

iguales se destruirán sus efectos por ser contrarios sus movimientos, ó darán una resultante igual á su diferencia si son desiguales, si se destruyen no habrá luz, si se destruyen solo en parte disminuirá la luz.

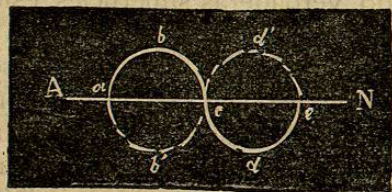


Fig. 46.

Desde luego se habrá comprendido que las líneas rectas AN (fig. 44, 45 y 46) representan lo que llamamos rayo luminoso, y como se vé, el movimiento se verifica en un sentido perpendicular al rayo, por esto se dice que en la luz, las vibraciones son trasversales.

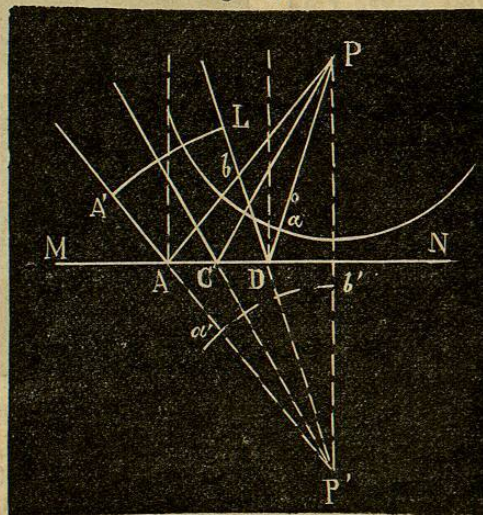
Según lo que hemos dicho resulta, que si consideramos en la (fig. 43) lo que debe suceder fuera del cono, tenemos, que el movimiento que parte del punto *i* engendra la serie de ondas elementales *a' b' c' d' e'*, & arriba y abajo del rayo *i r*, lo mismo sucede con el movimiento de *g* que engendra ondas arriba y abajo de *g r*; pero aunque todas parten ó comienzan en el mismo instante, no es el mismo el espacio que recorren, y por consiguiente un sistema de ondas se atraza respecto del otro, y esto hace que las semiondas unas se encuentren en el mismo sentido y unan sus efectos, otras en sentido contrario y se neutralizan en parte ó totalmente; de aquí la explicación de las franjas en la difracción y su alternancia, como tambien la de la sombra y penumbra; pero si consideramos lo que debe suceder entre las líneas *PO* y *PS*, veremos que todas las semiondas tienden á unir sus efectos, y por consiguiente su intensidad tiene que ser mayor; con lo que queda refutada la objeción de Newton.

## APLICACIONES DE ESTA TEORIA.

11. Propagación. En esta teoría la propagación de la luz es semejante á la del sonido en el aire, su velocidad depende únicamente de la elasticidad y no tiene ninguna relación con la intensidad de la vibración, siendo ésta determinada por la amplitud, más ó menos grande de las oscilaciones de la molécula vibrante, y por consiguiente de las partículas del medio ambiente; luego la luz que provenga de origen débil ó intenso debe propagarse con igual velocidad, lo mismo que los sonidos débiles ó graves.

12. Reflexión.—Esta teoría explica este fenómeno de la manera siguiente: Según el principio de Huyghens cada punto de la

Fig. 47.



onda esférica, está en movimiento, y dá lugar á un conjunto de ondas elementales que vienen á constituir la onda á cierta distancia. Sea *P* (fig. 47) el punto en movimiento ó luminoso y *ab*, el movimiento ú onda que se propaga, es

claro, que al llegar á la superficie especular *MN*, y encontrarla en los puntos *A, C* y *D*, éstos entrarán en movimiento y cambian el sentido del primero, y como los puntos de la onda que se propaga no encuentran en el mismo ins-

tante la superficie, sus movimientos dán lugar á otro movimiento representado por  $a'b'$  ó mejor dicho, el primero se cambia en este, cuyo centro corresponde al punto  $P'$  simétrico de  $P$ , por consiguiente las ondas pueden suponerse que parten de  $P'$  y se propagan según  $a'b'$  y  $A'L$ , que será la onda reflejada; y así como todas las líneas que parten de  $P$ , las llamamos rayos insidentes, las que parten de  $P'$  serán rayos reflejados, tales como  $P'A'$  y  $P'D$  que satisfacen las leyes de la reflexión.

13. Refracción.—Para mayor sencillez supondremos una onda plana  $SR$  (fig. 48) lo que supone que el punto que la produce está muy lejos, y su radio tan grande, que el arco se confunde con la línea  $SR$ . Sea  $AB$  la línea de separación entre dos medios, aquel en que viene moviéndose la luz y el en que se vá á refractar; es claro que el punto  $S$ ,

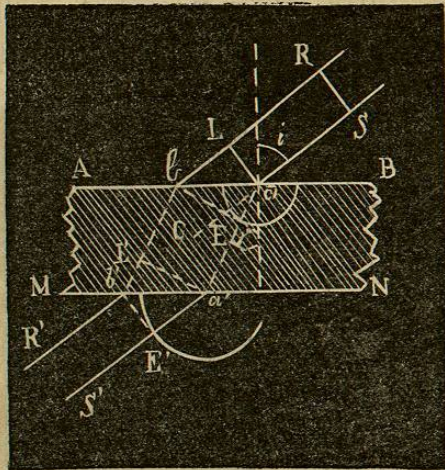


Fig. 48.

encontrará primero al medio en el punto  $a$ , en este momento el punto  $R$  llegará á  $L$ ; el punto  $a$  se mueve dentro del medio con una velocidad diferente de la que traía, mientras  $L$  sigue con la misma hasta llegar á  $b$ ; si llamamos  $v$  esta velocidad y  $t$  el tiempo que emplea en recorrer el espacio  $Lb$  tenemos:  $Lb = vt$ , en el mismo tiempo el punto  $a$ , con una velocidad diferente  $v'$  habrá recorrido un espacio menor ó mayor que  $Lb$ , si es menor  $v'$  que  $v$ , llegará á  $E$ , y tendremos;  $aE = v't$ , si dividimos esta e-

cuación por la primera, tenemos:  $\frac{aE}{Lb} = \frac{v'}{v}$  de donde:  $aE$

$= \frac{Lbv'}{v}$ , que quiere decir, que para el punto  $E$  hay que

describir un arco con el radio  $aE$  dado por la fórmula anterior, y la onda en el interior del medio será la tangente  $bE$  á este arco en el punto  $E$ , de esto resulta, que la onda en el interior del segundo medio, ya no es perpendicular á  $C$  prolongación de  $Sa$ , sino á  $aE$ , quien se ha acercado á la perpendicular al medio  $ABNM$ , además, los triángulos  $abL$  y  $abE$  nos dán:  $Lb = ab \sin i$

y  $aE = ab \sin r$ , de donde  $\frac{Lb}{aE} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v}{v'}$  que nos indica una relación constante y la demuestra la experiencia.

En cuanto á la segunda ley se deduce de la misma construcción.

De manera que en esta teoría, el cambio de velocidad trae consigo el cambio de dirección ó la refracción.

14. Difracción.—Se explica perfectamente con el principio de Huyghens, pues hemos visto que las ondas elementales fuera del cono se presentan sus caras de signos contrarios, y que no siendo directamente opuestas ni teniendo la misma intensidad, no se destruyen completamente, luego donde sean directamente opuestas é iguales se destruirán dando una franja oscura, y donde no lo sean habrá una franja más ó menos luminosa.

15. Interferencia.—Esta no es otra cosa sino la acción mútua de las ondas entre sí y su principio es: *dos rayos homogéneos emanados de un mismo origen unen su brillo, cuando se encuentran bajo una pequeña oblicuidad, después de haber recorrido caminos cuya diferencia sea*  $0, \frac{2d}{2}, \frac{4d}{2}, \frac{6d}{2}, \&$  es decir, *un número par de semivalores de  $d$ , siendo éste el de una ondulación; al contrario se destruyen y producen oscuridad, cuando se encuentran des-*

pués de haber recorrido caminos cuya diferencia sea  $\frac{d}{2}$ ,  $\frac{3d}{2}$ ,  $\frac{5d}{2}$ , &c., es decir, un número impar de semiondulaciones.

Como se vé; este principio se deduce tambien del de Huighens.

16. Doble refracción.—Cuando un rayo de luz al atravesar un medio diáfano se divide en dos rayos emergentes, se dice que el rayo primitivo experimenta doble refracción; á la sustancia que produce esta acción se le llama *birefringente*. Multitud de sustancias cristalinas producen este fenómeno, pero son exceptuadas aquellas cuya forma primitiva es un cubo ó un octaedro regular.

Las sustancias birefringentes se dividen en dos grupos muy distintos; primero, cristales de un eje; segundo, cristales de dos ejes; he aquí la causa de esta división: En todo cristal birefringente se nota siempre una ó dos direcciones en las cuales la luz no sufre la doble refracción, esto es, no se divide en dos el hacesillo incidente al atravesar el cristal, estas direcciones se llaman ejes ópticos, ejes de doble refracción, ó simplemente ejes, y guardan simetría con relación á las caras naturales de la forma primitiva; de aquí resulta que se llaman cristales de un eje, aquellos que presentan una dirección en la cual no se divide la luz y sigue las leyes de la refracción simple; y cristales de dos ejes, aquellos que presentan dos direcciones en que tampoco se divide.

Parece que hasta ahora no se han encontrado cristales regulares que tengan más de dos ejes.

Se dá el nombre de forma primitiva, á aquella que se atribuye á las moléculas consideradas como elementos, y así se dice: la forma primitiva es un romboedro, ó un prisma, lo que quiere decir, que las formas de las moléculas es un romboedro ó un prisma; ahora bien, si todas las moléculas se yustaponen sobre las caras homólogas de una primera que consideraremos como el centro hácia el cual se diri-

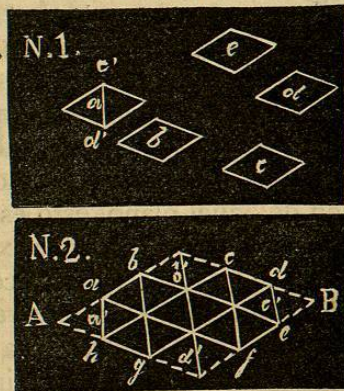
gen las demás, claro es, que sobre cada cara de la primera se colocará otra, quedando unidas caras iguales y el conjunto constituirá un cristal de la misma forma que la de las moléculas elementales, esto es, un romboedro, un prisma &c.

17. Cristales de un eje.—Consideremos el carbonato de cal ó spato de Islandia, que es cristal de un eje, su forma primitiva es un romboedro, por consiguiente si consideramos un fragmento de esta sustancia cualquiera que sea su forma, lo podemos considerar como formado de una multitud de moléculas romboidales dispuestas paralelamente las unas al lado de las otras; la línea que une los vértices obtusos de cada molécula, se llama su eje cristalográfico. [1.]

Sean a,b,c,d, (fig. 49 n.º 1,) varias moléculas romboidales; si tomamos la molécula a, y en cada una de sus caras colocamos otra molécula, resultará la (fig. 49 n.º 2) b,c,d,e,f,g,h, y si en cada uno de los huecos a',b',c',d' colocamos una molécula, tendremos el nuevo rombo AB resultado de la agrupación de moléculas.

Pues bién, en una molécula tal como a [fig. 49 n.º 1,] la línea c'd', se llama su eje, por consiguiente en AB los ejes de las distintas moléculas son paralelos, y bastará saber cual es la dirección de uno y á éste llamarle

Fig 49.



[1.] Se llama eje cristalográfico á una línea ideal, al derredor de la cual se suponen colocadas las moléculas, y se ha podido comprobar que en los cristales de un eje, coincide éste con el cristalográfico.

eje del cristal, aunque en rigor un cristal tiene tantos cuantas sean las moléculas que lo forman, pero todos son paralelos.

Hemos dicho que al atravesar un hacesillo un cristal birefringente se divide en dos, de ellos uno sigue las leyes de la refracción simple y se llama rayo ordinario; el otro no las sigue y por esto se llama rayo extraordinario; puesto que el ordinario no presenta ninguna diferencia, estudiaremos el extraordinario.

Para esto necesitamos considerar ciertas secciones en los cristales, en las cuales el rayo de que vamos á tratar es muy notable, estas secciones son dos, la sección principal y la perpendicular al eje.

18. Sección principal.—Se llama así al plano que pasando por el eje es perpendicular á una cara ya sea natural ó artificial, así es que, la sección principal pertenece más bien á una cara que al cristal entero; porque si las caras están inclinadas entre sí, cada una tendrá su sección principal.

La experiencia demuestra que el rayo extraordinario se encuentra en el plano de incidencia lo mismo que el ordinario, cuando la sección principal, coincide con la prolongación de aquel plano, esto es, sigue una de las leyes de la refracción simple, y hace excepción á la otra.

Para demostrarlo basta hacer girar en su propio plano un cristal birefringente, y se verá que en el círculo que describe la imagen extraordinaria al rededor de la ordinaria, hay dos posiciones en que coincide con el plano de incidencia; lo cual sucede cuando la sección principal coincide con ese plano.

19. Sección perpendicular al eje.—Se llama así todo plano concebido en el interior del cristal perpendicular al eje. La experiencia demuestra, que cuando el rayo luminoso tiene esta sección por plano de incidencia, el rayo extraordinario y ordinario siguen las dos leyes de la refracción simple; y la relación entre el seno del ángulo de

incidencia y el seno del ángulo de refracción del rayo extraordinario, se llama índice de refracción extraordinario.

En el sistema de la emisión los cristales se llamaban repulsivos y atractivos; repulsivos, aquellos en que el índice de refracción del rayo ordinario es mayor que el del extraordinario; y atractivos, aquellos en que ese mismo índice es menor que el extraordinario; la razón es, porque en tal sistema la refracción se explicaba por la atracción que se suponía ejercen los cuerpos sobre las moléculas luminosas, y así decían: *las moléculas luminosas del rayo extraordinario son menos atraídas que las del rayo ordinario, en el primer caso que en el segundo*; pero en el sistema de las ondulaciones, la refracción explicándose por el cambio de velocidad que experimenta la luz, por la diversa densidad del medio que atraviesa, y la velocidad siendo tanto menor cuanto mayor es el índice de refracción, Frisnel, ha llamado cristales negativos á los que llamaban repulsivos, y positivos á los atractivos; porque en efecto, la diferencia de velocidades ordinaria y extraordinaria, es negativa en el primer caso y positiva en el segundo.

Pongamos un ejemplo para aclarar lo anterior: sea MN (fig. 50) un cristal birefringente,

S'g un rayo incidente, gh la normal á la superficie del cristal, gs el rayo reflejado, go el refractado ordinario y ge el extraordinario.

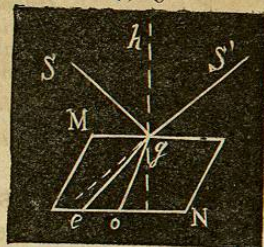


Fig. 50.

Supongamos que el seno del ángulo de incidencia vale 20, el de refracción extraordinario 10, el índice de refracción ordinario estará medido por  $\frac{20}{5} = 4$ ; el de refracción extraordinario por  $\frac{20}{10} = 2$ ; ahora bien, puesto que la velocidad de la luz está en razón inversa del índice de refracción, claro

es que la velocidad del rayo ordinario es menor que la del extraordinario, por consiguiente supongamos la velocidad del rayo ordinario como 12, la del extraordinario será mayor, 20 por ejemplo, si de la velocidad ordinaria restamos la extraordinaria, tendremos:  $12 - 20 = -8$ , resultado negativo, de aquí, que el cristal sería negativo; una consideración análoga nos daría cuenta de los cristales positivos, bastaría cambiar el rayo ordinario en extraordinario y recíprocamente en la figura anterior, lo que haría también cambiar los índices y la diferencia sería entonces:  $20 - 12 = 8$ , resultado positivo que correspondería á un cristal positivo, de donde resulta la división de los cristales de un eje en positivos y negativos.

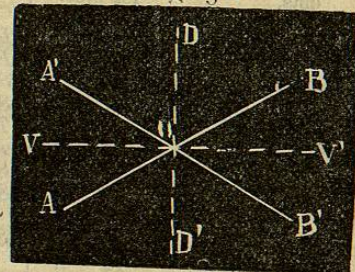
TABLA DE LOS CRISTALES DE UN EJE

NEGATIVOS.		POSITIVOS.
Carbonato de cal [Espato de Islandia.]	Molibdato de plomo.	Zircon.
Carbonato de cal y de magnesia.	Beryl.	Cuarzo.
Carbonato de cal y de hierro.	Apatita.	Oxido de fierro.
Turmalina.	Idocrasa (Vesuviana.)	Tungstato de zinc.
Rubelleta.	Vernerita.	Stanita.
Corindón.	Mica (de Kariat)	Boracita.
Zafiro.	Fosfato de plomo.	Apopilita.
Rubi.	Fosfato de plomo arseniado.	Sulfato de potasa y fierro.
Esmeralda.	Hydrato de estronciana.	Subacetato de cobre y cal.
Hydroclorato de cal.	Octoedrita.	Hydrato de magnesia.
Id. de estronciana.	Prusiato de potasa.	Hielo.
Subfosfat de Potasa.	Fosfato de cal.	Hiposulfato de cal.
Sulfato de Nikel y cobre.	Arseniato de plomo.	Dioptasa.
Cinabrio.	Id. id. cobre.	Plata roja.
Melita.	Nefelina.	
	Arseniato de potasa.	

20. Cristales de dos ejes.—Estos están caracterizados por tener dos direcciones en las cuales el rayo incidente no se divide en dos. Estas direcciones se llaman ejes y no guardan relación con el eje cristalográfico; pero es claro que conocida la posesión de los ejes para un punto cualquiera del cristal, para determinar su posición en otro punto cualquiera, bastará tirar por éste paralelas á aquellos y éstas serán los ejes del nuevo punto.

Fresnel ha demostrado que en este caso no hay rayo ordinario, esto es, que los dos hacesillos en que se divide el incidente, ninguno sigue las leyes de la refracción simple; la marcha de la luz, es por consiguiente, mas complicada que en los cristales de un eje. Aquí lo mismo que en los cristales de un eje, hay necesidad de buscar aquellas secciones del cristal en que los rayos obedecen las leyes de la refracción simple; estas secciones son dos, una perpendicular á la línea media y la otra perpendicular á la línea suplementaria.

21. Sección perpendicular á la línea media.—Supongamos que las líneas AB, A'B' (fig. 51) sean los ejes del cristal y AOB' el ángulo de estos ejes, la línea DD' que divide este ángulo en dos partes iguales, se llama línea media, si por la línea VV' perpendicular á la media, hacemos pasar un plano que le sea también perpendicular, éste determinará en el cristal una sección, que se llama perpendicular á la línea media y en la cual uno de los rayos sigue las leyes de la refracción simple y el otro nó.



22. Sección perpendicular á la línea suplementaria.—Se llama línea suplementaria, aquella que divide en dos partes iguales el suplemento del ángulo de los dos ejes, así, siendo AOB' el ángulo y AOA' su suplemento, la línea VV' que divide en dos partes este ángulo, será la suplementaria, la sección hecha en un cristal perpendicular á esta línea se llama sección perpendicular á la línea suplementaria, tal es DD', y en ésta, el rayo que en el caso anterior no seguía las leyes de la refracción las sigue ahora.