

cie de separación 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 reflexión es mayor que el de incidencia. A medida que este último ángulo irá creciendo, crecerá también el ángulo de refracción á su salida del agua, y por consiguiente llegará un momento en que, siendo ya recto el primer ángulo, el de incidencia no lo será todavía. A partir de este punto, de este ángulo límite, el rayo no emergerá ya, sino que enrasará con la superficie horizontal del líquido. Como el ángulo de incidencia sigue creciendo, el ángulo de refracción 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 reflexión, se refleja en la superficie interna de separación. Como la emergencia no es completa en las incidencias menores y hay una reflexión parcial de los rayos, dicese que hay *reflexión total* cuando esta emergencia es nula. Todos los rayos que desde el punto luminoso cortan la superficie de separación de los dos medios, se dividen así en dos partes: la primera, que contiene 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.

Llámase *ángulo límite* aquel más allá del cual empieza la reflexión total, y su valor depende del índice de refracción 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  $41^\circ$  del vidrio en el aire.

Un experimento muy sencillo permite demostrar el fenómeno de la reflexión total haciendo ver al mismo tiempo que la reflexión 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.

Un buzo, sumergido en un agua perfectamente tranquila y que levante la vista hacia la superficie del líquido, será testigo de fenómenos singulares. La refracción le hará ver en un círculo de unos 97 grados 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 iris perpetuo, débilmente colorado, pero con mucha delicadeza." (J. Herschel.)

También nos explica el fenómeno de la reflexión 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 cámara en la obscuridad más completa. Los rayos que penetran en el prisma por su cara perpendicular (fig. 472) entran en él sin refracción; mas, al llegar á la cara oblicua, el ángulo de incidencia es de 45 grados, es decir, superior al ángulo límite; efectúase la reflexión total y no hay emergencia. Los rayos que pudieran entrar procederían de incidencias oblicuas, que intercepta el tubo opaco en el que está metido el prisma.

La figura 473 presenta un efecto curioso de iluminación de un chorro líquido, debido á la reflexión 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

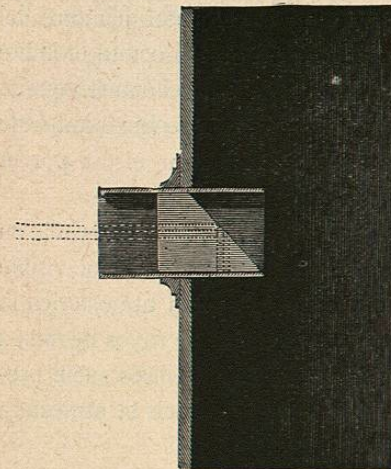


Fig. 472.—Fenómeno de reflexión total en un prisma rectángulo isósceles

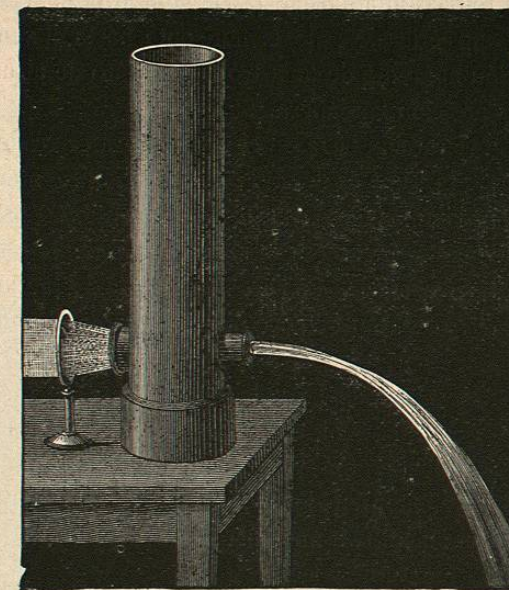


Fig. 473.—Fuente luminosa. Fenómeno de reflexión total

del chorro bajo una incidencia oblicua que traspasa el ángulo límite: refléjase al principio totalmente, y luego otra y otra vez á causa de la curvatura del chorro, y así indefinidamente. Merced á la interposición de cristales de varios colores, se puede cambiar como se quiera el aspecto de esta especie de *fuentes luminosas*, que se usa en el teatro en las comedias de magia.

#### IV

##### LA REFRACCIÓN EN LA ATMÓSFERA

El fenómeno de la refracción 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 después de marchar por los espacios celestes han de atravesar las capas atmosféricas para llegar á nuestra vista, sufren una refracción, y por consiguiente no vemos los astros en la dirección de las líneas rectas que en realidad reúnen á cada uno de ellos con la posición que ocupamos en la superficie de la Tierra, exceptuándose únicamente los que se hallan en el zenit de cada horizonte.

La refracción atmosférica depende de la altura angular á que se encuentra sobre el horizonte el astro observado, como también 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 sobre manera difícil medir di-

rectamente 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 observación consigna entre las distancias obtenidas desde la mayor altura hasta el horizonte mismo no pueden proceder sino de la refracción 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 posición aparente de un astro el aumento de altura debido á la refracción, y averiguar así su posición verdadera.

La refracción 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 ningún objeto oculta el límite del horizonte, el disco del Sol aparece entero sobre la sábana líquida mucho antes que la cúspide del astro se ostente por encima de este límite, es decir, que se le ve antes de su completa salida. Por consiguiente la refracción 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, también es la refracción 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 entonces una marcada coloración 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 observación; pero las completaremos más adelante en la parte de este volumen que consagraremos á la óptica meteorológica.

## CAPITULO VI

### REFRACCIÓN EN LOS PRISMAS Y EN LAS LENTES

#### I

##### REFRACCIÓN EN LAS LÁMINAS TRANSPARENTES DE CARAS PARALELAS

Las leyes de la refracción, tal como las hemos visto formuladas en el capítulo anterior, 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 refracción de estos distintos medios, así como la forma de las superficies de separación. 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 veces á la práctica para su comprobación. Esto nos bastará para la inteligencia de las aplicaciones de la óptica, ya por lo que respecta á los instrumentos más usados, ya por

lo referente á la explicación de los fenómenos naturales que dependen de la refracción.

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 substancia transparente, 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 dirección exacta en que se le vería sin interposición de ningún medio refringente, lo cual consiste en que no hay refracción para los rayos normales.

Pero no sucede lo mismo con respecto á la incidencia oblicua, pues en este caso se desvía el punto luminoso, desviación 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 continua-

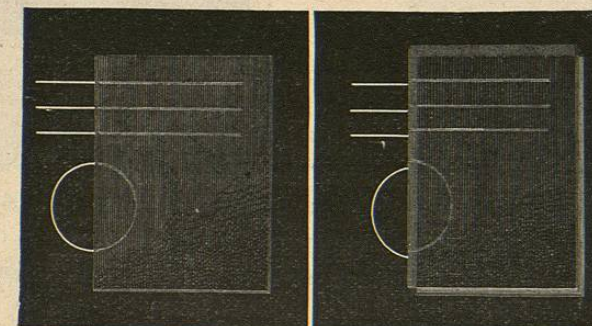


Fig. 474.—Desviación debida á la refracción á través de las láminas de caras paralelas

ción de las vistas directamente. Si se mira en dirección oblicua, se notará una desviación, una solución de continuidad tanto más marcada cuanto más oblicua sea la incidencia de los rayos luminosos. Esta desviación se debe á la refracción y crece también con el grueso de la lámina transparente.

De aquí resulta con toda evidencia que las láminas transparentes, como, por ejemplo, los vidrios, los cristales de los cuadros, etc., deforman las imágenes, puesto que los rayos que llegan á la vista desde varios puntos del cuadro han atravesado el espesor del cristal con incidencias muy distintas, los unos perpendicular y los otros oblicuamente. La desviación, nula para los primeros puntos, no lo es para los últimos. Si el cristal transparente fuese muy grueso, la desviación se vería á primera vista; pero, dado el espesor que suelen tener, ésta es casi imperceptible.

Por lo demás, cuando hablamos de desviación, mejor debiéramos decir dislocación lateral, porque el rayo luminoso que atraviesa una ó muchas láminas de caras paralelas conserva después de su emergencia una dirección paralela á la del rayo incidente, como lo demuestra con bastante evidencia la figura 475. Esta propiedad es consecuencia del paralelismo de las normales en los puntos de incidencia y emergencia, y también de las leyes de refracción para dos medios de refringencia dada. La experiencia demuestra que los rayos son siempre paralelos cuando salen después de atravesar cierto número de láminas, aunque éstas no estén compuestas de substancias idénticas ni tampoco situadas paralelamente; y la teoría hacía ya prever este resultado. Finalmente, otro tanto acontece cuando las láminas de substancias diferentes están contiguas. En todo caso, la dislocación lateral depende de la refringencia de las substancias y del grueso de las láminas.