



FÍSICA MODERNA

El descubrimiento de las ondas electromagnéticas (OEM) permitió el desarrollo de las comunicaciones, fue Henrich Hertz quien descubrió las ondas electromagnéticas a finales del siglo XIX, esto permitió comprobar la teoría de James Clerk Maxwell (1831 - 1879) el cual predijo que la luz es una onda electromagnética de energía continua.

También a finales del siglo XIX se descubren nuevos fenómenos que no se podían explicar por las teorías clásicas lo cual trajo como consecuencia la introducción de nuevas ideas y por lo tanto el desarrollo de nuevas teorías como la teoría cuántica, la teoría de la relatividad, etc.

Uno de las más importantes teorías establecidas en el siglo XX fue la teoría cuántica. La teoría cuántica se inició con el problema del cuerpo negro y cuya solución fue planteada por Max Planck a inicios del siglo XX; una de las condiciones que establecía esta solución era que la luz o radiación electromagnética (energía) este cuantizada.

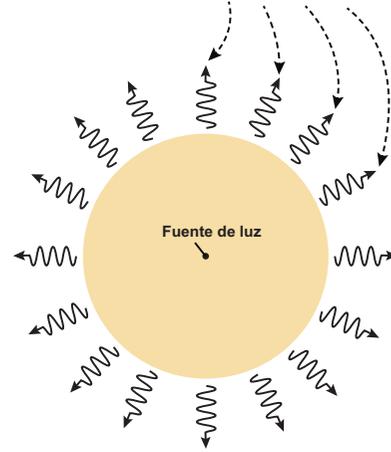
Otro de los fenómenos que se logró explicar con la teoría cuántica fue el Efecto Fotoeléctrico, cuya solución fue plantada por Albert Einstein y por lo cual fue acreedor al premio Nobel.

En este capítulo se estudiara a la luz y sus diferentes comportamientos (ondulatorio y corpuscular), así también se estudiara el efecto fotoeléctrico, debido a que es una aplicación directa de la Física Cuántica.

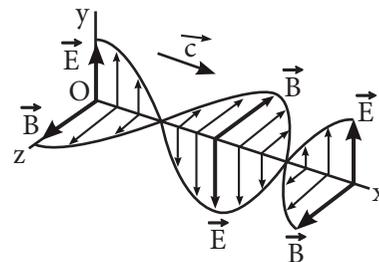
Carácter ondulatorio de la luz

Para este carácter la luz actúa como un conjunto de ondas, las cuales se propagan a partir de una fuente de luz. Algunos fenómenos que se pueden explicar con este carácter son: la reflexión, la refracción, interferencia, difracción, polarización, etc.

Las ondas que pasan a través de una superficie grande se programa en diferentes direcciones



La luz con carácter ondulatorio suele ser denominado ondas electromagnética (OEM), debido a que el científico James Clerk Maxwell pudo comprobar teóricamente que la luz está compuesta por los campos eléctrico y magnético simultáneamente. La representación de una OEM viajando en el vacío (o aire) se ilustra a continuación:



Donde:

\vec{E} : Componente eléctrica de la OEM.

\vec{B} : Componente magnética de la OEM.

Además se cumple para un determinado instante la siguiente ecuación:

$$E = cB$$

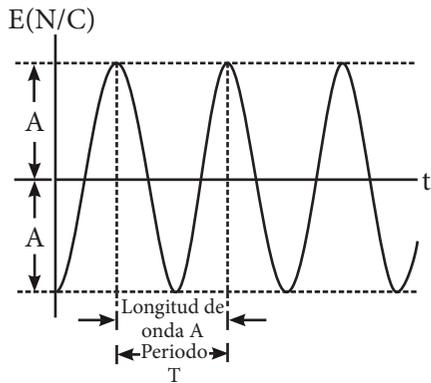
Donde las magnitudes y sus respectivas unidades en el S.I. son:

E: módulo del campo eléctrico (N/C).

B: módulo de la inducción magnética (T).

$c = 3 \times 10^8$ m/s es la rapidez de la luz.

Las ondas electromagnéticas tienen determinadas características. Podemos representar y definir estas características a partir del siguiente gráfico de la componente eléctrica de una OEM.



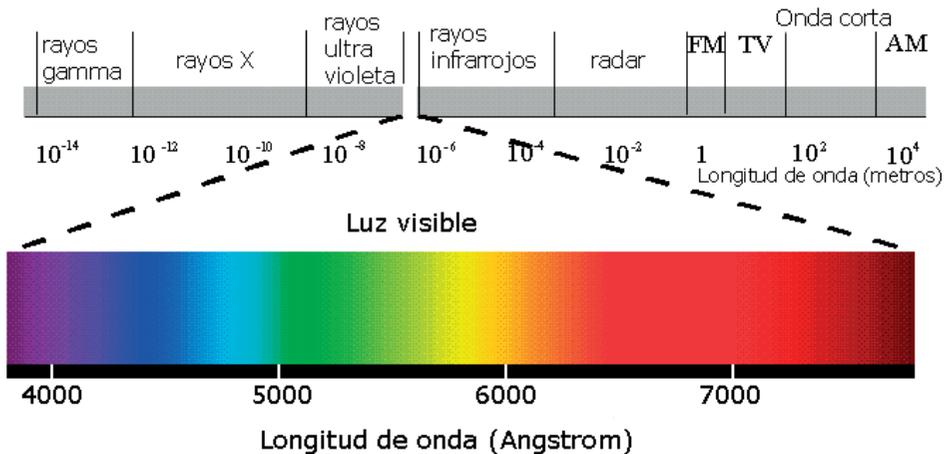
De la gráfica se define:

- La longitud de onda (λ):** es la distancia entre dos crestas (o valles). Su unidad en el SI es el metro (m).

- Periodo (T):** es el tiempo que demora en transitar una longitud de onda en el espacio (o medio). Su unidad en el SI es el segundo (s).
- Frecuencia (f):** magnitud física que nos cuantifica cuantas ondas se generan por unidad de tiempo. También se define y calcula como la inversa del periodo. Su unidad en el SI es el Hertz (Hz).

Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas cubren un espectro (conjunto) extremadamente amplio de longitudes de onda y frecuencia. Algunos ejemplos de ondas que se encuentran dentro de este espectro son: las ondas de radio y televisión, la luz visible, la radiación infrarroja y ultravioleta, los rayos x y los rayos gamma. A continuación se muestra el esquema del espectro electromagnético.

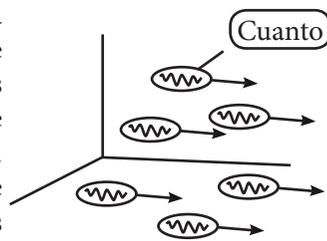


A pesar que las OEM difieren en frecuencia «f» y longitud de onda « λ », todas las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío con la misma rapidez, $c = 3 \times 10^8$ m/s, cumpliéndose además la siguiente ecuación:

$$c = \lambda \cdot f$$

Caracter corpuscular de la luz

En este caso la luz actúa como un conjunto de corpúsculos o partículas que se emiten desde una fuente de luz. Algunos ejemplos que pueden ser explicados con este carácter son: la radiación de cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico, los niveles de energía en un átomo, etc.



Cada partícula de luz es denominada cuanto o fotón, un cuanto (o fotón) es la mínima cantidad de energía en la naturaleza.

La energía de un cuanto (o fotón) de una luz, se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$E_f = h \cdot f$$

Donde las magnitudes y sus respectivas unidades en el S.I. son:

E_f : energía de un cuanto o fotón (J).

f: frecuencia de la luz (Hz).

$h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s es la constante de Planck.

Para calcular la energía de «n» cuantos (o fotones) de una luz, se aplicara la siguiente ecuación:

$$E_f = n \cdot h \cdot f$$

Dualidad de la luz y el principio de complementariedad

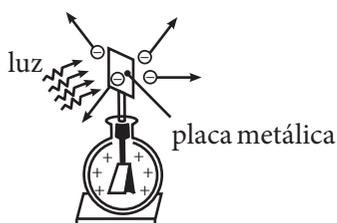
Luego de varios acontecimientos y experimentos se llegó a la conclusión de que la luz (energía) tiene un carácter dual de Onda y Partícula las cuales son mutuamente complementarias. Esta conclusión fue enunciada por Niels Bohr en 1928 en su denominado Principio de complementariedad. En este principio se dice que la luz necesita de las dos descripciones (onda y partícula) para poder entender a la naturaleza, pero a su vez nunca necesitaremos usar ambas al mismo tiempo para poder explicar un solo fenómeno.

Aplicando este principio también se puede calcular la energía de «n» fotones de una luz, teniendo en cuenta su longitud de onda, mediante la siguiente ecuación:

$$E_f = n \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Efecto fotoeléctrico

Es aquel fenómeno en el cual, ciertas placas metálicas emiten electrones cuando se someten a la acción de luz. El fenómeno se hace más acentuado cuando las radiaciones son de alta frecuencia (ondas ultravioletas) y con metales como el cesio, el sodio y el potasio.



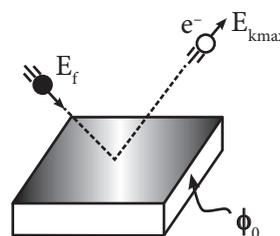
En 1905 Albert Einstein, científico alemán nacionalizado en EE. UU. propuso basarse en los estudios de Max Planck (el Quantum) para poder explicar dicho fenómeno.

Einstein llamó al Quantum de luz: Fotón o partícula de luz.

Con esto la luz es tratada como si tuviera naturaleza corpuscular. Al igual que Planck, Einstein planteó su modelo matemático, el cual fue afinado hasta que al final obtuvo una ecuación que permitió explicar el efecto fotoeléctrico.

Explicación del efecto fotoeléctrico

A continuación se presenta un esquema práctico del fenómeno efecto fotoeléctrico:



En este esquema se observa a un fotón, el cual es absorbido totalmente por un electrón de la placa metálica. La placa a su vez posee una propiedad denominada función trabajo (ϕ_0), la cual representa la energía mínima para poder extraer a un electrón. Si la energía del fotón, absorbido por el electrón, es mayor a la función trabajo, entonces se emitirán electrones de la placa, a los electrones emitidos Einstein los llamo fotoelectrones.

Matemáticamente se cumple:

$$E_f = E_{kmax} + \phi_0$$

Donde las magnitudes y sus respectivas unidades en el S.I. son:

E_f : energía de un fotón (J).

E_{kmax} : energía cinética máxima del electrón (J).

ϕ_0 : función trabajo (J).

Si la luz que incide sobre placa no logra emitir electrones ($E_{kmax} = 0$), pero si los logra sacar a la superficie de la placa, entonces la frecuencia asociada a esta luz se denomina frecuencia umbral (f_{umbral}), cuyo valor se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$f_{umbral} = \frac{\phi_0}{h}$$

La longitud de onda asociada a esta frecuencia umbral es denominada longitud de onda máxima:

$$\lambda_{máxima} = \frac{hc}{\phi_0}$$

Observación:

Las energías y funciones trabajo se suelen expresar en electrón volt (eV), la cual se define:

$$1 \text{ eV} \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

La constante de Planck en unidades de eV es:

$$h \approx 4,15 \times 10^{-15} \text{ eV}$$

Es necesario para solucionar los problemas, las siguiente equivalencias:

$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ angstrom} \Rightarrow 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$

Trabajando en clase

Integral

1. Si la frecuencia de una OEM es 2×10^{14} Hz, calcula su longitud de onda (en m). (Considere $c = 3 \times 10^8$ m/s).
Resolución:
Aplicando la fórmula:
 $C = \lambda \times f$
Reemplazando los datos $f = 210^{14}$ Hz y $C = 3 \times 10^8$ m/s
 $\Rightarrow 3 \times 10^8 = \lambda \times 2 \times 10^{14}$
 $\therefore \lambda = 1,5 \times 10^{-6}$ m
2. Calcula la longitud (en m) de una OEM cuya frecuencia es 3×10^{10} Hz. (Considere $c = 3 \times 10^8$ m/s)
3. Determina la frecuencia (en Hz) de una OEM que tiene una longitud de onda de 30 m. (Considere $c = 3 \times 10^8$ m/s)
4. En cierto instante una OEM posee una inducción magnética de modulo 12×10^{-10} T. Si esta se propaga en el vacío calcula el módulo de la intensidad del campo eléctrico (en N/C) en ese instante. (Considere $c = 3 \times 10^8$ m/s)

UNMSM

5. Calcula frecuencia (en Hz) de un fotón de rayos X si su longitud de onda es 50Å. (Considere $c = 3 \times 10^8$ m/s)
Resolución
Aplicando la ecuación del carácter ondulatorio de la luz
 $C = \lambda \times f$
Reemplazando los datos $\lambda = 50\text{Å} = 50 \times 10^{-10}$ m
 $c = 3 \times 10^8$ m/s
 $\Rightarrow 3 \times 10^8 = 50 \times 10^{-10} \times f$
 $\therefore f = 6 \times 10^{16}$ Hz
6. La longitud de onda de un fotón de rayos X es 6Å. Determina la frecuencia (en Hz) asociado a este fotón. (considera $c = 3 \times 10^8$ m/s)
7. Si se sabe que una onda electromagnética de 40,0 Mhz de frecuencia viaja en el espacio libre, determine el producto de su periodo por su longitud de onda. (Considere $c = 3 \times 10^8$ m/s)

8. Determina la energía (en J) del fotón de una OEM cuya frecuencia es 50 MHz. (Considere $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s, $c = 3 \times 10^8$ m/s)

Resolución

Aplicando la fórmula de la energía para fotones

$$E_N = n \times h \times f$$

Reemplazamos los datos $n = 1$, $f = 50\text{MHz} = 50 \times 10^6$ Hz y $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s.

$$E_N = 1 \times (6,63 \times 10^{-34}) \times (50 \times 10^6)$$

$$\therefore E_N \approx 3,3 \times 10^{-26} \text{ J}$$

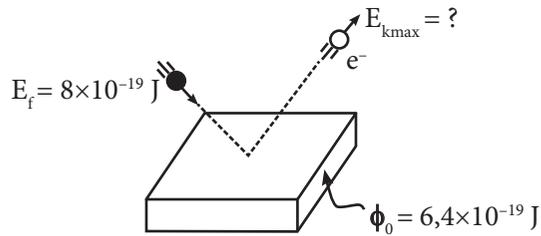
9. Calcula la energía (en J) del fotón de una OEM cuya longitud de onda es 9nm. (Considere $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s, $c = 3 \times 10^8$ m/s)
10. Determine la energía (En J) de 5 fotones de una luz cuya frecuencia es 8 MHz. (Considere $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s)
11. Si un láser emite radiación con una longitud de onda de 1000 nm. ¿Cuántos fotones serán necesarios para alcanzar una energía de 6.21 eV? (Considere $h = 4.14 \times 10^{-15}$ eV.s, $c = 2.998 \times 10^8$ m/s)
12. Determina la energía (en J) del fotón de una OEM cuya frecuencia es 5 MHz. (Considere $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s, $c = 3 \times 10^8$ m/s)
13. Calcula la energía (en J) del fotón de una OEM cuya longitud de onda es 3mm. (Considere $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s, $c = 3 \times 10^8$ m/s).
14. Calcula la frecuencia (en Hz) de un fotón de rayos X si su longitud de onda es 5 nm. (Considere $c = 3 \times 10^8$ m/s).

UNI

15. Un haz de fotones incide sobre una superficie metálica que tiene una función de trabajo de $6,4 \times 10^{-19}$ J. Si cada fotón tiene una energía de 8×10^{-19} J, calcula la energía cinética máxima (en eV) de los fotoelectrones. (Considere $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J).

Resolución

Graficamos el problema



Luego aplicando la formula planteada por Albert Einstein:

$$E_f = E_{kmax} + \phi_0$$

$$8 \times 10^{-19} = E_{kmax} + 6,4 \times 10^{-19}$$

$$\Rightarrow E_{kmax} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Luego piden en «eV»

$$\Rightarrow E_{kmax} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \left(\frac{1 \text{ eV}}{1,6 \times 10^{-19}} \right)$$

$$\therefore E_{kmax} = 1 \text{ eV}$$

16. Un haz de fotones incide sobre una superficie metálica que tiene una función de trabajo de $7,2 \times 10^{-19} \text{ J}$. Si cada fotón tiene una energía de $10,4 \times 10^{-19} \text{ J}$, calcula la energía cinética máxima (en eV) de los fotoelectrones. (Considere $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$).
17. La función trabajo del potasio es 2eV ; si se ilumina sobre una superficie de potasio una luz de longitud de onda $3 \times 10^{-7} \text{ m}$, ¿cuál es la energía cinética máxima (en eV) de los fotoelectrones emitidos? (Considere $h = 4.15 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)
18. La longitud de onda umbral del efecto fotoeléctrico de la plata es 262 nm , calcule la función trabajo de la plata en eV ($\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$, $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$).