

propriadamente dicha degradaciones insensibles de intensidad, desde la luz llena hasta la sombra pura, y no es posible discernir exactamente la línea divisoria de la una ni de la otra. Si, por el contrario, se quiere reducir el foco á pequeñísimas dimensiones, se observan fenómenos singulares, fajas alternativas de luz y sombra que imposibilitan de todo punto la comprobación de la ley.

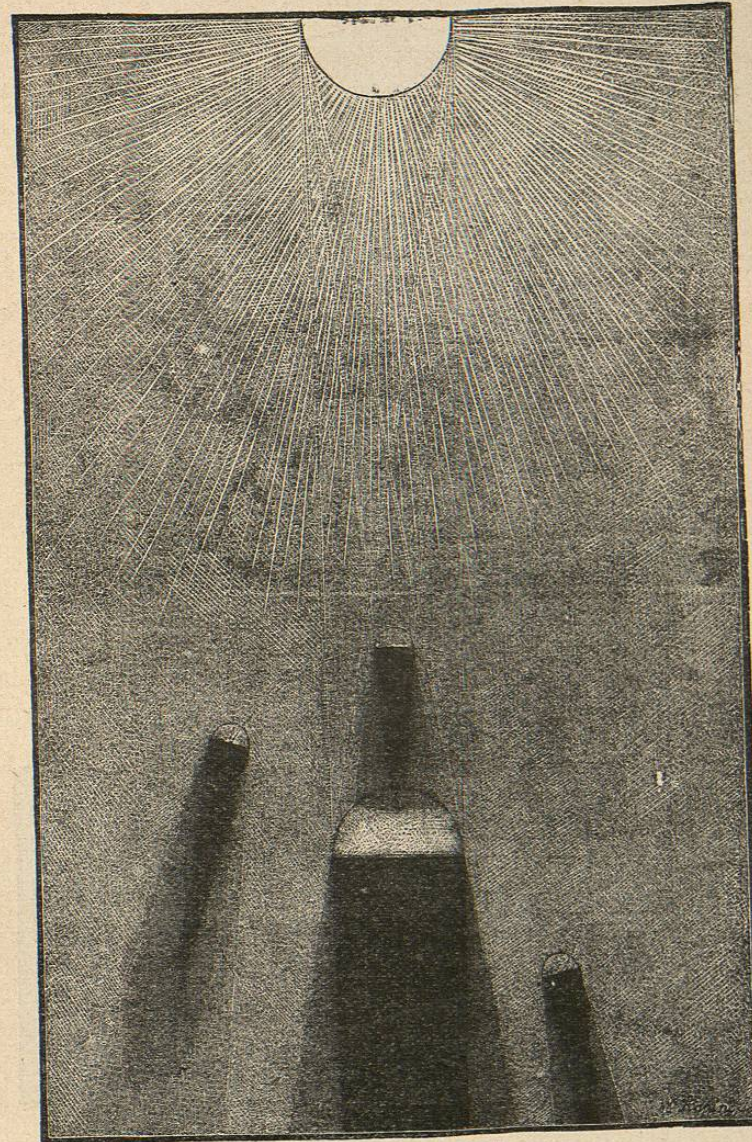


Fig. 412. —Eclipses de Sol y de Luna

Los eclipses de Sol y de Luna realizan en la Naturaleza, y en la mayor escala, la teoría geométrica de las sombras y penumbras. Cuando el disco opaco de la Luna se halla interpuesto en línea recta entre el Sol y la superficie del globo terráqueo, la sombra proyectada constituye un eclipse ya total ó bien anular del Sol, según que las dimensiones aparentes del disco lunar sean mayores ó menores que las del Sol, ó lo que es lo mismo, según que el vértice del cono de sombra de la Luna llegue ó no á la Tierra. A una y otra parte de la línea central oscura del eclipse hay una serie de loca-

lidades para las cuales el disco solar resulta más ó menos eclipsado ó mordido por la Luna; estos lugares están en la penumbra, y para ellos hay eclipse parcial de Sol. Los eclipses de Luna, producidos al pasar este astro por los conos de sombra y de penumbra de la Tierra, tienen la misma causa y constituyen eclipses totales ó parciales de

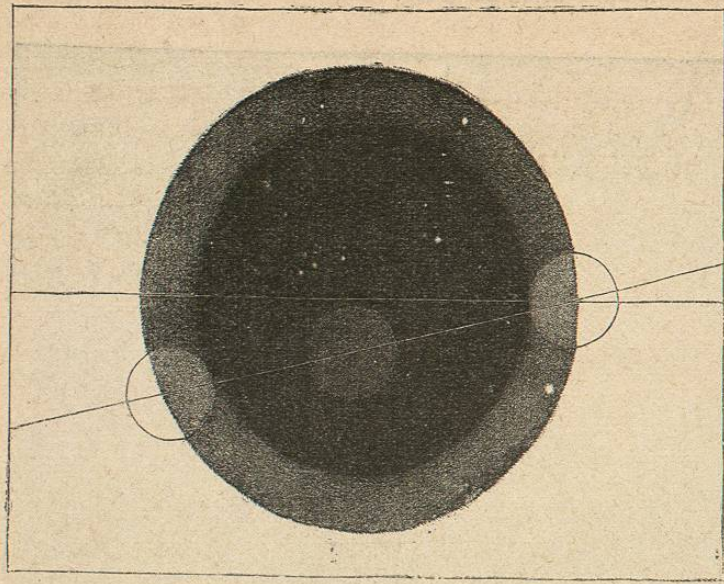


Fig. 413.—Eclipse total de Luna

Sol para la Luna; sólo que la envoltura gaseosa que forma nuestra atmósfera modifica, conforme lo veremos más adelante, las dimensiones reales del cono de sombra terrestre, debiéndose tener en cuenta estas modificaciones para explicar las circunstancias

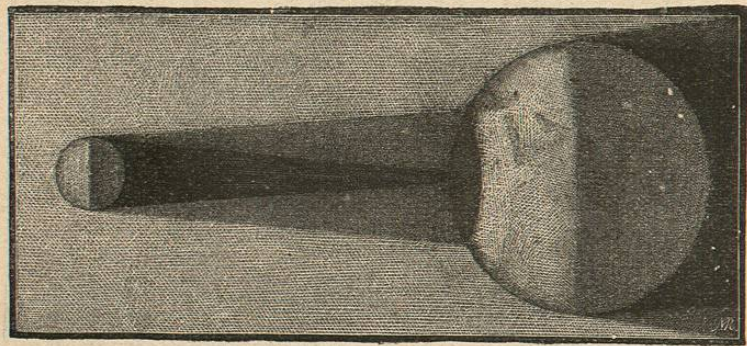


Fig. 414.—Eclipse total de Sol

variables del fenómeno de los eclipses lunares. Desde este punto de vista, la teoría geométrica de las sombras no se puede aplicar directamente á este caso particular.

En los demás cuerpos del sistema planetario ocurren otros fenómenos semejantes, que podemos observar. Tales son los pasos de Venus y de Mercurio por el disco del Sol, los eclipses de los satélites de Júpiter, ó también las proyecciones de los conos de sombra de estos satélites en el disco luminoso del planeta. Merced á la observación de los eclipses de los satélites de Júpiter se ha podido comprobar y medir por vez primera la velocidad de propagación de la luz.

También podemos comprobar diariamente en la superficie de la Tierra, aunque en realidad sólo por aproximación, los efectos de iluminación, de sombra y de penumbra que son consecuencias de la ley de propagación rectilínea de la luz.

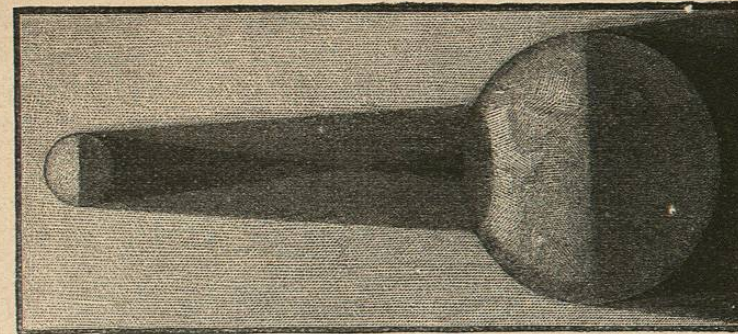


Fig. 415.—Eclipse anular de Sol

Cuando la luz es directa y de suficiente intensidad, como la del Sol ó de un foco artificial, sea éste una lámpara, una bujía, un mechero de gas, etc., las sombras resultan

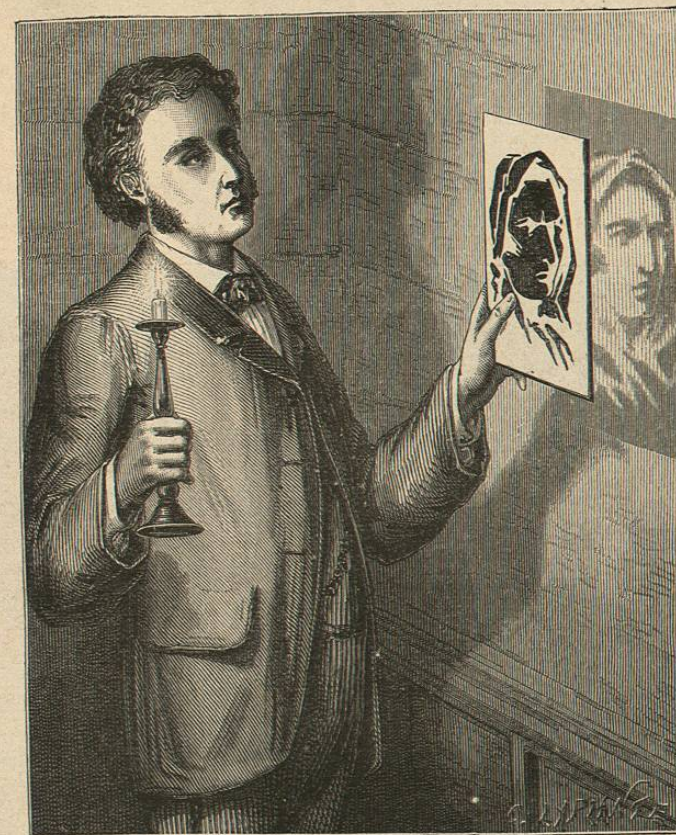


Fig. 416.—Efectos de sombra y penumbra. Siluetas de figuras recortadas

relativamente limitadas; las partes iluminadas y las oscuras de los objetos se destacan con bastante limpieza y las penumbras no hacen más que suavizar los contornos; sin embargo, las sombras distan mucho de ser oscuras, á no ser que se trate de un recinto

cerrado por todas partes; la luz se refleja en todas direcciones, ya por la iluminación del aire mismo, ó ya por las partes alumbradas de los objetos que, respecto de las partes oscuras, hacen las veces de focos secundarios de luz. Pero si la luz es difusa, como sucede con la del Sol cuando este astro está velado por nubes ó nieblas, la iluminación se difunde y se iguala hasta el punto de ser imposible notar la separación entre la luz y las sombras. La aplicación geométrica de la teoría de las sombras y penumbras, que en las artes del dibujo puede servir á los artistas en el primer caso, es imposible en el segundo, y el único recurso de que entonces se puede echar mano es la aplicación ó imitación empírica de dichos efectos.

Los retratos y dibujos de papel ó cartón cortado que sirven de juguete á los niños, son una aplicación del efecto de claroscuro que producen las penumbras; el papel está cortado y desprendido en las partes que deben aparecer en plena luz y aun algo más, de modo que el efecto de la penumbra suaviza sus contornos. Cuando el papel cortado está muy cerca de la pared ó de la pantalla en donde se proyecta la sombra, son los perfiles muy duros y marcados y no se consigue el objeto que se propuso el artista; pero colocado el retrato á una distancia conveniente, las penumbras, más difundidas, producen el resultado apetecido (fig. 416); si la distancia es demasiado grande, las penumbras invaden las partes claras y la imagen resulta muy confusa.

III

LA CÁMARA OSCURA. — IMÁGENES INVERTIDAS Y COLORADAS DE LOS OBJETOS EXTERIORES

La propagación de la luz en línea recta explica los fenómenos que se observan en la cámara oscura. Situémonos en una habitación herméticamente cerrada, y de tal modo

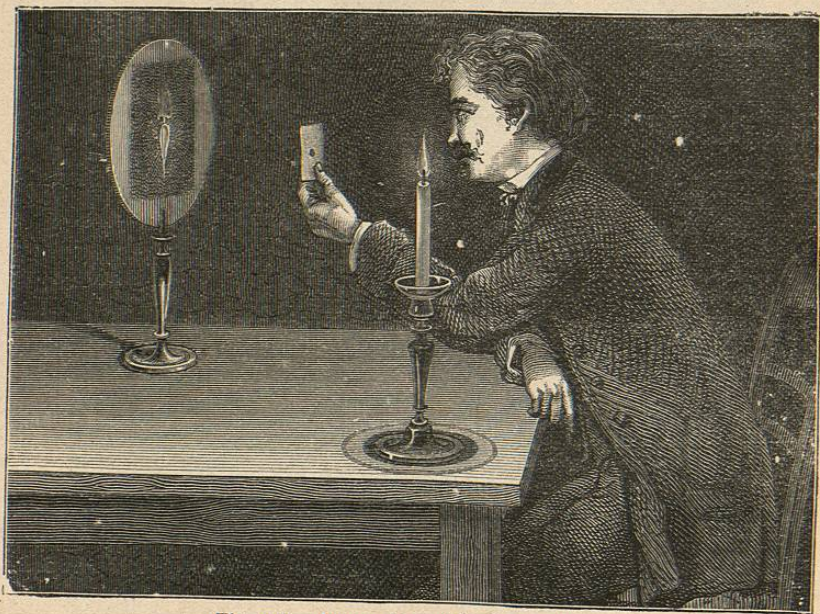


Fig. 417.—Imagen invertida de una bujía

que sólo puedan penetrar en ella los rayos del Sol por un agujerito hecho en una tabla delgada de una de sus ventanas: coloquemos entonces una pantalla blanca á cierta distancia del agujero, y aparecerá una mancha luminosa de forma circular ó elíptica tanto

mayor cuanto más diste la pantalla del orificio (fig. 408); esta mancha es la imagen del Sol.

Si en vez de la luz solar penetra en la cámara oscura la de una bujía, se verá reproducida en la pantalla la imagen de la vela y de la llama, pero invertida (fig. 417). La causa de esta inversión es muy sencilla. Los rayos que parten de la extremidad superior de la llama pasan por el agujerito, siguen su camino en línea recta en la cámara oscura y producen un punto luminoso en la parte inferior de la pantalla. Los que, por el con-



Fig. 418.—Imágenes redondas y elípticas del Sol á través del follaje

trario, parten de la base de la llama van á formar su imagen en un punto más elevado; los rayos intermedios forman rastros luminosos entre ambos puntos; por lo tanto, la imagen ha de aparecer naturalmente invertida, explicándose al mismo tiempo por qué existe la imagen y por qué ofrece esta disposición particular. Un naipe ó tarjeta, en que se hace un diminuto agujero con una aguja, da en la pantalla la imagen invertida de la bujía (fig. 417). La forma del orificio es, por lo demás, indiferente; redonda, cuadrada ó triangular, siempre reproduce la imagen del foco con su forma rigurosamente semejante. Supongamos, en efecto, que la abertura del postigo de la cámara oscura sea de forma triangular, y hagamos que penetren los rayos del Sol de modo que se les pueda recibir en una pantalla colocada perpendicularmente á su dirección. Cada punto del disco luminoso dará un haz de luz, que penetrando por el agujero en forma de pirámide, se cortará en la pantalla según una sección de forma igual á la de la abertura, esto es, triangular. La imagen total del Sol estará, pues, formada por un número infinito de triángulos luminosos. Todos estos elementos se superponen, y como no hay punto alguno del contorno del disco que no dé el suyo, resulta que la forma de la imagen será

rigurosamente la del Sol; si la pantalla estuviese colocada oblicuamente á la dirección de los rayos de luz, dicha forma sería elíptica.

Así se explica por qué en la sombra proyectada por un árbol, la luz que penetra entre los intervalos de las hojas tiene siempre la forma circular ó elíptica (fig. 418), según que los rayos caen perpendicular ú oblicuamente sobre el suelo.

Durante los eclipses de Sol, puede observarse que estas imágenes del astro presentan la forma de una media luna luminosa, tanto más escotada cuanto mayormente lo esté el disco solar: en el caso de que el eclipse de Sol sea anular, la imagen lo será también.

Si la ventana de la cámara obscura está enfrente de un paisaje iluminado por el Sol



Fig. 419.—Imágenes producidas en la cámara obscura

y aun por la luz difusa reflejada por un cielo despejado, se reproducirá en la pantalla la imagen de cada objeto, imagen invertida como acabamos de ver, y de este modo se obtiene una reproducción fiel del paisaje (fig. 419). Si la pantalla es muy blanca, aparecerán admirablemente pintados todos los objetos con sus colores y matices, siendo más ricos y delicados los detalles cuanto más pequeña sea la abertura y más distante esté el paisaje.

Antes de pasar más adelante, y para facilitar el lenguaje, debemos decir lo que se entiende por *rayo*, por *pincel* y por *haz luminoso*. Dase el primer nombre á la serie de puntos considerados simultánea ó sucesivamente de que se compone cualquiera de las líneas seguidas por la luz; el segundo, al conjunto de un corto número de rayos emanados del mismo punto, y el de *haz* á la reunión de muchos rayos paralelos.

Como se ve, los pinceles luminosos no son otra cosa sino pirámides ó conos que tienen su vértice en un punto cualquiera del foco; pero cuando éste se halla á bastante distancia, como sucede con el Sol y las estrellas, los rayos que parten de un punto del foco tienen tan escasa divergencia que se los puede considerar como rigurosamente paralelos.

CAPÍTULO III

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA LUZ

I

PRIMEROS ENSAYOS. — MÉTODO DE REEMER: VELOCIDAD DE LA LUZ MEDIDA POR LOS ECLIPSES DE LOS SATÉLITES DE JÚPITER

Los antiguos no creían que la luz invirtiera algún tiempo, por pequeño que fuese, en pasar del foco al punto iluminado por ella, del punto luminoso al ojo. En su concepto, esta transmisión era instantánea.

Bacón fué el primero, entre los modernos, que emitió la hipótesis de que la velocidad de propagación de la luz no es infinita, y Galileo fué asimismo el primero que trató de averiguar prácticamente cuál era esta velocidad. He aquí de qué medio se valió: Dos observadores, provistos cada cual de una lámpara, se situaban de noche á 2,000 metros de distancia, habiendo convenido de antemano en que uno de ellos ocultaría su luz con una pantalla y que el otro haría lo propio en el preciso momento en que

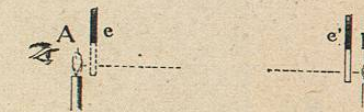


Fig. 420.—Experimentos de Galileo. Primer ensayo de medición de velocidad de la luz

vese desaparecer la primera luz. Claro está que si el primer observador hubiera podido notar un intervalo de tiempo mensurable entre el instante en que tapaba su lámpara y el en que notaba la desaparición de la segunda, dicho intervalo hubiera sido doble del que la luz invierte en recorrer la distancia que separaba en línea recta los dos puntos de observación. Pues bien, no les fué posible apreciar ninguna diferencia de tiempo entre ambos fenómenos: las dos luces se apagaban al parecer á la vez. Los experimentos de Galileo, repetidos por los físicos de la Academia del Cimento á distancias triples de la primera, no produjeron resultado alguno.

Descartes, que tenía ideas especiales sobre la naturaleza de la luz, opinaba que su transmisión es absolutamente instantánea. Considerando los focos luminosos como asiento de una agitación que se transmitía á cualquier distancia por el intermedio de cuerpos duros y contiguos, comparaba el movimiento de la luz al de un palo, uno de cuyos extremos se mueve en el mismo momento en que se hace vibrar el otro (1). Así pues, para él la velocidad de la luz era infinita, y creía ver la confirmación de sus ideas acerca de este punto en un fenómeno astronómico en el que debiera haberse notado la influencia de la propagación sucesiva de la luz si fuese positiva.

Este fenómeno es el de los eclipses de Luna.

Sabido es que hay eclipse de Luna cuando, en la época de la oposición ó del plenilunio, los centros de los tres astros se hallan en línea recta. En otros términos, las longitudes del Sol y de la Luna deben en tal momento diferir en 180 grados, como lo

(1) Conviene hacer notar que el hecho mismo de la instantaneidad del movimiento del palo en sus dos extremos, hecho que sirve á Descartes de término de comparación, no es exacto. Tan luego como el cuerpo sólido que se somete á una presión ó una tracción tiene la suficiente longitud, se advierte que el movimiento invierte un espacio de tiempo muy apreciable en propagarse de un extremo á otro.