

„Siempre que Herschel se ponía á bruñir un espejo de telescopio, tenía trabajo continuo para diez, doce ó catorce horas. No lo soltaba un momento de la mano, ni siquiera para comer, y su hermana tenía que presentarle los alimentos sin los cuales no hubiera podido soportar tan prolongada fatiga; Herschel no abandonaba su tarea por nada en el mundo, pues, según decía, hubiera sido malograrla.,,

Los telescopios de espejos metálicos adolecen de graves inconvenientes; aparte del enorme peso del objetivo tan luego como su abertura es de dimensiones considerables, tienen el defecto de que se han de bruñir muy á menudo los reflectores, que se empañan por efecto de la humedad atmosférica. El pulimento mismo es una operación delicada, porque puede alterar la curvatura del espejo.

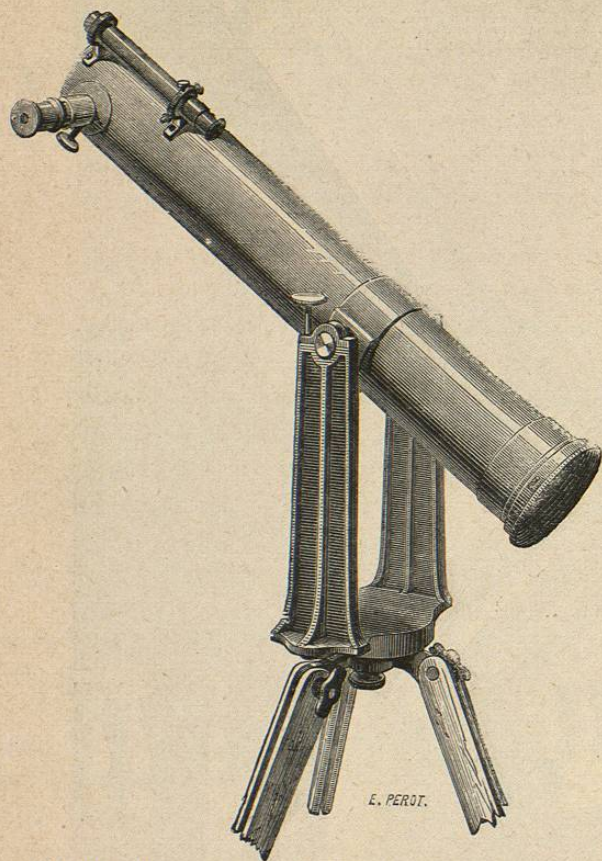


Fig. 682.—Telescopio de espejo plateado de León Foucault (sistema newtoniano)

ordinaria, con una doble película metálica que se renueva fácilmente cuando el uso la deteriora, sin perjudicar en lo más mínimo la forma geométrica del espejo (1). Foucault construyó y remitió en 1862 al observatorio de Marsella un instrumento de esta clase, hecho con arreglo al sistema newtoniano y montado paralácticamente á fin de poder

(1) No puede decirse otro tanto del pulimento de los espejos metálicos. Cuando ha quedado terminado el trabajo largo y minucioso de obtener la curvatura conveniente en una superficie metálica, este resultado es por desgracia precario, como León Foucault hace observar con razón, y se encuentra en efecto comprometido tan luego como el pulimento llega á alterarse por efecto de los agentes atmosféricos. „Con el cristal, dice, sucede lo contrario; una vez conseguida la curvatura, puede considerársela como definitiva, por cuanto las alteraciones que sobrevienen con el tiempo tan sólo influyen en la capa metálica depositada mediante una operación que se puede repetir cuantas veces se quiera.,,

León Foucault ha logrado conservar al telescopio su principal ventaja sobre los anteojos astronómicos, cual es la de que no tengan aberración de refrangibilidad, y además ha disminuído considerablemente, y á igualdad de diámetro, el peso del objetivo, y hecho que la curvatura del espejo sea poco menos que inalterable. Para ello ha reemplazado con espejos de cristal los de metal, y ha evitado que adolecieran del defecto de aberración de refrangibilidad trabajándolos por un método especial hasta dotarlos de una forma parabólica casi perfecta. Por otra parte, ha aumentado el poder reflector del espejo plateando su superficie. Mediante una solución de nitrato de plata amoniacal en alcohol, se puede cubrir esta superficie, á la temperatura ordinaria,

con una doble película metálica que se renueva fácilmente cuando el uso la deteriora, sin perjudicar en lo más mínimo la forma geométrica del espejo (1). Foucault construyó y remitió en 1862 al observatorio de Marsella un instrumento de esta clase, hecho con arreglo al sistema newtoniano y montado paralácticamente á fin de poder

observar la marcha de un planeta, de un astro, de una nebulosa, á medida que los arrastra el movimiento diurno, habiendo prestado en dicho observatorio grandes servicios á la astronomía física. El objetivo tiene 80 centímetros de diámetro y 4^m,50 de distancia focal. El ocular no es en rigor sino un microscopio, compuesto de modo que la imagen esté totalmente exenta de aberración (figura 681).

Se construyen telescopios de espejo plateado de pequeñas dimensiones que dan aumentos de 60 á 200 diámetros. El de la figura 682 representa el modelo de uno de estos telescopios que tienen 10 centímetros de diámetro y sólo 60 de distancia focal. Con un instrumento de esta clase, los aficionados pueden estudiar las estrellas binarias, observar los satélites de Júpiter, el anillo de Saturno, las manchas del Sol, y vislumbrar detalles muy interesantes de las montañas de la Luna.

V

VENTAJAS É INCONVENIENTES DE LOS ANTEOJOS Y REFLECTORES

Los telescopios que acabamos de describir pertenecen á dos clases principales: los refractores y los reflectores. El sistema ó aparato ocular de cada uno de ellos es el mismo: pero difieren esencialmente por el aparato objetivo. Unos y otros están en uso en todos los observatorios de ambos mundos, y más de una vez se ha discutido su valor respectivo. La verdad es que es difícil decidir de una manera absoluta. Hay casos en que uno de ambos sistemas prevalece y resulta inferior en otros; las ventajas y los inconvenientes se compensan más ó menos, según el instrumento, la habilidad del constructor, la del observador que hace uso de él y también el destino especial á que se le dedica.

Las ventajas de los refractores ó anteojos astronómicos son las siguientes: su manejo es más cómodo, sus objetivos más duraderos y tardan mucho en alterarse. Por último, á abertura igual, dan mayor claridad que los espejos. Los instrumentos meridianos y el mayor número de los ecuatoriales son telescopios refractores. En cambio, su instalación es difícil y por consiguiente más costosa. Lo difícil que es obtener masas de cristal de dimensiones algo grandes, sin defectos, sin estrías, ha impedido largo tiempo que se construyeran anteojos de mucho diámetro. Cuando se ha logrado fundir una masa de dimensiones convenientes, el trabajo de talla ó de pulimento es muy grande, puesto que por cada objetivo acromático hay que pulir cuatro superficies distintas, al paso que el objetivo de un reflector sólo tiene una superficie.

En esto consiste la principal ventaja del telescopio reflector. El espejo que constituye el objetivo está exento de aberración de refrangibilidad; es necesariamente acromático, y lo único que hay que corregir en él es la aberración de esfericidad. Pero la absorción de luz es considerable; el peso de la masa metálica hace que el manejo del instrumento sea difícil y molesto cuando su abertura tiene grandes proporciones; los agentes atmosféricos deterioran muy pronto la superficie del espejo, y por último, cuando hay que bruñirla de nuevo, la superficie misma sufre alteraciones por lo que hace á su forma geométrica, necesitando nuevos retoques.

Sin embargo, ya hemos visto que la innovación introducida por León Foucault obvia en parte estos inconvenientes, y en especial el último, por cuanto la superficie del cristal no experimenta alteración alguna cuando se ha de renovar la capa de plata.

Pero los anteojos tienen también sobre los refractores la ventaja de que la columna

de aire contenida en el tubo entre el ocular y el objetivo queda á cubierto de las perturbaciones procedentes de las desigualdades de la temperatura. En un telescopio reflector dicha columna está en comunicación con el exterior, lo cual es un grave inconveniente. Los astrónomos Pablo y Próspero Henry han ideado una disposición que la suprime y que, por este concepto, equipara el telescopio con los anteojos. Véase cómo explican las razones que les han inducido á construir un nuevo telescopio catadióptrico.

„Se ha discutido con frecuencia, dicen, la cuestión relativa á la superioridad de los anteojos sobre los telescopios, sin que se haya resuelto hasta el presente.

„Teóricamente y en razón de su acromatismo perfecto parece que los telescopios de reflexión debieran prevalecer en cuanto á nitidez y perfecta reproducción de las imágenes sobre los anteojos con los cuales es casi imposible, dado el estado actual de la ciencia, evitar la aberración secundaria de refrangibilidad.

„Sin embargo, en la práctica sucede lo contrario; desde el punto de vista del poder óptico, los anteojos han sido siempre superiores á los reflectores. Esta anomalía, atribuida á distintas causas, ha llamado vivamente la atención de los astrónomos y sido siempre para ellos motivo de preocupación.

„Nosotros hemos hecho muchísimas pruebas para averiguar de qué dimanaba esta inferioridad de los telescopios, y de nuestras indagaciones ha resultado que la falta de nitidez, ó más bien la inestabilidad de las imágenes producidas por esta clase de instrumentos consiste casi exclusivamente en que se introducen en el tubo masas de aire de densidades desiguales, procedentes del exterior, y en que permanecen en él arremolinándose. Los rayos incidentes y reflejados sufren gran perturbación al atravesar aquel medio heterogéneo, de suerte que sólo llega al ojo del observador una imagen confusa.

„Habíase sospechado ya esta causa de perturbación, y se habían propuesto también varios medios para remediarla. Por ejemplo, se discurrió que practicando aberturas en la parte inferior del tubo del telescopio resultaría un equilibrio de temperatura más completo entre el aire contenido en el tubo y el aire exterior, pero lo cierto fué que en tales condiciones las imágenes se han mostrado siempre más confusas que antes.

„Hase aplicado á varios instrumentos otro procedimiento, preferible á nuestro modo de ver, y en especial al telescopio de M. Lassell y al de Melbourne; consiste en suprimir el tubo, por decirlo así, no conservando de él sino la porción estrictamente necesaria para unir con firmeza el espejo objetivo y el ocular, sistema que sólo es eficaz en tiempo bonancible; pero si sopla la brisa más leve, las imágenes parecen agitadas.

„Los telescopios tienen otro defecto grave, que los hace muy incómodos y restringe su uso sobre manera. Este defecto consiste en que la superficie reflectora de los espejos se empaña muy pronto por efecto del contacto del aire, de la humedad, del polvo, etc. De estas varias causas de alteración resulta una pérdida sensible de luz, que obliga á bruñir con frecuencia la superficie del espejo.

„Para allanar todos estos inconvenientes, se ha tratado naturalmente de rodear al telescopio de las mismas condiciones que al antejo, cerrando al efecto herméticamente el tubo con una lente de cristal tallada de tal suerte que no amengüe en nada el poder óptico del instrumento.

„Nosotros hemos procurado hacerlo así del modo siguiente:

„En la abertura de un telescopio newtoniano de espejo de vidrio plateado, de 0^m,10 de diámetro y 0^m,60 de distancia focal, hemos puesto una lente de crown-glass del mismo tamaño que el espejo y ligeramente cóncava. Esta forma reúne muchas venta-

jas: evita la duplicidad de la imagen, á la verdad muy débil, que resultaría de la interposición de un vidrio plano; además, destruye la aberración de refrangibilidad del microscopio ocular que en nuestro instrumento está sólo formado de vidrios simples. La pérdida de luz que resulta de la adición de la lente, que puede ser muy delgada, es casi despreciable, y como dicha lente es casi plana, según hemos dicho, no exige que la imagen se forme rigurosamente en su centro. Tanto ella como el espejo han sido retocados por el método de Foucault, á fin de constituir un sistema óptico enteramente exento de aberración de esfericidad.

„Asestado este instrumento al cielo, ha dado resultados notables. Con él se ha podido desdoblar siempre la estrella *sigma*² de Cáncer, cuyas dos componentes sólo distan 1",5 entre sí; se veía fácilmente la compañera de Rigel, y la imagen de cualquier estrella brillante ha parecido siempre más fija en este telescopio que en otro de igual abertura, pero construido del modo común.

El que quisiera tener idea exacta de los importantes servicios que los telescopios han prestado de dos siglos á esta parte á las ciencias de observación y más especialmente á la astronomía, debería consultar la historia de estas mismas ciencias; á cada página se detendría asombrado ante la magnitud de los resultados. Pero no debería limitarse á pasar revista á las curiosidades, á las maravillas del cielo, ni contentarse con sondear las profundidades de los espacios infinitos en los que brillan los sistemas estelares y las nebulas; sería menester que estudiara detenidamente los progresos que merced á estos instrumentos ha hecho la astronomía de precisión, así como que fijara su atención en las sublimes teorías que en la actualidad explican todas las leyes de los movimientos celestes, considerando el universo entero como un sistema de cuerpos que actúan unos sobre otros, sistema que ofrece á los geómetras, en escala infinita, como la aplicación más admirable de los teoremas de la mecánica racional.

El público, que por lo común sólo conoce de oídas los trabajos de los observatorios, no puede darse cuenta de su importancia relativa y está siempre dispuesto á colocar en primer término las observaciones á propósito para excitar su curiosidad. Aplicar el ojo al ocular de un telescopio de mucho alcance, contemplar *de visu* los fenómenos cuya descripción ha leído, ó cuyas reproducciones más ó menos fieles ha admirado en los grabados, es para él el logro de sus aspiraciones, el ideal del astrónomo improvisado ó aficionado.

Y lo cierto es que, por grande que haya sido en lo pasado y pueda ser en lo futuro la aplicación de los instrumentos de óptica á los estudios de astronomía física, no es comparable con los servicios que estos mismos instrumentos han prestado á la astronomía de precisión. La averiguación de las posiciones de las estrellas fundamentales, que se ha podido hacer con perfección siempre creciente gracias á los grandes instrumentos meridianos, las observaciones de los planetas, de la Luna y del Sol, han proporcionado á la teoría del sistema del mundo datos cada vez más seguros, han permitido que se calculen tablas de las posiciones futuras de esos astros, teniendo en cuenta las influencias recíprocas que sus masas ejercen entre sí. Esos trabajos prolijos, esas observaciones delicadas, esos cálculos laboriosos que son su consecuencia, constituyen la tarea culminante, capital de los grandes observatorios, y hubieran sido imposibles sin el concurso simultáneo de los perfeccionamientos introducidos en los métodos de observación, en los instrumentos que sirven para medir el tiempo, y en los que, teniendo por objeto la determinación de los ángulos, están basados en las leyes rigurosas de la óptica.

Las teorías de la mecánica celeste, profundizadas y desarrolladas de continuo, son el resultado magnífico de esta aplicación de la óptica á la astronomía (1).

Mas aun cuando las conquistas que los anteojos y telescopios han hecho por otros conceptos no parezcan tener gran importancia desde el punto de vista de la ciencia pura, tampoco dejan de ser brillantes y fecundas. Las primeras aplicaciones de los an-

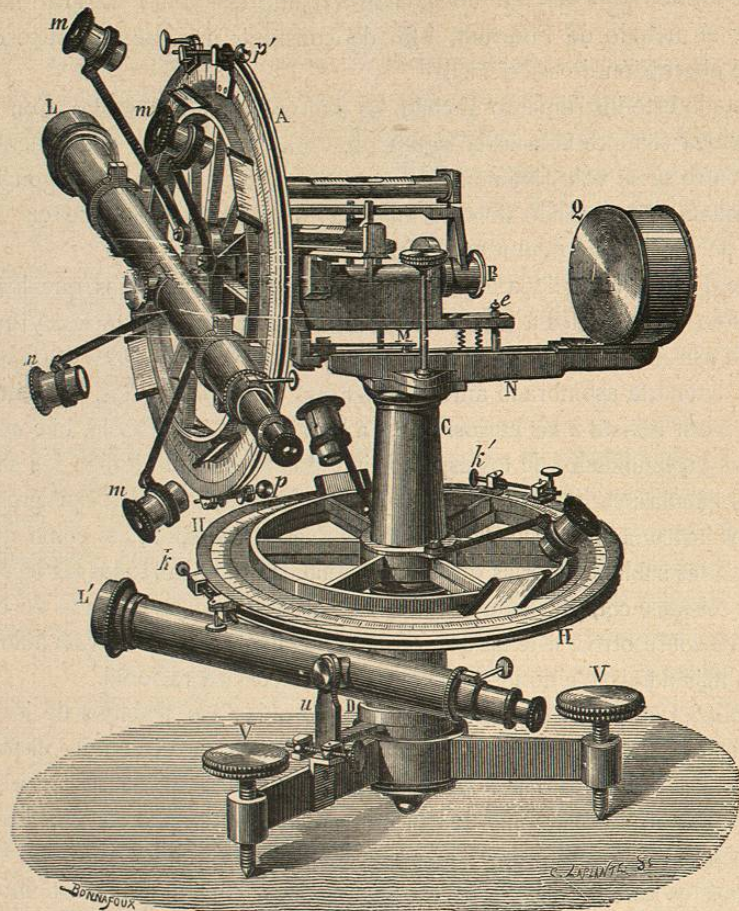


Fig. 683.—Teodolito de Gambey

A, círculo vertical graduado, móvil alrededor del eje horizontal B; L, anteojo ó alidada concéntrica que sirve para mirar la estrella cuya distancia zenital se quiere conocer, y que se lee en el círculo vertical; H, círculo horizontal ó azimutal graduado, en el cual se lee el ángulo trazado por el círculo vertical alrededor del eje C, cuando se han observado sucesivamente dos estrellas distintas; L', anteojo para mirar un punto remoto que sirve de referencia.

teojos, que en sus comienzos fueron de bien modesto alcance, ensancharon de pronto los límites del cielo circunscrito hasta entonces á los objetos visibles á la simple vista. Cuando tres siglos atrás asestó Galileo al cielo el anteojo que acababa de construir, se quedó sorprendido al ver el considerable aumento en el número de las estrellas, sobre todo junto á la Vía láctea, cuya verdadera composición le reveló aquel instrumento.

(1) Aparte de su aplicación á los estudios astronómicos, los anteojos son de un uso precioso en los trabajos en que se requiere medir ángulos con toda exactitud, como los de la geodesia. Propiamente hablando, los instrumentos son los mismos en una y otra ciencia, y los instrumentos comunes á ambas. Así es que los geodestas se sirven del anteojo meridiano como los astrónomos, sólo que su construcción está algo modificada con objeto de hacer portátil el instrumento. El *teodolito*, representado en la figura 683, sirve para me-

Las manchas del Sol, los satélites de Júpiter, las fases de Venus fueron otros tantos fenómenos nuevos que debían estudiar los astrónomos. Sucediéronse los descubrimientos unos á otros á medida que los ópticos conseguían aumentar el alcance de los instrumentos, y como era consiguiente, se inventaron nuevos métodos de investigación. En otro lugar hemos descrito los resultados que se obtuvieron de la aplicación del análisis espectral á la luz de los cuerpos celestes. A ellos hay que agregar los que ha dado la fotografía, de la que hablaremos en los capítulos siguientes. Estas dos ramas de la Óptica aplicada á la Astronomía han adquirido hoy tal desarrollo, que los astrónomos las consagran casi exclusivamente su tiempo y los recursos de sus observatorios.

CAPITULO V

EL ESTEREOSCOPIO

I

LA VISIÓN EN RELIEVE.—EL ESTEREOSCOPIO DE REFLEXIÓN DE WHEATSTONE

Cuando examinamos sin otro auxilio que el de nuestros ojos un árbol, un paisaje, un monumento, no tan sólo tenemos la sensación de un cuadro, es decir, una representación plana de los objetos que se pintan en nuestra retina, sino también la impresión clara y definida del relieve de los objetos, de sus distancias desiguales, de los espacios que los separan; la profundidad del espacio es una sensación intuitiva que resulta simplemente del fenómeno normal de la visión.

¿Cómo es que los cuadros pintados no producen semejante sensación, por grande que sea el mérito del artista que los ha ejecutado, y la fidelidad de la perspectiva, de los contornos de los objetos, del colorido y de sus tonos? Mucho talento se necesita para dar vida y movimiento á un cuadro, profundidad á un paisaje; pero, aunque el pintor lo consiga, la ilusión del relieve dista mucho de igualar á la Naturaleza.

Mucho tiempo ha transcurrido sin dar con la explicación de la diferencia que existe entre la representación plana y la vista real, ó sea la visión en relieve. Y sin embargo hay un medio muy sencillo de averiguar la causa. Si después de observar un objeto real con los dos ojos, se le examina con uno solo, sea el derecho ó el izquierdo, desaparece al punto el relieve, la sensación de profundidad, ó á lo menos se atenúa en gran parte. El paisaje real parece entonces una pintura cuyos varios términos se confunden. Sin embargo, esta diferencia entre la visión ordinaria ó binocular y la monocular es casi insensible respecto de los objetos remotos, y bastante marcada respecto de los próximos, llegando á su máximo con relación á los que están en primer término.

Sentado este primer punto, veamos qué sucede cuando se examina un objeto de

dir la altura angular de un punto ó de un astro sobre el horizonte, á la vez que para determinar su azimut, es decir, el ángulo que forma el plano vertical en el que se encuentra este punto en el momento de la observación con un plano que sirve de origen y que es, ora el plano meridiano, ó más bien un plano perpendicular al meridiano, el *primer vertical*. La leyenda de la figura bastará para que se comprenda cómo se consigue uno y otro objeto con el teodolito.