

Interacción de la Luz y la materia (Einstein)

- Supongamos un sistema (un gas por ejemplo) con niveles de energía $E_1, E_2, E_3 \dots$ y que este Sistema tiene $N_1, N_2, N_3 \dots$ átomos en estos niveles

- Si el sistema está en equilibrio con radiación electromagnética a temperatura T , entonces el numero de **absorciones y emisiones es igual** y la población entre dos estados viene dada por:

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp[-(E_2 - E_1) / K_B T] = \exp[-h\nu / K_B T]$$

- Además, el número de absorciones (transiciones de N_1 a N_2) están dadas por:

$$N_{\text{abs}} = B_{12} \rho_\nu N_1$$

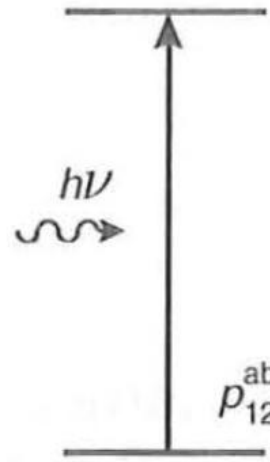
Coeficiente de Einstein para la absorción

- y el número de emisiones (transiciones de N_2 a N_1) viene dado por:

$$N_{\text{esp}} = A_{21} N_2$$

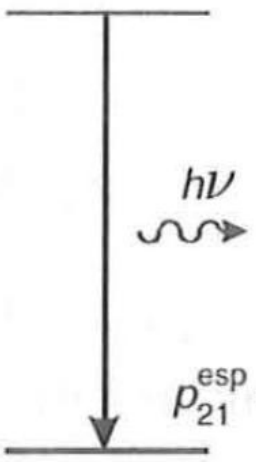
Coeficiente de Einstein para la emisión espontánea

Absorción de un fotón



$$\rho_{12}^{\text{abs}} = B_{12} \rho_\nu$$

Emisión espontánea



$$\rho_{21}^{\text{esp}} = A_{21}$$

P_{12} = probabilidad de pasar del nivel 1 al 2
 P_{21} = probabilidad de pasar del nivel 2 al 1

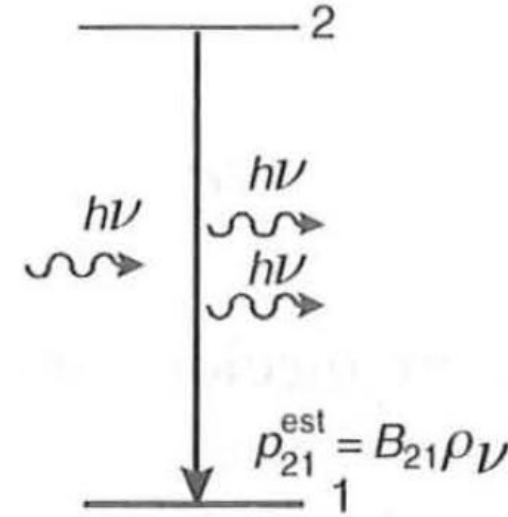
No se llega a la ley de planck. falta algo...

$$A_{21} N_2 = B_{12} \rho_\nu N_1$$

$$\rho_\nu = \frac{A_{21} N_2}{B_{12} N_1} = \frac{A_{21}}{B_{12} \exp[h\nu / K_B T]}$$

Emisión de fotones estimulada

Emisión Estimulada de un fotón



- Falta un proceso extra que es el de emisión estimulada. Aquí un fotón estimula el decaimiento (transición entre los estados E_2, E_1) emitiendo un nuevo fotón.

- Lo más fundamental de este proceso es que el **fotón emitido** está **en fase** con el incidente, de esta forma estos fotones forman una **radiación** que es **coherente** temporalmente.

-El número de emisiones estimuladas viene dado por:

$$N_{\text{est}} = B_{21} \rho_{\nu} N_2$$

↙ **Coficiente de Einstein para la emisión etimulada**

-Entonces la nueva condición de equilibrio termodinámico toma la forma:

$$A_{21} N_2 + B_{21} \rho_{\nu} N_2 = B_{12} \rho_{\nu} N_1$$

-Esto conduce a la ley:

$$\rho_{\nu} = \frac{A_{21}}{B_{21}} \frac{1}{\frac{B_{12}}{B_{21}} e^{h\nu/K_B T} - 1}$$

-Entonces, para que valga la ley de Planck debemos tener:

$$\frac{B_{12}}{B_{21}} = 1$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}$$

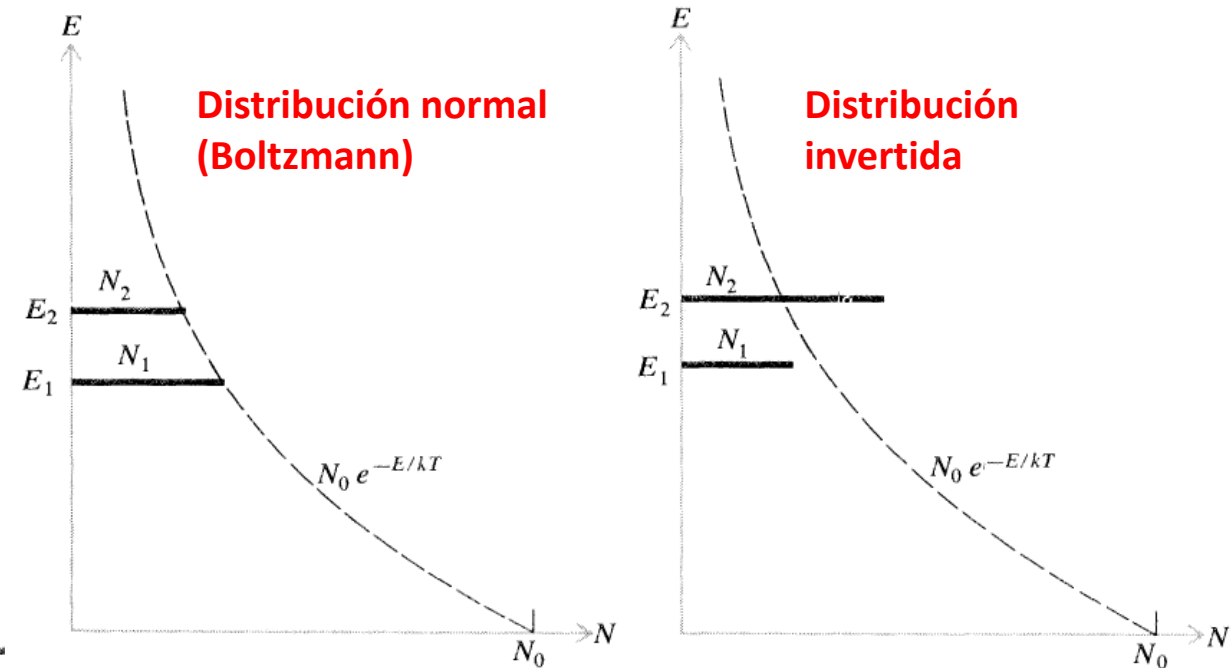
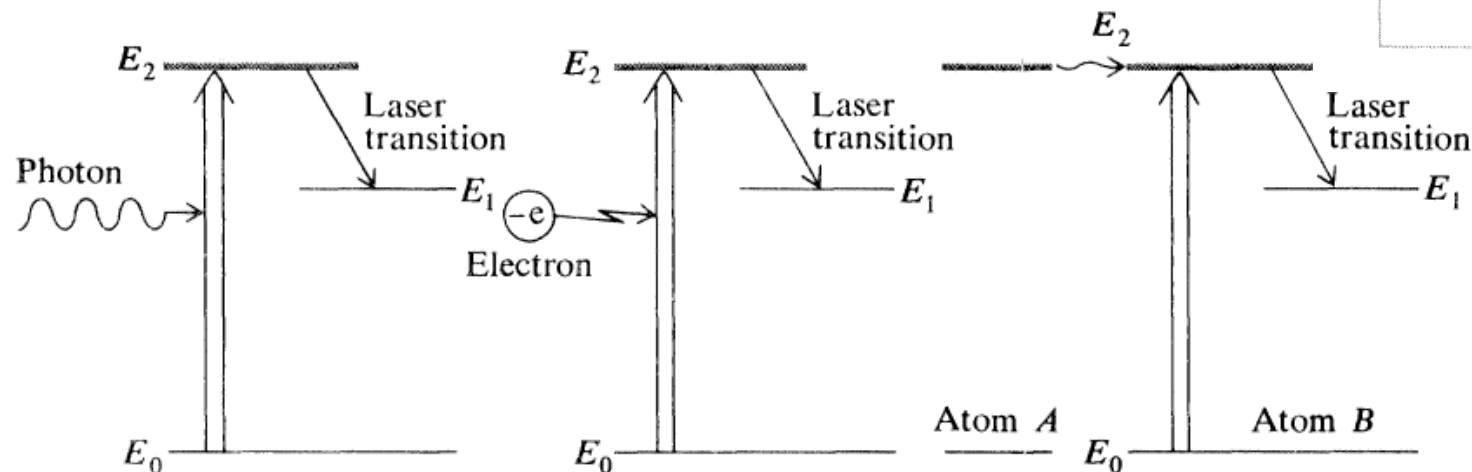
Aumento de la emisión estimulada: inversión de la población

- Para formar un **LASER** (Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) hace falta realizar una **inversión de la población**, es decir que muchos átomos estén en estados excitados. De esta forma, al exponer el sistema a radiación externa la tasa de **emisión estimulada** será **mucho mayor** a la de **absorción** y a la de **emisión espontánea**.

-En general el mecanismo físico que lleva a la inversión de la población se denomina **pumping**.

- Esta inversión de la población se puede obtener de varias maneras:

- (1) Optical pumping or photon excitation
- (2) Electron excitation
- (3) Inelastic atom-atom collisions
- (4) Chemical reactions



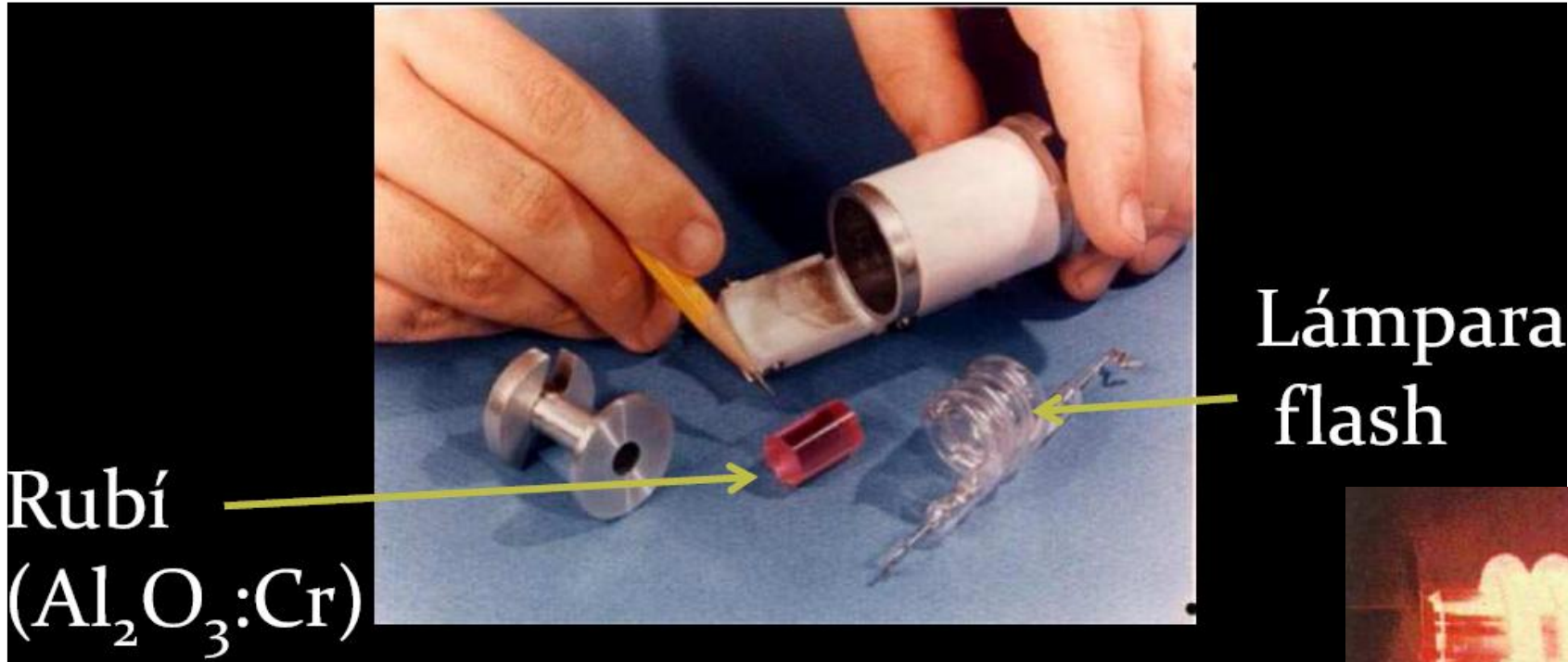
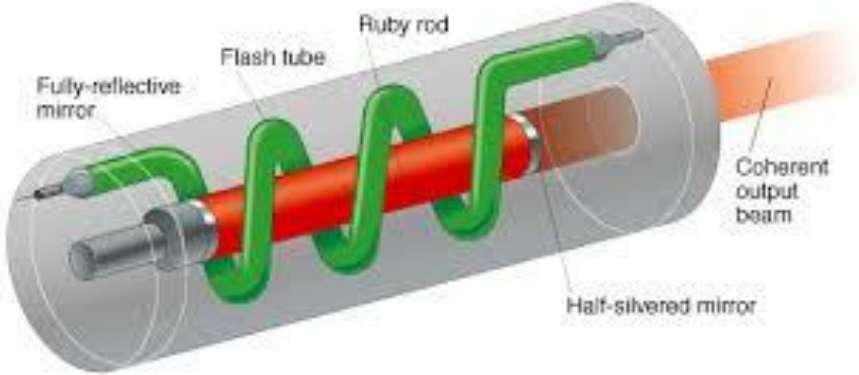
- El laser es una fuente de luz altamente coherente y monocromática originada por la emisión de luz por los átomos

Elementos básicos del láser



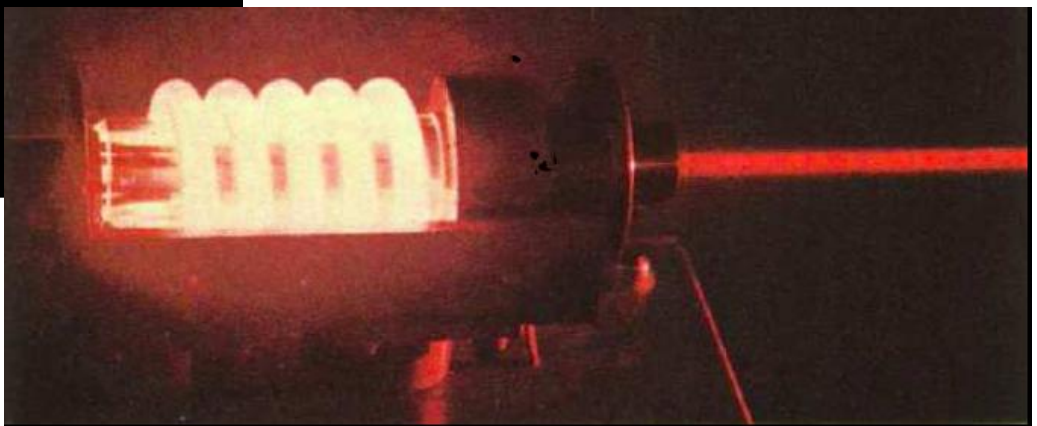
LASER de Rubi

- En este LASER se utiliza un sólido (rubi) para emitir la luz de 694.3 nm (color rojo). Fue el primer LASER desarrollado (en 1960).
- Aquí se utiliza una fuente de luz (flash) para excitar los átomos de Rubi. Luego, mediante la utilización de espejos, se puede producir la emisión estimulada.



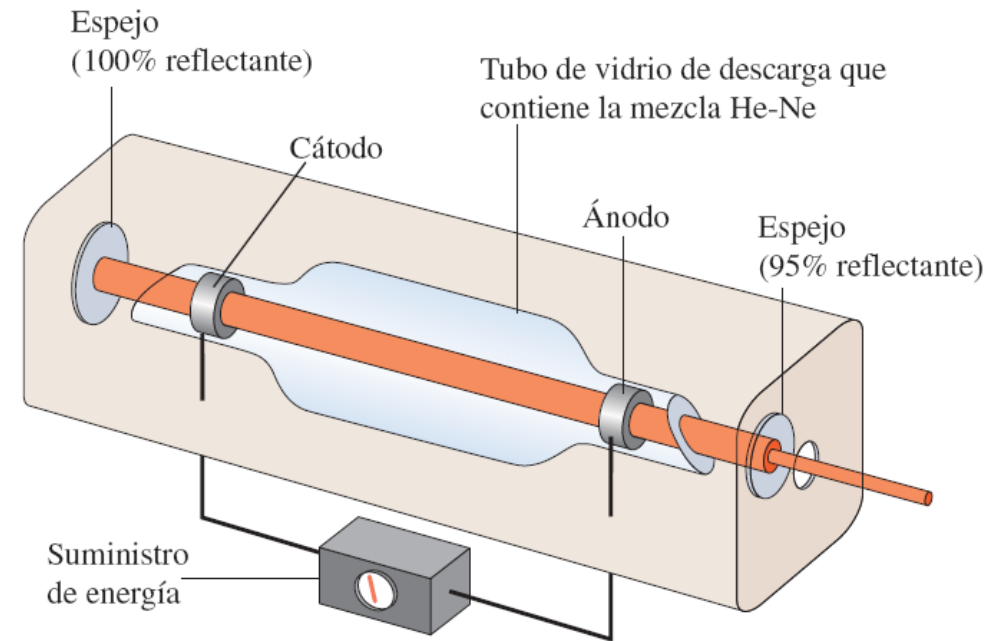
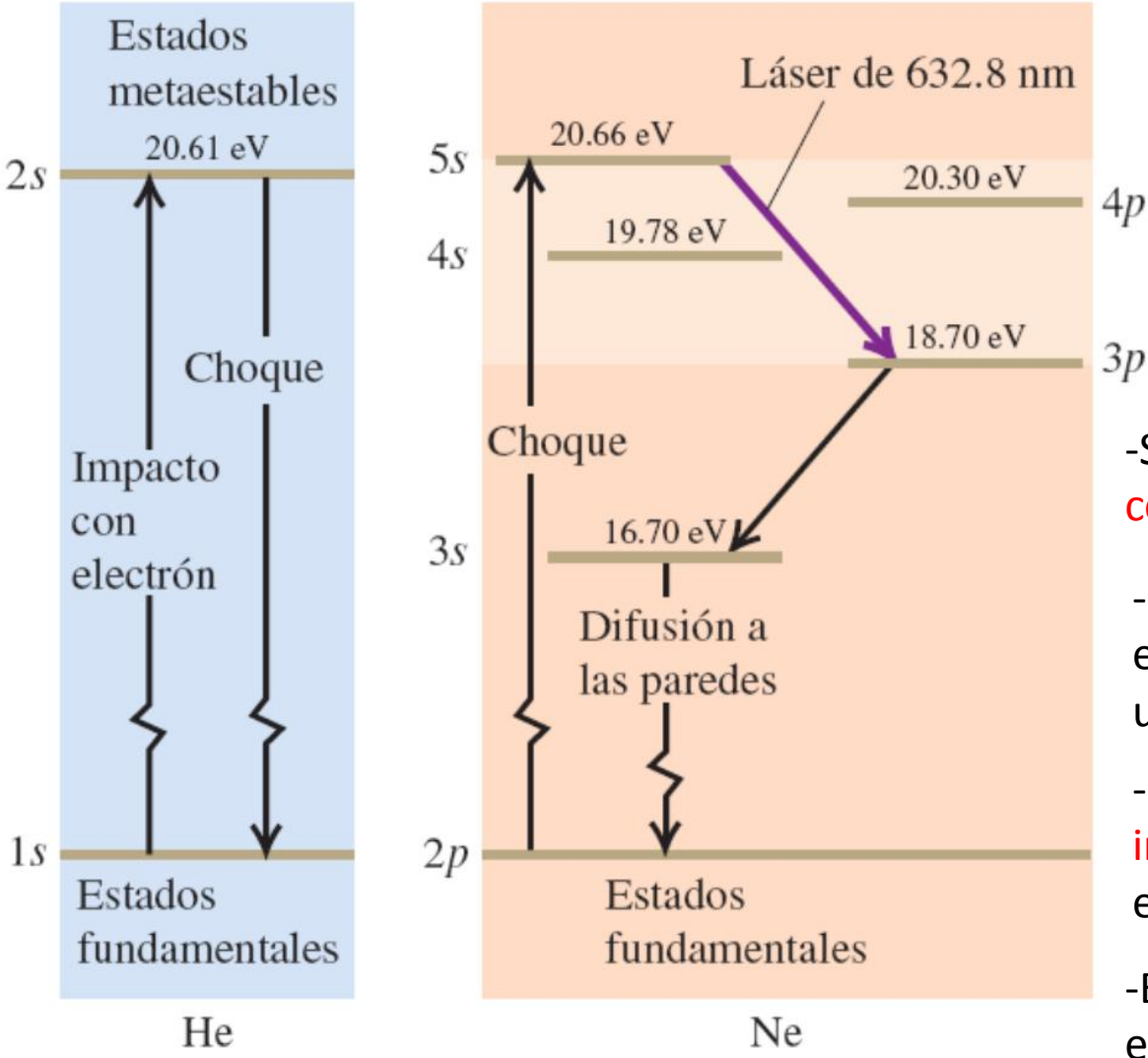
Rubí
($Al_2O_3:Cr$)

Lámpara
flash



LASER de Helio-Neón

-Mezcla de gases Helio-Neón a bajas presiones (10^{-3} atm).
La razón del He al Ne es $\sim 7:1$.



- Se aplica un **voltaje** hasta que se produce una **descarga**. Entonces la **colisión** de los átomos de **He** con los **electrones** excita los átomos de **He**.
- Esos estados no decae rápidamente por emisión espontánea, entonces los **átomos de He se apilan en el estado 2s** produciendo una **inversión de la población**.
- Colisiones He-Ne excitan los átomos de Ne**, produciendo una **inversión de la población en el Ne**. Entonces el **Ne decae** por emisión estimulada, produciendo **luz coherente**.
- En la práctica se ubican espejos a fin de que se produzca la emisión estimulada de la mayoría de los átomos de Ne.

Fluorescencia

- La fluorescencia es la absorción de luz a una dada long. de onda, y la emisión de luz a una long de onda diferente.
- En muchos casos la fluorescencia es utilizada para convertir luz ultravioleta (que no vemos) en luz visible.
- La fluorescencia también se utiliza en los tubos de neón de las señales y carteles.
- La fluorescencia es un proceso rápido ($\sim 10^{-7}$ seg.)

Muestras de laboratorio fluorescentes

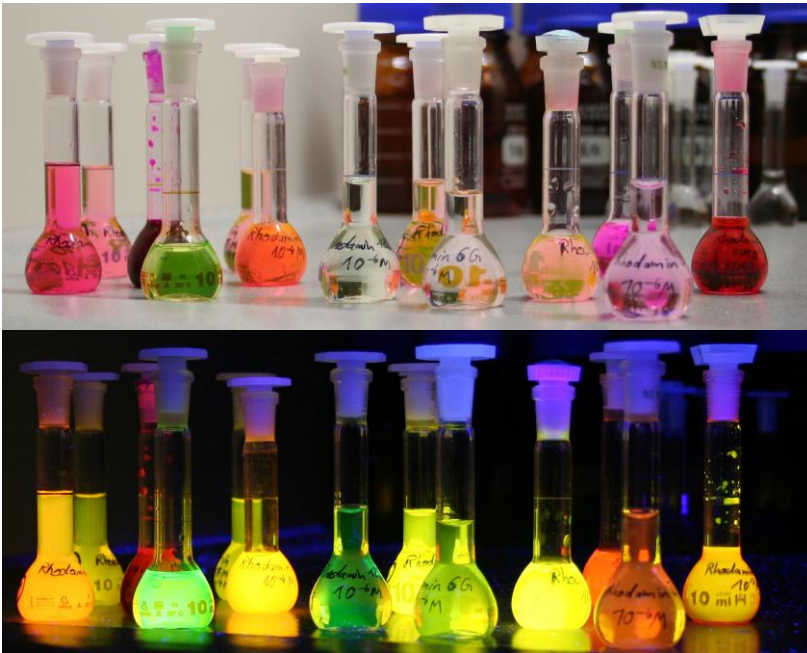
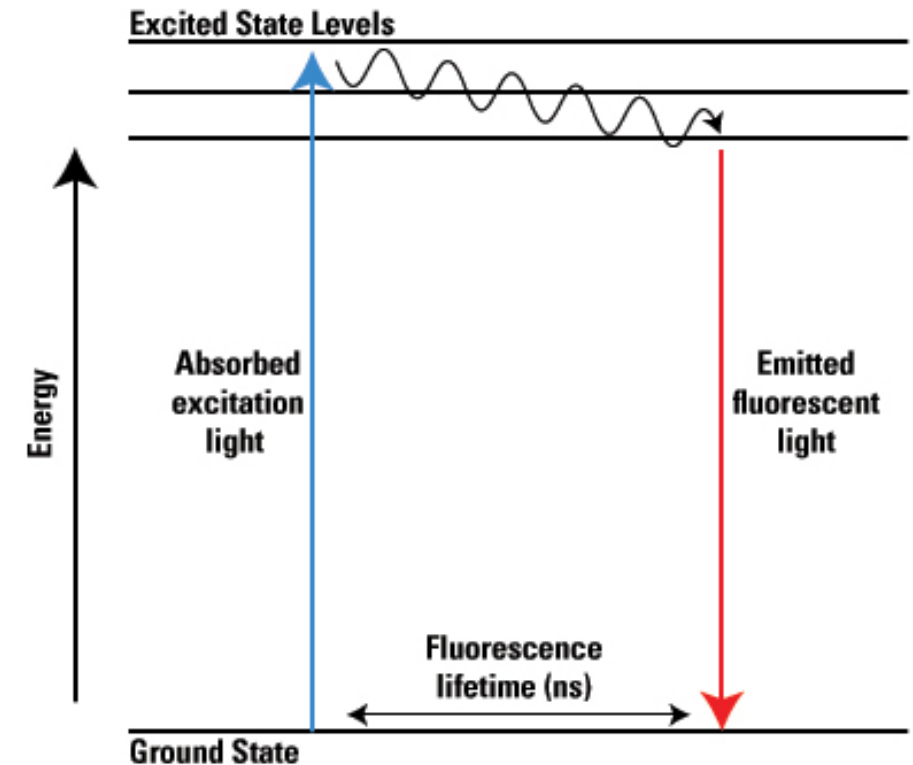


Diagrama de energías

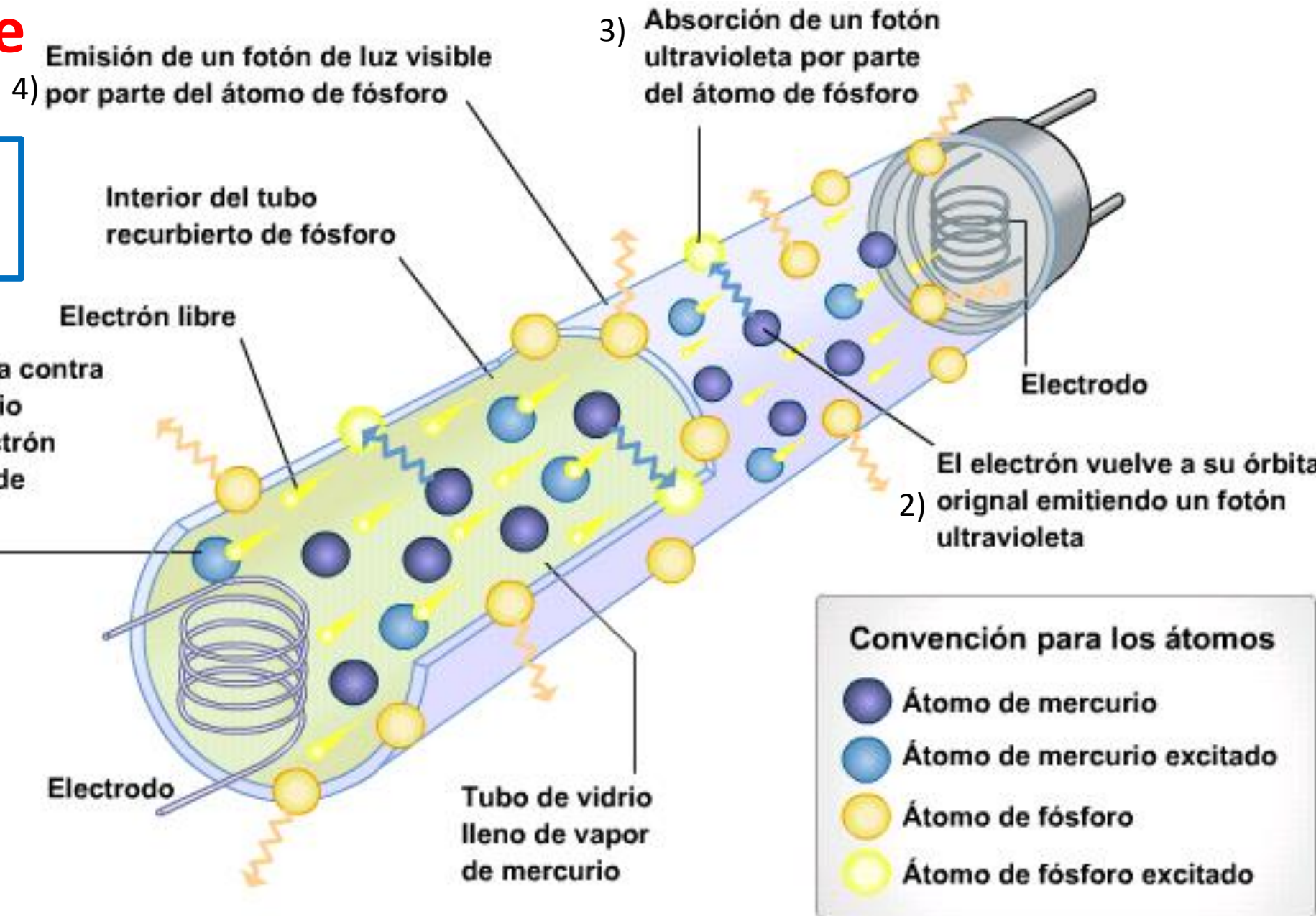


Tubo fluorescente

- Generalmente los tubos también tienen un gas inerte (como Argón) que permite la descarga eléctrica.

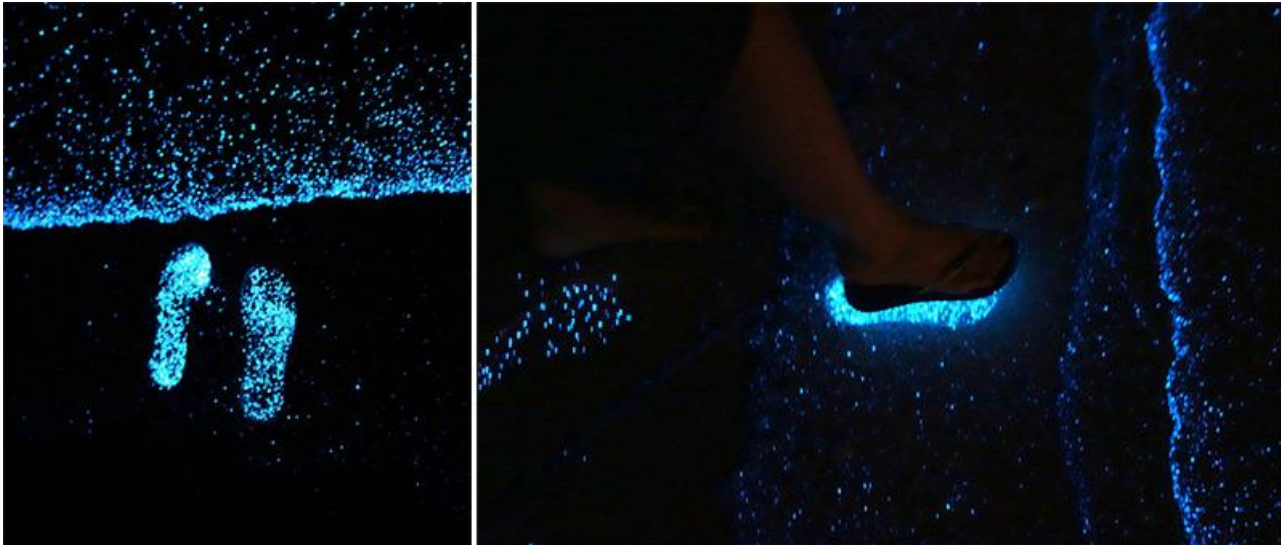
Notar que las lámparas fluorescentes no emiten luz coherente como el LASER.

- Tubos blancos fríos tienen fósforo que emiten luz en la región azul-amarillo. Los tubos blancos cálidos emiten con una componente en el naranja-rojo.



plancton fluorescente (bio-luminicencia)

- El alga el *Lingulodinium polyedrum* se torna fluorescente bajo algún estrés externo. Entonces el alga emite luz cuando se rompen las olas, o se remueve el agua en la que se encuentra.



Islas Maldivas



Fosforecencia

- La fosforecencia es similar a la fluorecencia. Sin embargo la emisión de fotones en la fosforecencia es mucho más lenta. De esta forma los materiales fosforescentes pueden emitir luz, aún cuando la fuente de iluminación externa se hubiera apagado.



Aplicación típica en relojes



- En la fosforecencia, el átomo queda atrapado en un estado metastable muy largo, tal que le toma mucho tiempo volver al fundamental.

