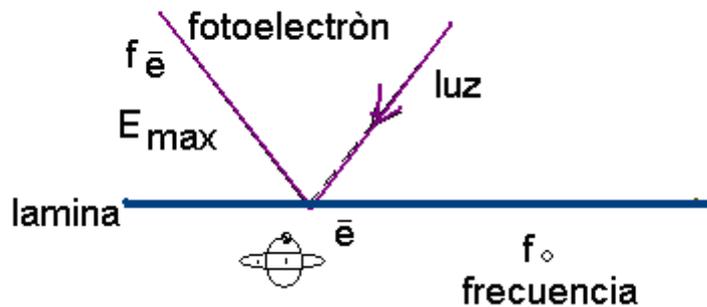
B: inducción magnética.

Una onda electromagnética es capaz de transmitir momentum lineal (P) cuando impacta una superficie.

$$P = \frac{U}{c}, \text{ cuando la superficie es totalmente absorbente.}$$

$$P = \frac{2U}{c}, \text{ cuando es refractante. } U: \text{ energía de la onda}$$

ANÁLISIS DEL FENÓMENO FOTOELÉCTRICO.



f_0 : frecuencia de corte.

W : Energía que necesita el electrón para desprenderse y convertirse en fotoelectrón.

E_{max} : Energía máxima del fotoelectrón f_e y es proporcional a la frecuencia de corte f_0 , e inversamente proporcional a la longitud de onda.

El trabajo W depende de las características del material, es la energía mínima que hay que entregarle a un electrón para que escape y se transforme en fotoelectrón.

Al irradiar una lámina con luz de diversa frecuencias se produce un escape del fotoelectrón, lo que produce corriente eléctrica.

Si se ilumina con luz roja, el fenómeno fotoeléctrico no se produce, independientemente de la intensidad de corte (frecuencia de corte) a partir de la cual se produce el fenómeno.

En cambio con luz azul el fenómeno fotoeléctrico tiene lugar aun para pequeñas intensidades.

Para frenar los electrones se aplica una diferencia de potencial V en que:

$$E(\text{eV}) = \frac{1}{2} m_e v^2$$

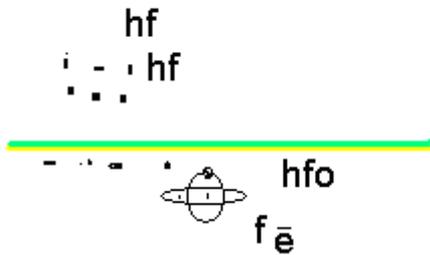
Einstein sostiene que la luz esta compuesta por “cuantos”, corpúsculos, que son paquetes de energía que están asociados a la relación $E=hf$, donde h es la constante de Planck

$E=hf_0$ corresponde a la energía que requiere el electrón para escapar si se le entrega hf

$$E_{max} = hf - hf_0 = \frac{1}{2} m_e v^2$$

Donde hf corresponde a la energía que entrega el fotón y es constante para una específica longitud de onda o frecuencia.

Si aumenta el haz de fotones que incide en la lámina, la corriente será mayor porque el número de electrones que incide sobre la superficie y en consecuencia es mayor el número de fotoelectrones liberados.



hfo es la energía que requiere el e (electrón) para escapar y la energía de cada uno de los fotoelectrones liberados es la misma

$$E = hf - hfo, \text{ es decir: } \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = hf - W_{\min} \text{ que corresponde a la ecuación de A.}$$

Einstein del efecto fotoeléctrico

La energía del electrón emitido se puede calcular determinando la diferencia de potencial V que se necesita aplicar para determinar el movimiento, entonces:

$$hf - W_{\min} = V_s e, \text{ donde } V_s \text{ es el potencial del frenado.}$$

Para cualquier superficie, la longitud de onda de la luz debe ser lo suficientemente pequeña para que la energía del fotón hf sea lo suficientemente grande para desprender el electrón. En la longitud de onda umbral (o frecuencia), la energía del fotón es casi igual a la función del trabajo. Para un metal ordinario la longitud de onda cae en el rango del visible o del ultravioleta. Los rayos X desprenden fotoelectrones; los fotones del infrarrojo o caloríficos nunca desprenderán electrones.

En consecuencia: Si $hf < hfo$, el electrón no escapa y se produce una oscilación.

EL FOTÓN TIENE MASA EN REPOSO CERO: toda su masa se debe a que se mueve con rapidez "c". Como $\Delta E = m \tilde{c}^2$, ya que la del fotón es hf , se tiene para un fotón:

$$m c^2 = hf \quad \text{o bien : } m = \frac{hf}{c^2} = \frac{h}{c \lambda}$$

$$\text{El ímpetu de un fotón es } m c = \frac{h}{\lambda}$$

CUANTOS DE RADIACIÓN: Todas las ondas electromagnéticas, incluyendo la luz, tienen una naturaleza dual. Cuando viajan por el espacio, actúan como ondas y dan origen a efectos de interferencia y difracción, cuando la radiación electromagnética interactúa con los átomos y las moléculas, el haz se comporta como flujo de corpúsculos energéticos llamados fotones o cuantos de luz.

La energía da cada fotón depende de su frecuencia f (o de la longitud de onda de la radiación de haz).

La energía del fotón esta dada por:

Energía del fotón = $hf = \frac{hc}{\lambda}$, donde, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J.s , que corresponde a una constante de naturaleza conocida como la constante de Planck

Efecto fotoeléctrico. Cuando la luz incide sobre una superficie , bajo ciertas condiciones se desprenderán electrones ,. Suponga que un fotón de energía hf choca contra un electrón que se encuentra en o próximo a la superficie del material. En la interacción, el fotón transfiere toda su energía al electrón,

La función de trabajo, el trabajo mínimo requerido para liberar a un electrón de la superficie del material, es W_{min} . Entonces la energía cinética máxima ($\frac{1}{2}mv^2_{max}$) del electrón desprendido esta dada por la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico:

$$\frac{1}{2}mv^2_{max} = hf - W_{min}$$

La energía del electrón emitido se puede calcular determinando la diferencia de potencial V que se necesita aplicar para detener el movimiento, entonces:

$hf - W_{min} = V_s e$, donde V_s corresponde al potencial de frenado.

Para cualquier superficie, la longitud de onda de la luz debe ser lo suficientemente pequeña para que la energía del fotón hf sea lo suficientemente grande para desprender al electrón. En la longitud de onda umbral (o frecuencia umbral) , la energía del fotón es casi igual a la función de trabajo. Para un metal ordinario la longitud de onda umbral cae en el rango del visible o del ultravioleta. Los rayos X desprenden electrones, los fotones del infrarrojo o caloríficos nunca desprenderán electrones.

EL FOTÓN TIENE MASA EN REPOSO CERO. Toda su masa se debe a que se mueve con rapidez c . Como $\Delta E = (\Delta m)c^2$, ya que la del fotón es hf , se tiene para un fotón :

$$mc^2 = hf \quad \text{o bien} \quad m = \frac{hf}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$$

El ímpetu de un fotón es: $mc = h/\lambda$

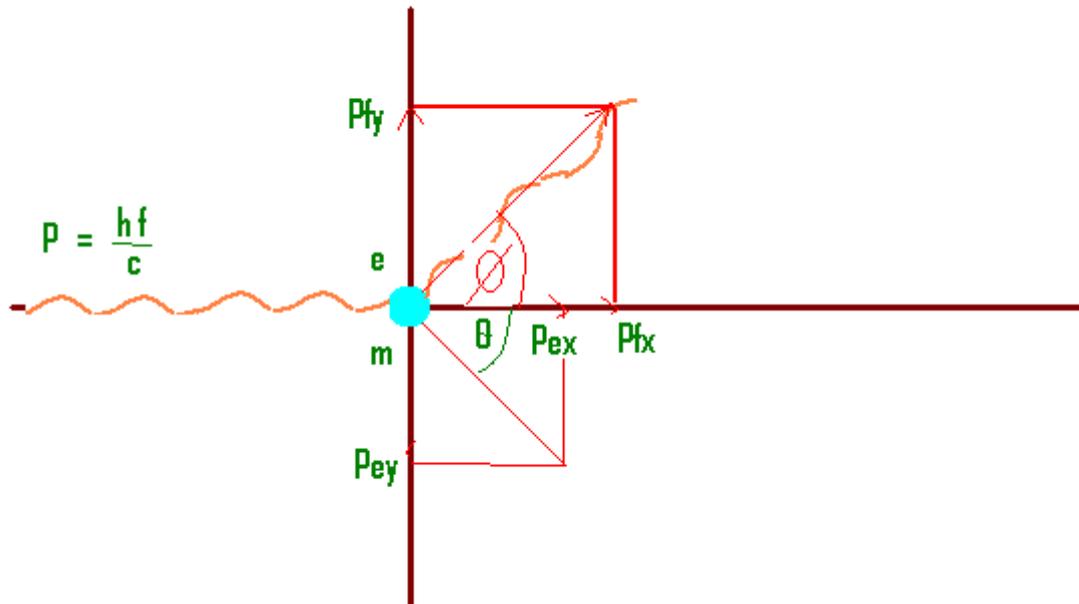
EFEECTO COMPTON: Un fotón puede chocar con una partícula cuya masa en reposo no es cero, por ejemplo con un electrón. Cuando esto sucede su energía e ímpetu pueden cambiar debido a la colisión. Es factible que el fotón también se defleccione en el proceso. Si un fotón con longitud de onda λ choca con una partícula libre en reposo de masa m y se deflección a un ángulo γ , entonces su longitud de onda cambia a λ' , donde

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

el cambio fraccional en la longitud de onda es muy pequeño , excepto en el caso de la radiación energética como los rayos X y los rayos γ .

Deducción de fórmula:

Aquí las leyes de conservación del momentum lineal juegan un rol fundamental. Consideremos un electrón detenido sobre el cual incide una radiación electromagnética (un fotón de cierta frecuencia asociada) , entonces esta radiación se dispersa en unj sentido y el electrón es impulsado en otra dirección con momentum lineal Veamos el esquema:



Considerando las ecuaciones de la energía y del momentum lineal , se trata de obtener

$$\lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta)$$

De la ecuación: $E = \sqrt{m_0^2 c^4 - P^2 c^2}$

Como además : $P = \frac{E}{c} = \frac{\lambda f}{c}$

En la figura , si se conserva el momentum lineal , se obtiene:

$$P = P_{fx} + P_{ex}$$

$$0 = P_{fy} + P_{ey}$$

O bien :

$$\frac{hf}{c} = \frac{hf'}{c} \cos\theta + P_e \cos\theta$$

$$0 = \frac{hf'}{c} \sin\theta - P_e \sin\theta$$

O bien :

$$\frac{hf}{c} - \frac{hf'}{c} \cos\theta = P_e \cos\theta$$

$$\frac{hf'}{c} \sin\theta = P_e \sin\theta$$

Que elevado al cuadrado y sumando ambas igualdades resulta:

$$h^2 f^2 - 2h^2 f f' \cos\theta + h^2 f'^2 = P_e^2 c^2$$

Pero como: De la ecuación: $E = \sqrt{m_0^2 c^4 - P^2 c^2}$

Es decir:

$$h^2 f^2 - 2h^2 f f' \cos\theta + h^2 f'^2 = E^2 - m_0^2 c^4$$

Pero para el electrón $E = T + m_0 c^2$

Y como además $T = hf - hf'$, es decir la perdida de energía del fotón es igual a la energía que gana el electrón, remplazando , se obtiene:

$$f' - f = \frac{h f f' (1 - \cos\theta)}{m_0 c^2}, \text{ es decir :}$$

$$\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda'} = \frac{h \frac{c}{\lambda} \times \frac{c}{\lambda'} (1 - \cos\phi)}{m_0 c^2}$$

$$\frac{c\lambda' - c\lambda}{\lambda\lambda'} = \frac{hc^2(1 - \cos\phi)}{\lambda\lambda' m_0 c^2}$$

Que finalmente :

$$\lambda - \lambda' = \frac{h(1 - \cos\phi)}{m_0 c}$$

ONDAS DE DE BROGLIE. Una partícula de masa m que se mueve con ímpetu P tiene asociada una longitud de onda de De Broglie. Que esta dada por :

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}$$

Un haz de partículas se puede difractar e interferir. Estas propiedades de comportamiento ondulatorio de las partículas se puede calcular suponiendo que las partículas actúan como ondas (ondas de de Broglie) con longitudes de ondas de De Broglie

RESONANCIA DE LAS ONDAS DE DE BROGLIE. Una partícula confinada en una región finita del espacio se dice que es una partícula ligada. Ejemplos típicos de sistemas de partículas son las moléculas de un gas en un recipiente cerrado, un electrón en un átomo. Las ondas de de Broglie que representa a una partícula ligada entrara en resonancia dentro de la región del espacio donde esta confinada si la longitud de onda cabe en esa región. a cada forma posible de resonancia se le llama estado (estacionario) del sistema. Es mas probable encontrar a la partícula en la posición de los antinodos de las ondas de resonancia , nunca se encuentra en la posición de los nodos.

LAS ENERGÍAS CUANTIZADAS. De las partículas ligadas se deben a que cada estado de resonancia tiene una energía discreta con ella. Ya que es mas probable encontrar a la partícula solo en estado de resonancia, las energía observadas son discretas (cuantizadas). Únicamente en sistemas de partículas atómicas (o mas pequeñas) se dan las diferencias de energía entre los estados de resonancia lo suficientemente grandes para ser observadas.

Ejercicios de aplicación:

- 1.- Demuestre que un fotón de luz infrarroja de 1240 nm tiene una energía de 1eV
- 2.- Calcule la ENERGIA DE UN FOTON DE LUZ AZUL DE LONGITUD DE ONDA DE 450 NM.
(2,76 eV)
- 3.-Para romper el ligamento químico de una molécula de la piel humana y por lo tanto causar una quemadura de sol. Se requiere un fotón con una energía de aproximadamente 3,5 eV .¿A que longitud de onda corresponde esta energía?
(355 nm , la luz ultravioleta causa este tipo de quemaduras)
- 4.- La función de trabajo del metal de sodio es 2,3 eV. ¿Cuál es la longitud de onda mas grande de la luz que puede producir emisión de fotoelectrones en el sodio?
(450 nm)

5.-¿Qué diferencia de potencial se debe aplicar para detener al fotoelectrón mas rápido emitido por una superficie de niquela bajo la acción de luz ultravioleta de longitud de onda de 200 nm? (La función de trabajo para el níquel es 5,01 eV)

1,20 eV)

6.- Emitirá fotoelectrones una superficie de cobre, con una función de trabajo de 4,4 eV , cuando se ilumina con luz visible?

282 nm, por lo tanto la luz visible, de 400 nm a 700 nm , no puede desprender electrones del cobre)

7.- Un haz de laser (633 nm) del tipo señalado para que lo usen los estudiantes tiene una intensidad de 3mW ¿Cuántos fotones pasan por un punto dado en cada segundo?

(9,5 10¹⁵ fotones /seg)

1.- El umbral de longitud de onda para la emisión fotoeléctrica del Wolframio es de

2300 Å .¿Que longitud debe usarse para expulsar los electrones con una energía máxima de 1,5 eV

2.- Demuestre que un fotòn de una luz infrarroja de 1240 nm tiene una energía de 1eV

3.= Calcule la energía de un fotòn de luz azul de longitud de onda de 450nm.

(2.76eV)

4.- Las longitudes de ondas del espectro visible, se indican en la tabla

Color	λ .en.Å
Violeta	3800-4360
Azul	4360-4950
Verde	4950-5660
Amarillo	5660-5890
Naranja	5890-6270
Rojo	6270-7800

Calcule para cada uno de ellos la energía máxima y mínima del fotòn para el espectro visible.

5.-Suponga que se irradia una lamina metálica con luz en el umbral del infrarrojo según la tabla anterior .¿Cual es la función del trabajo mínimo requerido para producir el efecto fotoeléctrico?.¿Cual es la velocidad máxima con que sale expelido el electrón de la lámina bajo las condiciones anteriores?

(2.55x10⁻¹⁹ J , 748625 m/s)

6.- Se “dispara” un rayo luminoso de longitud de onda umbral λ ,de manera que el electrón “arrancado” sale expelido con una rapidez equivalente al 0.43% de la velocidad de la luz en el vacio.Determine:

6.1.-La longitud de onda umbral del rayo luminoso.

6.2.- Explique analíticamente si corresponde a un rayo infrarrojo o ultravioleta?

7.- Para romper el ligamento químico de una molécula de la piel humana y por lo tanto causar una quemadura de Sol, se requiere de un fotòn con una energía de aproximadamente 3.5eV.¿ que longitud de onda corresponde esta energía+

¿355nm , la luz ultravioleta causa las quemaduras de Sol

8.-La función de trabajo de metal de sodio es 2.3eV.¿Cual es la longitud de onda mas grande de la luz que puede producir emisión de fotoelectrones en el sodio?

(540nm)

9.- ¿Qué diferencia de potencial se debe aplicar para detener al fotoelectrón más rápido emitido por una superficie de Níquel bajo la acción de luz ultravioleta de longitud de onda 200nm? La función de trabajo para el Níquel es 5.01eV

(1.20eV, se requiere un potencial retardador negativo. este es el potencial de frenado)

10.-¿Qué diferencia de potencial se debe aplicar para detener al fotoelectrón mas rápido emitido por una lamina de níquel bajo la acción de luz ultravioleta umbral , si la función del trabajo para la emisión fotoeléctrica es de 5.01 eV?

(1.74 eV)

11.- ¿Emitirá fotoelectrones una superficie de cobre, con una función de trabajo de 4.4eV, cuando se ilumina con luz visible?

(Umbral de long de onda 282nm, por lo tanto, la luz visible (400nm a 700nm) no puede desprender electrones del cobre)

12.- Un haz de rayos láser ($\lambda = 633\text{nm}$) del tipo diseñado para que lo usen los estudiantes tiene una intensidad de 3mW.¿Cuántos fotones pasan por un punto dado en cada segundo?

(9.5×10^{15} fotones/seg.)

13.- En un proceso llamado producción de pares, un fotòn se transforma en un electròn y en un positròn .Un positròn tiene la misma masa que un electròn, pero su carga es +e.

13.1.- ¿Cual es la mínima energía que debe tener un fotòn si ocurre este proceso?

13.2.- ¿Cuál es la correspondiente longitud de onda?

(1.02MeV, $1.21 \times 10^{-12} \text{m}$)

14.- ¿Qué longitud de onda debe tener la radiación electromagnética para que un fotòn en un haz tenga el mismo ímpetu que el de un electròn que se mueve con una rapidez de $2 \times 10^5 \text{m/s}$?

(3.64nm, Esta longitud esta en la región de los rayos X)

15.- Suponga que un fotòn con longitud de onda de 3.64nm que se mueve en la dirección de +x choca frontalmente con un electròn cuya rapidez es de $2 \times 10^5 \text{m/s}$ y se mueve en la dirección -x .Si la colisión es perfectamente elástica .Calcular:

15.1- La rapidez del electròn después de la colisión.

15.2.- La longitud de onda del electròn después de la colisión.

(

16.- Un fotòn cuya longitud de onda es de 0.400nm, choca con un electròn que se encuentra en reposo y rebota con un Angulo de 150° en la dirección que tenia antes del choque .Determine la rapidez y la longitud de onda del fotòn después de la colisión.

(c , 0.4045nm)

17.- ¿Cuál es la longitud de onda de De Broglie para una partícula que se mueve con una rapidez de $20 \times 10^5 \text{m/s}$, si la partícula es:

17.1.- Un electròn.

17.2.- Un protòn.

17.3.- Una pelota de 0.2kg

(3.6×10^{-10} , 2×10^{-13} , 1.65×10^{-39})

18.- Un electròn en reposo se pone en una diferencia de potencial de 100V.¿Cual es la longitud de onda de De Broglie?

(0.123nm)

19.- ¿Cuál es la diferencia de potencial para que un microscopio electrónico le

proporcione a un electròn una longitud de onda de 0.5Å ?

(600V)

20.- en circunstancias laborales , el ojo humano puede detectar $10^{-18}J$ de energía electromagnética. ¿Cuántos fotones de 6000 A representa.

(3 fotones)

21.- Hallar la longitud de onda de un foton de $5 \times 10^{-19}J$
(3970 A)

Problemas de aplicación:

1.- Cuanta energía debe tener un foton para que su momentum lineal sea igual a la de un proton de 10 meV (método relativista).

(138,0 meV)

2.- Cual es la frecuencia de un foton de rayos X cuya cantidad de movimiento es igual a la de un electron de 20meV (método relativista)

($4,92 \times 10^{21} \text{ hertz}$)

3.- Demostrar que es imposible para un foton ceder toda su energía y su momentum lineal a un electron libre de modo que el efecto fotoeléctrico solo tiene lugar cuando los fotones inciden sobre electrones ligados.

4.- Un haz de rayos X es dispersado por electrones libres a 45° de la dirección de incidencia de los rayos X , una vez dispersados los rayos tienen una longitud de onda de $0,022\text{Å}$. ¿Cuál es la energía del haz incidente?

($1,3 \times 10^{-13}J$)

5.- Un foton de rayos X de frecuencia inicial $f=1,5 \times 10^{19} \text{ hz}$ colisiona con un electron de frecuencia $f_e= f=1,2 \times 10^{19} \text{ hz}$. Cuanta energía cinética gana el electron después de la colision?

(0,0123meV)

6.- Un foton de frecuencia inicial $f=3 \times 10^{19} \text{ hz}$, colisiona con un electron y es disparado a 90° , hallar la energía del foton después de la colision.

$f=1,5 \times 10^{-4}J$

7.- Un positrón (masa igual a la del electron, pero con carga positiva) choca de frente con un electron y ambos se anulan . Cada partícula tenía una energía cinética inicial de 1meV . Encuentre la longitud de onda de los fotones resultantes después de la colision.
0.0123A)

“La luz es dual, se propaga como onda electromagnética y se comporta como corpúsculo. Se propaga como corpúsculo y se comporta como onda electromagnética”