

de gas ó de aire que contiene sigue siendo el mismo; en una palabra, no se infla, porque la presión del aire exterior contrabalancea la fuerza expansiva del gas interior. Pero si se pone la vejiga bajo la campana de la máquina neumática y se hace el vacío, se verá cómo la vejiga se hincha poco á poco hasta quedar sus paredes totalmente estiradas. Dejando en seguida que penetre aire en la campana, la presión exterior ejercida sobre las paredes de la vejiga va recobrando su fuerza anterior, y aquélla disminuye progresivamente de volumen hasta volver á su apariencia primitiva (fig. 4). Este experimento demuestra á la vez la expansibilidad y la compresibilidad de los gases, es decir, la propiedad que tienen de aumentar ó disminuir de volumen, según las variaciones de la presión á que están sometidos.

Adviértense los mismos fenómenos cuando, sin modificar la presión, cambia la temperatura del gas; su volumen aumenta á la par que crece el calor, y disminuye en el caso contrario.

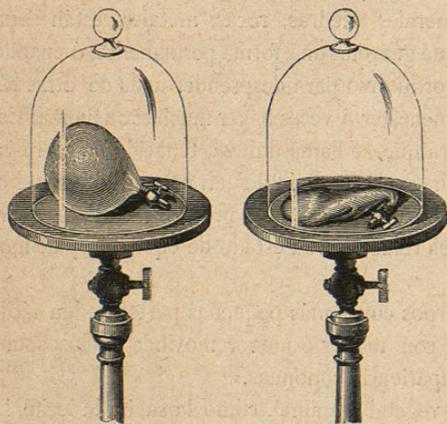


Fig. 4.—Expansibilidad y compresibilidad de los gases

Tales son los tres estados físicos en que vemos los diferentes cuerpos de la Naturaleza; pero estos cuerpos no conservan siempre la misma forma, ni su estado físico es permanente; muchos de ellos pueden presentarse sucesivamente en estado sólido, líquido ó gaseoso, pasando de uno á otro principalmente por efecto del influjo que en ellos ejercen las variaciones más ó menos grandes de su temperatura. ¿Quién no sabe que el agua, líquida á la temperatura ordinaria ó media de nuestros climas, se con-

gela ó solidifica tan luego como se la somete á un frío suficientemente intenso, y que se evapora ó adquiere el estado aeriforme ó gaseoso aun á la temperatura ordinaria? Una temperatura que exceda de cierto grado la reduce enteramente al estado de vapor.

Los metales se licúan por el calor y también se vaporizan; el azogue, generalmente líquido, se solidifica á 40° bajo cero. Más adelante estudiaremos estos varios cambios de estado y los fenómenos que los acompañan. Hoy podemos considerar todos los cuerpos, ó cuando menos todos los elementos materiales que los componen, como susceptibles de tomar los tres estados. Se ha podido licuar ó fundir todas las materias sólidas, y se ha reducido todos los gases, aun los que se consideraba como permanentes, al estado líquido, y luego al sólido. Ya tendremos ocasión de ocuparnos de los curiosos y recientes experimentos que han demostrado la universalidad de tan interesantes demostraciones.

Por lo demás, hay muchos cuerpos compuestos de partes líquidas y de partes sólidas tan íntimamente unidas, que tienen toda la apariencia de cuerpos sólidos; tales son muchas sustancias pertenecientes á los seres organizados, animales y vegetales. Lo propio sucede con ciertos minerales, como la arcilla, por ejemplo, cuando no se la ha secado enteramente. Todos estos cuerpos son más ó menos blandos, es decir, se deforman con mayor ó menor facilidad, sin necesidad de que intervenga en ello fuerza alguna. Así pues, tanto la liquidez como la solidez no son propiedad absoluta de los cuer-

pos; la movilidad de sus moléculas varía notablemente desde la consistencia pastosa de algunos de ellos hasta la movilidad extrema de otros varios, por ejemplo, los éteres. Por último, en circunstancias particulares, hay gases á los que se puede hacer adquirir un estado intermedio entre el gaseoso y el líquido.

Basándose M. Boutigny, físico distinguido de nuestros días, en numerosos é interesantes experimentos de que hablaremos después, ha propuesto que se tomara en consideración un cuarto estado físico de los cuerpos, al cual ha dado el nombre de *estado esferoidal*, porque, en circunstancias especiales, las diminutas masas líquidas se mantienen en forma de esfera en lugar de adquirir la del cuerpo sobre el cual reposan. Pero los físicos no han adoptado este modo de ver por no considerarlo sino como casos particulares de los otros estados. Finalmente, el físico inglés M. Crookes ha propuesto á su vez recientemente que se admitiera un cuarto estado en los cuerpos, el cual se manifiesta cuando en una vasija cerrada se ha hecho el vacío hasta el último grado de enrarecimiento. Dicho físico pretende que la materia que queda en la vasija no goza ya de las propiedades que constituyen el estado gaseoso. Habiéndose dado el nombre de radiómetro al aparato en que ocurren los fenómenos propios de tales condiciones especiales, M. Crookes llama *estado radiante* á este cuarto estado de la materia. Nos ocuparemos de estos experimentos en un capítulo especial del MUNDO FÍSICO.

IV

LOS SÓLIDOS, LOS LÍQUIDOS Y LOS GASES EN LA TIERRA

Considerando la Tierra en su conjunto, vemos que está formada de tres partes que presentan, una el estado sólido, otra el líquido y otra el gaseoso (1). El globo terráqueo propiamente dicho, esto es, la parte del planeta terminada exteriormente en una cubierta ó envoltente sólida, es la primera parte; los océanos y los mares que cubren los tres cuartos de su superficie constituyen el elemento líquido, y la envoltente aérea ó atmósfera forma la parte gaseosa. Si consideramos la esfera terrestre limitada por su envoltente gaseosa, y suponemos que la altura de la atmósfera es de 200 kilómetros, tendremos que el volumen sólido excede de los 96 céntimos del volumen total; la parte gaseosa no llega casi á los 3 céntimos, y el volumen líquido, reducido al de los océanos, tan sólo ocupa 2 diezmilésimos.

Pero ¿podemos considerar el globo como enteramente sólido? ¿No está formado de un núcleo en estado de fusión ígnea y por consiguiente líquido? Inútil es suscitar aquí estas cuestiones, porque no son de la incumbencia de la física propiamente dicha. Ya volveremos á tratar de ellas en su tiempo y lugar.

Las proporciones que acabamos de indicar entre las partes sólidas, líquidas y gaseo-

(1) Es probable que un gran número de cuerpos celestes estén constituidos del mismo modo; pero no es menos verosímil que haya también en ellos notables diferencias. Por ejemplo, Marte tiene continentes y una atmósfera como la Tierra; Venus y Mercurio se hallan sin duda en el mismo caso; pero en la Luna, al menos actualmente, no hay agua ni atmósfera; es un globo que parece enteramente sólido, á no ser que su núcleo central se halle todavía, como se supone respecto del núcleo interior de la Tierra, en estado de fusión incandescente. Por otra parte, el inmenso globo de Saturno, cuya densidad es tan débil, podría muy bien no ser otra cosa sino una esfera líquida rodeada de una atmósfera; el mismo Sol parece constituido por una masa de materias fluidas, gaseosas en gran parte, y mantenidas en tal estado por una temperatura excesiva, y todas las estrellas, cuyo espectro tiene una constitución análoga á la del espectro solar, son verosímilmente otros soles como el nuestro.

sas del globo terráqueo, son las que corresponden al estado actual de nuestro planeta, el cual existe probablemente hace centenares de miles de años. Pero todo induce á creer que el núcleo solidificado era mucho menor en las edades anteriores, y sobre todo la atmósfera considerablemente más extensa y de composición más compleja. Podemos formarnos una idea de la probabilidad de esta presunción, calculando lo que sería la Tierra si la temperatura general aumentase ó disminuyese en extensos límites.

Lavoisier publicó una interesantísima Memoria acerca de este asunto, que figura en la edición de sus *Obras completas* y de la que transcribiremos algunos párrafos.

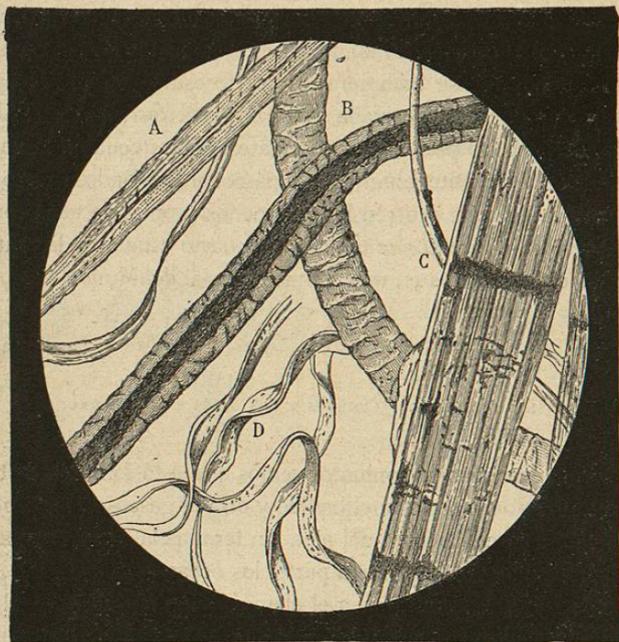


Fig. 5.—Fibras vegetales: A, seda; B, lana; C, cáñamo; D, algodón. (Aumento = 120 diámetros)

„Las consideraciones que acabo de hacer sobre la formación de los fluidos aeriformes, dice, arrojan gran luz acerca del modo como se formaron, en el origen de las cosas, las atmósferas de los planetas, y particularmente la de la Tierra. Concíbese que esta última debe ser el resultado y la mezcla: 1.º de todas las sustancias susceptibles de vaporizarse, ó mejor dicho, de subsistir en estado aeriforme, á los grados de temperatura y de presión á que vivimos actualmente; 2.º de todas las sustancias fluidas ó concretas capaces de disolverse en ese conjunto de diferentes fluidos aeriformes.

„Para comprender mejor cuanto se relaciona con esta materia, sobre la cual no se ha reflexionado lo bastante, figurémonos por un momento lo que sería de las varias sustancias que componen el globo, si cambiara bruscamente la temperatura. Supongamos, por ejemplo, que la Tierra se encontrase transportada de pronto á una región mucho más caliente del sistema solar, á una región, verbigracia, en que el calor ordinario fuese muy superior al del agua hirviendo: el agua, todos los líquidos susceptibles de vaporizarse á temperaturas próximas á la del agua hirviendo y hasta muchas sustancias metálicas entrarían muy pronto en expansión y se transformarían en fluidos aeriformes que llegarían á ser partes de la atmósfera. Estos fluidos aeriformes se mezclarían con

los ya existentes, resultando de ello descomposiciones recíprocas y composiciones nuevas, hasta que, satisfechas ya las diferentes afinidades, los principios que compusieran esos distintos fluidos llegasen á un estado de reposo. Pero no debemos omitir una consideración, y es que también esta vaporización tendría sus límites; en efecto, á medida que aumentara la cantidad de los fluidos aeriformes, crecería en proporción la gravedad de la atmósfera. Ahora bien, puesto que una presión cualquiera es un obstáculo á la vaporización, puesto que los fluidos más evaporables pueden resistir sin vaporizarse un calor muy fuerte cuando media una presión proporcionalmente más fuerte, y en fin, puesto que hasta el agua, y probablemente otros muchos líquidos, pueden experimentar en la marmita de Papin un calor capaz de enrojecerlos, compréndese que la nueva atmósfera llegaría á un grado tal de gravedad que el agua que no se hubiese vaporizado hasta entonces dejaría de hervir y permanecería en estado líquido; por manera que aun en esta suposición, como en cualquiera otra del mismo género, la gravedad de la atmósfera sería limitada y no podría pasar de cierto punto. Fácil sería llevar más adelante estas reflexiones y considerar lo que en semejante hipótesis sucedería á las piedras, á las sales y á la mayoría de las sustancias fusibles que componen el globo; es presumible que se ablandarían, que entrarían en fusión y formarían líquidos; pero estas últimas consideraciones son ya ajenas á mi asunto, por lo cual me apresuro á volver á él.

„Veamos ahora el efecto contrario. Si la Tierra se hallase de repente situada en regiones sumamente frías, por ejemplo, en las de Júpiter y Saturno, el agua que hoy forma nuestros ríos y nuestros mares, y probablemente la mayor parte de los líquidos que conocemos, se transformarían en montañas sólidas, en durísimas rocas, al principio diáfanas, homogéneas y blancas, como el cristal de roca, pero que, mezclándose poco á poco con sustancias de diferente naturaleza, se convertirían por último en piedras opacas de varios colores.

„En esta suposición, el aire, ó cuando menos una parte de las sustancias aeriformes que lo componen, dejaría sin duda de existir en estado de fluido invisible, por carecer del grado de calor suficiente; volvería, pues, al estado de liquidez, y de esta transformación resultarían nuevos líquidos de que no tenemos idea alguna.

Esas dos hipótesis extremas de cuyas consecuencias se ocupó Lavoisier, ¿se han realizado ó podrán realizarse algún día por lo que respecta á la Tierra? No hay nada que autorice á afirmarlo en absoluto. Sin embargo, por una parte puede tenerse por probable que, en una época considerablemente apartada de las edades geológicas, la radiación calorífica del Sol fué bastante poderosa para producir en la superficie de nuestro globo, suponiendo que nuestro globo existiera ya, una temperatura capaz de vaporizar sustancias hoy día líquidas y de fundir otras que actualmente son sólidas. También es de presumir que, en un número indeterminado de millones de años, la radiación del Sol, paulatinamente menor, llegue á ser tan débil que se realicen los efectos de la segunda hipótesis, y constituyan la superficie de la Tierra rocas nuevas y esté cubierta de líquidos que, siendo ahora gaseosos, formen entonces su atmósfera. Y aun quizá no exista tampoco esta atmósfera.

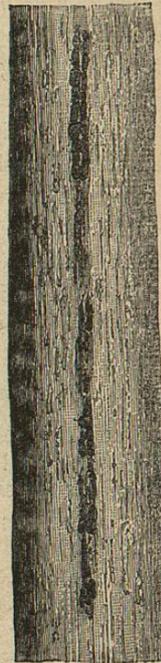


Fig. 6.—Fragmento de cabello visto con el microscopio (180 diámetros)

Las variaciones de la excentricidad de la órbita de la Tierra pueden asimismo producir efectos parecidos, siquiera bastante menores. Fijémoslos, por ejemplo, en su estado actual, y comparémoslo con lo que será en la época de excentricidad máxima. El calor recibido hoy por la Tierra en su perihelio excede en unos 0,0335 del que recibe á su distancia media, el cual supera á su vez en igual cantidad al que nuestro planeta recibe cuando está en su afelio; en junto 0,0770, ó sea la duodécima ó décimatercera parte del calor total, como diferencia de calor radiado en las dos posiciones extremas.

Siendo la excentricidad máxima, según Le Verrier, igual á 0,077747, es fácil calcular que el calor radiado excederá en 0,3655 del del afelio en las épocas en que la órbita terrestre haya llegado ó llegue á dicho máximo de excentricidad. Aquí la diferencia de calor entre las estaciones extremas se eleva casi el tercio del calor total. Una variación de calor tan considerable produce evidentemente contrastes de temperatura entre las estaciones invernal y estival del hemisferio cuyo invierno coincida con el afelio, contrastes merced á los cuales se puede explicar ciertos períodos geológicos, como los períodos glaciales. Pero de esto á los estados extremos supuestos por Lavoisier hay todavía mucha distancia.

Estos estados hipotéticos se han presentado ó se presentarán en épocas extraordinariamente lejanas de la nuestra, al principio ó al fin del planeta en que vivimos. Pero quizás existan actualmente en el mundo solar, en Mercurio ó Vulcano, por lo que hace al período de calor excesivo, y en Urano ó Neptuno, por lo que respecta al del frío. En cuanto á lo que á nuestro planeta se refiere, á menos de sobrevenir trastornos cósmicos imposibles de prever, podemos asegurar que la composición actual del globo terráqueo y la proporción de los líquidos, sólidos y vapores ó gases que contiene seguirán siendo las mismas por espacio de un número de siglos que puede contarse por millares.

V

DIVISIBILIDAD DE LOS CUERPOS

La observación y la experiencia diarias nos demuestran que todos los cuerpos están formados de partes que se separan unas de otras con mayor ó menor facilidad; los sólidos, lo mismo que los líquidos y los gases, se subdividen en fragmentos, en partículas más y más diminutas. Esta separación se obtiene, ya valiéndose de medios mecánicos, ó bien utilizando las fuerzas físicas; pudiendo llegar en todos los cuerpos á tal grado de tenuidad, que las partículas más finas nos pasen inadvertidas y ni aun con el microscopio puedan verse.

¿Es indefinida esta propiedad de los cuerpos? En otros términos, ¿es la divisibilidad no tan sólo una propiedad general de los cuerpos, sino de la materia misma que los compone? Cuestión es esta que no se puede resolver prácticamente en el estado actual de la ciencia; las teorías físico-químicas responden negativamente; más adelante trataremos de exponer las razones que militan en pro de la existencia real de los átomos (1), es decir, de las partes más pequeñas en que se puede subdividir los cuerpos simples de que están á su vez formados todos los cuerpos de la Naturaleza. Aquí nos limitaremos á citar los casos de divisibilidad más notables y á propósito para ilustrarnos acerca de la estructura íntima de los cuerpos y de su constitución molecular.

(1) La palabra *átomo* se deriva de la griega *atomos*, la cual tiene por etimología el *a* privativo y *temno*, cortar. Por consiguiente, átomo significa *lo que no se puede cortar*.

Los cuerpos sólidos más duros se reducen á polvo impalpable: las piedras, el cristal y el mármol á martillazos, los metales limándolos, y hasta el diamante se convierte en un polvillo de extraordinaria tenuidad, ó sea el esmeril (polvo de corindón), que sirve, como es sabido, para tallar y pulir sus facetas. Los batidores de oro reducen este metal á hojas tan tenues que se necesita sobreponer más de 10,000 para formar con ellas un milímetro de espesor. Una hoja de oro laminado de un decímetro cuadrado de superficie y de un diezmilésimo de milímetro cuadrado de espesor, pesa unos 19 miligramos; suponiendo esta superficie dividida en partes de un milésimo de milímetro de lado, habría en todo diez mil millones; cada una de estas partes visibles con el microscopio pesaría, pues, menos de dos mil millonésimas de miligramo.

¿Quién no conoce el ingenioso procedimiento de que se ha valido el doctor Wollas-

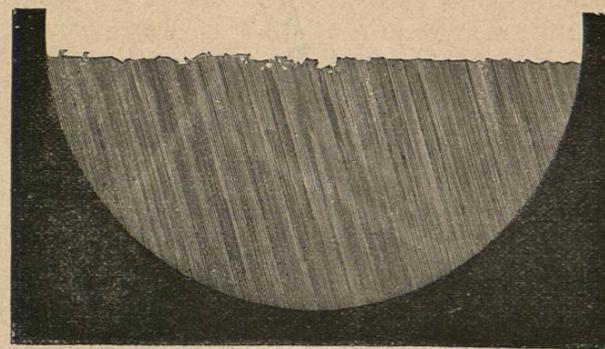


Fig. 7.—Hilo de una navaja de afeitar visto con el microscopio. (Aumento=120 diámetros)

ton para estirar un alambre de platino cuyo diámetro era tan pequeño que mil metros de dicho alambre no pesaban más que cuatro ó cinco centigramos, aun cuando el platino sea el más denso de los cuerpos conocidos? Dicho físico sujetó al eje de un molde cilíndrico de un quinto de pulgada inglesa de diámetro un alambre de platino de un centésimo de pulgada de diámetro (0^{mm},254); luego llenó el molde de plata en fusión, de modo que resultó un cilindro de plata cuyo eje era de platino. Al pasarlo por la hilera, el cilindro compuesto se estiró hasta quedar reducido á un alambre finísimo, y como los diámetros debieron conservar durante la operación sus relaciones de magnitud, el hilo de platino interior, cien veces más delgado que el de plata, resultó reducido á un 1200.^o de milímetro de espesor. Para aislarlo, Wollaston trató el alambre compuesto por una corta cantidad de ácido nítrico que, disolviendo la envoltura de plata, dejó á descubierto el alambre de platino.

En los hilillos de plata sobredorada, de que tanto uso se hace en los bordados y pasamanería, tenemos un ejemplo análogo de una divisibilidad material llevada hasta el extremo. Un cilindro de plata rodeado de hojuelas de oro, de 30 gramos de peso, da en la hilera un alambre de 144 kilómetros de longitud. El vidrio se estira también transformándolo en hilos sumamente finos, tenues y flexibles como hebras de seda, para lo cual se calienta hasta el blanco un tubo fino de cristal y se le estira en seguida, de suerte que el filamento mismo tiene la forma de un tubo, por cuyo interior se puede hacer pasar líquidos.

Los líquidos se reducen á gotitas impalpables: en los saltos de agua, como las cataratas del Niágara y del Zambezé, la división producida por la resistencia que el aire

opone á la caída del líquido, así como la que resulta del choque, es tal que á todas horas se ven columnas de vapor, ó más bien nieblas, pues el vapor propiamente dicho es enteramente transparente ó invisible.

La transformación de los líquidos en vapor es un ejemplo mucho más marcado de esta divisibilidad.

Las mismas materias orgánicas proporcionan una porción de ejemplos naturales de la divisibilidad de la materia que forma los cuerpos. Las hebritas de lana ó de seda son

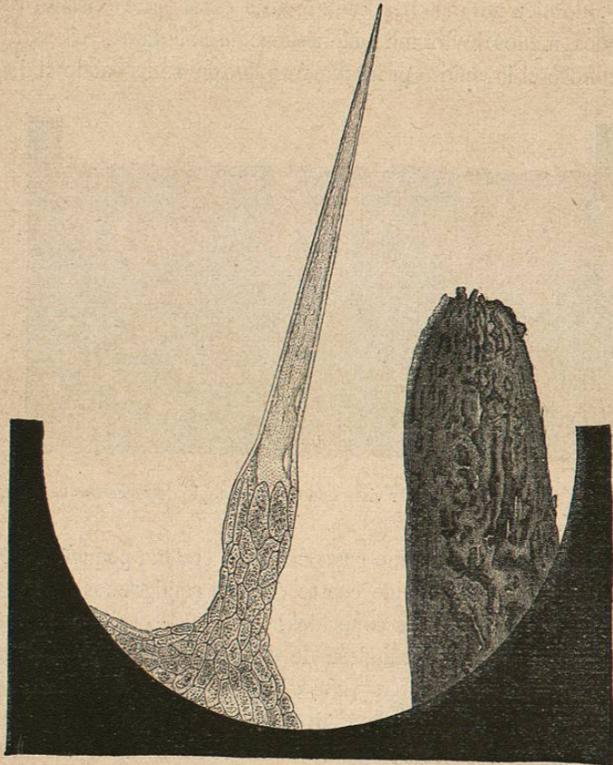


Fig. 8.—Cabello y punta de una aguja, vistos con el microscopio. (Aumento = 150 y 120 diámetros)

de un diámetro que varía entre un vigésimo y un centésimo de milímetro; pues bien, si se examinan con el microscopio las hebras de dichas sustancias, se ve que la anchura de tan reducidísimos diámetros se compone de un crecido número de partículas orgánicas (fig. 5). Los pelos de los animales son á veces sumamente finos. El cabello (fig. 6) es, como el hilo de cristal á que hemos aludido antes, un tubo que tiene sus paredes y su canal interior. El microscopio nos lo presenta de forma bastante tosca; y acabamos de ver que otras muchas sustancias orgánicas ó inorgánicas le aventajan en tenuidad.

Con sobrada frecuencia nos pasan inadvertidas las más diminutas partículas de materia. Cuando juzgamos con la vista ó con el tacto de la tersura de una superficie, no sentimos ni distinguimos las irregularidades, los resaltos de esas superficies, que sólo son perceptibles con el microscopio. Para que resulte esa tersura, se hace uso por lo común de polvos finos, con los cuales se frotan los metales, los mármoles y las piedras preciosas; pues bien, cada grano de estas sustancias, tales como el trípoli, el esmeril, obra