

tante rápido se ven dos, tres, cuatro aberturas luminosas á la vez, lo cual sucede tan luego como la duración de la impresión excede del tiempo que transcurre entre dos, tres ó cuatro coincidencias de los agujeros. Así se ha podido medir esta duración comprobando la velocidad de rotación, y estudiar además varias circunstancias del fenómeno.

Así también es como Plateau ha probado que la luz necesita cierto tiempo para que la sensación sea completa y llegue á su máximo, y que este máximo dura, antes de disminuir, tanto más cuanto más débil es la impresión.

Aparte de esto, la duración total de la impresión crece con la intensidad de la luz, siendo por término medio de 0,84.

Dando vueltas á un disco de cartón dividido en 24 sectores alternativamente blancos y negros, ó blancos y de colores, ha reconocido Plateau que la velocidad de rotación necesaria para que en el disco resultara una tinta gris ó un color uniforme depende

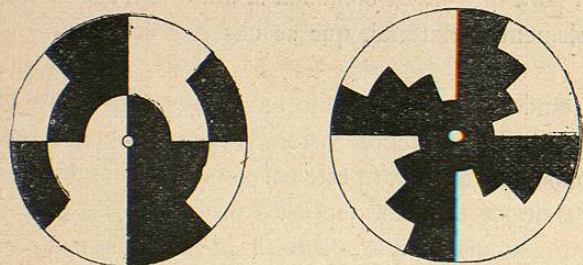


Fig. 590.—Discos rotatorios; experimentos sobre la persistencia de las impresiones luminosas

de la intensidad de la luz, y también de la especie de color de que están teñidos los sectores. Subsiste la misma tinta, si la proporción entre la superficie de los sectores blancos y la de los sectores negros permanece constante. Así se demuestra mediante el disco giratorio representado en la figura 590, en el que la superficie del círculo está dividida en tres zonas diferentes: la central, formada por un semicírculo blanco y otro negro, da el mismo color gris que la zona siguiente, cuya superficie está dividida en cuatro segmentos, y que el anillo exterior dividido en ocho partes alternativamente blancas y negras. Sólo que la velocidad de rotación necesaria para que cada zona sea uniforme va creciendo del contorno del disco al centro. Bastan seis revoluciones por segundo para obtener la uniformidad del anillo externo, doce para el anillo medio, y veinticuatro para el círculo central. Cuando esta velocidad es suficiente para el último, el disco parece teñido uniformemente. Por el contrario, si el número de sectores continúa siendo el mismo, se puede cambiar la relación de anchura de los sectores blancos y de los negros sin que cambie la velocidad necesaria para la uniformidad, de lo cual es fácil cerciorarse merced á un disco dispuesto como el segundo círculo de la figura 590, cuyos sectores blancos van ensanchándose desde el centro á la circunferencia.

Cuando un cuerpo se mueve con cierta rapidez, la vista no puede distinguir con claridad su forma ni sus detalles. Para ello sería menester que el eje óptico pudiera cambiar de posición tan de prisa como el objeto, á fin de que la imagen de éste se formara siempre en los mismos puntos de la retina; mas como esto suele ser imposible, la imagen misma es la que cambia de lugar en el fondo de dicha membrana, y subsistiendo la persistencia de la impresión en cada uno de los puntos en que aquélla se forma, resulta superposición y por lo tanto confusión de las diversas partes del objeto. El ejemplo más sencillo de esta confusión es el de los rayos de una rueda en movimiento.

Pero cuando la luz que ilumina y permite ver al objeto en movimiento dura sólo un brevísimo espacio de tiempo, cuando le alumbra por decirlo así instantáneamente de modo que el cambio de posición del cuerpo sea imperceptible, entonces no se forma

de la intensidad de la luz, y también de la especie de color de que están teñidos los sectores. Subsiste la misma tinta, si la proporción entre la superficie de los sectores blancos y la de los sectores negros permanece constante. Así se demuestra mediante el disco giratorio representado en la figura 590, en el que la superficie del círculo está dividida en tres zonas diferentes: la central, formada por un semicírculo blanco y otro negro, da el mismo color gris que la zona siguiente, cuya superficie está dividida en cuatro segmentos, y que el anillo exterior dividido en ocho partes alternativamente blancas y negras. Sólo que la velocidad de rotación necesaria para que cada zona sea uniforme va creciendo del contorno del disco al centro. Bastan seis revoluciones por segundo para obtener la uniformidad del anillo externo, doce para el anillo medio, y veinticuatro para el círculo central. Cuando esta velocidad es suficiente para el último, el disco parece teñido uniformemente. Por el contrario, si el número de sectores continúa siendo el mismo, se puede cambiar la relación de anchura de los sectores blancos y de los negros sin que cambie la velocidad necesaria para la uniformidad, de lo cual es fácil cerciorarse merced á un disco dispuesto como el segundo círculo de la figura 590, cuyos sectores blancos van ensanchándose desde el centro á la circunferencia.

más que una imagen, y la persistencia de la impresión hace ver distintamente el cuerpo, el cual parece inmóvil, como si se hubiera detenido bruscamente en el preciso momento en que le ha dado el rayo luminoso. Este caso se observa en las tempestades nocturnas: la duración del relámpago es entonces tan corta y su luz al propio tiempo tan viva, que se ve el paisaje con gran claridad, y un objeto en movimiento, por ejemplo un tren de ferrocarril, parece parado por más que marche á todo vapor.

Un fenómeno singular, pero de fácil explicación, es el que se observa cuando se

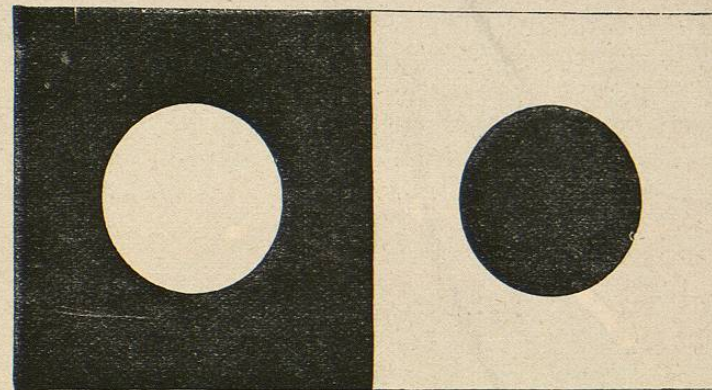


Fig. 591.—Fenómenos de irradiación

hace girar sobre el mismo eje, con velocidades iguales aunque en sentido contrario, á dos ruedas del mismo número de rayos: entonces se ve una rueda inmóvil, pero con los rayos duplicados. Esta apariencia tiene por causa la coincidencia de éstos y la superposición de las impresiones ocasionadas por cada uno de ellos. Si suponemos una de las ruedas en reposo, estas coincidencias serán á cada vuelta iguales en número á los rayos, pero dos veces más numerosas si las dos ruedas giran simultáneamente en opuesto sentido. En el caso de que su respectiva velocidad fuese diferente, se vería cómo cambiaban los puntos de coincidencia, y la rueda parecería girar con lentitud.

Réstanos añadir algunas palabras sobre las imágenes accidentales: ya hemos hecho mención de las que se forman cuando cerramos bruscamente los ojos después de mirar con fijeza un punto luminoso ó desviamos la vista para dirigirla á un punto obscuro; la imagen es entonces luminosa como el objeto, por cuya razón se la llama *positiva*. Pero si se contempla con atención por espacio de bastante tiempo, como unos treinta ó cuarenta segundos según la intensidad de la luz, un objeto luminoso, una ventana por la cual penetre la luz del día, y en seguida se vuelve la vista á una pared blanca ó al techo, entonces la imagen accidental que se forma es *negativa*; la vidriera aparece como una cruz blanca que se destaca sobre cristales oscuros.

Estas imágenes accidentales persisten á veces bastante tiempo, y se siguen viendo aunque se cierren los ojos. Según ciertos fisiólogos, las ocasiona el estado de cansancio que han soportado los puntos de la retina en que la luz ha obrado con más fuerza, y por el contrario, aquellos en que se forma la imagen de las partes oscuras han sufrido

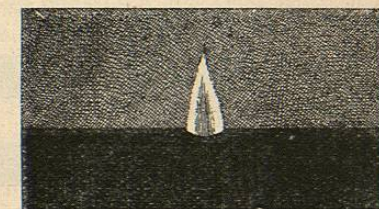


Fig. 592.—Irradiación. Mella aparente de la arista de una regla

menos excitación. Cuando se dirige la vista en seguida á otra superficie, la sensibilidad es menor en los primeros puntos que en los otros, la luz es en ellos menos viva, resultando una imagen negativa del objeto primitivamente contemplado.

Esta explicación es insuficiente: la que ha dado Plateau parece más satisfactoria y completa; en concepto de este físico, la retina impresionada no vuelve instantáneamente al estado de reposo, sino que oscila entre dos estados opuestos, entre dos impresiones

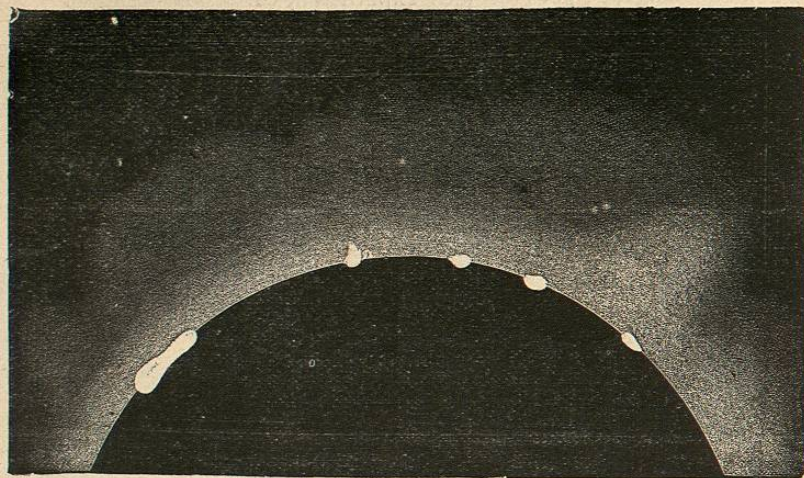


Fig. 593.—Las protuberancias solares durante un eclipse total de Sol (eclipse del 22 diciembre 1870)

contrarias que hacen que el negro suceda al blanco y á un color cualquiera ó complementario; pero en rigor todavía no sabemos en qué consisten estos estados opuestos de la retina.

Las imágenes accidentales, así las positivas como las negativas, cambian de posición con el eje óptico, de suerte que su situación aparente en el campo visual coincide siempre con el punto de la retina que ha recibido la impresión primera, con la mancha amarilla, si la visión ha sido directa y distinta.

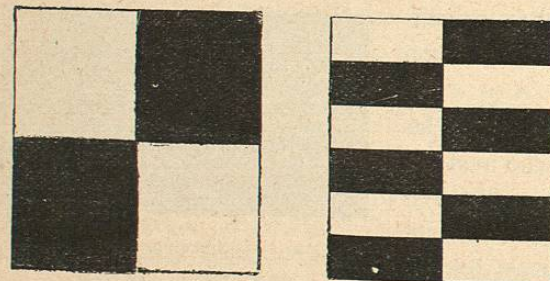


Fig. 594.—Efectos de irradiación

Cuando se mira á alguna distancia un cuerpo muy luminoso que se destaca sobre fondo obscuro ó negro, parece que la imagen invade en parte este fondo, de lo cual es fácil cerciorarse por un experimento muy sencillo. Se dibujan dos figuras iguales, por ejemplo dos cuadrados ó círculos (fig. 591), uno negro sobre fondo blanco, y otro blanco sobre fondo negro, y se los coloca muy próximos haciendo que les dé una luz viva. El círculo blanco parecerá más grande que el negro. Dase á este fenómeno el nombre de *irradiación*.

Preséntase bajo variadas apariencias. Si ponemos delante de la llama de una vela (fig. 592) una regla negra que corte la imagen de la llama, veremos cómo desborda ésta de la arista de la regla, formando en ella una muesca ó mella luminosa. Cuando la

En la segunda parte de la Luz describiremos algunas interesantes aplicaciones del fenómeno de la persistencia de las impresiones luminosas.

Cuando se mira á alguna distancia un cuerpo muy luminoso que

Luna se halla entre la conjunción y el cuarto creciente, y su parte luminosa tiene la forma de una hoz, y el resto del disco es visible merced á la luz cenicienta, parece que los dos segmentos lunares no pertenecen al mismo círculo, pues el contorno de la parte iluminada rebasa el de la opaca. Durante los eclipses totales de Sol, en el momento en que el disco lunar vela enteramente la luz deslumbradora del astro, se perciben masas luminosas rojizas designadas por los astrónomos con el nombre de *protuberancias*; descansan por su base en el contorno obscuro de la Luna, pero también lo rebasan, como se ve en la figura 593. En efecto, es enteramente semejante al de la irradiación.

Este fenómeno es también el que hace que nos parezcan cortadas las líneas de separación de un tablero de damas ó de un conjunto de cuadros ó de rectángulos alter-

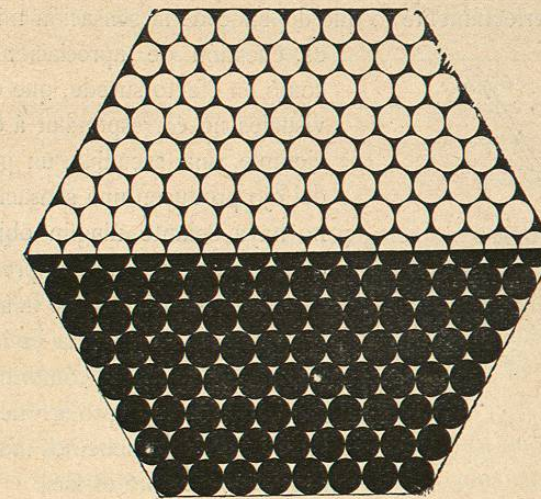


Fig. 595.—Forma exagonal aparente de círculos tangentes; efecto de irradiación

nativamente blancos ó negros (fig. 594), y el que da también á una reunión de círculos tangentes el aspecto de una serie de figuras exagonales (fig. 595).

Pero ¿cuál es la causa de la irradiación? Unos, y entre ellos Plateau, la atribuyen á una continuación de la impresión de la retina más allá del contorno de una imagen intensa. Otros, como Trouessart, suponen que se forman imágenes múltiples que se sobrepone en parte unas á otras. Ambas teorías consideran la irradiación como un fenómeno subjetivo inherente á la sensibilidad de la retina, ó á ciertos accidentes que se encuentran en los medios del ojo. Ocurre sin embargo una dificultad, y es que algunos de los fenómenos en cuestión (como la irradiación de las protuberancias en los eclipses) se han obtenido objetivamente y se ven en la fotografía. Sería, pues, forzoso admitir que los objetivos y las placas sensibilizadas usados por los fotógrafos tienen una propiedad ó disposición precisamente análoga á las que se supone que existen en nuestros órganos (1).

(1) Según M. Le Roux, el fenómeno de la irradiación es "especial del campo de la visión indistinta; aumenta á medida de la distancia que hay á la *fovea centralis*; para esta porción de la retina no existen los fenómenos de irradiación tal cual los describen los autores; para ella no hay otra irradiación que la que procede de lo penetrante de la vista; para el campo de la visión indistinta, la irradiación es también asunto de perspicacia de la vista, explicándose fisiológicamente por la separación progresiva de los elementos sensibles de la retina cuando se aleja de la *fovea centralis*, punto de su máximo de concentración.

## III

## ILUSIONES DE ÓPTICA

Hay ocasiones en que los ojos, aun los más sanos y normales, ven los objetos muy diferentes de como son en sí; dándose el nombre de *ilusiones de óptica* á las falsas apariencias que entonces presentan las imágenes.

Según esta definición, podríamos considerar como ilusiones de óptica muchos de los fenómenos descritos en el párrafo precedente, debiendo hallarse en tal caso los efectos de la persistencia luminosa, las imágenes accidentales, la irradiación, etc. Lo difícil es saber distinguir perfectamente lo que depende de la sensación misma y lo que sólo

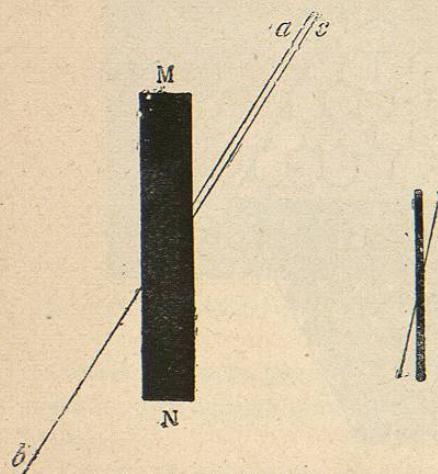


Fig. 596.—Ilusión de óptica

es cuestión de apreciación. Puede suceder, como en efecto sucede, que ciertas sensaciones visuales no correspondan á objetos reales; por ejemplo, una sacudida, un golpe en el globo del ojo producen una sensación de luz, aunque no haya delante ningún objeto luminoso. En otros casos, hay una impresión exterior que determina perfectamente la sensación, y la imagen pintada en la retina es la que debe ser en un ojo normalmente conformado; sin embargo, formamos un concepto erróneo, una apreciación falsa, cuya causa debemos indagar en cada caso, lo cual no siempre es fácil.

Ante todo, ¿qué debe entenderse por estas palabras: *ver las cosas como son en sí?*

El sentido de la vista, como los demás sentidos, exige una educación previa, que casi todos le procuramos instintivamente, en una época de la vida en que somos incapaces de darnos cuenta de las adquisiciones sucesivas, fruto de una observación y de una experimentación inconscientes, por decirlo así. Sin embargo, poco á poco y con el auxilio continuo de los otros sentidos, aprendemos á juzgar de la forma de los objetos, de sus colores, posición, dimensiones y distancias, y á apreciar el relieve ó la solidez de cada uno de ellos. Cuando esta educación ha llegado á ser todo lo completa y perfecta posible, y si por otra parte no tenemos ningún defecto de conformación en el órgano visual, en la sensibilidad de la retina, cosa más rara de lo que se cree, entonces decimos que vemos los objetos tales como son en realidad. Sin embargo, aun en esta hipótesis pueden presentarse los objetos de tal modo que nuestro juicio no se conforme con esta realidad, y que la sensación nos parezca distinta de lo que debiera ser, como se puede comprobar fácilmente.

Por ejemplo, al ver algunas líneas rectas trazadas geoméricamente, solemos reconocer al punto sus direcciones verdaderas, sus posiciones relativas exactas. Pues bien, examinando la figura 596 formada por un ancho trazo negro y dos líneas paralelas más finas *a* y *b*, que lo cortan en ángulo agudo, la vista cree que la línea *b* se prolonga en la dirección de la línea *c*, lo cual no es así, como se puede comprobar fácilmente. Este error de apreciación respecto de la dirección de las líneas no es menor aunque se dé menos espesor al trazo negro atravesado por la línea delgada.

Otra clase de ilusión es la de las figuras 597 y 598: si se trazan sobre dos líneas paralelas otras líneas oblicuas dirigidas á cada lado en sentido contrario, bastará esta disposición para que no conozcamos el paralelismo de las primeras: sino que parece que convergen en una dirección opuesta á aquella en que irían á reunirse las oblicuas que las encuentran. En la figura 599 la ilusión es tanto más marcada cuanto que se reúnen en ella los efectos anteriores. Las bandas negras verticales parecen alternativamente convergentes y divergentes: además, los trazos que las cortan, aun cuando atraviesan las bandas en línea recta, no se hallan en apariencia en sus respectivas prolongaciones, y el efecto es el de la ilusión de óptica representada en la figura 596.

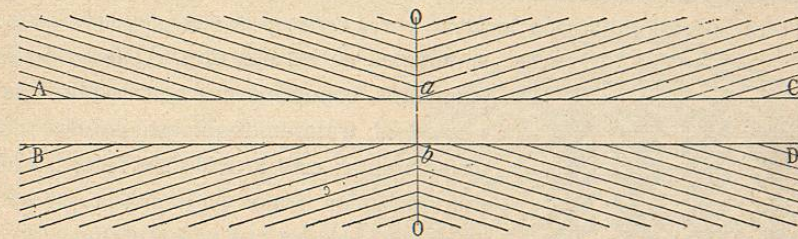


Fig. 597.—Ilusión de óptica: aparente divergencia de líneas paralelas

No es fácil de averiguar la razón de estas apariencias. Se ha apelado á la irradiación, y luego á los movimientos involuntarios del ojo; según Helmholtz, fijando la vista en un punto determinado del dibujo, las ilusiones desaparecen, lo cual será exacto sin duda para el eminente físico, pero no para otras vistas.

Donde la irradiación desempeña seguramente un papel es en el modo cómo se ve una serie de círculos tangentes, ya se destaquen estos círculos en blanco sobre fondo

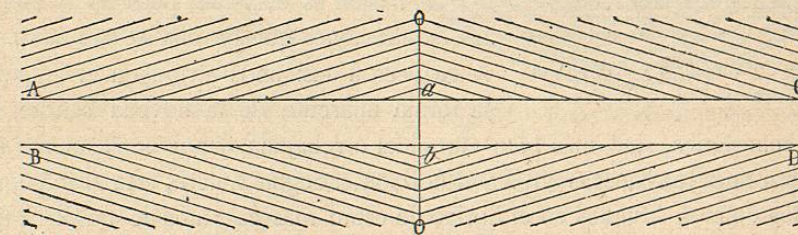


Fig. 598.—Aparente divergencia de líneas paralelas

negro ó ya suceda lo contrario. En ambos casos se cree ver exágonos y no círculos, y tan pronto son los círculos blancos los que parece destruir los espacios negros, como los negros parece estrechar los espacios blancos, y como el efecto se produce alrededor de los seis puntos de tangencia, resulta para los círculos una forma aparentemente exagonal. M. A. Nachet se refiere á esta ilusión en el periódico *La Natureza*, diciendo que ha inducido á error á los naturalistas que observaban con el microscopio las estrias de ciertas diatomeas, creyendo ver exágonos donde en realidad no había más que círculos ó más bien hemisferios.

De las ilusiones ópticas que se refieren á la dirección de las líneas, á la forma de las figuras, se puede pasar á las que conciernen á las dimensiones de los objetos. Una línea dividida parece por lo regular más larga que una línea igual en la que la vista no tenga ningún punto de referencia. En esto consiste que, si se mira un cuadrado formado de líneas equidistantes, toma el aspecto de un rectángulo cuya mayor dimensión es la

que tiene divisiones. Un objeto dividido por líneas horizontales parece perder parte de su altura; en cambio, parece más elevado si está dividido por líneas verticales. Un haz de columnitas delgadas parecerá más alto que una sola columna que tuviese la misma altura y también la misma anchura que el haz. Esta es una de las causas por las cuales parecen las naves de las iglesias góticas de mayor elevación: una bóveda de la misma altura, en un edificio de arquitectura románica ó griega, parecería mucho más baja (1).

La lenta y progresiva educación del sentido de la vista nos permite juzgar, con una exactitud que, á decir verdad, varía según los individuos, de las distancias reales y relativas de los objetos y de sus dimensiones verdaderas, que por lo común referimos á las distancias presumidas. Más adelante veremos que esta apreciación de las distancias se enlaza con otra impresión llamada *impresión del relieve*, la cual depende de la visión

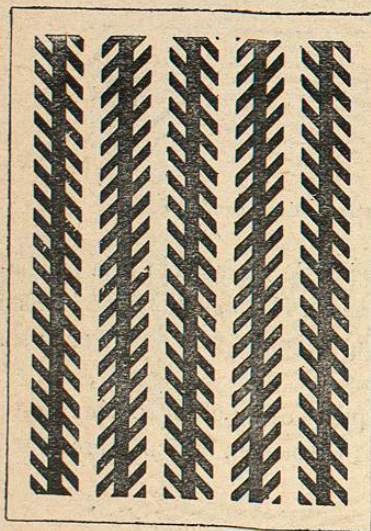


Fig. 599. — Convergencia y divergencia alternativas de líneas paralelas

simultánea de los dos ojos. Al describir los instrumentos conocidos con el nombre de *estereoscopios*, trataremos de este asunto. Pero no terminaremos este artículo sin recordar una ilusión que todos hemos padecido; la que hace que los objetos celestes nos parezcan más grandes en el horizonte que en el zenit ó que á cualquier otra latitud. El disco del Sol á su orto y á su ocaso, el de la Luna en iguales circunstancias, nos parecen mucho mayores en el horizonte que en el meridiano (2). Lo propio sucede con las constelaciones: cuando sale el cuadrilátero de Orión parece inmenso comparado con el aspecto que presenta en su culminación.

La ilusión es evidente; pero no lo son tanto las explicaciones que de ella se han dado, y que se reducen á dos: unos atribuyen el fenómeno á la forma aparente de la bóveda celeste, forma que no es hemisférica, sino más bien elipsoidal ó rebajada, y por consiguiente menos elevada sobre nuestras cabezas que en el horizonte. Según Eulero, esta forma nos hace creer que los objetos situados en el horizonte están más distantes de nosotros que en el zenit; pero, á igualdad de dimensiones aparentes, los objetos que suponemos más inmediatos son los que nos parecen más pequeños. De aquí resulta la ilusión que nos hace juzgar á la Luna tanto menos grande cuanto á mayor altura se halla en el cielo. Otros opinan que la causa de esta ilusión consiste en que la Luna en el horizonte se halla aparentemente próxima á los objetos con que podemos compararla y cuyas dimensiones conocemos, como árboles, casas, etc. Esta comparación es imposible cuando dicho astro se halla en el zenit, y como allí está aislado queda reducido á sus verdaderas dimensiones aparentes, que son tan sólo una pequeña fracción del contorno del cielo.

(1) Refiriéndonos á otra clase de consideraciones estéticas, añadiremos que los vestidos rayados horizontalmente sientan mejor á las personas altas y delgadas; las telas rayadas verticalmente son más á propósito para las bajas y gruesas.

(2) Por lo que respecta á la Luna, el efecto es tanto más sorprendente cuanto que las dimensiones aparentes ó angulares del disco son por el contrario algo más pequeñas cuando el astro está en el horizonte que cuando está en el zenit. En el horizonte, la Luna se halla más distante del observador en una longitud casi igual á la de un radio de la Tierra. Por consiguiente su diámetro debería parecernos más pequeño, pero sucede todo lo contrario.

Es posible que la ilusión se deba simultáneamente á ambas causas; pero quizás haya que añadir otra, cual es la débil intensidad de la luz de los discos lunar ó solar amortiguada por la interposición de las capas de vapor, mucho más densas en el horizonte que en el zenit.

Acabamos de hablar de las ilusiones ópticas, entendiendo por tales las falsas apariencias que adquieren los objetos en ciertas circunstancias para una vista sana y normal. Podríamos multiplicar en gran manera los ejemplos que hemos citado; pero hay otras ilusiones que tienen por causa algún defecto en el órgano visual ó ciertas alteraciones morbosas, y cuyo estudio es por lo tanto de la incumbencia del fisiólogo mucho más que de la del físico. Citaremos, no obstante, uno ó dos casos, porque son mucho más frecuentes de lo que se creería.

Empecemos por hacer mención de un defecto que existe hasta en una vista normal, aun cuando en ésta no sea tan marcado. Este defecto es el que se llama *astigmatismo*. Mirando fijamente con un solo ojo los círculos concéntricos de la figura 600, se observarán notables diferencias en la nitidez de la visión en sectores opuestos de los círculos. Las líneas blancas y negras se distinguirán claramente siguiendo ciertos diámetros; pero si se siguen otros habrá confusión, y la superficie de los sectores parecerá nebulosa y cenicienta. La posición de estos sectores de apariencias diversas dependerá de la acomodación de nuestra vista.

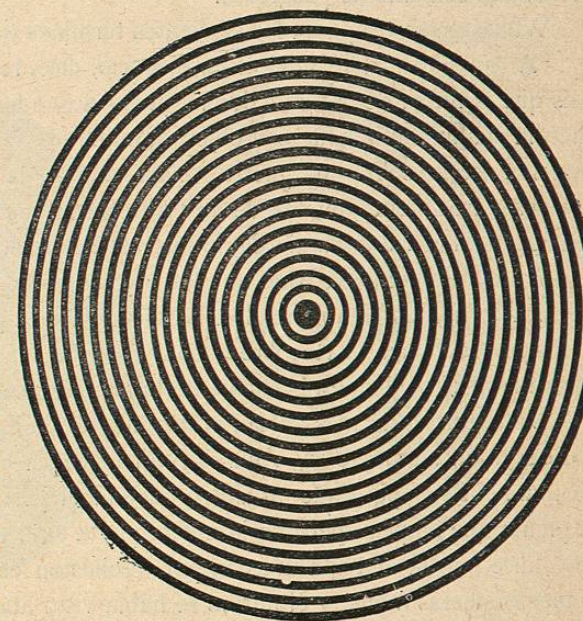


Fig. 600. — Experimento de astigmatismo

La explicación del astigmatismo está en la conformación ó en la curvatura de las superficies refringentes del ojo, que no es simétrica en todos sentidos, de suerte que los rayos no tienen en él el mismo foco en un plano horizontal que en uno vertical. Cuando el ojo está adaptado para la visión distinta de los arcos horizontales, no lo está para los verticales y reciprocamente.

Otro defecto de la vista consiste en no distinguir ciertos colores, ó en distinguir un número menor de los que percibe una vista normal. Dase el nombre de *acromatopsia* á esta afección conocida también con el de *daltonismo*, porque el célebre físico Dalton fué el primero en estudiarla y en sí mismo.

“Los individuos que tienen esta afección completamente desarrollada, dice Helmholtz, no ven en el espectro más que dos colores, que suelen designar con los nombres de *azul* y *amarillo*, en cuyo último color comprenden el rojo, el anaranjado, el amarillo y el verde: llaman *gris* á los tonos azul-verdosos, y *azul* á todo lo demás. Cuando el rojo extremo es débil, dejan de verlo en absoluto, pues sólo lo perciben cuando es intenso. Por esta razón indican comúnmente como límite del espectro una parte en que