

Todos estos resultados se deducen del cálculo en virtud de las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz, y dado el índice de refracción del agua. Ahora bien, las dimensiones angulares de cada arco iris, la anchura de las zonas y la del intervalo que las separa son otras tantas consecuencias de los datos precedentes; y si la teoría es exacta, la observación deberá comprobarlo así. Esto es lo que han hecho Newton y todos los observadores que posteriormente á él han estudiado el arco iris. Cuando el Sol está en el horizonte, la línea OZ se encuentra en este plano. Por consiguiente el centro de los arcos se halla á su vez en el horizonte y el arco iris aparece en forma de semicírculo, forma con que efectivamente se presenta, al salir ó al ponerse el Sol, al observador situado en la llanura. Con respecto á las alturas diferentes de la del astro, la amplitud del arco iris no llega á la de una semicircunferencia, siendo esta amplitud tanto menor cuanto más elevado aparece. Por último, si el observador estuviera situado en una montaña muy alta y en un picacho angosto, podría ver más de una semicircunferencia, y hasta un círculo completo, si llueve á regular distancia.

La teoría demuestra que puede haber rayos eficaces que correspondan á 3, 4 y 5 reflexiones sucesivas, y por lo tanto se debería poder observar á la vez más de dos arcos iris. El tercero y el cuarto se verían hacia el lado del Sol con diámetros de 39° y 45° , y el quinto como los que hemos descrito, enfrente del astro solar. Mas al parecer no se ha notado ninguno de estos fenómenos, lo cual seguramente se explica por la disminución considerable de intensidad que sufre la luz después de reflejarse dos veces sucesivas.

Si la luz directa del Sol produce uno ó dos arcos iris concéntricos, la reflejada puede dar origen también al mismo fenómeno. La superficie de una agua tranquila, la del mar, la de un lago, al dar una imagen viva del Sol, han permitido observar dos ó cuatro arcos que teniendo centros diferentes en una misma vertical se cortan dos á dos por ser naturalmente más elevados los arcos que emanan del Sol reflejado.

No debe olvidarse que el arco iris es un fenómeno cuya formación depende únicamente de la posición del observador con respecto al Sol y á la nube que se resuelve en lluvia; si el observador cambia de sitio, el arco iris hace lo propio, y en su consecuencia, si dos personas situadas á gran distancia entre sí ven á la vez un arco iris, no observan el mismo arco. Si así fuese, la que estuviese situada oblicuamente lo vería en perspectiva, en forma de óvalo ó elipse, pero no de círculo. La teoría y la observación prueban de consuno la imposibilidad del hecho que acabamos de suponer. Muchas veces hemos oído asegurar á personas á quienes hablábamos de algún arco iris, que ellas también lo habían visto; pero se equivocaban, á no ser que se hubieran hallado precisamente inmediatas al lugar en que nosotros estábamos en el mismo instante.

Cuando el arco iris ordinario es muy brillante se notan á veces fajas de colores, ya dentro del arco interior, ó ya fuera del exterior. Dase á estas fajas el nombre de *arcos iris supernumerarios*, y Young, Arago, Babinet y Airy han formulado su teoría, que, como la de las *coronas*, relacionan con la difracción de la luz.

IV

HALOS SOLARES.—PARHELIOS, PARASEIENES

En las regiones polares, y alguna que otra vez en las zonas templadas, se observa un fenómeno óptico bastante complicado, una reunión regular de círculos luminosos, de arcos tangentes á estos círculos que se forman alrededor del Sol, y lo mismo que el arco iris suelen presentar los varios colores del prisma.

Dase el nombre de *halos* y de *parhelios* á estos fenómenos, que describiremos detalladamente.

Alrededor del Sol se forman dos círculos concéntricos; el más pequeño, llamado *halo menor* ó *halo interior*, tiene un radio de unos 22° á 23° ; el mayor, ó *halo exterior*, es casi exactamente doble, es decir, tiene 46° de radio. Uno y otro, bastante difusos en su contorno, brillan con los colores del arco iris, pero en ambos está el rojo á la parte de dentro y el morado á la de fuera. Por lo común, los colores del halo de 46° son más marcados que los del otro. Un tercer círculo paralelo al horizonte, á todo el cual da vuelta, corta los dos primeros pasando por su centro: dásele el nombre de *círculo parhético*, y difiere de los halos en que no es de colores, sino de un matiz blanco difuso. Visto el círculo parhético cerca de los otros dos, parece un diámetro rectilí-

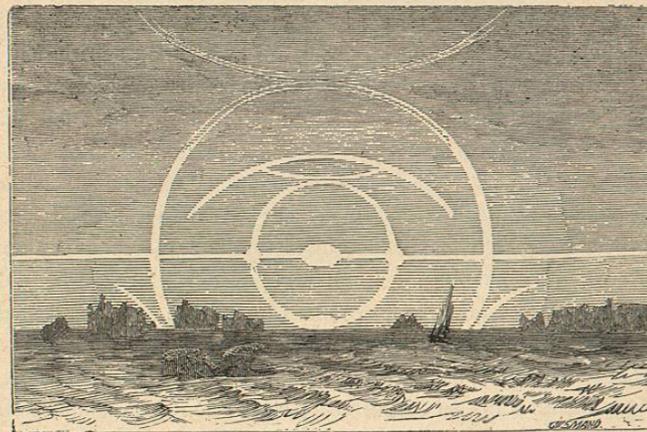


Fig. 610.—Halo solar, parhelios y círculo parhético

neo y prolongado de ambos, y los corta en cuatro puntos en los cuales se ven apariencias más luminosas y como imágenes difusas del Sol, de los mismos colores que los halos y rojas como ellos hacia el lado del centro. Estos *parhelios* ó *falsos soles* aparecen con más frecuencia en la intersección del halo interior y del círculo parhético; son más raros y de colores más bajos en el halo exterior.

Aparte de esto, vense á veces arcos tangentes en los extremos superiores del diámetro vertical común á los dos halos, arcos que tienen el zenit por polo, siendo por consiguiente paralelos al círculo parhético, y estando colorados como los dos halos. Por último, á veces sucede que aparecen otros arcos tangentes á cada lado de la parte inferior del halo de 46° , pero estos arcos laterales son sumamente raros.

Así como hay arcos iris nocturnos producidos por la luz de la Luna, también se ven *halos lunares*, que no difieren de los solares sino por su menor brillo ó por sus colores más bajos. Aun cuando los halos sean más frecuentes de lo que se había creído en un principio, con todo es muy raro que el fenómeno reúna todas las apariencias que acabamos de describir. Las observaciones más completas de que se hace mención en los tratados son las siguientes: halo completo observado por Lowitz en San Petersburgo el 29 de junio de 1790; otro halo completo observado por Hoff y Kries en Gotha el 12 de mayo de 1824; otro visto en Noruega el 27 de marzo de 1826 por Schult, Hansteen y Segelke, y por último el 4 de octubre de 1839, Bravais y Martins vieron y describieron un halo solar en Pitea (Suecia).

Demostremos ahora una sucinta explicación de estos singulares fenómenos. Huygens fué el primero que trató de formular la teoría del halo, suponiéndolo debido á ciertos glóbulos ó cilindros de hielo opaco rodeados de una capa de agua transparente que hubiese en suspensión en la atmósfera. Mariotte y Venturi la explicaron á mediados del siglo anterior, atribuyéndola á la refracción de la luz en los cristales de nieve ó de hielo flotantes en el aire, cristales que existen en efecto y que por lo general son de forma prismática exagonal. Bréwster, Arago, Fraunhofer y Bravais han aceptado y completado la teoría de Mariotte que basta para explicar todas las circunstancias del fenómeno.

Veamos ante todo cómo da cuenta del halo interior de 22° . La atmósfera está sembrada, entre el Sol y el ojo del observador, de una muchedumbre de agujas prismáticas, que supondremos orientadas en todas direcciones. Dos caras laterales contiguas de uno de estos prismas forman entre sí un ángulo de 120° , ángulo demasiado grande para que algún rayo de luz pueda atravesarlas sucesivamente, por cuanto el que penetrara por una de ellas y cayera en el interior sobre la segunda sufriría allí la reflexión total; pero no sucede lo propio con dos caras separadas por una tercera, porque entonces el ángulo es solamente de 60° . La luz que penetre en el prisma por una de estas caras y salga por la otra experimentará una desviación igual por lo menos á $21^\circ 50'$ (ó sea 22°), ángulo de desviación mínima para un prisma de hielo cuyo ángulo es de 60° .

De todas las agujas prismáticas orientadas de todos modos, consideremos aquellas cuyo eje es perpendicular á un plano cualquiera que pase por el Sol y por el ojo del observador: estas agujas enviarán á dicho plano luz refractada procedente de todas direcciones. Pero en una de éstas la luz será más intensa que en todas las demás; dirección que será la que corresponda á los prismas orientados de modo que den la desviación mínima, lo cual sucederá por dos razones. Primero, porque los prismas así dispuestos pueden girar ligeramente sobre su eje sin que la desviación se modifique notablemente, lo cual equivale á suponer que los prismas orientados de este modo son más numerosos que los otros. Además, durante el movimiento de rotación de los otros prismas, los rayos refractados que envían al ojo no hacen más que pasar rápidamente, mientras que los refractados en el momento de la desviación mínima son cada vez más en número sin dejar de pasar por el ojo. Todos los rayos que, después de refractarse en las agujas de hielo, lleguen á nuestra vista, pero sufriendo antes su mínima desviación, son los llamados *eficaces*, porque producen por sí solos círculos luminosos de colores que constituyen los halos. El mismo raciocinio es aplicable á todos los planos trazados por el Sol y por el ojo del observador, de suerte que todos los rayos eficaces formarán un cono, cuyo eje será la línea que reuna el ojo y el Sol. Por consiguiente, se verá un círculo luminoso alrededor del astro solar á una distancia angular igual á la que mide el ángulo de desviación mínima para prismas de 60° , y será el *halo interior*.

En cuanto á la coloración del círculo, se explica fácilmente. Como sabemos, el índice de refracción va creciendo del rojo al morado, y por tanto los rayos solares, descompuestos por la refracción prismática, no tienen el mismo ángulo de desviación mínima, sino que éste crecerá con la refrangibilidad de los rayos. Así pues, el círculo rojo estará rodeado de círculos amarillo, verde, azul, etc., cuyo conjunto constituirá el halo interior.

Por lo que respecta al exterior ó de 46° , tiene por causa la refracción de los rayos solares que atraviesan los prismas de hielo al pasar de una cara lateral á uno de los exágonos de la base. Siendo de 90° el ángulo de estas caras, la desviación mínima de los rayos medios es de $45^\circ 44'$. De aquí resulta un círculo cuyo radio á distancia angular al Sol es de unos 46° : es el *halo exterior*.



NICÉFORO NIEPCE

PARTE SEGUNDA

ÓPTICA.—APLICACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE LA LUZ

CAPÍTULO PRIMERO

LA LUZ Y LA VIDA

I

LOS ESPEJOS

El uso de los espejos es muy antiguo. Sin necesidad de remontarnos á los tiempos de Moisés y al pasaje del *Exodo* en que se trata de los espejos de las mujeres que permanecían á la entrada del tabernáculo, sabemos que los antiguos egipcios los usaban también. En Grecia y en Roma se adornaban las paredes de las habitaciones con placas bruñidas y relucientes de acero, oro, plata, obsidiana y piedra especular; y á juzgar por lo que se desprende de varios párrafos de Plinio y Aristóteles, no fueron desconocidos de los antiguos los espejos de cristal forrado de una lámina metálica bruñida.

Hasta el siglo xv no reemplazaron á los espejos de metal bruñido las placas de cristal azogado, habiéndose fabricado los primeros en Flandes y después en Venecia, que