

quiere medir es la de un astro sobre el horizonte, ó sea lo que se llama su altura, se tiene el sextante verticalmente, de modo que el astro esté en su plano, y se mira directamente con el antejo el horizonte formado por la superficie misma del mar. Si falta este horizonte, se apela

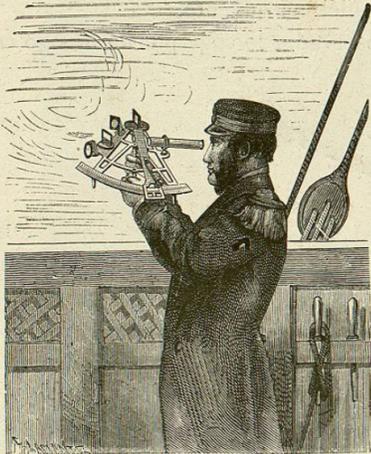


Fig. 213. — Oficial de marina observando con el sextante

á uno artificial, bien sea un baño de azogue, ó bien una luna de cristal lisa puesta horizontalmente por medio de tres tornillos de nivel.

#### IV

##### LOS GONIÓMETROS

Hay en la naturaleza un gran número de cuerpos de forma geométrica determinada, y con frecuencia terminados en caras planas y lisas, reunidas de diversos modos. Estos cuerpos son los cristales. Los mineralogistas, que encuentran los cristales ya formados en las rocas, y los químicos que los obtienen por varios procedimientos, necesitan, para definirlos, conocer con precision los ángulos de las caras de un mismo cristal, lo cual consiguen valiéndose de unos instrumentos llamados *goniómetros* (del griego *gonia*, ángulo, y *metron*, medida), basados en el mismo principio, el de las leyes de la reflexion de los rayos luminosos. Y en efecto, las caras de los cristales suelen tener un poder reflector bastante grande para que se pueda considerar y emplear cada una de ellas como un espejo plano.

Los goniómetros de reflexion son bastante numerosos. Nos limitaremos á describir dos de los más usados, el de Wollaston y el de Babinet, inventados respectivamente por estos dos célebres físicos.

El goniómetro de Wollaston se compone de las piezas siguientes:

1.º D es un limbo vertical dividido en grados en su canto y movable sobre un eje horizontal que se puede hacer girar como se quiera por medio de una virola G. Un vernier V sujeto á la columna que sostiene el instrumento sirve para indicar el ángulo que se ha hecho girar al limbo.

2.º El eje del limbo está hueco y atravesado por una varilla que puede girar sobre sí misma, con entera independendencia de aquel, por medio de otra virola A. Esta varilla sostiene una pieza articulada, la cual lleva á su vez una placa metálica, capaz de girar en diferentes sentidos por medio de un boton y ciertas articulaciones. En esta placa se coloca el cristal alguno de cuyos ángulos se desea medir.

Veamos cómo se efectúa esta operacion.

Se escogen dos puntos de mira horizontales paralelos, por ejemplo, la arista de un tejado y

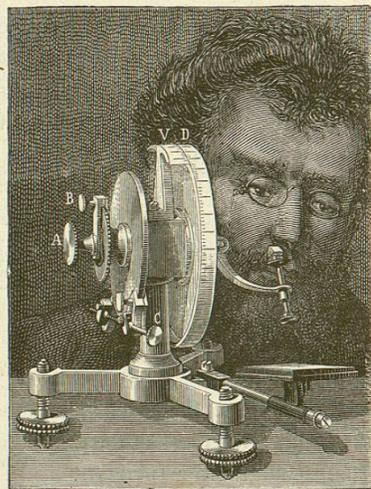


Fig. 214. — Goniómetro de reflexion de Wollaston

el barrote de la vidriera de un cuarto bajo, ó tambien la arista superior de una ventana abierta cuya línea oscura se destaque sobre el azul del cielo y el borde de una mesa ó el de una hoja de papel puesta sobre ella.

Hecho esto, se coloca el goniómetro en una

posicion tal que el limbo esté bien vertical (resultado que se obtiene con un nivel de aire y los tornillos de nivel del pié del aparato) y al propio tiempo en direccion perpendicular á las miras elegidas. Entónces se pone el cristal sobre la placa del instrumento sujetándolo con cera; siendo preciso colocarlo de modo que la

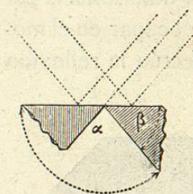


Fig. 215. — Principio geométrico del goniómetro. Ángulo de rotacion del cristal.

arista del ángulo que se ha de medir sea á su vez perpendicular al limbo ó paralela al eje de rotacion. Para ello se utilizan las imágenes de las dos miras obtenidas por reflexion en las dos caras, imágenes que, para cada una de estas, deben ser bien paralelas entre sí.

Tomadas estas disposiciones preliminares, se hace que coincida el cero del limbo con el cero del vernier. Dando entónces vuelta al cristal con la virola A, se pone la imagen de la mira superior en coincidencia con la mira inferior vista directamente, ó mejor aún con la imagen de la primera mira reflejada en un espejito que se ve á la derecha fijado al pié del instrumento. Luégo con un boton estriado G se hace girar el limbo y por consiguiente el cristal hasta que se obtiene la misma coincidencia, pero esta vez en la segunda cara del cristal, el cual ha ocupado las dos posiciones que indica la figura 215, habiendo girado cada cara el ángulo  $\alpha$ .

La lectura del ángulo de rotacion del limbo da en grados y en fracciones de grado, no el ángulo  $\beta$  del cristal mismo, sino su suplemento geométrico  $\alpha$ , del cual se deduce el primero mediante un sencillo cálculo.

El *goniómetro de Babinet* consiste en un limbo graduado horizontal, que lleva un *colimador* fijo á un radio del círculo: ó sea un antejo con dos hilos cruzados en su eje óptico. Tiene además otro antejo que por medio de una alidada provista de un vernier puede girar alrededor del centro, ó estar fijo en una posicion cualquiera con un tornillo de presion. Por último, en el centro del limbo hay una plataforma que puede girar alrededor de su eje vertical por medio de una alidada, la cual está provista de un vernier que sirve para medir el ángulo de rotacion. Sobre esta plataforma (que no es otra cosa sino una luna de cristal plana y tersa) se

coloca el cristal, cuidando de poner la arista del ángulo que se ha de medir en el centro, dándole una posicion perfectamente vertical. Para cerciorarse de este último requisito, se verifica en muchas direcciones la perfecta coincidencia de las dos líneas rectas que forman la arista del cristal y su imagen en la luna.

Veamos ahora cómo se mide el ángulo.

Ante todo se pone el antejo movable en una posicion que forme un ángulo cualquiera con el del colimador; se lleva el cero del vernier de la alidada enfrente del limbo y se da vuelta al soporte del cristal hasta que se vea en el antejo que el hilo micrométrico colocado en su foco coincide con la imagen del hilo del colimador vista por reflexion en una de las caras del cristal.

En este momento se da vuelta de nuevo al cristal, pero esta vez con el auxilio de la alidada misma, hasta que resulta la misma coincidencia con la imagen reflejada vista en la otra cara del cristal.

El ángulo de reflexion, medido con el vernier de la alidada, es el de las dos perpendiculares á las caras reflectoras; de suerte que calculando

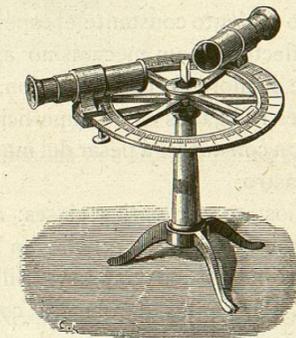


Fig. 216. — Goniómetro de reflexion de Babinet

el suplemento de este ángulo, se tendrá el de las dos caras del cristal.

La figura 216 representa un goniómetro de Babinet montado sobre un trípode; pero se fabrican otros más pequeños y sencillos que se pueden sostener con un mango.

Se puede utilizar el mismo instrumento en las investigaciones de óptica siempre que se emplean prismas cuyo ángulo se ha de conocer con exactitud, por ejemplo, cuando se quiere determinar el índice de refraccion de la sustancia de que está formado el prisma.

## V

## LOS HELIOSTATOS

En un gran número de experimentos de óptica es necesario proyectar en dirección constante un haz de luz solar, lo cual no permite obtener directamente el movimiento diurno del Sol en los experimentos de alguna duración. Si el haz se recibe primeramente sobre un espejo plano desde el cual va á parar por reflexión al punto ó al objeto que se trata de iluminar, es preciso cambiar progresivamente la inclinación del espejo para conservar al haz reflejado su dirección constante.

Consíguese esto con los *porta-luces*, aparatos que tendremos ocasion de describir más adelante, cuando tratemos del *microscopio solar*, y que consisten en un espejo susceptible de girar alrededor de dos ejes, uno horizontal y otro vertical, si el haz reflejado debe tener una dirección horizontal. Pero siempre es menester que intervenga el observador para modificar, en el sentido conveniente, la orientación del espejo. Los *heliostatos* son aparatos destinados á evitar esta intervencion; un aparato de relojería pone en movimiento constante el espejo, que es su pieza reflectora, y un mecanismo apropiado lo mantiene siempre en tal inclinación, que los rayos solares reflejados en su superficie siguen una dirección constante, á pesar del movimiento diurno del astro.

Hay heliostatos de varias clases; aquí nos limitaremos á describir los que llevan los nombres de sus inventores Gambey, Silbermann y Foucault. Pero ántes daremos á conocer el principio común á todos y sin el cual no se podría comprender su disposición ni el juego de su mecanismo.

Suponiendo que la línea  $PP'$  (fig. 217) representa el eje del mundo, línea de dirección invariable en torno de la cual tiene efecto el movimiento diurno del Sol y de las estrellas, el círculo  $S$  sera el curso aparente seguido por dicho astro en un día, y el ángulo  $SOP$  la declinación del Sol en la época que se considera. En  $A$  hay un cuadrante ecuatorial, en el cual marca á cada instante la sombra de la varilla ó estilo  $AO$  la hora del día. La línea  $SOB$  indicará pues el camino seguido por un haz de rayos

solares, y si se concibe que la  $OB$  gire alrededor del punto  $O$  siguiendo constantemente el extremo  $B$  del radio  $AB$ , esta será durante todo el día la marcha de la luz incidente.

Sea  $RR'$  la dirección en la cual se desea que se reflejen constantemente los rayos solares; la bisectriz  $NN'$  del ángulo  $SOR$  será la normal al punto de incidencia, lo cual determina la posición que el espejo  $mm$  debe ocupar en el momento supuesto para que se efectúe la reflexión en la dirección apetecida.

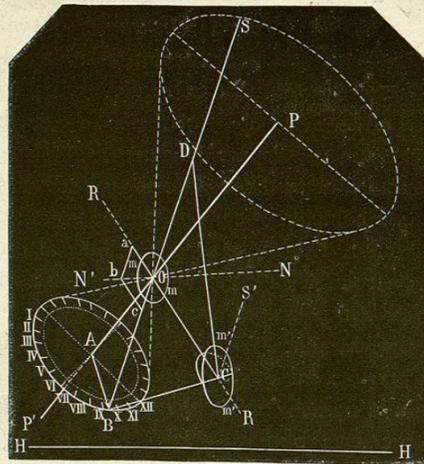


Fig. 217.—Principio geométrico de los sistemas de heliostatos

Así pues toda la cuestión consiste en mantener el espejo en una posición relativa que sea siempre la misma, con relación á la dirección constante de los rayos reflejados y la variable de los rayos solares incidentes. Esto se consigue de varios modos.

1.º Se pone encima del cuadrante ecuatorial un mecanismo de relojería que hace mover una aguja  $BA$  y describir una circunferencia entera en veinticuatro horas, por lo cual se encuentra siempre esta aguja en la dirección que ocuparía precisamente la sombra del estilo. A su extremo va unida una varilla  $BO$  á la cual se da en el cuadrante una inclinación igual á la declinación del Sol el día de la observación. Este es el primer requisito que reúnen por igual los diferentes sistemas de heliostatos.

2.º La varilla  $OB$  lleva el espejo, está unida á un paralelogramo articulado  $Oabc$ , cuya diagonal  $Ob$  coincide con la bisectriz del ángulo  $SOR$ , es decir con la normal al punto de incidencia,

estando dirigido el lado fijo  $Oa$  del paralelogramo en la dirección  $OR$  que se quiere dar al haz reflejado. Tal es el sistema de heliostato ideado por J. T. Silbermann, y representado en la figura 260.

3.º Sea  $OC$  (fig. 217) una varilla de longitud constante que puede tomar alrededor del pun-

to  $O$  una posición cualquiera, la que se desea dar al rayo reflejado. Esta varilla está hueca y lleva una horquilla á la cual está fijo el espejo  $m'm'$ , que también puede girar alrededor de  $OR$  y de  $AC$ . Otra varilla  $CD$ , situada en el plano del espejo, se articula con un anillo en  $D'$ , en el extremo de una varilla  $OD'$  igual

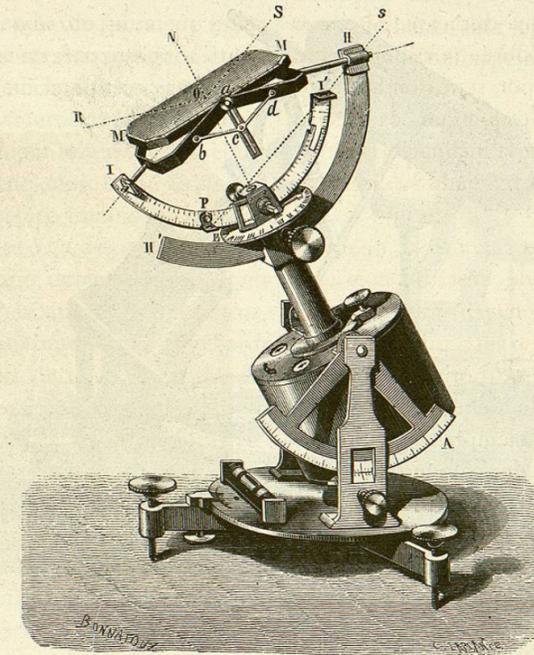


Fig. 218.—Heliostato de Silbermann

á  $OC$ . Un rayo  $S'C$  que caiga sobre el espejo paralelamente á  $SO$  se reflejará siguiendo la dirección  $CR$ . Tal es la disposición del heliostato de Gambey.

4.º El espejo está sostenido en  $B$  por una varilla vertical á cuyo alrededor puede tomar todas las direcciones posibles, dirigido por otra varilla  $CB$  normal á su superficie y articulada en  $B$  con un anillo fijado en  $OB$  á una distancia  $OC=OB$ . Una tercera varilla  $CD'$ , situada en su plano, tiene una ranura por la cual puede pasar la prolongación  $OD'$  de  $OB$ . Los dos triángulos  $OC'D$  y  $OBC'$  son siempre isósceles, de suerte que la perpendicular  $CB$  al espejo es paralela á  $ON$ , bisectriz del ángulo de los rayos incidentes y reflejados. Este es el principio del heliostato de Leon Foucault.

Sentados estos principios, ya es fácil comprender el mecanismo de los tres sistemas de heliostatos de Gambey, Silbermann y Foucault,

reproducidos los dos últimos en las figuras 218 y 219.

## VI

## EL SIDEROSTATO

Los instrumentos usados en los observatorios para las investigaciones de astronomía física adolecen de un grave inconveniente, el cual consiste en que el observador tiene que cambiar de posición juntamente con el ocular del antejo según el punto del cielo que estudia, y también con el movimiento diurno de rotación que arrastra consigo á este punto. De aquí resulta que ha de tomar posturas incómodas, molestas y fatigosas, y en último resultado perjudiciales para el estudio del fenómeno observado.

Cuando se hacen observaciones con el antejo meridiano ó con el teodolito, se apela á un prisma rectangular, en cuyo interior sufren los