

pieza movable que lo tapa se apoya una palanca cuyo brazo mayor sostiene un peso que se puede colgar á una distancia variable, según el límite de presión del que no se quiera exceder. Si la temperatura del agua es más alta de la que corresponde á este límite, el vapor levanta la palanca y sale silbando al exterior, en donde se condensa á manera de nube; la presión interior disminuye á consecuencia de la salida de este vapor, y desaparece el peligro de la explosión.

La *válvula de seguridad*, tal como la inventó Papin, se emplea hoy en todos los aparatos que tienen por objeto la generación de vapor.

VI

DIFERENTES INFLUENCIAS EN LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DE LOS LÍQUIDOS

La variación de la presión exterior no es la única circunstancia que influye en la temperatura de ebullición de los líquidos, pues también ejercen una influencia considerable en ella la naturaleza de la materia que forma las vasijas donde se los calienta, el estado de la superficie de estas vasijas y las sustancias disueltas ó en combinación en dichos líquidos.

Gay-Lussac fué el primero que observó la influencia de las vasijas, reconociendo que el agua entra en ebullición en una de vidrio á mayor temperatura que en una metálica. Marcet hizo en 1842 interesantes experimentos acerca de este punto. Resumamos unos y otros.

En una vasija de metal la ebullición es regular y continua; las burbujas que nacen en las paredes caldeadas son pequeñas y numerosas, y la temperatura del líquido, lo mismo que la del vapor, está á 100°.

La formación de burbujas gaseosas es más lenta en una vasija de vidrio cuya superficie interior se haya limpiado de antemano perfectamente; estas burbujas son grandes, pero poco numerosas, y no parece sino que les cuesta trabajo desprenderse del fondo de la vasija. Si se hace hervir el agua en una metálica, las burbujas son más pequeñas, pero también más numerosas; véelas salir de todos los puntos del fondo, y como indicio característico de la mayor facilidad en la formación del vapor, adviértese que el punto de ebullición es menos elevado que en la vasija de vidrio, pudiendo ascender la diferencia de 1 á 2 grados. Fácilmente se comprueba esto último. Tomemos una vasija de vidrio que contenga agua cuya ebullición haya cesado momentos antes, es decir, cuya temperatura haya bajado ligeramente, y echemos en ella limaduras metálicas; en seguida empezará de nuevo la ebullición, y lo que prueba hasta dónde llega la influencia de la naturaleza de la substancia, es que echando de igual manera vidrio en polvo no resulta tanto efecto como con la limadura metálica. El polvillo que hay en el fondo de una vasija de vidrio, y en especial de vidrio *verde*, cuya superficie interna no se haya limpiado previamente, suscita la formación de vapor, como sucede cuando se echan en ella limaduras metálicas.

Según Marcet, el punto de ebullición del agua destilada, en vasijas de vidrio, varía entre 100° y 102°, según la calidad de vidrio que se emplea; además la temperatura del vapor, que subsiste sensiblemente la misma, es sin embargo constantemente inferior en algunas centésimas de grado á la temperatura de 100° ó del agua que hierve en una vasija metálica.

Si la superficie interior de la vasija (que entonces puede ser indiferentemente de

metal ó de vidrio) ha sido dada de barniz de azufre ó de goma laca, la temperatura de ebullición es, por el contrario, inferior á 100° é igual á 99°,75 ó 99°,80. En este caso el vapor está á la misma temperatura que el líquido hirviente. Pero si se utiliza una vasija de vidrio en que haya habido por espacio de algunas horas ácido sulfúrico concentrado, y luego se la lava varias veces con agua hirviendo, se puede calentar en ella agua destilada hasta 105° y 106° sin que hierva. A los 100° se desprenden algunas burbujas gaseosas del fondo de la vasija, pero sin que el termómetro deje de subir, aunque después de haber bajado algunas décimas de grado á cada bocanada de vapor. La potasa concentrada produce el mismo efecto que el ácido sulfúrico. Por último, se observa un retraso análogo en la ebullición de otros líquidos, por ejemplo del alcohol.

¿Qué razón hay para estas diferencias?

¿Qué es lo que se opone en el cristal á la formación de las burbujas de vapor?

Probablemente una acción

molecular, la adherencia de las moléculas líquidas, que siendo muy considerable para con el vidrio, es mucho menos para con una superficie metálica. El cambio de estado, el tránsito del estado líquido al gaseoso experimenta, para producirse en el primer caso, una resistencia mayor que en el segundo. Cuando ha podido formarse la primera burbuja en contacto con el vidrio, aumenta de volumen por dos motivos: primero, por aumento de temperatura, y luego

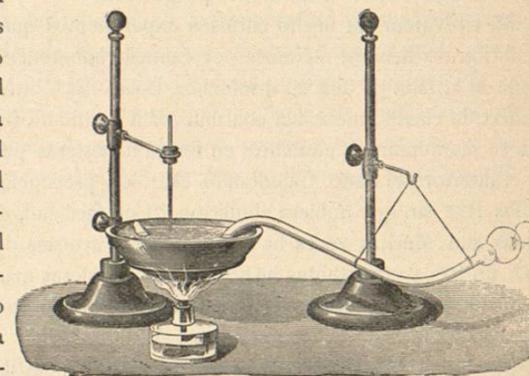


Fig. 586.—Experimento de Donny sobre la ebullición del agua purgada de aire

por la formación de nuevo vapor en la superficie esférica interna de la burbuja. Haciéndose de pronto más fuerte la tensión del vapor que la presión soportada, resultan de aquí los saltos repentinos y continuados de las burbujas, y á veces la expulsión violenta de una porción de líquido fuera de la vasija.

Una molécula de agua calentada á 100° no tan sólo debe vencer la adherencia del agua al vidrio para convertirse en burbujas de vapor, sino también la cohesión, la fuerza que une esta molécula con todas las moléculas que la rodean. Esta cohesión es tanto mayor cuanto más pura el agua, y sobre todo cuanto más purgada esté de aire. El aire en disolución en el agua hace al parecer las veces de un divisor que ha predispuesto las moléculas líquidas para la separación. Y lo cierto es que la práctica confirma esta manera de ver.

Habiendo echado el físico Deluc agua purgada de aire en un matraz de cuello largo, pudo calentarla hasta 112° sin que entrara en ebullición. Más adelante, un gran número de experimentos decisivos debidos á M. Donny han patentizado la acción ejercida en la ebullición del agua por el aire disuelto de ella. He aquí uno de estos experimentos.

Un tubo doblemente encorvado y terminado por uno de sus extremos en forma de bola contiene agua enteramente limpia de aire. Hase obtenido esta condición esencial hirviendo el agua en el tubo todavía abierto; el vapor que se desprende expulsa poco

á poco el aire del tubo así como el que estaba disuelto en el agua, y tan luego como se tiene la seguridad de que en el tubo no queda más que agua y vapor, se tapa aquél herméticamente. Así se tiene una especie de martillo de agua cuya parte curva, que contiene el líquido enfriado, se sumerge en un baño de aceite. Caliéntase éste con una lámpara de alcohol y entonces se ve por medio del termómetro que se puede hacer llegar la temperatura á más de 130° sin que haya ebullición. A los 138° se forma el vapor de pronto y tan bruscamente que el agua del tubo es lanzada al extremo situado fuera del baño. Las bolas amortiguan el choque que de esto resulta; pero también puede suceder que el aparato estalle con estruendo.

Las circunstancias en que el vapor se forma bruscamente, de un modo irregular y en cantidades mayores que en condiciones ordinarias ó normales, merecen especial examen, porque pueden presentarse en las calderas de máquinas de vapor y dar lugar á graves accidentes ó explosiones peligrosas.

M. L. Dufour ha hecho curiosos experimentos que prueban que el retraso en la ebullición no siempre reconoce por causa la adherencia del líquido á la materia de la vasija ni la falta de aire en disolución. Dicho físico introducía en un baño formado de esencia de clavillo mezclada con una corta cantidad de aceite algunas gotas de agua que se mantenían en equilibrio en forma de esferas perfectas y se movían libremente en el interior del baño. Calentando éste con precaución, pudo pasar mucho más allá de los 100° sin que hubiera ebullición. "Con facilidad, dice, se suele llegar á 120°, 130° y más aún. Muchas veces he tenido esferas acuosas de 10 milímetros de diámetro á 140° y 150°, y otras tantas he podido elevar esferas más pequeñas, de 1 á 2 milímetros de diámetro, á 170° y hasta 175°, es decir, á temperaturas en que la fuerza elástica del vapor es de más de ocho atmósferas. Aquí trato del agua que no haya pasado por ninguna preparación, y por consiguiente ni de la destilada ni de la purgada de aire., M. Dufour ha obtenido fenómenos semejantes con otros líquidos, habiendo podido elevar la temperatura del cloroformo, que hierve á 61°, hasta 90° y 100°.

Hay evidente analogía entre estos fenómenos de los líquidos *sobrecaldeados* y los que dejamos descritos al tratar de la sobrefusión y de las disoluciones sobresaturadas. Así por ejemplo, el contacto de un cuerpo sólido con las esferas líquidas en suspensión en el baño de M. Dufour produce bruscamente la vaporización de estas esferas. Es probable que la influencia del aire sea también la que suscite la vaporización, pues el cuerpo sólido puesto en contacto con la burbuja líquida retiene siempre en su superficie una tenue capa de este fluido, y tan luego como esta especie de atmósfera gaseosa llega á tocar un punto de la superficie del líquido, permite á la evaporación empezar en este punto, y la alta temperatura hace que se propague en seguida por toda la masa.

En todo cuanto acabamos de decir no se ha tratado sino de líquidos que no contienen materias extrañas. Veamos qué clase de influencia es peculiar de la naturaleza de las sustancias introducidas en los líquidos sometidos á la ebullición.

La experiencia demuestra que las sustancias simplemente mezcladas ó que se hallan en suspensión en el agua no modifican la temperatura de ebullición; pero no sucede lo mismo cuando dichas sustancias están combinadas ó en disolución.

Si el líquido disuelto, el alcohol por ejemplo, es más volátil que el agua, el punto de ebullición baja; pero sube, por el contrario, si se trata de un líquido cuyo vapor se forme con menos facilidad, como el ácido sulfúrico. Mas el vapor producido no es vapor de agua; es una mezcla ó combinación de los vapores de cada líquido.

Finalmente, cuando la substancia disuelta en el agua es una sal, la temperatura del punto de ebullición es siempre más alta que la del agua pura, y esta elevación es tanto mayor cuanto más considerable la proporción de sal disuelta.

Así pues, una disolución de sal marina hierve:

á 101°,5	si la proporción es de 10 por 100;		
á 102°,5	—	20	—
á 105°,5	—	30	—
á 108°,0	—	40	—

¿Qué sucede, pues, cuando hierve una disolución salina? Que la evaporación la concentra. Cuando se ha logrado la ebullición, el vapor de agua se forma en gran cantidad, aumenta la proporción relativa de la sal que queda disuelta y la temperatura sube progresivamente hasta que, habiendo llegado la disolución á su máximo de concentración ó estando, como se suele decir, *saturada*, la temperatura de ebullición permanece ya fija como la de la ebullición del agua pura, pero siempre á mayor grado que ésta.

Una disolución de sal marina está saturada cuando la proporción en peso de dicha substancia disuelta en 100 partes de agua es 41,2; el punto fijo de ebullición es entonces 108°,4. La disolución saturada de sal amoníaco contiene 88 por 100 y hierve á 114°,2; la de cloruro de calcio contiene 325 por 100, no hirviendo hasta los 179°,5.

VII

FENÓMENOS DE CALEFACCIÓN. — ESTADO ESFEROIDAL

Cuando se echan algunas gotas de agua sobre un metal incandescente, estas gotas conservan su forma esférica como las de azogue sobre el vidrio ó sobre cualquier otro cuerpo al que no moja; el líquido permanece transparente, y aun cuando la temperatura del metal exceda con mucho de 100°, no se advierte indicio alguno de ebullición en las gotas de agua que, sin embargo, se evaporan lentamente, puesto que al cabo de cierto tiempo acaban por desaparecer. M. Boutigny, que se ha dedicado al estudio de estos fenómenos, da el nombre de estado *esferoidal* á esta forma particular de un líquido en contacto con un cuerpo de elevada temperatura. El mismo físico ha adoptado también el de *calefacción*, que nos parece preferible, porque no implica ninguna idea teórica preconcebida.

Describamos las principales circunstancias del fenómeno, y tomemos para ello una cápsula de platino, hierro ó plata, cuya superficie interior esté bien limpia y bruñida, y calentémosla al rojo en un hornillo, ó mejor aún, en la lámpara *eolípila* de M. Breuzin (fig. 587). Echemos entonces en la cápsula cierta cantidad de agua fría, y veremos que las gotas del líquido reunidas en el fondo del crisol forman un glóbulo que se pone á girar rápidamente sobre sí mismo. Este glóbulo, cuya forma general es la de un elipsoide aplanado, está denticulado en sus bordes y en los contornos de sus paralelos. El número de puntas de esta especie de estrellas es siempre par, según lo ha observado M. Laurent, quien atribuye esta apariencia á las oscilaciones ó vibraciones del glóbulo repelido por el vapor que brota por debajo de él. Acabamos de decir que esta evaporación es por lo común muy lenta, y se hace mención de un experimento de Pouillet, el cual pudo conservar muchas horas en un crisol de platino incandescente el agua de que estaba lleno, sin que el peso del líquido disminuyera ostensiblemente.

El glóbulo no está realmente en contacto con el metal sobre el cual parece descansar: véase cómo ha logrado M. Boutigny demostrar este hecho, que se explica fácilmente por la interposición entre el glóbulo y el crisol de una tenue capa de vapor cuya fuerza elástica basta para mantener separado el líquido. Calentando al rojo un

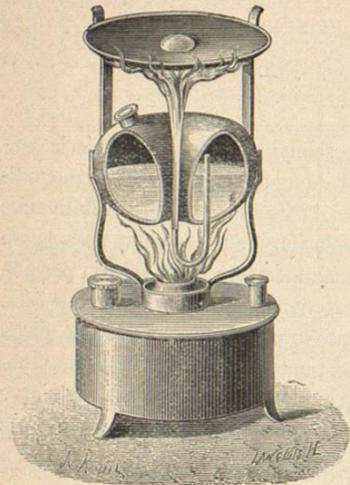


Fig. 587.—Lámpara eolípila de Breuzin para el estudio del estado esferoidal

delgado disco de plata perfectamente horizontal, echaba en su superficie la gota de agua á la que había hecho previamente opaca con negro de humo, ó ennegrecido con tinta; y luego procuraba mirar á través de ella, á la altura del disco, la llama de una bujía. La llama, interceptada arriba por el glóbulo y abajo por el espesor de la placa, era perfectamente visible en el pequeñísimo intervalo en forma de menisco que los separaba. Se ha reconocido además que se interrumpe una corriente eléctrica, desde el glóbulo al disco metálico, cuando se pone en comunicación uno de los electrodos con el líquido y el otro con el metal. Poggendorf fué quien hizo este segundo experimento.

Para explicar esta persistencia del estado líquido del glóbulo en presencia de un manantial de calor tan intenso y cercano, admítase que el fenómeno de la lenta evaporación que sufre la superficie del líquido absorbe todo el calor radiado. Lo que prueba que en realidad sucede así es la baja temperatura que conserva el glóbulo mientras dura el fenómeno. M. Baudrimont ha evaluado por primera vez esta temperatura, con cuyo objeto introducía el glóbulo en una masa determinada de agua de temperatura conocida, y por el método de las mezclas (de que en breve trataremos) calculaba su propia temperatura en el momento de la inmersión. Así ha reconocido que era siempre inferior á 100° , pero que se elevaba con la del metal incandescente. Esta última tiene un límite que depende de la naturaleza del líquido y que es tanto más bajo cuanto menos lo es su punto de ebullición. De las investigaciones de M. Boutigny sobre el mismo asunto han resultado los números 142° , 134° y 61° para el agua, el alcohol absoluto y el éter. Tales son los límites inferiores de la temperatura que debe tener el metal para que los líquidos susodichos adquieran el estado globular ó esferoidal. Así, cuando se deja enfriar la cápsula metálica á temperatura más baja que la citada, establécese al punto el contacto del glóbulo con el metal, y se produce la ebullición espontáneamente y con violencia. Hay un experimento que hace ostensible esta brusca vaporización del líquido. Calentando mucho una botella de cobre (fig. 590), se echa en ella cierta cantidad de agua que adquiere inmediatamente el estado esferoidal: en seguida se tapa hermé-

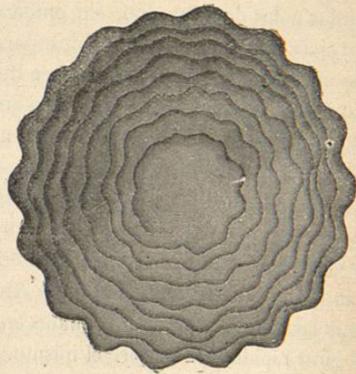


Fig. 588.—Forma de estrella de un glóbulo en estado esferoidal

ticamente la botella y se la deja enfriar, y tan luego como su temperatura desciende á menos de 142° , el agua se reduce á vapor, y el vapor así formado tiene tal tensión que hace saltar el tapón con violencia.

Según acabamos de ver, el glóbulo en estado esferoidal se halla siempre á una temperatura inferior al punto de ebullición del líquido de que está formado. Si es agua, esta temperatura no llega á 100° , ni á 78° si alcohol, ni á $35,5$ si éter sulfúrico, siendo inferior á -10° si el glóbulo está formado de ácido sulfuroso y á -78° si de ácido carbónico líquido. Esta consecuencia del hecho general que acabamos de mencionar, ha dado lugar á dos de los más interesantes y notables experimentos que se han hecho acerca del asunto. El primero, ideado por Boutigny, consiste en echar en un crisol incandescente ácido sulfuroso anhidro que toma la forma globular y cuya temperatura desciende á menos de 10° bajo cero. Vertiendo sobre el glóbulo algunas gotas de agua, se congelan, con lo cual se hace hielo en el interior de un crisol calentado al rojo. El segundo experimento lo discurrió Faraday; consistía en sustituir por mercurio el agua del experimento de Boutigny, y por una mezcla de éter y ácido carbónico sólido el ácido sulfuroso. A los pocos segundos el mercurio estaba congelado. Tyndall reprodujo este experimento de su ilustre maestro, introduciendo en la masa pastosa formada por la mezcla de éter y ácido carbónico sólido una esfera hueca de latón llena de agua. La congelación de ésta hacía estallar la esfera, y se veía aparecer una bola sólida de hielo que salía de un crisol candente. Echando luego cierta cantidad de mercurio en una cuchara cónica de cobre, la metía á su vez en el crisol, y al sacarla dándole media vuelta, caía de ella una masa sólida de mercurio.

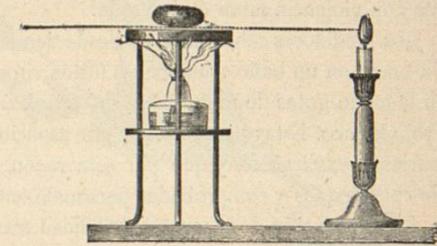


Fig. 589.—Experimento de Boutigny. El glóbulo líquido no toca la placa incandescente

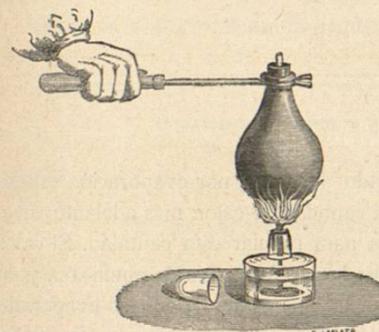


Fig. 590.—Brusca vaporización del agua en estado esferoidal. Explosión causada por enfriamiento del metal.

Eller y Leidenfrest, así como Klaproth y Rumford, habían observado ya en el siglo pasado los fenómenos de *calefacción* que acabamos de describir; pero desde 1842, Boutigny hizo un estudio detallado de ellos.

Los trabajadores de las fábricas de vidrio y de las fundiciones de metales conocían de larga fecha varias de las propiedades que adquieren los líquidos en presencia de los cuerpos incandescentes, y aun los primeros sabían sacar partido de ellas para su industria. Cuando el vidriero ha cogido en la masa de vidrio en fusión cierta cantidad de materia con la *caña*, tubo de hierro hueco que es su principal herramienta, la sumerge en una cavidad abierta en un madero y llena de agua, y dándola vueltas, la redondea poco á poco. Soplando en seguida en la caña, forma una pequeña cavidad en la masa de vidrio, y por el tubo introduce en ella agua, la cual, según hemos visto anteriormente, se evapora poco á poco sin tocar el cristal siempre incandescente, y el vapor for-