

y la azul, y una morada entre la azul y la roja. Intercalando sucesivamente y del propio modo colores de matices intermedios obtuvo por fin lo que llama círculo cromático de los colores francos, reproduciendo hasta cierto punto el espectro de la luz solar.

Reunidos ya estos 72 matices, valiéndose de cada uno de ellos para componer una gama completa formada por la agregación de cantidades crecientes de blanco y negro, hasta tener diez tonos rebajados y otros diez del mismo color aclarados hasta el blanco. Cada gama comprende así, desde el blanco puro hasta el negro puro, que son sus extremos, 20 tonos diferentes, el décimo de los cuales á partir del blanco es el color franco.

De esta primera combinación resultan ya 1,440 tonos distintos, deducidos todos ellos del círculo cromático de los colores francos; pero, rebajando sucesivamente los 72 tonos de este círculo con la agregación de 1, 2, 3, etc., decimos de negro, se forman nueve círculos de colores rebajados, y como cada uno de los 72 tonos que comprenden es á su vez tipo de una gama de 20 tonos nuevos que van del blanco al negro, resulta para la serie total una escala de 14,400 tonos, á los cuales hay que añadir los 20 del gris normal, lo cual da, en definitiva, 14,420 tonos diferentes.

Es indudable que tan extensa escala debe bastar para la mayor parte de las aplicaciones científicas é industriales, y que las más de las veces, excederá á las necesidades de los artistas. Por desgracia, es sumamente difícil la reproducción material rigurosamente exacta de todos estos colores, no siéndolo ménos el conservar los tipos una vez obtenidos. Sería preciso reproducir la construcción cromática de M. Chevreul en colores inalterables, por ejemplo, en cuadros esmaltados sobre porcelana; las investigaciones científicas no estarán ménos interesadas que las artes en posar tipos fijos, á los cuales podrían referirse los colores naturales, con tanta frecuencia alterados por el tiempo, mediante una numeración de orden, siendo por lo tanto de fácil reproducción.

## V

COLORES DE LOS CUERPOS TRASPARENTES.—DICROISMO

Los cuerpos ó medios dotados en el más alto

grado de transparencia, como el aire, el agua y el cristal, no poseen esta propiedad en absoluto, pues absorben una parte más ó ménos considerable de la luz que los atraviesa, como fácilmente se demuestra aumentando su espesor. Cuando la luz que penetra en un medio transparente es la luz blanca, y despues de su paso continúa lo mismo, dicese que el medio es incoloro; fenómeno que se explica de un modo muy sencillo, ya admitiendo que no habia absorción de ninguno de los rayos coloreados que componen la luz blanca, ó bien, si ha tenido efecto esta absorción, que ha sido la misma para todos los rayos. El aire, algunos gases simples ó compuestos y el agua son medios transparentes incoloros; sucediendo lo propio, aún cuando en espesores mucho menores, con el agua, el vidrio y ciertos cristales. En realidad, esta propiedad no es más absoluta que la transparencia: la luz transmitida por capas de aire suficientemente espesas está matizada de diferentes colores que varían del azul más ó ménos intenso al azul verdoso, al amarillo y al rojo. Estas últimas tintas son propias de las capas más bajas de la atmósfera vistas un poco ántes ó despues de la puesta del sol. El agua adquiere también una tinta que depende de su pureza y de su profundidad en los rios, en los lagos y en la mar. Por último, todos sabemos que el vidrio, que parece absolutamente incoloro cuando tiene muy poco espesor, se tiñe de matices que dependen de su composición cuando se transmite la luz blanca al través de placas más gruesas. Obsérvase también y de un modo más marcado esta coloración de los medios transparentes en los cuerpos ó medios que son simplemente diáfanos.

Así como se explican los colores de los cuerpos opacos por la absorción desigual de los rayos difusos de refrangibilidades distintas, así también se explica la coloración de los cuerpos transparentes por la absorción desigual de los rayos transmitidos. En el primer caso, la luz que hace visibles los cuerpos y que suponemos blanca se descompone por reflexión difusa; en el segundo, se descompone por transmisión. Al expresarnos así, no hacemos más que consignar un hecho, una propiedad evidente de los cuerpos, sin prejuzgar nada acerca de la naturaleza íntima del fenómeno; la verdadera causa de esta descomposición que depende sin duda de

la ordenación molecular, de la composición física y química de los cuerpos, es todavía desconocida, ó por lo ménos sólo ha dado lugar á hipótesis que tienen divididos á los físicos.

Las placas de vidrio de color puestas sobre un fondo negro son casi invisibles; lo propio sucede con los líquidos transparentes coloreados contenidos en vasijas de paredes oscuras ó ennegrecidas; por consiguiente es la luz transmitida, y no la reflejada, la que nos hace ver estos cuerpos. Así por ejemplo, un vidrio rojo es el que, dando paso á los rayos rojos, absorbe ó extingue los demás rayos del espectro de la luz blanca, ó que, por lo ménos absorbe estos rayos en mucha mayor proporción que los rojos. Los vidrios, los líquidos amarillos, verdes, azules y morados son los que no dejan pasar sino los rayos de los mismos colores absorbiendo los demás, ya en su totalidad, lo que rara vez sucede, ó ya en bastante proporción para que los rayos que pasan compongan la tinta indicada por estos colores. La reflexión especular, en sus superficies lisas, de un objeto blanco da una imagen blanca, mientras que el objeto visto por transmisión se colora de la misma tinta que el medio.

Un experimento, muy sencillo, descrito ya en el capítulo en que hemos tratado de la absorción de la luz, demuestra la desigual absorción de los rayos de varias refrangibilidades por un mismo medio coloreado. Si se interpone una lámina de vidrio encarnado en el paso de un haz de luz solar, ántes ó despues de su descomposición por el prisma, el espectro obtenido sólo contiene ya la parte ménos refrangible y se reduce al rojo si la tinta del vidrio de color es bien homogénea. Con un vidrio de azul cobalto de cierto espesor, el espectro se reduce al morado, y en el otro extremo, á una delgada banda roja, y si dicho vidrio está tallado en forma de prisma ó de bisel agudo, y se examina el espectro solar interponiendo partes cada vez más gruesas del vidrio azul entre el espectro y el ojo, se verá que la absorción de los rayos intermedios entre el morado y el rojo extremo va creciendo con dicho espesor. A partir de un milímetro, la parte central del rojo es la que se extingue primero, y conforme crece el grueso ó espesor del vidrio desaparecen sucesivamente el rojo anaranjado, el amarillo, el verde y por fin el azul.

El bisel de vidrio azul cobalto, unido á un prisma de vidrio blanco que forma con él una lámina de caras paralelas, parece en efecto azul oscureciéndose más y más, desde su parte más tenue hasta cierto espesor, pasado el cual, como predomina el rojo, el vidrio parece de este color, cambiando así de matiz, al propio tiempo que varía la proporción de los rayos absorbidos. Esta tinta roja procede indudablemente de los rayos rojos extremos, más vivos que los morados.

Ya hemos tenido ocasión de mencionar este singular fenómeno de cambio de color que los físicos llaman *dicroismo*, ó más generalmente *policroismo* porque variando los espesores de ciertas sustancias transparentes, se obtienen tintas ó colores múltiples. Las más de las veces, el matiz del color es el único que cambia por efecto del espesor, y por esto los vidrios rojos se vuelven más oscuros y su color es más puro. Los verdes y las soluciones de sales de cobre ó níquel, que absorben principalmente los rayos de los colores extremos, rojo y morado, tienen una tinta verde tanto más marcada cuanto mayor es su espesor. El percloruro de hierro, el cloruro de oro, el infuso de azafrán y el vino de Oporto que absorben los rayos más refrangibles y casi dan paso del mismo modo á los rayos rojos y á los amarillos, parecen de este último color si tienen poco espesor, pero se oscurecen si este aumenta hasta que por fin llegan al rojo. Hay varias sustancias dicróicas, entre ellas las soluciones de cloruro de cromo, de manganato de potasa, y el agua celeste ó solución saturada de sulfato de cobre en el carbonato de amoníaco. Las primeras parecen verdes y luego rojas: la última parece azul cuando está en láminas tenues, y morada cuando el espesor llega á diez ó doce centímetros.

Dos líquidos, el uno rojo y el otro verde ó azul, forman mezclados un medio dicróico, con tal que su mezcla no dé lugar á una combinación química.

Segun acabamos de ver, un vidrio azul cobalto parece rojo cuando su espesor es tal que absorbe todos los rayos amarillos, verdes y azules de la parte media del espectro. Por el contrario, una lámina tenue de sulfato de cobre, absorbe los rayos extremos, morados y rojos. ¿Qué sucederá, pues, sobreponiendo dos lámi-



nas de estas sustancias? Que quedarán absorbidos los rayos de todos los colores del espectro: y en efecto el conjunto de las dos láminas forma un medio opaco.

Brewster ha reconocido que el calor modifica las propiedades absorbentes de un medio coloreado: tan pronto las disminuye como las aumenta. Remitimos sobre esto al lector á lo que hemos consignado en la página 152 acerca de los experimentos del físico inglés.

Todos los hechos que acabamos de describir se refieren á los medios coloreados transparentes. Los simplemente diáfanos ó traslúcidos presentan fenómenos análogos, sólo que son visibles á la vez por trasmision y por reflexion, de suerte que su color es visible aún cuando se los coloque delante de un fondo negro. Un líquido perfectamente límpido, como el bicronato de potasa, pierde su transparencia y se vuelve diáfano si se le echa un poco de sulfato de barita; pero sigue conservando su tinta amarilla, que aún en este caso se ve lo mismo por trasmision que por reflexion.

Sin duda deben de ser diminutas partículas en suspension en el agua las que dan á este líquido varias tintas azules, amarillas ó rojizas, segun la naturaleza de las partículas. Pero no hay que confundir esta causa de coloracion ni con la tinta propia del agua ni con la que adquiere al transmitir por reflexion el color del fondo en que descansa.

Hay cuerpos gaseosos de coloracion particular, por ejemplo, el vapor de iodo, cuya magnífica tinta morada ha dado su nombre al metaloide; el ácido nítrico desprende vapores blancos al aire libre, y el hiponítrico densos vapores rojizos. Citemos, finalmente, el cloro, cuyo nombre proviene del matiz amarillo-verdoso de este gas.

El aire, que, como nadie ignora, es una mezcla de dos gases, oxígeno y nitrógeno y que además contiene cierta proporcion de gas ácido carbónico y tambien vapor de agua, posee el color azul de todos conocido y que se modifica, se oscurece ó aclara segun las circunstancias atmosféricas. ¿Dicho color es propio de la mezcla gaseosa misma, que absorbe los vapores azules de la luz blanca del Sol transmitiendo únicamente los rojos, de modo que el color azul se ve por reflexion, ya en las moléculas

del mismo aire ó bien en las del vapor de agua en suspension? Cuestion es esta que aún no se ha podido resolver, ó por lo ménos cuyas varias soluciones tienen muy divididos á los físicos. Entremos en algunos detalles acerca de este punto.

## VI

## COLOR AZUL DE LA ATMÓSFERA

Leonardo de Vinci creia, como Goethe algun tiempo despues, que el color azul de un cielo despejado tenia por causa el paso de la luz blanca al través de la atmósfera que contiene partículas tenuísimamente divididas. Newton atribuía dicho color azul á haber en la atmósfera esferillas de agua huecas y diminutas en las cuales son perceptibles los colores como en la pompa de jabon; añadiendo que cuando el espesor de las paredes de estas esferillas aumentaba, el color pasaba del azul al amarillo al anaranjado y al rojo, pudiéndose por lo tanto explicar, en virtud de las continuas reflexiones las diferentes tintas desde el azul celeste hasta el encendido color de las puestas de Sol. Basándose Clavius en esta teoría, ha calculado las intensidades relativas de la luz directa del Sol y de la luz difusa del cielo con respecto á las varias alturas del Sol.

«Algunos físicos, dice M. Roscoe, han asegurado que el aire mismo es azul, al paso que otros pretenden que si el aire adquiere un tono azulado por la influencia de la luz *reflejada*, debe parecer rojo por la luz *trasmitada*.

»Otros, para esquivar la dificultad de explicar la gran variedad de tintas que se ven en los ocasos del Sol, pretenden que estas tintas son una ilusion óptica ó que reconocen por causa la presencia de nubes que reciben y reflejan el color.

»Muchos físicos han sugerido la idea de que, estando la atmósfera llena de pequeñas partículas de materias sólidas flotantes, obra como un medio opalescente y no trasmite más que luz roja; pero á Brucke somos deudores de una exposicion completa y un exámen profundo de esta teoría. Forbes explica el fenómeno de muy distinto modo; pues, observando que en ciertas circunstancias el vapor acuoso, ó mejor dicho, el agua en partículas muy divididas, puede ab-

sorber los rayos azules, y que el sol parece rojo cuando se le ve al través de alguna porcion de un chorro de vapor, atribuye la tinta roja que se extiende por el cielo en el momento de la puesta del Sol á la sola presencia del agua en dicho estado particular de division.»

Despues de hacer estas breves consideraciones históricas sobre el asunto, el sabio inglés de quien hablamos describe las observaciones y experimentos en que se basa su propia opinion. En su concepto, la atmósfera ejerce una absorcion de especial naturaleza en los rayos de



Fig. 170.—Sir John Herschel

gran refrangibilidad; es decir, en los rayos del espectro que tienen gran actividad química; y habiéndole demostrado un crecidísimo número de observaciones que la luz difusa del cielo posee una actividad química mucho mayor en proporcion que la luz directa del Sol, ha llegado á considerar que esta absorcion, á la cual da el nombre de *opalescencia*, reconoce por causa una multitud de partículas finamente divididas que reflejan los rayos azules y sólo trasmiten los rojos. ¿Y qué son estas partículas? Los esporulos que causan la fermentacion y la putrefaccion, las moléculas minerales, como el sodio cuya presencia casi constante en el aire, nos la revela el análisis espectral, quizá tambien el

polvillo molecular extra-terrestre que en sentir de ciertos físicos atraviesa en todo tiempo nuestra atmósfera, y por último las sutiles partículas acuosas de que esta está llena.

Roscoe compara la opalescencia de la atmósfera á la de los líquidos que contienen cierta cantidad de materia tenuemente dividida, por ejemplo al agua ligeramente azufrada, ó á la del vidrio en cuya masa hay diseminadas partículas de fosfato de calcio ó de trióxido de arsénico. «Si se hace pasar, dice, la luz blanca de una lámpara eléctrica por un tubo de tres piés de largo, cerrado en sus extremos con placas de vidrio y lleno de un líquido apenas opalescente, todos los rayos azules, verdes y