

# Luz

Es lo que nos permite ver los objetos

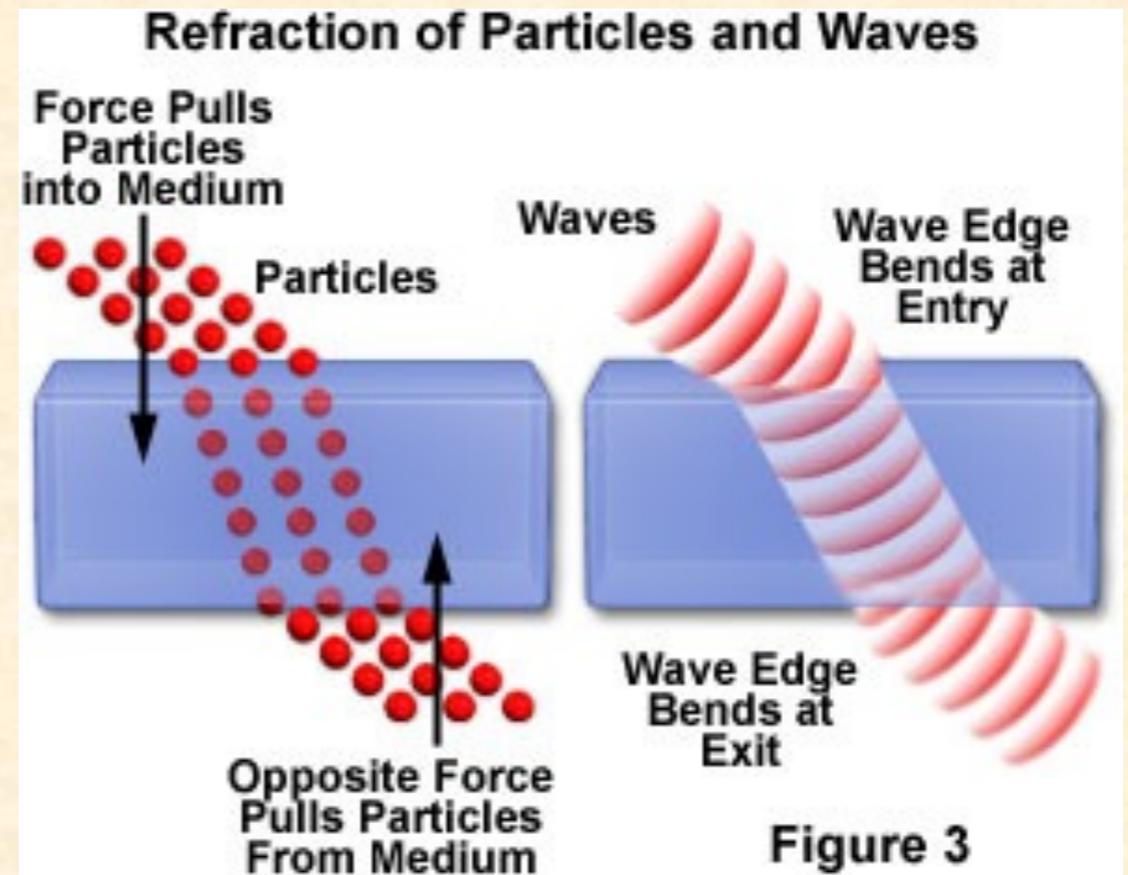
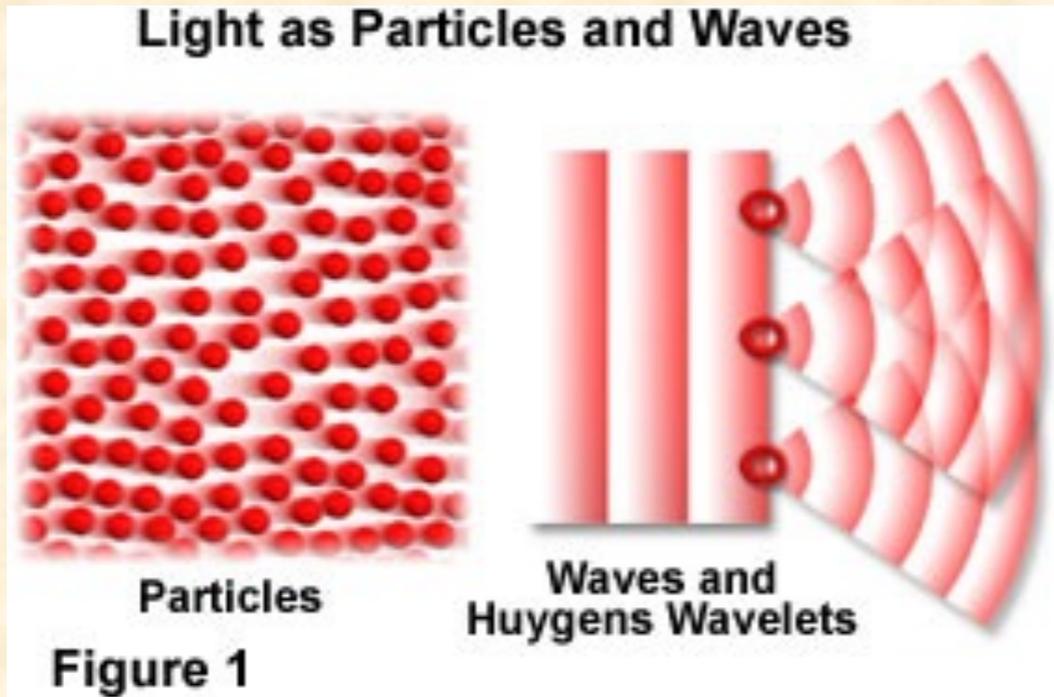
Lleva energía

Viaja en el espacio, penetra los cuerpos, se refleja, se refracta.

Da lugar a patrones de interferencia y difracción.

¿La luz es un conjunto de corpúsculos o es una onda?

# Es “las dos cosas”



La naturaleza de la luz fue motivo de estudio de muchos investigadores. Entender la luz dio lugar al desarrollo de varias nuevas teorías de la física.

En el s. XVII se dedujeron muchas de las leyes que rigen el comportamiento de la luz.

Newton propuso una teoría corpuscular para explicar ese comportamiento.

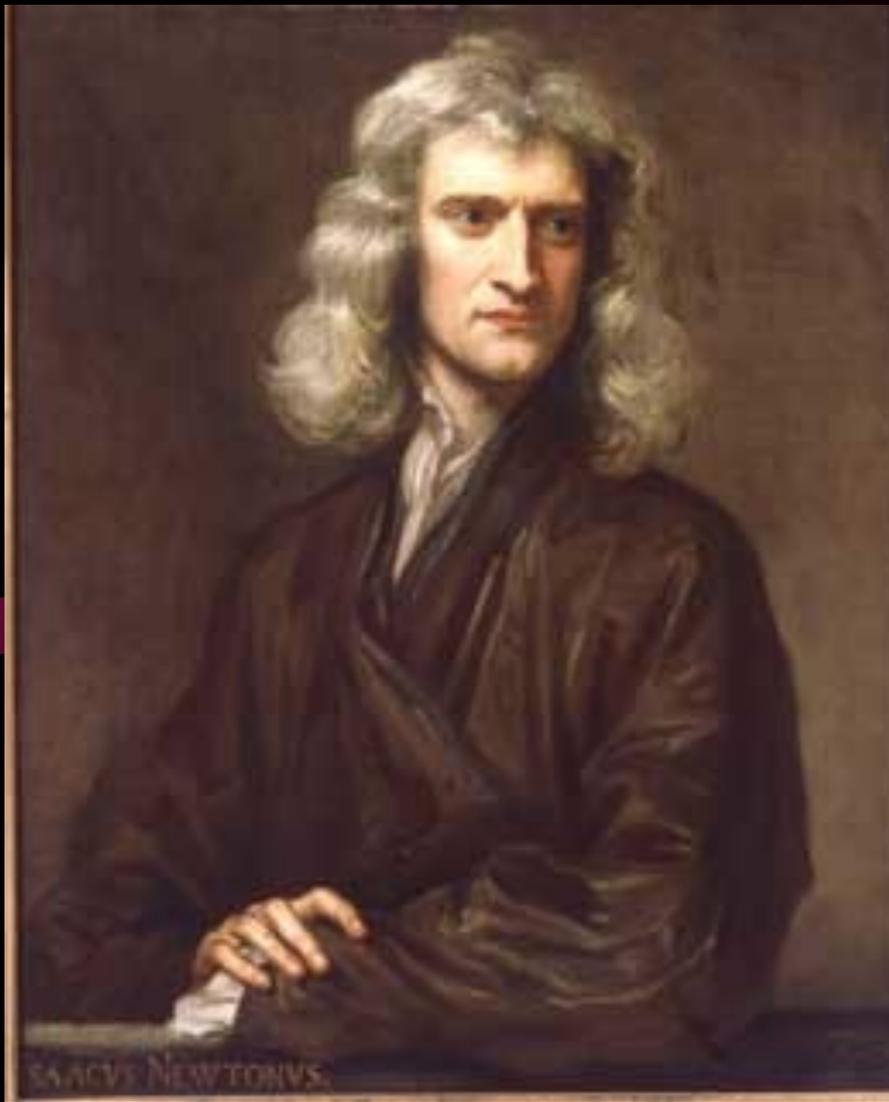
Huygens propuso una teoría ondulatoria.

Un poco de historia (varias diapositivas tomadas de Dilip Angom,  
Theoretical Physics and Complex Systems Division)

## Christiaan Huygens e Isaac Newton

Christiaan Huygens (1629–1695)

Publicó su libro *Traite de la lumiere* en 1678.



Sir Isaac Newton (1642–1727)

Publicó su libro *Opticks* en 1709.



# Christiaan Huygens: Traite de la Lumiere

Capítulos del *Traite de la Lumiere*.

- On rays propagated in straight lines.
- On reflexion.
- On refraxion.
- On the refraxion of the air.
- On the strange refraxion of iceland crystal.
- On the figure of the transparent bodies.

## TREATISE ON LIGHT

In which are explained  
The causes of that which occurs  
In REFLEXION, & in REFRACTION

And particularly  
In the strange REFRACTION  
OF ICELAND CRYSTAL

By

CHRISTIAAN HUYGENS

Rendered into English

By

SILVANUS P. THOMPSON

El primer capítulo formula la teoría ondulatoria de la luz.

# Traite de la Lumiere: Velocidad de la luz finita

## Velocidad Finita de la luz

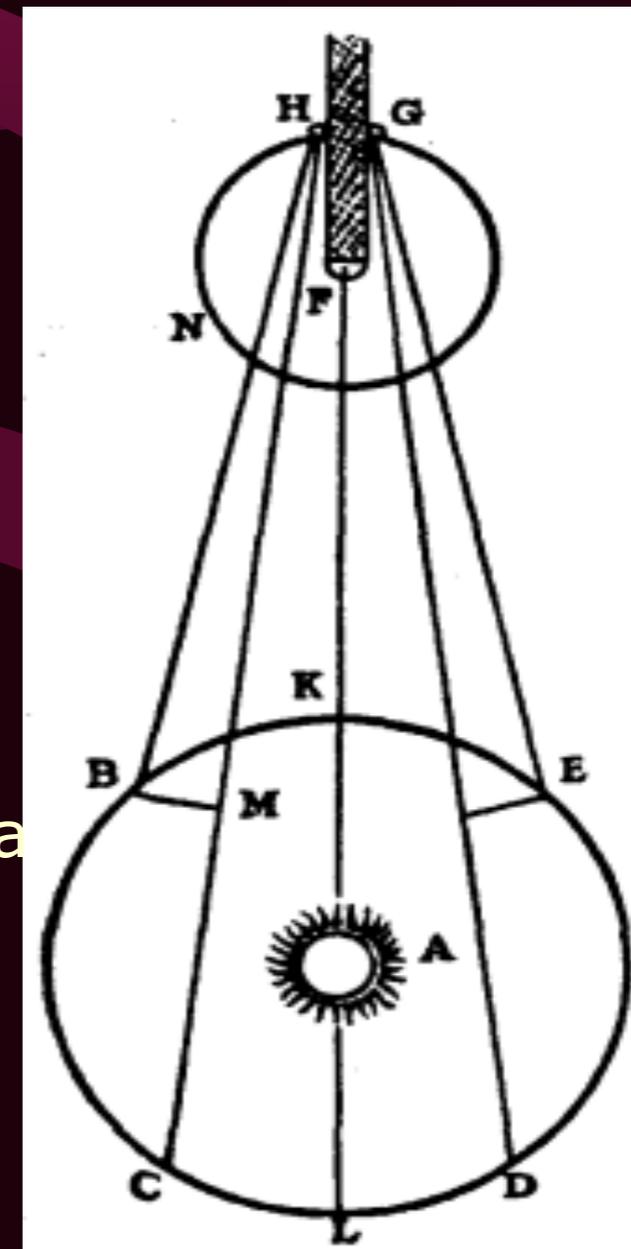
Llega a esa conclusión teniendo en cuenta los eclipses de las lunas de Júpiter.

Huygens la estimó como

*.....más de 600000 veces más grande que la del sonido.*

Christiaan Huygens

En 1676 dos años antes de que Huygens publicara su *Traite de la Lumiere*, Römer calculó la velocidad de la luz usando datos de eclipses obteniendo 225,000 km/s (el valor correcto es 299792 km).



# Traite de la Lumiere: Teoría ondulatoria

Huygens postuló que la luz se propagaba mediante ondas esféricas sucesivas y que cada región de un objeto luminoso creaba sus propias ondas.



Según Huygens la luz se propagaba en el éter.

# Isaac Newton: Opticks

Newton publicó su teoría del color en 1672.  
Dio evidencias de que la luz estaba compuesta por pequeñas partículas

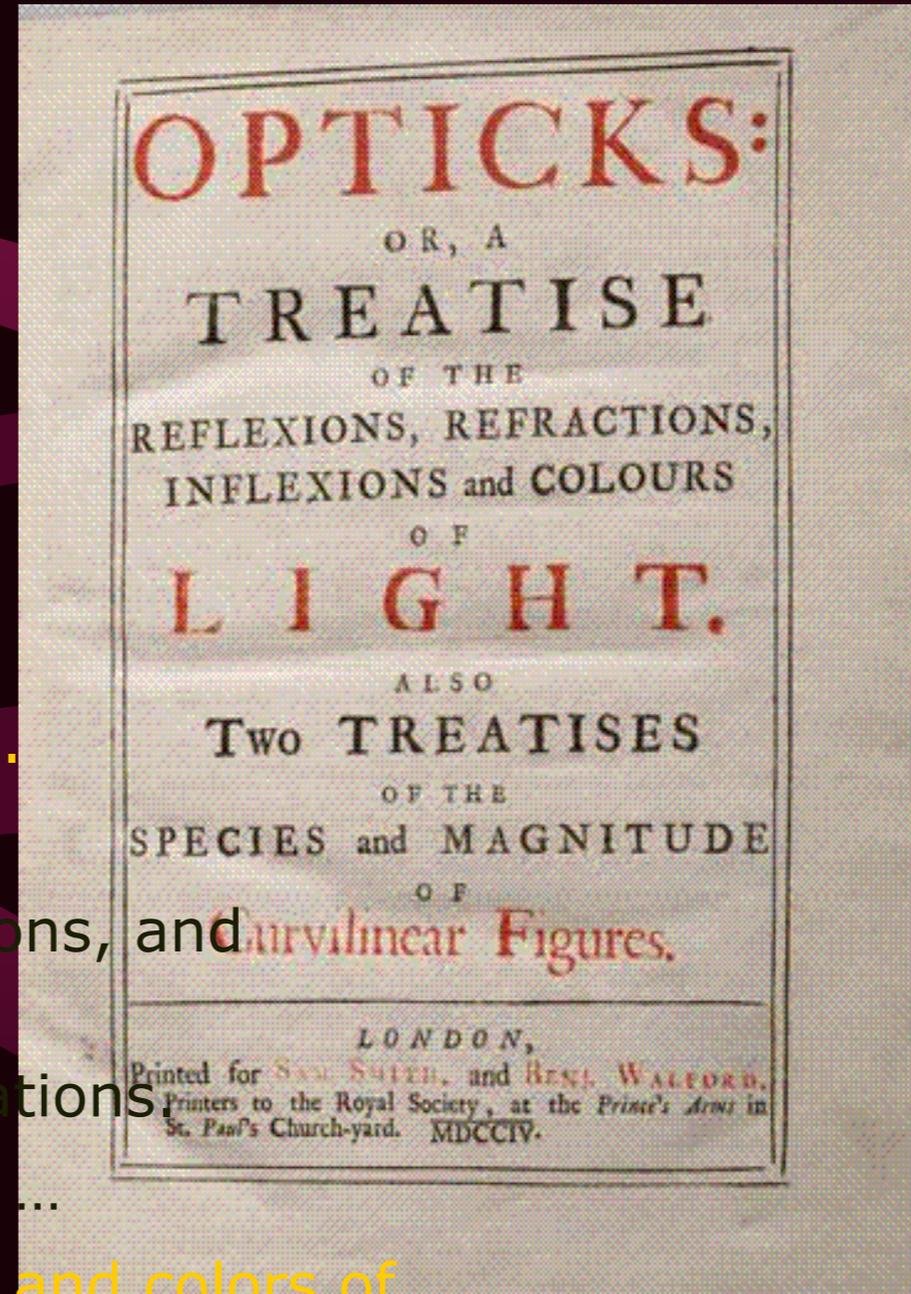
En 1703 publicó *Opticks*.

## *The first book of optics*

- Part I: definitions and propositions.
- Part II: propositions-proved by experiments.

## *The second book of optics*

- Part I: observations on reflection, refractions, and color of thin transparent bodies.
- Part II: remarks upon the foregoing observations.
- Part III: permanent colors of natural bodies ...
- Part IV: observations concerning reflections and colors of thick transparent bodies.



.....

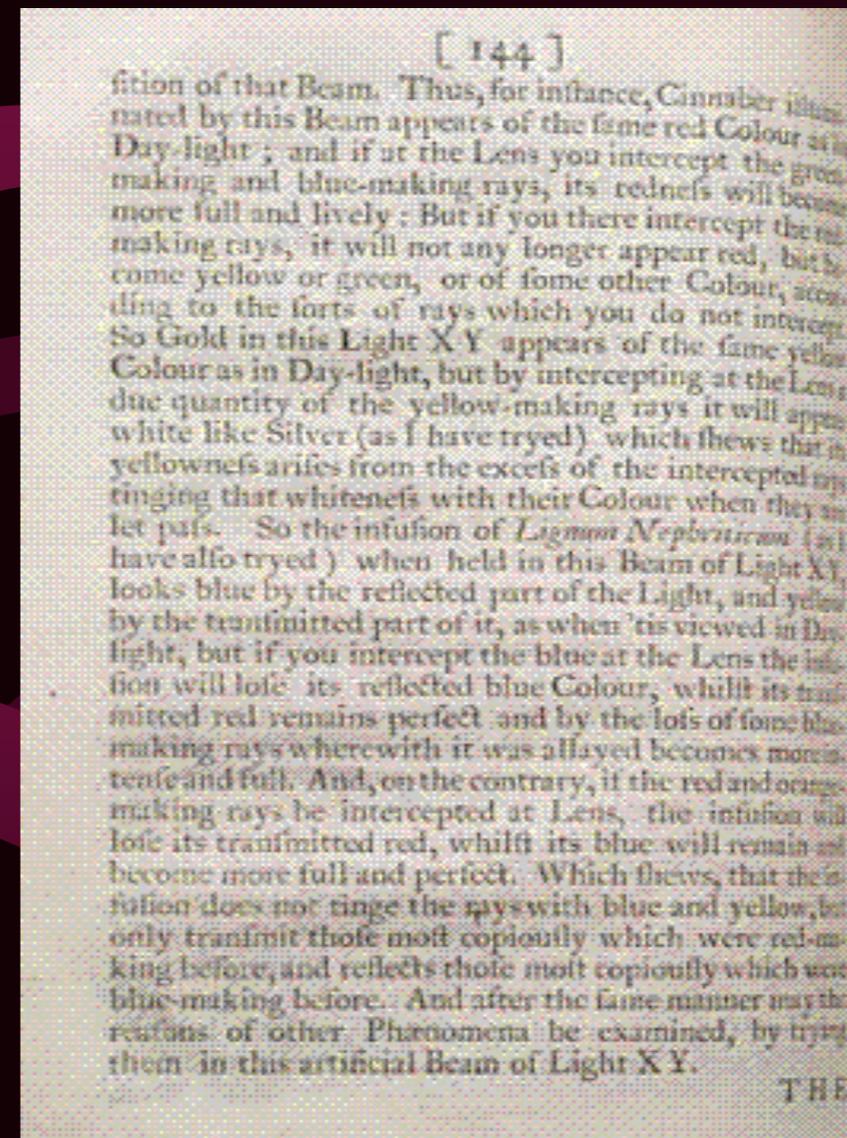
# Opticks: rayos de luz

Definición de Newton en la edición 1717 de su libro:

*Entiendo por rayos de luz sus partes más pequeñas y también sucesivas a lo largo de las mismas líneas y que coexisten con muchas otras líneas.*

Isaac Newton, *Opticks*, Book 1, Part I

Los rayos son líneas rectas que conectan la fuente de luz con el punto iluminado. Un rayo de luz viaja en línea recta.



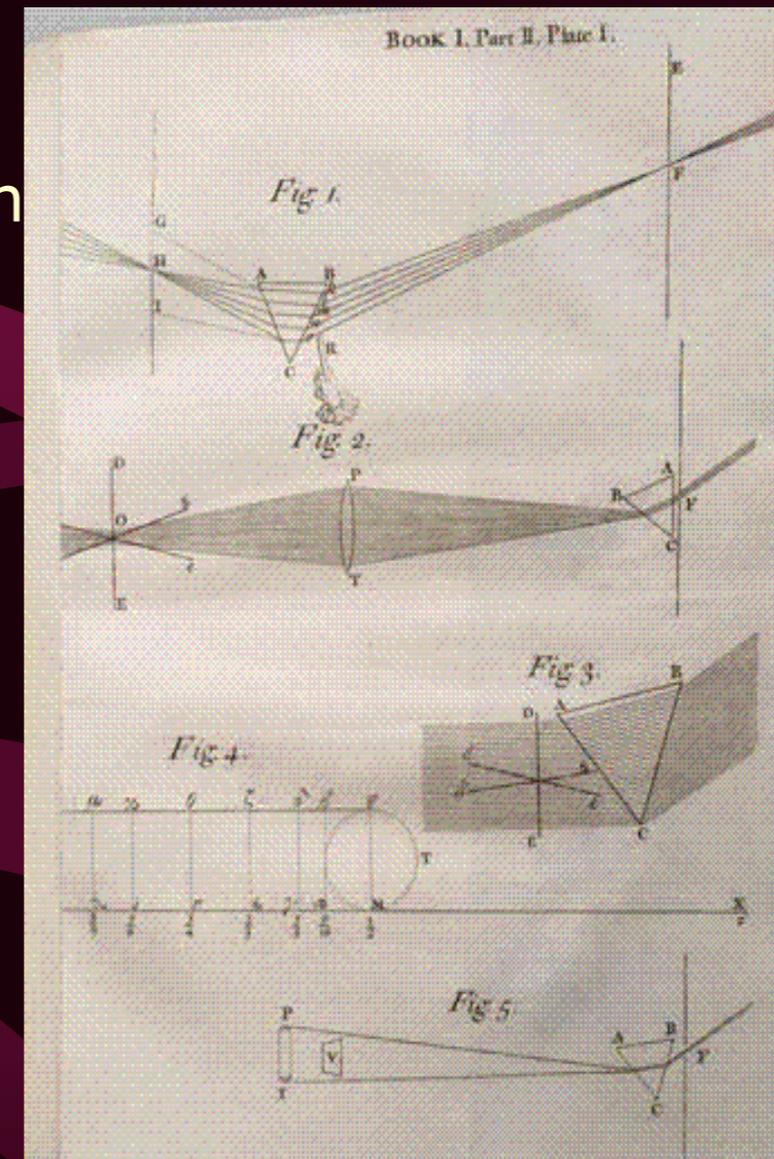
# Opticks: definitions

Este primer libro habla de reflexión y refracción

*La reflexión de los rayos es su disposición a reflejarse o "darse vuelta" hacia un mismo medio cuando chocan contra una superficie (que separa medios)* Isaac Newton, *Opticks*, Book 1, part I

*La refracción de los rayos de luz es su disposición a ser refractados, es decir, a "torcerse" al pasar de un medio transpartente a otro.* Isaac Newton, *Opticks*, Book 1, part I

El libro también habla de los colores



# Opticks: colors and refraction

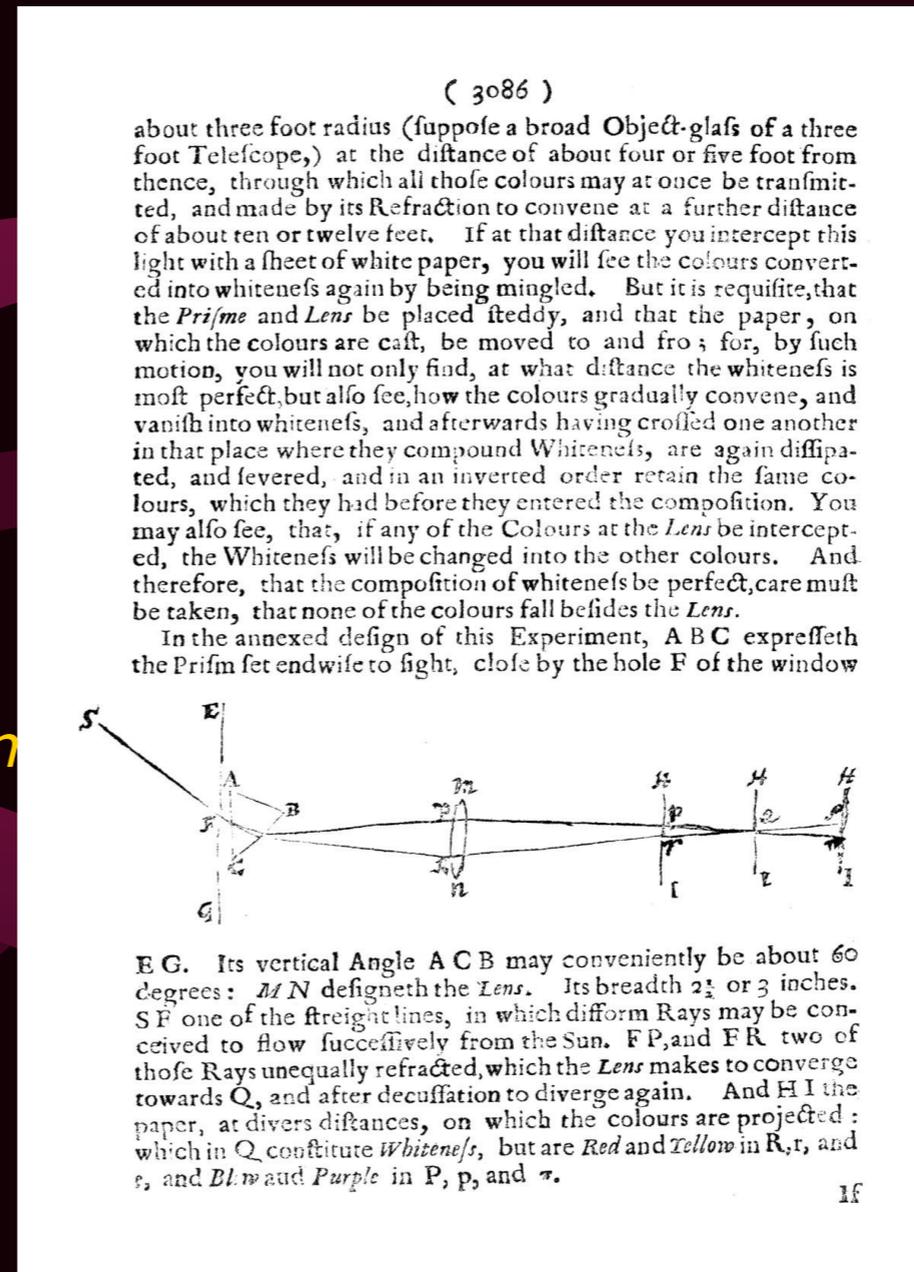
## Color de la luz solar

Newton probó que la luz blanca proveniente del Sol estaba formada por muchos colores.

*El blanco y todos los grises entre el blanco y el negro pueden ser compuestos por colores, y el blanco del Sol está compuesto por colores primarios mezclados en la proporción correcta.*

Isaac Newton, *Opticks*, Book 1, pp-117

Lo probó usando dos prismas.



Philosophical Transactions 80, 3086 (1671/2).

El hecho de que la luz sea una onda se verifica, por ejemplo, en la observación de fenómenos de interferencia como los que ocurren en ondas en líquidos

Patrón de interferencia que se puede observar en ondas superficiales in líquidos (lo vamos a ver en más detalle)

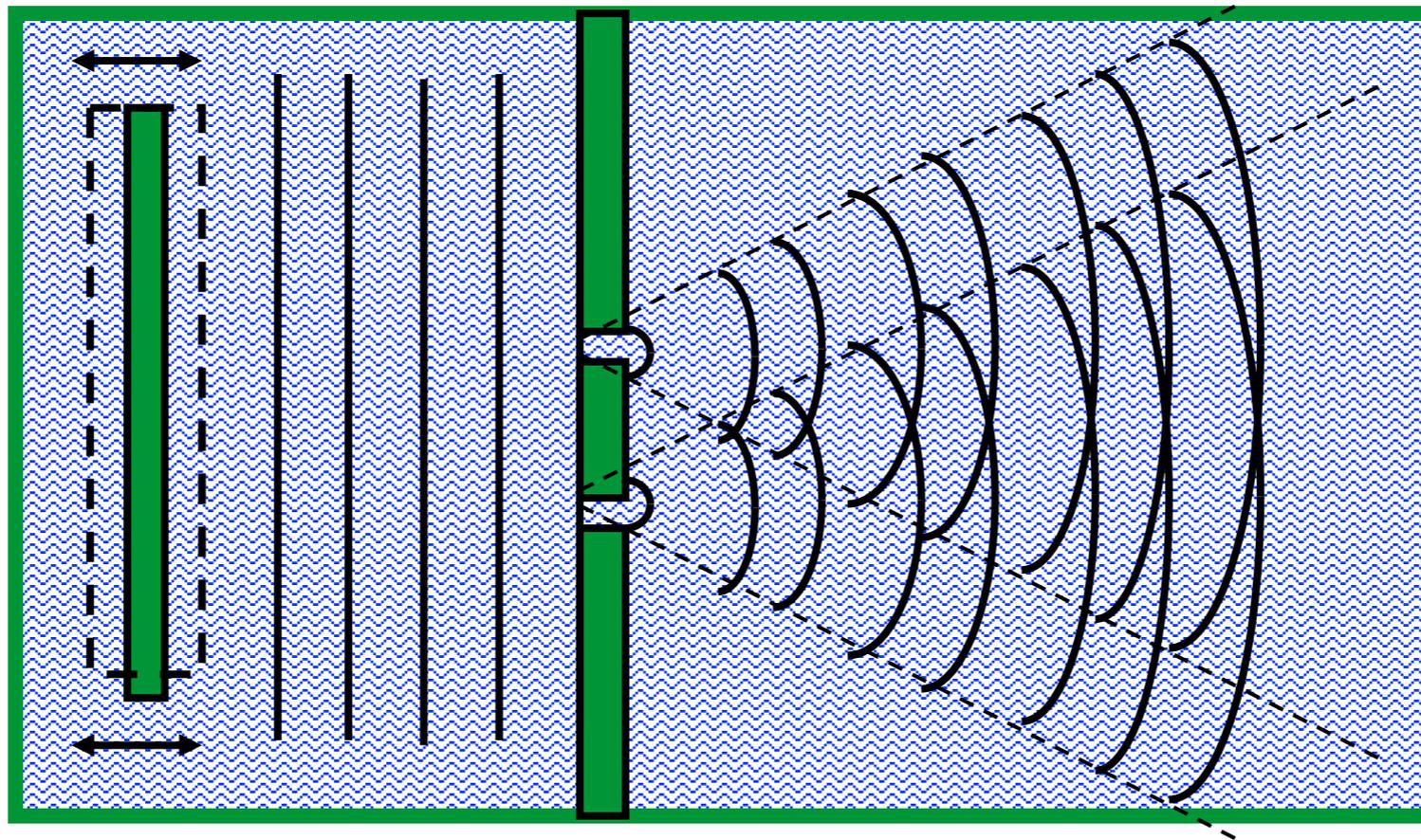
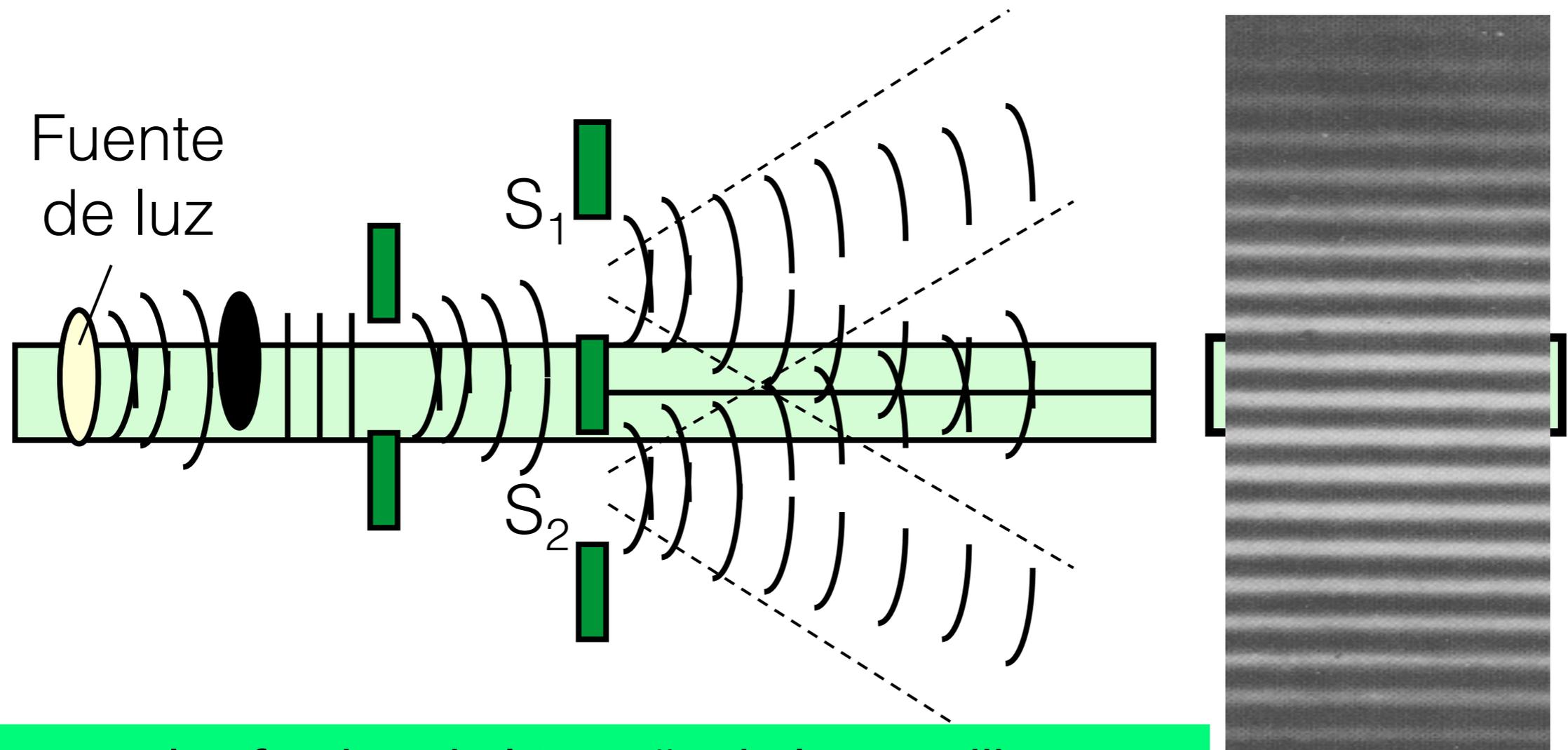


Figura Paul Tippens

# Interferencia de la luz (Experimento de Young)

Luz de una fuente es obligada a pasar a través de dos rendijas. En la pantalla se ve un patrón de interferencia similar al del agua.



Se observan las franjas si el tamaño de las rendijas es comparable a la longitud de onda de la luz.

# Legado de Huygens y Newton

## Naturaleza de la luz

La luz es una onda que se propaga en el éter, un medio de dureza perfecta y de flexibilidad infinita. Cada punto de una fuente de luz crea un frente de onda y cada punto del frente de ondas es fuente de frentes de onda secundarios. **Huygens (Principio de Huygens)**

La luz está constituida por rayos que conectan la fuente de iluminación con el punto iluminado. **Newton**

## Sobre los colores

Hay colores primarios de la luz, los que no cambian cuando pasan a través de un medio. La mezcla de luces de colores primarios da lugar a los colores compuestos. Cada color tiene un índice de refracción diferente. **Newton**

## Sobre la reflexión y la refracción

Tanto Newton como Huygens explicaron la reflexión y la refracción en base a sus teorías.

# La luz como una onda electromagnética

## Ecuaciones de Maxwell

James Clerk Maxwell nació en Edinburgo. Unificó la electricidad y el magnetismo. Las ecuaciones de Maxwell aparecieron en la forma en que hoy las conocemos en 1873.

Alrededor del año 1862 Maxwell se dio cuenta de que los fenómenos electromagnéticos estaban relacionados con la luz. En 1864 escribió:

*Esta velocidad es tan cercana a la de la luz que tenemos fuertes razones para concluir que la luz en sí misma (...) es una perturbación electromagnética que tiene la forma de una onda que se propaga a través del campo electromagnético siguiendo las leyes del electromagnetismo.*



# Propiedades de las ondas electromagnéticas

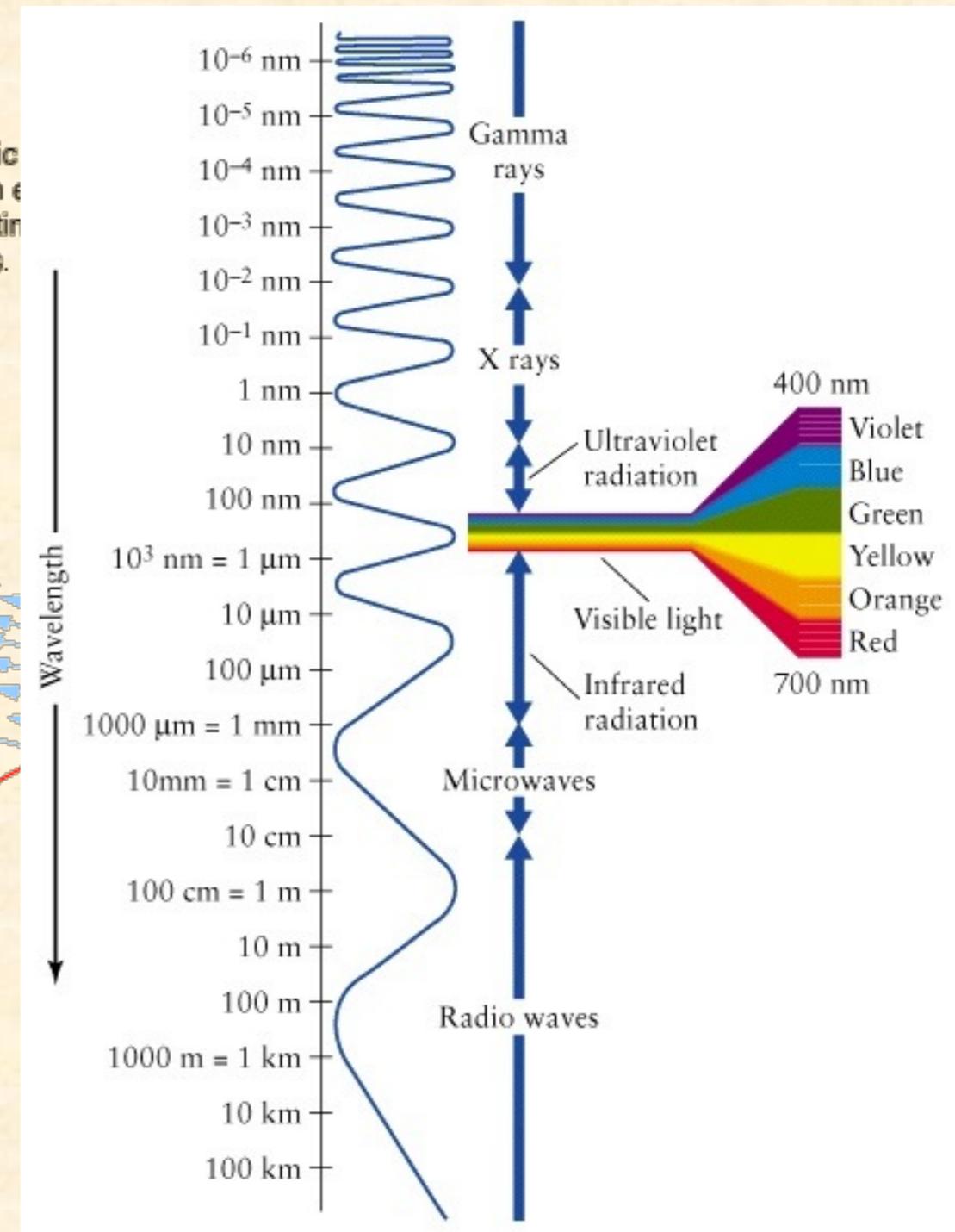
$$E = E_0 \sin(kz - \omega t + \varphi)$$

$$= E_0 \sin(2\pi(z/\lambda - \nu t) + \varphi)$$

- Amplitud,  $E_0$
- Longitud de onda,  $\lambda$
- Frecuencia,  $\nu$
- Fase,  $\varphi$
- Polarización
- Velocidad de propagación:  $c = \lambda\nu$

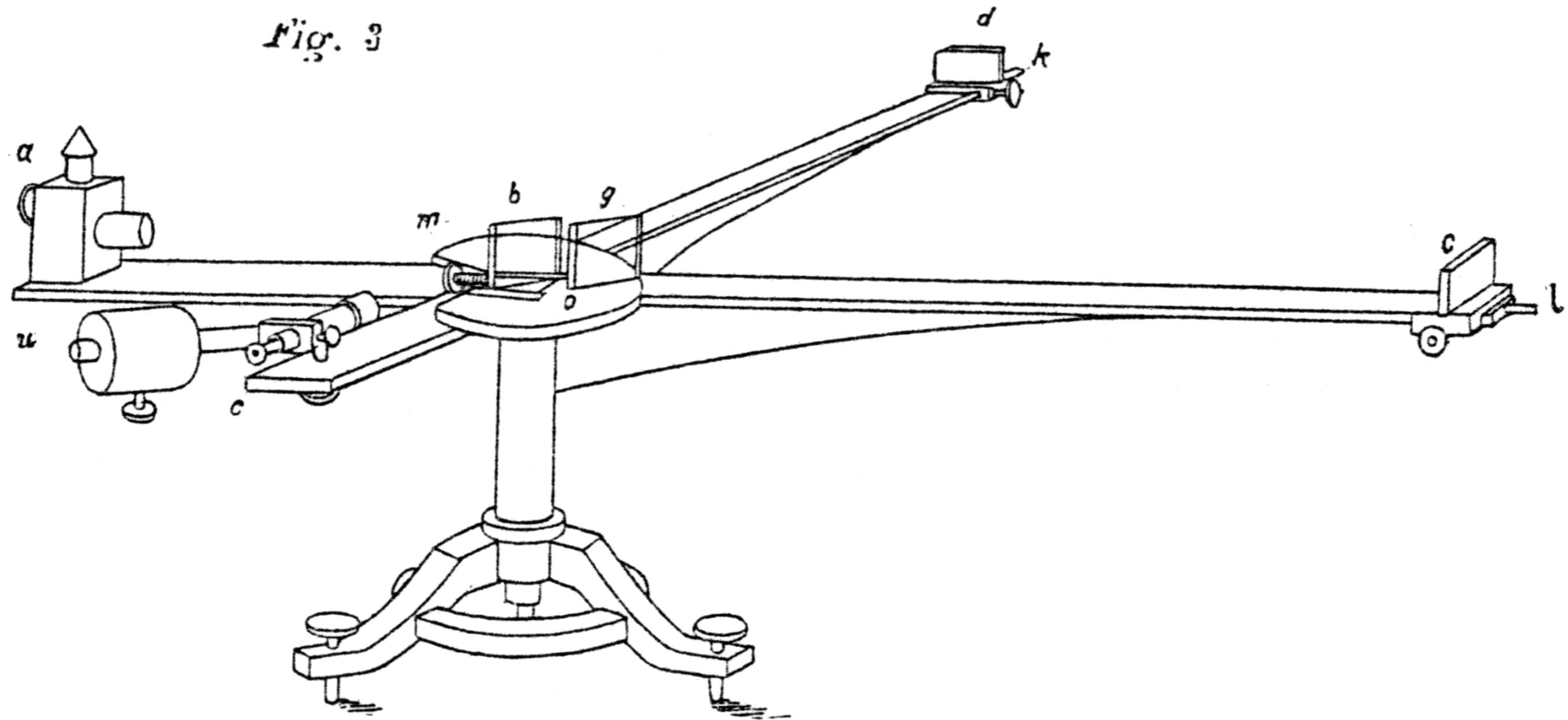
Electromagnetic energy through  $\epsilon$  in the propagating magnetic fields.

Magnetic field variation is perpendicular to electric field.



# En busca del éter. Experimento de Michelson-Morley

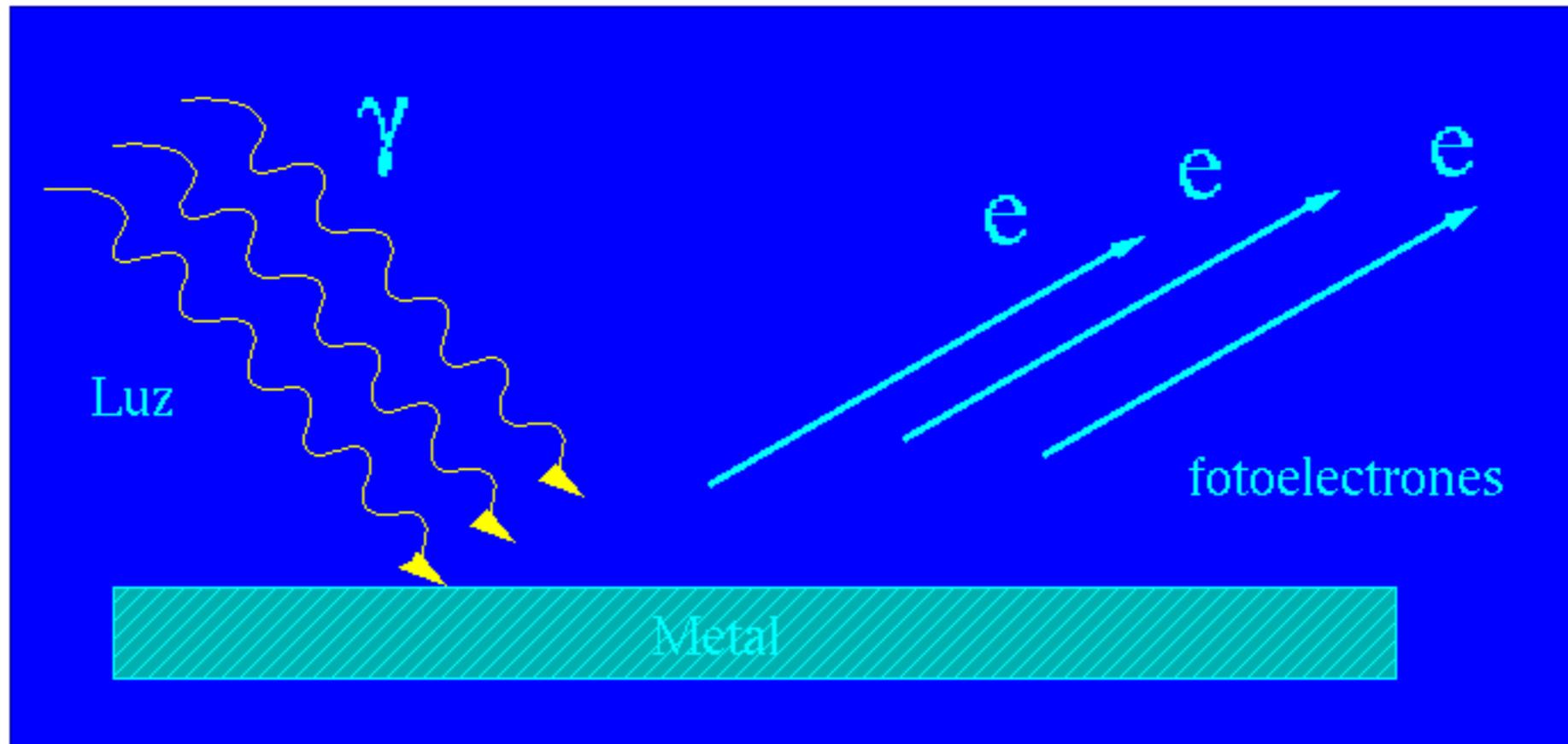
*Fig. 3*



No se encontró evidencia de su existencia.

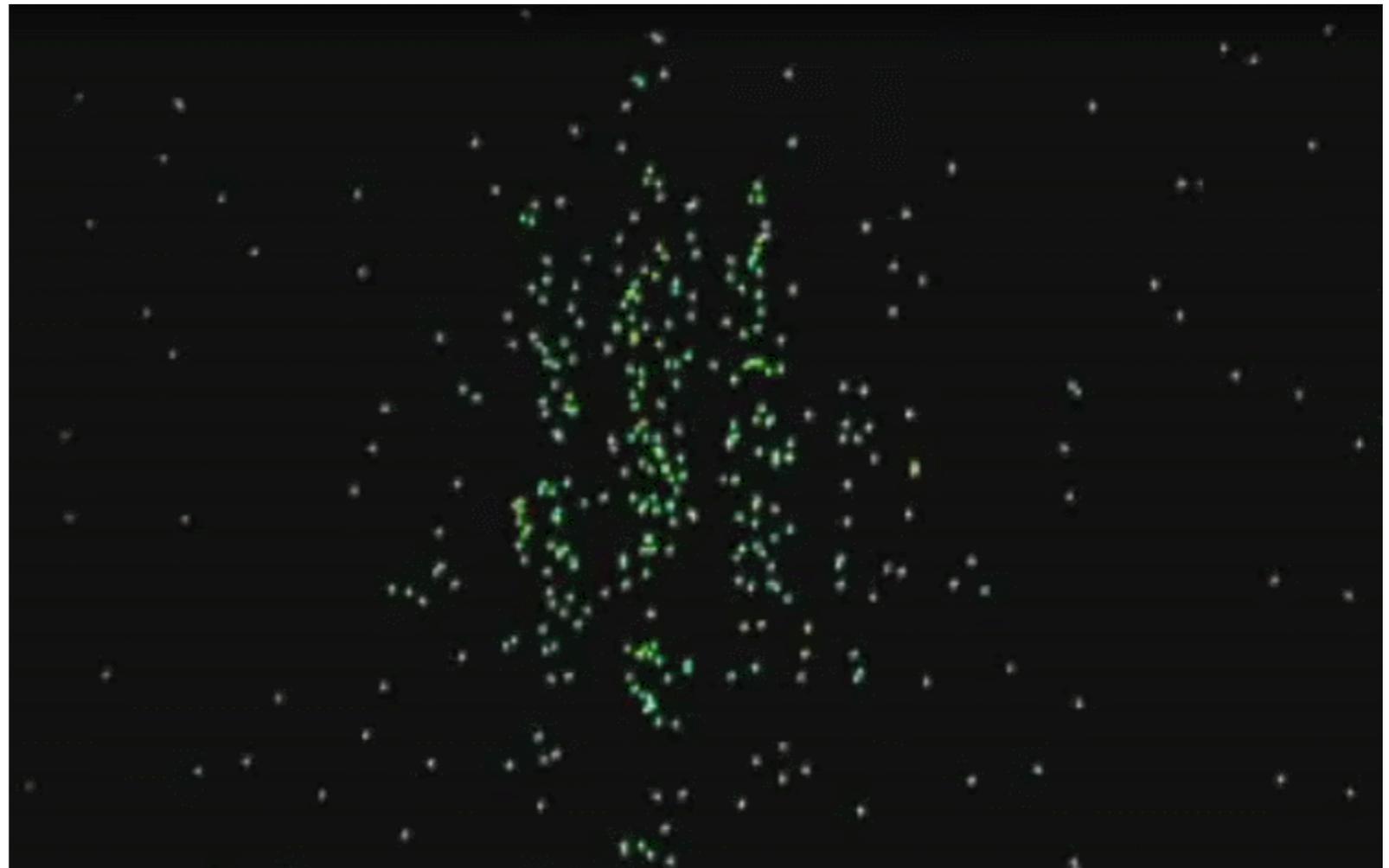
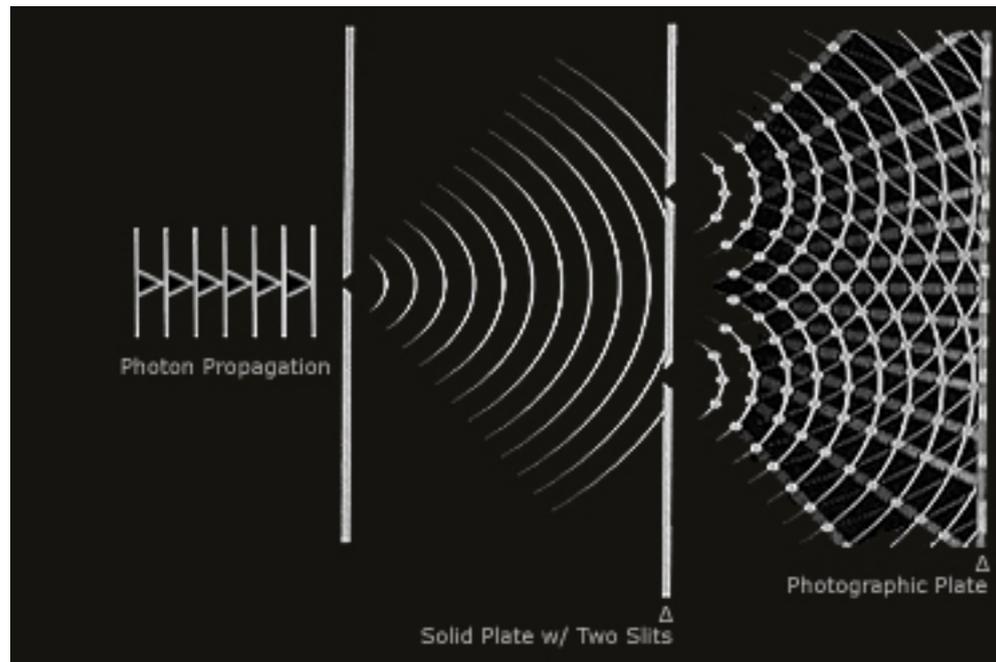
Esto llevó a Einstein a proponer su Teoría de la Relatividad Especial (c vale lo mismo en todos los sistemas inerciales)

La explicación del efecto fotoeléctrico llevó a Einstein a proponer la existencia de fotones.



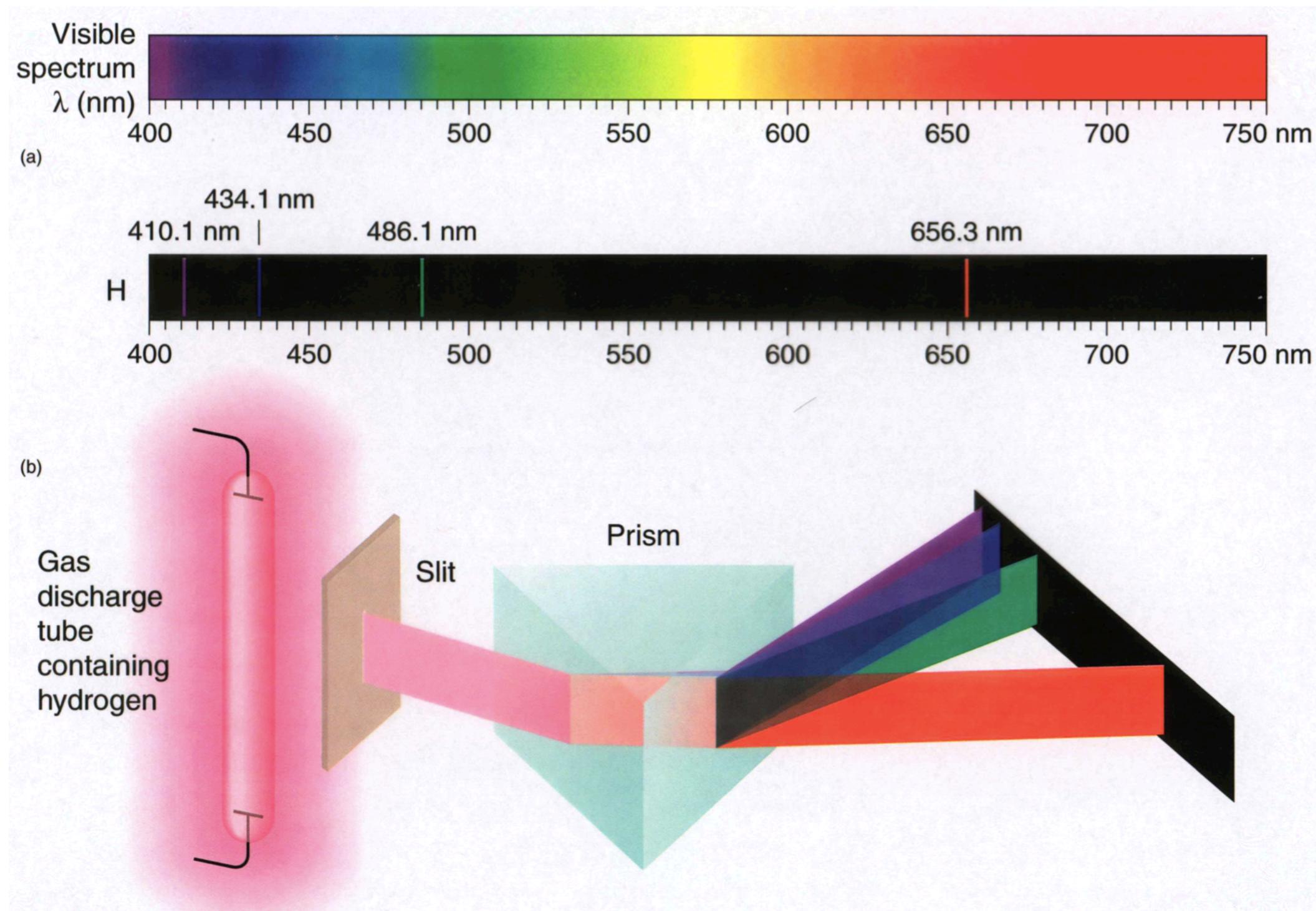
Por este trabajo publicado en 1905 Einstein recibió el Premio Nobel

Experimento de las dos rendijas que revela la naturaleza corpuscular de la luz pero a su vez muestra efectos cuánticos ya que los fotones “interfieren” como las ondas.

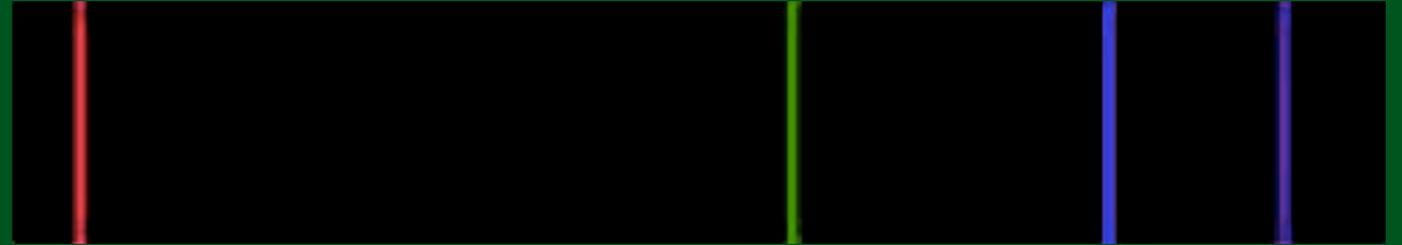


La existencia de fotones (y la naturaleza cuántica de la materia) permite explicar los espectros de emisión de los átomos.

# Experimento de Bohr

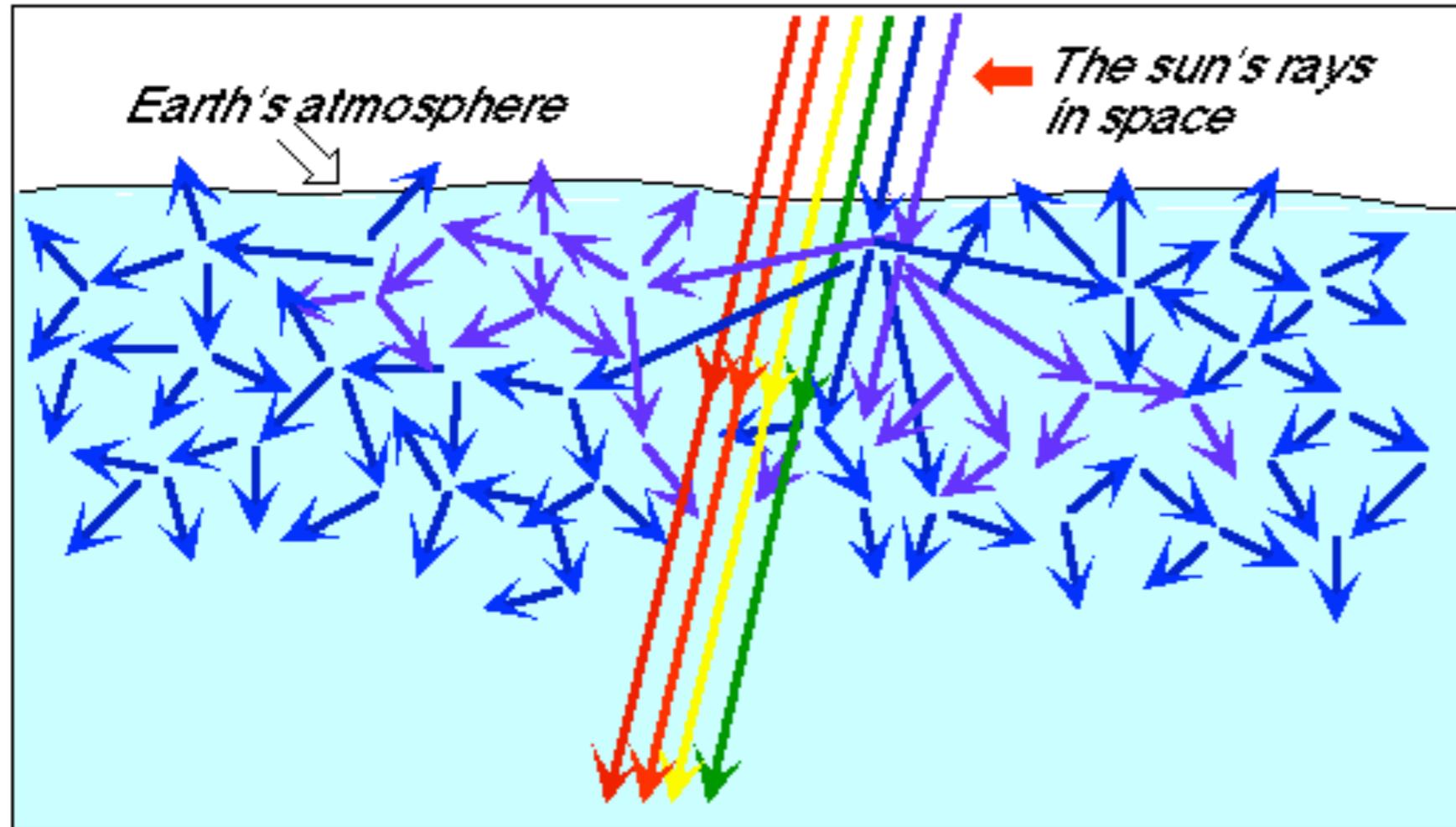


# Átomo de Bohr

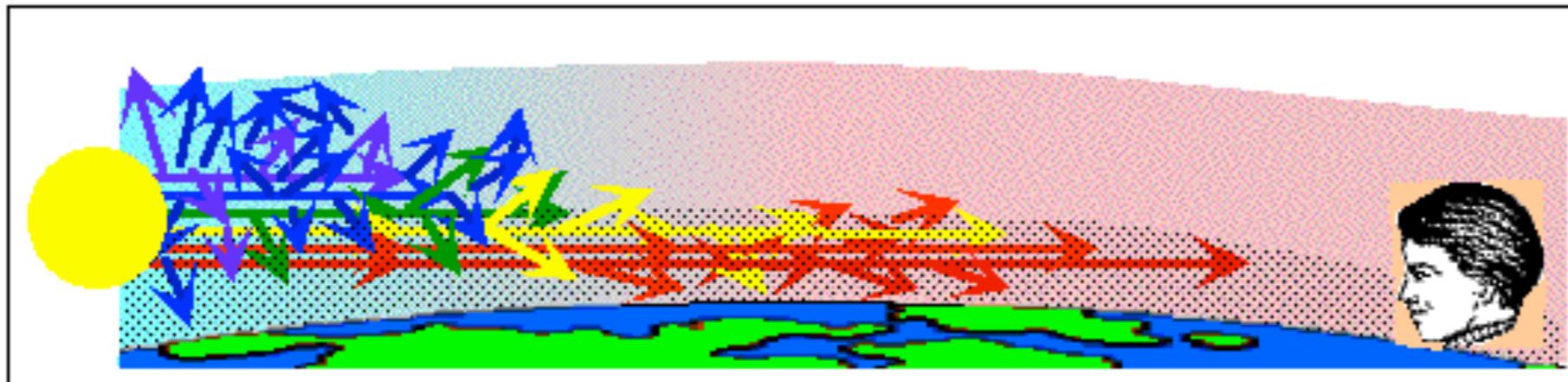


- Los electrones ligados al átomo sólo pueden tener ciertas energías (cuantizadas).
- Los electrones sólo pueden absorber o emitir fotones de cierta energía (cierto color)
- Pudo explicar las líneas en el infrarrojo, el visible y el ultravioleta del átomo de hidrógeno.

Pero la luz (los fotones) no sólo es absorbida y re-emitida por la materia. También es dispersada (sufre “scattering”)

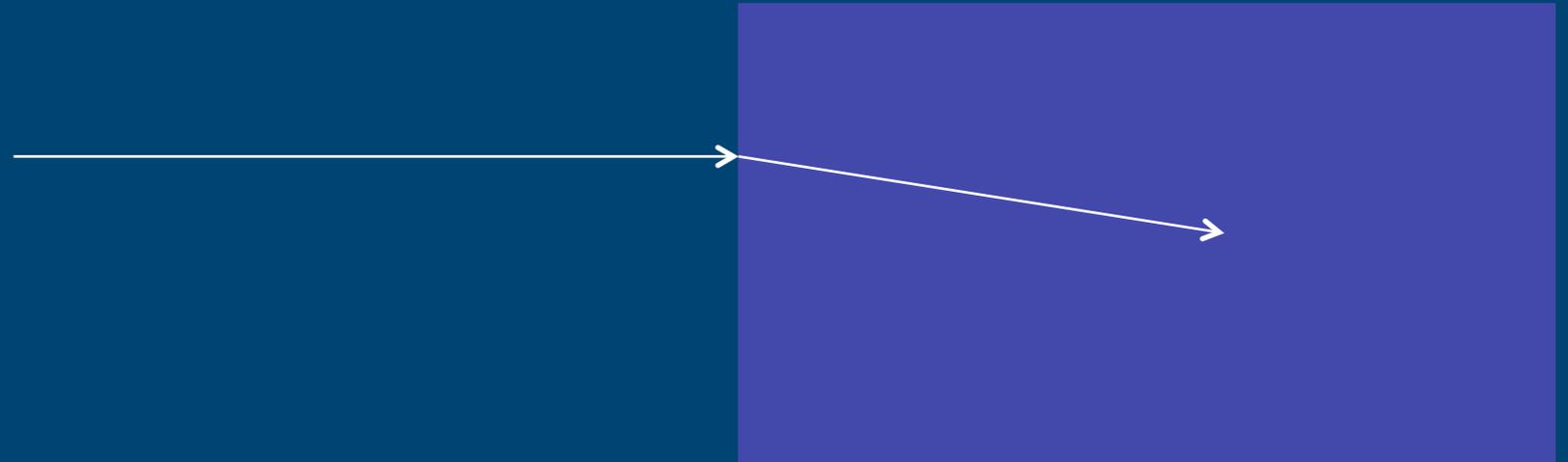


Es la razón por la que el cielo se ve celeste o por la que uno ve un “rayo laser”

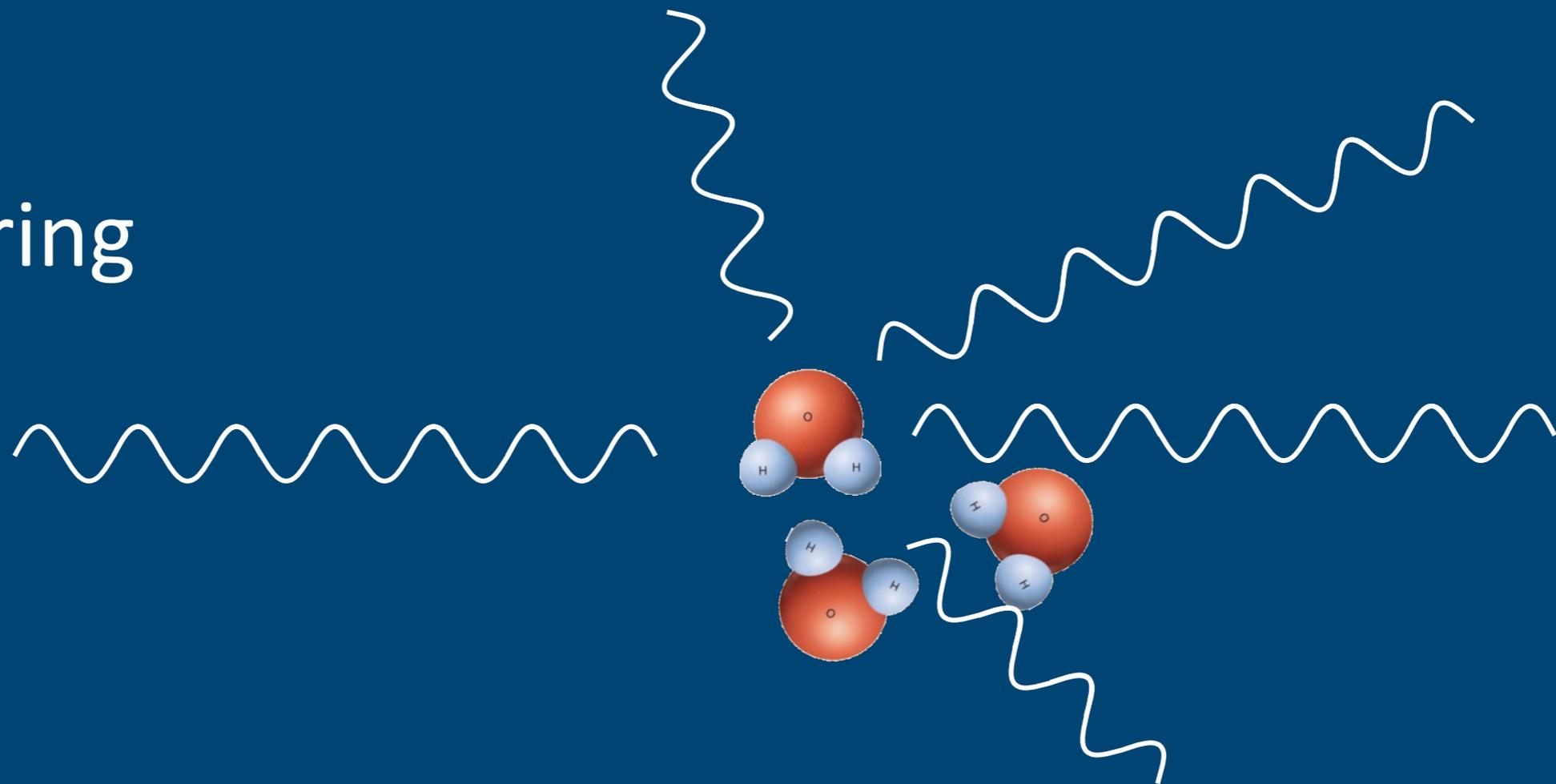


# Rayos vs Scattering

Rayos



Scattering



Para describir el viaje de la luz hasta el detector podemos elegir tres formas.

Cada una es más o menos adecuada dependiendo de la relación entre la longitud de onda de la luz y las características del medio por el que se propaga.

- rayos
- ondas
- fotones

