



Experimentos importantes en la Historia de la Física

Óptica

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Facultad de Ciencias, enero 2019

2015 Año Internacional de la Luz



Óptica

Alhazen	965 -- 1039
Roger Bacon	1210 --1292
Willebrord Snell	1581 --1626
Benito Daza de Valdés	1592 -- 1634
René Descartes	1596 -- 1650
Pierre Fermat	1601 -- 1665
Christian Huygens	1629 -- 1695
Isaac Newton	1642 -- 1727
Thomas Young	1773 -- 1829
Karl F Gauss	1777 -- 1855
Augustin Fresnel	1788 -- 1827
James C Maxwell	1831 -- 1879
Heinrich Hertz	1857 -- 1894

Antecedentes griegos

En los escritos del gran geómetra alejandrino **Euclides** (siglo IV-siglo III), "**Optica**" y "**Catróptica**", aparecen observaciones geométricas tan importantes como la propagación rectilínea de la luz, que él consideraba como un tentáculo **lanzado desde el ojo hasta el objeto**.

Arquímedes (287 -212), según cuenta la tradición, defendió su ciudad natal, Siracusa, empleando **espejos ustorios**, que son espejos cóncavos de gran tamaño, para concentrar los rayos del Sol en los barcos enemigos y quemar las naves de los romanos.

El griego **Epicuro** (341 a.C.-270 a. C.) dice que "de los objetos brotan partículas que hieren los ojos e impresionan la vista". Conocía la ley de la reflexión de la luz, como lo expresa Lucrecio en su libro "De la naturaleza de las cosas" donde se dice claramente que **el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión**. También habla de la **refracción de la luz**, indicando que una varilla, parcialmente sumergida en el agua se ve quebrada, pero no ofrece ninguna explicación del fenómeno.

Herón (siglo II a. C. Alejandría) era mecánico y constructor de máquinas. Estudió los espejos de diversas formas: planos, cóncavos y convexos, y logró fusionar en una las dos leyes de la reflexión especular: "**El rayo, sea o no reflejado, sigue siempre el camino más corto entre el objeto y el, ojo.**" (Esta afirmación fue recogida en el siglo XVIII por **Fermat** de manera más general).



La luz viaja en línea recta

Los rayos de luz entre las nubes indican que la luz viaja en línea recta.

Alhazen



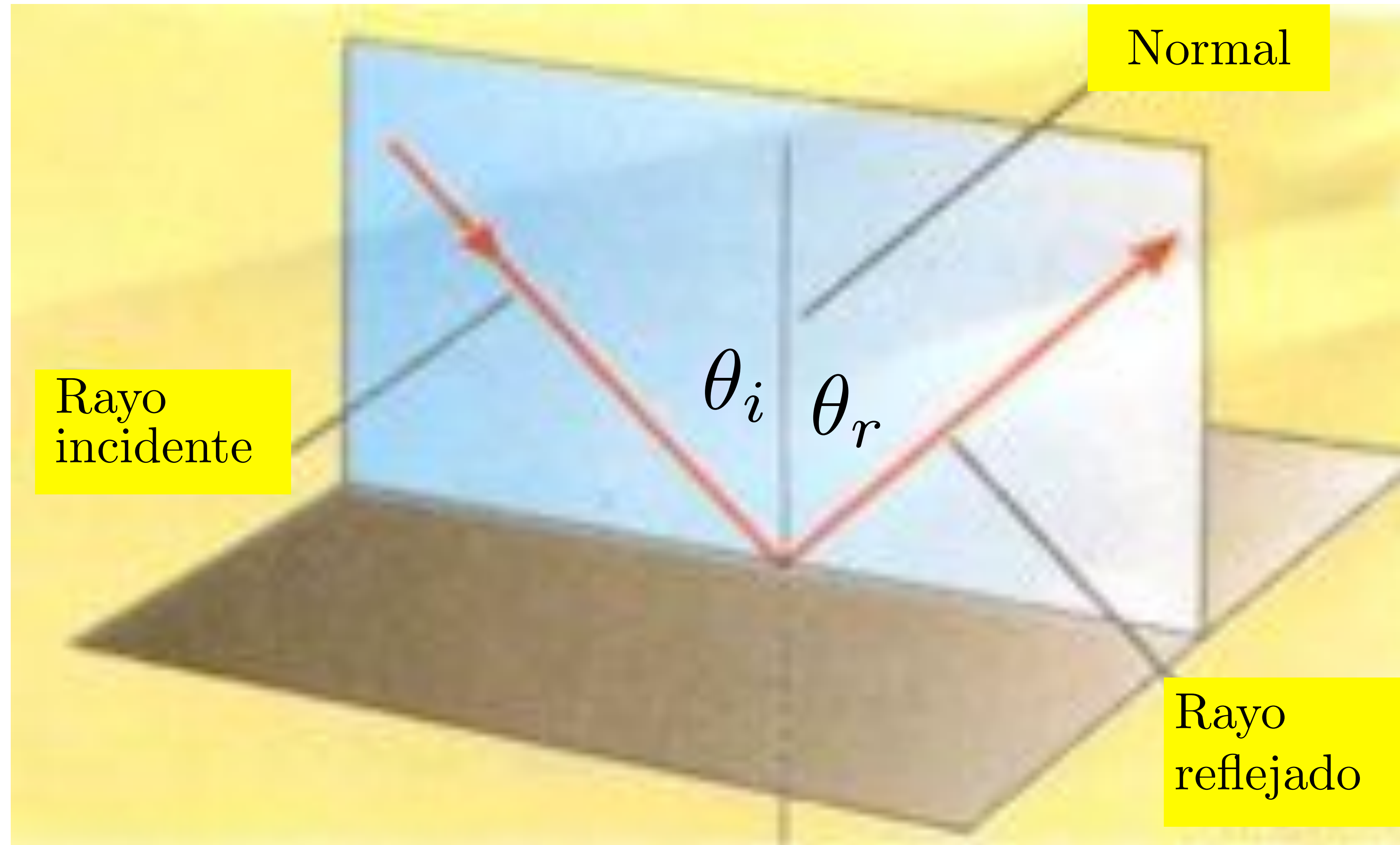
(Egipto, ca. 965-1039) *Es considerado el padre de óptica moderna.* Hizo importantes adelantos en la óptica de lentes y de espejos, realizó numerosos estudios (sombras, eclipses, naturaleza de la luz) y experimentos, y descubrió las leyes de la refracción. Realizó también las primeras experiencias de la dispersión de la luz en sus colores. Fabricó lentes, construyó equipos parabólicos como los que ahora se usan en los modernos telescopios y estudió las propiedades del enfoque que producen.

Estudió la propiedad que tienen los vidrios de caras curvas de aumentar las dimensiones de los objetos y experimentó con garrafas de vidrio llenas de agua la refracción de los rayos en un medio transparente. Fue el primero en describir exactamente las partes del ojo y dar una explicación científica del proceso de la visión. Contradiendo la teoría de Tolomeo y de Euclides de que el ojo emite los rayos visuales a los objetos, él *considera que son los rayos luminosos los que van de los objetos al ojo.*

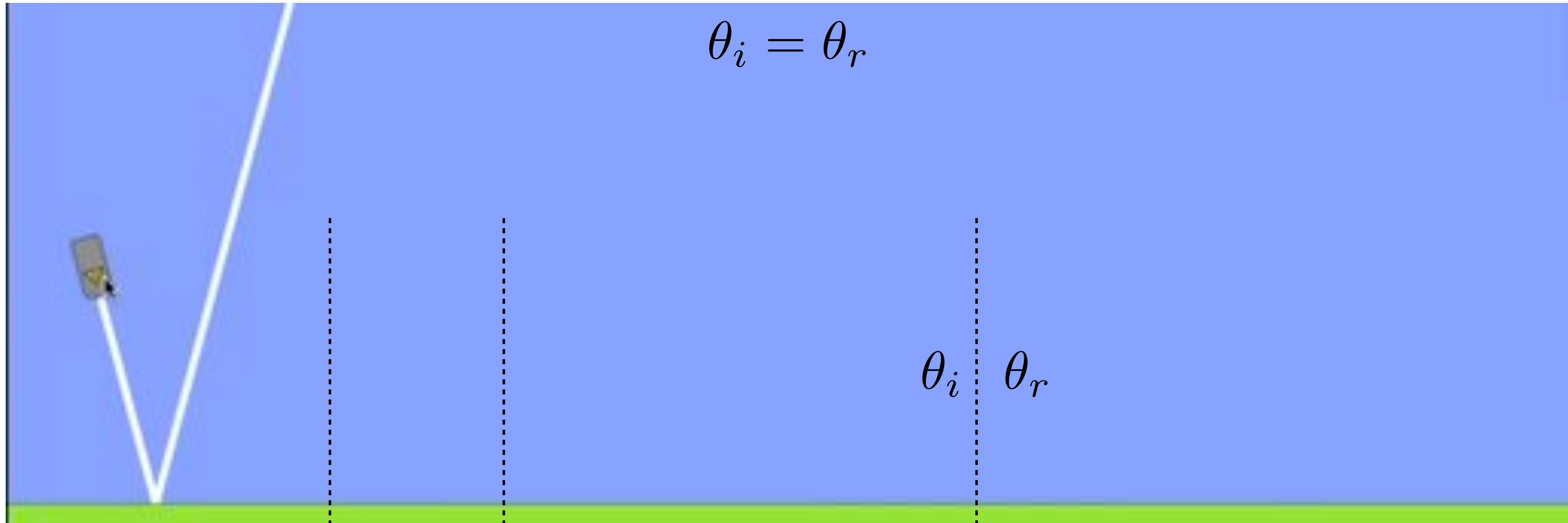
Ley de la reflexión de la luz

Reflexión de la luz.

Cuando la luz incide sobre un espejo, el rayo incidente y el ángulo reflejado se encuentran en el mismo plano y el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión



Alhazen



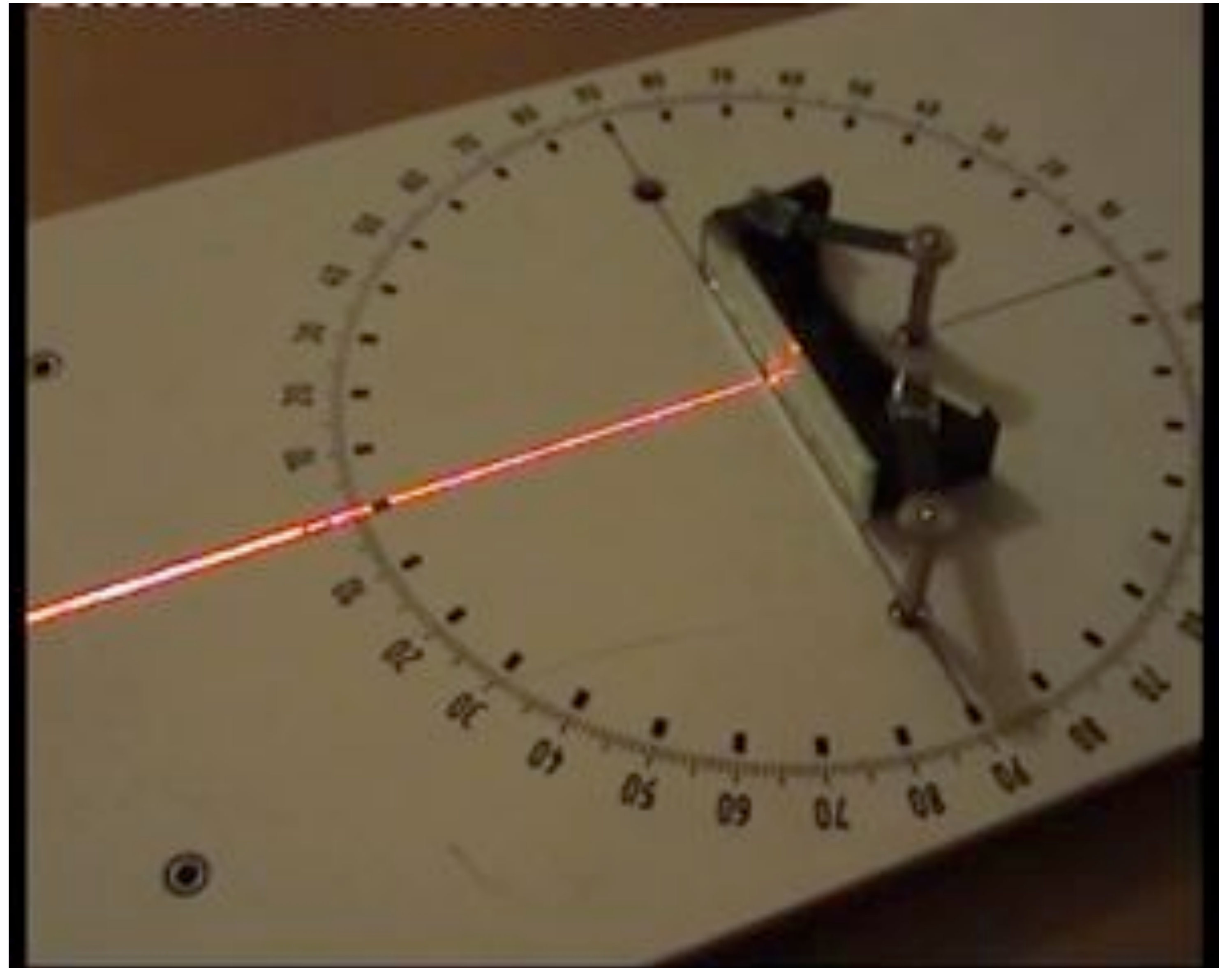
Reflexión de la luz.

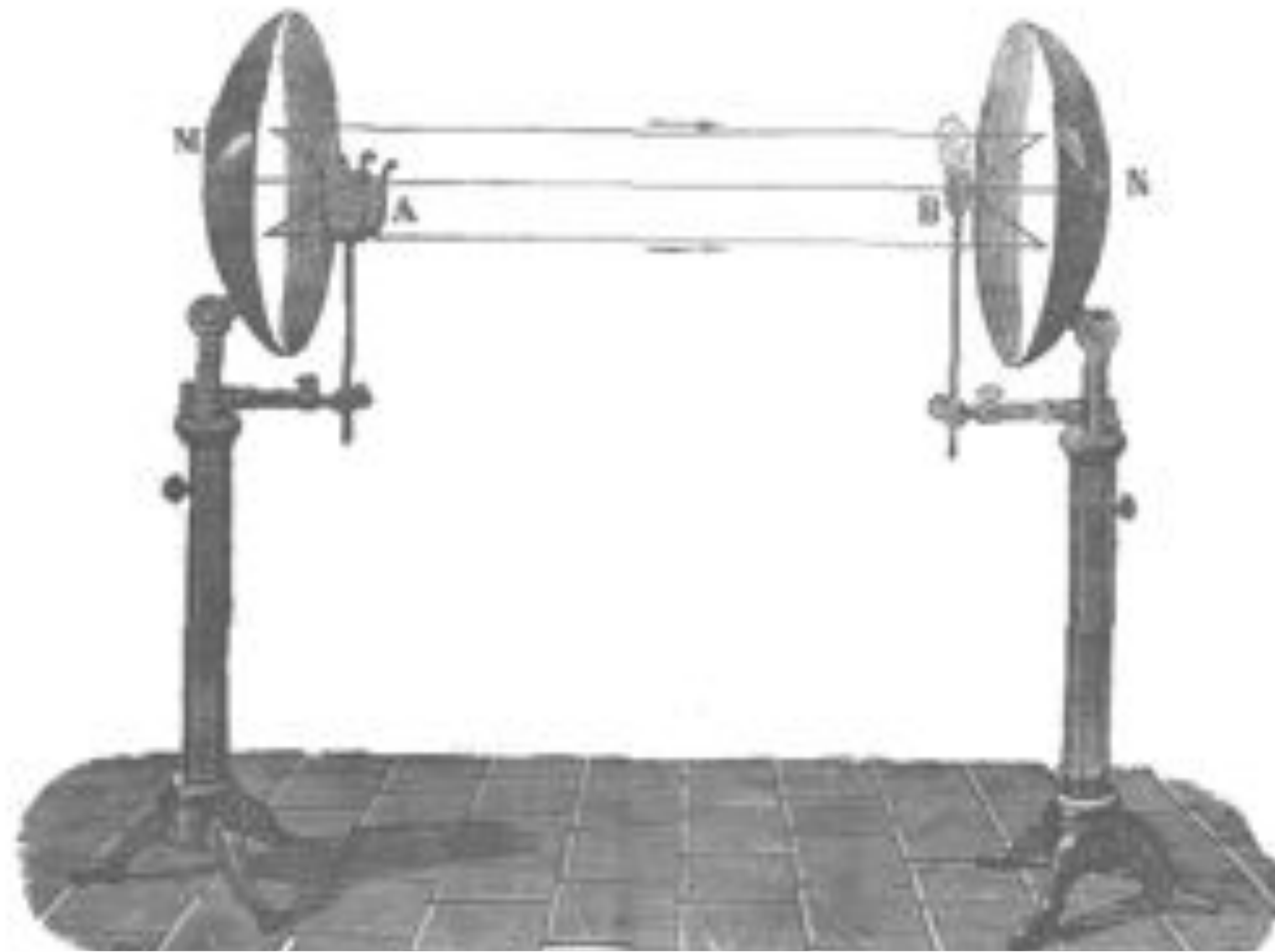
Cuando la luz incide sobre un espejo, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión

Alhazen

Reflexión de la luz.

Cuando la luz
incide sobre un
espejo, el ángulo de
incidencia es igual
al ángulo de
reflexión

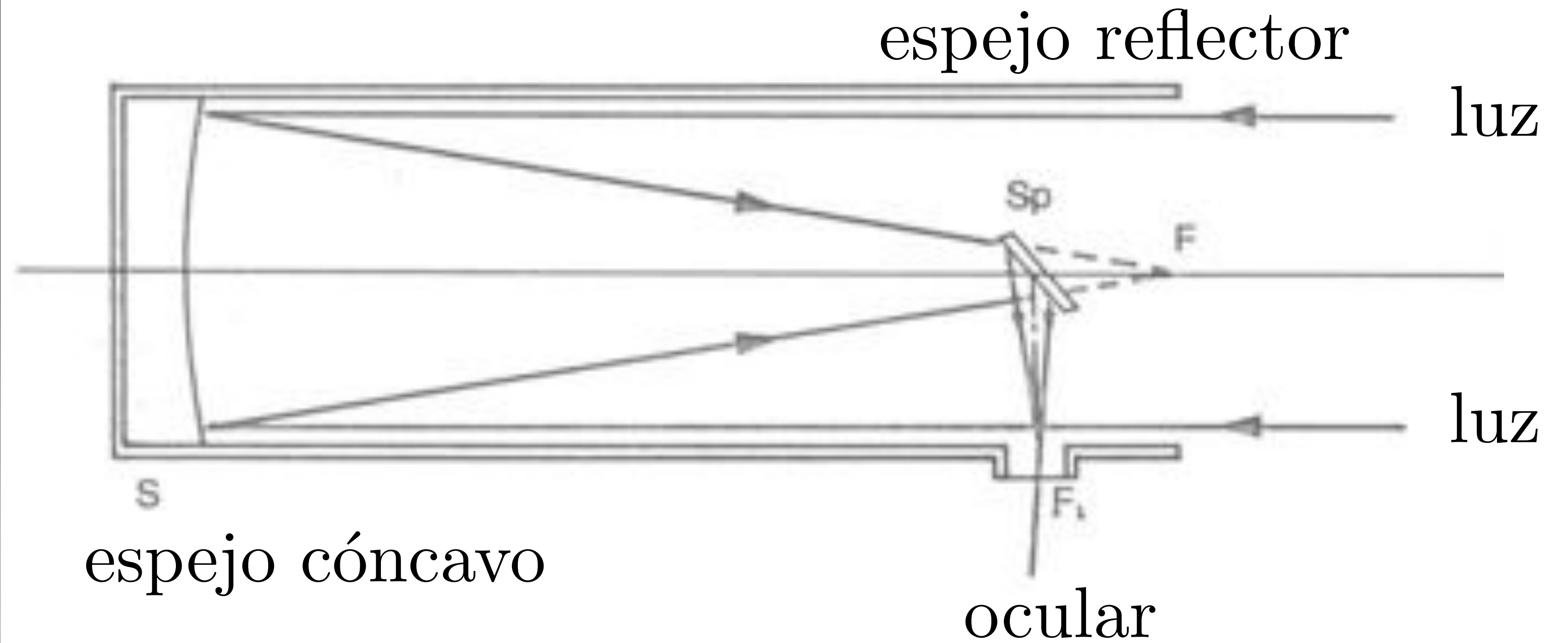




Espejos parabólicos.

El calor de un foco se envía al otro foco, pues todos los rayos paralelos se recogen en el foco.

Telescopio reflector de Newton





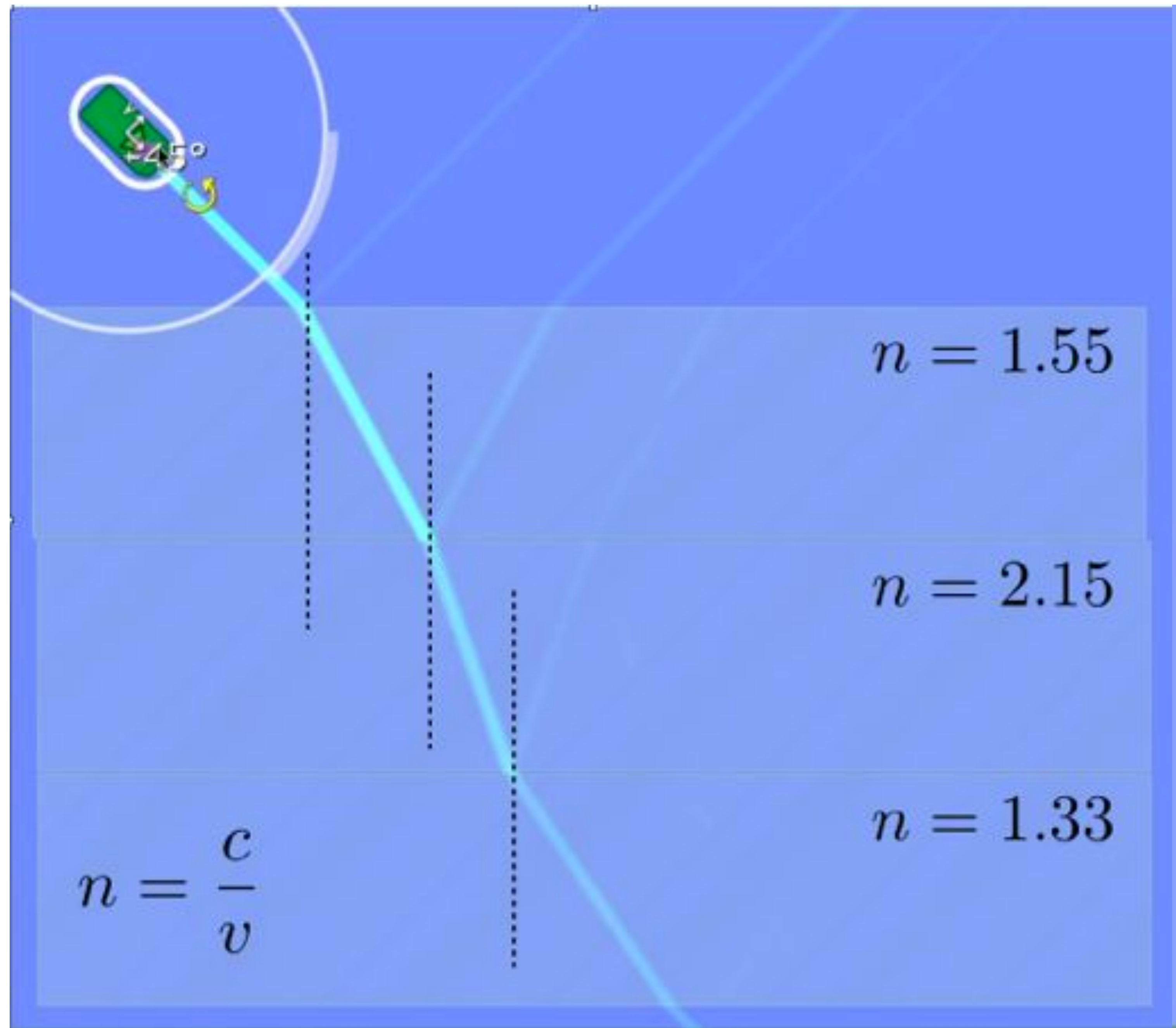
Refracción de la luz.

Cuando el lápiz se introduce en el agua, parece como roto.

Refracción de la luz.

Cuando la luz cambia de medio, los ángulos de incidencia y refracción son diferentes.

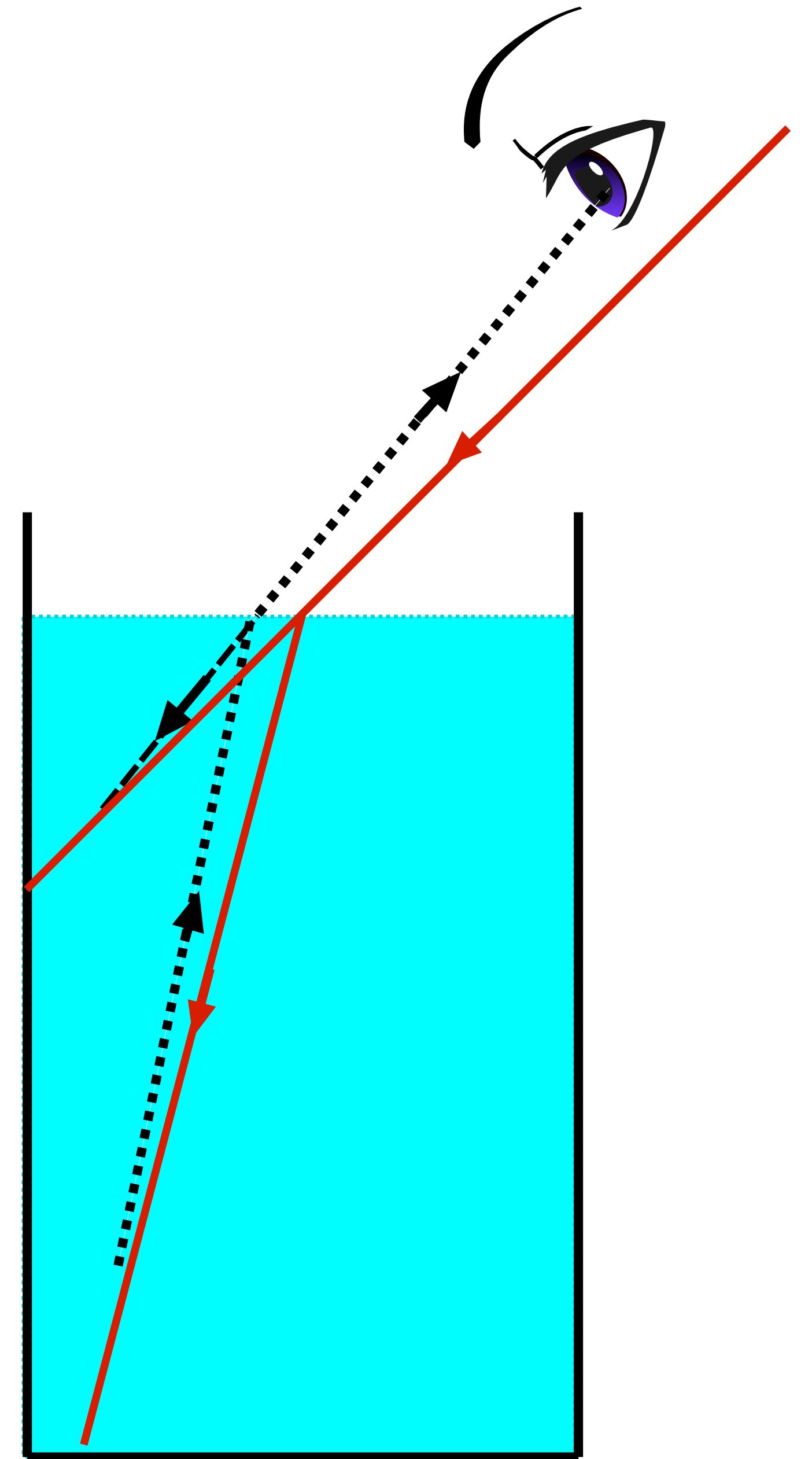
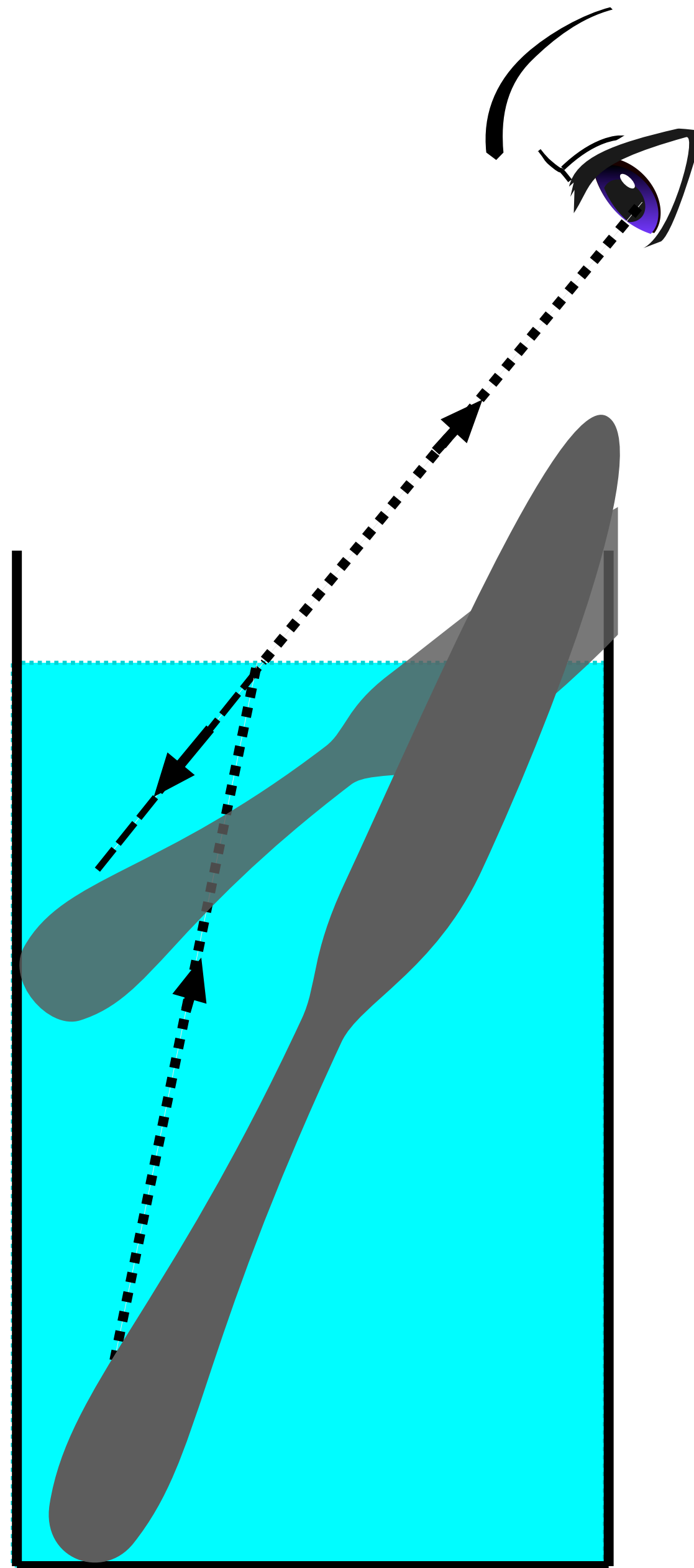
Cuanto mayor es el índice de refracción, más se acerca el rayo emergente a la normal.



Refracción de la luz.

Visto de frente, el objeto se ve recto. Visto desde encima, el objeto se percibe como si estuviera roto debido a que el rayo refractado se prolonga como si fuera recto.

Visto de frente, el rayo se refracta. Visto desde encima, el rayo se percibe como si fuera recto, pues las dos refracciones se compensan.



Alhazen

Refracción.

Cuando la luz cambia de medio se 'refracta' -- se rompe --. Visto de lado, el lapiz parece estar roto. Visto desde arriba, parece que se quiebra en el agua



Refracción. Truco de ver la moneda.

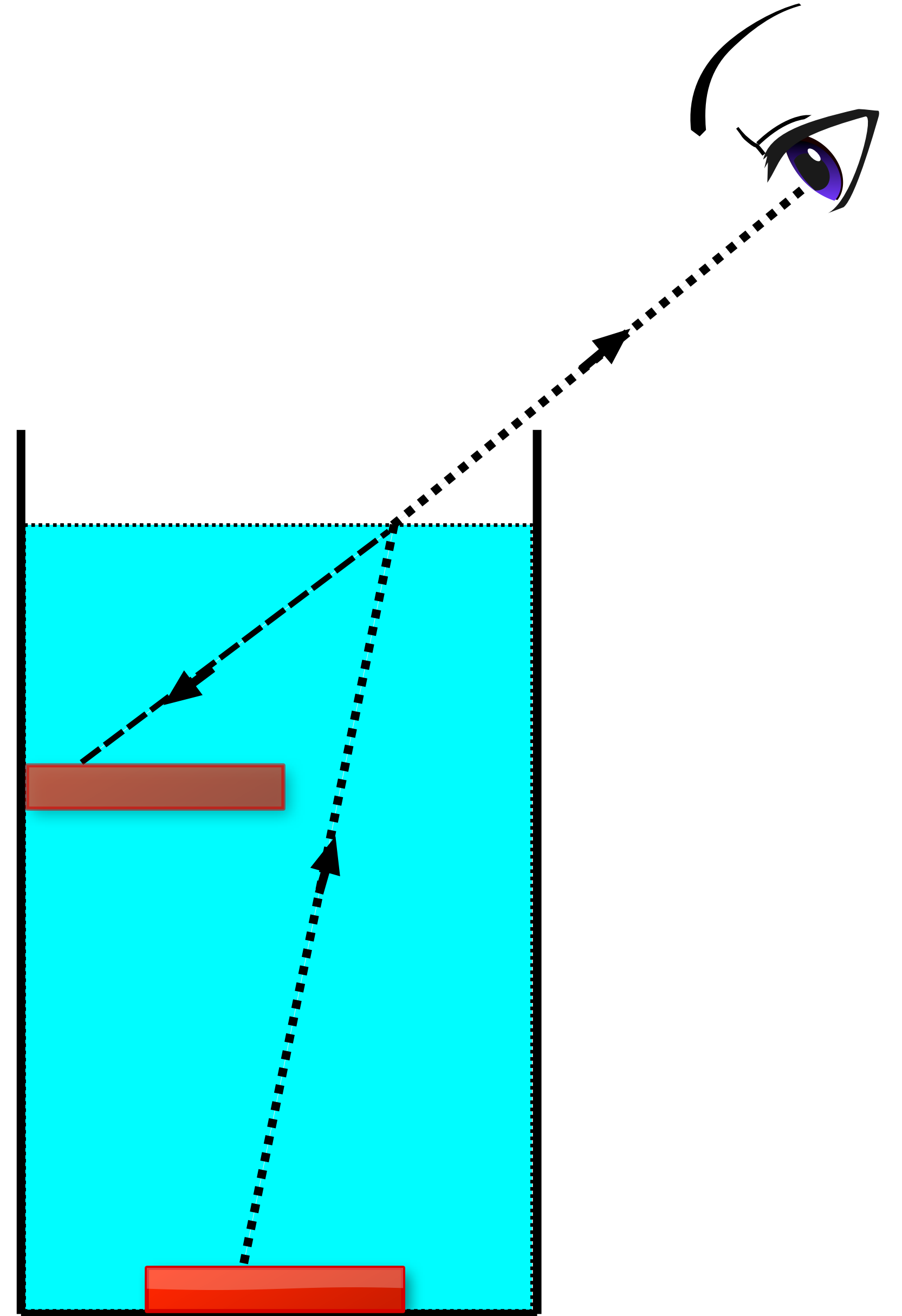
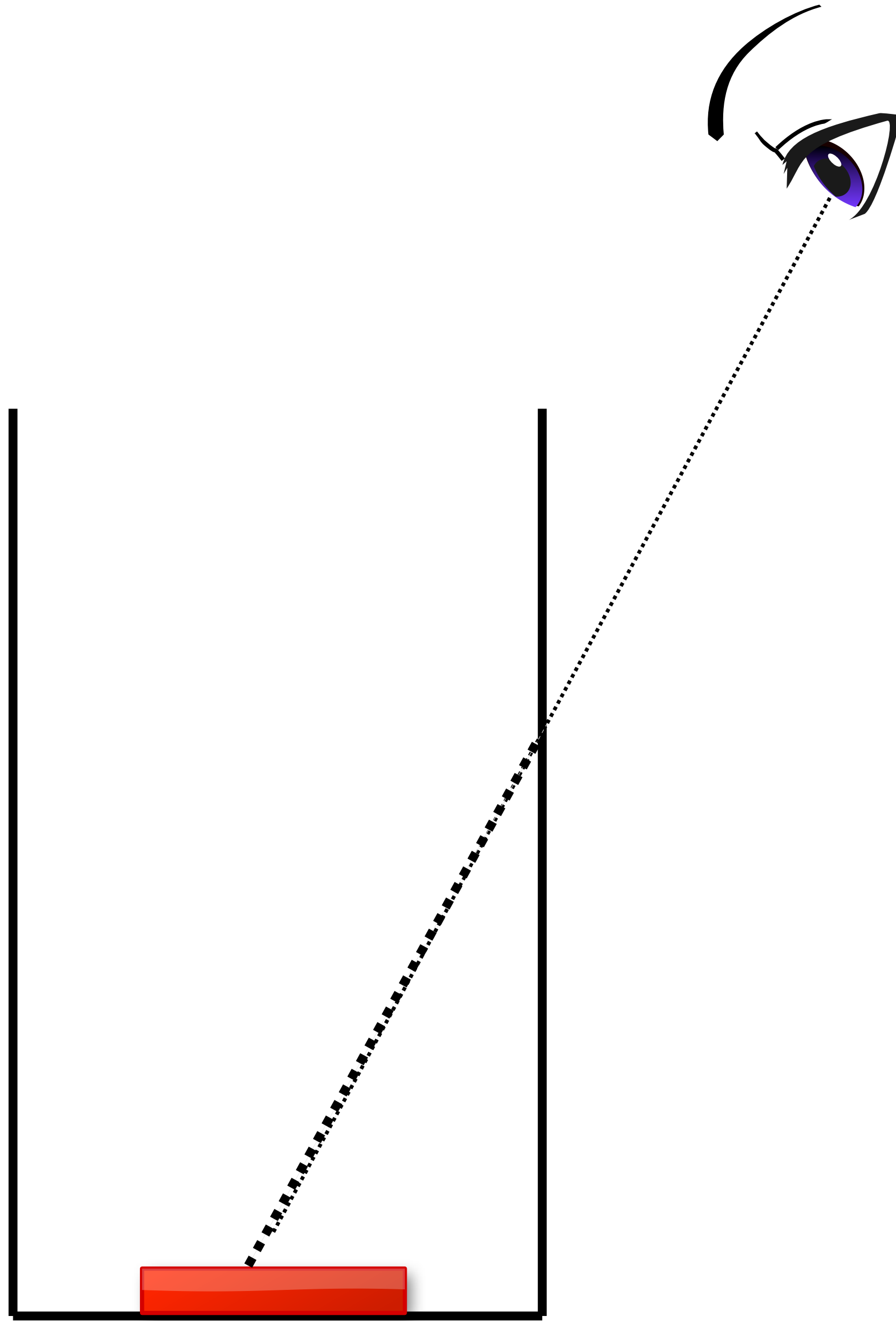
Aunque la moneda no se puede ver inicialmente, al refractarse sus rayos en la superficie del agua, termina por verse.



Refracción.

Aunque la moneda no se puede ver inicialmente, al refractarse sus rayos en la superficie del agua, para una cierta altura de agua, termina por verse.

Y parece estar a menos profundidad de la que realmente está.



Roger Bacon

Roger Bacon (entre 1210 -1292) fraile franciscano inglés, estudió a fondo la obra de la escuela árabe. Después del globo de agua de Aristófanes tuvieron que pasar casi 1500 años, hasta que en el año 1266 Bacon talló las primeros lentes con la forma de lenteja que ahora conocemos (de ahí su nombre). En su libro "Opus maius", Bacon describe claramente las propiedades de una lente para amplificar la letra escrita y escribe: "Esta ciencia es indispensable para el estudio de la teología y del mundo... Es la ciencia de la visión y un ciego, se sabe, no puede conocer nada de este mundo." La óptica será la base; de la nueva actitud filosófica ante el conocimiento: la que descuenta las creencias tradicionales para oponerles la experiencia del observador, quien solo afirma lo que "ha visto por sus propios ojos". Algunos consideran que Bacon fue el inventor de los anteojos. Comprobó que las personas que ven mal pueden volver a ver las letras si utilizan vidrios tallados. Se dice que aconsejaba su uso a los ancianos y a las personas de vista débil.



Anteojos

Primeras
referencias
de anteojos
en pintura.



FIG. 1. Portrait of Cardinal Ugone di Provenza. Fresco by Tommaso Barisino of Modena (1352) in the Gothic church of San Niccolo, Treviso, Italy.



FIG. 2. "Saint Peter and Dorothy" by the master of St. Bartholomew (active ca 1485-1510). (Courtesy of the Trustees of the National Gallery, London.)

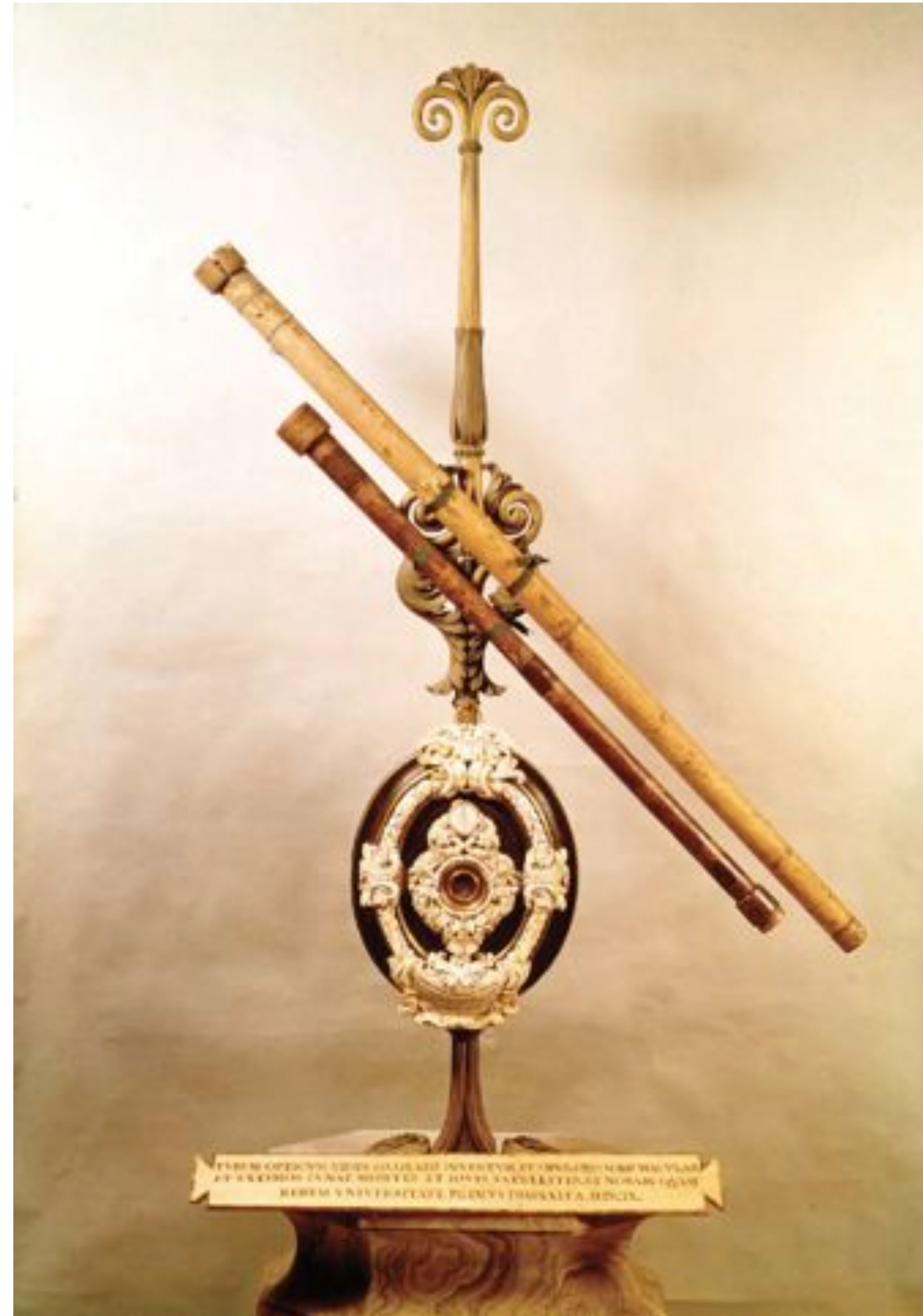
Anteojos

Primeras
referencias de
anteojos en
pintura.



FIG. 1. "Adulteress before Christ," by Lucas Cranach the elder (Pinakothek, Munich).

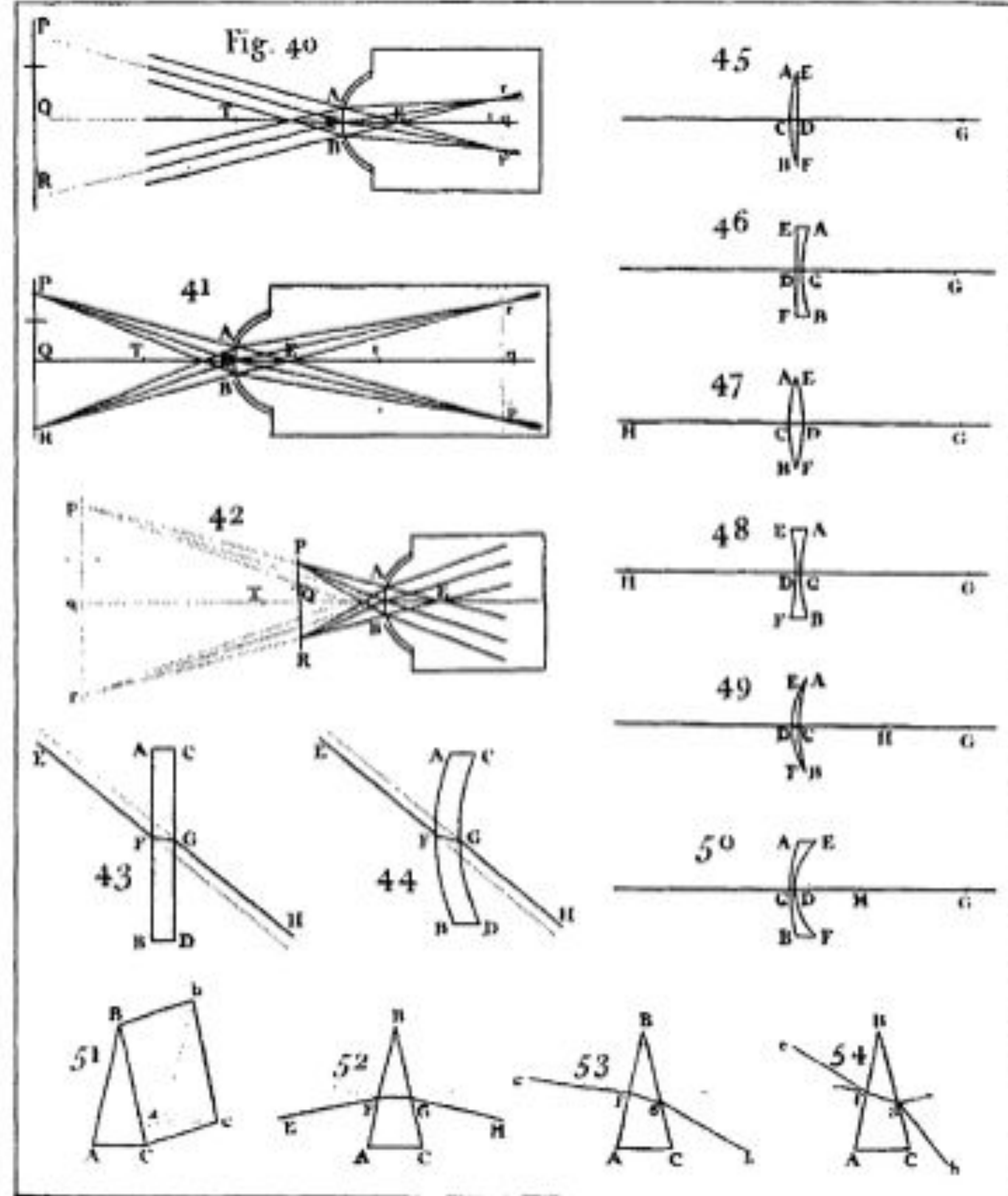
Telescopio de Galileo



Refracción

Trazado de Rayos en lentes.

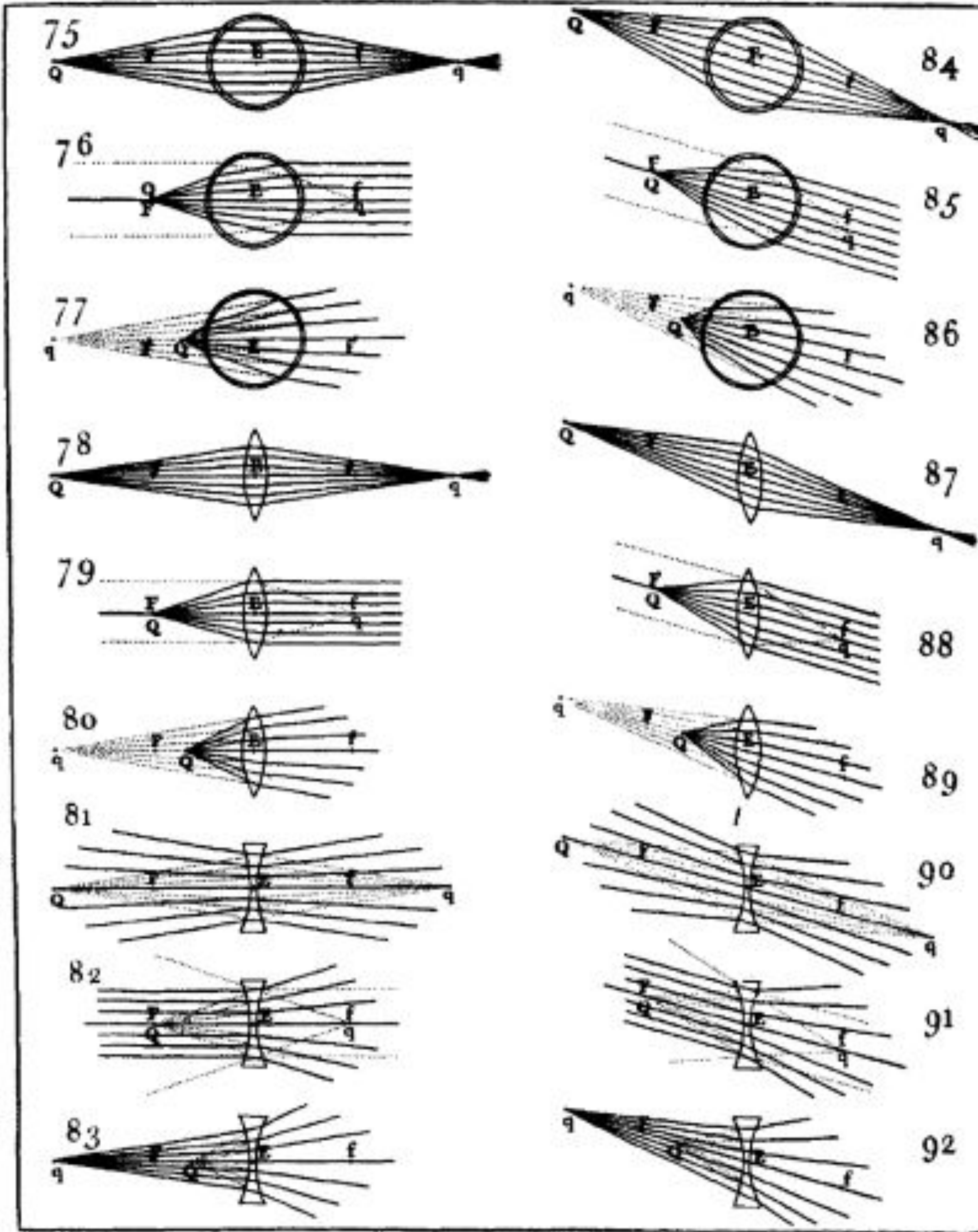
Robert Smith 1738

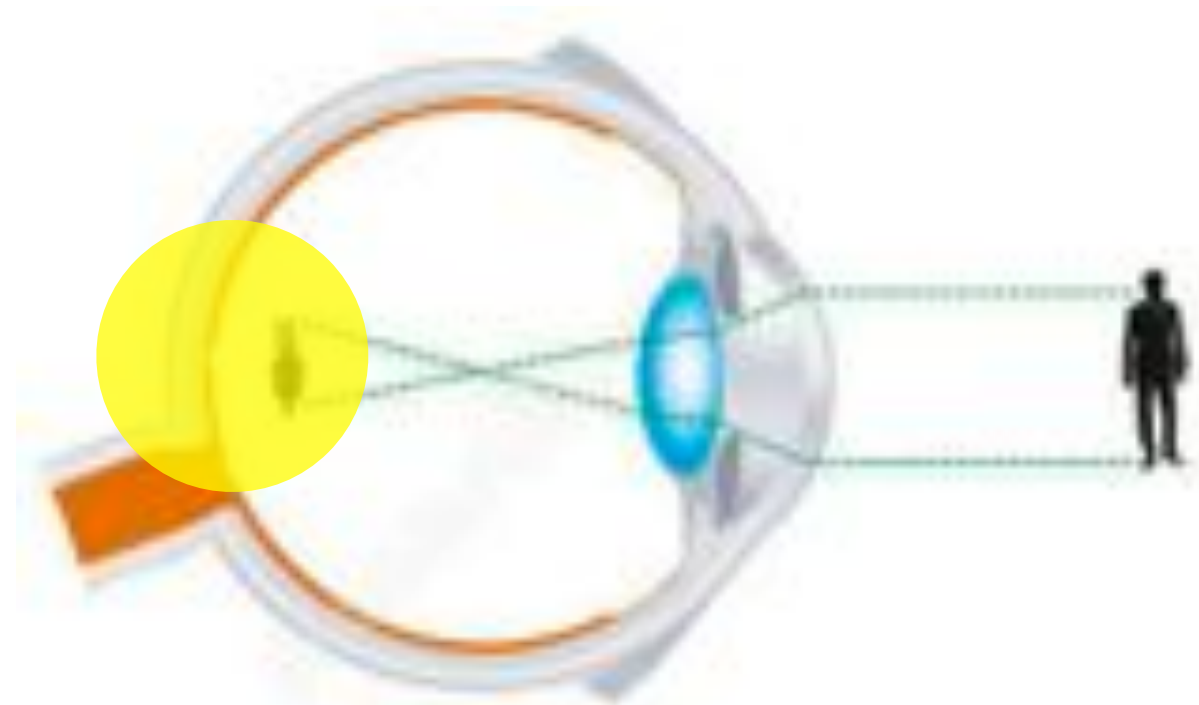


Refracción

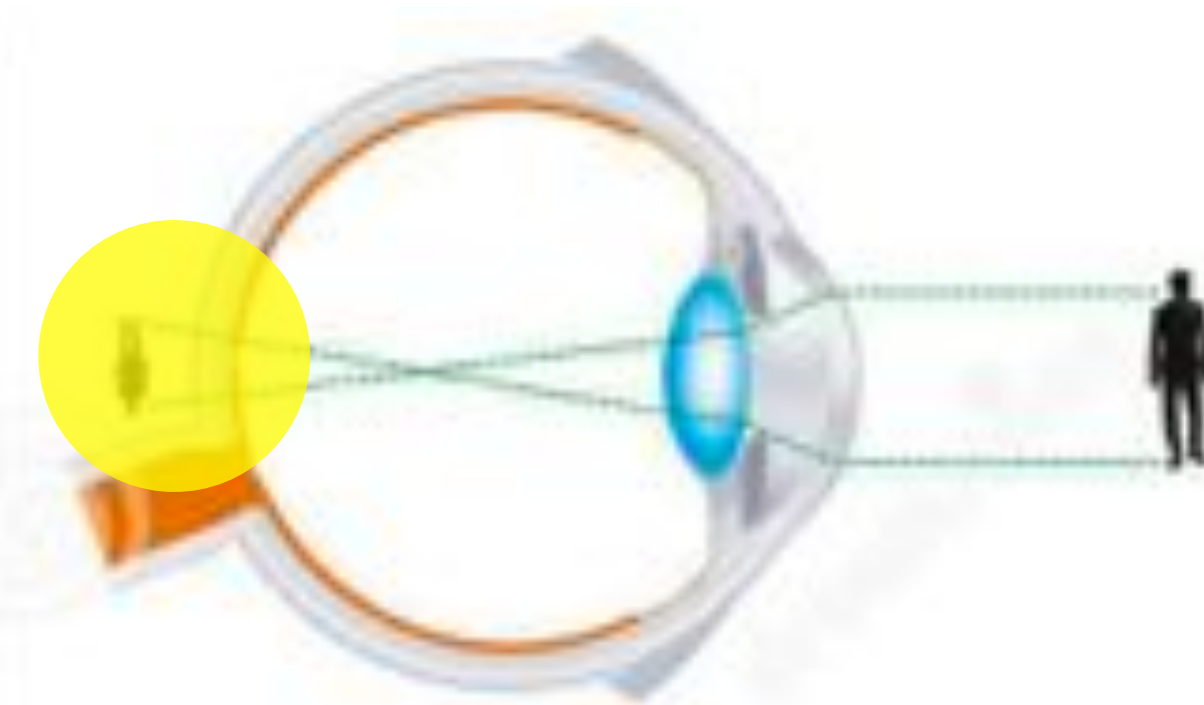
Trazado
de rayos
en lentes.

Robert
Smith
1738

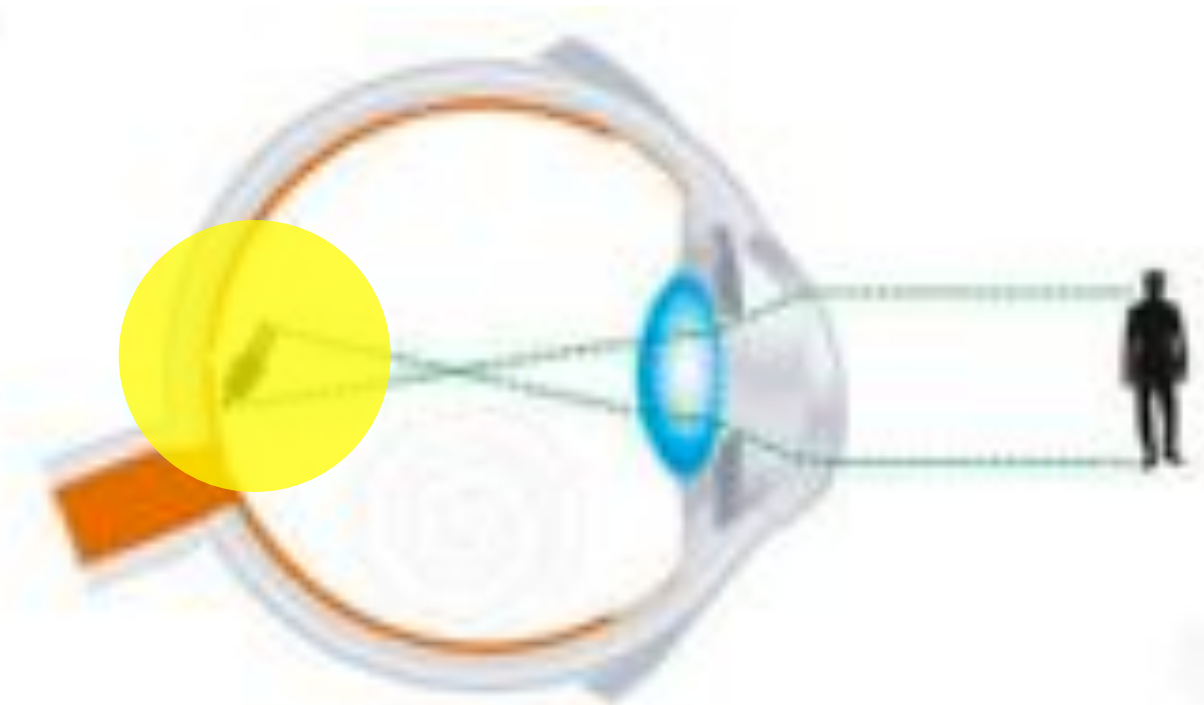




Miopía



Hipermetrópía



Astigmatismo

Con la ayuda de lentes se pueden corregir los diferentes defectos de la vista.

Pierre Fermat



Pierre de Fermat (1601- 1665) dedujo de nuevo la ley de refracción de la luz a partir de su propio principio de tiempo mínimo (1657) , sin tener en cuenta las suposiciones de Descartes. Apartándose del postulado de Hero según el cual la luz seguiría el camino más corto para ir desde un punto hasta otro, *Fermat mantuvo que la luz se propaga siempre a lo largo aquella trayectoria que le suponga el mínimo tiempo, incluso si para lograrlo tuviera que desviarse del camino geoméricamente más corto.* Es como decir que la luz decide por sí misma su propio camino. El principio de Fermat, en su forma más moderna dice: "Al ir un rayo de luz desde un punto S hasta un punto P, debe recorrer una longitud de **camino óptico** que es estacionaria con respecto a variaciones de ese mismo camino".

Camino óptico

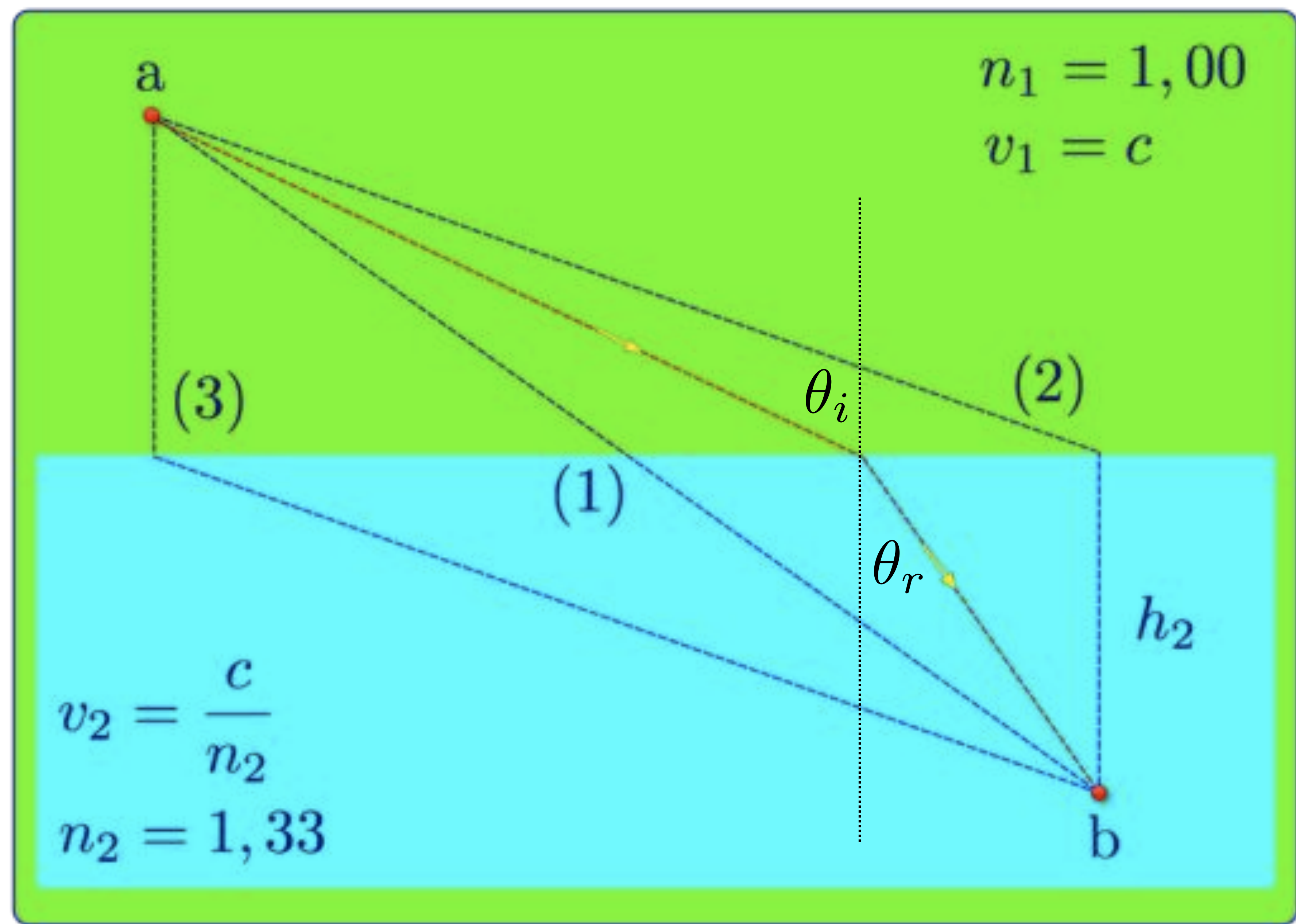
$$L_{\text{CO}} = \sum_i n_i L_i = \sum_i \frac{c}{v_i} L_i$$

Principio del tiempo mínimo de Fermat.

Para ir del punto **a** al punto **b**, la luz elegirá el camino que implique un tiempo mínimo para el recorrido.

Para ir del punto **a** al punto **b**, la luz elegirá el camino óptico mínimo.

Analogía
socorrista-playa



Willebrord Snell



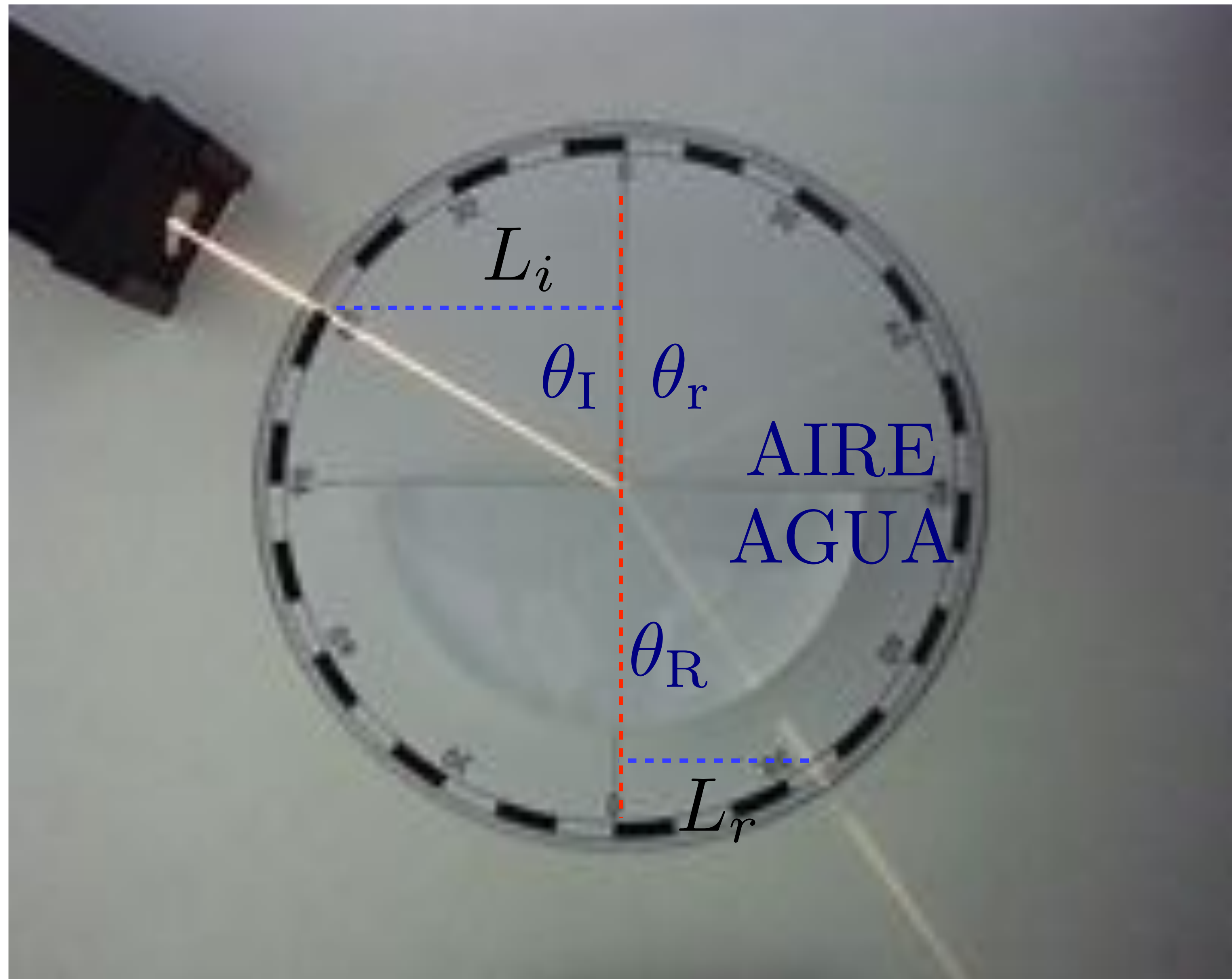
Willebrord Snellius (Snell) (1581-1626) matemático y astrónomo holandés (profesor en la universidad de Leiden) que se dedicó al estudio de la óptica geométrica. Catorce siglos después de los experimentos de Tolomeo, Snell consiguió medir los ángulos que forman los rayos incidentes a la superficie de separación de dos medios, así como los que forman los rayos refractados y a partir de tales mediciones, formuló la ley de la refracción, también conocida como *ley de Snell*, desarrollada posteriormente por Descartes.

Entre los papeles hallados a la muerte de Snellius se encontró la deducción de esta ley que desempeñó un importantísimo papel en el desarrollo tanto del cálculo como de la teoría de ondas de la luz.

Ley de Snell.

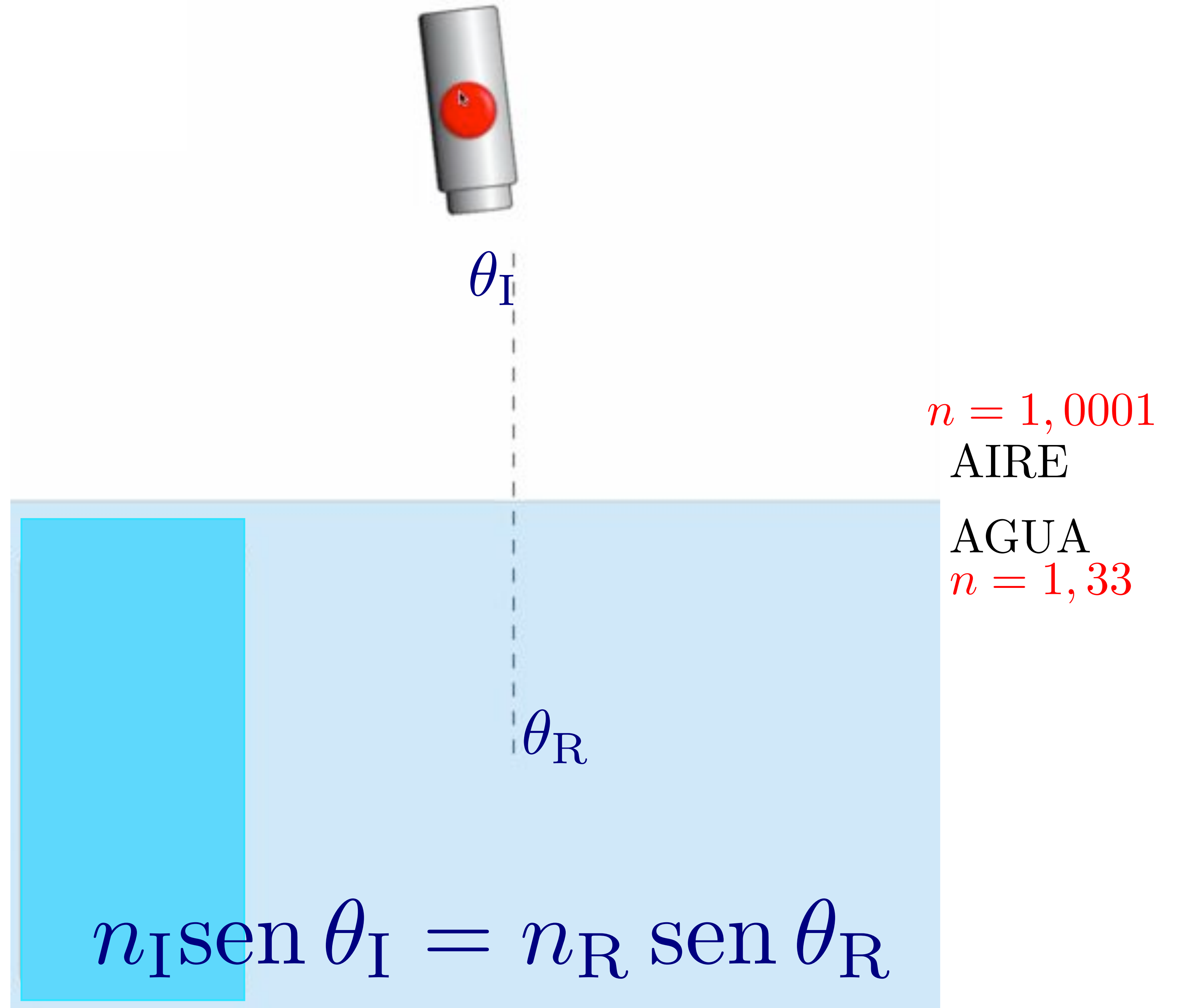
Para cualquier rayo que se refracte, la razón de L_i a L_r es constante.

$$\frac{L_i}{L_r} = \frac{n_2}{n_1}$$



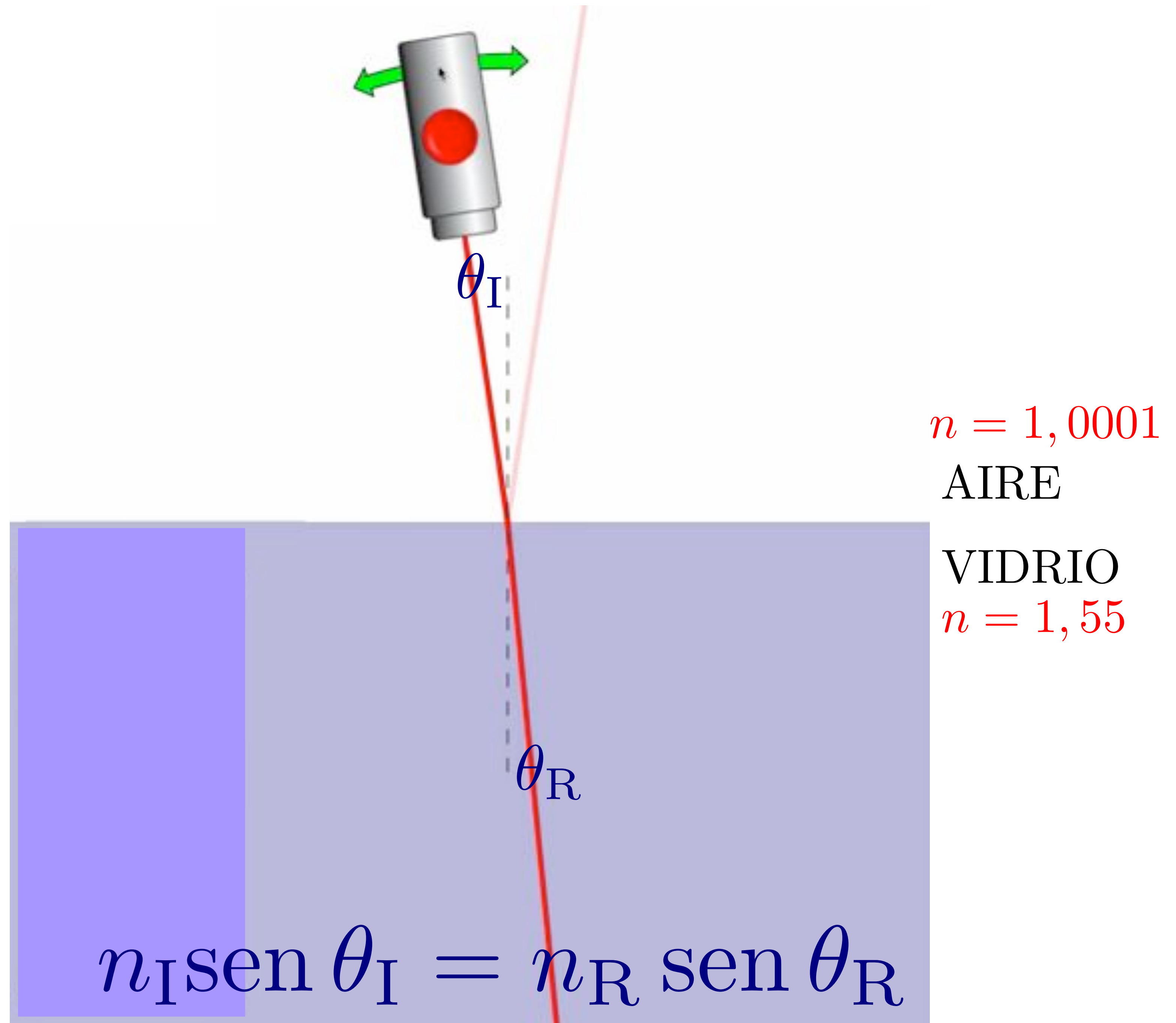
Refracción de la luz.

Cuando la luz cambia de medio, los ángulos de incidencia y refracción siguen la ley de Snell



Refracción de la luz.

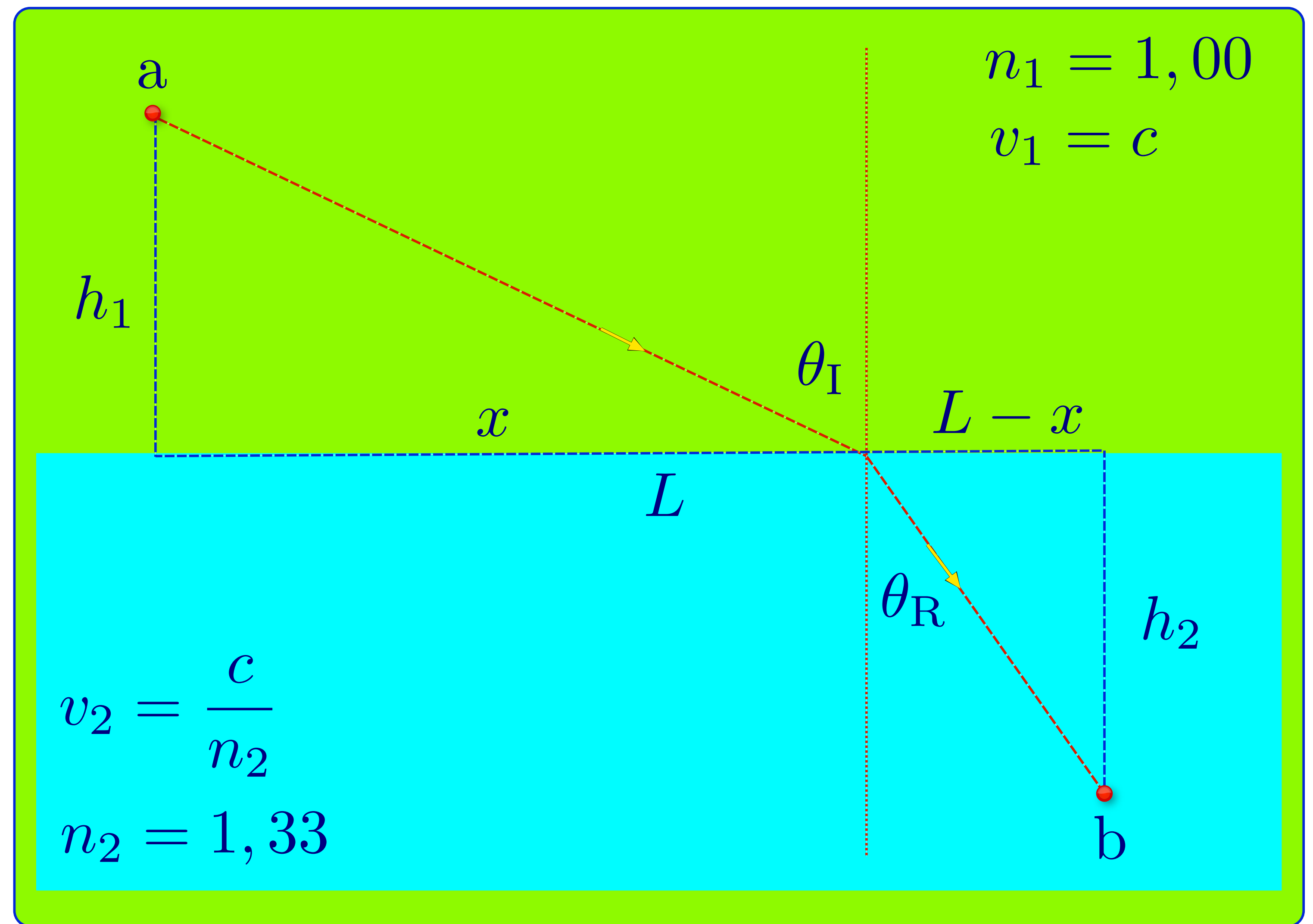
Cuando la luz cambia de medio, los ángulos de incidencia y refracción siguen la ley de Snell



El principio del tiempo mínimo de Fermat implica la ley de Snell.

$$\frac{dt}{dx} = 0$$

Camino óptico mínimo



$$t = \frac{(h_1^2 + x^2)^{1/2}}{c} + \frac{[(L - x)^2 + h_2^2]^{1/2}}{c/n}$$

$$c = (h_1^2 + x^2)^{1/2} + n[(L - x)^2 + h_2^2]^{1/2}$$

Snell-Fermat

$$t = \frac{(h_1^2 + x^2)^{1/2}}{c} + \frac{[(L - x)^2 + h_2^2]^{1/2}}{c/n}$$

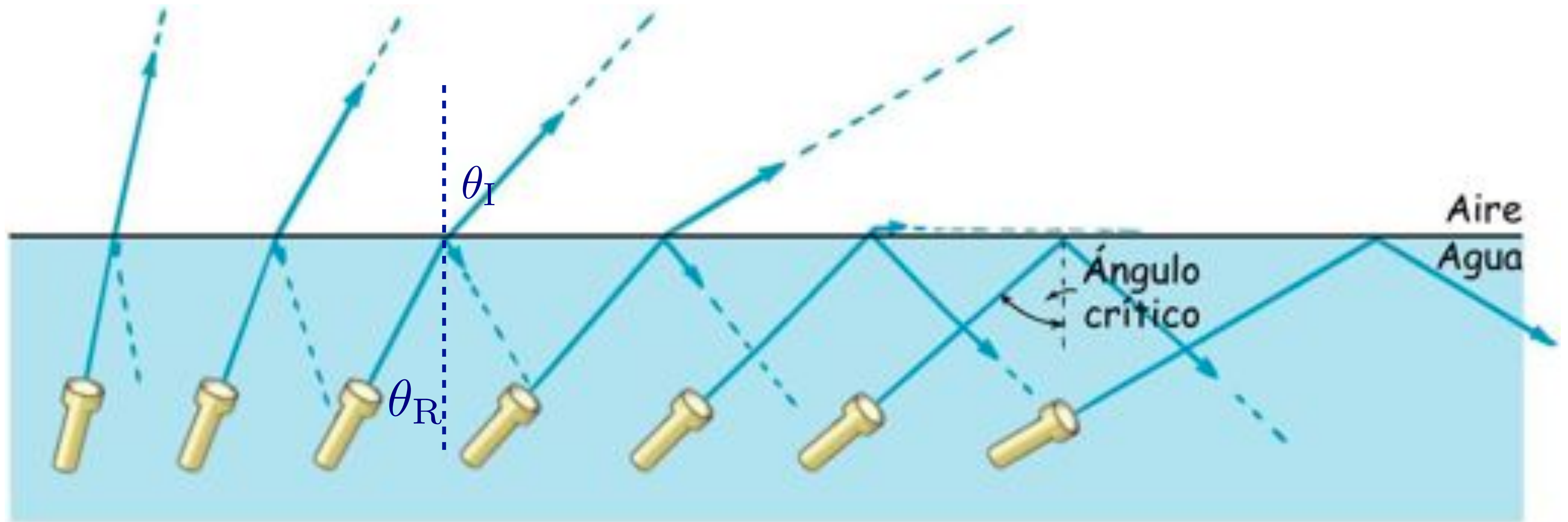
$$\frac{dt}{dx} = 0$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x}{(h_1^2 + x^2)^{1/2}} - n \frac{(L - x)}{[(L - x)^2 + h_2^2]^{1/2}} = 0$$

$$\text{sen } \theta_{\text{I}} = n \text{ sen } \theta_{\text{R}}$$

$$n_{\text{I}} \text{sen } \theta_{\text{I}} = n_{\text{R}} \text{sen } \theta_{\text{R}}$$

Reflexión interna total



Al pasar la luz de un medio con mayor índice de refracción a otro con menor índice de refracción hay un ángulo para el que la luz ya no pasa, el denominado ángulo crítico o de reflexión interna total.

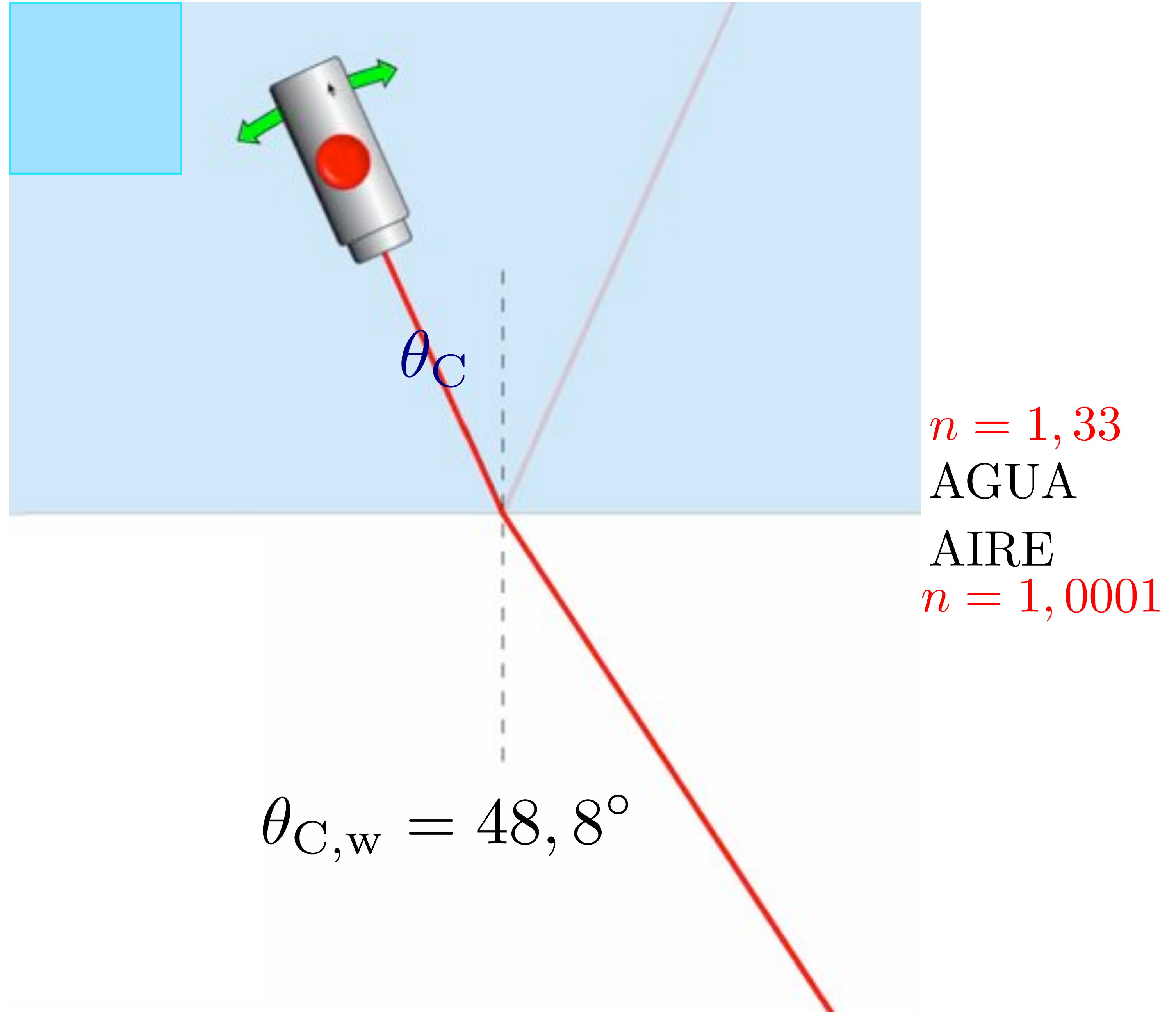
$$n \sen \theta_R = 1$$

$$\theta_C = \text{arc sen} \frac{1}{n}$$

Reflexión interna total.

Cuando la luz pasa de un medio con mayor índice de refracción a otro con menor índice de refracción, la ley de Snell predice el fenómeno de la reflexión interna total.

$$n \sin \theta_R = 1$$
$$\theta_C = \arcsin \frac{1}{n}$$

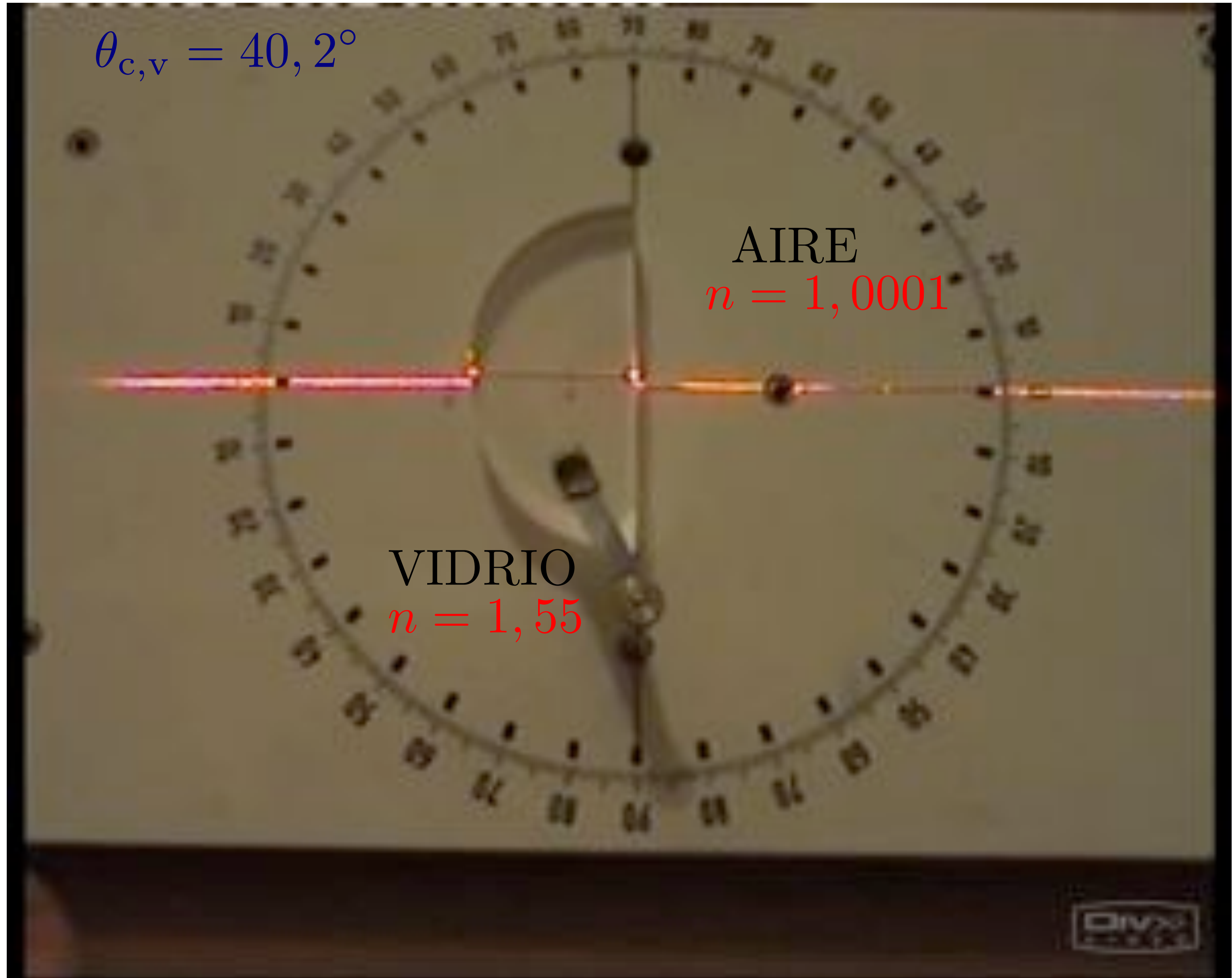


Reflexión interna total.

Cuando la luz pasa de un medio con mayor índice de refracción a otro con menor índice de refracción, la ley de Snell predice el fenómeno de la reflexión interna total.

$$n \sin \theta_R = 1$$

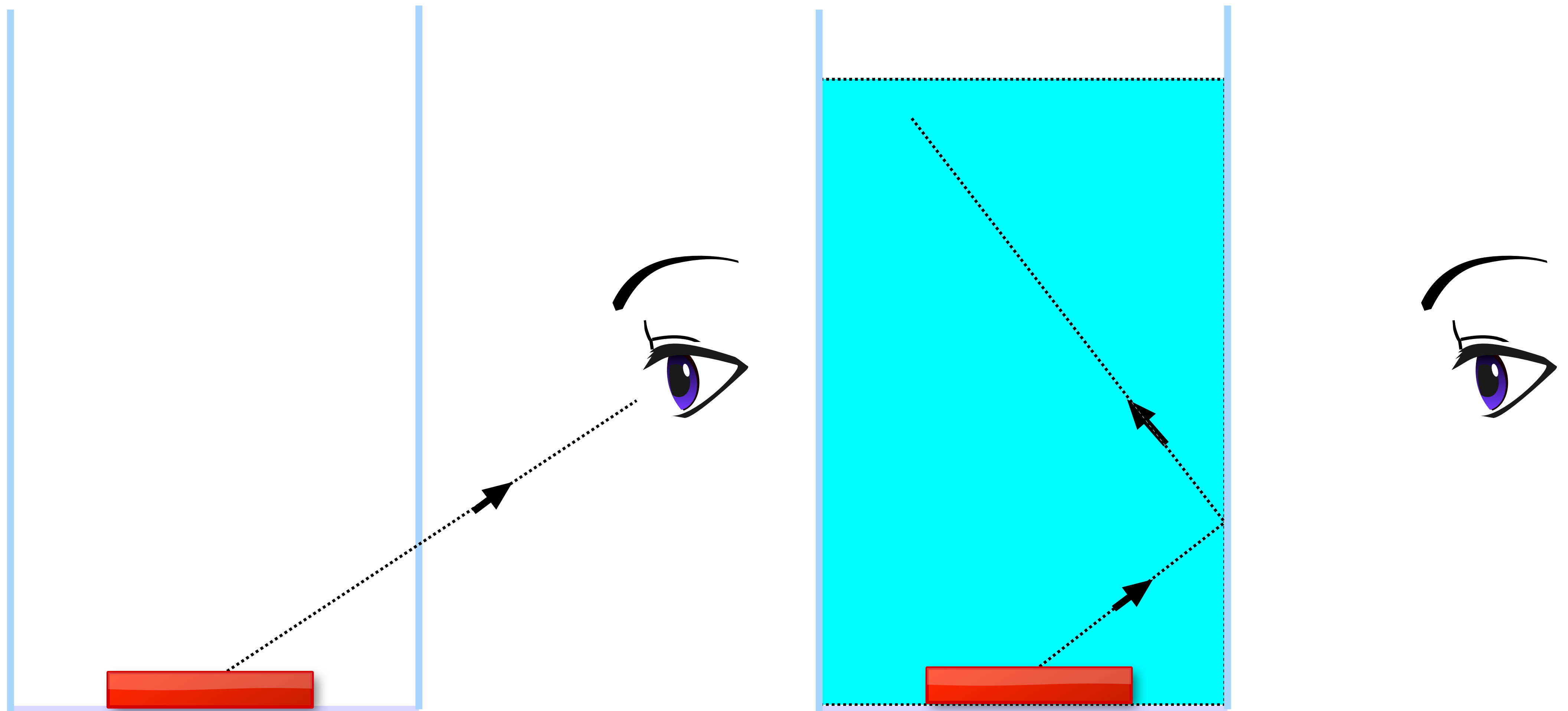
$$\theta_C = \arcsin \frac{1}{n}$$



Reflexión interna total.

La moneda colocada bajo el vaso no puede verse desde fuera cuando el agua alcanza una altura tal que su imagen se refleja internamente.





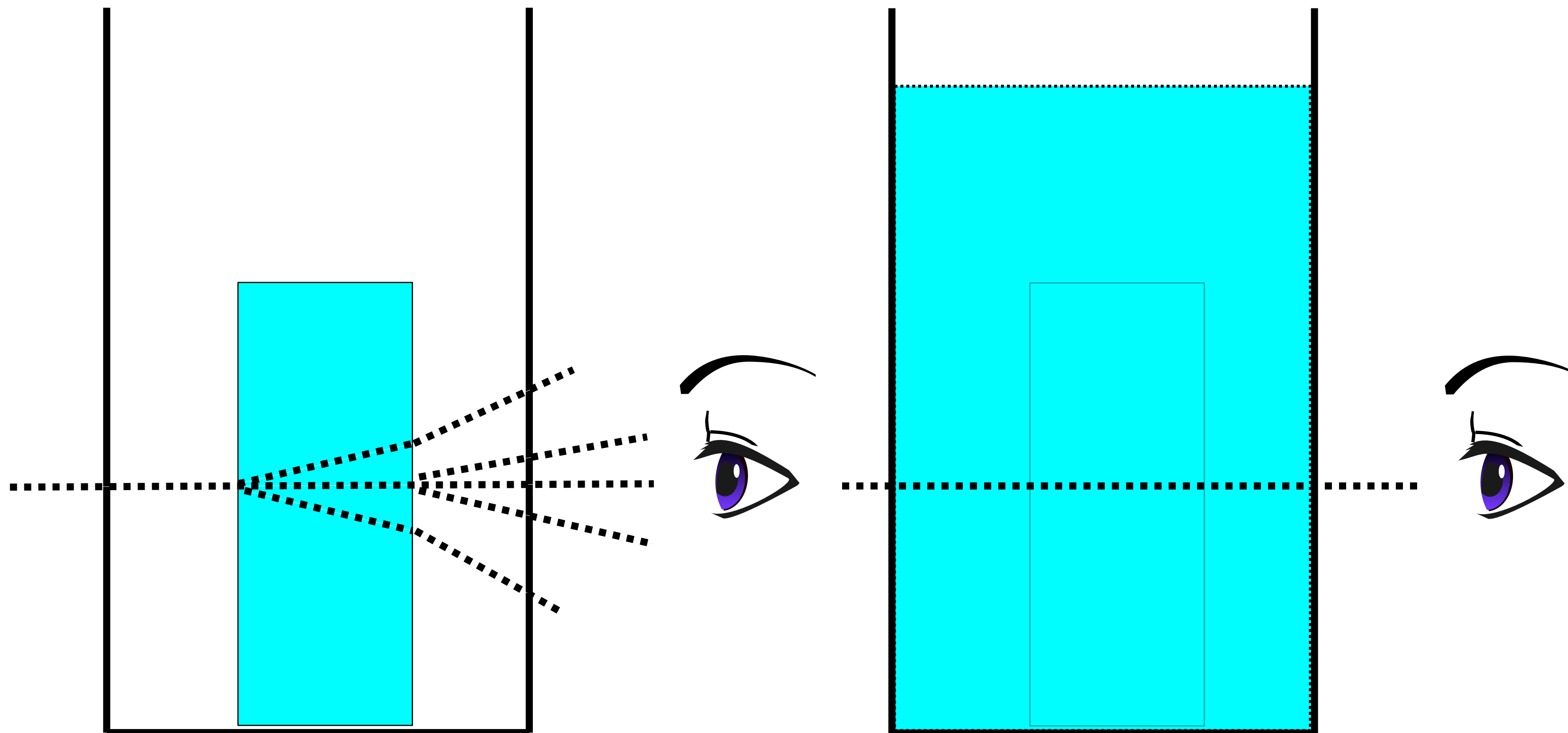
Reflexión interna total.

La moneda colocada bajo el vaso no puede verse desde fuera cuando el agua alcanza una altura tal que su imagen se refleja internamente.

Desaparición.

Si un cuerpo se sumerge en un líquido con su mismo índice de refracción, no se le verá.





Desaparición.

Si un cuerpo se sumerge en un líquido con su mismo índice de refracción, no se le verá.

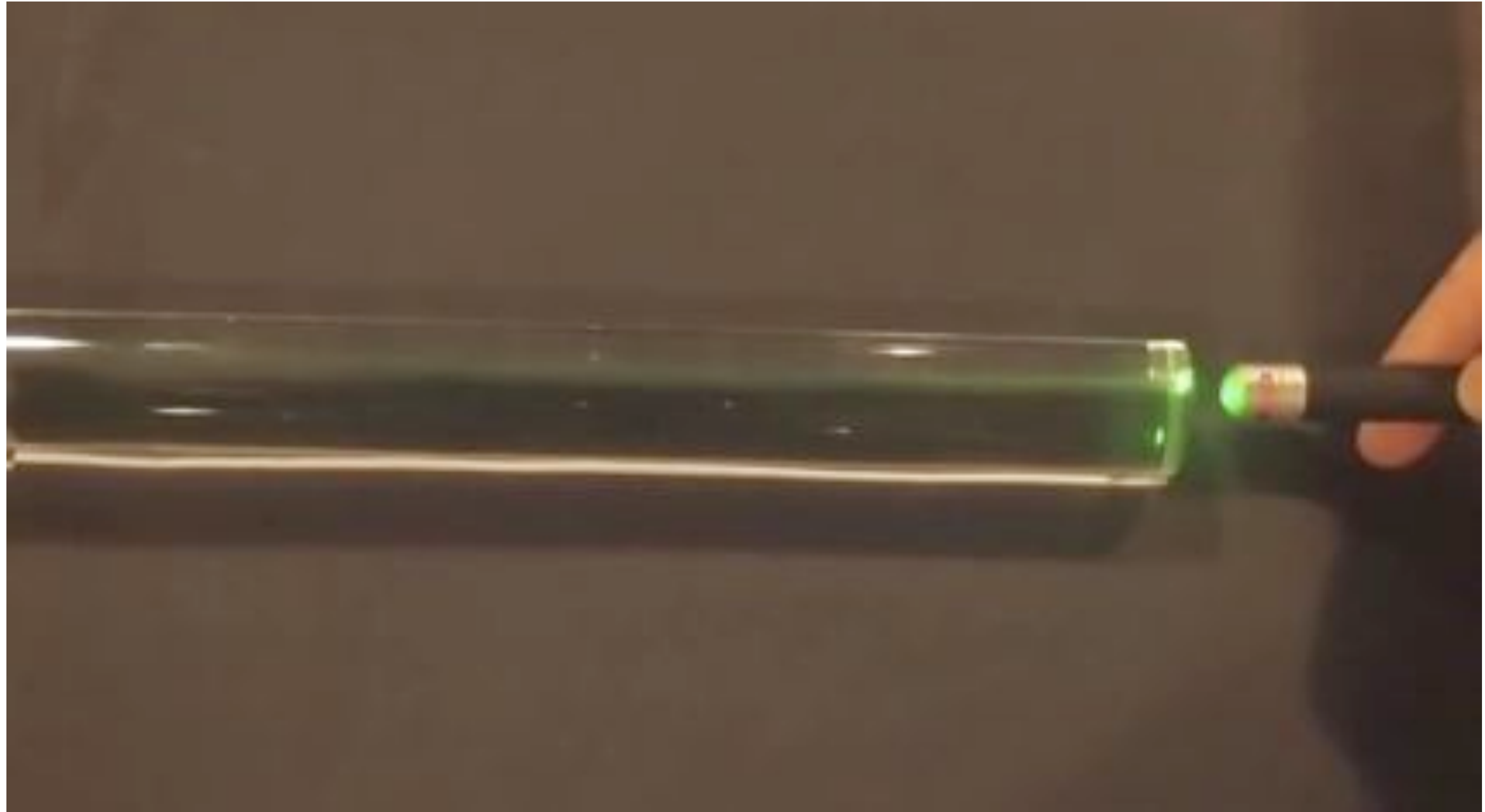
Reflexión interna total. Fibra óptica



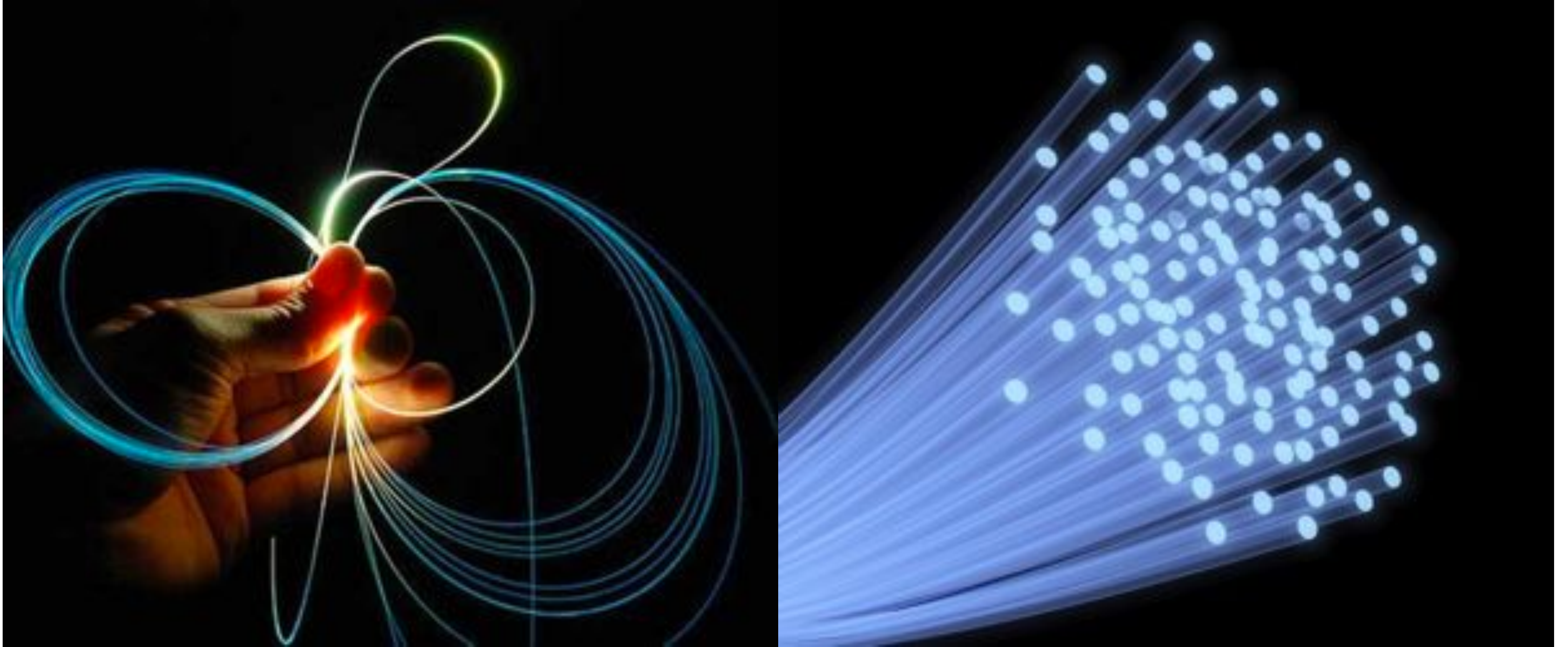
Si la luz incide con ángulos pequeños, a lo largo de la fibra la luz siempre incidirá con ángulos mayores que el crítico, por lo que no abandonará la fibra óptica.

$$\theta_C = \arcsin \frac{1}{n}$$

Fibra óptica



Fibra óptica



Benito Daza de Valdés



Benito Daza de Valdés (Córdoba, **1592-1634**) con grandes conocimientos de matemáticas y de óptica es el *autor del primer libro de óptica en castellano titulado «**El uso de los anteojos**»* publicado el año 1623 y dedicada a Nuestra Señora de la Fuensanta.

Contiene abundante información sobre el uso de las lentes para mejorar la visión, sobre la operación de cataratas y sobre la corrección óptica de la hipermetropía y la presbicia.

Explicaba además la conveniencia de protegerse del sol con gafas.

René Descartes



Descartes (1596 -1650), descubrió los fundamentos de la óptica moderna. A él se debe la idea de colocar una lente directamente sobre la superficie de la córnea: su diseño constituyó el principio de las lentes de contacto. Escribió "La Dioptrique", un trabajo sobre óptica donde dice: "Si uno aplicase sobre el ojo un tubo lleno de agua, en cuyo extremo hay un vidrio en forma exactamente igual a la piel (córnea) no existiría refracción alguna a la entrada del ojo. Intentó por primera vez fabricar algo que se asemejaba a un lente de contacto. Parece ser que la ley de la refracción hallada por Snell en 1621 tenía una forma diferente a la que conocemos actualmente, en términos de senos, que es debida a Descartes.

En su libro La Dioptrique, dedujo la misma ley usando un modelo en el cual la luz se veía como una presión transmitida a través de un medio elástico.

Christian Huygens



El físico holandés Christian Huygens (1629-1695) elaboró la teoría ondulatoria. Semejante al sonido, decía, la luz es también una vibración que se propaga utilizando un soporte material que llamó éter. Las leyes de la óptica se explican fácilmente con esta teoría y para explicar la refracción supuso que la velocidad de la luz era menor en el vidrio o en el agua que en el aire.

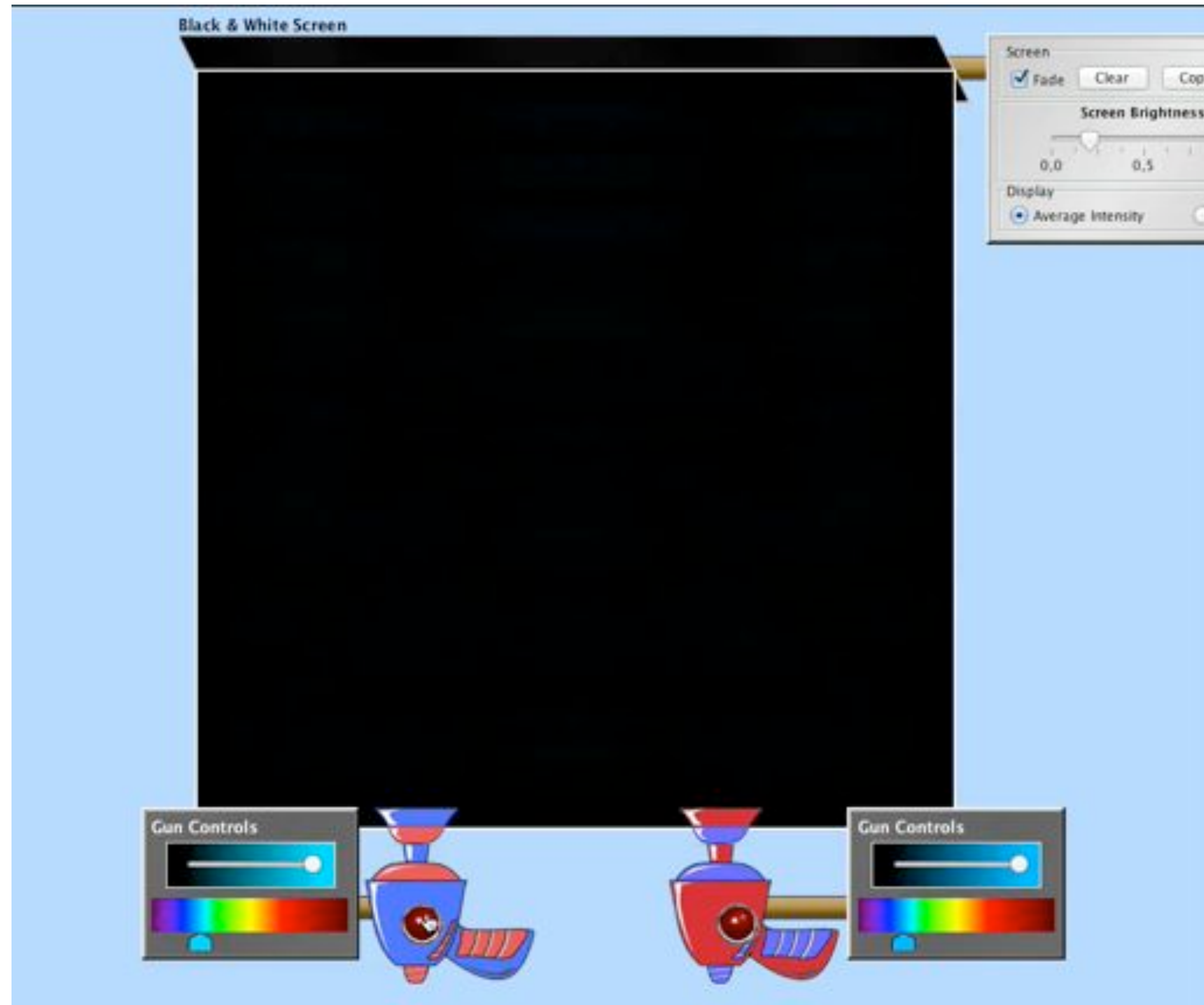
En 1678 escribe "**Traité de la lumière**", que fue el primer intento de desarrollar la teoría ondulatoria de la luz. Sus ideas sobre la naturaleza ondulatoria de la luz no fueron aceptadas por la mayoría de sus contemporáneos ya que debido a la gran reputación de Newton la mayoría de ellos aceptaba la teoría corpuscular.

Con uno de sus telescopios descubrió un satélite de Saturno y distinguió claramente los anillos que circundan este planeta.

La teoría ondulatoria tenía aún un problema, era una teoría mecanicista, precisaba de un medio en el que se propagara la onda, el éter. Esta sustancia debía poseer una elasticidad infinita para que la luz se pudiera propagar con la velocidad que lo hacía

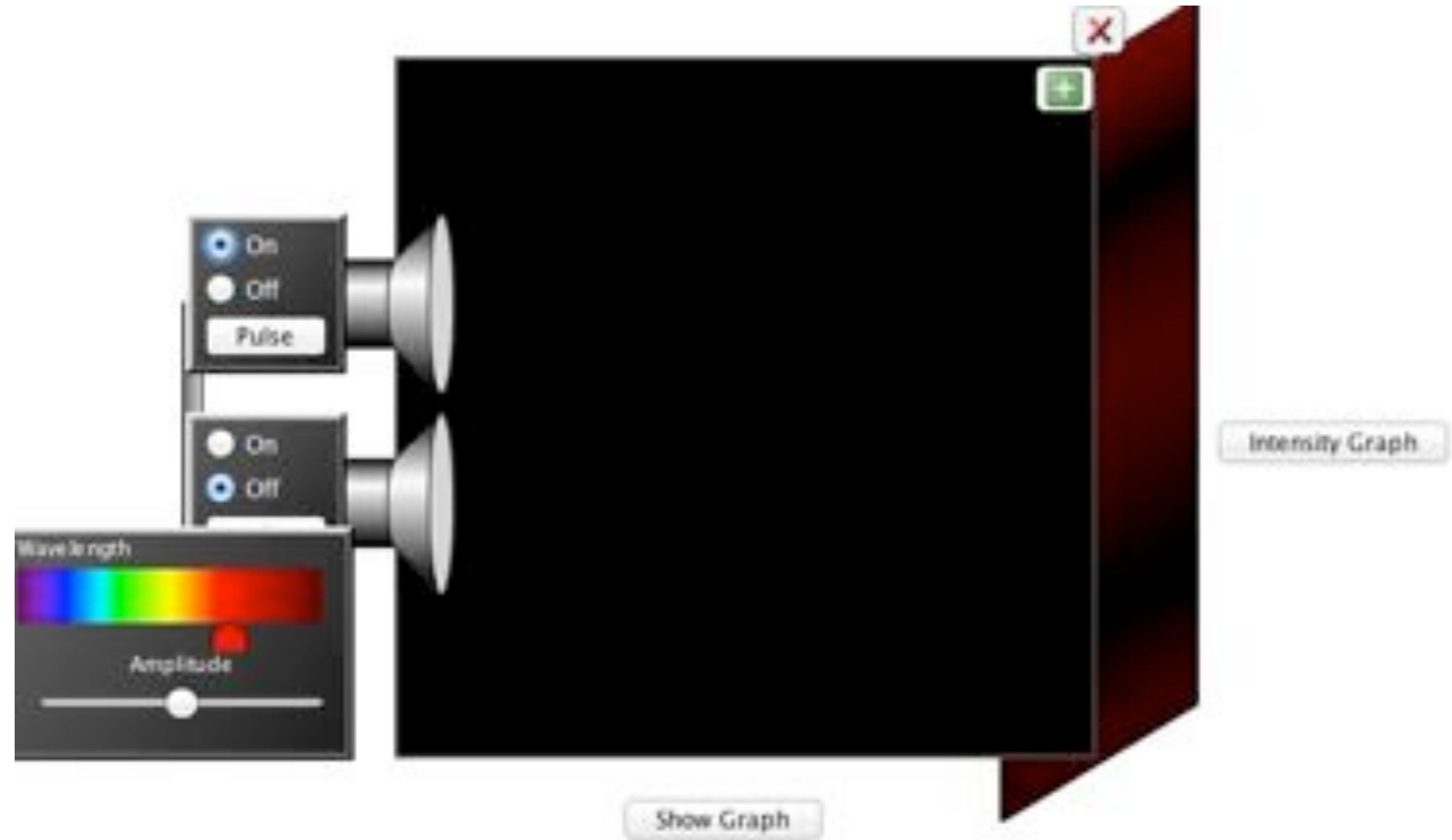
Interferencia de ondas de luz.

Dos ondas
pueden
interaccionar
dando lugar a
regiones de
interferencia
constructiva y
otras de
interferencia
negativa.



Interferencia de ondas.

Dos ondas pueden interactuar dando lugar a regiones de interferencia constructiva y otras de interferencia negativa.



Interferencia de ondas materiales.

Dos ondas pueden interaccionar dando lugar a regiones de interferencia constructiva y otras de interferencia negativa.



La luz como onda
electromagnética.

La luz también
pueda dar lugar a
fenómenos de
interferencia.

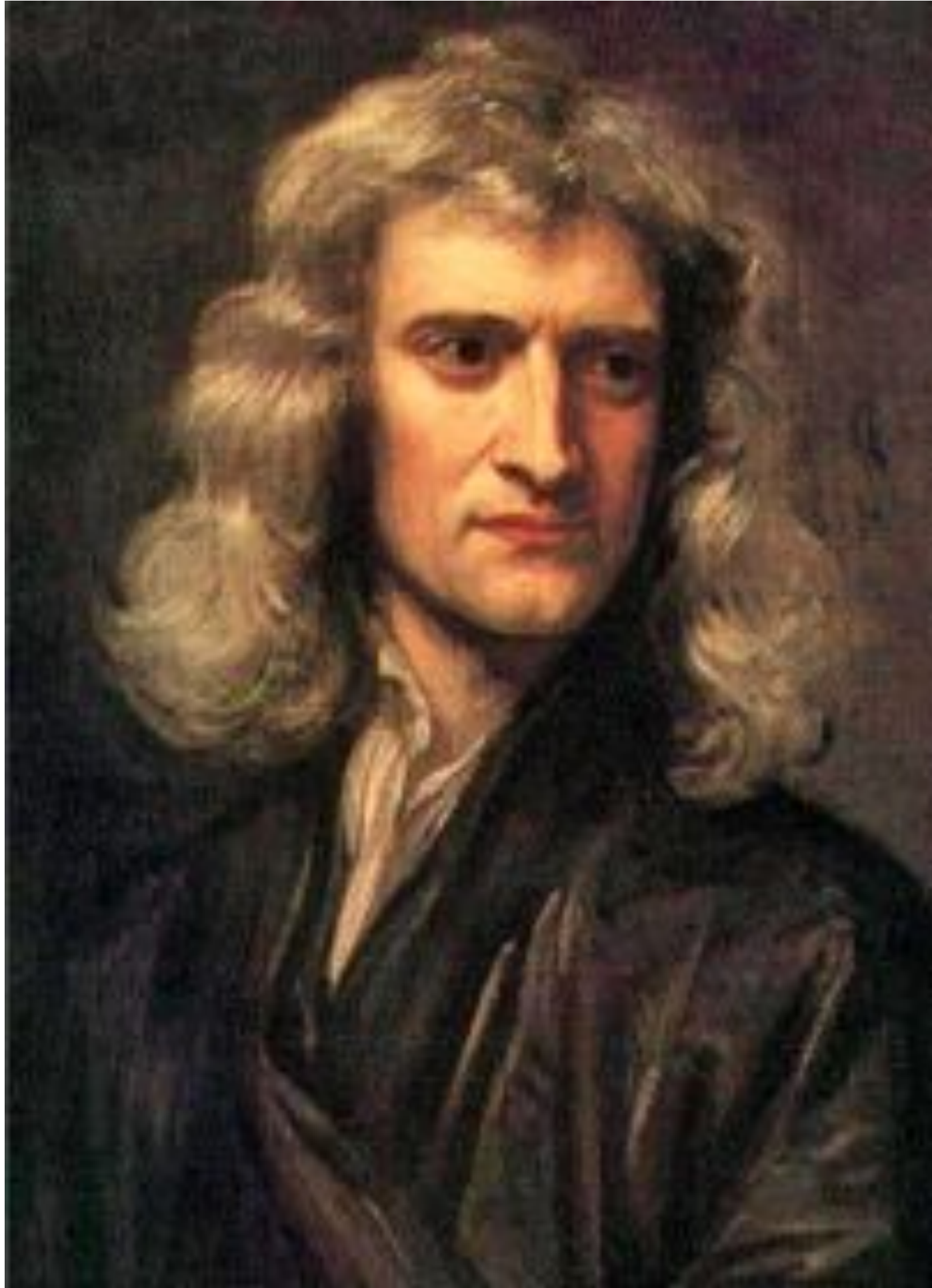
Cuando la luz
atraviesa una
rendija o un
agujero, se
producen
fenómenos de
interferencia, con
zonas iluminadas
y zonas oscuras.

Single Slit Diffraction

Shining a laser
through a small slit



Isaac Newton



Isaac Newton (1642-1727) descartaba la hipótesis ondulatoria de Huygens, entre otras cosas porque no explicaba la propagación rectilínea de la luz y elaboró la teoría corpuscular según la cual la luz era un chorro de partículas que se originaba en el foco de luz y que se desplazaban a gran velocidad.

Utilizando la teoría corpuscular pudo explicar las leyes de la reflexión (rebote de las partículas sobre un cuerpo) y de la refracción. Sin embargo su deducción de la ley de la refracción dependía de la hipótesis de que la luz se movía con mayor rapidez en el agua o en el vidrio que en el aire, lo cual posteriormente se demostró que era falso.