

desde los granos más pequeños hasta los fragmentos más voluminosos, no es exclusivamente peculiar de los cuerpos disueltos en un líquido. Los que se han transformado en líquidos por vía del calor, cristalizan igualmente cuando se efectúa en ciertas condiciones el paso al estado sólido. Los que, como el cristal y las resinas, pasan por un estado pastoso antes de solidificarse, tomando entonces un aspecto vítreo, son generalmente amorfos, homogéneos, dotados de cierta transparencia como la de un líquido congelado, y no presentan estructura cristalina, en cuyo caso se hallan el vidrio, el azúcar derretido y cuajado, el selenio vítreo, etc. Sin embargo, aun en estos sólidos se hace á la larga un trabajo interno de cristalización que les priva de su transparencia y homogeneidad.

Los cuerpos en fusión que recobran el estado sólido en virtud de un enfriamiento corto y regular, cristalizan como las soluciones saturadas; los primeros cristales aparecen en la superficie ó en las paredes de la vasija, es decir, en las regiones en que primeramente se hace sentir el descenso de temperatura; poco á poco se van superponiendo otros cristales á los primeros, y por fin toda la masa se cristaliza como es fácil observar las más de las veces examinando la superficie de las fracturas. Esta estructura cristalina aparece clara y distinta cuando se examina así un trozo de bismuto, de antimonio ó de azufre. Pero si se quieren obtener cristales aislados, es preciso suspender la cristalización antes que sea completa, lo cual se hace decantando el excedente de líquido. Supongamos que se derrite azufre en un crisol de barro calentándolo hasta unos 120°, y que luego se le deja enfriar lentamente; cuando llegue á la temperatura de 112° empezará la cristalización extendiéndose de la superficie y de las paredes al centro. Entonces se agujerea la costra superior solidificada con una barrita caliente, se vuelca la vasija y se hace salir el líquido aún no solidificado, obteniéndose así una magnífica aglomeración de cristales amarillo-parduscos en forma de agujas prismáticas dirigidas hacia el centro, forma que no es la de los cristales de azufre tal como se los encuentra en la Naturaleza, pues éstos son octaedros rómbicos, al paso que los primeros son prismas romboidales oblicuos. Caracterízanse ambos estados alotrópicos del azufre, dando al primero el nombre de *azufre prismático* y al segundo el de *azufre octaédrico*. Cuando á la temperatura ordinaria se abandona los cristales prismáticos á sí mismos, no tardan en perder su transparencia y su color pardo-amarillento, convirtiéndose en cristales octaédricos. Esta transformación singular demuestra que la forma prismática no es estable y explica perfectamente por qué son siempre octaédricos los cristales de azufre natural. El choque, el roce, el contacto con un cristal octaédrico favorecen el paso de una forma á otra. M. Schutzenberger ha obtenido cristales de esta segunda forma abandonando á la evaporación espontánea una solución de azufre en sulfuro de carbono; los cristales resultantes son voluminosos y enteramente parecidos á los naturales. Por último, M. Gernez ha ideado un medio muy ingenioso de obtener como se quiera cristales de azufre prismáticos ó bien octaédricos. Con este objeto disuelve azufre en bencina ó en tolueno á una temperatura inferior á 80°, y en seguida deja enfriar la mezcla hasta á 15°, cuidando de ponerla al abrigo de los polvillos atmosféricos. La solución sobresaturada así obtenida cristaliza en una ú otra forma, según que el experimentador eche en ella un fragmento de cristal prismático ó uno octaédrico. Más aún; M. Gernez ha logrado producir simultáneamente ambos efectos en una misma solución sobresaturada, poniendo los cristales generadores en dos puntos distintos del líquido.

Esto nos conduce á la cuestión de la causa de la cristalización en las soluciones

sobresaturadas. Lo que hemos dicho ya acerca de ellas basta para hacer presumir que esta causa consiste enteramente en la presencia en el seno del líquido de un fragmento de la substancia disuelta cristalizada. Los experimentos de Viollette y los de Gernez han patentizado esta verdad. Resulta de ellos que la mayoría de las soluciones continúan sobresaturadas, á lo menos entre ciertos límites de temperatura, con tal que se las preserve de todo contacto con un cristal del cuerpo disuelto. De esta suerte se pueden conservar muchos meses en estado líquido soluciones de acetato, sulfato é hiposulfito de sosa, de nitrato de cal y alumbre amoniacoal, mantenidas á la temperatura ordinaria. Pero si se introduce en ellas la menor partícula de sal en disolución, la cristalización es instantánea. Algunas de dichas substancias, y en especial el sulfato de sosa y el nitrato de amoníaco, se hallan constantemente en suspensión en el aire, diseminadas entre los demás polvillos atmosféricos, como así lo ha reconocido Gernez examinando con el espectroscopio el agua que ha servido para lavar el aire antes de introducirlo en la redoma que contenía una solución, habiendo aparecido siempre en dicho instrumento la raya amarilla del sodio.

También se ha notado en él la presencia del sulfato de barita. En las cátedras se hacen dos experimentos interesantes propios para demostrar la acción de un cristal sobre la formación de otros cristales en las soluciones sobresaturadas. El primero de estos experimentos, discurrido por M. Peligot, consiste en sobreponer en una misma probeta dos soluciones sobresaturadas; la más pesada se compone de hiposulfito de sosa,

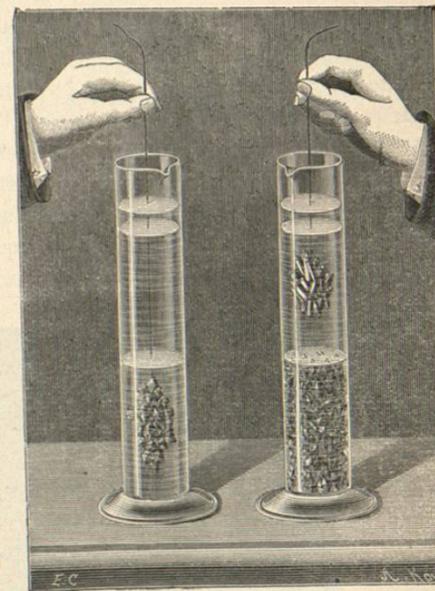


Fig. 567.—Influencia del contacto de un cristal en la cristalización de las soluciones sobresaturadas. Experimento de Peligot.

la más ligera de acetato de sosa, dos sales que no hay en el aire, de suerte que ninguna de ambas soluciones cristaliza al aire libre. Se las deja enfriar, y en seguida se echa un cristal de hiposulfito de sosa en la solución más densa. El cristal atraviesa la solución de acetato sin producir ningún cambio en ella, y al llegar á la otra, se forma la cristalización alrededor del fragmento (fig. 567, 1). Haciendo la misma operación con un cristal de acetato de sosa, la primera solución es la que cristaliza á su vez (fig. 567, 2) (1). El segundo experimento prueba que el campo de la influencia del cristal se extiende poco á poco alrededor del punto en que está sumergido. Véase en qué consiste: Extiénden-

(1) El periódico *La Naturaleza*, del cual tomamos la descripción de este notable experimento, da la preparación en estos términos: "Disuélvense 150 partes en peso de hiposulfito de sosa en 15 partes de agua, se echa poco á poco la disolución en una probeta de pie previamente calentada con agua hirviendo, de modo que se llene la vasija hasta la mitad. Por otra parte se disuelven 100 partes en peso de acetato de sosa en 15 partes de agua hirviendo. Se echa poco á poco esta solución sobre la primera de modo que forme una capa superior y que no se mezcle con ella. Sobre las dos soluciones se extiende una ligera capa de agua hirviendo, y se deja enfriar la probeta lentamente y en reposo."

dese sobre una placa de cristal una solución siruposa y fría de nitrato de cal. Luego con una varilla empapada en el mismo nitrato sólido y cristalizado se trazan al azar algunas líneas en el líquido. La cristalización aparece al principio por donde ha pasado la punta de la varilla, donde se ven rastros de un color blanco opaco que se forman en el fondo transparente de la placa, hasta que aquélla invade toda la superficie.

V

EL AGUA Y EL HIELO. — FENÓMENO DE LA REGLACIÓN

Es tan grande el cometido del agua en la Naturaleza, que para explicar un gran número de fenómenos naturales importa conocer á fondo sus transformaciones por efecto de los cambios de temperatura. Ocupémonos, pues, de nuevo de los dos cambios de estado de la fusión del hielo y de la congelación del agua.

Hemos visto que, en ciertas circunstancias, se puede bajar considerablemente el punto de congelación del agua. Los experimentos que hemos mencionado en el artículo II prueban que este fenómeno de sobrefusión ocurre especialmente cuando una fuerte presión exterior impide que el agua adquiera el aumento de volumen que necesita su solidificación. Cuando predomina la fuerza de expansión de las moléculas en vía

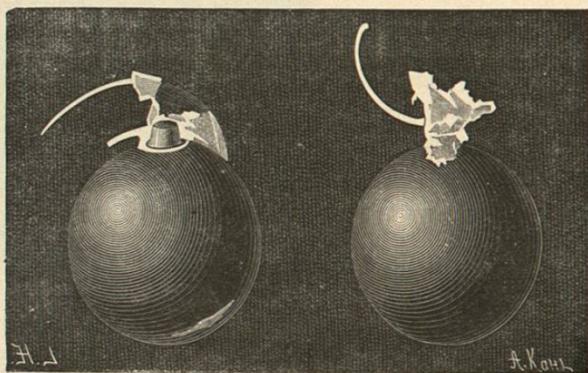


Fig. 568.—Bombas rotas por la fuerza expansiva del hielo

de cristalización, las vasijas más resistentes y las cubiertas metálicas más gruesas se rompen, la temperatura sube á 0° , y la solidificación instantánea produce singulares efectos, de los que nos han ofrecido curiosas muestras los experimentos del mayor Williams y los de C. Martins y Chancel. Reproducimos aquí (fig. 568) dos efectos del mismo género obtenidos por E. Hagenbach, ilustrado profesor en la universidad de Basilea. La primera bomba, puesta al aire libre á la una de la tarde con una temperatura de -12° , permaneció en él hasta las siete de la mañana siguiente; la temperatura, que era á esta hora de $-14^{\circ},6$, había bajado durante la noche á $-18^{\circ},4$. La bomba había estallado, pero su tapón de hierro y de tornillo resistió á la explosión. La segunda bomba estalló asimismo, después de estar once horas expuesta á un frío cuyo máximo llegó casi á -20° , y su tapón fué despedido á gran distancia. La forma rara de los chorros de hielo salidos del proyectil, á modo de dardos que tenían la curvatura de un arco de la superficie, pero uno concéntrico á este arco, mientras el otro estaba

encorvado en sentido contrario, todas las particularidades del fenómeno las ha explicado discretamente el ilustrado observador en su descripción, que omitimos en gracia de la brevedad.

Lo que sí debemos hacer constar es que la congelación instantánea que resulta en el momento en que el agua en sobrefusión hace que el tapón ó las paredes de la bomba cedan en virtud de su fuerza expansiva, no se apodera á la vez de toda la masa del líquido interior. El calor desprendido por la solidificación de esta masa es más considerable que el que se necesitaría para hacerla pasar á cero desde la temperatura de -15° que tenía. Así pues, aún queda agua líquida en el interior, según sabíamos ya por los experimentos de C. Martins y Chancel.

Puesto que la presión hace bajar el punto de congelación del agua, aplicada á un pedazo de hielo debe ser susceptible de licuarlo en parte, sin que la temperatura descienda á bajo cero. Esta consecuencia de los experimentos de W. Thomson, anteriormente descritos, se ha comprobado prácticamente y ha servido para explicar la plasticidad observada en las masas de hielo de los glaciares. Faraday y Tyndall han estudiado todas las circunstancias de este fenómeno interesante. Consideremos un momento los resultados de las investigaciones de estos sabios físicos.

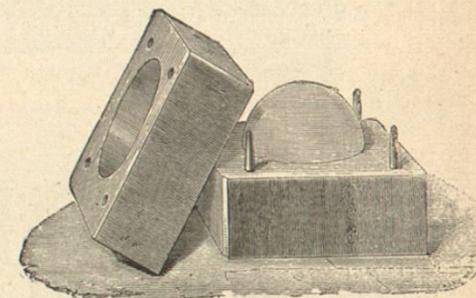


Fig. 569.—Moldeo del hielo

Hacia el año 1850, Faraday observó que si se ponen en contacto por dos de sus caras dos pedazos de hielo fundente, se sueldan uno con otro en los puntos de contacto. El doctor Hooker ha dado á este fenómeno el nombre de *regelación*, con el cual se le designa ahora comúnmente. Tyndall ha ideado una serie de experimentos en que se le pone en evidencia.

„Córtense, dice, dos placas de una masa de hielo y pónganse en contacto sus superficies planas; al punto se soldarán una con otra. Si se ponen dos placas de hielo una sobre otra y se las deja durante la noche envueltas en un paño, aparecen á la mañana siguiente soldadas con tanta fuerza que se las podrá romper por cualquier parte menos por la superficie de su unión. Si se entra en una de las cavernas de hielo de Suiza, bastará apoyar un momento un pedazo de hielo contra la pared superior de la caverna para que quede enteramente adherido á ella.

„Échense en un lebrillo de agua muchos fragmentos de hielo, y acérqueseles de modo que se toquen; se soldarán en los puntos de contacto. Se puede formar una cadena con estos fragmentos, y si se coge en seguida uno de los extremos de la cadena, seguirán todos detrás de él. Así es como se forman á veces en los mares polares sartas de grandes témpanos.

„Veamos lo que resulta de estas observaciones. La nieve se compone de pequeñas partículas de hielo: si entonces mediante la presión desalojamos el aire que contiene la nieve fundente y hacemos que los granitos de hielo se toquen, deberán soldarse unos con otros; y si se expulsa el aire enteramente, la nieve comprimida deberá presentar el aspecto del hielo compacto.

Los muchachos no ignoran esto cuando hacen bolas con la nieve mediante la presión de sus manos, y también saben que cuando empieza á derretirse es cuando mejor se transforma en bolas compactas. Si su temperatura es bastante inferior á 0° para que el calor de la mano no pueda llevar la masa al punto de fusión, permanece quebradiza y forma un polvillo seco que se agrega difícilmente, aun mediante una fuerte presión.

Comprimiendo con una prensa hidráulica pedazos de hielo en moldes de varias formas, Tyndall los transformaba en una masa compacta y homogénea perfectamente transparente y con la forma del molde; por efecto de una presión enérgica y por regelación de pequeños pedazos obtenía esferas, cilindros, copas y anillos de hielo. El mismo resultado se consigue empleando para ello una cantidad suficiente de nieve. La compresión producida por una pequeña prensa hidráulica daba una copa que Tyndall "podía llenar, dice él mismo en sus lecciones, de vino de Jerez fresco, sin que se vertiera una gota."

Según J. y W. Thomson, todos los fenómenos de regelación dimanar de una misma causa: la influencia de la presión en la temperatura de fusión del hielo.

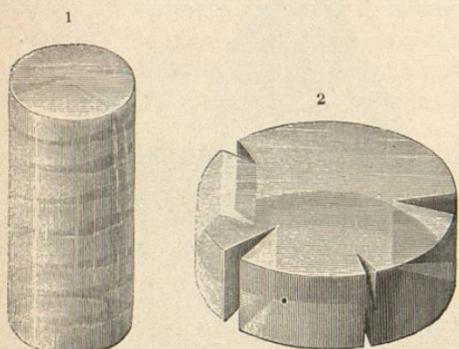


Fig. 570. — 1, cilindro de hielo obtenido por regelación; 2, el mismo comprimido por sus dos bases

la influencia de la presión en la temperatura de fusión del hielo. Cuando se comprimen dos pedazos de esta substancia uno contra otro, las partes comprimidas entran en fusión. Pero este cambio de estado no es posible sino mediante una absorción de calor tomado del hielo circundante. Este calor es latente en el agua de fusión, al paso que la temperatura del hielo desciende bajo 0° . Si la presión cesa entonces, el frío producido ocasiona la regelación del agua aprisionada entre las partes del hielo puestas en contacto, las cuales resultan soldadas entre sí.

La presión necesaria para producir el fenómeno de la regelación puede ser muy pequeña; por ejemplo, cuando se pone simplemente un pedazo de hielo sobre otro, basta la escasa presión que resulta de su peso. Verdad es que como en este caso el contacto no suele efectuarse sino en corto número de puntos, cada uno de éstos recibe mayor parte del peso total.

Tyndall cita un curioso experimento hecho por M. Bottomley con objeto de demostrar que la liquefacción debida á la presión y la regelación que la sigue se efectúan con mayor rapidez cuando la presión se concentra en una pequeña superficie. "Apoyemos, dice, en los extremos de dos mesas los de una barra de hielo de 25 centímetros de largo por 7 de ancho y 10 de grueso, y hagamos pasar por en medio de esta barra un alambre de cobre de uno ó dos milímetros de diámetro. Si reunimos las dos puntas de este alambre y colgamos de él una pesa de 6 á 7 kilogramos, toda la presión ejercida por ella refluirá en el hielo que sostiene el alambre. ¿Qué resultará de aquí? Que el hielo que está debajo del alambre se licúa; el agua de licuación se escapa alrededor del alambre; pero no bien deja de estar sometida á la presión se congela, de suerte que en torno del alambre, y aun antes que éste haya penetrado en el hielo, se forma una cubierta del mismo. El alambre continúa penetrando en el hielo, y el agua

se escapa sin cesar, pero volviendo á congelarse tras él. Al cabo de media hora la pesa cae; el alambre ha atravesado la barra de hielo en todo su espesor. Claramente se ve la huella de su paso, pero los dos trozos de la barra se han soldado de nuevo con tal solidez que ésta se romperá por cualquier punto lo mismo que por la superficie de regelación.

Faraday ha propuesto una explicación del fenómeno de regelación distinta de la de Thomson.

En su concepto, el punto de fusión es más elevado en el centro ó en el interior de un trozo de hielo que en la superficie; la fuerza de cohesión de las moléculas que rodean á cualquier molécula del interior se ejerce por todos lados para oponerse al cambio de estado; pero en la superficie queda libre de una parte de esta acción. Ade-

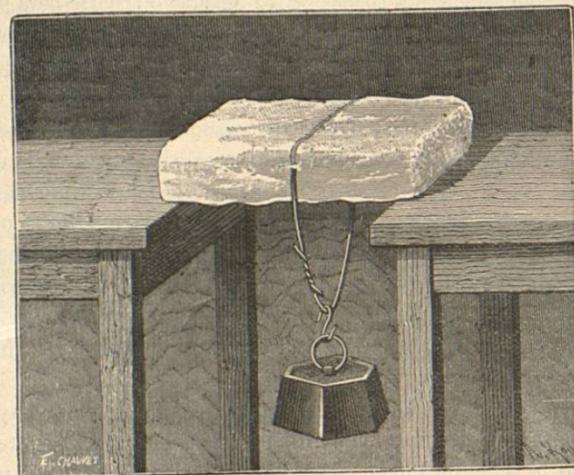


Fig. 571. — Experimento de Bottomley. Sección de un trozo de hielo por un alambre

más, el hielo sólido ejerce en el agua con la cual está en contacto un poder especial de solidificación análogo al que ejerce todo cristal en el seno del líquido de la misma naturaleza en el que está en suspensión.

Cuando se ponen en contacto dos pedazos de hielo, la lámina líquida que los cubre está en el interior, y el poder de solidificación actúa entonces á ambos lados de dicha lámina; así pues, ésta se congela por efecto de esta influencia y los trozos de hielo resultan soldados. Tyndall, admitiendo esta explicación de Faraday, no niega la influencia de la presión.

Cualquiera que sea la que se adopte de ambas teorías, no es menos cierto el fenómeno de la regelación.

Más adelante veremos que basta para explicar las transformaciones que sufre la masa de un glaciar y la maravillosa manera con que éste se moldea poco á poco sobre el valle que ocupa; así como que la aparente plasticidad que resulta de la regelación, unida á la influencia irresistible de la gravedad, da cuenta de los movimientos de avance de la misma masa, desde las regiones superiores en que se forma por la aglomeración de las capas de nevado, hasta la parte inferior del valle por donde se deshace en torrentes de agua cenagosa.