



# La Naturaleza de la Luz

## *Huygens versus Newton*



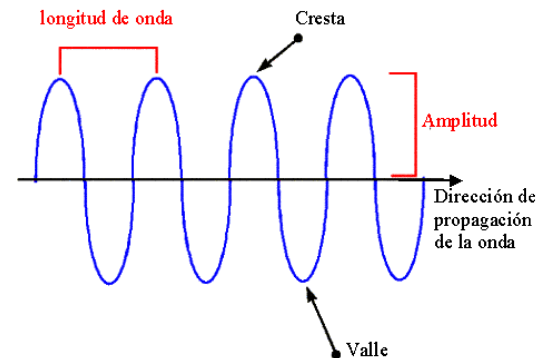
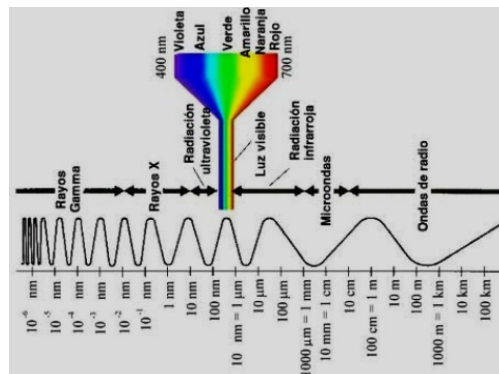
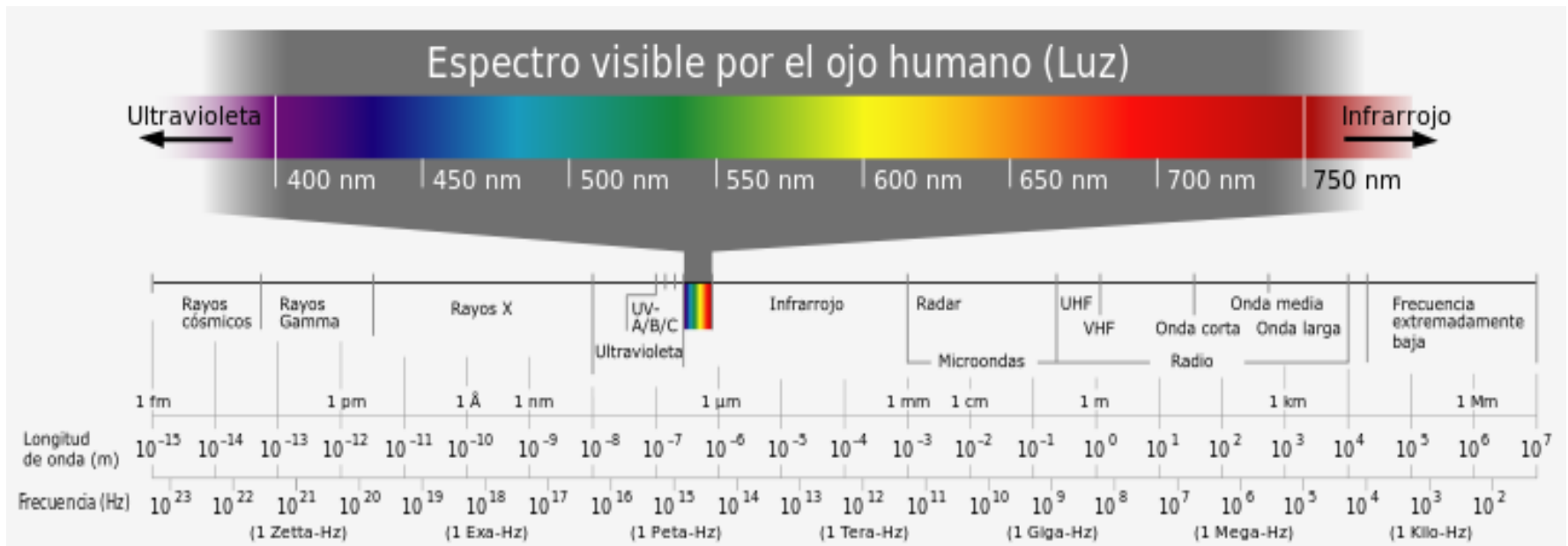
## ¿Qué es la luz?

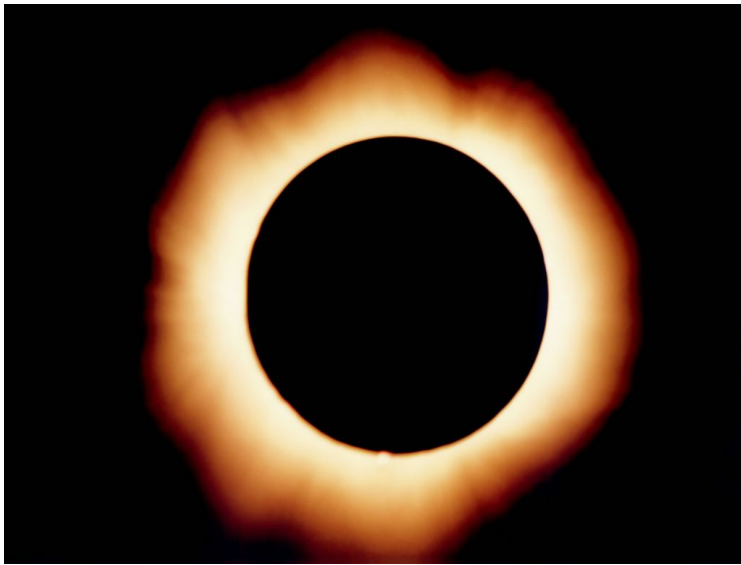
Es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano.

En física el término luz tiene un sentido más amplio e incluye todo el campo de la radiación conocido como *espectro electromagnético*, y la llamada *luz visible* se refiere a la radiación electromagnética en el espectro visible.

El estudio de la luz pone de manifiesto una serie de características y efectos de ésta al interactuar con la materia (difracción, reflexión, refracción, birrefringencia, polarización, efecto fotoeléctrico, etc), que permite desarrollar varias teorías.

El espectro visible, es decir lo que el ojo humano puede ver, comprende las longitudes de onda desde los 380 nm hasta los 780 nm. (  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$  )  
 La luz de cada una de estas longitudes de onda es vista por el ojo humano como un color diferente. (Descomposición de la luz blanca por un prisma)





**Pitágoras.-** Planteó que la luz emanaba del ojo en forma de rayos luminosos formados por partículas (corpúsculos) que se propagan en línea recta y chocan con el cuerpo observado.

**Demócrito.-** Supuso que los cuerpos emitían átomos de distintas formas y tamaños y que estos átomos llevaban aspectos de la imagen de los cuerpos.

**Aristóteles.-** Para Aristóteles, los objetos se pueden observar no porque hubiera movimiento de partículas o emisión de átomos en ningún sentido, sino por una modificación del medio interpuesto entre el ojo y el objeto visto.

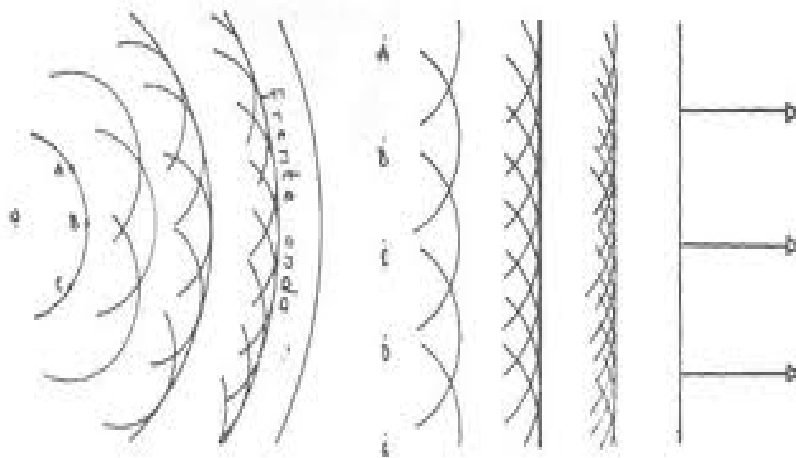
Podemos considerar esta teoría como una primera aproximación a la naturaleza ondulatoria de la luz.



## Christian Huygens (1629-1695)

Formula una **teoría ondulatoria de la luz** en la que la considera una onda mecánica semejante al sonido y por tanto longitudinal. Para su propagación necesitaba un medio al que llamó *éter*, que llena todo el espacio y se deforma al paso de la onda luminosa.

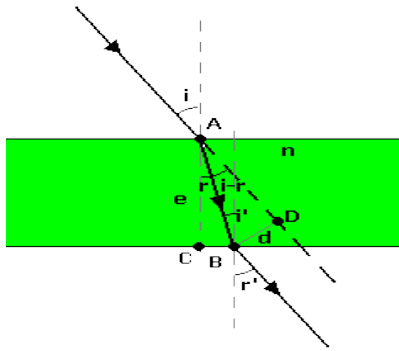
Para Huygens, “cada punto alcanzado por la onda luminosa actúa como centro emisor de ondas secundarias. Y la onda principal es la envolvente de todas esas ondas secundarias”. Éste es el llamado principio de Huygens.



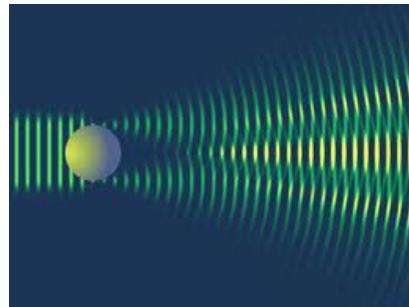
En la teoría de Huygens la diferencia entre las ondas sonoras y las luminosas es que el sonido no se propaga en el vacío y la luz sí lo hace.

El principio de Huygens permite explicar comportamientos de la luz como:

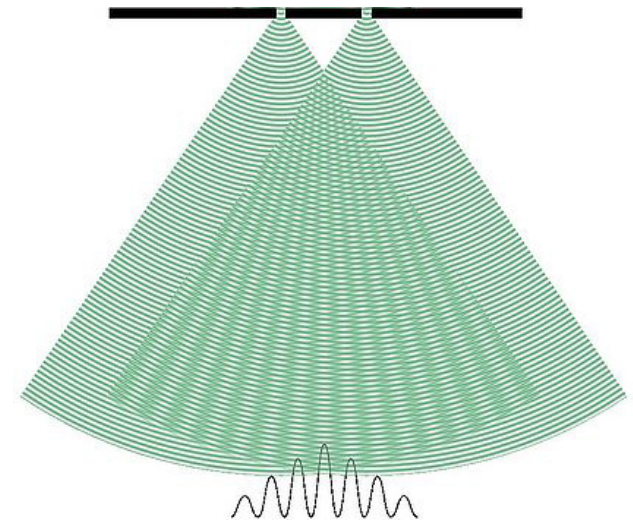
- La doble refracción
- La difracción (la teoría corpuscular no podía explicar este fenómeno)
- Las interferencias luminosas (la teoría corpuscular no podía explicar este fenómeno)



Doble refracción

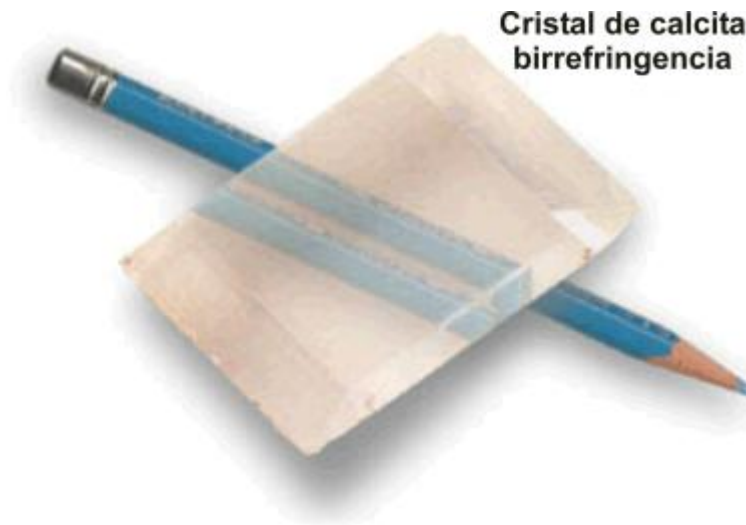


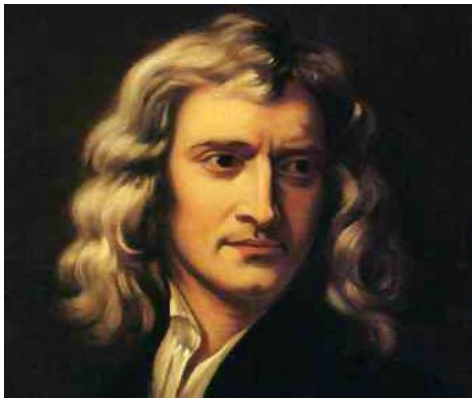
Difracción



Interferencias luminosas

La **birrefringencia** o **doble refracción** es una propiedad de ciertos cuerpos, especialmente el espato de Islandia, de desdoblar un rayo de luz incidente en dos rayos linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí como si el material tuviera dos índices de refracción distintos. Eso ocurre cuando el material es anisótropo, es decir materiales en los que ciertas propiedades físicas, como la velocidad de propagación de la luz, varían según la dirección en que son examinadas.





**Isaac Newton (1642-1727)**



Newton fue le primero en postular la llamada **Teoría Corpuscular o Emisiva** de la luz.

Según Newton, las fuentes luminosas emiten corpúsculos muy ligeros que se desplazan a gran velocidad, en línea recta y atraviesan medios transparentes.

En base a esto, la variación de intensidad de la fuente luminosa es proporcional a la cantidad de corpúsculos que emite en determinado tiempo.

Con este modelo corpuscular explicó algunos comportamientos de la radiación luminosa, como por ejemplo:

.- El que la luz estaba compuesta por siete colores, los del arco Iris, lo cual demostró en 1666 haciendo incidir un haz de luz sobre la superficie de un prisma.

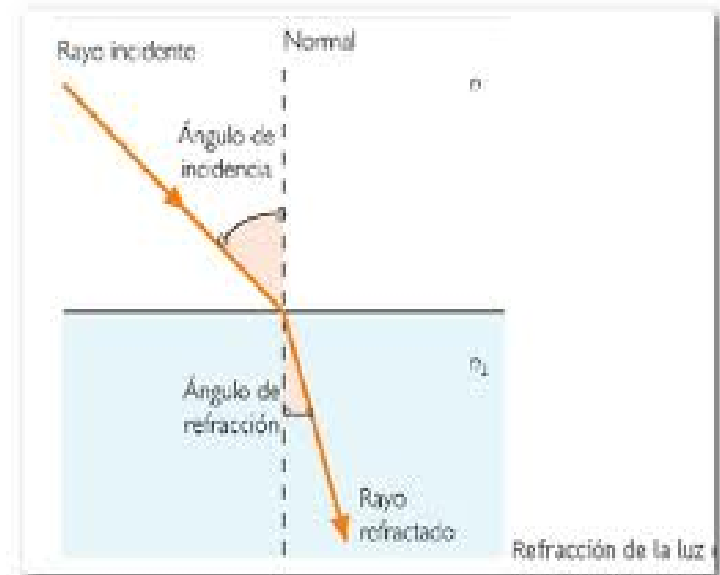
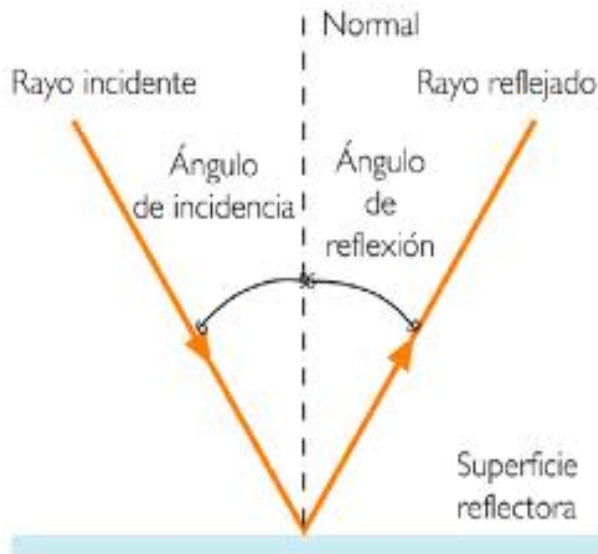


.- La reflexión de la luz, que consistía en la incidencia de los corpúsculos luminosos en forma transversal sobre una superficie especular, de forma que al llegar a ella el haz luminoso cambia de dirección pero siempre en el mismo medio.

Mientras el rayo incidente y el reflejado estén en el mismo medio la velocidad de los corpúsculos será la misma.

.- La refracción la resolvió diciendo que, los corpúsculos que inciden oblicuamente en una superficie de separación de dos medios de distinta densidad, son atraídos por la masa del medio más denso y eso haría que la velocidad de la luz fuese mayor cuanto mayor fuese la densidad del medio que atravesase.

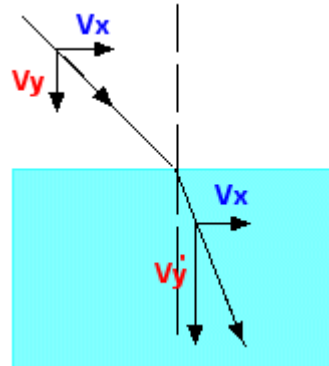
Años más tarde se demostraría que cuanto más denso es el medio menor es la velocidad de propagación de la luz.



## Resumiendo

- 1.- La teoría corpuscular puede explicar la formación de sombras nítidas de los objetos puesto que los corpúsculos luminosos viajan en línea recta.
- 2.- La teoría ondulatoria puede explicar las interferencias luminosas y la difracción (experimento de Young) puesto que cada punto del éter alcanzado por el haz luminoso, se convierte en un nuevo foco emisor de luz.
- 3.- Ambas teorías, corpuscular y ondulatoria explican el fenómeno de la reflexión de la luz.
- 4.- Ambas teorías explican el fenómeno de la refracción de la luz al pasar de un medio menos denso a otro más denso, pero para la teoría corpuscular la velocidad de la luz en el medio más denso es mayor que en el medio menos denso y para la teoría ondulatoria, la velocidad de la luz es menor en el medio de mayor densidad y mayor en el medio de menor densidad.

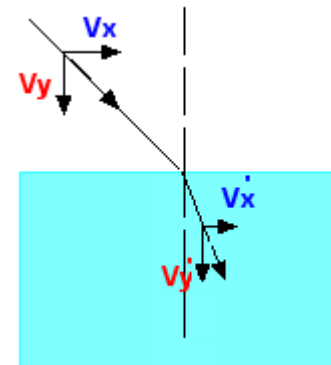
Según la teoría corpuscular de Newton, el rayo, al acercarse a la superficie del agua, sufre una atracción gravitatoria sobre la componente vertical que la aumenta, mientras que la horizontal no varía, el resultado es una mayor velocidad total en el agua .



Según la teoría ondulatoria de Huygens al ser la luz una onda cumplía la ley de Snell:

$$\text{sen } i / \text{sen } r = V1 / V2$$

V1 es la velocidad en el medio desde donde incide y V2 la velocidad en el medio donde se refleja. Para que se cumpla la ley de Snell, y que el ángulo  $r$  sea menor que el  $i$ , la velocidad en el medio 2 debe ser menor.



Fizeau (1819-1856) y Foucault (1819-1868), midieron la velocidad de la luz en el aire y en el agua, demostrando que, según predecía la teoría ondulatoria de Huygens, la velocidad de propagación de la luz en el aire, era mayor que la velocidad de propagación de la luz en el agua.



Hippolyte Fizeau

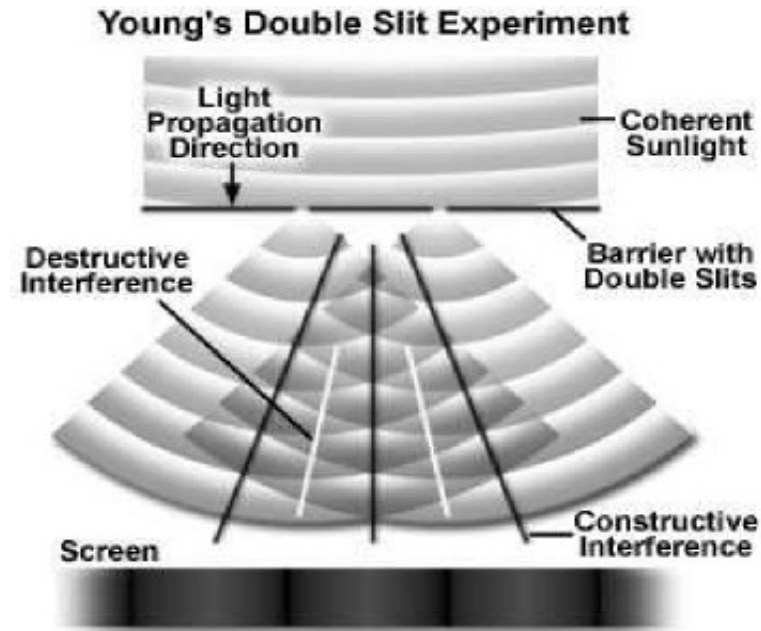


Jean Bernard Foucault



## Thomas Young (1773-1829)

En 1801 este físico inglés demostró, con su experimento de la doble ranura el fenómeno de la difracción y las interferencias lumínicas. Ambos fenómenos sólo pueden ser explicados dando a la luz una naturaleza ondulatoria, como afirmaba el principio de Huygens.



Así mismo explicó la dispersión de la luz blanca por un prisma en colores suponiendo que cada color de la luz tiene una frecuencia y una longitud de onda características en cada medio.

En el vacío y casi igual en el aire, todas las radiaciones luminosas se propagan a la misma velocidad.

Pero cuando una radiación luminosa se propaga por cualquier otro medio, la velocidad de propagación es mayor cuanto mayor es la longitud de onda de la radiación luminosa.



## Olaf Roemer (1644-1710)

En 1670, por primera vez en la historia, el astrónomo danés Olaf Roemer pudo calcular la velocidad de la luz.

Se hallaba estudiando los eclipses de *Io*, uno de los satélites de Júpiter, cuyo período había determinado tiempo atrás. Estaba en condiciones de calcular cuáles serían los próximos eclipses.

Se dispuso a observar uno de ellos, y con sorpresa vio que a pesar de que llegaba el instante tan cuidadosamente calculado por él, el eclipse no se producía y que el satélite demoró 996 segundos en desaparecer.

Roemer realizó sus primeros cálculos cuando la tierra se encontraba entre el Sol y Júpiter; pero cuando observó el retraso en el eclipse era el Sol quien se encontraba entre la Tierra y Júpiter. Por lo tanto la luz debía recorrer una distancia suplementaria de 299.000.000 km, que es el diámetro de la órbita terrestre, por lo tanto:

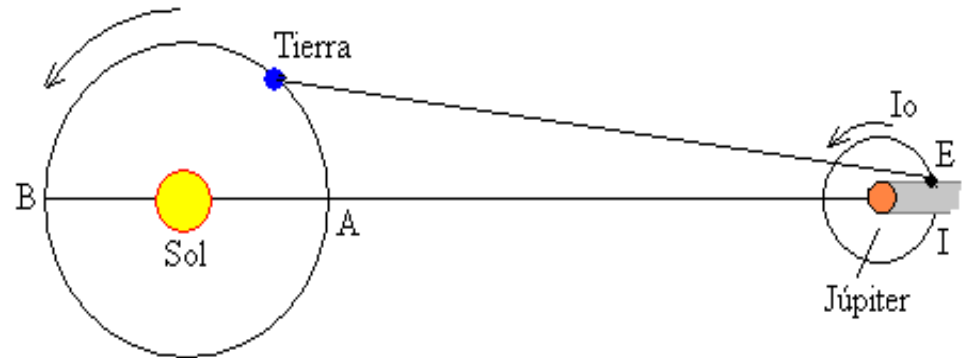
$$\text{Vel. Luz} = \text{Diam. Órbita terrestre} \ 299.000.000 \text{ km} / \text{Atraso observado} \ 996 \text{ s} = \\ 300.200 \text{ km/s}$$

Observaciones posteriores llevaron a la conclusión que el atraso en cuestión era de 1.002 s , lo cual da por resultado que la velocidad de la luz sería de 298.300 km/s.

## El procedimiento de Roemer

En la figura, se muestra el **Sol**, la **Tierra**, **Júpiter** y su satélite **Io** en su órbita alrededor de este planeta. El **Sol** ilumina **Júpiter**, que proyecta su sombra en el espacio.

**Io** es el satélite más cercano de **Júpiter**, y está situado prácticamente en el plano de su órbita alrededor del **Sol**. El satélite **Io** entra en la sombra proyectada por **Júpiter** por el punto **I** quedando oculto durante un pequeño intervalo de tiempo, y sale de la sombra por el punto **E**.



Durante medio año, el observador terrestre ve la aparición de **Io** oculto en la sombra de **Júpiter**, y durante el otro medio año la desaparición (eclipses) en dicha sombra. Supongamos que la **Tierra** está en la posición **A**, la más cercana a **Júpiter** (oposición), cuando **Io** aparece de la sombra de **Júpiter**. El mismo acontecimiento ocurrirá 42.5 horas más tarde, cuando **Io** haya completado una vuelta.

La **Tierra** se mueve alrededor del **Sol**, después de **N** periodos de **Io**, la **Tierra** se encuentra en la posición **B** (conjunción) la más alejada de **Júpiter**.



Sea  $P'$  el periodo de lo medido por un observador terrestre y  $P$  el "verdadero" periodo de lo. La distancia entre la Tierra y Júpiter se ha incrementado en  $AB = d = 2UA$ , el diámetro de la órbita aproximadamente circular de la Tierra alrededor del Sol, que tiene un valor de  $2 \times 146,9 \times 10^9 \text{m}$ .

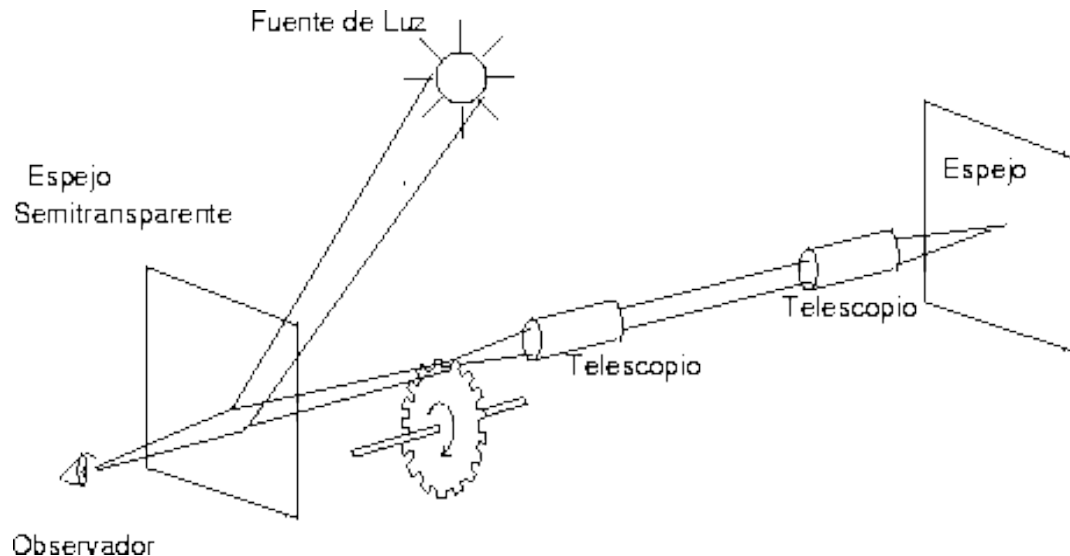
El astrónomo mide la diferencia  $NP' - NP = 990 \text{ s}$ , que será igual al cociente entre la distancia  $AB$  y la velocidad de la luz  $c$ .

$$c = \frac{2 \cdot 146.9 \cdot 10^9}{990} = 3.02 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

En 1849, el físico francés Fizeau, logró medir la velocidad de la luz con una experiencia hecha en la tierra. Envió un rayo de luz, por entre los dientes de una rueda dentada que giraba a gran velocidad, de modo que se reflejara en un espejo y volviera hacia la rueda. Esta relación de velocidad entre el camino recorrido por la luz en su ida y vuelta y las revoluciones de la rueda dentada, fue la que tomó Fizeau de base para calcular la velocidad de la luz.



**Hippolyte Fizeau (1819-1896)**

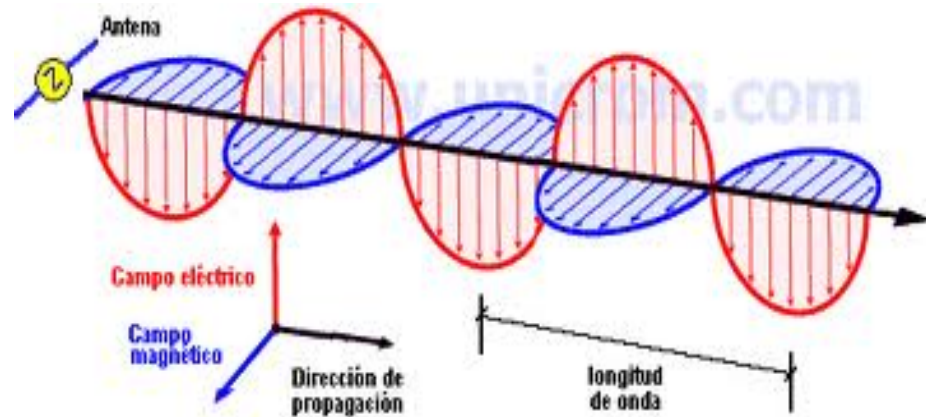


Fizeau colocó el espejo a 8.633 m del observador, la rueda tenía 760 dientes y giraba a 12,6 revoluciones por segundo.

El resultado obtenido fue  $V = 313.274 \text{ km/s}$



## J. Clerk Maxwell (1831-1879)



En 1864 Maxwell obtuvo una serie de ecuaciones fundamentales del electromagnetismo y predijo la existencia de ondas electromagnéticas.

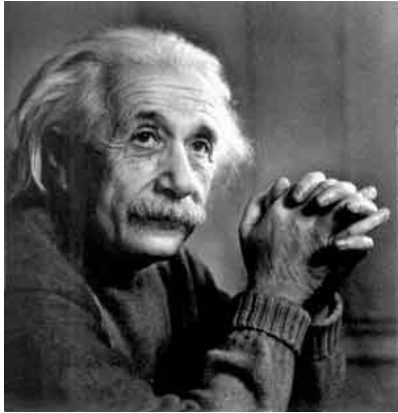
Estudió matemáticamente estas ondas y se dio cuenta de que se propagaban a una velocidad constante, que coincidía con la velocidad de la luz y de que no necesitaban medio de propagación, ya que se autopropagaban. La confirmación experimental de las teorías de Maxwell eliminó cualquier duda sobre la naturaleza ondulatoria de la luz.

Supuso que la luz representaba una pequeña parte del espectro de ondas electromagnéticas.



Max Plank (1858-1947)

El fenómeno de la radiación del cuerpo negro hizo que el físico formulase su teoría de los cuantos de luz. Para Plank la luz estaba compuesta por un torrente de partículas, sin masa ni carga, llamadas fotones.



Albert Einstein (1879-1955)

En 1905 Einsten utilizó la teoría cuántica de Plank para explicar el efecto fotoeléctrico por el cual, cuando un haz de luz monocromática incide sobre la superficie de algunos sólidos se desprenden electrones de la superficie de éste, en un fenómeno conocido como fotoemisión.

## **Conclusión**

La luz se comporta como onda electromagnética en los fenómenos de propagación, interferencias y difracción y como corpúsculo en la interacción con la materia.

La naturaleza ondulatoria y la naturaleza corpuscular son dos aspectos diferentes de la misma cuestión que, lejos de excluirse, se complementan.