



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

5.- PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MATERIALES

4. Propiedades Ópticas de los Materiales

- Absorción y emisión de luz.
- Color de los materiales.
- Interacción de luz con los materiales.
- Efectos ópticos no lineales.

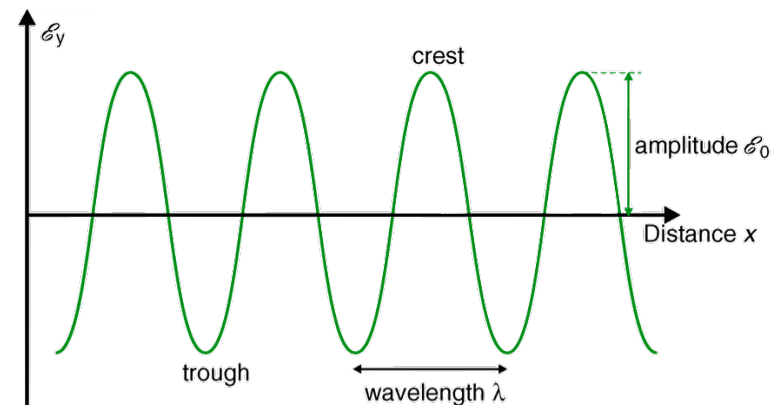
Introducción

¿Qué es la luz?

- Luz es energía, o radiación, no es nada más que una onda electromagnética que se propaga por el espacio aunque también puede ser considerada como una serie de partículas llamadas fotones.
- Las características importantes de los fotones son: la energía E , la longitud de onda λ , y la frecuencia ν que se relacionan entre sí con la ecuación

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Cuando tratamos fenómenos de interacción a escala atómica, consideramos la luz como partículas llamadas fotones .



$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) (x + vt) \right] \text{ con } v = c = 299\,792\,458 \frac{m}{s} \approx 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \text{ en vacío}$$

Introducción

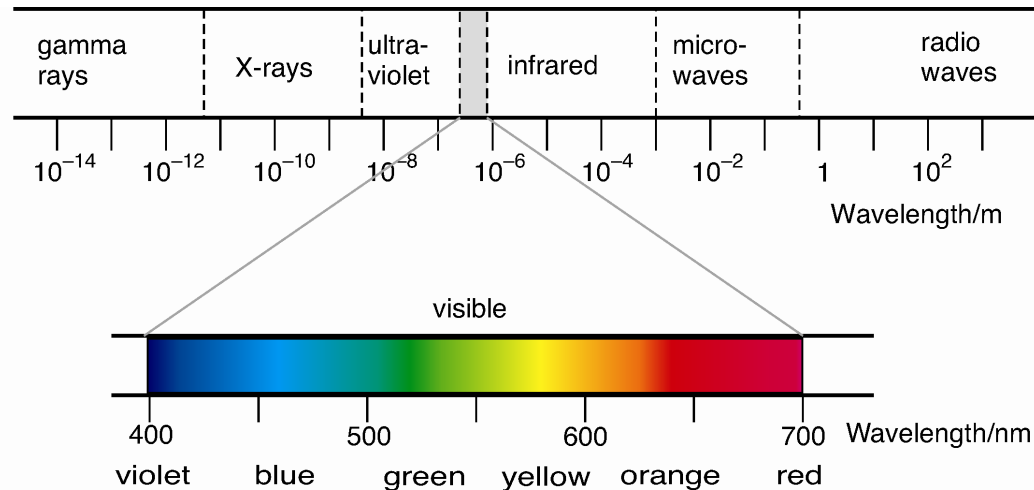
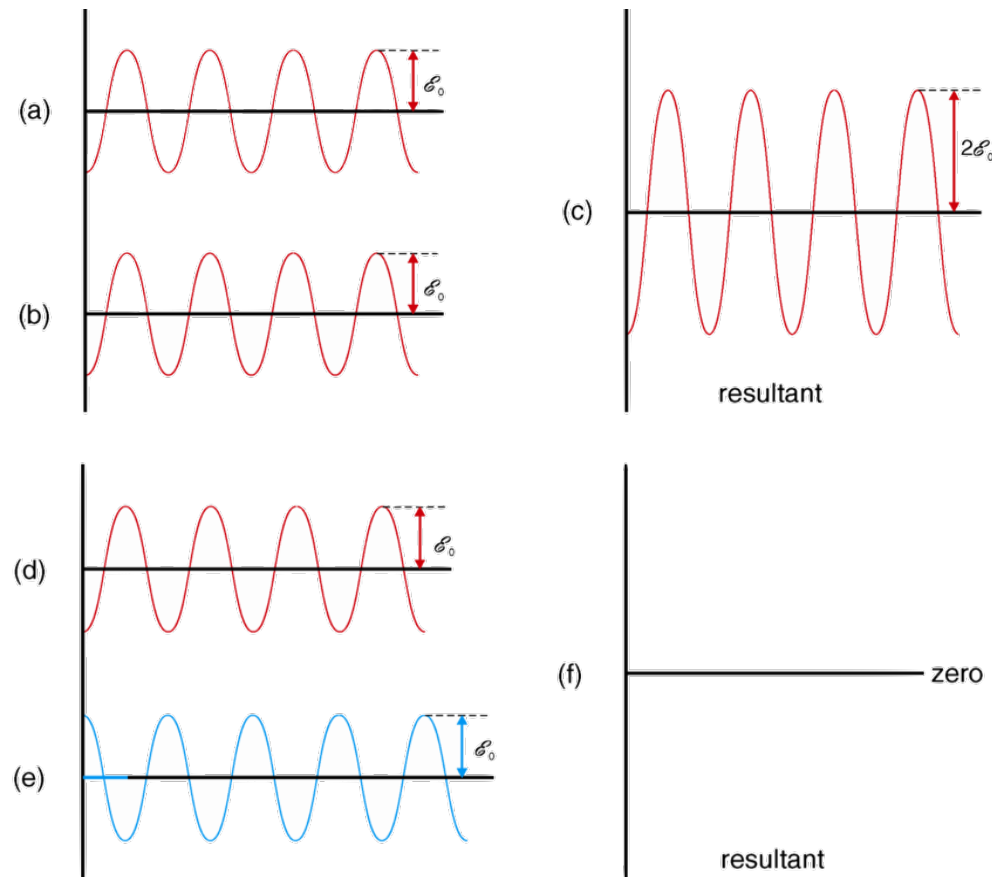


Table 14.1 The visible spectrum

Colour	λ/nm	ν/Hz	Energy	
			J	eV
Deep red	700	4.29×10^{14}	2.84×10^{-19}	1.77
Orange-red	650	4.62×10^{14}	3.06×10^{-19}	1.91
Orange	600	5.00×10^{14}	3.31×10^{-19}	2.06
Yellow	580	5.17×10^{14}	3.43×10^{-19}	2.14
Yellow-green	550	5.45×10^{14}	3.61×10^{-19}	2.25
Green	525	5.71×10^{14}	3.78×10^{-19}	2.36
Blue-green	500	6.00×10^{14}	3.98×10^{-19}	2.48
Blue	450	6.66×10^{14}	4.42×10^{-19}	2.75
Violet	400	7.50×10^{14}	4.97×10^{-19}	3.10

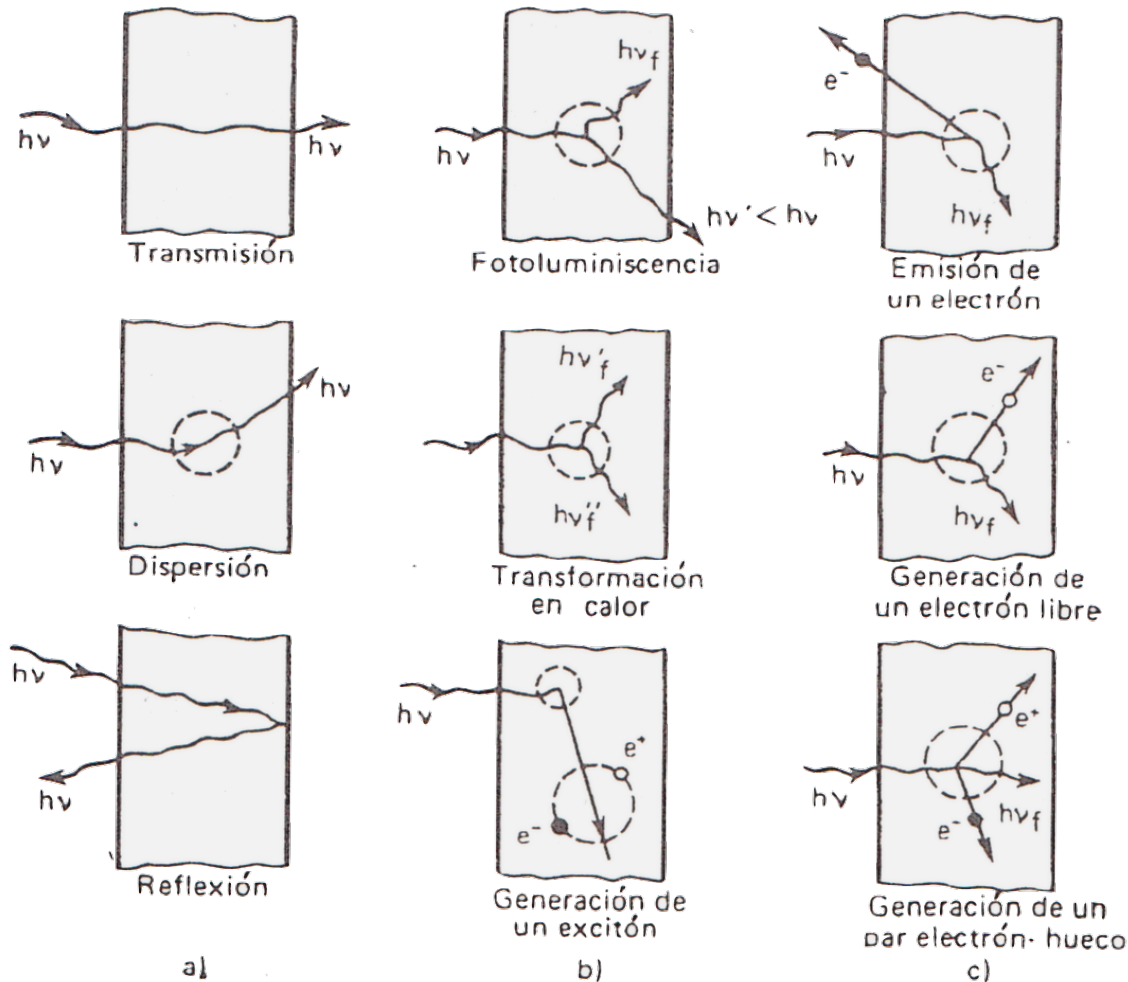
Introducción

Muchos de los fenómenos de interacción de la luz con la materia pueden explicarse a partir de procesos de interferencia.



Interferencia de ondas electromagnéticas: (a,b) dos ondas en fase se suman para dar como resultante una onda de amplitud doble (c). (d,e) dos ondas en oposición de fase se suman para dar como resultante una onda nula (f).

Interacción Luz-Materia.



(a). Procesos en que se observa la energía del fotón.

(b) Y (c) Procesos en los que la energía del fotón se transmite al sólido, (b) no eléctricos, (c) eléctricos.

Para describir las propiedades de los dieléctricos en campos alterno se ha de introducir una permitividad compleja. Con ello describiremos el concepto de “perdidas” como la parte de la energía eléctrica que se transforma en calor dentro de un dieléctrico.

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$$

Análogamente para describir la propiedades ópticas se introduce un índice de refracción complejo.

$$n^* = n - ik \quad k = \text{coeficiente de extinción}$$

ε^* y n^* caracterizan las interacciones de la onda electromagnética con la materia en la cual la energía luminosa es parcialmente absorbida.

$$E_x = E_0 \exp[i\omega(t - n^* x/c)]$$

Onda electromagnética que se propaga en una sustancia de índice de refracción n^ en la dirección x*

$$E_x = E_0 \exp(-\omega kx/c) \exp[i\omega(t - nx/c)]$$

Factor de Amortiguamiento

$$E_x = E_0 \exp(-\omega kx/c) \exp[i\omega(t - nx/c)] \Rightarrow I(x) \sim \exp(-2\omega kx/c) = \exp(-\alpha x)$$

Donde $\alpha = 2\omega k/c = 4\pi k/\lambda$ ***Coefficiente de absorción***

Coef. Absorción : Probabilidad de la absorción de un fotón por una muestra de espesor unidad. Su inverso puede considerarse la longitud media del recorrido libre del fotón.
[α] = m^{-1}

Coef. Reflexión : Parte de la energía luminosa que incide sobre el sólido es reflejada por la superficie. Se define el coeficiente de reflexión como el cociente entre la intensidad reflejada y la intensidad incidente.

$$R = I_R/I_0 \quad (\text{Adimensional})$$

Coef. Transmisión : Parte de la energía luminosa que incide sobre el sólido se transmite. Se define el coeficiente de transmisión como el cociente entre la intensidad transmitida y la intensidad incidente.

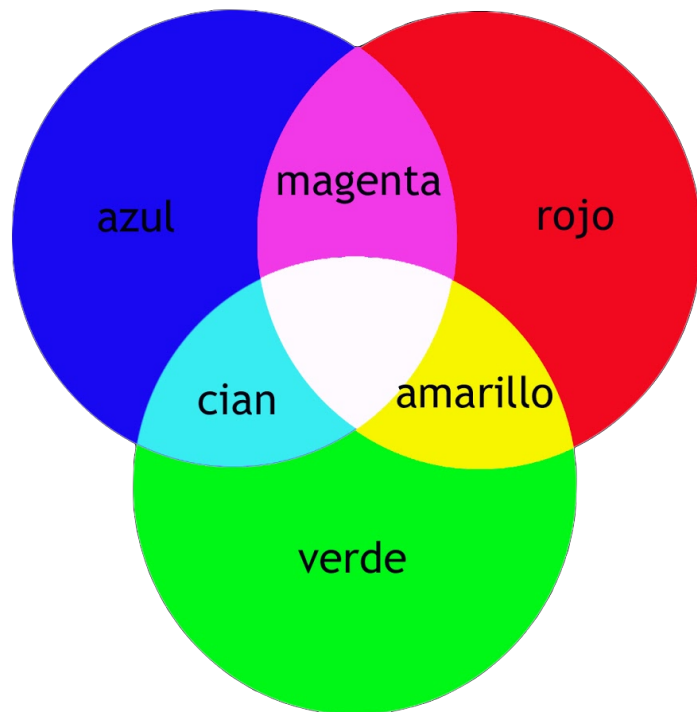
$$T = I_T/I_0 \quad (\text{Adimensional})$$

Espectro de absorción: Representación de la dependencia del coeficiente de absorción α en función de energía de los fotones incidentes $\alpha=\alpha(h\nu)$

Espectro de reflexión: Representación de la dependencia del coeficiente de reflexión R, en función de energía de los fotones incidentes $R=R(h\nu)$

Color y Apariencia

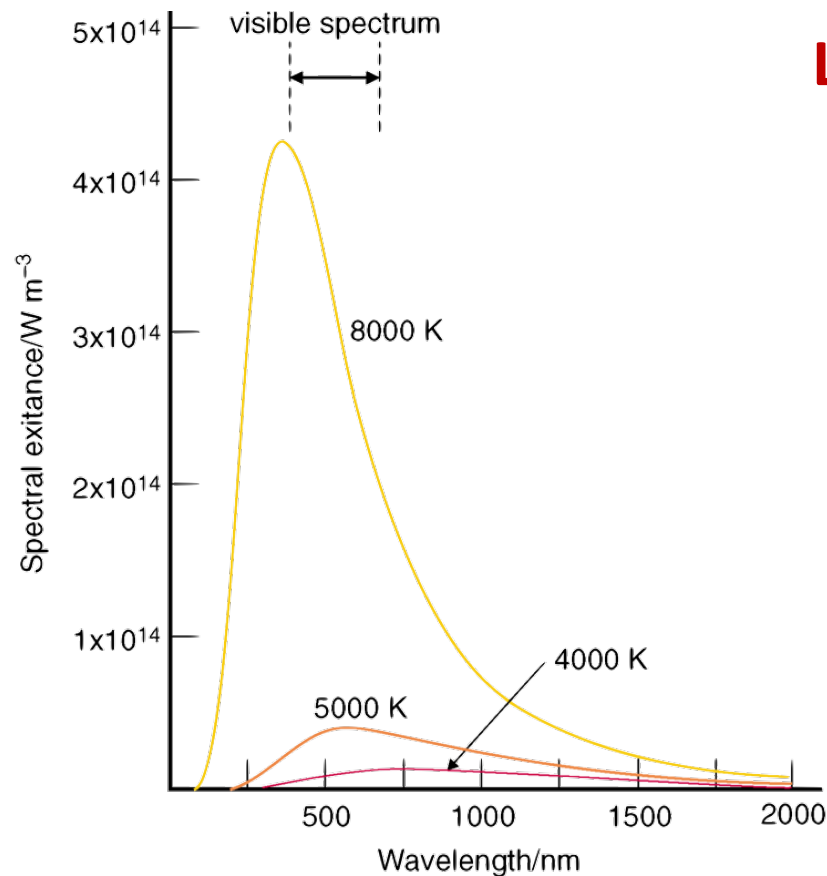
Procesos luminosos en sólidos:



- Incandescencia
- Luminiscencia y fosforescencia
- Diodos emisores de luz
- Láseres de estado sólido

Color y Apariencia

Incandescencia



Ley de Wien: $\lambda_{max} = \frac{0,002898}{T}$

“Ley del cuerpo negro”

La energía emitida por un cuerpo negro E (en Wm^{-2}) dentro de una región hemiesférica del espacio en el intervalo de longitudes de onda $\delta\lambda$ vendrá dado por

$$Ed\lambda = \frac{2\pi hc^2 d\lambda}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]}$$

Donde T es la temperatura absoluta

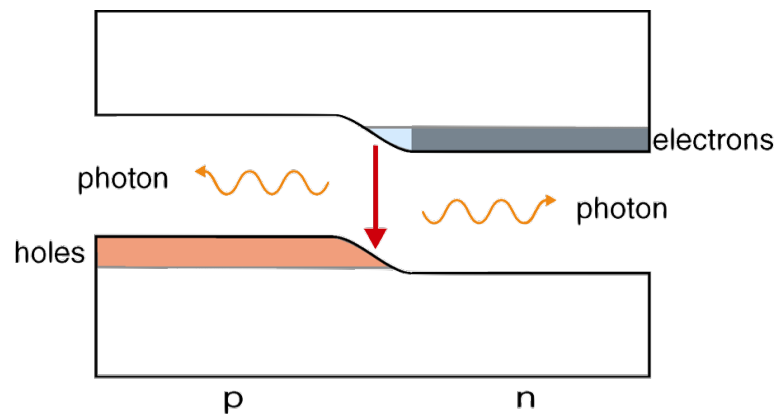
Color y Apariencia

Luminiscencia

Tipo	Fuente de energía
Fluorescencia	Excitación electrónica entre estados permitidos
Fosforescencia	Excitación electrónica entre estados prohibidos
Triboluminiscencia	Rotura mecánica de enlaces, fractura o fricción
Quimioluminiscencia	Reacción química
Fotoluminiscencia	Luz visible o ultravioleta
Catodoluminiscencia	Bombardeo con electrones
Termoluminiscencia	Aumento de temperatura
Electroluminiscencia	Campo eléctrico aplicado
Sonoluminiscencia	Ondas de ultrasonido
Bioluminiscencia	Luminiscencia en un organismo vivo

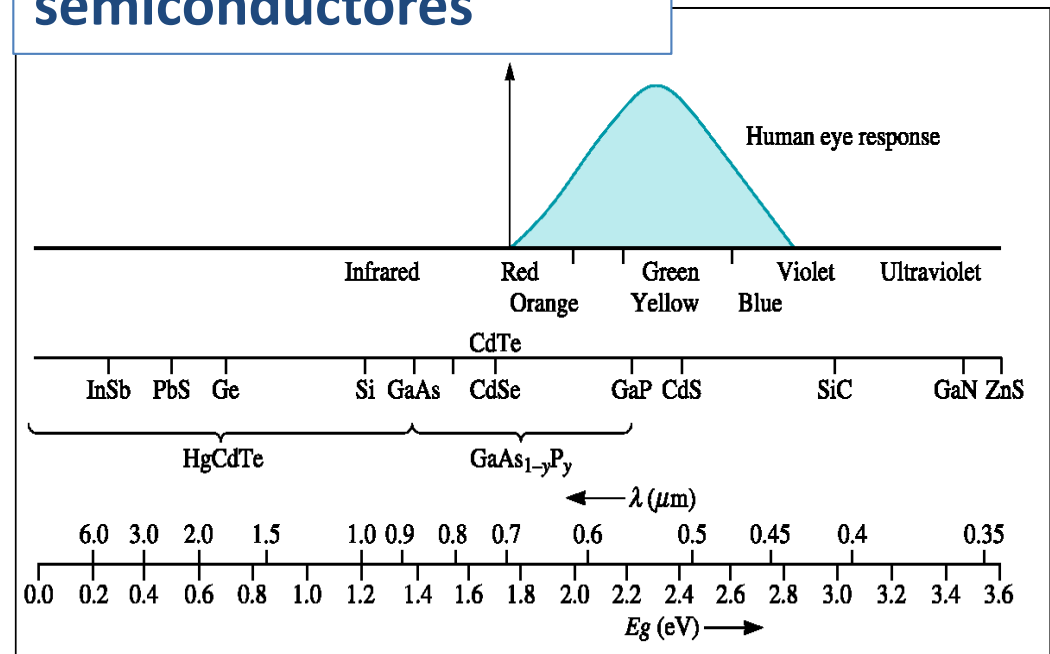
Color y Apariencia

Diodos LED's



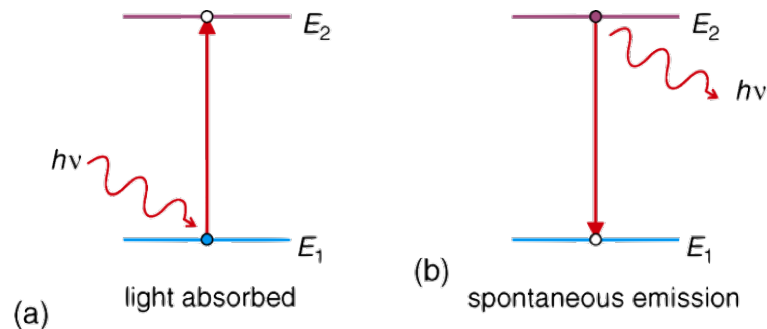
Principio de operación de un LED: Bajo un potencial externo aplicado, los electrones y los huecos se recombinan cerca de la zona de unión entre un semiconductor tipo n- y uno tipo p-, emitiendo radiación.

Band-gap de algunos semiconductores

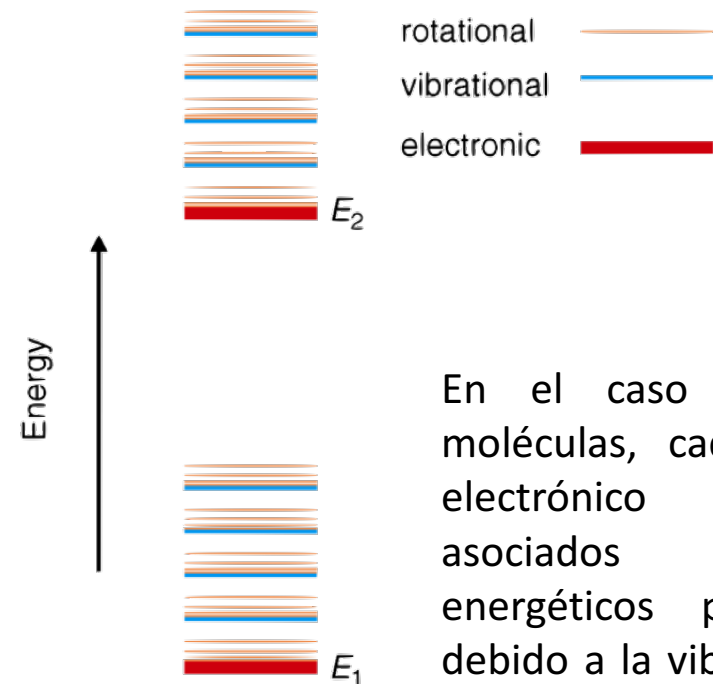


Color y Apariencia

Luminiscencia

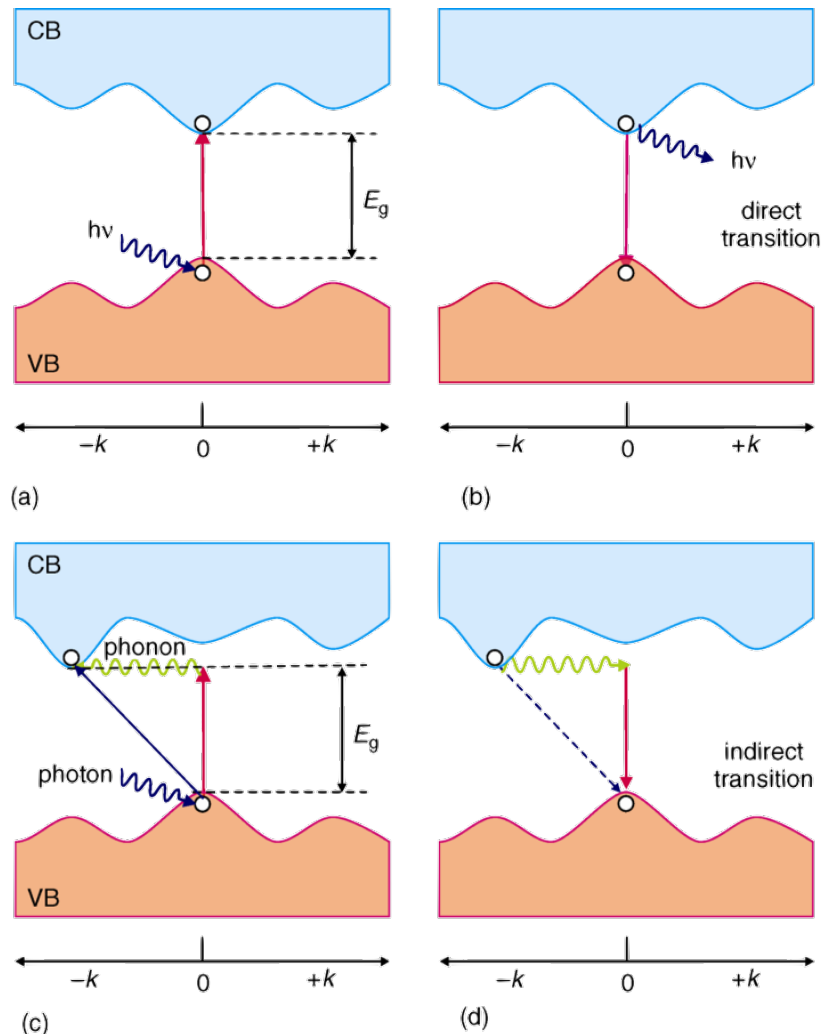


Absorción y Emisión de radiación: (a) La absorción de luz ocurre cuando un fotón puede excitar un sistema desde un nivel de energía E_1 a un nivel mayor E_2 . En (b) los sistemas pueden emitir un fotón de luz vía emisión espontánea cuando decaen de un estado E_2 a un estado E_1 .



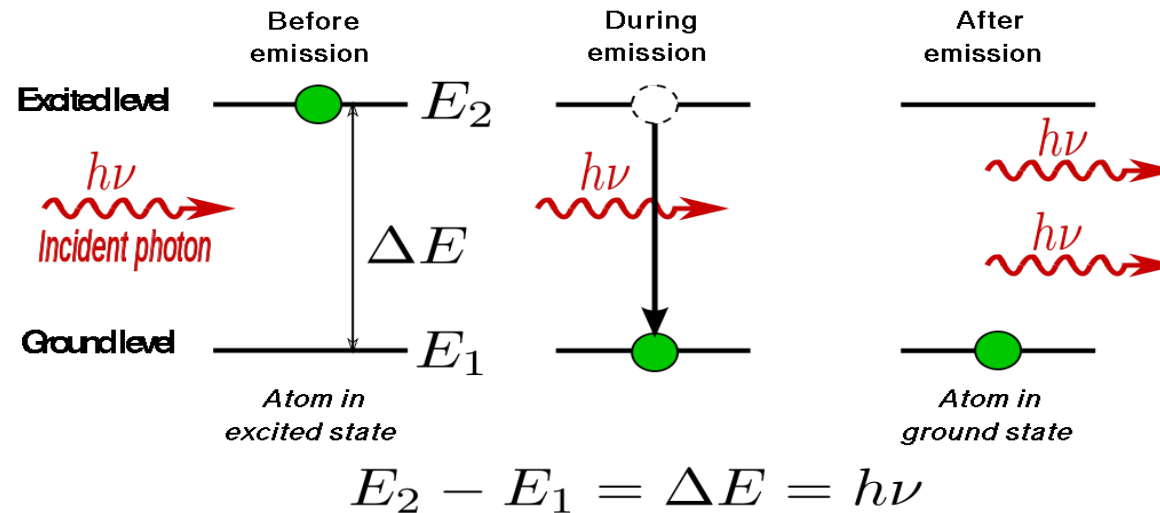
En el caso de las moléculas, cada nivel electrónico tiene asociados niveles energéticos próximos debido a la vibración y a la rotación.

Color y Apariencia



Absorción y Emisión de radiación: En el caso de los materiales, la eficiencia en la absorción y/o emisión de radiación dependerá de que la transición entre niveles energéticos sea directa o indirecta.

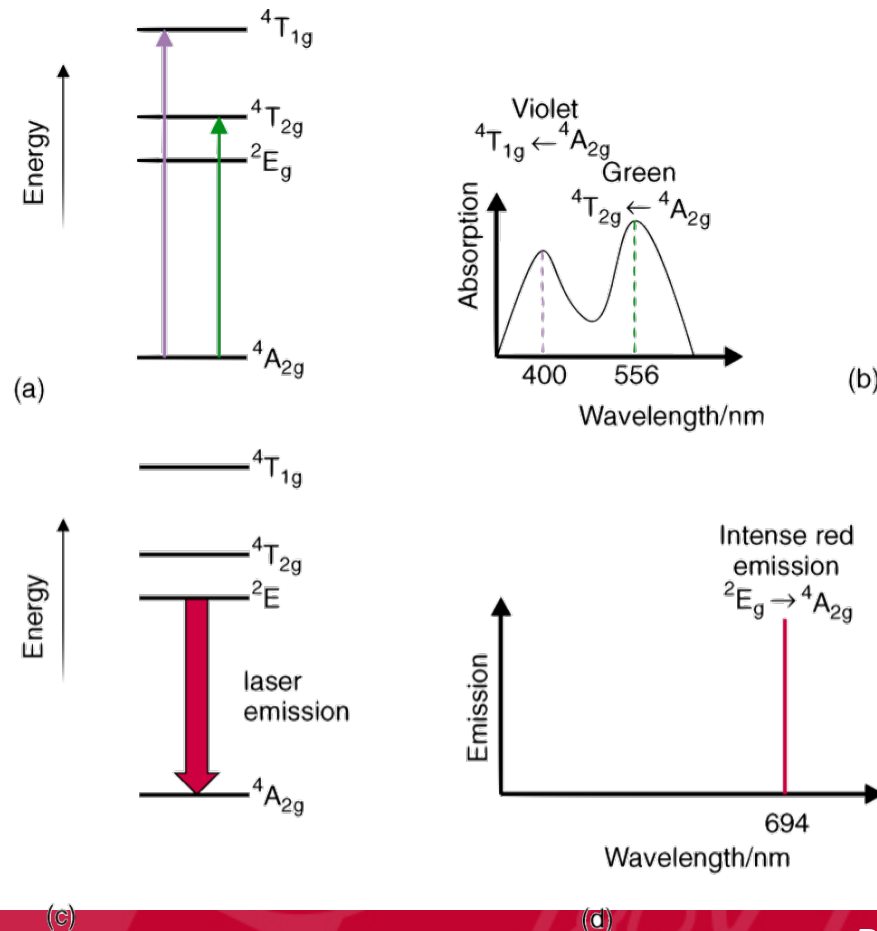
Color y Apariencia



Emisión estimulada: Proceso por el cual un fotón de una frecuencia específica puede interactuar con un sistema excitado causando que el sistema pase a un estado desexcitado. La liberación de energía crea un nuevo fotón con la misma fase, frecuencia, polarización y dirección que el fotón incidente.

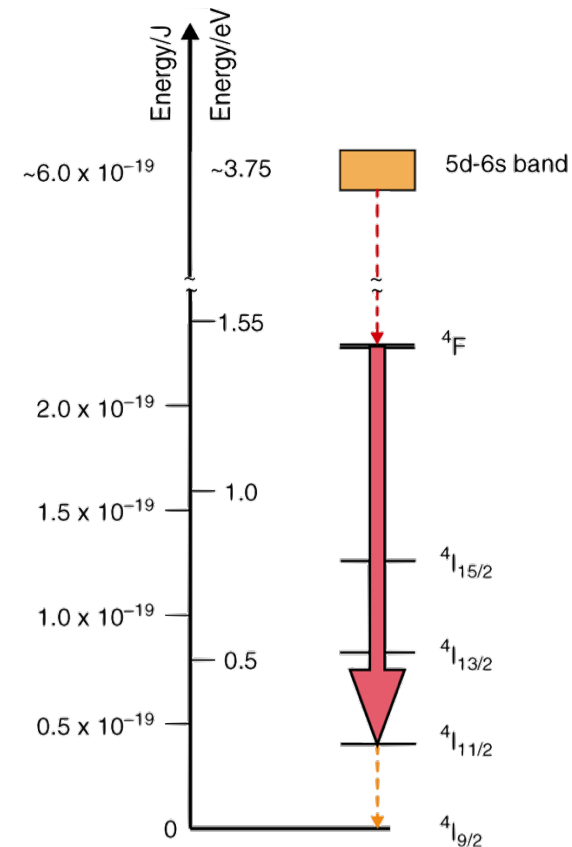
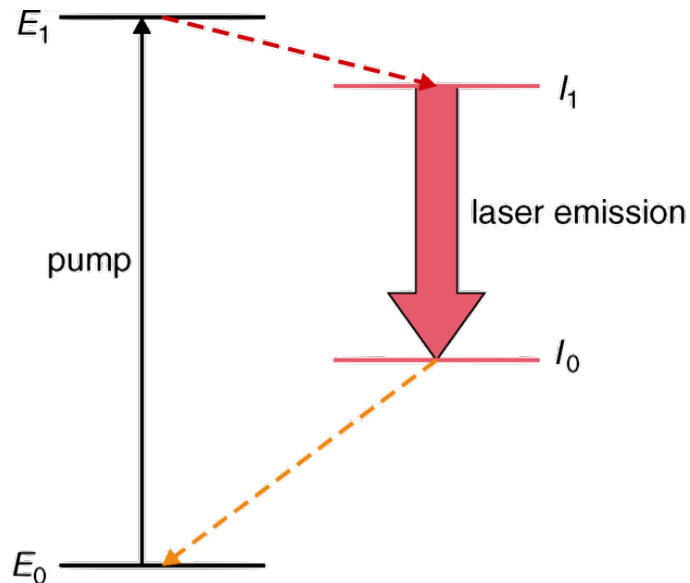
Color y Apariencia

Láser de Rubí: (a) Transición desde el estado fundamental ${}^4A_{2g}$ a los niveles excitados ${}^4T_{2g}$ y ${}^4T_{1g}$ que producen en típico color granate del rubí. (b) Espectro de absorción del rubí. (c) Transición desde el nivel 2E_g al estado fundamental. Esta transición es la responsable de la emisión láser. (d) Espectro de emisión láser.



Color y Apariencia

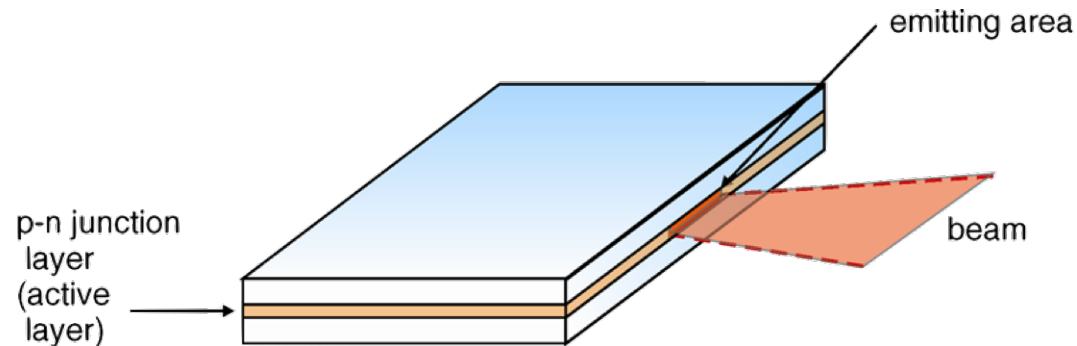
Láser de 4 Niveles: La transición láser ocurre entre dos estados energéticos intermedios (I_1 e I_0). La transición de bombeo se realiza entre los niveles E_0 y E_1 . Un ejemplo sería el láser de Nd:YAG. Aquí mostramos la transición en los átomos de Nd.



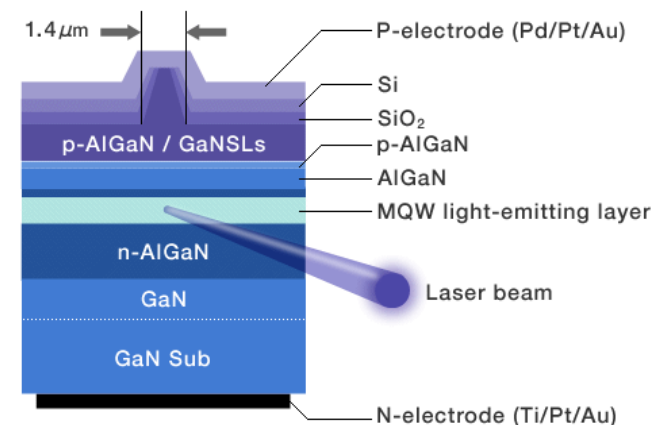
Color y Apariencia

Láser de Estado sólido:

Inventado por Robert Hall en 1962. Véase <http://www.youtube.com/watch?v=FAc5bXX4qog>



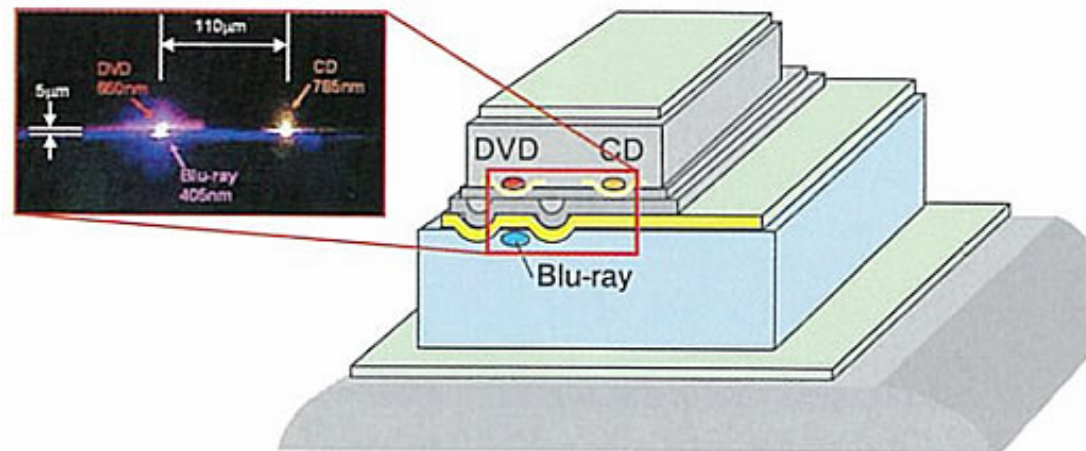
Ejemplo:



Color y Apariencia

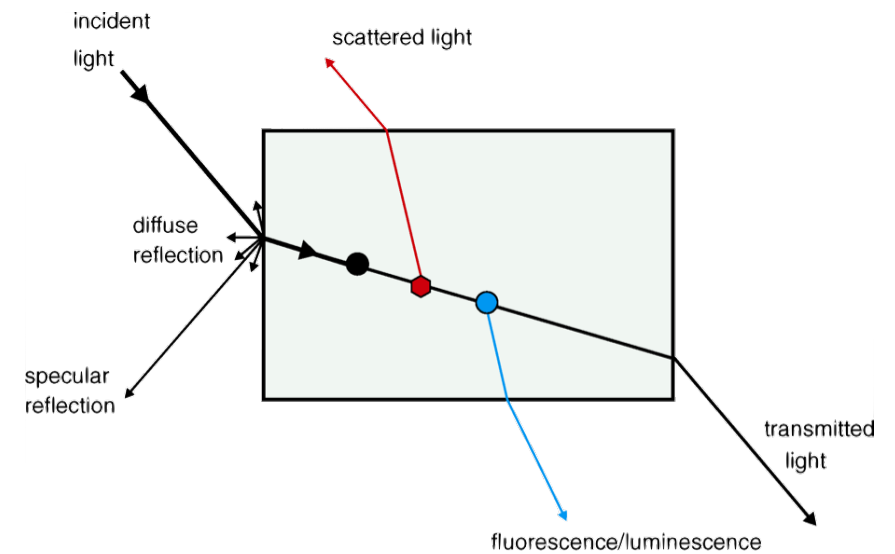
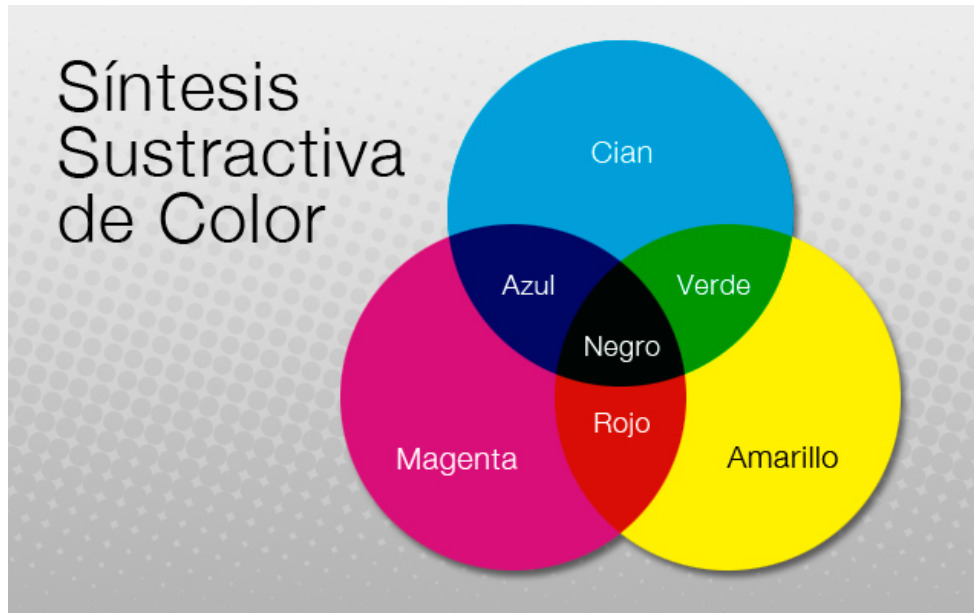
Láser de Estado sólido:

Sony ha conseguido acomodar tres láseres en una misma unidad para poder leer tres soportes completamente diferentes como un CD, un DVD y un BR. Dicha unidad ha sido integrada dentro de las famosas PLAYSTATION 3



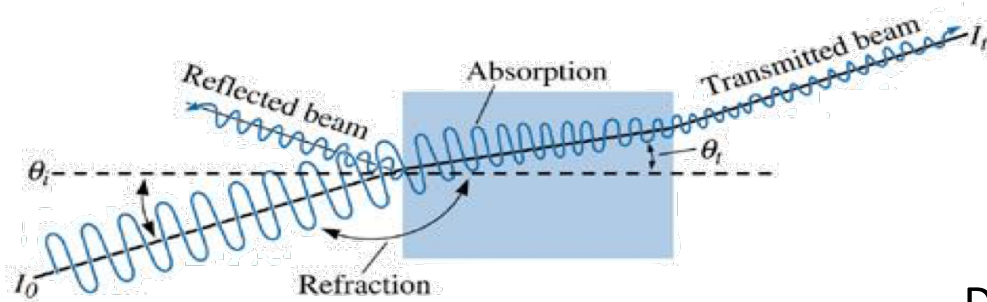
Estructura de una unidad triple láser.

Color y Apariencia



- fluorescence/luminescence centre
- absorption centre
- ◆ scattering centre

Ley de Beer-Lambert



Observe el cambio de dirección de la luz dentro del material

También podemos escribirla como :

$$1 = R + S + A + T$$

Donde....

$$\begin{aligned} I_R / I_0 &= R \\ I_S / I_0 &= S \\ I_A / I_0 &= A \\ I_T / I_0 &= T \end{aligned}$$

Ignorando procesos tales como la fluorescencia y la fosforescencia, ha de cumplirse que:

$$I_0 = I_R + I_S + I_A + I_T$$

Donde....

- I_0 = Intensidad incidente
- I_R = Intensidad reflejada
- I_S = Intensidad dispersada
- I_A = Intensidad absorbida
- I_T = Intensidad transmitida

Para materiales muy puros

$$I_0 = I_R + I_T$$

$$1 = R + T$$

Ley de Beer-Lambert

Aplicación: medidas ópticas de calidad del aire

Cuando los centros de absorción están distribuidos uniformemente en el material, la cantidad de radiación absorbida viene dada por la ley de Lambert

$$I = I_0 \exp(-\alpha_a l) \quad \text{Ley de Lambert}$$

Donde I es la intensidad transmitida, I_0 es la intensidad incidente, α_e el coeficiente de absorción lineal que dependerá de la concentración de centros absorbentes (tiene unidades de m^{-1}) y l es el espesor de la muestra.

$$\log \left(\frac{I}{I_0} \right) = -\varepsilon [J] l = -A$$

Ley de Beer - Lambert

$$\log T = -A$$

I_0 = Intensidad incidente

I = Intensidad transmitida

$[J]$ = concentración molar de centros de absorción

l = espesor de la muestra

ε = coeficiente de absorción molar o coeficiente de extinción.

Tiene unidades de $[\text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{m}^{-1}]$ o $[\text{l mol}^{-1} \text{m}^{-1}]$.

A = Absorbancia de un material o densidad óptica.



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

PROPIEDADES ÓPTICAS