

en cuenta la ilusion que resulta de la refraccion. Al mirar el fondo áun cuando sea en direccion perpendicular, se produce esta ilusion, porque el ojo no recibe un rayo único, sino un haz cuyos componentes divergen más al pasar al aire, á causa de la refraccion, que en el líquido, apareciendo el punto O en O' (fig. 64), esto es, más cerca de la superficie; lo propio sucede con todos los puntos del fondo, ora se trate de una vasija, ó bien de un rio.

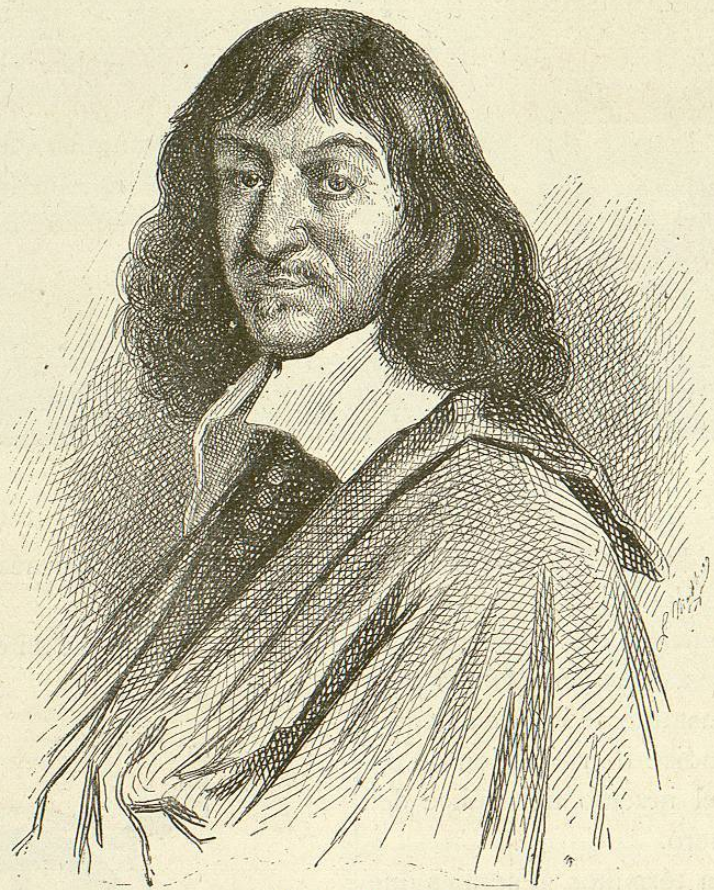


Fig. 61.—Descartes

vasija: este punto envía rayos de luz en todas las direcciones posibles á la superficie de separacion del aire y del agua. Pero ¿todos estos rayos emergen? Ahora veremos que esto no puede ser, y que hay cierto ángulo, variable con la naturaleza del medio, más allá del cual el rayo luminoso no puede penetrar en el medio menos refringente. En efecto, dicho rayo pasa aquí del agua al aire, de un medio más refringente á otro que lo es menos; se separa, pues, de la normal y el ángulo de reflexion es mayor que el de incidencia. A medida que este último ángulo irá creciendo, crecerá tambien el ángulo de refraccion á su salida del agua, y por consiguiente llegará un momento en que, siendo ya recto el primer ángulo, el de inci-

dencia no lo será todavía. A partir de este punto, de este ángulo límite, el rayo no emergerá ya, sino que rasará con la superficie horizontal del líquido. Como el ángulo de incidencia sigue creciendo, el ángulo de refraccion deberá ser más allá mayor que uno recto. En este caso el rayo vuelve al seno del líquido, y siguiendo las leyes conocidas de la reflexion, se refleja en la superficie interna de separacion. Como la emergencia no es completa en las incidencias menores y hay una reflexion parcial de los rayos, dicese que hay *reflexion total* cuando esta emergencia es nula. Todos los rayos que desde el punto luminoso cortan la superficie de separacion de los dos medios, se dividen así en dos partes; la primera, que con-

III

FENÓMENOS DE REFLEXION TOTAL

De las leyes de la refraccion resulta un fenómeno singular, del que nos da cuenta la teoría y confirma la experiencia, y que ha recibido el nombre de *reflexion total*. Hé aquí en qué consiste el fenómeno en cuestion:

Consideremos, por ejemplo, un punto luminoso situado en el agua, en el fondo de una

tiene los que emergen, forma el *cono de los rayos refractados*, y la segunda se compone de todos los que no pueden emerger y se reflejan en el interior del medio más refringente.

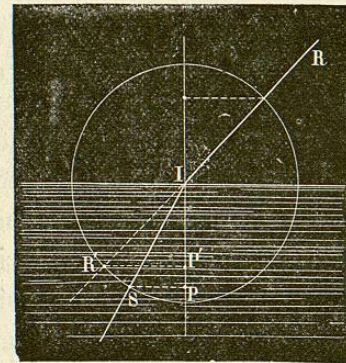


Fig. 62.—Ley de los senos

Llábase *ángulo límite* aquel más allá del cual empieza la reflexion total, y su valor depende del índice de refraccion del medio. Así pues, el ángulo límite que es de unos $48\frac{1}{2}^\circ$ para los rayos que se refractan del agua en el aire, es tan sólo de 41° del vidrio en el aire.

Un experimento muy sencillo permite demostrar el fenómeno de la reflexion total haciendo ver al mismo tiempo que la reflexion obtenida de tal modo excede en brillo á cuantas se obtuvieran directamente, por ejemplo, en la superficie del mercurio y de los metales bruñidos. Se llena de agua un vaso y se le sostiene de modo que la superficie del líquido esté más alta que el ojo: mirando oblicuamente la parte inferior de esta superficie, parece más brillante que la plata bruñida y dotada de brillo metálico. La parte inferior de un objeto metido en el agua se ve reflejada como por un espejo.

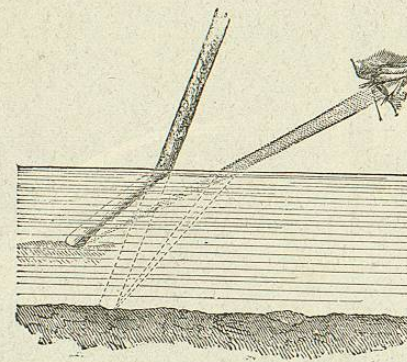


Fig. 63.—Explicacion del palo roto

Un buzo, sumergido en un agua perfectamente tranquila y que levante la vista hácia la superficie del líquido, será testigo de fenómenos singulares. La refraccion le hará ver en un

círculo de unos 97° de diámetro, todos los objetos situados sobre el horizonte, tanto más deformados y estrechos, sobre todo en el sentido de su altura, cuanto más cerca estén del horizonte sensible. «Más allá de este límite, el fondo del agua y los objetos sumergidos se reflejarán y se podrán ver con tanta claridad como si se los mirara directamente. Además, el espacio circular á que nos hemos referido parecerá rodeado de un arco-íris perpetuo, débilmente colorado, pero con mucha delicadeza.» (J. Herschel.)

Tambien nos explica el fenómeno de la reflexion total en qué consiste que un prisma isósceles y rectangular de cristal, adaptado á la abertura de una cámara oscura, intercepte toda la luz procedente del exterior y deje la

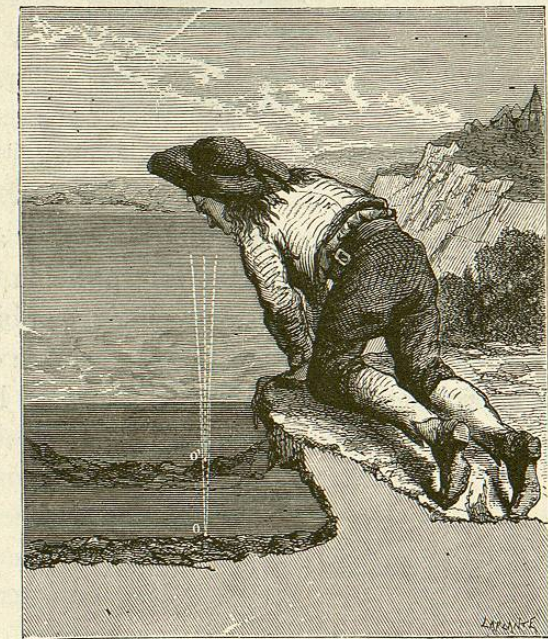


Fig. 64.—Elevacion aparente del fondo de un rio de una vasija. Explicacion

cámara en la oscuridad más completa. Los rayos que penetran en el prisma por su cara perpendicular (fig. 65), entran en él sin refraccion, mas al llegar á la superficie oblicua, el ángulo de incidencia es de 45° , es decir, superior al ángulo límite; efectúase la reflexion total y no hay emergencia. Los rayos que pudieran entrar procederian de incidencias oblicuas, que intercepta el tubo opaco en el que está metido el prisma.

La figura 66 presenta un efecto curioso de iluminacion de un chorro líquido, debido á la reflexion total. Se llena de agua una vasija cilíndrica que tenga en su parte inferior un orificio

por el cual se escapa el agua formando un chorro parabólico. En la parte opuesta al orificio de desagüe hay otro cerrado con un cristal, en el cual se proyecta un haz de luz intensa concentrado por medio de una lente. El haz va á parar al interior del chorro bajo una incidencia oblicua que traspasa el ángulo límite: refléjase al principio totalmente, y luego otra y otra

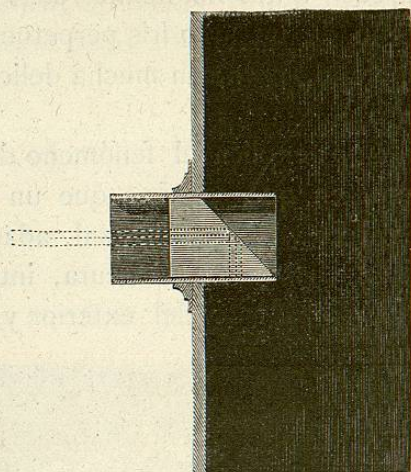


Fig. 65.—Fenómeno de reflexión total en un prisma rectangular isósceles

vez á causa de la curvatura del chorro, y así indefinidamente. Merced á la interposicion de cristales de varios colores, se puede cambiar como se quiera el aspecto de esta especie de *fente luminosa*, que se usa en el teatro en las comedias de magia.

IV

LA REFRACCION EN LA ATMÓSFERA

El fenómeno de la refraccion ocurre siempre que un rayo de luz pasa de un medio á otro, cuando éste difiere del primero por su naturaleza y por su densidad. Es por lo tanto evidente que los rayos luminosos emanados de los astros, Sol, Luna y estrellas, y que despues de marchar por los espacios celestes, han de atravesar las capas atmosféricas para llegar á nuestra vista, sufren una refraccion, y por consiguiente, no vemos los astros en la direccion de las líneas rectas que en realidad reunen á cada uno de ellos con la posicion que ocupamos en la superficie de la Tierra, exceptuándose únicamente los que se hallan en el zenit de cada horizonte.

La refraccion atmosférica depende de la altura angular á que se encuentra sobre el ho-

rizonte el astro observado, como tambien de la ley en virtud de la cual decrecen las densidades de las capas de aire de que se compone la atmósfera. Como los datos que tenemos acerca de esta ley son muy inciertos, hubiera sido sobremanera difícil medir directamente las desviaciones que corresponden á las diferentes alturas de los astros; mas por fortuna la astronomía ha venido en auxilio de la física. Siendo invariable la distancia angular de toda estrella al polo celeste á cualquier altura que el movimiento diurno la lleve sobre el horizonte, las diferencias que la observacion consigna entre las distancias obtenidas desde la mayor altura hasta el horizonte mismo no pueden proceder sino de la refraccion atmosférica. De aquí la posibilidad de construir una tabla de refracciones atmosféricas, desde el horizonte hasta el zenit, tabla muy útil para deducir de la posicion aparente de un astro el aumento de altura debido á la refraccion, y averiguar así su posicion verdadera.

La refraccion llega en el horizonte á cerca de 34'. Como el valor del diámetro del Sol y de la Luna es menor, resulta que en el mar, donde ningun objeto oculta el límite del horizonte, el disco del Sol aparece entero sobre la sábana líquida mucho ántes que la cúspide del astro se ostente por encima de este límite, es decir, que

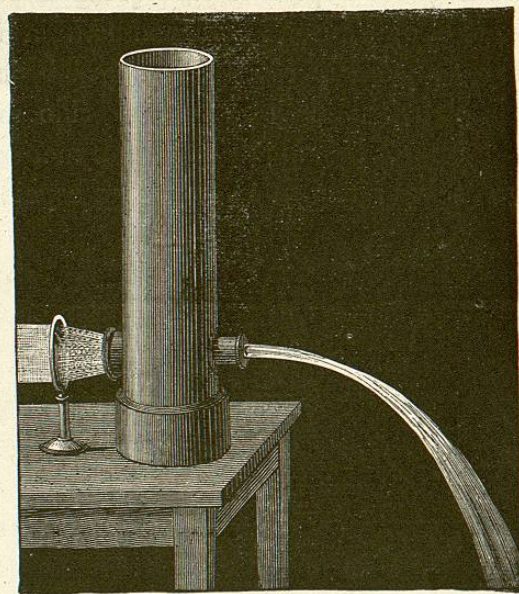


Fig. 66.—Fuente luminosa. Fenómeno de reflexión total

se le ve ántes de su completa salida. Por consiguiente la refraccion contribuye á alargar el día por la mañana, sucediendo lo propio por la tarde al ponerse el Sol.

El mismo fenómeno sirve para explicar una curiosa particularidad observada en muchos eclipses de Luna, y es que este astro se ve eclipsado estando el Sol visible todavía en el horizonte occidental. Finalmente tambien es la refraccion atmosférica la que, permitiendo en los eclipses totales de Luna que cierta cantidad de rayos lleguen á nuestro satélite, impide que su disco sea completamente invisible. Este disco

suele presentar entónces una marcada coloracion rojiza, semejante á la que tiene la atmósfera en el momento de ponerse el Sol.

Aquí nos limitamos á hacer algunas ligeras indicaciones sobre un fenómeno cuyo estudio es de la mayor importancia para la astronomía de observacion; pero las completaremos más adelante en la parte de este volúmen que consagraremos á la óptica meteorológica.

CAPITULO VI

REFRACCION EN LOS PRISMAS Y EN LAS LENTES

I

REFRACCION EN LAS LÁMINAS TRASPARENTES DE CARAS PARALELAS

Las leyes de la refraccion, tal como las hemos visto formuladas en el capítulo anterior,

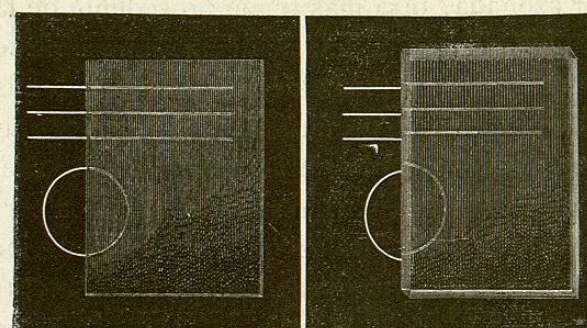


Fig. 67.—Desviacion debida á la refraccion á través de las láminas de caras paralelas

permiten resolver todas las cuestiones que tienen por objeto la marcha de los rayos ó de los haces luminosos, cuando han de atravesar medios de refringencia desigual, para lo cual basta conocer los índices de refraccion de estos distintos medios, así como la forma de las superficies de separacion. Poseyendo estos datos, las cuestiones que se han de resolver son de incumbencia de la geometría y del análisis.

Como se comprenderá, aquí nos limitaremos á apuntar algunas indicaciones sobre tales cuestiones, concretándonos á las soluciones más sencillas, y recurriendo las más de las veces á la práctica para su comprobacion. Esto nos bastará para la inteligencia de las aplicaciones de la

óptica, ya por lo que respecta á los instrumentos más usados, ó bien por lo que se refiere á la explicacion de los fenómenos naturales que dependen de la refraccion.

Ante todo veamos lo que ocurre cuando un rayo de luz penetra en láminas refringentes terminadas en superficies planas y paralelas. Cuando se examina un punto luminoso á través de una lámina de sustancia trasparente, verbigracia, de vidrio, cuyas dos caras planas son paralelas, si el ojo y el punto están en una misma perpendicular á la lámina, se ve el punto luminoso en la direccion exacta en que se le veria sin interposicion de ningun medio refringente; lo cual consiste en que no hay refraccion para los rayos normales.

Pero no sucede la mismo con respecto á la incidencia oblicua, pues en este caso se desvía el punto luminoso, desviacion que se puede demostrar de un modo muy sencillo. Tómese al efecto una lámina de vidrio, colóquesela sobre un papel en el que haya trazadas líneas rectas y curvas de modo que la lámina sólo las cubra en parte, y mirando perpendicularmente se observará que las líneas vistas por transparencia son continuacion de las vistas directamente. Si se mira en direccion oblicua, se notará una desviacion, una solucion de continuidad tanto más marcada cuanto más oblicua sea la incidencia de los rayos luminosos. Esta desviacion se debe á la refraccion y crece tambien con el grueso de la lámina trasparente.

De aquí resulta con toda evidencia que las