

## OPTICA NATURALEZA DE LA LUZ

**IES La Magdalena.  
Avilés. Asturias**

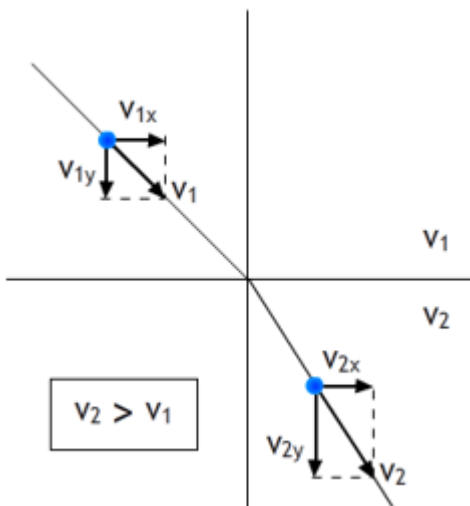
A finales del siglo XVII dos teorías pugnaban por explicar la naturaleza de la luz.

**La teoría corpuscular mantenía que la luz se compone de pequeñas partículas** que son emitidas por los focos luminosos. Dichas partículas se propagan en línea recta e inciden sobre los cuerpos, rebotando en ellos (reflexión) o propagándose en su seno (refracción) hasta que llegan a nuestros ojos haciendo posible de esta manera la visión de esos objetos.

Isaac Newton fue el principal defensor de esta teoría, la cual era capaz de explicar los fenómenos hasta entonces conocidos como la reflexión o la refracción.



**Isaac Newton (1642 - 1727)**

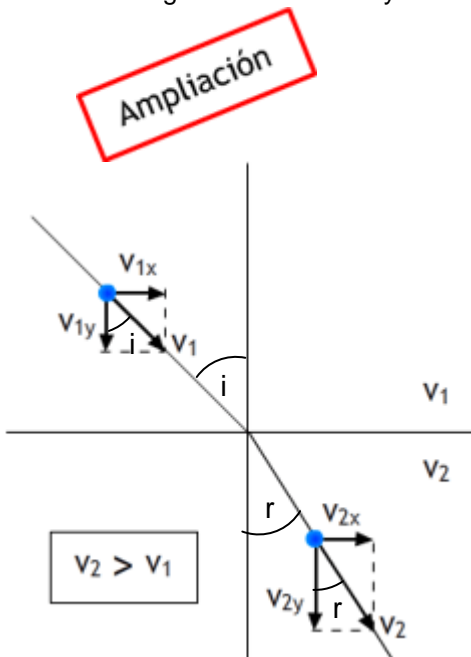


Para explicar la refracción Newton consideraba que cuando las partículas de la luz se propagan en un medio son atraídas por éste. Sucede que cuando la luz atraviesa medios distintos su velocidad varía como consecuencia de la distinta atracción ejercida por el medio sobre las partículas luminosas, siendo la diferente velocidad de propagación la causa que explica la flexión (refracción) de los rayos de luz cuando se propagan en medios distintos.

En la figura se puede ver el esquema de una partícula luminosa que pasa del aire al agua. Como consecuencia de la mayor atracción ejercida por el agua sobre las partículas luminosas la componente vertical de su velocidad aumenta, permaneciendo inalterada la componente horizontal. Como consecuencia de que **la velocidad de la luz es mayor en el agua** su trayectoria se altera produciéndose un acercamiento del rayo a la normal.

altera produciéndose un acercamiento del rayo a la normal.

La teoría corpuscular justificaba correctamente la ley enunciada por Snell hacia 1620 que establecía una relación entre el ángulo de incidencia y el de refracción:



$$\left. \begin{aligned} v_{1x} &= v_1 \operatorname{sen}(i) \\ v_{2x} &= v_2 \operatorname{sen}(r) \end{aligned} \right\} \text{ Como : } v_{1x} = v_{2x}$$

$$\boxed{v_1 \operatorname{sen}(i) = v_2 \operatorname{sen}(r)}$$

Nota

Podemos escribir la ley de Snell en la forma en que estamos acostumbrados si introducimos el concepto de índice de refracción:  $n = c/v$

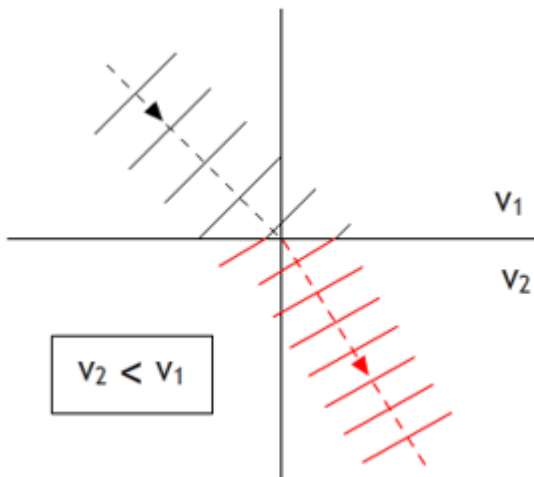
Tal y como se puede comprobar en la expresión deducida, **y suponiendo que  $v_2 > v_1$** , el ángulo de refracción es inferior al de incidencia, tal y como se observa en la experiencia.

**La teoría ondulatoria mantenía que la luz era una onda.** Como tal onda necesitaba de un medio en el que propagarse. Según Huygens dicho medio (de naturaleza desconocida y al que denominó *éter luminífero*) debería llenar la totalidad del espacio y penetrar en todos los cuerpos materiales. Sus propiedades eran bastante desconcertantes: elevadísima elasticidad junto con una densidad muy baja.

La teoría ondulatoria justificaba la refracción de la luz suponiendo que **la velocidad de la luz en el agua es inferior a la velocidad en el aire.** Si admitimos esta suposición cuando un frente de onda comienza a propagarse en el agua lo hace más lentamente (ver figura). En consecuencia, se produce un cambio en la trayectoria del rayo que se acerca a la normal. Además, como se puede observar en la figura, la longitud de onda debería ser menor en el agua que en el aire.



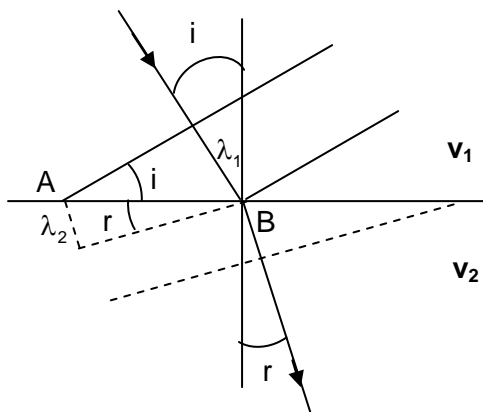
Christiaan Huygens (1629 - 1695)



La teoría ondulatoria contaba en su haber la posibilidad de explicar correctamente el fenómeno de la difracción de la luz, ya descrito en la época por Grimaldi. Newton, ante la imposibilidad de explicar el fenómeno desde el punto de vista corpuscular, abogó por la elaboración de una nueva teoría que fusionase ambas concepciones.

Curiosamente la teoría ondulatoria de la luz también lograba justificar la ley de Snell :

Ampliación



$$A B = \frac{\lambda_1}{\text{sen}(i)} \left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 \\ \text{sen}(i) \end{array} \right. = \frac{\lambda_2}{\text{sen}(r)}$$

Como :  $\lambda f = v$

$$\frac{v_1}{\text{sen}(i)} = \frac{v_2}{\text{sen}(r)} ; \boxed{v_1 \text{sen}(r) = v_2 \text{sen}(i)}$$

**Si suponemos que  $v_2 < v_1$  , el ángulo de refracción es inferior al de incidencia y el rayo se acerca a la normal.**

Considerando todo lo dicho, parecía que la prueba definitiva a favor de una u otra teoría sobre la naturaleza de la luz se tendría determinando la velocidad de propagación de la luz en el agua. Desafortunadamente , y en la época en la que Newton y Huygens propusieron sus teorías, esto aún no era posible.

## La medida de la velocidad de la luz

### 1. Experiencia de Roemer

La luz, según René Descartes (Óptica, 1637), se propagaba de forma instantánea:

"... la luz alcanza nuestros ojos desde el objeto luminoso en un instante..."

Galileo en su obra *Las dos ciencias* (1638) intuye que, aunque las experiencias cotidianas nos inducen a pensar que la luz se propaga de forma instantánea, su velocidad podrá ser finita, aunque no pudo encontrar un método fiable para determinarla.

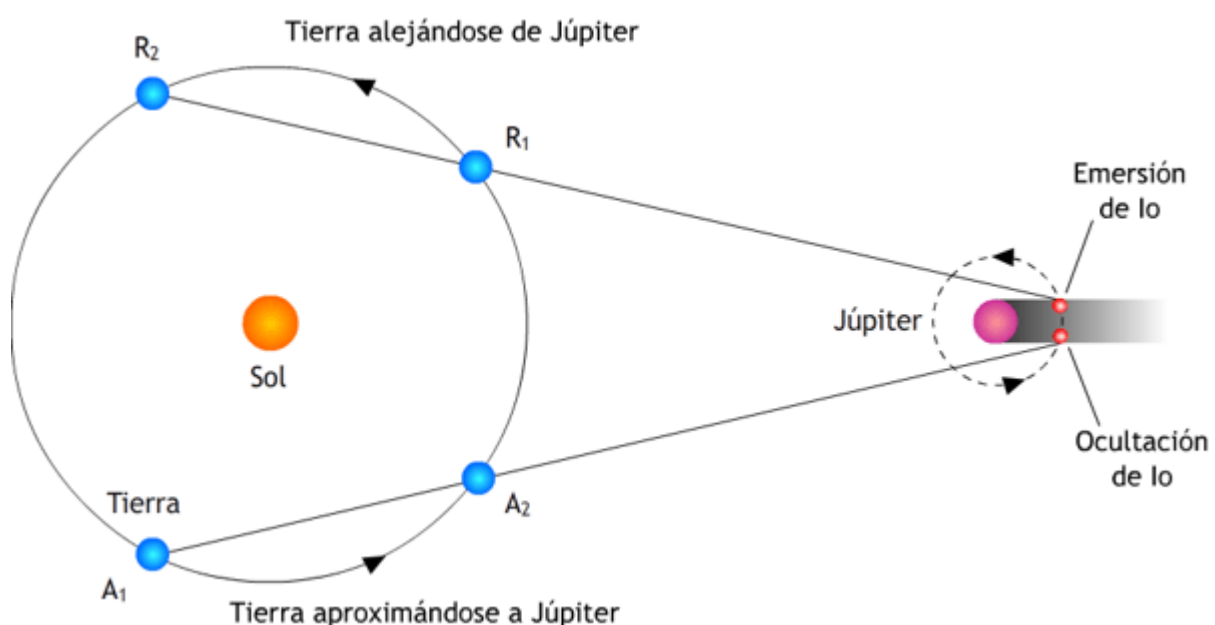
La primera determinación del valor de la velocidad de la luz se atribuye al astrónomo danés **Ole Roemer (1644 - 1710)**, quien en septiembre de 1676 sorprendió a la comunidad científica con la predicción de que el eclipse de lo (luna de Júpiter) previsto para las 6:10 h del 9 de noviembre tendría lugar 10 min más tarde de lo establecido, como efectivamente sucedió.

Roemer justificó su predicción en que la luz se propaga a una velocidad finita:

- Considerando que el tiempo que **lo** tarda en describir su órbita alrededor de Júpiter es constante (1,769 días), y teniendo en cuenta que la Tierra, debido a su movimiento alrededor del Sol, se aproxima a Júpiter (parte inferior de su órbita) o se aleja de él (recesión, parte superior de la órbita).
- Suponiendo que la luz se propaga con una velocidad finita, debería de observarse una variación en el periodo de ocultación o emersión debido a la diferencia de distancias entre el punto  $R_1$  y  $R_2$ , por ejemplo. Si se mide el periodo de emersión cuando la Tierra está en  $R_1$  (más cerca) se obtendrá un valor menor que cuando está en  $R_2$  (más lejos). Según los cálculos efectuados por Roemer la luz tardaría unos 22 min en recorrer una distancia igual al diámetro de la órbita terrestre.

Poco después Huygens combinó los datos de Roemer con el valor de la distancia entre la Tierra y el Sol que él había estimado, obteniendo un valor para la velocidad de la luz de  $2 \cdot 10^8$  m/s.

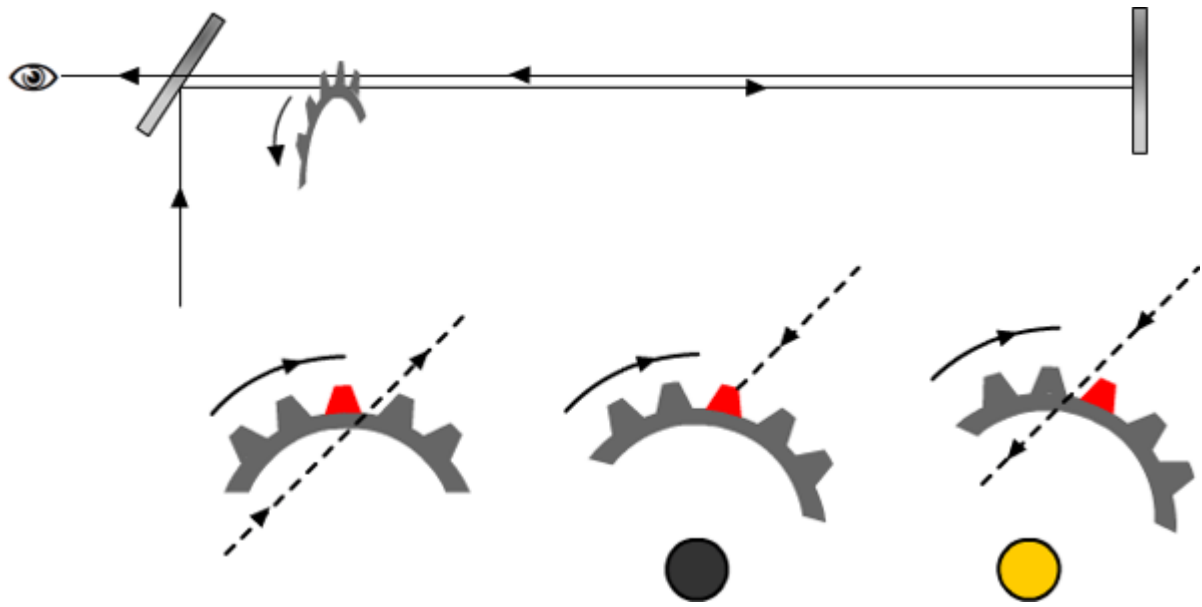
Aunque el valor obtenido para la velocidad de la luz se encuentra bastante alejado del admitido actualmente la experiencia de Roemer fue muy importante ya que demostró que **la luz se propagaba con una velocidad finita, aunque muy grande**.



## 2. Experiencia de Fizeau - Foucalut

**Hyppolyte Fizeau** (1819-1896) logró medir en 1849 la velocidad de la luz mediante un ingenioso experimento esquematizado en la figura.

Un rayo de luz procedente de una fuente de luz intensa se hace incidir sobre un espejo semiplateado que la desvía haciéndola pasar a través de los dientes de una rueda, cuya velocidad de giro se puede variar a voluntad. El rayo se refleja en un segundo espejo volviendo a pasar, en su camino de regreso, a través de la misma rueda. Dependiendo de la velocidad a la que gire la rueda, el rayo, en su camino de regreso, puede encontrarse con un diente, con lo que no se observaría luz alguna de retorno, o con un hueco, lo que provocaría la observación de luz.



Esquema del experimento de Fizeau (1849)

En su experimento original Fizeau situó el primer espejo en una colina de Suresnes (Francia) y el segundo en la colina de Montmartre, distante 8 633 m.

La rueda dentada usada en la experiencia constaba de 720 dientes y se observaba la extinción de la luz del rayo reflejado cuando giraba a 12,6 rev/s (79,2 rad/s). Por tanto, cuando no se observa luz es debido a que la rueda ha girado un ángulo:

$$\varphi = \frac{2\pi}{1440} = \frac{\pi}{720} \text{ rad}$$

El tiempo que tarda la luz en regresar vendría dada por :

$$c = \frac{e}{t} = \frac{2L}{t}; t = \frac{2L}{c}$$

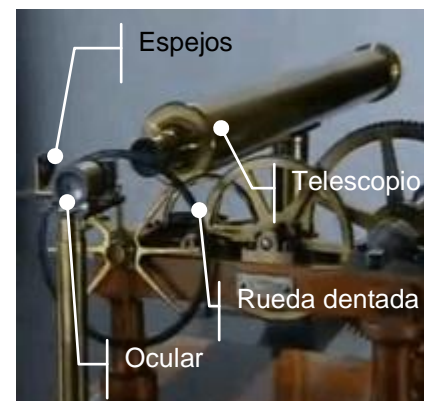
Y la velocidad angular de giro de la rueda :

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{\frac{\pi}{720} \text{ rad}}{\frac{2L}{c}} = \frac{\pi c}{1440 L}$$

Por tanto :

$$c = \frac{1440 L \omega}{\pi} = \frac{1440 \cdot 8633 \text{ m} \cdot 79,2 \text{ s}^{-1}}{\pi} = 3,13 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ampliación



Máquina utilizada por Fizeau para medir la velocidad de la luz

Experiencia de Fizeau en: <http://www.youtube.com/watch?v=7CUE1Bpz4hM&feature=related>

Con el método desarrollado por Fizeau no sólo se obtuvo un valor para la velocidad de la luz mucho más cercano a la cifra verdadera, además se tuvo la posibilidad de medir la velocidad de la luz en el agua.

**León Foucault** (1819 - 1868) perfeccionó el método de Fizeau sustituyendo la rueda dentada por un espejo giratorio (1862). El valor de la velocidad de la luz obtenido fue de 299 810 km/s.

El perfeccionamiento del método logró, además, reducir la distancia entre ambos espejos a menos de 10 m lo que permitió situar entre ambos un tubo lleno de agua, determinando así la velocidad a la que se propaga la luz en este medio. El valor obtenido fue inferior al determinado para el aire:  $2,26 \cdot 10^8$  m/s.

La confirmación de que la velocidad de la luz en el agua era menor que en el aire dio argumentos a los partidarios de la naturaleza ondulatoria de la luz, que acumuló nuevas pruebas en su favor a partir de las experiencias sobre interferencias y difracción efectuadas en el primer cuarto del siglo XIX.

La teoría electromagnética de Maxwell (1865), la producción de ondas electromagnéticas por Hertz y la determinación de su velocidad de propagación en 1887, llevaron al convencimiento de que **la luz misma no era más que una onda electromagnética**.

En los primeros años del siglo XX, con el enunciado la teoría cuántica de Planck y su aplicación para explicar el efecto fotoeléctrico por A. Einstein en 1905, se produce una vuelta a la concepción corpuscular **de la luz**.

**Actualmente se considera que la luz posee una naturaleza dual. Esto es, es a la vez onda y partícula.**

Su velocidad para el aire o el vacío es una de las constantes fundamentales de la naturaleza, y su valor es:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$