

## CAPITULO II

Movimiento y deformación aparente de las manchas. - Formas de sus trayectorias según la época del año. - Aspecto de las manchas solares y de la fotosfera. - Rugosidades de la fotosfera.

Jordán Bruno y Keplero, por consideraciones puramente teóricas, sospecharon el movimiento giratorio del Sol. Sea ó no Fabricio el descubridor de las manchas solares, es certísimo, por lo menos, que á él se debe la primera afirmación, fundada en sus propias observaciones, del movimiento giratorio del

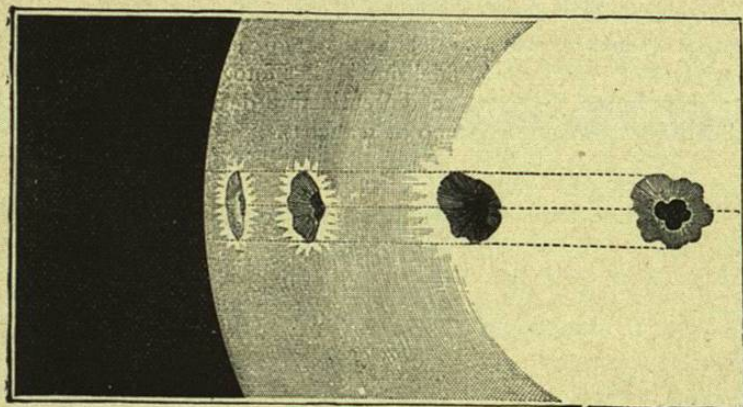


Fig. 12. - Cambios aparentes en la forma de una mancha solar

globo solar, según hemos podido ver en el pasaje de su obra que hemos extractado.

Provistos ya de nuestro anteojo y aparato de proyección, podemos asegurarnos por nosotros mismos de la realidad de este movimiento; aguardemos á que una mancha asome por el borde oriental, que en la pantalla, y volviendo la espalda al Sol, será el de nuestra derecha; aparecerá casi como una línea, de forma elíptica, y su diámetro vertical será mucho mayor que el horizontal; de día en día irá aproximándose al centro del disco y adquiriendo una figura sensiblemente circular; al cabo de siete días ocupará el centro, empezando entonces á caminar hacia el borde opuesto ú occidental, por donde desaparecerá después de otros siete días, reproduciéndose el anterior fenómeno de acortarse el diámetro transversal. En atravesar el disco habrá empleado la mancha unos 14 días; estará ausente un período de tiempo igual, y si persiste, reaparecerá en el borde del Este. La fig. 12 hará comprender fácilmente el diverso aspecto de la mancha, al encontrarse en el centro ó en los bordes. Su velocidad al cruzar el disco no

habrá sido tampoco uniforme, moviéndose con más lentitud en la proximidad de los limbos que al hallarse en el centro (fig. 13); estos cambios son debidos á un simple efecto de perspectiva, en virtud del movimiento de rotación del Sol sobre su eje, lo cual comprenderemos fácilmente con auxilio de la fig. 14, que es una copia de un dibujo de Scheiner de las trayectorias de dos manchas observadas del 2 al 14 de marzo de 1627.

Las dos líneas K K, L L representan la proyección de la eclíptica sobre el disco solar al principio y al fin de las observaciones; A B es un paralelo celeste; C D, el círculo de declinación; como Scheiner observaba con un anteojo de Galileo, que da las imágenes directas, aparecían invertidas en la proyección, y por lo tanto las manchas entran por el Oeste y desaparecen por el Este; las líneas de puntos indican que aquel día no pudo observarse por el estado del cielo, y el valor de la curvatura de las trayectorias podemos deducirlo fácilmente de sus cuerdas; en la figura se

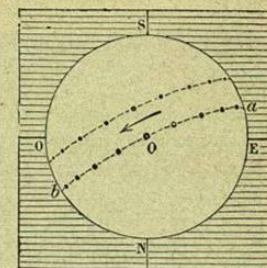


Fig. 13. - Movimiento aparente de las manchas, del borde oriental al occidental.

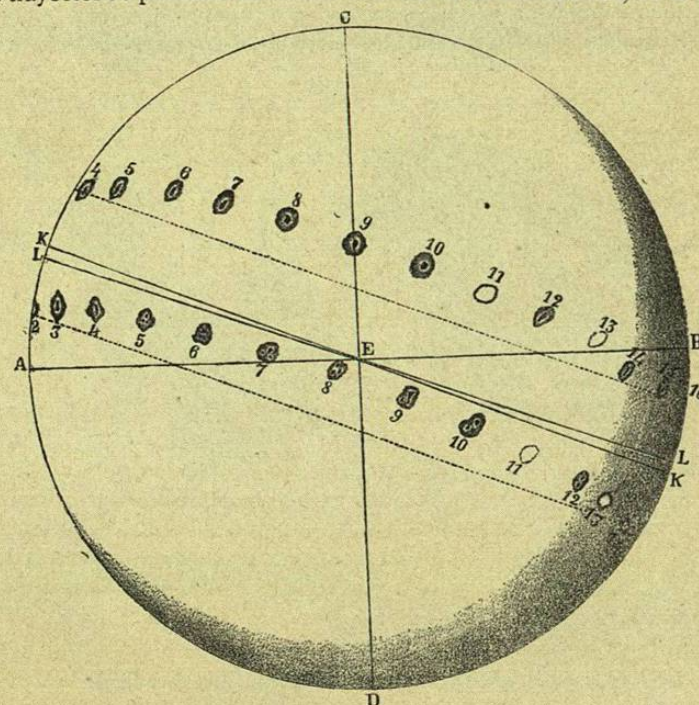


Fig. 14. - Trayectorias de dos manchas solares observadas por Scheiner en 1627

manifiesta con toda claridad que las manchas no han recorrido espacios iguales en tiempos iguales; pero esta diferencia no es real, sino sólo aparente; en efec-

to, á nuestros ojos el movimiento ha parecido verificarse en un plano, lo que no es cierto, pues ha tenido lugar sobre un círculo paralelo al ecuador solar, que proyectamos sobre un plano perpendicular al rayo visual. Esto se verá con más claridad por medio de la

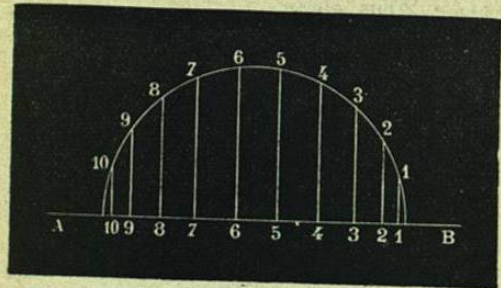


Fig. 15. - Velocidad aparente de las manchas: proyección del ecuador solar

tró Galileo que las manchas debían estar situadas precisamente en la periferia solar, y que no podían ser cuerpos separados ó distantes del disco, pues sólo el radio del paralelo solar se acomoda al cálculo de las traslaciones diurnas; las

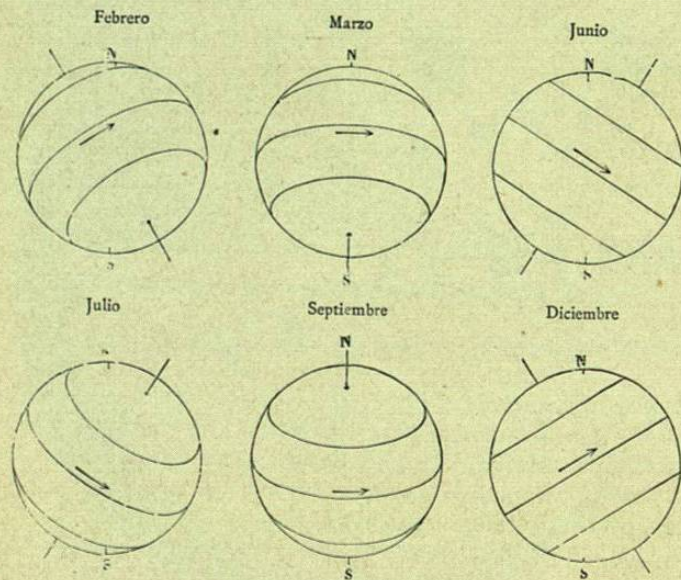


Fig. 16. - Formas de las trayectorias de las manchas solares

comparó primero á las nubes, opinión que abandonó más tarde; Scheiner, después que dejó de considerarlas como planetas, pensó que fueran cavidades. Sin dar ahora la explicación del fenómeno, nos conviene decir que las tra-



Fig. 17. - Manchas solares observadas y dibujadas por J. Herschel

vectorias descritas por las manchas sobre el disco solar no son iguales en todas las épocas del año y que varían con las estaciones. En el mes de febrero (fig. 16) son elipses muy prolongadas, cuya concavidad se dirige al polo Sur, y su eje mayor se encuentra inclinado sobre la eclíptica; en marzo tienen la misma forma, pero el eje es paralelo al plano de la eclíptica; luego va disminuyendo la curvatura de la elipse hasta transformarse en una línea recta, inclinada de nuevo, como el día 4 de junio; vuelven á presentarse las elipses en julio, pero con la convexidad en sentido contrario al que tenían seis meses antes; en septiembre

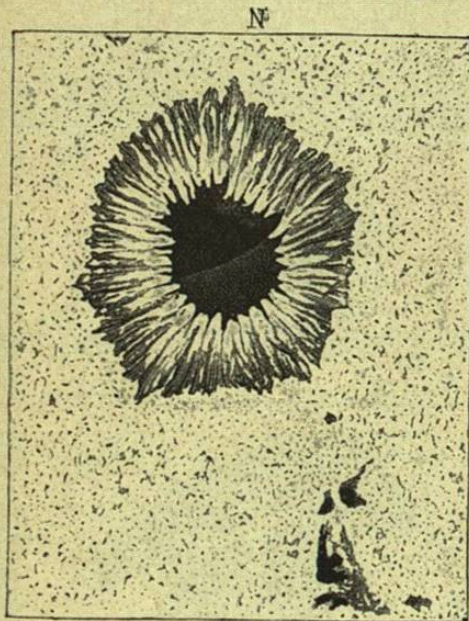


Fig. 18. - Gran mancha solar de junio de 1887, dibujada por el Sr. Landerer

A la superficie del Sol donde se presentan las manchas, se ha dado el nombre de fotosfera. Examinadas con un antejo ó telescopio, aparecen formadas de dos partes muy distintas: una interior y muy oscura, que se llama *núcleo*, y otra de color más claro, que forma como un anillo alrededor de la primera y es la penumbra (fig. 18); los astrónomos ingleses llaman *umbra* al núcleo, reservando este último nombre para la parte más oscura y central que lo forma. Las figuras del grabado adjunto (fig. 17) hacen ver esta diferencia; sobre el fondo oscuro se distinguen unos espacios negros, como pozos ó agujeros; estos son los núcleos, y las partes claras las penumbras; el tono ó color de estas últimas no es tampoco uniforme; cerca de los bordes exteriores es más oscuro, sin que pueda atribuirse este fenómeno á un efecto de contraste debido al brillo extraordinario de la superficie solar ó fotosfera; tiene una existencia real, y para convencerse de ello, basta examinar la fig. 19.

son otra vez paralelas á la eclíptica, y el 8 de diciembre se presentan como líneas rectas oblicuas, alcanzando al cabo del año la misma posición que en el mes de febrero.

Estas variaciones en la forma de las trayectorias se deben también á un efecto de perspectiva; pues, en realidad, las manchas describen líneas paralelas al ecuador solar, que forma con la eclíptica un ángulo de  $7^{\circ} 15'$ , según las observaciones de Carrington; como la Tierra cambia constantemente de situación respecto de este ecuador, y nosotros proyectamos los paralelos sobre un plano perpendicular al rayo visual que pasa por el ojo del observador y por el centro del globo solar, tienen las proyecciones que varían de forma á medida que la Tierra se encuentra en diversos puntos de su órbita.

Además de estas manchas, que podemos llamar opacas, hay otras brillantes que han recibido el nombre de *fáculas*; por lo general, son más visibles en las inmediaciones de los bordes del Sol, y muchas veces también acompañan á las manchas opacas; cuando se encuentran cerca del limbo, tienen el aspecto de copos blanquísimos de algodón, y fueron observadas por primera vez por Galileo, que contestando á los que suponían que fuesen planetas, decía, con razón, que era absurdo creer que hubiese inmediatos al Sol cuerpos más brillantes que el Sol mismo. Las fáculas se asemejan en ocasiones á ríos ó torrentes de materia brillante, que convergen hacia las manchas, rodeándolas por todos lados

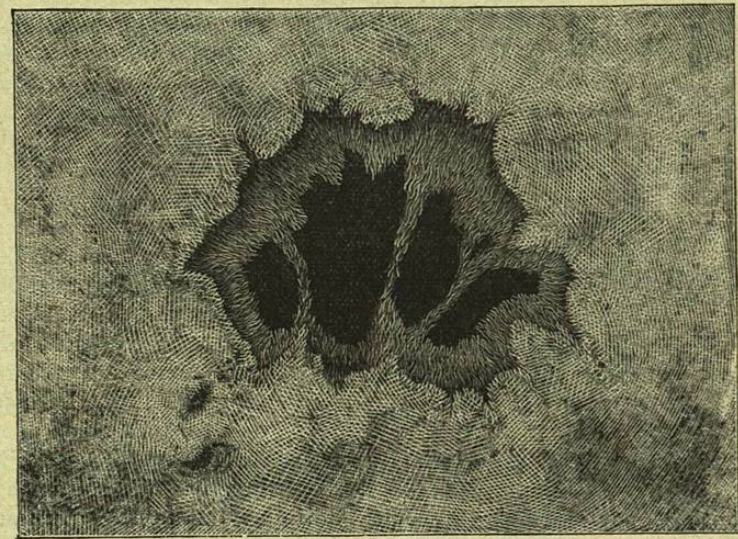


Fig. 19. - Mancha solar observada por Nasmyth: tinte desigual de la penumbra

(fig. 20); forman también, en algunos casos, como una aureola alrededor de las manchas opacas (fig. 21.)

La fotosfera parece perfectamente lisa y uniforme, cuando se examina con un antejo de mediano poder óptico; pero empleando instrumentos de gran abertura y aumento, cambia de aspecto, y vemos que no sólo en las manchas se manifiesta la actividad solar, sino que en toda la superficie hay pruebas de su energía. Se presenta como un mar de materia inflamada, turbulento y agitado, surcado por infinitas rayas oscuras y luminosas, que se cortan en todos sentidos. La fig. 22, dibujada por el P. Secchi, representa una parte del disco solar, proyectada con un poderoso ocular sobre un papel blanco.

Las fáculas llegan á ocupar algunas veces una extensión considerable, si bien entonces son más débiles; mejor que en el antejo se observan por proyección, debiendo cuidarse con esmero de que no entre en el cuarto dispuesto para las observaciones más luz que la que atraviesa el objetivo; de esta suerte se perciben los menores detalles de la superficie solar; el aspecto marmóreo del cen-

tro del disco exige, para verse de un modo distinto, condiciones atmosféricas excepcionales, y por no haberse tomado las precauciones necesarias se ha tardado tanto en conocer ciertas particularidades de la fotosfera; para estudiarla mejor, conviene en ciertos casos observar el Sol directamente, empleando oculares de gran fuerza, provistos de modificadores á propósito; los vidrios de color de que hemos hablado hasta aquí, son muy convenientes para los anteojos y telescopios de pequeño diámetro; pero en los grandes instrumentos es tan elevada la temperatura de la imagen focal, que se funden y quiebran; disminuyendo la abertura del objetivo por medio de diafragmas, se evita esto en parte, pero en parte también se pierden las ventajas de los telescopios poderosos, turbándose al mismo tiempo la pureza de las imágenes; por esta razón usaba Herschel cristales muy oscuros, sin reducir el diámetro de su telescopio; trató asimismo de emplear modificadores líquidos, compuestos de una mezcla de tinta y

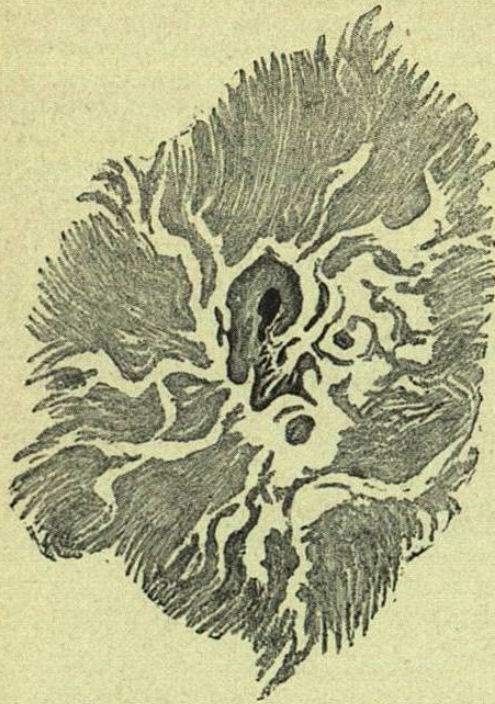


Fig. 20. - Manchas opacas y fáculas

agua; pero la elevación de temperatura producía en la masa corrientes ascendentes y descendentes, que perjudicaban grandemente á la pureza de la imagen.

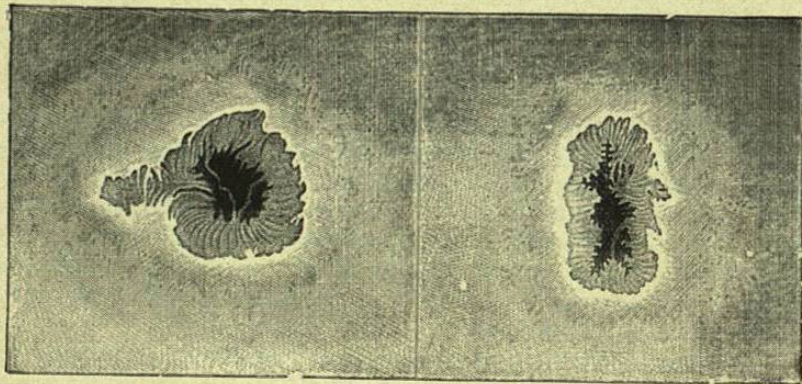


Fig. 21. - Fácula alrededor de la penumbra del Sol

agua; pero la elevación de temperatura producía en la masa corrientes ascendentes y descendentes, que perjudicaban grandemente á la pureza de la imagen.

Construyen los ópticos una clase de modificadores de vidrios de color, que se llaman *helioscopios*, compuestos de dos prismas de cristal superpuestos, blanco el uno y el otro azul, como se ve en la fig. 23; no se pegan con ninguna substancia, porque el calor la hincharía, produciendo deformaciones en la imagen; la luz del sol es más débil cuando atraviesa el prisma de color más cerca de su base; en S' E' es más brillante que en S E; este vidrio graduado puede montarse en un bastidor de corredera delante del ocular y modificar á placer la intensidad de la luz.

Los mejores helioscopios que se conocen hoy día son los llamados polarizadores, cuyo invento se debe al P. Cavalleri de Monza; en principio pueden compararse á los propuestos por Herschel, salvo la diferencia del ángulo que forman los rayos incidentes.

En los helioscopios polarizadores propiamente dichos, la luz se refleja bajo un ángulo de  $36^\circ$ , que es el de la polarización en el vidrio; después de varias reflexiones se recibe la imagen en un ocular, de tal suerte dispuesto, que al girar vaya cambiando el ángulo que forman entre sí los espejos, y disminuya la luz hasta que pueda contemplarse la imagen con comodidad.

Analizada la fotosfera con uno de los oculares que acabamos de describir, presenta, como hemos dicho, un aspecto rugoso, una sucesión de puntos de iguales dimensiones, pero de muy diversa forma, aunque predomina la elíptica, separados unos de otros por espacios muy oscuros, sin ser precisamente negros; el P. Secchi dice que puede tenerse una idea de la estructura de estas granulaciones de la fotosfera, observando en el microscopio una gota de leche desecada, cuyos glóbulos hayan perdido un poco la regularidad de su forma. Estas observaciones son muy difíciles de hacer, porque exigen condiciones atmosféricas excepcionales y porque hay que aprovechar los primeros momentos favorables, antes que el objetivo y el aire contenido en el antejo se caldeen. Los espacios oscuros de las granulaciones se llaman poros ó *lúculas*, y á diferencia de las manchas, se observan en toda la superficie del

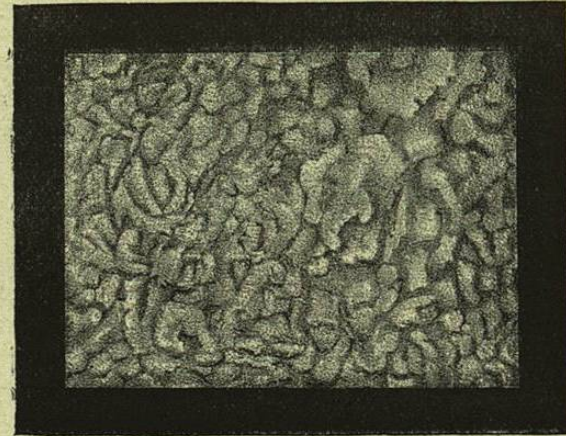


Fig. 22. - Estructura de la fotosfera

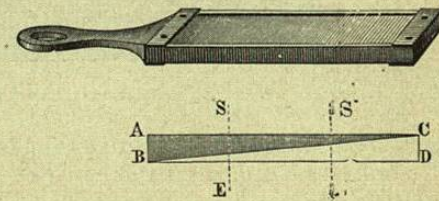


Fig. 23. - Helioscopio de bisel

disco; los granos ó puntos brillantes suelen aglomerarse algunas veces, y entonces forman grupos de materia más luminosa, apareciendo como suspendidos sobre el fondo rugoso de la fotosfera. En la fig. 24, que representa un dibujo del célebre astrónomo inglés W. Huggins, se distinguen perfectamente los caracteres de las granulaciones de la fotosfera, nombre que les dió este mismo astrónomo.

Cerca de las manchas, y principalmente en la penumbra, cambia de un modo

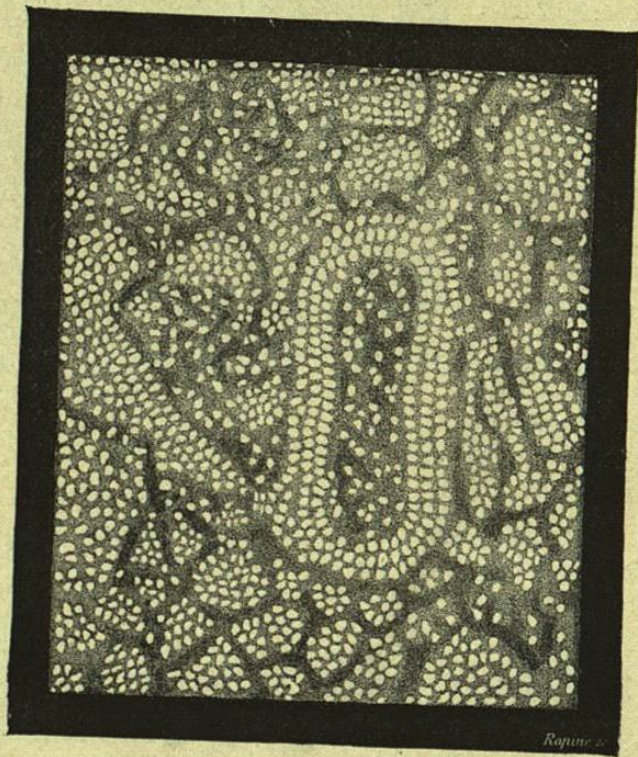


Fig. 24. — Granulaciones de la fotosfera

notable la forma de los granos; los intersticios ó poros se ensanchan, y los puntos brillantes se aguzan por ambos extremos. Varios astrónomos han observado estos fragmentos ó porciones brillantes, y les han dado los nombres de las substancias terrestres á que más se asemejan por su aspecto. Nasmyth dice que son como hojas de sauce; Stone, como granos de arroz; Dawes, como briznas de paja, y otros observadores las comparan á puntos de admiración (!), semejanza por todo extremo exacta. En la figura 25, dibujada por Nasmyth, se puede ver la diferencia de estructura de las granulaciones de la fotosfera y de las hojas de sauce de la penumbra de las manchas; en el espacio que separa las dos manchas superiores están las hojas de sauce como amontonadas unas sobre otras y cruzándose en todos sentidos, mientras que en los bordes del núcleo

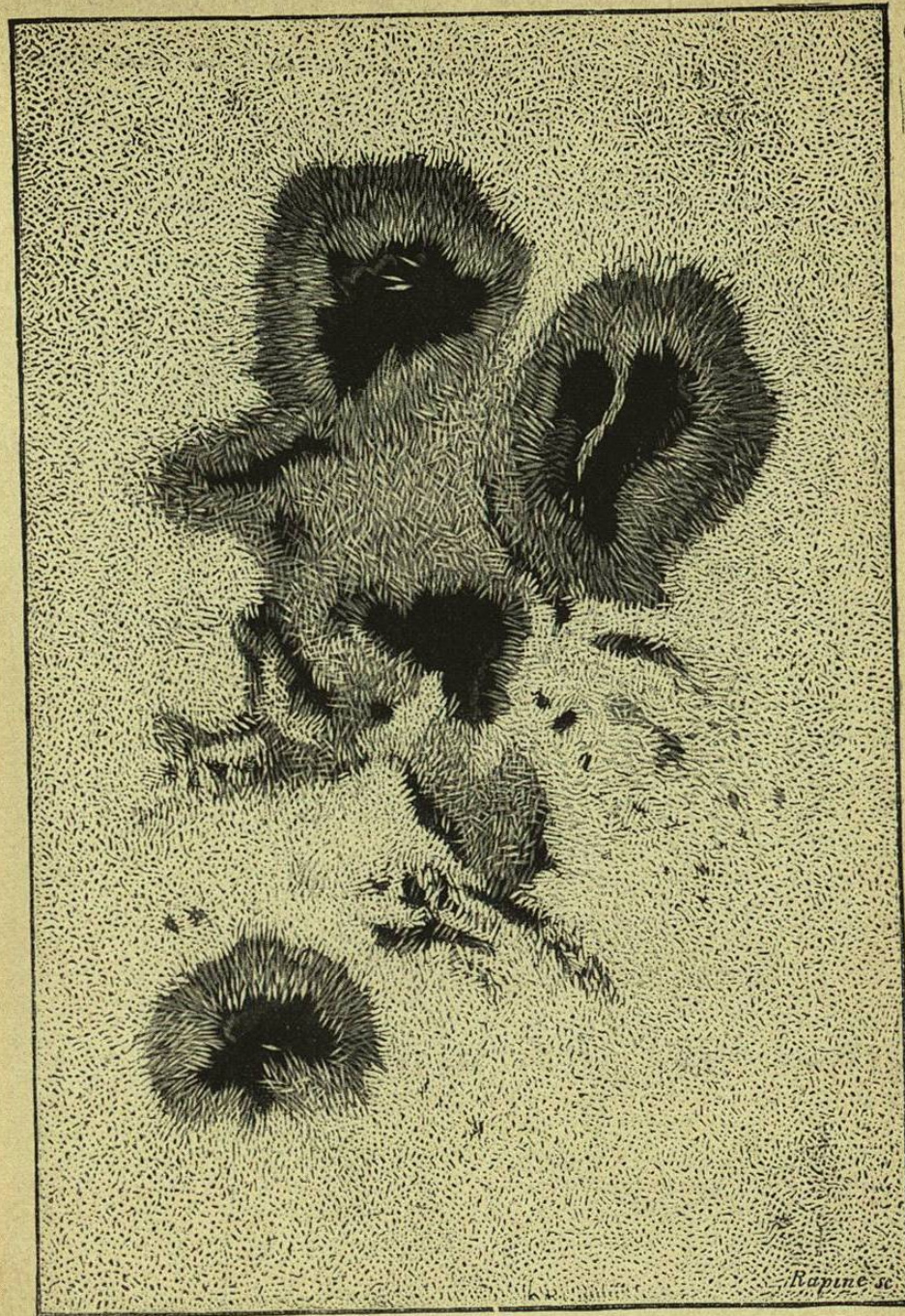


Fig. 25. — Granulación de la fotosfera y hojas de sauce de la penumbra, según las observaciones de Nasmyth

forman filas ó líneas convergentes, como si moviéndose en más sitio, fuesen impulsadas por alguna corriente hacia el interior de la mancha.

La causa de este aspecto, supone el Dr. Scheiner que sea la misma que en la Tierra, según la teoría de Helmholtz, da lugar á la formación de ciertas clases de nubes; esto es, la diferencia de temperatura de dos capas ó estratos y las corrientes de varias direcciones en estos estratos. Los granos brillantes de la fotosfera son las cimas ó crestas de las ondas de dos sistemas que se cruzan, visibles por un aumento de condensación; la longitud observada, esto es, la distancia entre los granos separados, es de 1.000 á 3.000 kilómetros, y se cree que ondas de esta magnitud pueden producirse, sin que haya que suponer la existencia de velocidades extraordinarias. Si esta teoría fuera cierta, la fotosfera debería ser muy delgada, y puesto que los gránulos son próximamente del mismo tamaño en todas partes de la superficie, la velocidad de las corrientes sería igual ó poco menos en todas las latitudes heliocéntricas.

Las dimensiones de los granos ú hojas de sauce son de  $\frac{1}{4}$  ó  $\frac{1}{2}$  de segundo; pero debemos advertir que no se pueden medir individualmente con el micrómetro y que sólo se les compara con los hilos de éste; Langley opina que, además de los granos á que nos hemos referido, hay otros aún más pequeños. En las proximidades de las manchas hemos visto que son más perceptibles las hojas de sauce, y aunque pierden algún tanto su forma por la amplificación, pueden medirse directamente.

Los granos ocupan una extensión de 200 á 300 kilómetros y su luz no es uniforme, antes al contrario, su superficie presenta grandes irregularidades; sus movimientos son también muy sensibles, aunque difíciles de determinar por la masa brillante de la fotosfera; en las inmediaciones de los poros se les ve moverse y cambiar de forma, llegando á veces, en el espacio de media hora, á cerrar por completo cavidades de algunos segundos de diámetro, y ya sabemos lo que un segundo representa en el globo solar.

### CAPITULO III

Formación de las manchas. — Su nivel. — Del núcleo ó umbra

Los primeros astrónomos que observaron las manchas solares, ya notaron la rapidez con que se verifican los fenómenos en la superficie del Sol. Scheiner vió que el movimiento de la penumbra hacia el núcleo transformaba rápidamente el contorno de las manchas; á Galileo le sorprende la prontitud con que las manchas nacen, se transforman y se extinguen, y dice «que no son permanentes, que se condensan, se dividen, se agrandan y desaparecen.» Derham refiere que el 29 de octubre de 1706, una mancha negra apareció y desapareció varias veces en el centro de una fábula brillante; en otra ocasión, sin separar la vista del anteojo, presencié deformaciones y cambios muy notables. En una memoria publicada por Wollaston en 1774, dice que vió casualmente cómo se rompió una mancha, y compara el aspecto de este fenómeno al que se produciría arrojando un pedazo de hielo sobre la superficie de un estanque congelado; el pedazo de hielo se rompería y los fragmentos se deslizarían en todas direcciones. Herschel ha presenciado también cambios, de una extensión considerable, en las fábulas.

Estas observaciones son difíciles de hacer por varias causas; de una parte, no podemos ver más que la mitad del globo del Sol, y eso durante algunas horas del día, suponiendo la atmósfera clara y despejada; de otra, la rotación del astro nos oculta la mancha durante 14 días, en los cuales puede sufrir tales transformaciones, que nos sea imposible de todo punto reconocerla cuando reaparezca; sin embargo, la perseverancia de los astrónomos ha vencido todos estos obstáculos, y hoy día poseemos bastantes datos sobre la formación de estas maravillosas manifestaciones de la energía solar. No podemos decir, á pesar de esto, que exista, ó se haya descubierto al menos, una ley del tiempo que necesita una mancha para formarse; unas nacen con gran lentitud, por dilatación de los poros, y otras se presentan de improviso, si bien, observando el Sol diariamente con escrupulosidad, puede preverse su aparición, que por rápida que se manifieste, no debe llamarse instantánea.

El primer indicio de las agitaciones de la fotosfera es, por lo general, la aparición de algunas fábulas muy brillantes, á las que siguen uno ó varios poros, y también la presencia de grupos de puntos negros, parecidos á las crestas de las rocas que el mar descubre en su reflujo; los poros están dotados de gran movilidad; cambian de lugar, desaparecen y se reproducen, hasta que finalmente llegan á formar una gran abertura; al principio, y cuando las manchas carecen aún de forma regular, no suelen tener penumbra, desarrollándose ésta poco á poco, según que la mancha va creciendo; entonces toma el aspecto que representa la fig. 19. No siempre se encuentra la superficie solar en el estado de tranquilidad que hemos supuesto; antes al contrario, más frecuente es observarla