

mente en la vasija. Pero si después de calentar el tubo de platino en un hornillo hasta el rojo vivo se cierra la llave que da paso al hidrógeno, verase cómo se eleva el mercurio poco á poco por el tubo, marcando una disminución notable de presión en el interior, disminución ocasionada por la difusión del hidrógeno al través de las paredes del tubo metálico.

Puede hacerse este mismo experimento de otro modo. Colócase el tubo de platino en el eje de un cilindro de porcelana, donde se le sujeta con dos obturadores que cierran herméticamente el espacio comprendido entre los dos tubos. Por este espacio, en el que se han colocado fragmentos de porcelana, se hace pasar una corriente de hidrógeno seco, al propio tiempo que por el interior del tubo de platino circula una corriente de aire seco. Pónese todo ello en un hornillo y se calienta. Al principio se conoce fácilmente que el aire que sale del tubo de platino está compuesto de oxígeno y nitrógeno en proporciones normales. Mas á medida que la temperatura se eleva, este aire se empobrece más y más de oxígeno y se ve que se condensan gotas de agua en el tubo de salida, lo que prueba que el hidrógeno del espacio anular ha debido pasar al través del platino para combinarse con el oxígeno desaparecido. A los 1.000° ya no sale más que agua y nitrógeno á fuerte presión. En cuanto al hidrógeno que se desprende del espacio anular, se reconoce que este desprendimiento se hace con velocidad aminorada; si se interrumpe la llegada del gas se ve, como antes, que el mercurio sube por el interior del tubo de salida, en el cual se produce un vacío casi completo.

Los mismos físicos hicieron un experimento análogo con un tubo de hierro fundido ó de acero fundido sumamente pobre en carbono; el hidrógeno penetró por sus paredes con tal energía endosmósica que, cuando se interrumpió la corriente del gas, se elevó el mercurio hasta 74 centímetros en el tubo de salida, es decir, casi á la altura de la presión atmosférica. Graham ha observado los mismos fenómenos en el paladio, desde la temperatura de 240°, de lo cual nos ocuparemos más adelante. M. Cailletet ha hecho curiosos experimentos sobre la fuerza con que los gases penetran en el hierro caldeado á elevada temperatura. "He hecho laminar, dice, bajo cilindros planos pedazos de cañones de escopeta, cuyos dos extremos se han soldado en seguida. De este modo se obtenían prolongados rectángulos, formados de dos láminas puestas en contacto y soldadas por los bordes. Calentando á elevada temperatura una lámina preparada de este modo, se ve muy en breve que las partes no soldadas se separan, y recobran su forma cilíndrica y su volumen primitivo. No cabe pues duda que los gases del hornillo han penetrado en la masa de hierro, ocasionando la distensión de las partes puestas primeramente en contacto., Completáronse estos experimentos de modo que fuese posible reconocer que lo que había atravesado el hierro era efectivamente hidrógeno puro; á frío y hasta 210° el hidrógeno no atraviesa una placa de dicho metal que tenga solamente un 35.° de milímetro de espesor.

En concepto de Cailletet, dimanen de esta penetración de los gases las ampollas que se notan con frecuencia en las grandes piezas de hierro forjado, por ejemplo, en las placas de blindaje. "Si se perfora una de estas ampollas, dice, retirando del hornillo la pieza comenzada, se escapa de ella un chorro de gases combustibles que se han acumulado durante el caldeo en las cavidades que puede presentar la pieza incompletamente forjada., El hierro calentado con polvo de carbón, en las cajas de cementación, presenta por esta misma causa en su superficie, después de su transformación en acero, ampollas que varían en número, según la calidad del hierro empleado. Las ampollas desaparecen si se tiene cuidado de operar con el hierro perfectamente dulce y homo-

géneo que se obtiene calentando acero fundido por espacio de muchas horas y á una temperatura elevada.

Vese, pues, que la industria puede sacar gran partido de las investigaciones de física molecular de que acabamos de hacer mérito. Pero las ciencias naturales no reportan menor utilidad de los resultados obtenidos, según lo ha demostrado C. Sainte-Claire Deville con motivo de los experimentos de Cailletet. Este físico partía del caso experimental comprobado por su hermano y Troost, á saber: "que si el hidrógeno atraviesa sin dificultad un tubo de porcelana fuertemente caldeado, pero no modificado en su estructura, no sucede lo mismo cuando el tubo se ha elevado á una temperatura

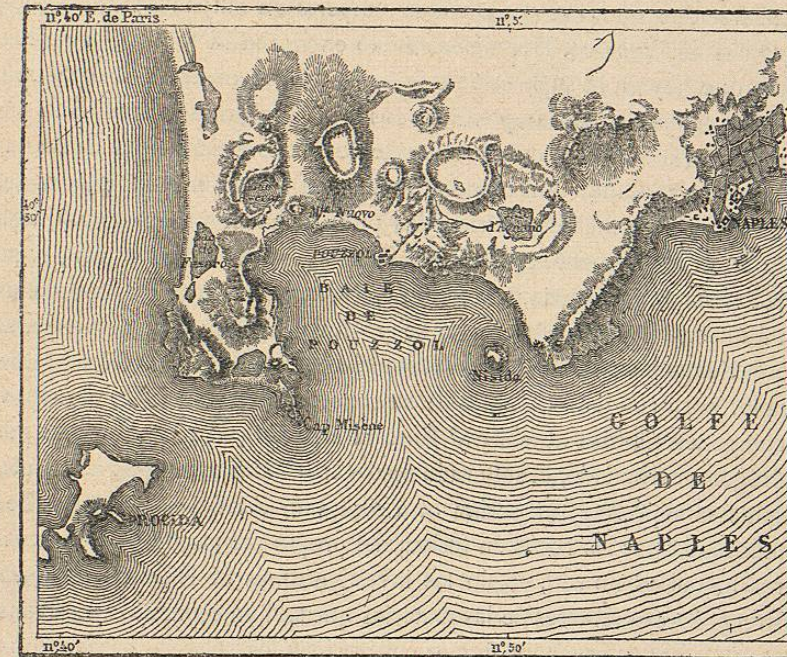


Fig. 240.—Mapa de los Campos Flégreos

capaz de reblandecer ó de vitrificar su pared exterior. En este caso, no tan sólo cesa el gas de estar transvasado por el tubo, sino que lo detiene absorbiéndolo en parte por su superficie vitrificada, la cual puede dejarlo escapar en seguida tomando una estructura porosa.,

C. Saint-Claire Deville encuentra estas propiedades antagónicas del estado cristalino y del estado vítreo ó amorfo de una substancia en las lavas volcánicas que, según hemos visto, constituyen dos distintas variedades. Las unas, ricas en sílice, muy sobre-fusibles, adquieren fácilmente al enfriarse el estado vítreo; en cuyo caso se hallan la obsidiana, las traquitas antiguas y las tobas de los Campos Flégreos. Las otras (anfígenitas, basaltos, doleritas), ricas en cal y muy escasas de sílice (50 por 100 á lo sumo), permanecen siempre cristalinas, cualquiera que sea la rapidez de su enfriamiento. De estas lavas se desprenden sucesivamente, por el orden que hemos indicado al ocuparnos de las emanaciones de los volcanes, los diferentes gases que habían disuelto en el calurosísimo medio en que estaban en fusión, gases que se escapan á medida que se opera el lento trabajo íntimo de la cristalización. Tales son las lavas observadas en las

erupciones del Vesubio. Por el contrario, las ricas en sílice que, como la obsidiana, tienen cierta propensión á consolidarse en el estado vítreo, aprisionan y solidifican en cierto modo las substancias volátiles que contienen en disolución. La obsidiana, calentada á una temperatura muy inferior á su punto de fusión, se hincha aumentando considerablemente de volumen, y una vez transformada en pómez, se necesita un calor muy intenso para reblandecerla de nuevo y fundirla. En concepto de C. Sainte-Claire Deville, los numerosos cráteres del Monte-Nuovo y de los campos Flégreos se han formado por efecto de la transformación en pómez de las masas interiores de obsidiana. Levantando el suelo á modo de inmensa ampolla y desparramando por todas partes sus escombros, la fuerza inmensa que resulta de esta expansión súbita no exige para desarrollarse más que una elevación de temperatura muy inferior á la que se nota en las erupciones del Vesubio. Del mismo modo explicaba la formación de los numerosos cráteres que hay en la superficie de la Luna. "Si se observa, dice, la semejanza que hay entre el mapa de los Campos Flégreos y la de algunos puntos de la superficie lunar, es muy natural suponer que los accidentes de ésta tienen por causa la misma clase de acciones, no estando quizás fuera de lugar el hacer observar que un globo enteramente compuesto de materias vitrificadas pudiera haber condensado y disuelto así en su propia masa los elementos gaseosos que lo rodeaban en su origen, y que, á no haber mediado esta circunstancia, le habrían constituido una atmósfera. Aplicando esta apreciación á nuestro propio globo, ¿no se podría concebir que la corteza granítica primitiva, esencialmente rica en sílice, substancia cuya extraordinaria sobrefusibilidad he demostrado, haya condensado antes de su consolidación una parte al menos de los gases que componen nuestra atmósfera? En esta hipótesis, el vapor de agua, el hidrógeno, el hidrógeno carbonado, el sulfurado (estos tres últimos cuerpos destinados á oxidarse al llegar á la superficie) no serían otra cosa sino los últimos residuos de esa atmósfera almacenada por las rocas en fusión; del propio modo que los fluoruros, cloruros y sulfuros metálicos no son, según las investigaciones de Elías de Beaumont, más que los postreros representantes de las materias que se han separado sucesivamente de las rocas eruptivas para formar los filones concrecionados.,,

Al citar estas apreciaciones de nuestro distinguido meteorologista y geólogo, que emitía bajo toda reserva, hemos querido hacer ver una vez más cómo las sencillas indagaciones de laboratorio aclaran algunos puntos oscuros de las ciencias naturales y sugieren interesantes conjeturas acerca de la constitución física de nuestro planeta, así como de aquellos cuerpos á los que no podemos llegar sino con el pensamiento.

Volvamos ahora á los fenómenos de difusión de los gases en los cuerpos sólidos.

Acabamos de ver que C. Sainte-Claire Deville consideraba las substancias volátiles contenidas en las lavas silíceas *como solidificadas en cierto modo* en la materia vitrificada. Cuando Graham descubrió la propiedad que tiene el caucho de separar el nitrógeno del oxígeno del aire, dió á este hecho una interpretación casi análoga, haciéndola extensiva á los demás fenómenos de permeabilidad de los metales ó de los cuerpos porosos para los gases. A su modo de ver, esta absorción de gas produce verosímilmente su licuefacción. ¿Cómo explicar de otro modo la curiosa propiedad que tiene el paladio de absorber y condensar hasta 660 veces su volumen de hidrógeno en estado de negro, y hasta más de 900 veces bajo la influencia de la corriente de la pila? ¿Y la del platino de absorber del mismo modo muchos centenares de volúmenes del mismo gas? Si una membrana de caucho separa el oxígeno del nitrógeno cuando estos dos gases del aire atraviesan dicha substancia, consiste en que tiene la propiedad de liqui-

dar cada uno de estos gases, los cuales, en forma líquida, caminan separadamente con velocidades desiguales por el interior de la membrana, para evaporarse de nuevo en el vacío y recobrar el estado gaseoso.

Estudiando Graham la oclusión del hidrógeno por el paladio, hizo la curiosa deducción de que el gas así condensado no es más que un metal, al que dió el nombre de *hidrogenio*. Tomando un alambre de paladio forjado, y poniéndolo como polo negativo de una pequeña pila de Bunsen, con un alambre grueso de platino por polo positivo, el ilustrado físico inglés logró cargar el alambre de una cantidad de gas hidrógeno igual á 936 veces su volumen. Después del experimento, que duró media hora, se notó que la longitud del alambre había aumentado, y también su peso en proporción. Extrájose el hidrógeno con una bomba Sprengel, y se recogió y midió su volumen reduciéndole á 0° y á la presión de 760. El autor de este experimento, que se repitió en distintas condiciones, lo resumió en una nota presentada por él á la Academia de Ciencias en enero de 1869 del modo siguiente: "En el paladio enteramente cargado de hidrógeno, por ejemplo, en el alambre de dicho metal sometido al examen de la Academia, hay un compuesto de paladio y de hidrógeno en proporciones próximas á las de equivalente á equivalente. Las dos substancias son sólidas, metálicas y blancas. La aleación contiene unos 20 volúmenes de paladio por uno de hidrogenio, siendo la densidad de éste igual á 2 un poco mayor que la del magnesio, con el cual se puede suponer que el hidrogenio tiene alguna analogía. Este hidrogenio posee cierto grado de tenacidad y está dotado de la conductibilidad eléctrica de un metal. Por último, el hidrogenio figura entre los metales magnéticos, hecho que se enlaza quizás con su presencia en el hierro meteórico, en el cual está asociado con otros elementos magnéticos.

„Las propiedades químicas del hidrogenio le distinguen del hidrógeno común. La aleación de paladio precipita el mercurio y su protocloruro de una disolución de bicloruro de mercurio, sin ningún desprendimiento de hidrógeno, es decir, que el hidrogenio descompone el bicloruro de mercurio, cosa que no ocurre con el hidrógeno. Este hecho explica por qué M. Estanislao Meunier no consiguió encontrar el hidrógeno ocluso por el hierro meteórico, disolviendo este hierro en una solución de bicloruro de mercurio, habiendo empleado el hidrógeno como el mismo hierro en la precipitación del mercurio. El hidrogenio (asociado con el paladio) se une con el cloro y el yodo en la obscuridad, reduce las sales de peróxido de hierro al estado de protóxido, transforma el prusiato rojo de potasa en prusiato amarillo, y posee en fin un poder desoxidante considerable. Al parecer, constituye la forma activa del hidrógeno, del propio modo que el ozono es la del oxígeno.,,

Es imposible no hallar conexión entre estas aventuradas apreciaciones del sabio inglés y los experimentos que se han hecho en estos últimos años sobre la licuefacción de los gases permanentes, y en especial sobre la del oxígeno, experimentos que han sido objeto de una descripción detallada en el tomo II de esta obra.

IV

LAS MOLÉCULAS DE LOS CUERPOS. — NÚMERO Y DIMENSIONES: VELOCIDAD DE SUS MOVIMIENTOS: CHOQUES

Ningún ojo humano ha visto jamás, ni aun con el auxilio del microscopio de más potencia, ninguna mano ha manejado nunca una molécula *aislada* de un cuerpo; y sin

embargo, cuantas nociones han acumulado sucesivamente la Química y la Física y son capaces de aclarar el obscuro problema de la constitución de la materia, vienen á parar á la misma conclusión, esto es, á que las moléculas (ó los átomos) son porciones definidas que ocupan un volumen finito en el espacio.

Dando por fundada esta manera de ver, preséntase á nuestra curiosidad y ante nuestro insaciable deseo de averiguar las cosas una multitud de cuestiones, y nos preguntamos cuáles son las dimensiones reales de las moléculas, á qué distancias están entre sí en los cuerpos, el número en que se hallan en un volumen dado, ó por lo menos entre qué límites oscilan los números que expresan estas dimensiones ó estas distancias. Quisiéramos saber cómo reaccionan unas sobre otras, y nos planteamos también la cuestión, quizás por siempre insoluble, de la posibilidad ó imposibilidad de su acción á cierta distancia. Si las moléculas están en movimiento, como todo lo prueba, ¿á qué leyes obedece este movimiento? ¿Cuál es su velocidad? ¿Varia ésta según la naturaleza de las substancias? ¿Qué sucede cuando estos proyectiles infinitamente pequeños llegan á chocar entre sí?

Los físicos contemporáneos han estudiado todas estas cuestiones siguiendo varios métodos, y sus conjeturas, basadas en los hechos mejor establecidos y en los experimentos más claros, si no son verdades demostradas, son en cambio demasiado interesantes para que tratemos de resumir al menos sus rasgos principales.

Es fácil formarse una idea de la dimensión y número de las moléculas de un cuerpo partiendo de las últimas partes visibles con el microscopio, y esto es lo que ha hecho Gaudín en su curiosa obra titulada *La arquitectura del mundo de los átomos*. Es sabido que el hábil é ingenioso constructor Froment había conseguido dividir por medios mecánicos de extraordinaria delicadeza un milímetro en *mil partes iguales*. Vistas estas divisiones con un poderoso microscopio, parecían tan regulares como las del metro dividido en milímetros. Pues bien, hay infusorios tan diminutos, que todo su cuerpo queda comprendido en la anchura de una de dichas divisiones. Júzguese por esto de la pequeñez de una de esas pestañas vibrátiles con las cuales se mueven esos infinitamente pequeños organizados. Merced á un cálculo fácil, ha valuado Gaudín las dimensiones de las moléculas de que esos órganos están formados, á lo sumo con una milonésima de milímetro de diferencia. Suponiendo que el diámetro de una de ellas comprende 10 distancias de átomo, y contando el número de átomos que puede haber en una cabeza de alfiler de 2 milímetros de lado, deduce para este número total el cubo de unos 20 millones ó sea 8.000.000.000.000.000.000.

“De suerte, añade, que si se quisiera contar el número de átomos metálicos que hay en una cabeza gruesa de alfiler, segregando cada segundo con el pensamiento 1.000 millones, sería menester continuar esta operación más de *doscientos cincuenta mil años*, exactamente 255.678.”

En virtud de varias consideraciones sobre las acciones moleculares, sobrado abstractas y arduas para que intentemos dar una idea de ellas, M. A. Dupré ha deducido una fórmula que expresa el límite inferior del número de moléculas que puede haber en un milímetro cúbico de cualquier cuerpo. Aplicando esta fórmula al agua, ve que dicho número es de 225.000.000.000.000.000.

Así, pues, “*en un cubo de agua que tenga una milésima de milímetro de lado, el cual pesa mil millones de veces menos que un miligramo y que no se puede ver sino con un buen microscopio, hay más de doscientos veinticinco trillones de moléculas.*”

Adoptando para la averiguación de este número de moléculas el método antes

enunciado, y contando mil millones de ellas por segundo, se necesitarían para terminar siete mil años.

Sir William Thomson ha considerado de muchas y distintas maneras el problema que consiste en averiguar los límites de distancia y dimensión de los átomos. Basándose en los cálculos de Cauchy y en la proposición de este célebre matemático, de que la esfera de las acciones moleculares en los cuerpos transparentes sólidos ó líquidos es comparable á las longitudes de onda de los rayos de luz, saca la consecuencia de que “en estos cuerpos, el diámetro de un átomo, ó más bien la distancia del centro de un átomo al centro del átomo más próximo, es casi igual á la diezmilésima de la longitud de onda, es decir, á una veintemillonésima de milímetro.” Obtiene cifras bastante parecidas apelando á consideraciones de termodinámica, ya valuando el trabajo de la atracción de una pila imaginaria compuesta de 50.000 placas de cinc y otras tantas de cobre de 0^{mm},0001 de espesor y de un centímetro cuadrado de superficie, separadas por intervalos de 0^{mm},0001, ó bien calculando el trabajo, y su equivalente en calor, de una pompa de jabón que se hincha hasta el límite de su fuerza contráctil. Finalmente, tomando por punto de partida la nueva teoría de los gases, ya propuesta en 1738 por Daniel Bernouilli, reproducida en nuestro siglo por Herapath y desarrollada por los estudios de Joule, Krenig, Clausius y Maxwell, sir W. Thomson viene á comprender entre dos límites la distancia de las moléculas gaseosas y sus diámetros. Mas para dar una idea exacta de la ilación de los raciocinios que conducen á tal resultado, lo más conveniente será citar textualmente lo expuesto por el sabio inglés:

“Aunque no se sabe lo que es un átomo, dice, se puede admitir como una verdad científicamente establecida que todo gas está formado de moléculas puestas en movimiento que, á causa de ciertos choques ó de influencias recíprocas, no pueden seguir líneas rectas con velocidades constantes, y que están distribuídas de modo que la longitud media de las partes casi rectilíneas de la trayectoria de cada molécula es igual á muchas veces la distancia media del centro de la molécula al de la más inmediata. Si estas moléculas fuesen globos elásticos duros que influyesen unos en otros por su contacto, sus trayectorias serían líneas mixtas, compuestas de partes rectilíneas que sufren bruscos cambios de dirección. Partiendo de esta hipótesis ha probado Clausius, por una sencilla aplicación del cálculo de las probabilidades, que la longitud de la trayectoria libre recorrida por cada molécula entre dos choques consecutivos está con el diámetro de dicho globo en razón de todo el espacio en el cual se mueven los globos á 8 veces la suma de su volumen. De aquí resulta que el número de globos contenidos en la unidad de volumen es igual al cuadrado de dicha razón dividido por el volumen de una esfera cuyo radio es igual á la longitud media de la citada trayectoria. Pero no podemos admitir que las moléculas de ningún gas sean cuerpos elásticos duros, sino que en todos los casos, dos cualesquiera de ellas deben influir una sobre otra, de modo que cuando lleguen á estar casi en contacto, experimentan un cambio de dirección y velocidad. Siendo estas acciones recíprocas (que llamamos fuerzas) diferentes á distintas distancias, deben variar con estas distancias y con arreglo á cierta ley. Pues bien: si las moléculas fuesen globos elásticos duros que ejercieran su acción solamente por su contacto, la ley de la fuerza sería *cero* cuando la distancia entre dos centros fuese mayor que la suma de los radios, y *repulsión infinita* cuando esta distancia fuese menor que dicha suma. El intervalo entre ambos límites debe naturalmente ser algo reducido; y por nuestra parte admitimos, como mucho más probable, que las moléculas que constituyen los gases son elásticas blandas. Porque, según los experimentos de Maxwell