

## Naturaleza de la luz

### Naturaleza de la luz – Breve introducción

#### Filósofos griegos

- Empédocles, Euclides, Platón y Aristóteles (500BC - 300BC)
  - La luz es proyectada desde los ojos y se refleja en los objetos.
  - Euclides (300BC) → En “Óptica” postula que la luz viaja en línea recta y estudió la reflexión.
  - En Grecia también se estudia la refracción de la luz.



#### Lucrecio (55 BC)

- En su libro “Acerca de la naturaleza del Universo” escribió: La Luz y el calor del Sol consisten en diminutas ‘átomos’, que viajan en línea recta → La luz proviene del Sol.
- Ptolomeo (140AD) → Estudió la refracción de la luz en la atmósfera a partir de observaciones de las estrellas



### Naturaleza de la luz – Breve introducción

#### Teoría de ondas I

- En 1678 Christiaan Huygens publica el libro “Traite de la Lumiere” entre otros, con los siguientes capítulos:

- Acerca de los rayos propagados en línea recta
- Acerca de la reflexión
- Acerca de la refracción
- Acerca de la refracción en el aire

- Huygens → Formula una teoría de ondas de la luz....como las ondas sonoras

- Problema?
  - Se necesita un medio de propagación.....Ether

#### TREATISE ON LIGHT

In which are explained  
The causes of that which occurs  
In REFLECTION, & In REFRACTION  
And particularly  
In the strange REFRACTION  
OF ICELAND CRYSTAL

By

CHRISTIAAN HUYGENS

Rendered into English

By

SILVANUS P. THOMPSON

### Naturaleza de la luz – Breve introducción

#### Luz

- “1. f. Agente físico que hace visibles los objetos.  
2. f. Claridad que irradian los cuerpos en combustión, ignición o incandescencia.  
11. f. Fis. Onda electromagnética en el espectro visible.” RAE
- “c : electromagnetic radiation of any wavelength that travels in a vacuum with a speed of about 186,281 miles (300,000 kilometers) per second; specifically : such radiation that is visible to the human eye” Merriam–Webster

#### Se han desarrollado diferentes teorías:

- Filósofos griegos
- Teoría de ondas: I y II
- Teoría de partículas: I y II
- Teoría de dualidad (partícula-onda)



### Naturaleza de la luz – Breve introducción

#### Luz

- “1. f. Agente físico que hace visibles los objetos.  
2. f. Claridad que irradian los cuerpos en combustión, ignición o incandescencia.  
11. f. Fis. Onda electromagnética en el espectro visible.” RAE
- “c : electromagnetic radiation of any wavelength that travels in a vacuum with a speed of about 186,281 miles (300,000 kilometers) per second; specifically : such radiation that is visible to the human eye” Merriam–Webster

#### Se han desarrollado diferentes teorías:

- Filósofos griegos
- Teoría de ondas: I y II
- Teoría de partículas: I y II
- Teoría de dualidad (partícula-onda)

### Naturaleza de la luz – Breve introducción

#### Teoría de ondas I

- Huygens → La luz se propaga de manera sucesiva como ondas esféricas. Cada región de luminosidad de un objeto crea su propia onda.

- “Thus in the flame of a candle, having distinguished the points A, B, C, concentric circles described about each of these points represent the waves which come from them.”

- La luz se propaga en el éter, una sustancia que adapta sus características (dureza y suavidad) para permitir que la luz se propague en todas las direcciones.....?????

- El éter permite la reflexión y refracción, además que la luz viaje en línea recta.

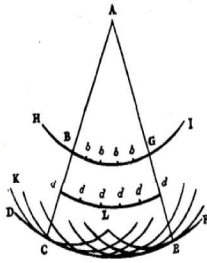


## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Teoría de ondas I

Huygens → *El éter permite la reflexión y refracción, además que la luz viaje en línea recta???????*

Huygens → En el borde..... "a wave ought to spread in such a way that its extremities lie always between the same straight lines drawn from the luminous point. Thus the portion BG of the wave, having the luminous point A as its centre, will spread into the arc CE bounded by the straight lines ABC, AGE"



## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Luz

- 1. f. Agente físico que hace visibles los objetos.
- 2. f. Claridad que irradian los cuerpos en combustión, ignición o incandescencia.
- 1. f. Fis. Onda electromagnética en el espectro visible." RAE
- "c : electromagnetic radiation of any wavelength that travels in a vacuum with a speed of about 186,281 miles (300,000 kilometers) per second; specifically : such radiation that is visible to the human eye" Merriam-Webster

### Se han desarrollado diferentes teorías:

- Filósofos griegos
- Teoría de ondas: I y II
- Teoría de partículas: I y II**
- Teoría de dualidad (partícula-onda)

## Naturaleza de la luz – Breve introducción

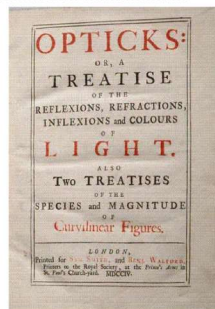
### Teoría de partículas I

En 1703 Newton publica el libro "Opticks."

- Los rayos de luz son líneas rectas que conectan la fuente de iluminación con el punto iluminado. Los rayos viajan en líneas rectas.
- La luz es un flujo de pequeñas partículas llamadas corpúsculos (Corpuscles)
- No necesita medio para transportarse

### Propiedades

- Reflexión
- Refracción
- Dispersión
- Movimiento en línea recta

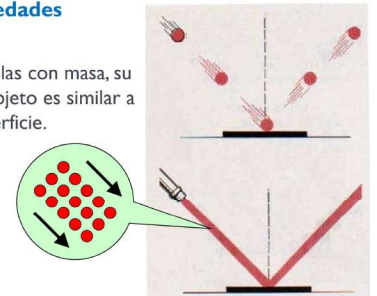
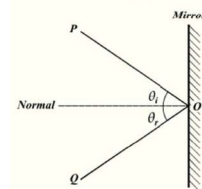


### Teoría de partículas I - Propiedades

#### Reflexión

- Dado que la luz contiene partículas con masa, su comportamiento al chocar un objeto es similar a un balón rebotar sobre una superficie.

#### En un espejo

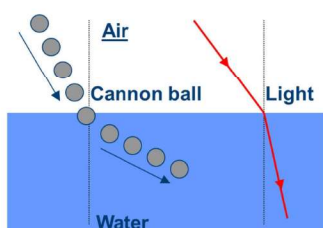


## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Teoría de partículas I - Propiedades

#### Refracción

- Al igual cuando un balón golpea la superficie del agua, esta le aplica una fuerza contraria que le desvía su trayectoria y le reduce la velocidad.....  
la velocidad de la luz cambia con los medios → física mecánica

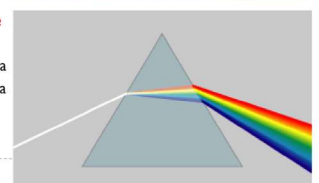
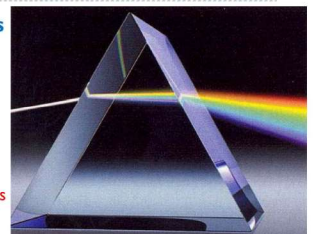


## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Teoría de partículas I - Propiedades

#### Dispersión

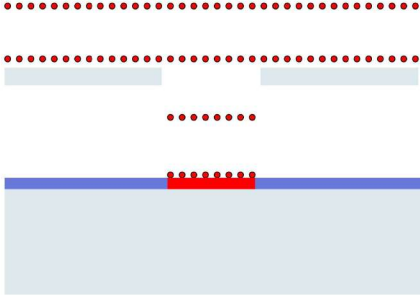
- Newton experimento con la descomposición de la luz del sol mediante prismas
- Newton → ¿por qué se separa la luz?
- Las partículas de la luz de diferentes colores tienen diferentes masas.
- Al pasar por el prisma que aplica la misma refracción. Las partículas con mas inercia se refractan menos
  - Rojo se refracta menos por tener mayor masa
  - Violeta se refracta mas por tener menor masa



## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Teoría de partículas I - Propiedades

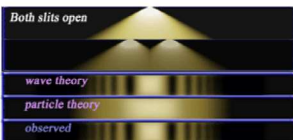
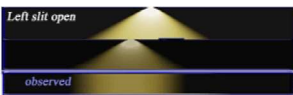
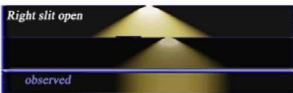
Movimiento en línea recta



Newton → La luz no se curva en la sombras

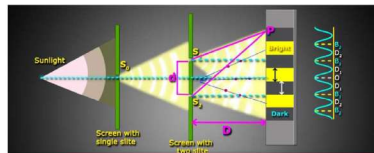
## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Teoría de ondas II



Experimental el fenómeno de interferencia en la luz de la teoría ondas en contra de la teoría de

*Double-Slit experiment* → La luz demuestra su comportamiento de onda al interferirse destructivamente y constructivamente entre las placas. Resultando que en la última placa se muestre un patrón Brillo-Oscuridad-Brillo-Oscuridad....Sustentado matemáticamente por Fresnell, Poisson, Fraunhofer, entre otros.



## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Luz

- ▶ "1. f. Agente físico que hace visibles los objetos.  
2. f. Claridad que irradian los cuerpos en combustión, ignición o incandescencia.  
11. f. Fís. Onda electromagnética en el espectro visible." RAE
- ▶ "c : electromagnetic radiation of any wavelength that travels in a vacuum with a speed of about 186,281 miles (300,000 kilometers) per second; specifically : such radiation that is visible to the human eye" Merriam-Webster

▶ Se han desarrollado diferentes teorías:

- ▶ Filósofos griegos
- ▶ Teoría de ondas: I y II
- ▶ Teoría de partículas: I y II
- ▶ Teoría de dualidad (partícula-onda)

## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Luz

- ▶ "1. f. Agente físico que hace visibles los objetos.  
2. f. Claridad que irradian los cuerpos en combustión, ignición o incandescencia.  
11. f. Fís. Onda electromagnética en el espectro visible." RAE
- ▶ "c : electromagnetic radiation of any wavelength that travels in a vacuum with a speed of about 186,281 miles (300,000 kilometers) per second; specifically : such radiation that is visible to the human eye" Merriam-Webster

▶ Se han desarrollado diferentes teorías:

- ▶ Filósofos griegos
- ▶ Teoría de ondas: I y II
- ▶ Teoría de partículas: I y II
- ▶ Teoría de dualidad (partícula-onda)

## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Teoría de ondas II

▶ En 1862 James Clerk Maxwell encontró que la luz y las ondas electromagnéticas de su teoría y ecuaciones tenían la misma velocidad. En 1864 publicó un manuscrito describiéndolas

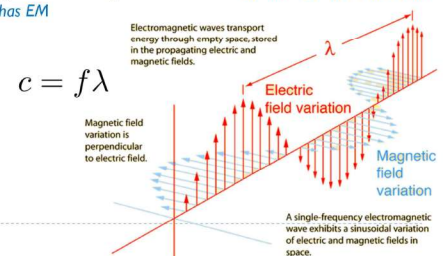
*This velocity is so nearly that of light that it seems we have strong reason to conclude that light itself (.....) is an electromagnetic disturbance in the form of waves propagated through the electromagnetic field according to electromagnetic laws. → La luz es una radiación electromagnética... existen muchas EM*

$$1. \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$$

$$2. \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$3. \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

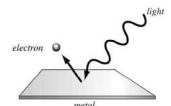
$$4. \nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$$



## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### Teoría de partículas II

▶ En 1905 Albert Einstein publicó "On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light", donde investigó el efecto foto-eléctrico → El experimento consiste en emitir luz en una placa de metal y cuantificar los electrones emitidos desde la placa

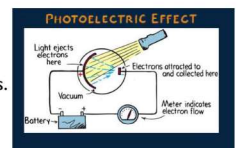


▶ Einstein → La luz consiste de pequeñas partículas llamadas **fotones**

▶ La energía del fotón depende de la longitud de onda de la luz ... constante de Planck

$$E = hf \quad E = \frac{hc}{\lambda}$$

▶ La energía del fotón se desprende los electrones.





## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### ► Luz

- “1. f. Agente físico que hace visibles los objetos.  
2. f. Claridad que irradian los cuerpos en combustión, ignición o incandescencia.  
11. f. Fis. Onda electromagnética en el espectro visible.” RAE
- “c : electromagnetic radiation of any wavelength that travels in a vacuum with a speed of about 186,281 miles (300,000 kilometers) per second; specifically : such radiation that is visible to the human eye” Merriam–Webster

### ► Se han desarrollado diferentes teorías:













- Filósofos griegos
- Teoría de ondas: I y II
- Teoría de partículas: I y II
- **Teoría de dualidad (partícula-onda)**

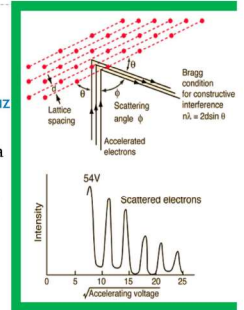
## Naturaleza de la luz – Breve introducción

### ► Teoría de dualidad (partícula-onda)

- En 1924 Louis de Broglie publicó su tesis doctoral “Researches on the quantum theory”, donde propuso una teoría de dualidad onda-partícula para la materia → **La luz fue uno de sus casos de aplicación**

- Efecto foto-eléctrico explica la parte de partícula de la onda.
- Experimento de Davisson-Germer explica la parte de onda de la partícula

Phenomenon	Can be explained in terms of waves	Can be explained in terms of particles
Reflection	 ✓	 ✓
Refraction	 ✓	 ✓
Interference	 ✓	 ✗
Diffraction	 ✓	 ✗
Polarization	 ✓	 ✗
Photoelectric effect	 ✗	 ✓



## Naturaleza de la luz – ¿Qué es la luz?

### ► Luz

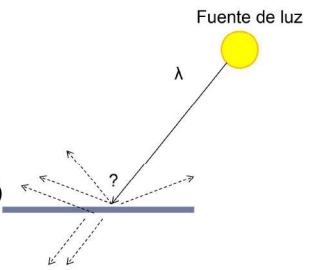
- **Es radiación Electromagnética la cual tiene una longitud de onda entre 400nm a 700nm**

### ► Propiedades de luz

- Absorción, Difusión, Reflexión, Transparencia, Refracción, Fluorescencia, Dispersión interna, Fosforescencia, Inter-reflexión,....

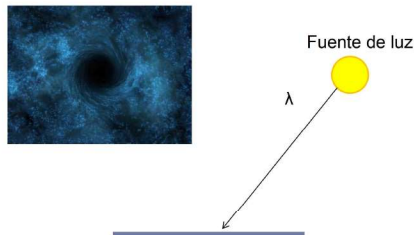
## Propiedades de la luz

- Absorción (**Absorption**)
- Difusión (**Diffusion**)
- Reflexión (**Reflection**)
- Transparencia (**Transparency**)
- Refracción (**Refraction**)
- Fluorescencia (**Fluorescence**)
- Dispersión interna (**Subsurface scattering**)
- Fosforescencia (**Phosphorescence**)
- Inter-reflexión (**Interreflection**)



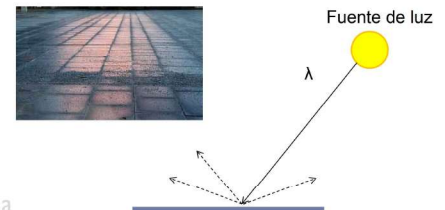
## Propiedades de la luz

- **Absorción**
- Difusión
- Reflexión
- Transparencia
- Refracción
- Fluorescencia
- Dispersión interna
- Fosforescencia
- Inter-reflexión



## Propiedades de la luz

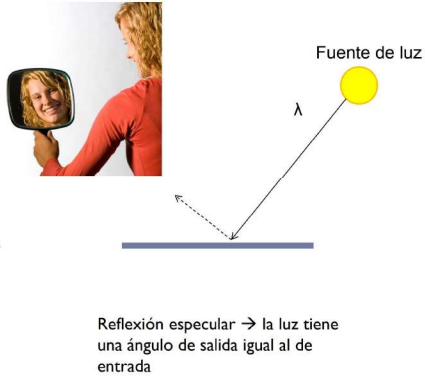
- Absorción
- **Difusión**
- Reflexión
- Transparencia
- Refracción
- Fluorescencia
- Dispersión interna
- Fosforescencia
- Inter-reflexión



Reflexión difusa → la luz se refleja en todas la direcciones....ladrillos, madera, ropa....

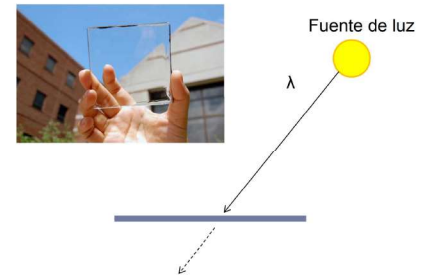
## Propiedades de la luz

- Absorción
- Difusión
- **Reflexión**
- Transparencia
- Refracción
- Fluorescencia
- Dispersión interna
- Fosforescencia
- Inter-reflexión



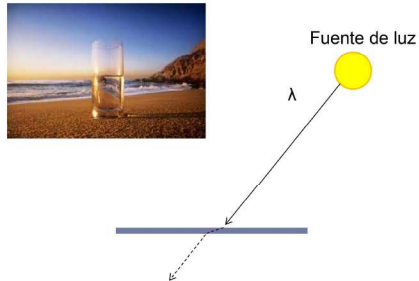
## Propiedades de la luz

- Absorción
- Difusión
- Reflexión
- **Transparencia**
- Refracción
- Fluorescencia
- Dispersión interna
- Fosforescencia
- Inter-reflexión



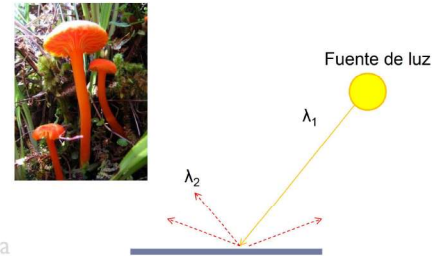
## Propiedades de la luz

- Absorción
- Difusión
- Reflexión
- Transparencia
- **Refracción**
- Fluorescencia
- Dispersión interna
- Fosforescencia
- Inter-reflexión



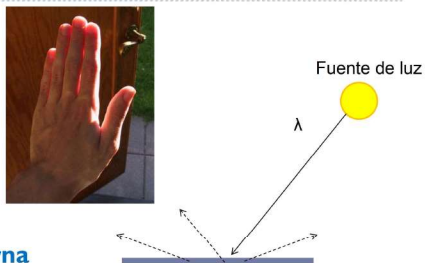
## Propiedades de la luz

- Absorción
- Difusión
- Reflexión
- Transparencia
- Refracción
- **Fluorescencia**
- Dispersión interna
- Fosforescencia
- Inter-reflexión



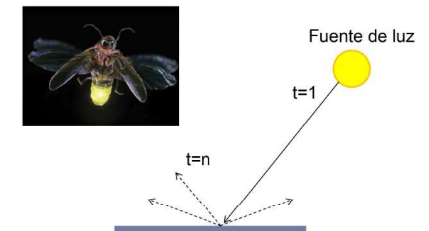
## Propiedades de la luz

- Absorción
- Difusión
- Reflexión
- Transparencia
- Refracción
- Fluorescencia
- **Dispersión interna**
- Fosforescencia
- Inter-reflexión



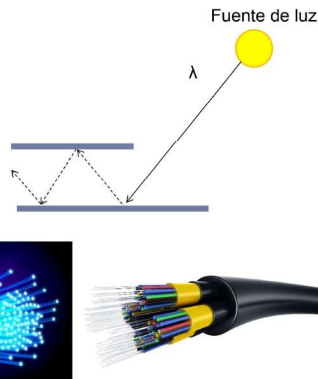
## Propiedades de la luz

- Absorción
- Difusión
- Reflexión
- Transparencia
- Refracción
- Fluorescencia
- Dispersión interna
- **Fosforescencia**
- Inter-reflexión



## Propiedades de la luz

- Absorción
- Difusión
- Reflexión
- Transparencia
- Refracción
- Fluorescencia
- Dispersión interna
- Fosforescencia
- **Inter-reflexión**



## Naturaleza de la luz – ¿Qué es la luz?

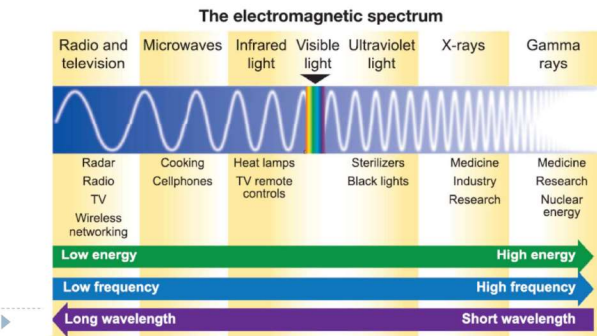
### ► Luz

- **Es radiación Electromagnética la cual tiene una longitud de onda () entre 400nm a 700nm**
- **Propiedades de luz**
  - Absorción, Difusión, Reflexión, Transparencia, Refracción, Fluorescencia, Dispersión interna, Fosforescencia, Inter-reflexión....
- **Generación de la luz**
  - Espectro Electromagnético → 400nm – 700nm
  - Radiación de cuerpos negros

## Naturaleza de la luz – ¿Qué es la luz?

### ► Luz

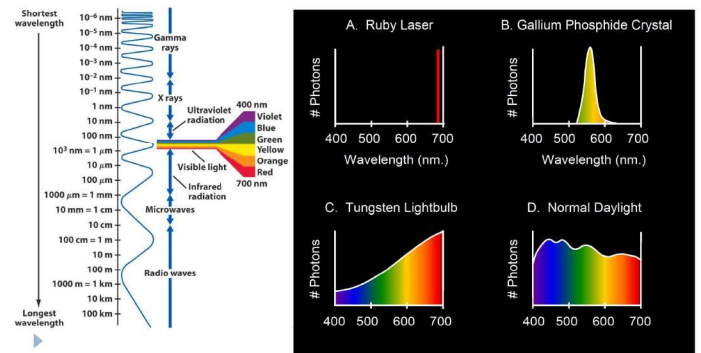
- **Es radiación Electromagnética la cual tiene una longitud de onda () entre 400nm a 700nm**



## Naturaleza de la luz – ¿Qué es la luz?

### ► Espectro electromagnético

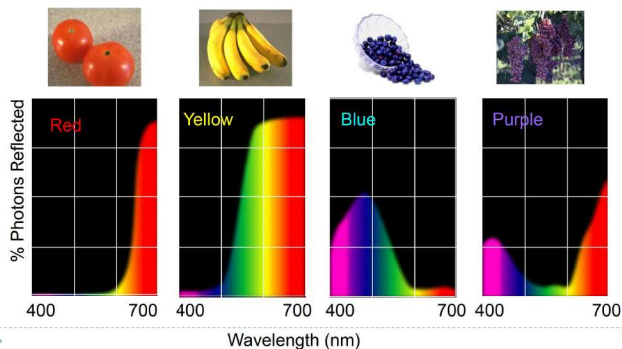
- **Ejemplos de espectros de fuentes de luz**



## Naturaleza de la luz – ¿Qué es la luz?

### ► Espectro electromagnético

- **Ejemplos de espectros de reflejos en superficies**



## Naturaleza de la luz – ¿Qué es la luz?

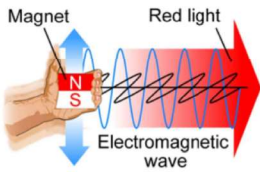
### ► Luz

- **Es radiación Electromagnética la cual tiene una longitud de onda () entre 400nm a 700nm**
- **Propiedades de luz**
  - Absorción, Difusión, Reflexión, Transparencia, Refracción, Fluorescencia, Dispersión interna, Fosforescencia, Inter-reflexión....
- **Generación de la luz**
  - Espectro Electromagnético → 400nm – 700nm
  - Radiación de cuerpos negros

## Naturaleza de la luz – Generación de luz?

### ► Generación de luz?

- ¿Es posible generar luz?
- Imán

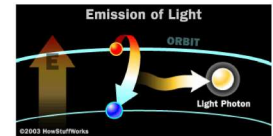
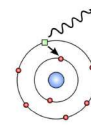


Si se bate (arriba y abajo) un imán 450 trillones de veces por segundo → luz roja (450 THz – 664.279 nm)

## Naturaleza de la luz – Generación de luz?

### ► Generación de luz?

- ¿Es posible generar luz?
- Calor



- Física cuántica
- Energía térmica
- Liberación de energía en longitudes de onda particulares

## Naturaleza de la luz – Generación de luz?

### ► Radiación de cuerpo negro

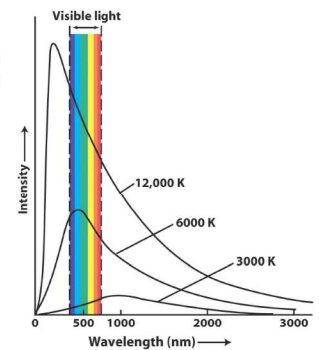
- Un cuerpo negro es un objeto hipotético capaz de absorber perfectamente toda la radiación electromagnética en cualquier longitud de onda
  - La radiación del cuerpo negro o fuente *Plackiana* (*Plackian source*) es resultado enteramente de su temperatura
  - Un cuerpo negro no refleja ninguna luz o EM en absoluto.
- La radiación de un cuerpo negro es dada por la formula de radiación de Plank:
 
$$E = W/m \quad E(\lambda) = \frac{2\pi\hbar c^2}{\lambda^5 (e^{\hbar c / K\lambda T} - 1)}$$

$T$  = Kelvins  
 $\hbar$  = Constante de Plack  
 $k$  = Constante de Boltzman

## Naturaleza de la luz – Generación de luz?

### ► Curva de Radiación de cuerpo negro

- Es la representación gráfica de la radiación emitida a varias longitudes de onda por un cuerpo negro a una temperatura dada
- A mayor temperatura → más corta la longitud de onda del pico
- A mayor temperatura → mayor la intensidad



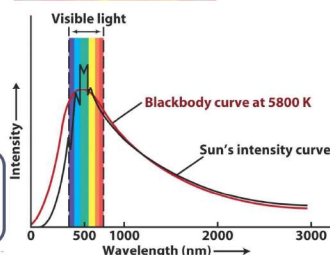
## Naturaleza de la luz – Generación de luz?

### ► Curva de Radiación de cuerpo negro

- Es la representación gráfica de la radiación emitida a varias longitudes de onda por un cuerpo negro a una temperatura dada
- A mayor temperatura → más corta la longitud de onda del pico
- A mayor temperatura → mayor la intensidad



Cámaras hiper espectrales → Infrarrojo del cuerpo humano



La radiación de cuerpo negro es útil para modelar fuentes de luz!

## Naturaleza de la luz – Generación de luz?

### ► Radiación de cuerpo negro

$$E = W/m \quad E(\lambda) = \frac{2\pi\hbar c^2}{\lambda^5 (e^{\hbar c / K\lambda T} - 1)}$$

$T$  = Kelvins  
 $\hbar$  = Constante de Plack  
 $k$  = Constante de Boltzman

### ► Ley de Wien

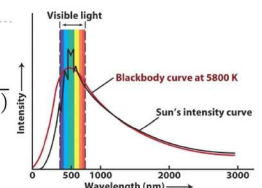
- La longitud de onda dominante de un cuerpo negro radiante es:

$$\lambda_{max} = \frac{2.8978 \times 10^{-5}}{T}$$

### ► Ley de Stefan-Boltzmann

- Indica el flujo de energía que radia un cuerpo negro
- Directamente proporcional a la temperatura

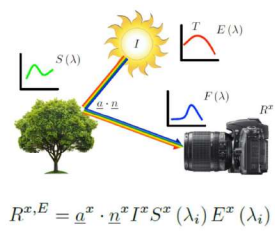
$$F = W/m^2 \quad F = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 \hbar^3} T^4$$





## Naturaleza de la luz – Aplicación

### ► Remover sombras



## Dealing with Shadows: Capturing Intrinsic Scene Appearance for Image-based Outdoor Localisation

Peter Corke Rohan Paul Winston Churchill Paul Newman