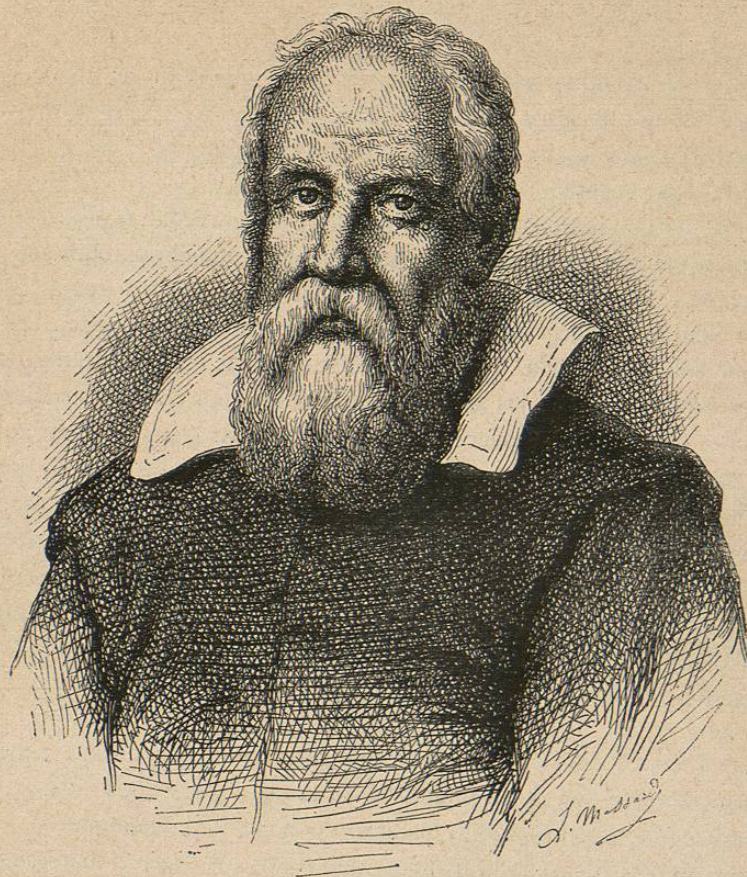
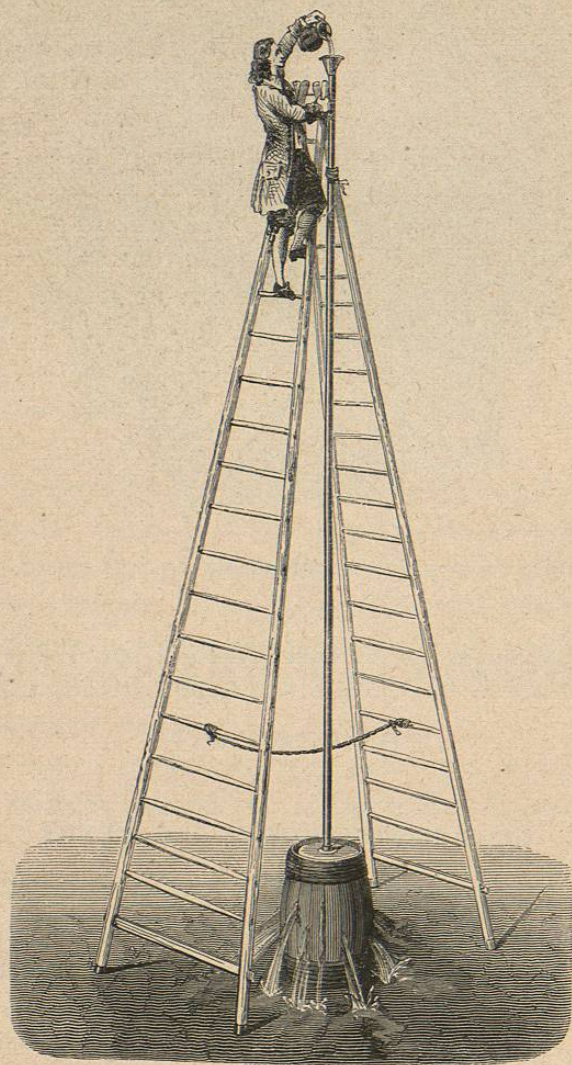


tigar; las artes y la industria en la infinita variedad de sus productos útiles ó preciosos. Las aplicaciones formarán, pues, la segunda parte de cada estudio especial, el apéndice, el corolario obligado de la primera. Hemos creído preferible separar ambas partes, pues de reunir las nos hubiéramos expuesto á romper á cada paso la ilación de las ideas y de las deducciones, así como á perder de vista el enlace que deben guardar entre sí los experimentos.

Así pues, á la primera parte de la GRAVEDAD Y LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL, que titulamos *Los fenómenos y sus leyes*, seguirá la segunda, ó sea las *Aplicaciones de la gravedad*.

Dicho esto, entremos en materia.



GALILEO

LIBRO PRIMERO.— LA GRAVEDAD

CAPÍTULO PRIMERO

NOCIONES PRELIMINARES SOBRE LAS PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS

Antes de entrar de lleno en el estudio de los fenómenos propios de la Gravedad, cúmplenos ocupar la atención del lector con algunas nociones preliminares, indispensables para la completa inteligencia de las leyes físicas. Cuando hayamos expuesto todo el conjunto de dichas leyes, será interesante recordar estas nociones generales y mostrar qué interpretación pueden recibir de la combinación de las fuerzas cuya incesante manifestación son los fenómenos físicos.

Ya en este primer libro, en que entra en acción la fuerza de gravedad, tendremos ocasión de aprovechar esas nociones preliminares y de completarlas al propio tiempo en puntos importantes.

I

LO QUE DEBE ENTENDERSE POR FENÓMENOS FÍSICOS. — DISTINCIÓN ENTRE LA FÍSICA Y LA QUÍMICA

Todos los cuerpos de la Naturaleza, cualesquiera que sean las apariencias bajo las cuales se presenten á nuestros sentidos, y ya pertenezcan á los seres organizados ó bien á la materia inorgánica, están dotados de propiedades múltiples, cuyo estudio es objeto peculiar de la física general.

Todos los cuerpos son pesados, y en virtud de su gravedad ó peso están sujetos á modificaciones que afectan su estado de movimiento ó equilibrio; todos son elásticos en mayor ó menor grado, y á causa de las vibraciones que se pueden excitar en sus masas, capaces también de producir sonidos ó ruidos; presentan además, según las circunstancias, la forma sólida, ó líquida, ó gaseosa, pudiendo pasar un gran número de ellos por estos tres estados, cuando se les somete á la acción de un calor más ó menos intenso. En condiciones particulares adquieren propiedades nuevas y se tornan eléctricos ó magnéticos; al recibir la luz de un foco cualquiera, manifiestan todos ellos su presencia, ora reflejando los rayos luminosos que los hacen visibles y los coloran, ó por medio de otros fenómenos perceptibles; y cuando se calienta gran número de ellos á elevada temperatura, se vuelven incandescentes y entonces desempeñan las veces de focos luminosos.

Todas estas propiedades, así como las innumerables modificaciones que sufren en un mismo cuerpo, según las circunstancias, ó que varían de un cuerpo á otro, son propiedades físicas, y la averiguación de sus leyes el principal asunto de la ciencia que vamos á estudiar.

Pero antes debemos hacer una importante restricción, una distinción necesaria entre los fenómenos que son de incumbencia de la física y los que lo son de la química. Veamos de hacer comprensible esta distinción por medio de ejemplos.

Sábase, y así nos lo enseña la química, que todos los cuerpos materiales están formados de un número limitado de substancias simples, irreductibles, indescomponibles, á lo menos en el estado actual de la ciencia y por los medios que hoy tiene á su disposición. La asociación íntima ó la combinación de estos cuerpos simples en proporciones varias, pero definidas, es la que motiva la prodigiosa diversidad que se observa en los materiales constitutivos de todos los cuerpos, orgánicos ó inorgánicos, vivientes ó inanimados. Puestos los elementos ó sus compuestos en contacto y en condiciones físicas especiales, se transforman, se modifican, es decir, se combinan ó se descomponen, originando así toda una serie de fenómenos cuyas leyes estudia la química. Pues bien, estos fenómenos químicos están las más de las veces ligados con fenómenos físicos de calor, luz, electricidad, etc., con los cuales no hay que confundirlos. Estúdiense en física los fenómenos generales de los cuerpos haciendo abstracción de las alteraciones que pueden producir en la constitución de los mismos cuerpos, ó en cuanto no sean éstos los que produzcan semejantes alteraciones. En química, por el contrario, son dichas alteraciones ó cambios de naturaleza, sus leyes y el estudio de las propiedades nuevas y especiales que resultan de tales mudanzas, el objeto exclusivo de la ciencia. Por consiguiente, la diferencia bajo este concepto es fundamental. Aclarémosla, pues, con algunos ejemplos, como acabamos de decir.

Tomemos cierta cantidad de agua. A la temperatura ordinaria, el agua es líquida. Enfríémosla á bajo 0 del termómetro; se contraerá ó reducirá de volumen hasta que su

temperatura descienda á $+ 4$ grados, luego se dilatará hasta el punto en que adquiera la forma sólida de una masa de nieve ó de un pedazo de hielo; así pues, á 0 grados ó bajo esta cifra, el agua toma el estado sólido. Por el contrario, si la calentamos y hacemos subir su temperatura á 100° , acabará por convertirse en vapor.

En estos tres estados físicos, muy diferentes bajo ciertos puntos de vista, ninguna de las moléculas que constituían la masa total habrá dejado de ser agua, esto es, cierta combinación definida de dos gases, hidrógeno y oxígeno. Su constitución física no se habrá alterado en ninguna de sus partes; todos los fenómenos que hayan podido manifestarse en estas tres formas, serán y continuarán siendo fenómenos físicos.

Supongamos ahora que la corriente de una pila atraviesa esta misma gota de agua (fig. 1). Se desprenderán burbujas de gas de su masa, dirigiéndose unas al polo

positivo de la pila y otras al negativo, y si se las recoge hasta llegar á la descomposición completa de la gota, resultarán por un lado dos volúmenes de hidrógeno, y por otro uno de oxígeno. Esta descomposición habrá tenido indudablemente por causa un fenómeno físico, la producción de la corriente eléctrica; pero en sí es un fenómeno de otro género, cuyo estudio corresponde á la química.

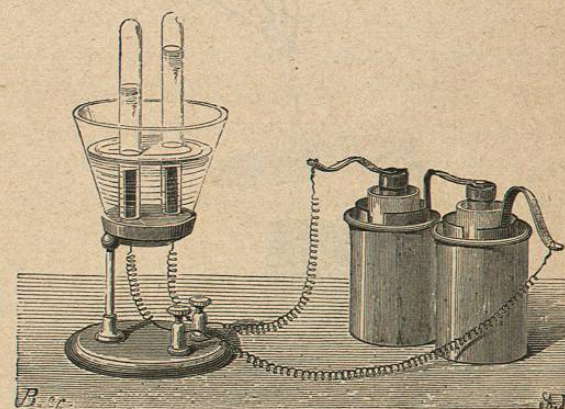


Figura 1.—Descomposición del agua por la pila eléctrica

Continuemos la metamorfosis. Hagamos ahora pasar por el udiómetro (fig. 2) el oxígeno y el hidrógeno en que se había descompuesto la gota de agua, y en seguida lancemos una chispa eléctrica sobre la mezcla gaseosa. ¿Qué sucederá? Que los dos gases reanudarán los vínculos de su primitiva asociación; desaparecerán en esta forma para renacer en la de gotita líquida. También es un fenómeno físico la descarga eléctrica que ha producido la recomposición del agua, su síntesis, como se dice en química; pero esta última modificación es en sí un fenómeno químico.

Si á la temperatura ordinaria se mezclan tres partes en peso de flor de azufre con ocho de limaduras de hierro ó de cobre, la masa pulverulenta no adquirirá ninguna nueva propiedad distinta de las propiedades de las partículas que la componen. Mirando dicha masa con una lente de aumento, se verán las partículas de azufre perfectamente distintas de las de cobre, sin que nada impida suponer que se puede separar de nuevo mecánicamente las dos porciones de la mezcla. Pero si se pone ésta en un crisol y se somete éste á la acción del calor, en breve seremos testigos del más brillante fenómeno. Brota una luz vivísima; despréndese gran cantidad de calor, y en el fondo del crisol se encuentra una substancia nueva, que no tiene ya ninguna de las propiedades características del cobre ni del azufre. Esta substancia es *sulfuro de cobre*, combinación química definida que se halla en la Naturaleza, ora pura con el nombre de covelina ó cobre azul, ora combinada con sulfuro de hierro y formando uno de los minerales de cobre más comunes, llamado vulgarmente cobre piritoso.

El fenómeno de esta combinación es también químico originado por la acción del calor, que á su vez es un fenómeno físico.

Un pedazo de hierro dulce puesto en contacto con un imán adquiere transitoria-

mente la propiedad magnética, y por consiguiente, así como el imán, atrae las partículas de hierro puestas cerca de sus polos. Si en lugar de hierro dulce se hiciera uso de una barra de acero, la propiedad magnética podría llegar á ser permanente. Pero en ambos casos la constitución del metal continuaría siendo la misma que antes de la imantación. Este es un fenómeno puramente físico.

Fácil nos sería multiplicar estos ejemplos; pero creemos que bastan los enunciados para que se comprenda la diferencia que existe entre ambas clases de hechos, y por consiguiente la que media entre la FÍSICA y la QUÍMICA.

Pero si la física y la química tienen respectivamente su terreno separado, no dejan

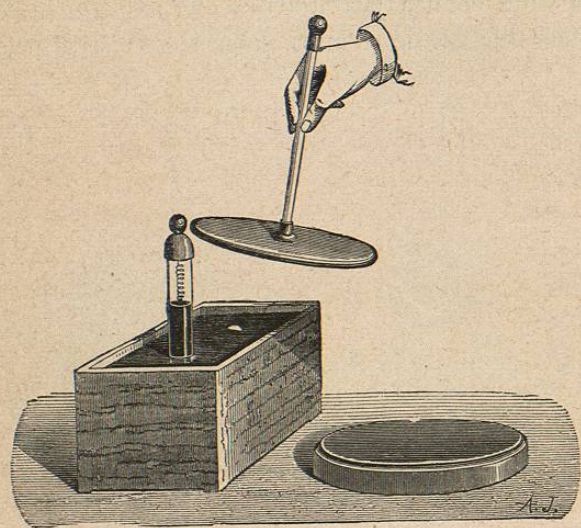


Fig. 2.—Síntesis del agua por el udiómetro

por esto de participar de cierto carácter común, de suerte que Ampère las ha considerado, en nuestro concepto con razón, como dos ramas de la FÍSICA GENERAL, es decir, de la ciencia que estudia las leyes de los fenómenos generales de los cuerpos en tanto cuanto estos fenómenos sean independientes de la organización ó de la vida (1). Ahora, para concluir, ¿es absolutamente preciso dar aquí una definición de la física al lado de otra definición de la química? Casi todos los autores de tratados lo hacen al principio de sus obras, como nosotros mismos acabamos de definir

II

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS. — ¿QUÉ ES LA MATERIA?

Los cuerpos, ó aglomeraciones de materia de cualquier clase, son los materiales de la física (2). ¿Qué es, pues, la *matéria*? He aquí una pregunta que los físicos y metafísicos

(1) Y aun esta restricción, para ser justa, debe comprenderse bien. Hay una parte de la química, y por cierto no la menos importante, que se ocupa especialmente de las combinaciones y descomposiciones propias de los cuerpos orgánicos, pero ésta no es la organización ó la vida que preocupa al químico. Así también los cuerpos vivos presentan una serie de fenómenos físicos, como calor, electricidad, etc., que les son peculiares. Estos fenómenos, considerados en sí mismos, pueden ser estudiados por el físico; pero la tarea de determinar sus relaciones con los fenómenos vitales es incumbencia de la fisiología. Las ciencias naturales abundan en semejantes afinidades, y la confusión que al parecer hay en ellas no pasa de ser aparente.

(2) Los matemáticos estudian las propiedades de los cuerpos *geométricos*, es decir, de la extensión figurada, ó de una porción del espacio circunscrito en límites ideales. La geometría hace abstracción de la materia, que constituye, por el contrario, los cuerpos *físicos*.

sicos de todas las épocas han debatido y comentado de mil modos, y que todavía puede dar margen en la actualidad á las controversias más delicadas y difíciles. Nosotros haremos caso omiso de todas las sutilezas de la metafísica, y daremos el nombre de materia á cuanto pueda excitar una sensación en nuestros órganos, de cualquier clase que ésta sea; ó lo que es lo mismo, á todo lo que causa alguna impresión en nuestros sentidos.

Esta facultad de producir alguna sensación corresponde á una *propiedad* de la materia, la cual posee por consiguiente tantas propiedades distintas cuantas sean las sensaciones que en nosotros puede excitar. Tenemos conocimiento de la existencia de los cuerpos y sus propiedades, merced á la vista, al tacto, al oído, al gusto y al olfato; pero es posible que ciertas propiedades nos pasen completamente inadvertidas si no ejercen acción alguna en nuestros sentidos, ó si no podemos deducirlas de las propiedades perceptibles mediante el raciocinio ó la inducción (1).

No tenemos idea de la materia sino en cuanto ocupa cierto lugar del espacio, es decir, en cuanto es *extensión*, debiendo además ocupar este lugar con exclusión de toda otra materia, lo cual se expresa diciendo que la materia es *impenetrable*. En otros términos, la extensión y la impenetrabilidad son las dos propiedades esenciales de la materia; mas, al paso que la observación nos proporciona la primera, la segunda escapa á toda comprobación experimental, no siendo, por decirlo así, más que una presunción necesaria de la mente.

¿Por qué se dice que la extensión y la impenetrabilidad son cosas esenciales de la materia? Desde luego se comprende, sin necesidad de explicarlo, que una porción de materia, por pequeña que sea, ocupa forzosamente una porción del espacio que no deja de suponer algo; pero la extensión por sí sola sería una abstracción que no correspondería á ninguna realidad perceptible. En óptica veremos que los espejos cóncavos dan, delante de su superficie, imágenes que tienen toda la apariencia exterior del objeto mismo, su extensión, forma y colores. Pero estas imágenes, á pesar de ocupar una extensión, no son materiales; les falta la segunda propiedad de la materia, la impenetrabilidad. No tan sólo se puede introducir la mano en ellas sin hacerlas desaparecer, sin separar las partes que las constituyen, sino que también es posible hacer coincidir con ellas otras imágenes análogas, colocando convenientemente otro ú otros dos espejos. Como dice M. Biot, “son *formas y no materia tangible* (2).”

Siendo la materia esencialmente impenetrable, ¿sucede lo propio con los cuerpos, que están compuestos de materia? Naturalmente que sí; pero hay que formarse un concepto exacto de esta circunstancia, so pena de confundirse, aun cuando en rigor esta confusión es tan sólo aparente.

(1) La observación experimental ha puesto en evidencia hace tres siglos una porción de propiedades antes ignoradas, porque nada había sugerido las condiciones de su modo de presentarse; tan sólo citaremos las propiedades eléctricas y magnéticas. La ciencia descubre diariamente otras nuevas. Pero añadamos que es posible que ciertas propiedades existan sin que lleguemos á conocerlas jamás. Para esto bastaría convenir en que nuestros sentidos no son bastante perfectos, ó que nos falta alguno especial.

(2) Sin embargo, si se quisiera extremar todavía más el análisis de este hecho, podría decirse que las imágenes en cuestión, llamadas *imágenes reales* por los físicos, son realidades sensibles, y que lo son porque allí donde se forman por la convergencia de los rayos luminosos, ó mejor dicho, de las ondas emanadas del objeto, hay un medio material. Sin el éter no habría luz ni imágenes; y ¿qué es el éter sino materia, materia imponderable, es verdad, pero al fin materia, un substratum capaz de afectar nuestros sentidos con sus ondulaciones? Habría, pues, que averiguar si el éter es impenetrable. Creemos que se puede y hasta se debe presumir así; pero entonces es evidente que toda prueba experimental de esta impenetrabilidad, que no podemos apreciar en cuanto á la materia ponderable, tampoco podríamos apreciarla en cuanto al éter.

Un clavo sobre el que se descarga un martillazo penetra en un madero; la mano metida en un líquido ocupa el puesto que necesita; nuestro cuerpo se mueve sin resistencia ostensible en la atmósfera. Estos son otros tantos ejemplos aproximados de una penetración que no tiene nada de común con la propiedad de que aquí se trata: cuando un cuerpo ocupa el sitio de otro cuerpo, es sobrado evidente que ambos no ocupan á la vez el mismo espacio. Por lo demás, fácilmente se comprueba en todos los casos, ó que el volumen total de los cuerpos que de tal modo se han penetrado es igual á la suma de los volúmenes que ocupaban separadamente, ó bien, si este volumen es menor, como en el indicado ejemplo del clavo, consiste en que, mediante un esfuerzo más ó menos violento, el cuerpo duro ha rechazado, ha comprimido al otro.

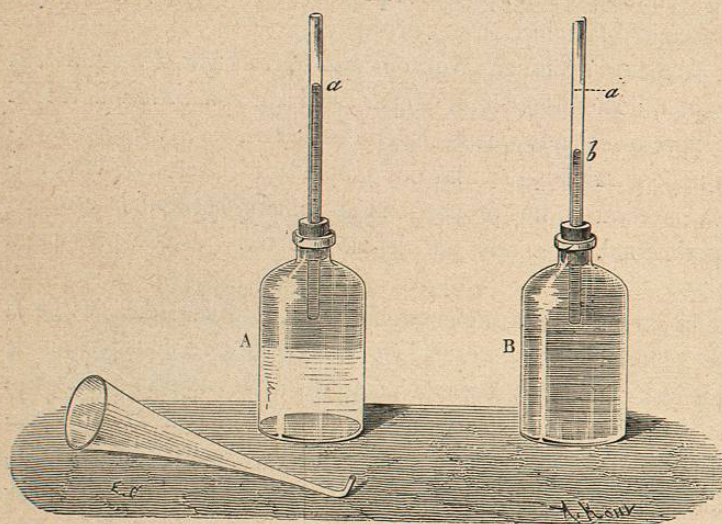


Fig. 3.—Penetración aparente del agua y del alcohol

Podríamos citar otros ejemplos no tan comprensibles ó más intrincados de penetración aparente. En un gran número de fenómenos químicos se echa de ver que el cuerpo formado por la combinación de otros dos presenta un volumen ora menor, ora mayor que la suma de los volúmenes de los cuerpos componentes. Sucede lo primero cuando se mezcla agua con ácido sulfúrico ó con alcohol concentrado. He aquí cómo procede M. Daguin para hacer ostensible este fenómeno. Llena de agua un frasco hasta la mitad, y luego, con un embudo de pico agudo y doblado en ángulo recto, echa en el frasco alcohol, que se extiende por la superficie y llena el resto de la vasija sin mezclarse con el agua. Entonces M. Daguin introduce, pero sin revolver los líquidos, un tubo provisto de un tapón que entra muy justo en el cuello del frasco (fig. 3).

El alcohol desalojado por el tapón y por la porción sumergida del tubo sube hasta un nivel *a* que se marca en el tubo. Si se hace girar entonces el frasco sobre sí mismo inclinándolo, los líquidos se mezclan, viéndose al propio tiempo bajar el nivel en el tubo hasta *b*. Por consiguiente, el volumen total ha disminuído y los líquidos parece haberse penetrado recíprocamente.

Pero ¿de qué dimanen estas últimas penetraciones aparentes? De dos propiedades que tienen todos los cuerpos: la *divisibilidad* y la *porosidad*. En rigor, la materia que los constituye no es continua; sus diferentes partes, que es posible aislar entre sí valiéndose de varios medios, no se tocan; entre las más pequeñas hay espacios vacíos de materia, intersticios ó *poros*.

Si se pone en un platillo un pedazo de yeso sobre una capa de agua, á los pocos instantes ésta queda absorbida por el yeso, que se empapa de ella por completo sin que su volumen aumente; hay penetración aparente y mutua de los dos cuerpos, lo cual depende de los espacios vacíos que existen entre las moléculas del yeso.

Estudiemos las distintas formas en que se presentan ambas propiedades en los líquidos, en los sólidos y en los gases, y en seguida comprenderemos mejor el sentido en que debe entenderse la impenetrabilidad de la materia. Pero empecemos por definir los tres estados físicos en que se presentan á nuestra vista todos los cuerpos de la Naturaleza.

III

ESTADOS FÍSICOS DE LOS CUERPOS —LOS SÓLIDOS, LOS LÍQUIDOS Y LOS GASES

Los cuerpos aparecen á nuestros ojos, al menos tales como la experiencia nos los da á conocer, en tres estados principales; presentan tres formas ó apariencias caracterizadas por propiedades distintas.

Unos, como la mayor parte de los minerales, piedras, rocas, metales, están compuestos de partes cuya adherencia es tal que guardan una forma permanente; ó cuando menos, para variar esta forma, y con mayor motivo para desprender unas de otras las partes constitutivas de dichos cuerpos, es menester á veces hacer muchísima fuerza. Estos cuerpos son los *sólidos*, y nadie ignora que se llama dureza, tenacidad, á la resistencia que oponen á cuantos esfuerzos se hacen para dividirlos en partes, rayarlos con cuerpos más duros que ellos, romperlos ó quebrarlos. De estas propiedades de los cuerpos sólidos resultan condiciones particulares relativas á su estado de equilibrio y de movimiento.

El estado *líquido* es el de aquellos cuerpos cuyas más pequeñas partes ceden fácilmente á la presión más leve, y se deslizan con mayor ó menor movilidad unas sobre otras, pero sin dejar de estar unidas y en apariencia continuas.

El agua, varias sustancias de origen vegetal y animal, como la savia, la leche, la sangre, el vino, el aceite, y un metal á la temperatura ordinaria, esto es, el azogue, son cuerpos líquidos, y ya es sabido que la propiedad común á todos estos cuerpos y característica de su estado físico consiste en que una masa cualquiera, si bien algo grande (1), no tiene en sí misma forma determinada, sino que toma la de las vasijas sólidas que la contienen, moldeándose espontáneamente, por decirlo así, sobre la forma de éstas. Pero los líquidos participan también de una propiedad de los sólidos, cual es la de que el volumen de unos y otros permanece constante, cuando no sufren variación alguna en su temperatura ni la hay en las presiones que soportan.

Por último, otros cuerpos, como el aire, tienen en sus moléculas una movilidad análoga á la de los líquidos, y aun mucho mayor por lo regular; tales son los *gases*; mas al paso que las moléculas líquidas todavía conservan entre sí una adherencia que las une en un todo de volumen invariable, las moléculas de los gases tienen, por el contrario, una gran propensión á desviarse unas de otras, á separarse. Resulta de aquí que toda masa gaseosa comprime en todos sentidos las paredes del recipiente ó vasija que la contiene, por manera que si el volumen de este recipiente aumenta, la masa seguirá llenándole enteramente, aumentando de volumen á su vez. Compruébase la expansibilidad de los gases por medio de sencillos experimentos. Se coge, por ejemplo, una vejiga, y haciendo que penetre en ella cierta cantidad de aire ó de cualquier otro gas, se tapa herméticamente la abertura. En este estado la vejiga conserva su forma; el volumen

(1) En pequeñas masas, la mayor parte de los líquidos adquieren una forma esférica cuando están en suspensión en el aire ó en contacto con la superficie de los cuerpos á los que no mojan.