taja para alimentar la caldera, en la que es necesario introducir agua que reemplace á la que se reduce á vapor y que mantenga el nivel á la misma altura.

Una vez conseguido el movimiento alternativo del piston, está reducido á una cuestion de mecánica el trasformar este movimiento y el hacerle servir para todo cuanto se desee. Con el objeto de regularizar el movimiento se aplica un volante ó rueda, que viene á ser un depósito de fuerza, que recibe cuando la máquina tiene algun exceso, y se la devuelve cuando se verifica lo contrario; ademas con este mismo objeto, y con el de economizar el vapor, y por consiguiente el combustible, se han ideado las *máquinas de expansion*, que consisten en detener la entrada del vapor cuando el piston se halla v. g. á la mitad de su carrera, en cuyo caso la concluye por la velocidad adquirida, ayudada de la expansion que produce el vapor en virtud de su fuerza elástica.

Las calderas son ordinariamente de chapa de hierro, cilíndricas y terminadas por hemisferios; éstas, ademas de necesitar la resistencia suficiente para sufrir la presion interior que el vapor produce en altas temperaturas, llevan válvulas de seguridad para prevenir las explosiones; éstas son ó bien cónicas cargadas de pesos convenientes, ó fusibles que á una temperatura dada se fundan y dejen salir al vapor, ó bien elásticas que puedan saltar cuando la presion llegue cerca del límite dispuesto, y del que no podria pasar sin verificarse la explosion: llevan ademas un tubo manométrico que indique la fuerza elástica del vapor, tubos que comunican con la bomba alimenticia, tubos que dan paso al vapor que ha de actuar sobre la máquina-otro con un flotador que regulariza la altura del agua en la caldera, y otro que regulariza y modifica el tiro de la chimenea, y por lo tanto la rapidez de la combustion.

Imposible es entrar en todos los detalles de la construccion de estas máquinas-pero basta lo dicho para un curso puramente elemental, siendo fácil con estos principios y en vista de un buen modelo comprender todo el mecanismo.

Varios medios se han ideado para reemplazar al vapor: pero ninguno hasta el dia ha correspondido á lo que se deseaba; tal vez la fuerza electro-magnética sea la destinada á sustituirle, y si un dia llega á conseguirse, lo verificará con notables ventajas.

DE LA LUZ.

LECCION LVIII.

Consideraciones generales acerca de la luz.—Medios empleados para medir su velocidad.

226. La luz es el agente que actuando sobre el sentido de la vista nos pone en comunicacion con los objetos distantes, dándonos á conocer sus colores, sus posiciones, y aun sus distancias, formas y magnitudes entre ciertos límites. Para darnos cuenta de los fenómenos luminosos, debemos recordar lo expuesto al dar principio á la explicacion del agente llamado calor, pudiendo aplicarse á ambos fluidos cuanto allí expusimos, relativo á la cuestion de las emanaciones y vibraciones; si bien es verdad que en el estudio de la luz se fijan estas cuestiones, pudiéramos decir que toman cuerpo, se demuestran y se aclara cuanto respecto al calor dejamos ya establecido.

La luz se propaga en línea recta, y para asegurarnos de ello no habrá mas que servirse de un alambre cilíndrico bien recto, el cual interpondremos entre el órgano de la vision y la llama de una bujía, de modo que una de las bases del cilindro nos cubra la totalidad del mismo, y observaremos sobre la llama una mancha oscura, que es la proyeccion de la dicha base, lo cual prueba que ha sido interceptado el rayo luminoso que seguia esta direccion. Nada tiene de particular que así suceda si recordamos lo expuesto en la teoría del calor; aquí como allí se verifica una radiacion en todos sentidos alrededor del cuerpo luminoso, y ya admitamos emanaciones de moléculas luminosas, ya adoptemos las vibraciones producidas en eléter, siempre se extenderán los efectos produciendo superficies esféricas, cuyos rádios sabemos que no pueden dejar de ser rectilíneos.

227. Nada mas fácil, llegados á este punto, que darnos cuenta de la disminucion que sufre la intensidad de la luz con la distancia; porque no habrá mas que recordar lo que acerca de esta cuestion expusimos al examinarla en la teoría del calor. Si suponemos, como allí, dos esferas concéntricas, y el cuerpo luminoso colocado sucesivamente en el centro de ellas, resultará que toda la luz emitida será recibida por la superficie esférica que consideramos; y como las superficies son como los cuadrados de las líneas homólogas, que aquí son los rádios, resulta que *la intensidad de la luz se halla en razon inversa del cuadrado de la distancia.*

Para la medida de la luz se han ideado aparatos denominados *fotómetros*, que todos ellos dejan muchísimo que desear respecto á las exigencias de la ciencia: así es que podemos asegurar que un buen fotómetro no existe, siendo uno de los aparatos que la ciencia espera y necesita.

228. Por mucho tiempo ha sido considerada la propagacion de la luz como instantánea; y efectivamente puede mirarse como tal cuando se trata de pequeñas distancias, y así la considerábamos al ocuparnos de los medios de averiguar la velocidad del sonido; pero cuando se trata de distancias considerables, se halla ya comprobada la velocidad.

Roemer, haciendo observaciones sobre las ocultaciones de los satélites de Júpiter, fué el que determinó la velocidad de la luz. Cuando se observan las emersiones sucesivas del primer satélite, se halla que, cualquiera que sea la posicion de la tierra en su órbita, el tiempo trascurrido entre dos consecutivas es siempre 42 horas 29′; siendo indudable que si la propagacion fuese instantánea, al observar dos emersiones cualesquiera y no consecutivas, el tiempo trascurrido entre ellas contendria tantas veces 42 horas 29′ como revoluciones el satélite hubiera verificado, á contar desde la primera hasta la última observacion, pero no es así como se verifica, no

tándose un retraso que proviene de las pequeñas diferencias acumuladas, y expresa, conocida la distancia, el valor que nos representa la velocidad de la luz. Tomando por base el diámetro de la órbita terrestre, y verificando las observaciones en sus dos extremos, se determina la velocidad de la luz, que es de 56,000 leguas por segundo; y observando las ocultaciones del satélite, de que va hecho mérito, en las diferentes posiciones de la tierra respecto al planeta considerado, se reconoce que la velocidad buscada es uniforme.

Conocida la velocidad de la luz, se averigua con facilidad lo que tarda en llegar á nosotros desde un cuerpo cuya distancia está dada; así es como sabemos que la luz solar tarda 8′, 13″ en llegar á la tierra; de forma que nosotros vemos al sol en el sitio en que se hallaba 8′ 13″ antes de la observacion, es decir, en el sitio en que tuvo lugar la vibracion ó destello de luz que en el instante de la observacion nos afecta; deduciéndose de aquí que si imaginamos que el sol se apague, aun le veremos durante 8′ 13″, que es lo que tardará la última conmocion producida en herir nuestro órgano de la vision. Estas aplicaciones se estienden á los planetas y á las estrellas fijas, dando lugar á consideraciones muy notables y de grande interés en astronomía.

LECCION LIX.

Sombra y penumbra determinadas gráfica y experimentalmente.

229. Al dar principio al estudio de los fluidos imponderables, deciamos que para determinar las leyes y circunstancias de los fenómenos correspondientes, no teniamos mas que dos caminos; ó estudiar las modificaciones que el fluido imponderable de que tratamos produce en los cuerpos ponderables ya conocidos, ó averiguar las que estos cuerpos ponderables determinan en el fluido que consideramos. El primer procedimiento ha sido en general, empleado en el estudio del calor; y el segundo será el que mas principalmente seguiremos en lo correspondiente á la luz.

Observando los cuerpos ponderables relativamente al fluido luminoso, hallaremos unos que dejan pasar la luz, y otros que la interceptan; los primeros han recibido el nombre de *trasparentes* ó *diáfanos*, y el de *opacos* los segundos. Si nos fijamos en los cuerpos que dejan paso á la luz, notaremos que los hay que son permeables á este fluido, en términos de permitirnos distinguir al través de su espesor, la forma, posicion y colores de los cuerpos, al paso que otros permiten el paso á la luz, pero no nos dejan distinguir los objetos que se hallan detrás. Los primeros, tales como las láminas de vidrio ó cristal, son los que con propiedad reciben el nombre de diáfanos, y los segundos, tales como los lienzos, el papel etc., se denominan cuerpos *traslucientes*. La opacidad y la trasparencia penden de la naturaleza del cuerpo, de su espesor y de la energía del foco luminoso: la naturaleza del cuerpo se hace sensible, al observar que láminas del mismo espesor, y colocadas delante de un mismo foco luminoso no tienen el mismo grado de opacidad ó trasparencia; el espesor influye como se observa en los cuerpos traslucientes, que dejan pasar tanta mayor cantidad de luz, cuanto mas delgadas son las láminas á que se han reducido; y al contrario, se acercan mas á la opacidad á medida que su grueso es mas considerable; es digno de notarse que los cuerpos opacos pueden reducirse á traslucientes, como sucede con las láminas delgadas de madera, y aun con las hojas de oro de $\frac{1}{360\,000}$ de pulgada, las cuales aun dejan pasar algo de luz, y de presumir es que en todos los cuerpos se verificase lo mismo si tuviésemos medios de reducirlos á láminas suficientemente delgadas; pero ningun fenómeno conocemos que nos autorice para admitir que puedan pasar á trasparentes; éstos por su parte pueden dejar pasar menos luz cuando su espesor aumenta, pero nunca llegarán á convertirse en opacos. La influencia de la energía del foco luminoso la estamos observando continuamente, viendo que hay cuerpos que dejan pasar una porcion mas ó menos considerable de la luz directa del sol, y no dejan pasar cantidad alguna sensible, colocándolos delante de la llama de una bujía.

230. Los cuerpos opacos dejan detrás de sí un espacio privado de luz, que es lo que llamamos *sombra*. Estas sombras son volúmenes geométricos, y por consiguiente pueden determinarse con toda precision y esactitud, y para convencernos de ello, las determinaremos en los tres casos de ser el cuerpo luminoso igual, menor ó mayor que el opaco, y para mayor facilidad supondremos ambos esféricos. Si el cuerpo luminoso L, es igual al opaco O, (*fig.* 105) bastará considerar una tangente AE que lo sea á ambos, y haciendo girar los cuerpos alrededor de la línea LS que une sus centros, se originará un cilindro indefinido, el que se formaria del mismo modo considerando los cuerpos fijos, y tiradas tangentes AE, CF en todos los puntos posibles. Este cilindro indefinido es el formado por la sombra S, que se apoya en el cuerpo opaco, siendo su base un círculo máximo de la esfera, y hallándose alumbrada una mitad de ésta ó un hemisferio que será el que mire al cuerpo luminoso L. Si ésta sombra se recibe sobre un plano, nos resultará una de las secciones cónicas, segun que éste sea perpendicular ó inclinado al eje del cilindro

Observando con cuidado los bordes ó límites de la sombra, se nota que no se hallan cortados con dureza, que el tránsito de la parte alumbrada á la parte oscura, no se verifica de un modo brusco, sino por una degradacion sucesiva de luz, que hace muy dificil la determinacion precisa del término de la sombra pura. Este espacio desigualmente alumbrado que rodea la sombra, es lo que se denomina *penumbra*, la cual se halla formada por todos los puntos alrededor de la sombra pura, desde los cuales se descubre parte del cuerpo luminoso, estando limitada por todos aquellos en que el cuerpo L se descubre todo entero. Para determinar sus límites consideraremos tangentes AD, CB que tocando al cuerpo opaco en los puntos BD, determinan un cono truncado indefinido PP′, cuya base menor BD es un círculo casi máximo de la esfera, y el espacio ó zona comprendido entre esta base y la del cilindro, que constituye la sombra pura, es lo que se llama *círculo de iluminacion*.

Supongamos que el cuerpo luminoso L sea menor que el opaco (*fig.* 106); en

cuyo caso las tangentes AE, CF, nos determinarán la sombra pura, que será un cono truncado indefinido, cuya base menor será un círculo menor de la esfera, y la parte alumbrada será menos de un hemisferio; pero siendo mas ó menos considerable, segun la magnitud y distancia respectiva entre ambos cuerpos. La penumbra se determinará como en al caso anterior, tirando las tangentes AD y CB, siendo tambien un cono truncado indefinido de mayor abertura que el de la sombra pura, y presentando una base algo menor que en éste, produciendo el círculo de iluminacion menor que el círculo máximo de la esfera.

Si el cuerpo luminoso fuese mayor que el opaco (*fig.* 107) tirariamos las tangentes AF y CF, lo que nos produciria un cono S de sombra, cuya base seria un círculo menor de la esfera opaca, siendo mayor de un hemisferio la parte alumbrada, y teniendo el cono una altura que depende de la magnitud y distancia respectiva entre ambos cuerpos. La penumbra se determinaria como en los casos anteriores, produciendo un cono truncado como en la figura se presenta.

Este caso tiene aplicacion para darse cuenta de la produccion de los eclipses, pues que tanto la tierra como la luna, siendo menores que el sol, dan lugar á conos de sombra, de altura que varía con la distancia. Cuando la luna en su revolucion alrededor de la tierra entra en la sombra ó penumbra de ésta, se oscurece ó eclipsa total ó parcialmente; y cuando el cono de sombra de la luna llega á tocar á la tierra, ésta se eclipsa, aunque se acostumbra á decir que se eclipsa el sol. Sabemos que no en todas las revoluciones se verifica el eclipse, en razon á la inclinacion respectiva de los planos de las órbitas de cada cuerpo.

LECCION LX.

Leyes de la reflexion de la luz.—Aplicacion á los espejos planos.

231. Los cuerpos solo son visibles cuando son luminosos por sí mismos, ó cuando rechazan ó reflejan la luz que llega á su superficie. La reflexion de la luz tiene lugar como la del calor formando *el ángulo de reflexion igual al de incidencia*, lo cual se prueba dejando entrar un rayo solar por un pequeño agujero practicado en la ventana de un cuarto oscuro y recibiéndole sobre una superficie plana y muy bien pulimentada, en cuyo caso el rayo marcará distintamente la direccion en que llega y en que es rechazado, y será fácil medir los ángulos por medio de un semicírculo dividido.

La reflexion de la luz se presenta con toda regularidad en los cuerpos bien pulimentados, en los cuales las imágenes se reproducen, y por lo que se les da el nombre de *espejos*. En los cuerpos no pulimentados la luz se refleja todavia con regularidad, pero como se hallan llenos de asperezas que son otros tantos planos con toda clase de inclinaciones, la luz se dispersa por consiguiente, habiendo dado, aunque impropiamente á este fenómeno, el nombre de *reflexion irregular*. Siendo os cuerpos pulimentados los que nos han de servir para espejos, se presentan en

primer lugar los líquidos, cuyo pulimento es superior á cuanto las artes pueden producir en los sólidos; mas los líquidos presentan el inconveniente de ser en general trasparentes, lo que produce una gran pérdida de luz para la reflexion: razon por la que se ha dado la preferencia al mercurio, que reune la opacidad al buen pulimento que su estado líquido le proporciona; éste cuerpo es, el que fijo por una lámina de estaño, se aplica sobre un vidrio, y constituye nuestros espejos comunes. Tambien se hacen puramente metálicos; los cuales son preferibles en algunos casos que mas adelante examinaremos.

232. En los espejos planos la imágen es simétrica respecto del objeto, y aparece ó se pinta detrás del espejo á una distancia igual á la que delante tiene el objeto. Sea para esto el espejo AB (*fig.* 108) y examinemos el sitio en que debe aparecer la imágen del punto D, el cual emitiendo rayos de luz, sea propia ó reflejada, en todas direcciones, nos producirá uno tal como DC, el cual deberá reflejarse en la direccion CE, haciendo el ángulo de reflexion FCE igual al de incidencia DCF; el observador en E referirá la posicion del punto D, á la prolongacion de la línea EC, en que percibe la impreson; así es, que le verá en un punto de la línea CG; mas como la imágen de un cuerpo resulta de proyectarle sobre el espejo prolongando las líneas correspondientes, y por otra parte el punto D no puede tener ó hallarse en dos posiciones al mismo tiempo, necesariamente ha de estar situado en la prolongacion de la línea BG, y debiendo por lo que va dicho hallarse sobre CG, se encontrará por precision en el punto de interseccion G. Ahora, los dos triángulos CDB y CBG son iguales por tener el lado CB comun, los ángulos en B iguales por rectos, y el ángulo DCB del uno igual al BCG del otro, por serlo ambos del ACE, el primero por ángulos de incidencia y de reflexion, y el segundo por opuesto al vértice; luego los triángulos son iguales, y darán DB=BG, lo que nos dice que la imágen se pinta detrás del espejo á la misma distancia que el objeto se halla delante.

Esto explica por que un objeto horizontal en presencia de un espejo plano inclinado de 45° aparece vertical, pues que debiendo presentarse formando detrás un ángulo tambien de 45°, se contará uno de 90° entre el objeto y la imágen, cuyos dos puntos se verán en general bajo un ángulo doble del que el espejo forme con ellos.

Si colocamos dos espejos formando ángulo, y un objeto cualquiera dentro del mismo, la imágen no solo aparece detrás de cada espejo, sino que cada una de ellas sirve de objeto para el otro; así es que las imágenes se multiplican apareciendo tantas como perpendiculares puedan tirarse desde el objeto á cada uno de los espejos, y desde cada imágen al otro ó á su prolongacion. De aquí resulta que cuando los espejos son paralelos, el número de imágenes debe ser infinito, puesto que siempre serán posibles las perpendiculares; sin embargo, el número, aunque muy considerable, no llega á ser indefinido, á causa de la pérdida de luz que se esperimenta en estas reflexiones sucesivas.

El *kaleidóscopo*, llamado tambien *trasfigurador*, es una curiosa aplicacion de lo expuesto acerca de los espejos que forman ángulo. Se compone de un tubo de

carton ó de hoja de lata, dentro del cual hay dos tiras de espejo inclinadas, formando un ángulo de 60°; en uno de los extremos lleva varios trozos pequeños de vidrio de diferentes colores, y mirando por el extremo opuesto, haciendo al mismo tiempo girar el aparato sobre su eje, se van presentando figuras variadas hasta lo infinito, procedentes de la reproduccion de las imágenes sobre los espejos, y de la diferente posicion que va tomando el vértice del ángulo formado por los mismos, á medida que el aparato va girando.

Los espejos prismáticos y piramidales son espejos planos, para los cuales se hacen dibujos á propósito con figuras interrumpidas, que reciben el nombre de *anamorfosis*, y que se regularizan sobre los espejos en cuestion. Esta clase de espejos no tiene aplicaciones de importancia, si ya no lo es el trazado de las figuras considerado como ejercicio de dibujo.

LECCION LXI.

Reflexion de la luz sobre superficies curvas.—Determinacion gráfica y experimental de los focos.

233. La luz se refleja sobre superficies curvas siguiendo la misma ley, es decir, formando el ángulo de reflexion igual al de incidencia. Entre las diversas curvas que pueden considararse, nos fijaremos principalmente en la circular, que da orígen á los espejos esféricos, ya cóncavos ó ya convexos, los cuales nos servirán de tipo para todos los demas.

Sea AB (*fig.* 109) un espejo cóncavo esférico, del cual llamamos eje principal una recta ED que pase por el centro C y por el vértice E de la curva; supongamos un cuerpo luminoso situado á una distancia infinita para que los rayos de luz que procedentes del mismo llegan al espejo puedan ser considerados como paralelos: como lo serán los del sol, cuya distancia puede ser considerada como infinita comparada con la pequeña abertura del espejo: haciendo que el eje del espejo pase por el centro del astro, los rayos paralelos que consideramos lo serán tambien al eje de que tratamos; y un rayo NM se reflejará formando el ángulo FMC de reflexion igual al NMC de incidencia, y cortará al eje en un punto F, en el cual se reunirán sensiblemente todos los rayos paralelos, pues que se reflejarán del mismo modo y formarán ángulos iguales; este punto por lo mismo ha recibido el nombre *de foco principal* ó *foco de rayos paralelos*. Este punto se halla situado á la mitad del rádio EC, porque el triángulo CFM es isóceles por ser sus ángulos CMF y MCF iguales, por serlo ambos al NMC, el primero por la ley general de la reflexion, y el segundo por alternos internos entre ED y MN, siendo la secante MC; de donde resulta el lado FC=MF, y si consideramos que el arco EM sea muy pequeño, MF se confundirá sensiblemente con EF, y será entonces EF=FC, es decir, que F se hallará á la mitad del rádio EC. De aquí resulta un medio muy sencillo de conocer el rádio de un espejo cóncavo esférico, pues que no habrá mas

que colocarle delante del sol, de modo que el eje principal pase por el centro del astro; y como los rayos de luz en este caso pueden mirarse como paralelos, recibiéndolos despues de reflejados sobre un carton blanco ó un vidrio sin pulimento, el foco será el punto en que la imágen se presente mas brillante y mas pequeña, y como ésta será la distancia focal principal, duplicándola se tendrá el rádio buscado. En este punto se reunen los rayos de calor del mismo modo que los luminosos, de modo que el foco es uno mismo en ambos casos.

Vemos, pues, que los rayos paralelos se reunen en un foco delante del espejo, en cuyo punto se formarà la imágen aérea que nos reproducirá el objeto, que ocupará una porcion del espacio, y por consiguiente será extensa, pero no habrá impenetrabilidad, puesto que falta la materia. El foco no es nunca un punto único porque si ásí fuese, no se formaria imágen, y cualquiera que fuese la magnitud del objeto solo daria lugar en todos los casos á un solo punto luminoso; mas como cada uno de los puntos del objeto da lugar á un foco particular, la reunion de todos estos constituyen la formacion de la imágen que resulta del cruzamiento de los rayos, los cuales engendran curvas que se llaman *catacáusticas* ó *cáusticas por reflexion*. Ahora se comprenderá bien cuanto acerca de los espejos y sus focos se expuso al ocuparnos de los fenómenos de la radiacion del calor.

234. Si el objeto se acerca al espejo y se encuentra, v. g. en P, (*fig.* 110) siendo el ángulo de incidencia menor que en el caso del paralelismo, tambien será menor el de reflexion, y por lo mismo el rayo reflejado cortará al eje en P′ en un punto situado entre el centro C y el foco principal F, cuyo punto P′ es el foco correspondiente al punto P. Si el objeto se va acercando aun mas, aproximándose al centro, el foco P′ se aproximará tambien, y cuando el cuerpo haya llegado al centro C, los rayos luminosos se reflejarán sobre sí mismos, de modo que el objeto y la imágen se confundirán. Debemos observar que en tanto que el objeto ha venido desde el infinito hasta el centro, el foco solo ha recorrido la mitad del rádio, esto es, desde el foco principal F al centro C.

Si el cuerpo que consideramos continúa aun adelantándose, irá pasando por todos los puntos entre C y F, en que anteriormente se presentaba la imágen, los ángulos que eran de reflexion serán ahora de incidencia, y al contrario, de forma que situado el cuerpo en P′, la imágen se presentará en el foco correspondiente P, y cuando el cuerpo llegue á F, los rayos saldrán sensiblemente paralelos. Esto nos dice que el punto en que se coloca el objeto y aquel en que aparece la imágen son recíprocos; así es que reciben el nombre de *focos conjugados*.

Produciéndose un cruzamiento de rayos en el foco, las imágenes se presentarán invertidas, siendo mas pequeñas que el objeto cuando el foco se halle entre el centro y el foco principal, y presentándose aumentadas cuando se halla la imágen situada entre el centro y el infinito.

Supongamos (*fig.* 111) el cuerpo situado entre el foco principal F y el espejo; el ángulo de incidencia PQC, siendo mayor que el FQC, que producia un rayo reflejado paralelo al eje, debe producir un ángulo de reflexion mayor, y por lo tanto el rayo reflejado QB será divergente, y no pudiendo encontrar al eje delante del espejo,

le cortará su prolongacion geométrica en P′ detrás del mismo, y en este punto, que se domina *foco virtual*, es donde el observador verá la imágen, puesto que la refiere siempre á la prolongacion de la línea que hiere inmediatamente el órgano de la vision. Esta imágen se presentará derecha en razon á no haber cruzamiento real de rayos, y se verá amplificada por la mayor extension superficial que su proyeccion abraza sobre el espejo. Si el objeto P se acerca aun mas al espejo, el rayo reflejado será aun mas divergente, y por consiguiente el foco virtual P′ se irá acercando por la parte posterior del mismo, hasta que el cuerpo se halle en A, en donde se tocarán la imágen y el objeto.

Imaginemos que el cuerpo pasa al otro lado del espejo y se sitúa en P′; entonces el espejo cóncavo pasa á ser convexo, el ángulo de incidencia es P′QC′ y el de reflexion el C′QP′, siendo P el foco virtual correspondiente. En estos espejos los rayos reflejados son siempre divergentes, por lo que nunca presentan foco real; la imágen por lo tanto aparece detras del espejo, y se ve mas pequeña que el objeto por la divergencia que resulta en la direccion de los rayos.

Hemos supuesto que el objeto se mueve sobre el eje principal; pero sucederia exactamente lo mismo si se moviese en la direccion de cualquier otra línea que pasase por el centro y llegase al espejo, cuya línea seria lo que llamamos *eje secundario*.

Los espejos convexos carecen de aplicaciones útiles para la ciencia; pero no así los cóncavos, que se emplean para dirigir la luz sobre un punto dado, ó para reducirla al paralelismo; siendo para esto preferibles los espejos parabólicos á los esféricos. Los espejos cilíndricos convexos y los cónicos son planos en el sentido de la generatriz y convexos en las demas direcciones; de donde resultan las imágenes desfiguradas, sucediendo lo mismo con los cilíndricos cóncavos: para todos ellos se construyen anamórfosis correspondientes que se regularizan en la reflexion.

LECCION LXII.

Ley de la refraccion de la luz.—Consideraciones y aplicaciones á los medios terminados por superficies planas.

235. La luz sufre modificaciones al atravesar los cuerpos trasparentes que, consideradas respecto al desvío que experimenta en su direccion, constituyen lo que llamamos *refraccion*. Los rayos de luz se refractan ó desvian de su direccion al pasar de un cuerpo á otro cuando lo verifican en direcciones oblícuas; pero no sufren separacion alguna de su direccion primitiva, cuando la direccion en que penetran es perpendicular. Para convencernos del desvío de que tratamos, se puede verificar un experimento, que consiste en echar una moneda ú otro objeto bien limpio en una vasija no trasparente, en colocarse el observador de manera que la pared del vaso le oculte la moneda, y en este estado, echando agua en la vasija, la moneda aparece y se la ve mas elevada, lo cual proviene de que los rayos que ella enviaba y pasaban por encima del observador, ahora, separándose y doblándose, por

decirlo así, llegan á herir el órgano de la vision, y por lo tanto el objeto aparece y se le cree mas próximo á la superficie del líquido.

La observacion y la experiencia dan que, en general, cuando la luz pasa de un cuerpo ó *intermedio* á otro mas denso, se refracta acercándose á la perpendicular tirada en el punto de inmersion; y cuando atraviesa de un cuerpo mas á otro menos denso, se refracta separándose de la misma perpendicular. Así un rayo de luz FC (*fig.* 112) que cae oblícuamente sobre la superficie AB de un cuerpo trasparente, mas denso que aquel en que primitivamente se movia, no sigue la direccion CH prolongacion de la primera, sino que se refracta acercándose á la perpendicular DE, siguiendo la direccion CI y formando un ángulo de refraccion ECI, menor que el de incidencia DCF. Si la luz pasase del medio mas denso a menos denso, el rayo incidente seria IC, el cual se desviaria siguiendo la direccion CF, separándose de la perpendicular y dando lugar á un ángulo de refraccion DCF, mayor que el de incidencia ECI.

Aunque hemos dicho que, en general, la luz se acerca ó se separa de la perpendicular, segun que los cuerpos son mas ó menos densos, no debe creerse por esto quo dada la densidad de un cuerpo está conocido el desvío que produce sobre la luz, así que, no pudiendo en rigor establecer relaciones entre estas dos propiedades, se denominan *cuerpos mas refringentes* aquellos en que la luz se acerca á la normal, y cuerpos *menos refringentes* aquellos en que se aleja de la misma. La desviacion en uno ú en otro sentido es constante para cada cuerpo, y á la relacion del seno del ángulo de incidencia con el seno del ángulo de refraccion es á lo que se llama *índice de refraccion*.

Supongamos un cuerpo terminado por dos superficies planas y paralelas (*fig.* 113), y un rayo de luz AB que llega oblícamente sobre una de las caras. Este rayo AB se refractará en B acercándose á la perpendicular, seguirá por dentro del cuerpo para refractarse nuevamente en C á la salida del mismo, alejándose ahora de la perpendicular en la direccion CD, paralela á la de incidencia AB en razon á la invariabilidad del índice de refraccion. Si el cuerpo considerado fuese menos refringente que el que le rodea, la desviacion tendria lugar aunque en sentido contrario, y el rádio emergente seria aun paralelo al incidente. La desviacion que la luz sufre en estos casos, nos manifiesta que la refraccion produce el efecto de presentar los cuerpos fuera de su verdadero lugar; así es que un cuerpo A será visto por un observador situado en D, en la prolongacion de la línea DC; esto es, en el punto E, presentándonos el cuerpo en el verdadero sitio que ocupa en el solo caso de ser los rayos de luz perpendiculares á las superficies de separacion. La desviacion mayor ó menor que se observa pende de varias causas, como son: la naturaleza del cuerpo que la luz atraviesa, el espesor del mismo, y la oblicuidad de los rayos luminosos; la naturaleza de la sustancia influye, puesto que el índice de refraccion es diferente para cada una, y en cuanto al espesor y la oblicuidad, la inspeccion de la figura nos releva de entrar en mayores detalles.

Si la luz atravesase cuerpos de refringencias diferentes, sufriria desviaciones tambien diferentes al penetrar en cada uno de ellos, cuyo fenómeno se verifica en

nuestra atmófera; pues que las capas de aire teniendo, como sabemos, diferentes densidades y por consiguiente diferentes poderes refringentes, la luz va sufriendo una refraccion tanto mayor cuanto las capas de aire se hallan mas próximas à la tierra; así es que se producirá una curva, por cuya tangente veremos el astro, y por consiguiente elevado respecto de su posicion verdadera, dejando solo de producirse este fenómeno cuando el cuerpo considerado se halle en el zenit. Por esta razon vemos al sol y á los demas cuerpos luminosos del espacio, antes de que se hallen sobre el horizonte, y tambien los percibimos despues de haber descendido bajo el plano horizontal en que nos hallamos; y esto explica tambien por que nos parecen mayores en el horizonte que en el zenit, pues que en el primer caso tienen que atravesar los rayos luminosos una mayor masa de aire y mas denso en su mayor parte, de forma que el efecto de la refraccion es mas sensible, y nos parece por tanto que los astros describen una curva achatada cóncava hácia la tierra. Este efecto de la refraccion se hace sentir tambien en la observacion de los objetos terrestres algo lejanos, y tanto mas cuanto su elevacion sea menor; razon por la que en las nivelaciones y demas operaciones análogas hay que introducir la correccion correspondiente.

236. Imaginemos ahora un cuerpo terminado por superficies planas inclinadas, que es lo que en óptica se denomina *prisma* en general. Sea para esto el cuerpo ABC (*fig.* 114), al cual llega un rayo DE de luz oblícuamente á una de sus caras; este rayo se refractará en E á la entrada del prisma, acercándose á la perpendicular, y se refractará nuevamente á la salida en F, alejándose de la perpendicular en este punto y siguiendo la direccion FH, desviándose ó alejándose del ángulo C que se denomina *ángulo refringente del prisma*: advirtiendo que no es privativo de este ángulo el tomar esta denominacion, la cual corresponde siempre *al formado por las dos caras que la luz atraviesa;* así es que en la figura quedaria el mismo, aun cuando la arista C desapareciese y el prisma en este punto adquiriese una forma cualquiera, siempre que los elementos E y F no cambien de posicion. Por lo dicho anteriormente se concibe con facilidad que si el prisma fuese de una sustancia menos refringente que la que le rodea, la desviacion de la luz seria al contrario, y en vez de alejarse se aproximaria al ángulo refringente.

La inspeccion de la figura nos dice que un observador en H verá el cuerpo D en el punto I muy separado de su posicion y mas próximo al ángulo refringente ó mas separado de la base, sin que pueda decirse que estará mas alto ó mas bajo, porque esto pende de la colocacion que se dé al prisma, ó mas principalmente al ángulo refringente del mismo.

LECCION LXIII.

Refraccion al través de los cuerpos terminados por superficies curvas.—Lentes.—Determinacion gráfica y experimental de los focos.

237. Las leyes de la refraccion se verifican del mismo modo cuando los cuerpos terminan en superficies planas que cuando terminan en superficies curva

y la direccion del rayo luminoso se obtiene en ambos casos por medio de iguales consideraciones. Si imaginamos un medio indefinido terminado por una superficie convexa (*fig.* 115), un rayo paralelo al eje se refractará en O, acercándose á la normal O C, y cortará el eje en un punto F, que será el foco principal; y si el objeto se aproxima y le suponemos en B, el ángulo de incidencia habrá crecido, y por consiguiente el de refraccion, é irá el rayo luminoso á encontrar al eje en un punto ó foco F′, mas distante del vértice A. Si aun continúa el objeto aproximándose, el foco se irá alejando, y llegará un caso que la colocacion del cuerpo determine un foco en el infinito, ó una direccion paralela en los rayos refractados; y si aun el cuerpo se acercase mas, los rayos saldrian divergentes y se daria lugar á un foco virtual.

Supongamos el cuerpo terminado por una superficie cóncava (*fig.* 116) y un rayo paralelo al eje se refractará en O, acercándose á la normal y tomando la direccion divergente O D, lo que producirá el foco virtual F. Si el cuerpo se acerca à la superficie, los rayos refractados se harán cada vez mas divergentes, y por consiguiente nunca se presentará un foco real.

Las superficies convexas vemos que producen la convergencia de los rayos, á menos que el objeto no se halle colocado á una distancia igual ó menor que la distancia focal principal, y las superficies cóncavas dan lugar siempre á la divergencia de los rayos de luz, es decir, que el efecto producido por las superficies convexas es el de reunir los rayos luminosos, como en la reflexion lo verificaban las superficies cóncavas; y las cóncavas en este caso dispersan la luz, como en la reflexion lo verificaban las convexas. Si el medio indefinido que consideramos fuese de una sustancia menos refringente que el que le precede, la desviacion de a luz seria al contrario, y por lo mismo las superficies convexas la dispersarian y la reunirian las cóncavas.

Si el medio no es indefinido, sino terminado por otra superficie, sea plana ó curva, recibe entonces el nombre de *lente*, y puede ser convergente ó divergente, segun que la superficie ó superficies curvas sean convexas ó cóncavas. Las tres lentes (*fig.* 117) A, B, C, son convergentes, denominándose la A *bi-convexa*, *la* B *plano-convexa*, y la C *cavo-convexa ó menisque*, en la cual el rádio de curvatura de la parte convexa es menor que el de la parte cóncava; y las tres A′, B′, C′ (*fig.* 118) son divergentes, dándose el nombre de *bi-cóncava* á la A′, de *plano-cóncava* á la B′, y de *menisque divergente* á la C′, en la que el rádio de la parte cóncava es menor que el de la superficie convexa. Observaremos al mismo tiempo que las lentes convergentes son mas gruesas por su centro y adelgazan hasta los bordes; y al contrario las divergentes, que son mas delgadas por su centro que por los extremos.

238. La marcha de la luz al través de estos cuerpos no ofrece ninguna dificultad, entendido ya lo que sucede con los medios indefinidos. Sea para esto una lente bi-convexa A (*fig.* 119), en la que un rayo emanado de un cuerpo P, llega á O donde se refracta, acercándose á la normal C O, y continúa en la direccion O O′ hasta la salida en que se refracta nuevamente, alejándose de la normal C′ O′

y yendo à cortar el eje en F, que serà el foco y á donde se pintará la imágen. Si el objeto se àcerca, el foco se alejará y llegará al infinito, ó los rayos saldrán paralelos cuando el cuerpo se halle á la distancia focal principal, y si aun se acercase mas, los rayos saldrian divergentes y se daria lugar á la produccion de un foco virtual. Las lentes cóncavas serán siempre divergentes, y tendrán por consiguiente un foco virtual.

En las lentes, lo mismo que en los espejos, el foco no es un punto único, y la imágen resulta formada en los puntos en que se cruzan los diferentes rayos produciendo curvas, que son las *cáusticas por refraccion;* y presentàndose la imàgen invertida á causa del cruzamiento de los rayos luminosos.

Nada hay mas fácil que la determinacion del foco principal en las lentes convergentes, bastando situarlas delante del sol, cuyos rayos pueden ser mirados como paralelos y recibir la imàgen sobre un carton blanco ó un vidrio sin pulimento, y el foco buscado serà el punto en que esta imágen se presente mas pequeña y mas brillante.

Puesto que en las lentes convergentes se puede hacer que los rayos luminosos se reunan en un punto ó salgan paralelos, se concibe muy bien que pueden reemplazar à los espejos cóncavos en todos los casos en que el uso de éstos sea necesario, y aun los reemplazarán con ventaja en razon à haber menos pérdida de luz en este caso que en el anterior.

LECCION LXIV.

Determinacion del índice de refraccion en los cuerpos sólidos, líquidos y gases.—Reflexion total.—Espejismo.

239. Para determinar el índice de refraccion de los cuerpos, no habrá mas que medir el àngulo de incidencia y el de refraccion, conocidos los cuales hallaremos los senos y estableceremos la relacion. Tratàndose de los sólidos, será necesario formar un prisma con la sustancia que se haya de examinar, y conocer el ángulo refringente del mismo; se le colocará de modo (*fig.* 120) que un rayo de luz D llegue perpendicularmente á la cara AC, en la que por lo tanto no sufrirá ningun desvío; al salir por la CB se refractará alejándose de la normal y siguiendo la direccion FH, cuyo punto H se marcará en una mira, así como el punto I que corresponde á la prolongacion del rayo incidente, tenemos con ésto cuanto necesitamos para resolver la cuestion, pues el ángulo de incidencia sobre la superficie C B es igual al ángulo refringente del prisma por tener los lados perpendiculares, y el de refraccion se compone de dos, que son el IFK. igual al de incidencia por opuesto al vértice, y el IFH que nos será fácil determinar, pues que en el triángulo HFI conocemos los dos catetos. Esta relacion es verdad que será para el paso de la luz del sòlido al aire, pero servirá para el caso contrario, puesto que entonces será ángulo de incidencia el que antes lo era de refraccion, y al contrario.

Para determinar el índice de refraccion en los líquidos, hay que construir un vaso prismático con láminas de vidrio para formar el prisma líquido que necesitamos, y en seguida se emplea el mismo procedimiento anterior. Es necesario cuidar de que las làminas de vidrio tengan poco espesor, y sobre todo que las dos caras de cada una sean perfectamente planas y paralelas, porque en otro caso constituirian un prisma de vidrio que alteraria completamente las condiciones necesarias para la resolucion de la cuestion buscada. Hay que tener tambien en cuenta la temperatura, pues que el calor, variando la densidad de los cuerpos, hace variar tambien su refrangibilidad.

Para verificar igual investigacion con los gases, es necesario un prisma que presente un àngulo refringente considerable, atendida la poca refrangibilidad de estos cuerpos; y para disponerle se toma un tubo de vidrio de bastante calibre, se le dan dos secciones inclinadas, que constituirán el àngulo refringente, y se las cierra con dos planchas de vidrio bien planas y con sus caras perfectamente paralelas; en esta averiguacion hay que hacer el vacío en el prisma para introducir el gas, y tener en cuenta la temperatura y la presion.

240. Explicados ya los fenómenos de reflexion y refraccion de la luz, así como el modo de determinar el índice de refraccion de los cuerpos, necesitamos antes de pasar adelante dar la explicacion del fenómeno que se produce cuando *la refraccion se cambia en reflexion.* Al pasar la luz de un medio mas refringente á otro menos, se refracta como sabemos, alejàndose de la perpendicular tirada en el punto de inmersion, de modo que un rayo DC (*fig.* 121) seguirá la direccion CE; si el ángulo de incidencia aumenta siendo el rayo D′C, aumentará el de refraccion, y el rayo correspondiente será CE′: como el ángulo de refraccion es en este caso mayor que el de incidencia, será el que llegue antes à valer 90°, es decir, que para un rayo incidente D″C, el rayo refractado se confundirá con la superficie CB, formando un ángulo recto, y si aun crece el ángulo de incidencia llegando el rayo con la inclinacion D‴C, crecerá tambien el de refraccion, el cual pasando ya en este caso de 90°, no penetrará en el cuerpo, tomando la direccion CE‴, y convirtiéndose en reflejado formando el ángulo FCD‴ igual al FCE‴. El ángulo de incidencia FCD″ que ha producido uno de refraccion de 90°, es el que se denomina *ángulo límite*, el cual es diferente para cada cuerpo, y el fenómeno en general se llama de la *reflexion total*, porque efectivamente la luz se refleja de esta manera.

Este fenómeno se produce en grande escala en el bajo Egipto, dando lugar al conocido con el nombre de *espejismo.* En el centro de un dia sereno y en ausencia de todo viento horizontal, brillando el sol con fuerza, aparece toda la llanura como recubierta por una inundacion general, el azul de la atmósfera se reproduce hasta el horizonte, y los objetos elevados, tales como edificios ó palmeras, se ven invertidos del mismo modo que se verian en la superficie de un lago tranquilo; esta inundacion termina á alguna distancia del observador, hallándose éste en el centro de una isla circular, que pudiéramos decir se mueve con él mismo, puesto que á medida que avanza, la inundacion se retira, manteniéndose siempre á una mis-

ma distancia. La ilusion sin embargo es completísima, presentándose una fluctuacion ó vaguedad en los contornos de los objetos, tal como se verifica cuando estos se reproducen en superficies líquidas de gran extension.

La explicacion del fenómeno no presenta ninguna dificultad: sabemos que el aire calentado por los rayos solares directos y reflejados sobre la tierra, así como por el calor que produce ésta, se eleva á las regiones altas de la atmósfera, siendo reemplazado por otro mas frio que se eleva á su vez, y así continuando. Este fenómeno, que se verifica en todas partes, no da lugar á la produccion del espejismo; porque las capas inferiores tardan en adquirir la menor densidad que la dilatacion produce, y en virtud de la cual se elevan; pero si el calentamiento del suelo es tal que la capa que reemplaza á la que se eleva adquiere instantáneamente la disminucion de densidad necesaria para elevarse, la renovacion será tan rápida que el efecto será el mismo que si una capa de aire de menor densidad que las demas se hallase fija en contacto con el suelo; los rayos de luz por consiguiente tienen que pasar de una capa mas densa á otra menos, y llegarán de los objetos distantes con la inclinacion suficiente para formar el ángulo límite, que será donde termine para el observador la inundacion, y otros que, produciendo la reflexion total, presentarán los objetos invertidos y completarán la ilusion.

Como la duracion de la impresion en el ojo humano es de $\frac{1''}{10}$, no se necesita que la renovacion de las capas sea instantánea, bastando solo que no exceda del tiempo que dura la impresion; y efectivamente se verifica de este modo, como lo prueba la fluctuacion de los contornos de las imágenes que tan poderosamente ayuda à completar el fenómeno. El espejismo se ha observado tambien en el mar, en donde para la menor densidad de la capa inferior contribuye notablemente la evaporacion, pues ya sabemos que el aire cargado de vapor es menos denso.

La reflexion total puede explicarnos la multiplicidad de imágenes en un espejo comun. Al caer un rayo de luz D sobre un espejo AB (*fig.* 122) parte se refleja en la superficie del vidrio produciendo una imágen, y parte penetra refractándose, y se refleja sobre la superficie metálica que por la parte posterior le recubre; al presentarse á la salida, una parte se refracta y sigue la direccion F, dando lugar á una imágen en su prolongacion; y otra parte sufre la reflexion total y retrocede para reflejarse nuevamente sobre el metal y presentarse á la salida en I, donde una parte sigue la direccion IH, produciendo una imágen en la prolongacion HI, y otra sufre la reflexion total para seguir produciendo los mismos fenómenos. El número de imágenes no es infinito por las pérdidas que la luz sufre en las refracciones sucesivas, pero siempre se logra ver dos ó tres colocándose con mucha oblicuidad, y aun se consigue ver mayor número si el espesor del vidrio es algo considerable. Esta propiedad ningun inconveniente presenta en el uso doméstico y ordinario, pero le produciria muy grave en las observaciones astronómicas; razon por la cual se emplean en este caso espejos metálicos que, no teniendo mas que una superficie, nunca dan lugar á la formacion de mas de una imágen.

Para observar estos fenómenos es conveniente emplear un cuerpo brillante, tal como la llama de una bujía, y colocarse con gran oblicuidad. Esto explica el fenómeno curioso que tiene lugar al mirar con oblicuidad un objeto en un espejo cóncavo comun; estos espejos suelen ser lentes plano-convexas, azogadas por la parte curva, de modo que el metal forma efectivamente un espejo cóncavo, pero tiene delante un vidrio de espesor diferente en cada una de sus partes y con la superficie anterior plana; de aquí resultan imágenes derechas é imágenes invertidas, imágenes regulares y ordidarias é imágenes amplificadas, lo que produce una confusion aparente que no deja de ofrecer novedad.

LECCION LXV.

Descomposicion y recomposicion de la luz.—Colores complementarios.—Diversidad de espectros en la descomposicion.

241. Al ocuparnos de la refraccion de la luz al través de cuerpos terminados por superficies planas ó inclinadas, ó sean los prismas, solo hemos estudiado la desviacion que sufre el rayo luminoso; pero ademas de ésta tiene lugar una dispersion que se verifica descomponiéndose el rayo en otros diversamente coloreados. Si imaginamos un prisma (*fig.* 123) ABC, sobre el cual caiga un rayo luminoso F, éste se refractará en I, y no solamente se alejará del ángulo refringente, sino que se descompondrá en otros divergentes, que producirán sobre un plano una imágen comprendida entre dos líneas paralelas y terminada por dos semicírculos, compuesta de siete bandas teñidas de diferentes colores. Empezando á contar por la parte mas próxima al ángulo refringente del prisma, los colores son *rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta;* y no están separados por una línea precisa y bien marcada, sino que se hallan, pudiéramos decir, desleidos unos en otros en el paraje de su union, no ocupando tampoco una extension igual cada uno de ellos en esta banda coloreada que se llama *espectro solar.*

Pudiera sospecharse que los colores son únicamente tres, el encarnado, el amarillo y el azul; puesto que en las artes se obtiene el color anaranjado por la reunion del encarnado y amarillo, y precisamente en el espectro aquel color se halla en medio de éstos, lo que parece indicar que resulta de la superposicion de los rayos extremos de ambos: del mismo modo el verde, que se halla entre el amarillo y el azul, se obtiene en las artes por la reunion de éstos: y aun el violeta, si imaginamos otro espectro que tenga principio donde éste acaba, se hallará entre el añil y el encarnado, que son los que pueden producirle. Nada mas fácil que salir de dudas respecto à este punto; para lo cual se hace caer el espectro sobre una tabla con pequeños agujeros convenientemente dispuestos, de modo que puedan descubrirse ó no, segun la necesidad, y se dispone de modo que el rayo verde, v. gr., caiga sobre uno de los agujeros, con lo cual tendremos un rayo de este color separado ó *aislado* de los demas: este rayo se hace llegar à un nuevo prisma en el cual se refracta, pero no sufre ninguna descomposicion. Si en seguida hacemos pasar dos rayos, uno amarillo y otro azul, y los reunimos por medio de una lente con-

vergente, nos darà el color verde en el punto en que se reunan; pero este color verde serà descompuesto en los dos que le han producido si el rayo atraviesa otro prisma; por consiguiente, los colores son siete, son simples é inalterables. Lo que pudiera mejor sostenerse, y aun es útil en algunas circunstancias considerarlo de este modo, es la cantidad infinita de colores diferentes, para lo que es necesario considerar el espectro dividido en filetes, y cada uno de ellos como un color especial.

El espectro se produce con el mismo número de colores y situados en el mismo órden, cualquiera que sea el orígen de la luz; pero con la producida por el sol, no solamente es mas brillante sino mas fácil de ejecutar, no habiendo mas que hacer que practicar una pequeña abertura en la ventana, dejar el aposento á oscuras, y por medio de un espejo colocado en lo exterior dirigir el rayo solar por la abertura y colocar el prisma en su tránsito.

242. Para completar tanto el experimento como la teoría, es necesario buscar medios de reunir la luz dispersada, y ver si en este caso se reproduce la luz blanca que fué la que llegó á la primera cara del prisma. El objeto se consigue por me dio de una lente convexa, ó empleando un espejo cóncavo, y en el foco de uno ú otra veremos aparecer la luz blanca. De aquí resulta que el blanco y el negro no son colores, siendo el primero el resultado de la reunion de todos ellos, y el segundo siendo solo la carencia de color. Nos dicen tambien estos experimentos que los colores residen exclusivamente en la luz, y que los cuerpos considerados bajo este aspecto solo poseen la propiedad de reflejar ó refractar igualmente todos los colores, en cuyo caso los veremos blancos, ó de ser impresionables por uno ó mas colores y no por los restantes, produciendo entonces los matices diversos que todos admiramos.

Llamamos *colores complementarios* à los que reunidos forman el blanco; así es que cada uno de los siete colores es complementario de la tinta que resulta de la reunion de los seis restantes, y recíprocamente; y la tinta producida por la reunion de tres cualesquiera de los colores, serà complementaria de la que resulte de la reunion de los otros cuatro.

243. La descomposicion de la luz prueba que se halla este fluido compuesto de rayos diferentemente refrangibles, pues de no ser de este modo no se ve razon alguna para que la dispersion se presentase; el rayo menos refrangible es el encarnado ó rojo, que es el que menos se separa del ángulo refringente; y el mas refrangible es el violeta ó violado, que es el que mas se acerca à la base del prisma.

El espectro no se halla igualmente alumbrado en todas sus partes, y aunque la carencia de un buen fotómetro dificulta no poco esta investigacion, el paraje mas alumbrado ó en donde reside el maximum de luz es en el amarillo y el verde, es decir, en el centro del espectro.

El calor que acompaña á la luz solar ha sido objeto de reiteradas observaciones para ver si sufría dispersion, y en este caso cómo se distribuía en los diferentes colores; para lo cual no hay mas que servirse de termómetros muy sensibles y colocarlos en los diferentes colores del espectro. Empleando este procedimiento se

ha visto que la dispersion se verifica, y que hay un maximum de calor que corresponde al rayo rojo; pero despues de los experimentos de Melloni, de que nos hemos ocupado en lugar oportuno, y que han producido el estudio de la diatermancia, el maximum obtenido en el *espectro calorífico* se ha visto que varía de colocacion con la naturaleza de la sustancia de que el prisma se halle formado.

Tambien se ha hallado un *espectro químico* observando la accion de los diferentes rayos sobre las combinaciones del cloro, señaladamente en el cloruro de plata. Esta sustancia se altera y se ennegrece por la accion de la luz, y se ha visto que lo verifica en todos los colores; pero que su maximum de accion reside en el violado, que es donde se altera con mas rapidez.

Tambien se ha pretendido la existencia de un *espectro magnético*, cuyo maximum se fijaba igualmente en los rayos violados; pero no lo han comprobado los experimentos hasta ahora.

Hemos dicho que cualquiera que sea el orígen de la luz, el espectro se producía del mismo modo; mas sin embargo, debemos á Frauenhofer la averiguacion y descubrimiento de unas fajas alternativamente oscuras y brillantes en el espectro, que aparecen sin órden sensible al parecer, pero que se presentan siempre del mismo modo; y cuya colocacion varía cuando en vez de la luz solar se emplea la de las estrellas, la luz eléctrica, la de una lámpara de alcohol etc.

LECCION LXVI.

Acromatismo presentado experimentalmente.—Aplicaciones.—Arco iris.

244. Llamamos *acromatismo* la propiedad que la luz adquiere atravesando espesores diferentes de sustancias convenientemente dispuestas para sufrir la desviacion correspondiente sin descomponerse ni presentar otro color que el blanco. Por mucho tiempo se habia admitido la imposibilidad de verificar este fenómeno, pero se demostró que el acromatismo podia existir, empleando un medio que con ligeras modificaciones es el mismo de que en el dia nos servimos. Si colocamos al paso de un haz de luz blanca un prisma ordinario de vidrio, y á continuacion otro de líquido incoloro, que consiste en una caja de vidrios en la que una de las caras puede moverse y variar la inclinacion, el rayo luminoso se descompondrá; pero haciendo variar la inclinacion de la cara móvil, ó lo que es lo mismo, el ángulo refringente del prisma líquido, se llega á una posicion en que la luz se desvía sin sufrir descomposicion.

Este procedimiento nos dice el camino que deberemos seguir para *acromatizar* los prismas, que será servirse de dos, colocarlos de modo que los ángulos refringentes estén invertidos, y disponerlos de sustancias diferentes, y ademas que el valor de los ángulos sea distinto, dependiendo éste de las potencias refractivas de las sustancias empleadas. Los cuerpos empleados en la confeccion de estos prismas son el vidrio ordinario y el vidrio fino de espejos, disponiéndolos de modo

que se toquen y ajusten ambos prismas por una de sus caras, que podremos considerar como comun para ambos. Empleando solos dos prismas no puede en rigor acromatizarse mas que dos solos rayos, y se eligen para esto los verdes y los anaranjados, porque su intensidad es mayor que la de todos los demas; si empleásemos siete prismas, como seria necesario para acromatizar los siete colores, ademas de las dificultades en la disposicion de los ángulos refringentes, la pérdida de luz seria demasiado considerable.

Las lentes son verdaderos prismas en óptica, y por lo mismo la luz se descompone al atravesarlas como debe suceder, puesto que recorre espesores diferentes; de aquí la necesidad de acromatizarlas, lo que se consigue por el mismo procedimiento que á los prismas, empleando dos lentes, una cóncava y otra convexa, construidas de las mismas sustancias que dejamos mas arriba expuestas; lo que produce siempre una lente cavo-convexa, que será convergente ó divergente segun las curvaturas que se hayan empleado.

El acromatismo de las lentes es de una importancia suma en la construccion de todos los instrumentos de óptica, pues sin esta circunstancia las imágenes aparecerian siempre rodeadas de una aureola teñida con los colores del espectro, lo que no solamente produciria mal efecto, sino que imposibilitaria todas las observaciones en que fuese necesaria una regular exactitud.

245. El *arco iris* resulta de la descomposicion de la luz que atraviesa las gotas líquidas de una nube que se resuelve en lluvia. Para que sea perceptible es necesario que el sol no tenga gran altura sobre el horizonte, y que el observador se halle de espaldas á este astro; cumplidas estas condiciones, nada mas fácil que darse cuenta de la produccion del fenómeno. Sea para esto una gota ABC (*fig.* (124). é imaginemos un rayo solar SA, el cual se refractará á la entrada de la gota siguiendo la direccion AC; en este punto C una parte se refractará saliendo de la gota y siendo perdida para el observador, y otra parte sufrirá la reflexion total y se dirigirá á B, donde verificándose lo mismo, la parte reflejada será perdida para el observador y la refractada en la direccion BO llegará á herir el órgano de la vision. Estas reflexiones y refracciones sucesivas, verificadas sobre espesores diferentes de líquido, producen la descomposicion de la luz; y si bien es cierto que en cada una de las gotas se da lugar á un espectro completo, tambien lo es que para el observador no puede haber mas rayos eficaces que un solo pincel en cada gota, de forma que él solo descubre un color en cada una, y se forma el espectro por la reunion de los filetes diversamente coloreados y procedentes de diferentes gotas.

El efecto es el mismo que notamos al través de la pedreria de una araña, en que cada uno de los vidrios tallados que la forman nos presenta un color particular, color que cambia en cada uno sin mas que variar de posicion respecto al observador. En el fenómeno del arco iris es verdad que las gotas se renuevan sin cesar; pero verificándose esta renovacion con rapidez suma, el efecto para el observador es el mismo que si se hallasen en una posicion constante y fija. El arco se nos presenta en esta forma porque es la base de un cono, cuya cúspide se encuentra en el ojo del observador, cortado por un plano secante que es el del horizonte.

Frecuentemente se ven dos arcos, de los que el segundo tiene los colores invertidos y menos brillantes, el cual proviene de gotas tales como ABCD (*fig.* 125), en que la luz eficaz es la que llega por la parte A segun la direccion SA, sufre una reflexion en B y otra en C en lo interior de la gota, y se refracta en D siguiendo la DO para dirigirse al ojo del observador. El cruzamiento de los rayos luminosos en I explica la inversion del espectro, y el mayor número de reflexiones y refracciones sucesivas la debilitacion de la luz. Vemos que el primer arco proviene de una reflexion interior, el segundo de dos, y se concibe muy bien la existencia de un tercero, un cuarto etc., procedentes de un igual número de reflexiones; pero la pérdida que necesariamente sufre la luz en todas estas modificaciones, hace que rara vez se presente el tercer arco, y nunca los siguientes. Alguna vez se observa el arco lunario, que no debe confundirse con los halos ó coronas, cuya explicacion es enteramente diferente, y para la cual hay que suponer agujas prismáticas de hielo en la atmósfera con ángulos determinados.

LECCION LXVII.

Ideas generales acerca de la doble refraccion y polarizacion de la luz.

246. Ademas de los fenómenos estudiados, la luz sufre modificaciones singulares cuando atraviesa varios cuerpos cristalizados, entre los que se distingue el *espato de Islandia*, al través de cuyos cristales romboédricos la luz se divide presentando dos imágenes de un mismo objeto. Para que esto suceda es necesario que uno de los rayos en que la luz se divide esté sujeto á leyes especiales, ó lo que es lo mismo, que el índice de refraccion sea diferente; y de aquí la denominacion de *rayo ordinario* y de *rayo estraordinario* dada á cada uno de los considerados, y la de *imágen ordinaria*, é *imágen extraordinaria* á las producidas por cada uno de aquellos.

Existe sin embargo una direccion en que la luz no se divide, y es cuando atraviesa el cristal paralelamente al eje, que es la línea que une los ángulos triedros obtusos; en todas las demas posiciones se presentan siempre dos imágenes. Si colocamos dos cristales superpuestos, se presentarán dos ó cuatro imágenes segun la posicion relativa de los ejes y de las secciones principales.

Ademas de esta propiedad, posee la luz la de *polarizarse* ó reflejarse y refractarse de preferencia bajo un ángulo dado. Si se hace llegar un rayo de luz sobre una lámina de vidrio sin azogar con una incidencia de 54° 35′ partiendo de la normal, este rayo no puede ser reflejado por otra lámina de vidrio que encuentre con la misma inclinacion, cuando el plano de incidencias sobre ésta es perpendicular al de reflexion sobre la primera; pero puede reflejarse bajo todas las demas inclinaciones, si bien lo verifica con intensidades diferentes.

La luz se polariza tambien por refraccion cuando un rayo llega á una lámina