

caciones de los barómetros de mercurio, en lo que respecta á la capilaridad; correcciones que dependen á la vez del diámetro interior del tubo y de la altura ó de la flecha del menisco. Por desgracia, los resultados dados por estas tablas de las depresiones capilares adolecen de poca exactitud y no concuerdan entre sí; así es que los físicos prefieren adoptar el método de corrección que consiste en comparar el barómetro con un barómetro patrón ó normal; de lo cual resulta una constante que se puede comprobar de vez en cuando, pero que tiene la ventaja de dar al propio tiempo la corrección que procede del cambio de lugar del cero.

III

DIFUSIÓN ENTRE LOS LÍQUIDOS: DIFUSIÓN ENTRE LOS GASES

Cuando los líquidos, como el agua y el alcohol, son capaces de mezclarse y se los junta, se penetran recíprocamente al cabo de más ó menos tiempo, según las condiciones en que se hace el experimento. Dase á este fenómeno el nombre de *difusión*. El primer físico que sometió á un estudio regular este género particular de acciones moleculares (1) fué Dutrochet, que en 1826 examinó lo que sucede cuando se sumerge en agua pura un frasco lleno de alcohol y cuyo fondo es una membrana porosa, un pedazo de vejiga. Para hacer el experimento, adoptó la disposición representada en la figura 233: *v* es el frasco que contiene el alcohol, y *b a* la vejiga que forma su fondo; dicho frasco lleva un tubo graduado *n*. Cuando se le mete en la vasija que contiene el agua, vese que el líquido sube poco á poco por el tubo, se eleva progresivamente y hasta rebasa el extremo superior, cayendo fuera. Analizando con el areómetro los líquidos contenidos entonces en el frasco y en la vasija, se reconoce que el alcohol del primero se ha mezclado con el agua; y por el contrario, el agua de la vasija se ha mezclado con cierta cantidad de alcohol. Ha habido pues cambio ó mezcla de los líquidos al través de la membrana, y la ascensión por el tubo prueba que la corriente que ha difundido el agua en el interior del frasco ha sido más fuerte que la corriente inversa en virtud de la cual el alcohol ha salido de él.

Dutrochet ha dado el nombre de *ósmosis* al fenómeno general, llamando *endósmosis* á la corriente que entra ó más bien á la más poderosa, y *exósmosis* á la corriente que sale ó sea á la más débil. En el experimento que precede, se dice que hay endósmosis del agua al alcohol. El aparato que representa la figura 233 lleva el nombre de *endosmómetro*, porque Dutrochet se sirvió de él para medir la velocidad mayor ó menor con que se efectuaba el fenómeno, cuando, en lugar de agua y alcohol, observaba

(1) El abate Nollet había observado la difusión de los líquidos unos ochenta años antes que Dutrochet, como lo hace notar Violle en su *Curso de física* al describir el experimento siguiente: "Queriendo conservar espíritu de vino á cubierto del aire y habiendo llenado de él un frasco cilíndrico de cinco pulgadas de largo y una de ancho, tapándolo en seguida con un pedazo de vejiga mojada y atada con un cordel al golete de la vasija, lo metió en otra llena de agua. A las cinco ó seis horas se quedó admirado al ver que el frasco estaba más lleno que en el momento de su inmersión, aunque entonces lo estuviera tanto como lo permitían sus bordes; la vejiga que le servía de tapadera se había puesto convexa y tan estirada, que pinchándola con un alfiler salió por ella un chorrillo de líquido que se elevó á más de un pie de altura." Nollet hizo otro experimento inverso del primero; llenó el frasco de agua, lo tapó con un pedazo de vejiga mojada y lo metió en espíritu de vino; en lugar de hincharse, se hundió poco á poco, y el agua que estaba encima de ella disminuyó en proporción. Estos son los fenómenos de ósmosis estudiados por Dutrochet, pero Nollet no llevó más adelante sus investigaciones.

lo que pasa con cualesquiera líquidos, por ejemplo, con disoluciones salinas más ó menos concentradas.

La difusión al través de las membranas, ú ósmosis, es un fenómeno muy complejo. La misión de la membrana es considerable, pues la absorción endosmótica varía, no tan sólo con los diferentes líquidos para una misma membrana, sino también para un mismo líquido con membranas distintas. En este último caso, el sentido mismo de las corrientes puede variar, y así por ejemplo, cuando en el experimento de Dutrochet se reemplaza con una lámina de caucho la vejiga para formar el fondo del frasco lleno de alcohol, se observa una depresión en el nivel del líquido del tubo, y la endósmosis ocurre del alcohol al agua. Graham ha demostrado que la endósmosis va creciendo con la temperatura.

Este físico hizo una importante y curiosa aplicación de los fenómenos de difusión por las membranas. Habiendo comprobado que existe una relación notable entre la difusibilidad de un cuerpo y su tendencia á cristalizar, siendo siempre las sustancias cristalizables mucho más difusibles que las amorfas, designó las primeras con el nombre de *cristaloides*, y las segundas con el de *coloides*. En la primera clase figuran especialmente todas las disoluciones salinas; en la segunda, las gomas, la gelatina, la albúmina, etc. De esta oposición en las propiedades de ambas especies de cuerpos, Graham ha deducido un método de separación de sus mezclas, á cuyo método dió el nombre de *dialisis*. El aparato de que se ha servido, y que se llama *dializador* (fig. 234), es sumamente sencillo. Es una vasija de cristal ó de gutapercha, poco profunda, que se cierra en una de sus bases con una hoja de papel-pergamino. Introdúcese en ella la substancia que se ha de dializar y se mete la vasija en una cubeta llena de agua pura, de modo que los dos líquidos estén poco más ó menos al mismo nivel. La membrana permeable basta para impedir la mezcla por acción mecánica ó por diferencia de presión, siendo la difusión la que opera la separación de la substancia coloidal mezclada con la substancia cristaloides. Graham ha podido preparar de este modo soluciones en agua pura de cuerpos que hasta entonces se habían considerado como insolubles, por ejemplo, los hidratos de sílice, de alúmina, férrico, etc.

M. Peligot, en su erudito estudio sobre las aguas del Sena hecho en 1864, tuvo ocasión de aplicar el método de dialisis al examen del agua de la gran cloaca colectora en Asnières, en el punto en que desemboca en el río. Esta agua, muy infecta y espumosa, fué evaporada primeramente, y el residuo seco de esta evaporación tratado por el alcohol absoluto. "La disolución, dice el sabio químico, fué luego evaporada al baño de María. El nuevo residuo fué á su vez *dializado*, es decir, sometido á ese procedimiento de separación con el que M. Graham ha enriquecido recientemente la química analítica. Evaporando el agua en la cual sumergía el dializador y tratando el residuo por el ácido nítrico, he obtenido cristales que me han presentado los caracteres del *nitrato de urea*."

La dialisis es un auxiliar precioso para las investigaciones toxicológicas, pues hace posible la separación de venenos cristaloides, como la estrignina y el ácido arsenioso,

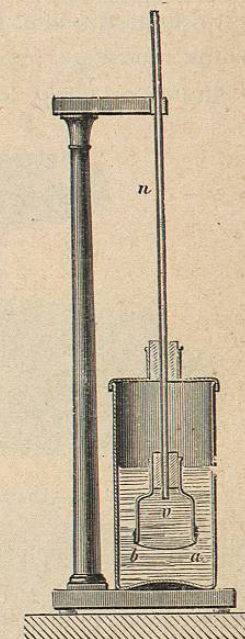


Fig. 233. — Endosmómetro de Dutrochet

de las sustancias coloides del organismo. M. Dubrunfaut ha hecho también una importante aplicación industrial de las leyes de la difusión. Gracias á un aparato de su invención, al que ha dado el nombre de *osmogeno*, ha podido extraer de los jugos azucarados ciertas sales que son un obstáculo para la cristalización del azúcar, con lo cual se ha aumentado considerablemente su rendimiento.

Dutrochet solamente había estudiado la difusión al través de un diafragma; Graham emprendió veinticinco años después una serie de experimentos sobre la difusión simple, es decir, sobre la penetración recíproca de dos líquidos susceptibles de mezclarse cuando se los pone en contacto inmediato. Para observar lo que ocurre en este caso, hay que tomar ciertas precauciones con objeto de evitar la mezcla mecánica de los líquidos puestos frente á frente. El ilustrado físico inglés se valió con tal objeto de dos procedimientos: consistía el primero en introducir, en una vasija llena de agua pura por ejemplo, un frasco tapado con un obturador puesto en su orificio, cuyo frasco contenía la

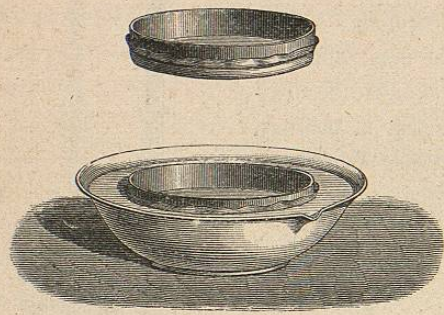


Fig. 234.—Dializador de Graham

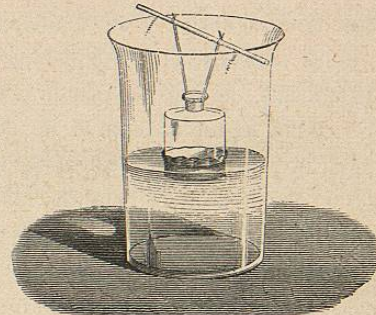


Fig. 235.—Otro dializador

disolución salina (sal marina, ácido clorhídrico, nitrato de plata) que se quería estudiar. Quitando poco á poco el obturador, se abandonaba á sí mismos los líquidos puestos en contacto; tal es el método llamado del *frasco* (*phial-diffusion*). El otro procedimiento llamado de la *jarra* (*jar-diffusion*) consiste en introducir debajo del agua pura contenida en una jarra, por medio de una pipeta, la disolución en cuestión. Véase lo que resulta con uno ú otro método: Al cabo de algunas horas, el agua pura contiene cierta cantidad de agua salada, y la disolución, menos concentrada, ha recibido en compensación cierta cantidad de agua pura. Sacando líquido á diferentes intervalos, y analizando las muestras de las cantidades extraídas de este modo, Graham pudo comparar los pesos de substancia difundida en cada capa, y reconocer, con respecto á líquidos diferentes, que la difusibilidad de los cuerpos presenta las mismas diferencias que su volatilidad. Estos experimentos, así como los de difusión referidos más arriba, son los que han inducido á este físico á distinguir las sustancias en *crystaloides* y *coloides*, distinción que sirve de base á la dialisis.

Otro experimento célebre, hecho por Berthollet, demuestra que la fusión, que no siempre es posible entre los líquidos, ocurre siempre entre los gases. Valióse al efecto de dos globos de vidrio atornillados uno á otro por medio de dos guarniciones metálicas con llave, de modo que comunicaran por un angosto tubo, y los llenó separadamente, el inferior de ácido carbónico y el otro de gas hidrógeno, á la misma presión y á igual temperatura. Colocó el aparato en los sótanos del Observatorio de París, cuya temperatura es invariable, y cuando la hubo adquirido, abrió las llaves. A los pocos días las cerró, separó los globos y reconoció que la presión era la misma en ambos: el

análisis demostró que cada uno de ellos contenía una mezcla uniforme de los dos gases. Lo propio que en el experimento de difusión simple de los líquidos, el gas más denso había ido á parar, en contra de las leyes de la hidrostática, de abajo á arriba, y el más ligero de arriba á abajo. Como se tomaron las precauciones necesarias para que la mezcla no pudiera resultar de las corrientes que las diferencias de temperatura ó la acción de la gravedad habrían suscitado, vese que aquí se trata de una penetración directa de la molécula de los gases de uno á otro medio. La difusión de los gases se efectúa con tanta mayor rapidez cuanto más elevada es su temperatura.

Graham ha estudiado también en particular esta misma difusión al través de los diafragmas. El gas que se propuso experimentar estaba sometido, á un lado del diafragma, á una presión constante, al paso

que en el otro lado una bomba de gas hacía el vacío. Daba el nombre de *efusión* al paso del gas al través de una pared metálica delgada con un agujero muy fino, y el de *transpiración* al mismo fenómeno cuando ocurre en un tubo capilar cuya longitud equivale lo menos á 4.000 veces su diámetro. La *difusión* propiamente dicha es el fenómeno del paso del gas al través de una pared sólida sin agujerear, ó sin otros agujeros que sus poros, por ejemplo, una placa delgada de grafito como se le emplea para los lápices, ó también de tierra cocida, porcelana, etc. Tomando por unidad el tiempo que invierte un volumen de gas oxígeno en difundirse en el vacío al través de un diafragma de grafito, Graham ha deducido, para los tiempos invertidos por un mismo volumen de hidrógeno, de aire, de ácido carbónico, los números 0,2505, 0,9501 y 1,1860, que están á corta diferencia en razón directa de las raíces cuadradas de las densidades de los gases, de donde se sigue esta ley:

La velocidad de difusión de los gases en el vacío por una pared porosa varía en razón inversa de la raíz cuadrada de sus densidades.

La difusión del gas no exige que se haga el vacío á un lado del diafragma, ni siquiera que haya exceso de presión en el lado en que se encuentra el gas que se considera. Es recíproca entre dos gases y entonces se opera en razón de las velocidades de expansión respectivas de cada uno de ellos. El cambio se efectúa con arreglo á una relación constante, la cual no sigue, sin embargo, rigurosamente la ley de la razón inversa de las raíces cuadradas de las densidades que acabamos de citar. Si el aire y el hidrógeno son los dos gases que se separan por medio de una lámina de grafito comprimido, la difusión se efectuará así: por cada volumen de aire que pasa al lado del hidrógeno, pasan al del aire 3,8 volúmenes de hidrógeno. Bunsen ha empleado para esta clase de mediciones un aparato especial al que ha dado el nombre de *difusiómetro*, cuya descripción se encontrará en los tratados especiales, por ejemplo, en el *Tratado*

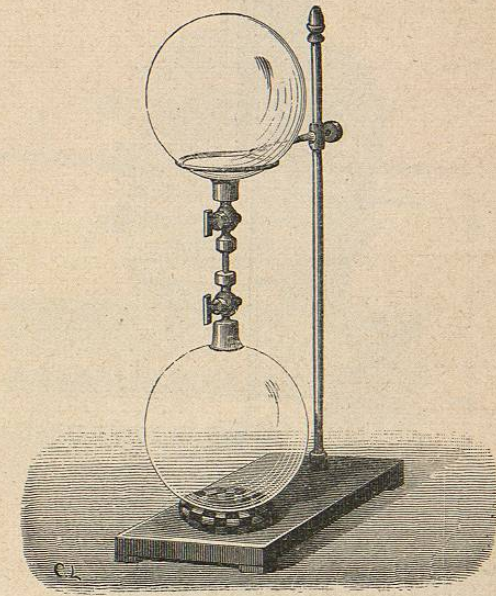


Fig. 236.—Experimento de Berthollet sobre la mezcla de los gases

de física molecular de M. Violle y en el *Tratado de química general* de P. Schützenberger. Pero en las cátedras se hacen con dos aparatos que vamos á describir y que ha discurrido M. Jamín, ciertos experimentos que demuestran, sin ninguna duda, la rapidez con que se efectúa la difusión de los gases al través de los diafragmas sólidos porosos.

A (fig. 237) es un cilindro poroso de una pila Bunsen, cuya abertura está cerrada con un tapón de corcho dado de mastic. Dos tubos penetran en el interior de este vaso; uno, B, sirve para introducir una corriente de gas hidrógeno que sale por el extremo sumergido del otro tubo C. Si se cierra bruscamente el primer tubo con una llave y se interrumpe así la llegada del hidrógeno al cilindro, vese al punto que el agua sube por

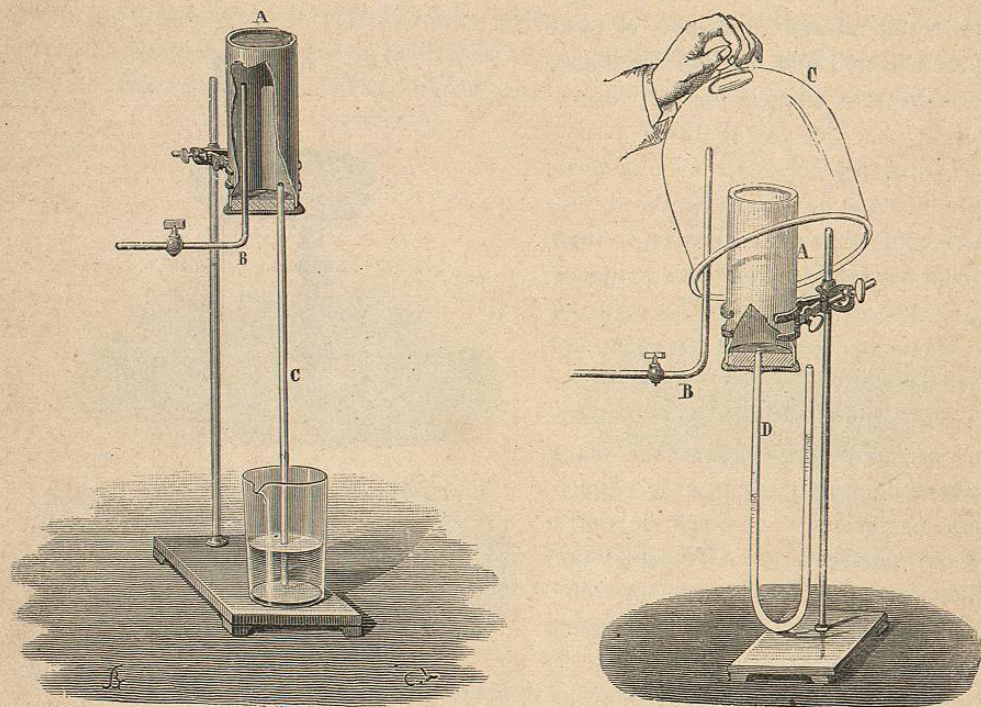


Fig. 237.—Difusión de los gases. Aparato de M. Jamín Fig. 238.—Aparato para la difusión del hidrógeno

el tubo C. Esta ascensión indica una disminución de la presión ó de la fuerza elástica del gas interior, que no se puede explicar sino por la difusión rápida del gas hidrógeno al través de las paredes del vaso poroso.

Esta difusión es tan rápida si tiene lugar al interior como al exterior del cilindro. Para demostrarlo, basta hacer al contrario el mismo experimento. El cilindro poroso A se pone entonces en comunicación con un tubo en U (fig. 238) que contiene agua. Lleno el cilindro de aire á la presión atmosférica, el nivel de éste es el mismo en los dos brazos del tubo D. Si con una campana invertida alimentada por el tubo B se envuelve el vaso A en una atmósfera de gas hidrógeno, ocurre la difusión instantáneamente por las paredes del vaso, y ocasionando la penetración del hidrógeno un aumento de presión, manifiéstase ésta al punto por un descenso del nivel del agua en el brazo del tubo que comunica con el vaso.

En el tomo II de esta obra (1) hemos descrito un aparato indicador del gas grisú,

(1) Figura 372, página 384.

que fué inventado por M. Ansell, y basado en el aumento de presión producida por la difusión del hidrógeno carbonado al través de una placa porosa. Este aumento de presión repele el mercurio á un tubo lateral, y mediante el contacto del líquido con una punta metálica se cierra el circuito de una pila que hace funcionar un timbre eléctrico. Este aparato se ha empleado para buscar las fugas de gas, por lo cual se le ha dado el nombre de *busca-fugas*.

Hemos visto ya que la difusión ocurre con una prontitud propia de cada gas, de lo cual resulta que si se trata la mezcla que constituye el aire atmosférico por el aparato de vacío de Graham, el gas procedente de la difusión tendrá una composición diferente de la del aire. Si en lugar de emplear una placa de grafito se emplea una hoja de caucho, substancia completamente exenta de poros visibles, la penetración tiene lugar del mismo modo, de suerte que después del paso, la proporción entre el oxígeno y el nitrógeno estará representada por los números 40,4 y 59,6, y no por 21 y 79. La proporción de oxígeno ha aumentado cerca de un 20 por 100, ha duplicado casi. Así es que al acercarse á la mezcla un pedazo de madera hecho ascua, aquélla se inflama al punto.

Hace algunos años que tenemos ejemplos diarios de la difusión de los gases al través del caucho. Los pequeños globos henchidos de hidrógeno con que juegan los niños, disminuyen progresivamente de volumen hasta quedar vacíos. Fácilmente se comprende la razón de este fenómeno. La rapidez de penetración del aire atmosférico al través de la goma es casi 5 veces menor que la del hidrógeno, de suerte que por cada centímetro cúbico de este gas que se escapa del globo, sólo entra un poco más de dos décimas de centímetro cúbico de aire, y como se ve, es muy natural la rapidez del deshinchamiento.

Los metales que, como el hierro y el platino, son absolutamente impermeables á los gases, á la temperatura ordinaria, desempeñan el papel de diafragmas porosos cuando se los eleva á altas temperaturas. La difusión ó la penetración de los gases se efectúa entonces al través de su substancia en condiciones muy interesantes. H. Sainte-Claire Deville, Troost, Cailletet y Graham han estudiado debidamente estos fenómenos.

He aquí el experimento que hicieron los dos primeros físicos anteriores para estudiar la permeabilidad para el hidrógeno del platino calentado al rojo vivo.

T es un tubo grueso de platino fundido, perfectamente homogéneo, por cuyo interior se hace pasar una corriente de hidrógeno, y que por el otro extremo está en comunicación con el mercurio de una vasija por un tubo acodado de vidrio M, cuyo brazo vertical tiene 76 centímetros de largo. Siendo la presión á frío de la atmósfera, no se nota efecto alguno y el mercurio continúa al mismo nivel en el tubo, y exterior-

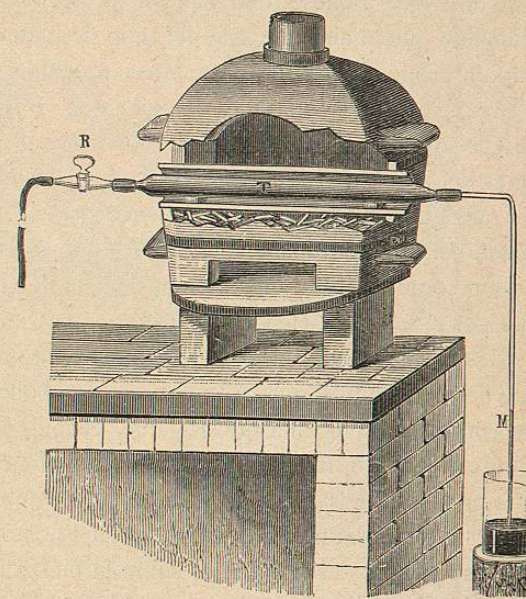


Fig. 239.—Permeabilidad del platino para el hidrógeno. Experimento de H. Sainte-Claire Deville y Troost