



# **Física de la Luz**

# LUZ

- ¿Qué es?
  - Fenómeno físico que, si está presente, permite el funcionamiento de uno de nuestros sentidos: *la visión*
  - Veamos una introducción...  
<https://www.youtube.com/watch?v=LloDuOGGk1M&feature=youtu.be>

## ¿Qué es la Luz?

- Es energía radiante
- Aquella que nuestros ojos perciben
- ¿Onda o partículas?

# LUZ - teorías

- Primitivas
- Corpuscular
- Ondulatoria
- Electromagnética, cuántica
  - unificada

# LUZ – teorías primitivas

- Euclides (siglo III a.C.)
  - Rayos emitidos por los ojos permiten la percepción de los objetos
- Aristóteles rechazaba esa teoría
  - Si nuestros ojos emiten los rayos
  - ¿por qué existe la obscuridad?

# LUZ – teorías primitivas

- Recién en el siglo X Al-Hacem (*físico y matemático árabe*) arrojó algo de luz:
  - Elementos emitidos por una fuente que chocan y rebotan en los objetos y luego llegan a nuestros ojos
- **Teoría corpuscular**
  - Isaac Newton, siglo XVII



# LUZ – teoría corpuscular

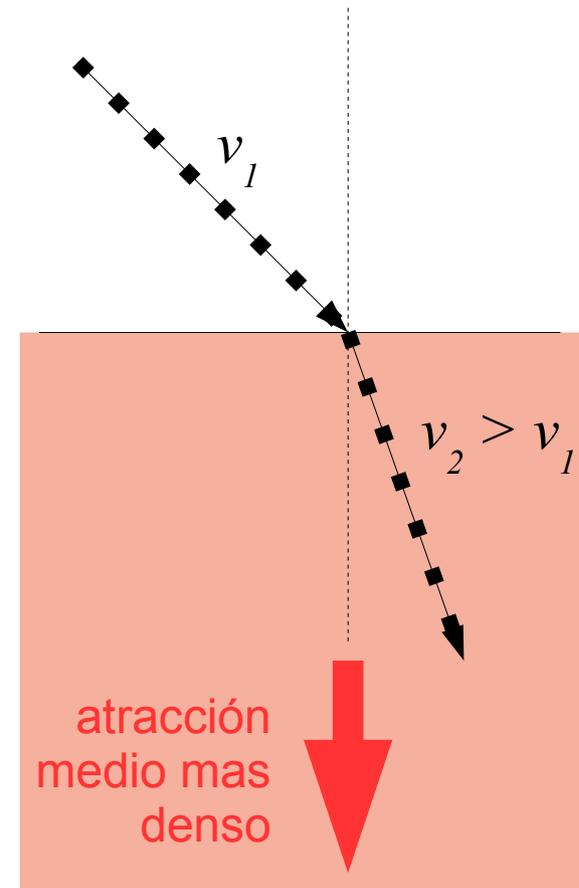


- Corpúsculos discretos
  - emitidos por fuentes de luz
  - en MRU
  - tamaño despreciable frente al resto de la materia
  - alta velocidad
- Chocan con los objetos y luego el ojo los percibe
- Un tipo distinto para cada color

# LUZ – teoría corpuscular

- Explica la presencia de sombras (propagación rectilínea)
- Explica la **reflexión**
- **NO** explica correctamente los fenómenos de **refracción**

Si el medio mas denso “atrae” las partículas en la dirección normal a la superficie, ocurre el cambio de dirección, pero también aumentaría la velocidad



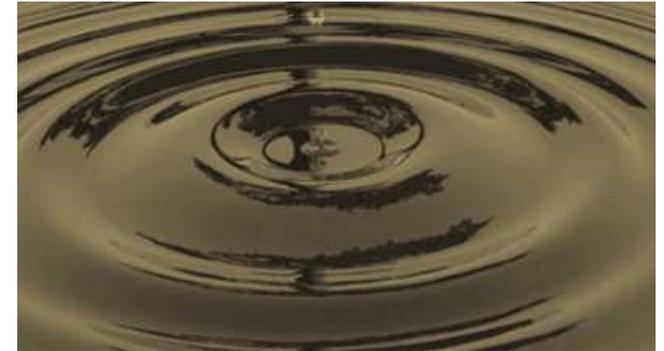
# LUZ – teoría ondulatoria



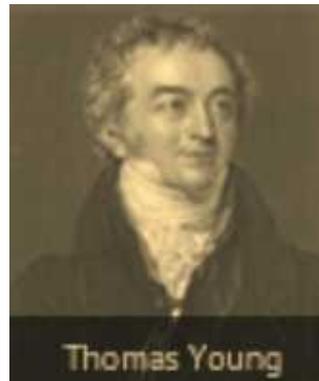
- **Teoría ondulatoria**
  - Christian Huygens, siglo XVII
- La luz resulta de la vibración del material de la fuente luminosa
- Se propaga por oscilación de los materiales (como el sonido)
  - espacio interestelar → “éter”
- Las vibraciones rebotan en los objetos y llegan al ojo que las percibe

# LUZ – teoría ondulatoria

- Las ondas
  - transportan energía
  - pero el medio *NO* viaja
- Refracción, interferencia, velocidad en medios mas densos son correctamente explicados



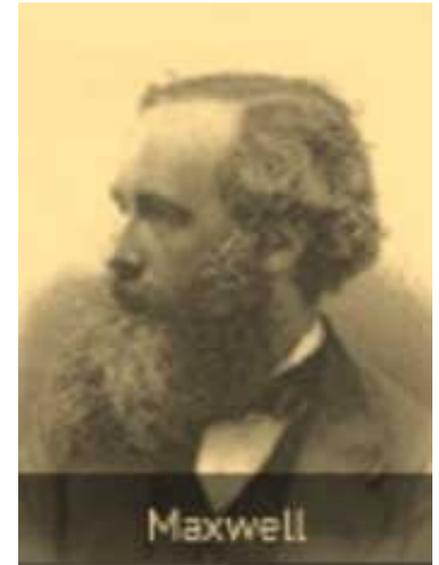
Thomas Young y Augustin Fresnel (siglo XIX)



- ¿Qué hacer con el “éter”?

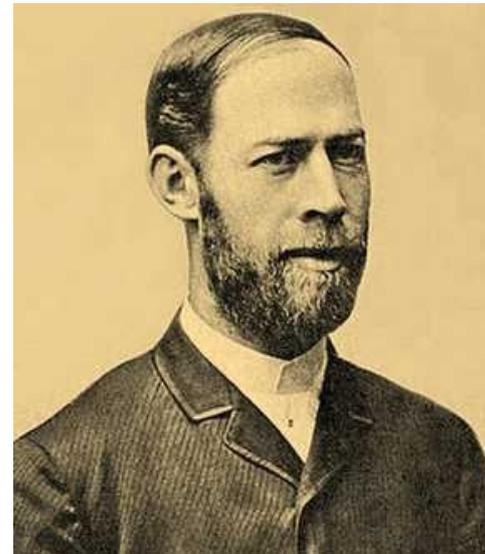
# LUZ – teoría electromagnética

- **Teoría electromagnética**
  - James Clerk Maxwell, siglo XIX
- Las fuentes luminosas emiten energía radiante
- Ésta se propaga en forma de ondas electromagnéticas que rebotan en los objetos
- Dichas ondas llegan al ojo provocando la percepción



# LUZ – teoría electromagnética

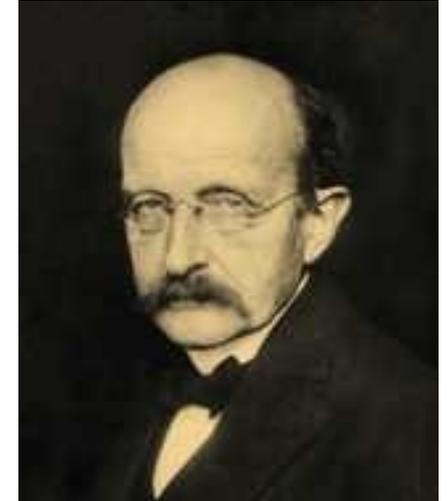
- Mas tarde Heinrich Rudolf Hertz (siglo XIX) mostraría que la luz y el resto de las radiaciones electromagnéticas cumplen los mismos fenómenos
  - reflexión
  - refracción
  - interferencia
  - difracción
  - polarización



# LUZ – teoría electromagnética

- Las ondas electromagnéticas **se propagan en el vacío**
  - no hay mas la necesidad del éter
- La luz es una pequeña porción del espectro electromagnético, como veremos mas adelante

# LUZ – teoría cuántica



- **Teoría cuántica**

- Max Planck, siglos XIX, XX

- Energía es absorbida y emitida en cantidades discretas: cuantos, llamados **fotones**

- La energía de cada fotón se calcula:

$$Q = h f$$

$h$  constante de Planck

$f$  frecuencia del fotón

- $f \uparrow \rightarrow$  energía  $\uparrow$

# LUZ – teoría unificada

- **Teoría unificada**

- Efecto fotoeléctrico, radiación de cuerpo negro, no se pueden explicar con la teoría ondulatoria
- Louis de Broglie y Werner Heisenberg (d. 1920)



- **Dualidad onda-partícula**

- no solo para la luz (fotón), sino para toda partícula

# LUZ – teoría unificada

- Todo elemento con masa tiene una onda asociada, con una longitud de onda  $\lambda$  según

$$\lambda = \frac{h}{m v}$$

$\lambda$  longitud de onda asociada

$h$  constante de Planck

$m$  masa de la partícula

$v$  velocidad de la partícula

# LUZ – teoría unificada

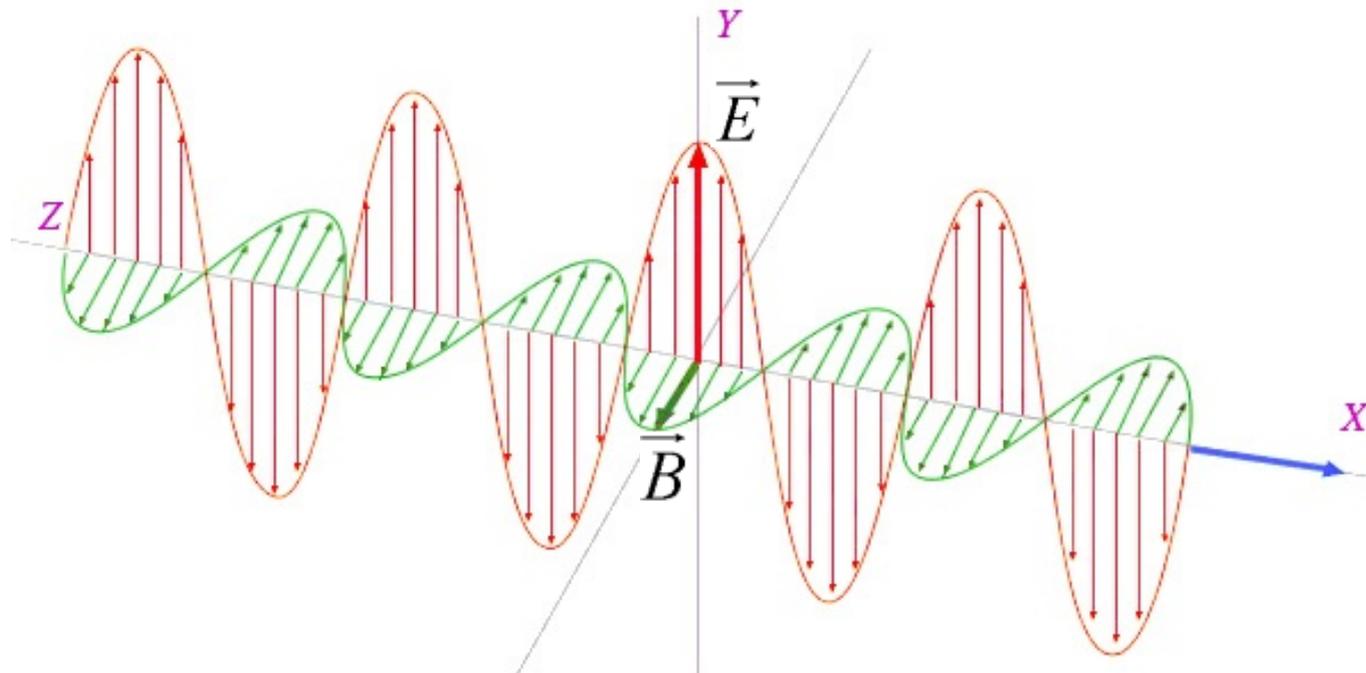
- Para una partícula *NO* es posible conocer al mismo tiempo todas sus propiedades corpusculares u ondulatorias
- Teoría cuántica + teoría de ondas electromagnéticas
  - explican el comportamiento de la energía radiante
  - y la luz es energía radiante



# **Electromagnetismo**

# Electromagnetismo

- Onda electromagnética
  - perturbación de campo eléctrico  $\vec{E}$  y magnético  $\vec{B}$  donde ambos están en fase y  $\vec{E} \perp \vec{B}$
  - viaja a la velocidad de la luz, con dirección colineal a  $\vec{E} \wedge \vec{B}$



# Electromagnetismo

- Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio como las mecánicas → pueden propagarse en el vacío
- La velocidad depende del medio
- Vacío: velocidad de la luz =  $c = 299\,793\text{ km/s}$
- Frecuencia y longitud de onda

$$c = \lambda f$$



# Ejercicio



# Ejercicio<sup>(1)</sup>

- Un método de laboratorio para determinar la velocidad de la luz: **Método de Fizeau**



Físico francés

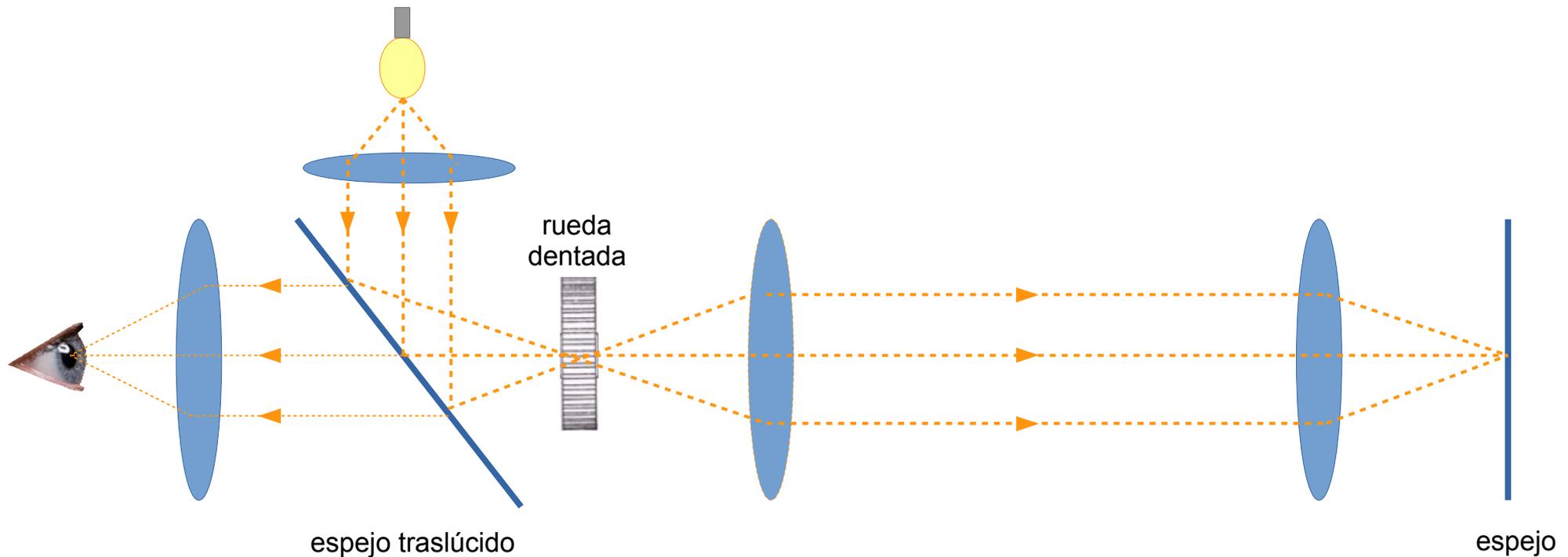
*Realizó múltiples experimentos con la luz, este método para determinar su velocidad es uno de ellos.*

Hippolyte Fizeau  
(siglo XIX)



# Ejercicio

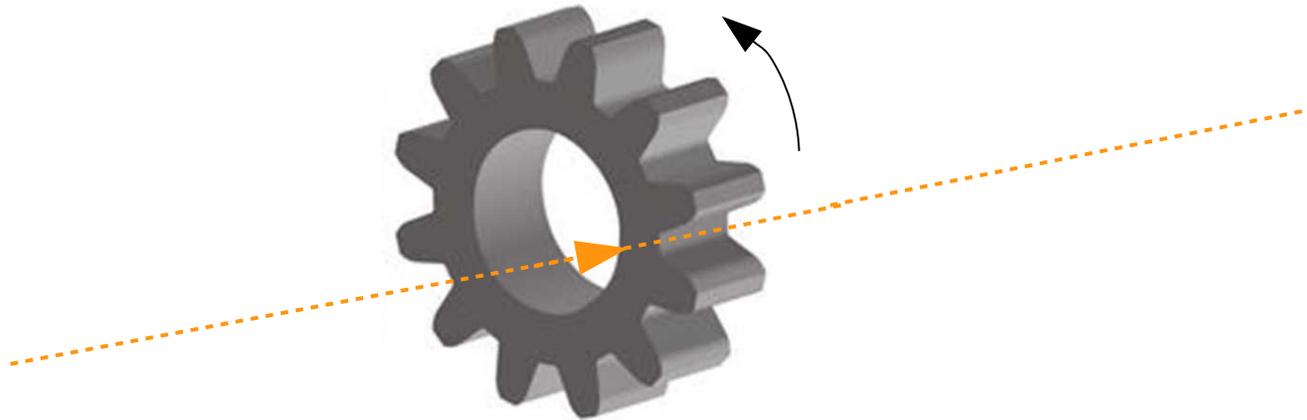
- Con una rueda dentada y un arreglo óptico adecuado es posible obtener un valor aproximado de la velocidad de la luz





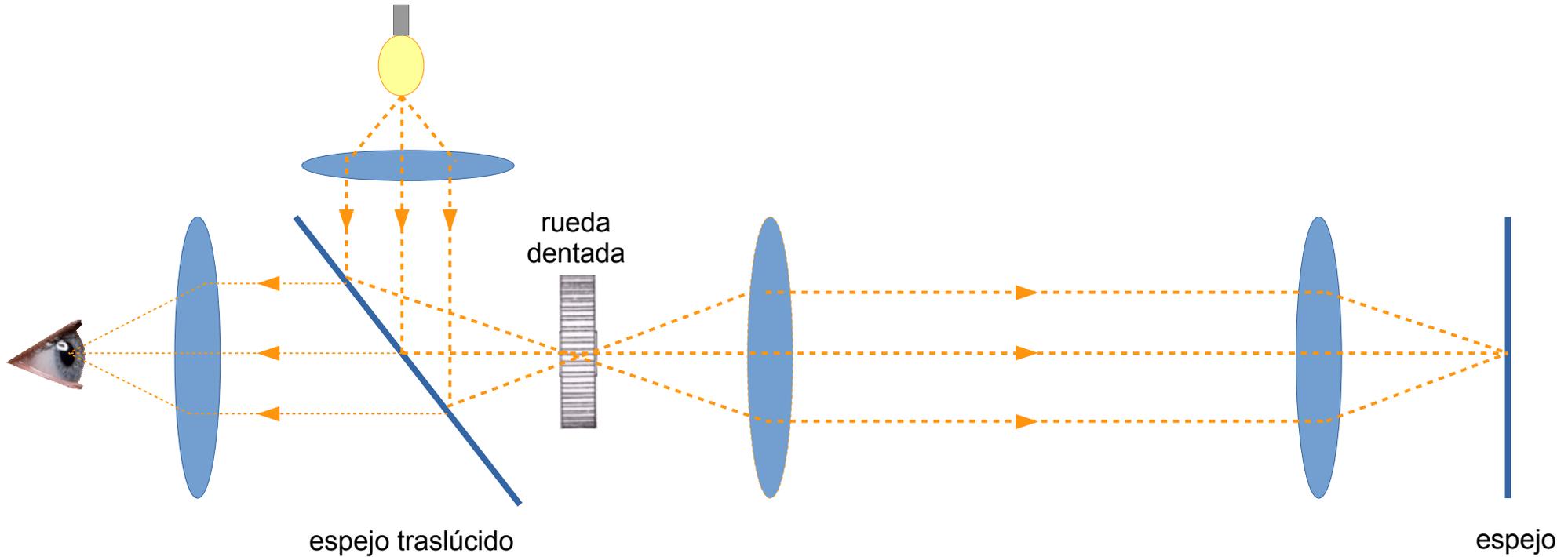
# Ejercicio

- La rueda gira
  - un hueco → la luz pasa
  - un diente → la luz no pasa





# Ejercicio

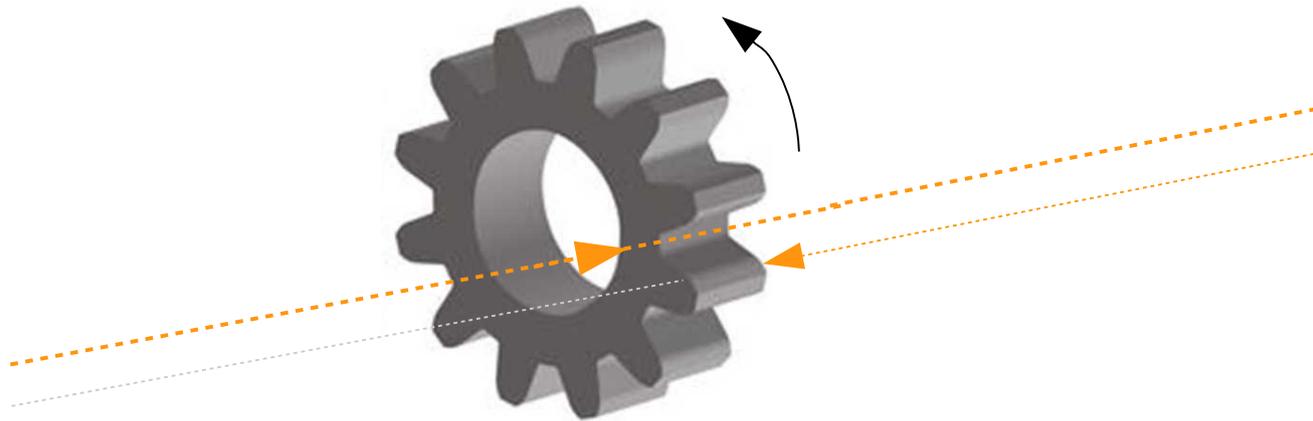


- Al girar la rueda la luz se percibe en forma intermitente
- Al aumentar la velocidad, se llega a un punto en que no se percibe



# Ejercicio

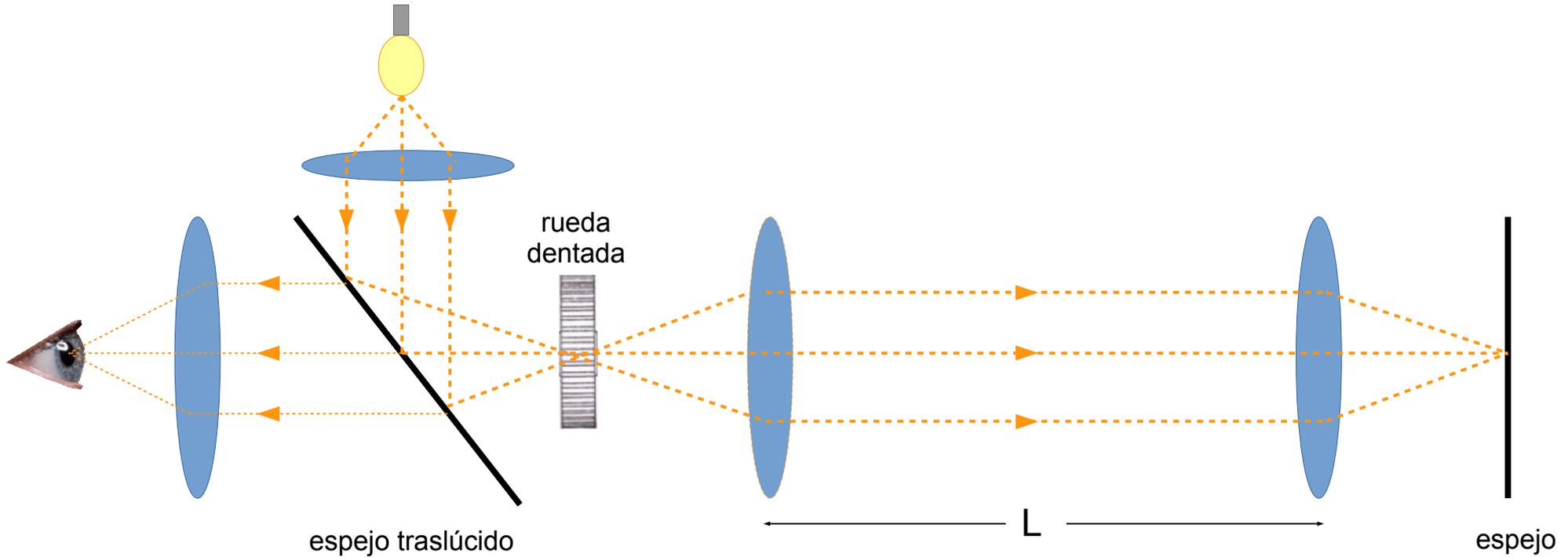
- Cuando se deja de percibir la luz



- el tiempo de viaje de la luz se aproxima al tiempo de giro de  $\frac{1}{2}$  distancia entre dientes



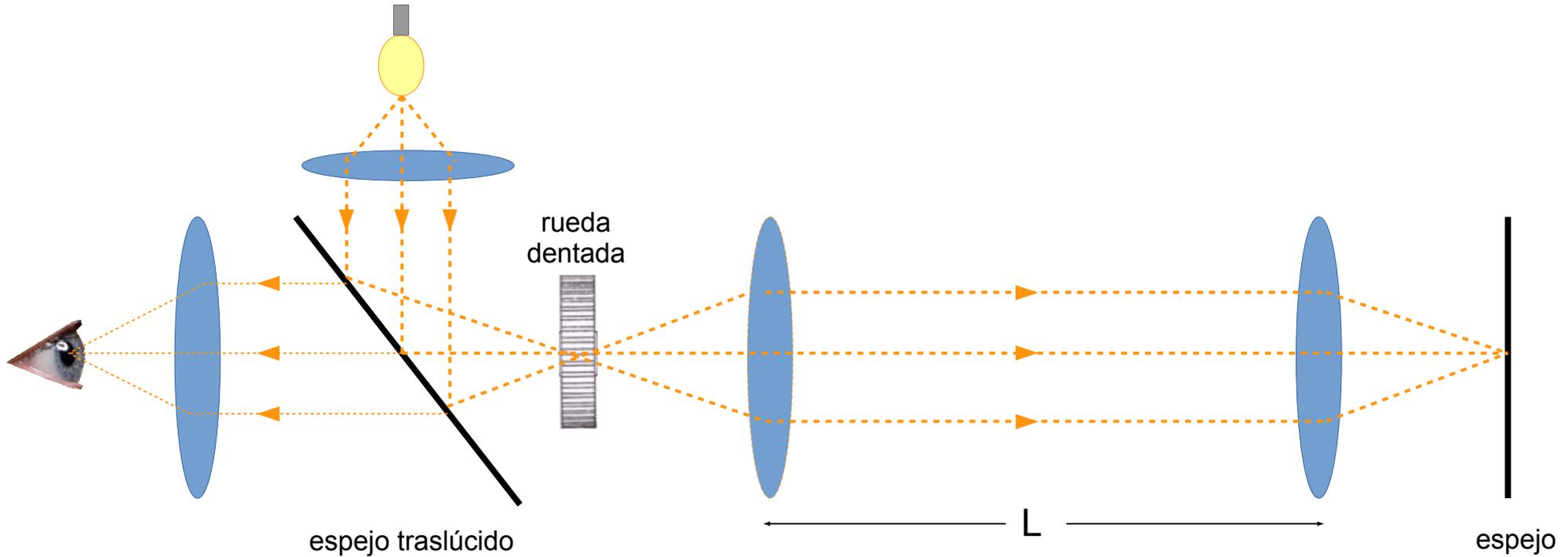
# Ejercicio



- Conociendo  $L$  y ese tiempo al momento que el observador deja de percibir luz
  - se puede estimar su velocidad



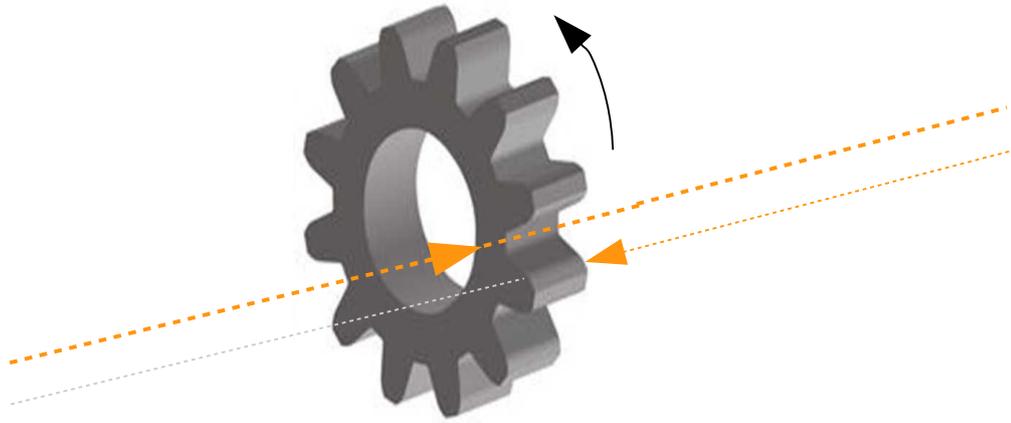
# Ejercicio



- Con
  - rueda 880 dientes, 340 rpm
  - $L = 15.5 \text{ km}$
- hallar la velocidad de la luz



# Resolución



- 880 dientes, 340 rpm
- $L = 15.5 \text{ km}$



# Resolución

- Y habíamos dicho que la velocidad de la luz en el vacío es
  - velocidad de la luz =  $c = 299\,793\text{ km/s}$

continuemos...



# **Espectro electromagnético**

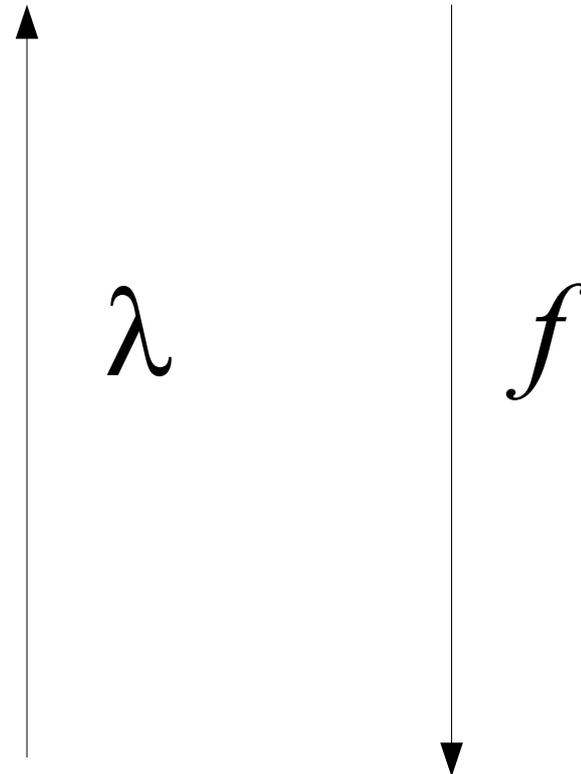
# Espectro electromagnético

- ¿Qué es?
  - Veamos una introducción...  
<https://www.youtube.com/watch?v=0E63LB2ezKg>

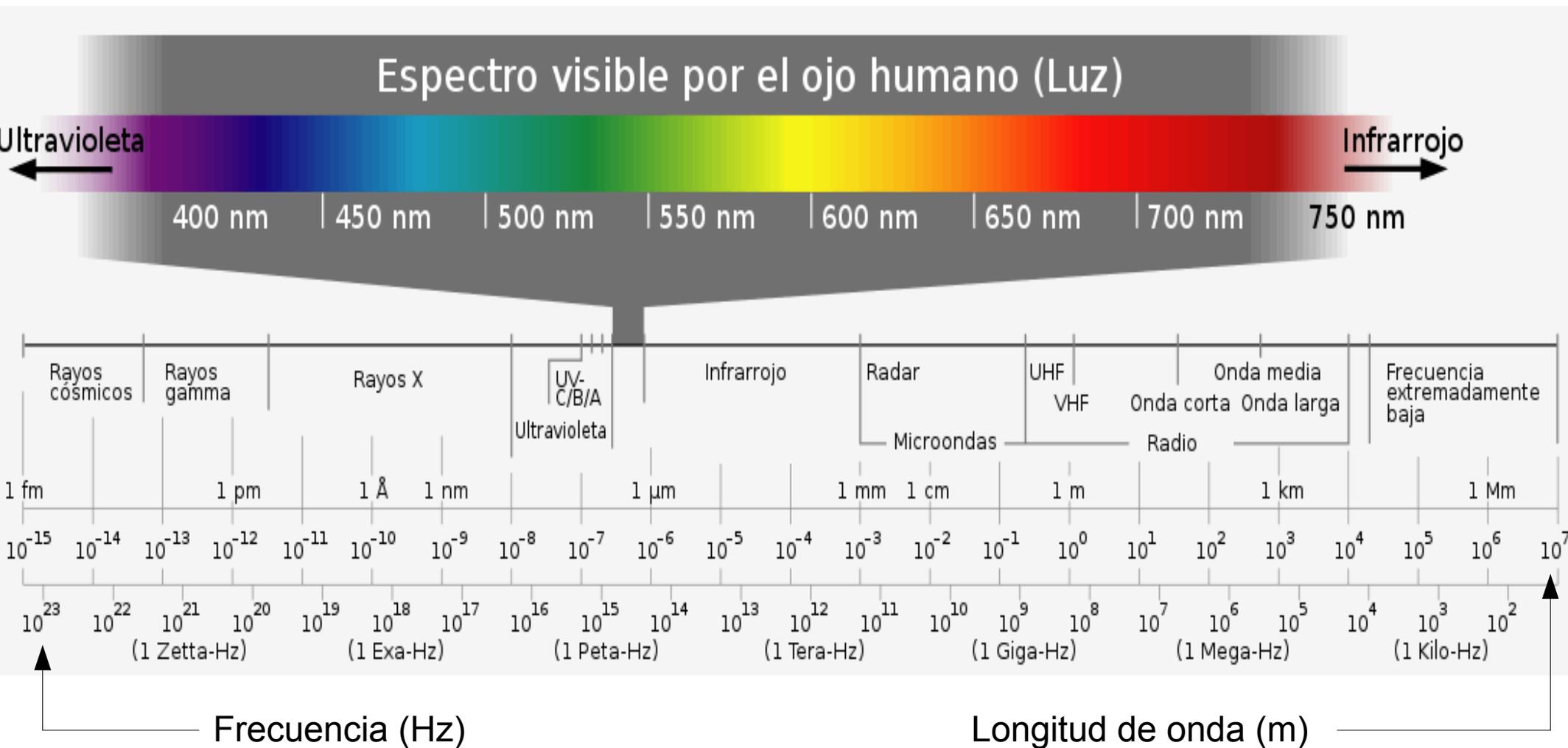
¿Qué es el Espectro?

# Espectro electromagnético

- Clasificación arbitraria de una realidad física continua
  - Ondas de radio
  - Microondas
  - Infrarrojo
  - Luz visible
  - Ultravioleta
  - Rayos X
  - Rayos gama



# Espectro electromagnético



# Espectro electromagnético

- Radiación visible
  - Es la energía radiante en la parte visible del espectro entre

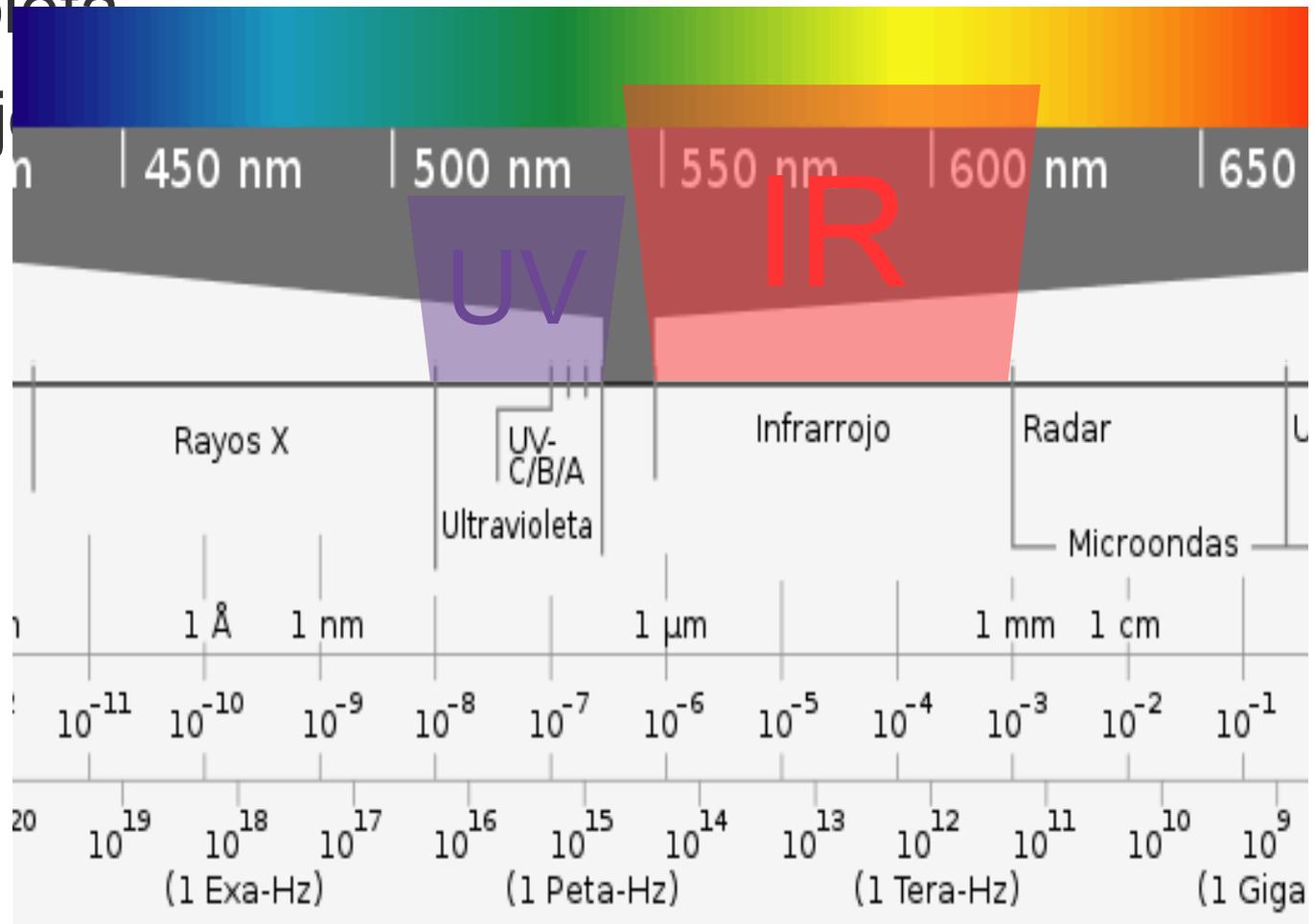
*380 nm (violeta) ↔ 780 nm (rojo)*

violeta	<i>380 nm ↔ 450 nm</i>
azul	<i>450 nm ↔ 495 nm</i>
verde	<i>495 nm ↔ 570 nm</i>
amarillo	<i>570 nm ↔ 590 nm</i>
anaranjado	<i>590 nm ↔ 620 nm</i>
rojo	<i>620 nm ↔ 750 nm</i>

# Espectro electromagnético

- También son de interés las radiaciones adyacentes a las visibles

- Ultravioleta
- Infrarrojo



# Espectro electromagnético

- Radiación ultravioleta
  - $\lambda < \text{violeta}$
  - $f > \text{violeta}$
  - mas energía que la luz
- Clasificación según CIE
  - UV-A:  $315 \text{ nm}$  a  $400 \text{ nm}$
  - UV-B:  $280 \text{ nm}$  a  $315 \text{ nm}$
  - UV-C:  $100 \text{ nm}$  a  $280 \text{ nm}$



# Espectro electromagnético

- UV - Clasificación según su aplicación
  - Luz negra: *300 nm a 400 nm*
  - Eritemal: *280 nm a 320 nm (pieles blancas)*
  - Germicida: *220 nm a 300 nm*
  - Producción ozono: *180 nm a 200 nm*

# Espectro electromagnético

- Radiación infrarroja
  - $\lambda > \text{rojo}$
  - $f < \text{rojo}$
- Clasificación según la CIE
  - IR-A:  $780 \text{ nm}$  a  $1.4 \mu\text{m}$
  - IR-B:  $1.4 \mu\text{m}$  a  $3 \mu\text{m}$
  - IR-C:  $3 \mu\text{m}$  a  $1 \text{ mm}$



*Aquí es el “A” el que está mas cerca de la luz*



# **Energía radiante**

# Energía radiante

- ¿Qué es?
  - Ya sabemos
    - Como se modela
    - Como la hemos clasificado según nuestra historia y usos
  - Pero
    - ¿Cómo se genera?
    - ¿Cómo interactúa?

# Energía radiante

- Materia y energía radiante interactúan
- Para entender como lo hacen
  - hay que ver que es la materia

- El átomo

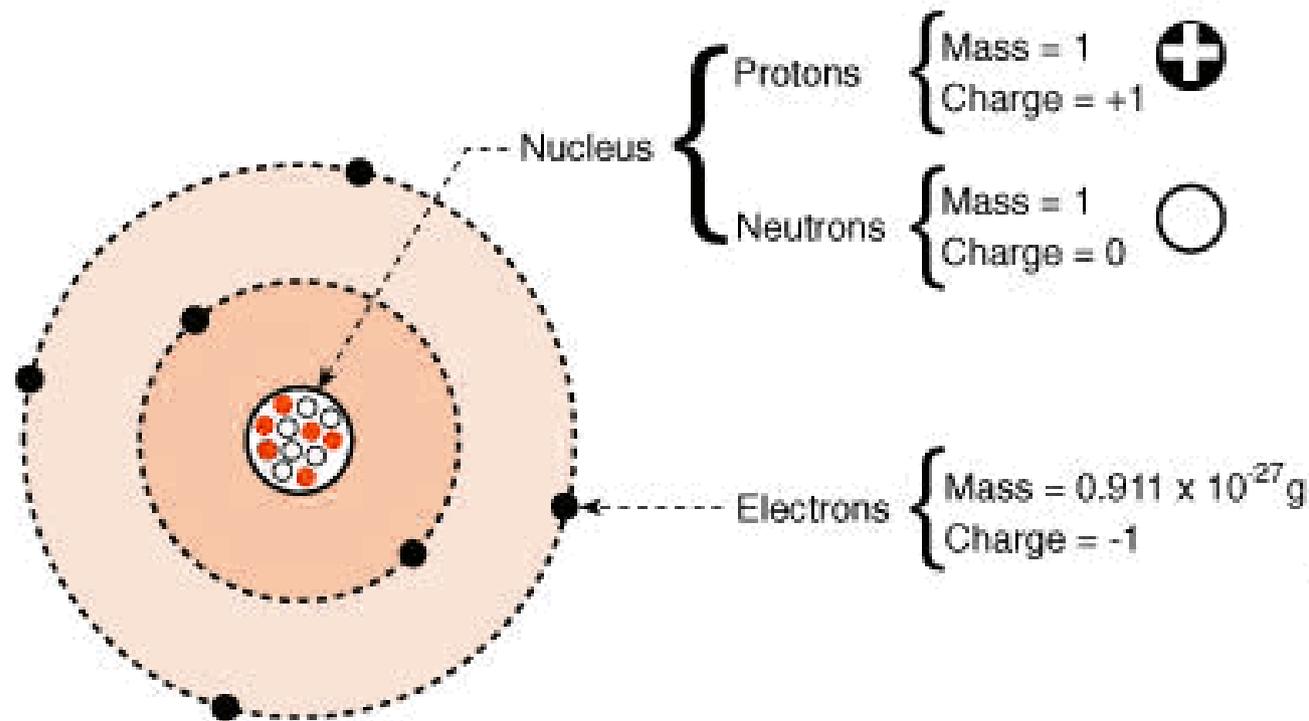
- núcleo

- p (+)
    - n (0)

- electrones (-)

- interiores
    - de valencia

- enlaces químicos



# Energía radiante

- Cada órbita de  $e^-$   $\rightarrow$  nivel de energía
- Perturbación externa
  - puede afectar  $e^-$  de valencia
  - $e^-$  interiores  $\rightarrow$  mucha energía para afectarlos
- Nivel de energía de  $e^-$  de valencia se altera fácilmente con
  - radiación UV
  - radiación visible
  - otros electrones

# Energía radiante

- Cuando un  $e^-$  previamente excitado (órbita 2) retorna a un nivel mas bajo de energía (órbita 1)  $\rightarrow$  se emite un cuanto de radiación

$$E_2 - E_1 = h f_{21}$$

- Pasando a una expresión mas práctica

$$V_{21} = h(eV) c/\lambda$$

$$\lambda = h(eV) c/V_{21}$$

$$\lambda = 1239.8/V_{21} \quad (\text{con } \lambda \text{ en nm})$$

donde  $V_{21}$  es la diferencia de potencial entre los dos niveles de energía

# Energía radiante

- Velocidad de propagación
  - Vacío, ya lo vimos:  $c = 299\,793\text{ km/s}$
  - Otros medios
    - $f$  permanece constante
    - $v, \lambda$  varían

$$v = \frac{\lambda f}{n}$$

$n$  índice de refracción del medio  $n(\lambda) \triangleq \frac{c}{v(\lambda)}$

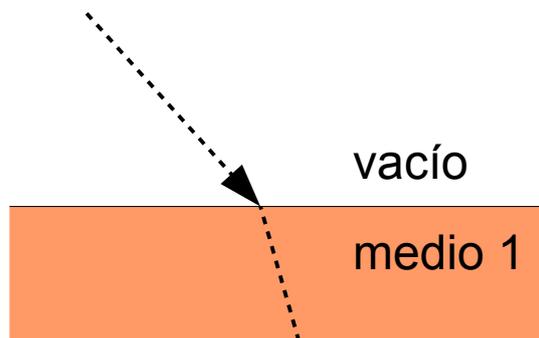


# Ejercicio



## Ejercicio<sup>(2)</sup>

- Un rayo de luz en el vacío
  - $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$
- cambia a un medio con
  - $n_1 = 1.45$



- Hallar  $\lambda_1$  y  $v_1$  en el nuevo medio

Recordar...

$$v = \frac{\lambda f}{n}$$

$$n(\lambda) \triangleq \frac{c}{v(\lambda)}$$

$$c = 299\,793 \text{ km/s}$$