



Supermateriales 1996

Descripción

El helio viene a ser prácticamente una mezcla de dos clases de átomos, los isótopos ^4He y ^3He (helio cuatro y helio tres), que se llaman así porque pesan cuatro y tres unidades de masa atómica, respectivamente. Ambos aparecen en la naturaleza mezclados en la proporción de un átomo del isótopo ^3He por cada millón de átomos del de masa cuatro. La mezcla, el helio natural, es gas en condiciones normales, aunque puede licuarse si se enfría mucho, a unos 269 grados bajo cero, es decir, a unos cuatro grados del cero absoluto. Cabe incluso convertirlo en sólido si se somete a presión y se descende aún algo más la temperatura.

El gas helio es muy ligero. En condiciones normales, diez litros pesan menos de dos gramos. Por eso se usa para llenar globos y en este aspecto aventaja al hidrógeno, porque aunque el hidrógeno pese la mitad, tiene el inconveniente de ser muy reactivo, de combinarse con casi todo: es bien sabido que basta encender una cerilla para que reaccione con el oxígeno del aire de modo explosivo. Por el contrario, el helio es inerte, no reacciona con nada, pues pertenece al grupo de los gases que se llamaban «nobles» cuando se pensaba que no podían combinarse con otros elementos, hasta que se descubrió que los más pesados (el xenón, por ejemplo) forman compuestos, y pasaron entonces a llamarse «gases raros».

Como el helio no tiene compuestos conocidos, interesa muy poco a la química, aunque se utilice en el laboratorio para lograr temperaturas muy bajas; en cambio, es un material interesantísimo para la física, precisamente por sus propiedades físicas, entre otras su condición de líquido superfluido. A diferencia de los líquidos normales, el helio carece de rozamiento interno: cuando se deja de agitar un líquido normal, al cabo de no mucho tiempo vuelve a quedar en reposo, pues el rozamiento entre las partículas que lo forman acaba disipando la energía de agitación; en cambio, el helio fluye continuamente, se cuela por huecos impenetrables para otros líquidos y hasta puede trepar por las paredes del recipiente.

Este fenómeno es un efecto peculiar que rebasa las leyes de la hidrodinámica clásica. Se llama condensación de Bose-Einstein, lo explica la mecánica cuántica y consiste en que, a temperaturas muy bajas, una gran proporción de las partículas del líquido se mueven de igual modo, sin rozamiento entre ellas. La condensación de Bose-Einstein se observó por primera vez hace cuarenta y ocho años en ^4He líquido. Y aunque la teoría de J. Bardeen, L.N. Cooper y J.R. Schrieffer (BCS) que explica la superconductividad en materiales metálicos permitió pensar que también ^3He podía ser superfluido, esto no logró observarse hasta 1971.

El descubrimiento de la superfluidez de ^3He fue accidental. Cuando Osheroff hacía la tesis con Lee, los dos y Richardson estaban estudiando otra cuestión, el antiferromagnetismo nuclear en ^3He sólido. Al enfriar gradualmente una mezcla de ^3He líquido y sólido registraron, a sólo tres milésimas de grado del cero absoluto, una fluctuación de la velocidad de enfriamiento que atribuyeron en primer momento a una transición de fase del sólido. Un año más tarde, después de continuar trabajando, se dieron cuenta de que esa fluctuación se debía a una transición BCS, es decir, a la transformación de un fluido normal en un superfluido.

Como en tantos casos, el hallazgo importante fue posible gracias a científicos de talento, laboriosos, que intentaron entender a fondo los resultados obtenidos. Osheroff, que solía trabajar hasta altas horas de la noche, conserva su cuaderno de laboratorio, donde apuntó a las tres menos veinte de la mañana del 20 de abril de 1972: «esta noche he descubierto la transición BCS en ^3He ». El premio Nobel ha llegado veinticinco años después. Durante este tiempo, el hallazgo de Osheroff, Lee y Richardson ha estimulado el estudio del comportamiento de muchos sistemas macroscópicos a temperaturas extremadamente bajas a las que aparecen y cabe observar efectos mecanocuánticos que no sabe explicar la física clásica.

Superconductores moleculares

A diferencia del helio, el carbono es un sólido con todas las de la ley: hay que calentarlo sin aire a unos 3.500 grados para que se convierta en líquido, y a casi a 5.000 grados para que sublime, es decir, se transforme en gas. También en contraste con el helio, la química del carbono es extensísima, pues este elemento forma muchos cientos de miles de compuestos. Hasta 1985 se pensaba que el carbono se presenta sólo en dos formas, el diamante y el grafito. Hace poco más de diez años se describió una nueva forma, el fullereno. El fullereno saltó a los periódicos cuando R. Haddon, de los laboratorios Bell de New Jersey, descubrió en 1991 que, al doparlo con metales alcalinos, se transforma en un material superconductor de temperatura crítica 33 grados por encima del cero absoluto, veinte grados más elevada que la marca anterior para un superconductor molecular.

Las tres formas de carbono se diferencian en el modo de colocarse los átomos. En el diamante, cada uno se rodea de otros cuatro situados en los vértices de un tetraedro, formando en todas las direcciones del espacio una molécula gigante. En el grafito, del que están hechas las minas de los lápices, hay capas formadas por átomos de carbono que ocupan los vértices de hexágonos C_6 con aristas comunes; cada átomo se rodea en su capa de otros tres a distancias más bien pequeñas, mientras que las distancias entre capas son mucho mayores. En el fullereno hay moléculas C_{60} , con los átomos de carbono situados como en los vértices de los pentágonos y hexágonos de un balón de fútbol. De ahí su nombre, derivado del de R.B. Fuller, un arquitecto que usó elementos semejantes en las estructuras que proyectó.

La historia del fullereno muestra cómo el avance científico actual es interdisciplinar. De los tres galardonados, Kroto, que es astrofísico, estudiaba en Sussex el polvo estelar. Había previsto teóricamente que la atmósfera exterior de las estrellas gigantes rojas produciría largas cadenas carbonadas y quería prepararlas en el laboratorio. Smaller y Curl disponían de la infraestructura necesaria, pues habían construido un instrumento con el que —mediante radiación láser y en atmósfera inerte— vaporizaban sólidos para estudiar los materiales semiconductores y metálicos que crecían a partir del vapor. Kroto y Curl coincidieron en la primavera de 1984 en un congreso y, año y medio después, comenzaron a colaborar.

Poco después de comenzar a evaporar carbono, los tres premiados y dos doctorandos, J. Heath y S. O'Brien, observaron un pico intensísimo en los espectros de masas del vapor, señal de que se estaban formando moléculas constituidas por 60 átomos de carbono. Por otra parte, comprobaron que, sorprendentemente, esas moléculas no son reactivas, pues cuando se intentaba que se combinaran con otros materiales, los espectros no se alteraban. Este resultado indicaba que los átomos que constituyen las unidades C_{60} tienen satisfechas todas sus capacidades de enlace. Pensaron entonces que una ordenación de átomos de carbono en hexágonos y pentágonos, como en un balón de fútbol, cumple estos requisitos.

En 1985, cuando publicaron en *Nature* su trabajo, hubo muchos escépticos, porque la descripción del fullereno no iba acompañada de una determinación estructural por técnicas de difracción. Ese estudio no fue posible hasta cinco años más tarde, cuando D. Huffman, de la Universidad de Arizona, y W. Krätschmer, del Instituto Max Planck de Física Nuclear de Heidelberg, lograron preparar cantidades apreciables de fullereno. Estudios por difracción de rayos X confirmaron entonces la estructura propuesta inicialmente.

El pasado

La concesión del premio Nobel ha llegado esta vez con varios años de retraso: ha habido que esperar un cuarto de siglo para el de física y un decenio para el de química. No siempre tardó tanto. Por ejemplo, H. Kamerlingh-Onnes, el físico holandés que en 1911 descubrió la superconductividad, recibió el mismo premio solo dos años después de su hallazgo. Viene aquí a propósito este descubrimiento porque es precedente común de la superfluidez de ^3He y de la nueva familia de fullerenos superconductores.

El hallazgo de la superconductividad se debe también a un hombre de talento, laborioso, con capacidad para proponerse objetivos ambiciosos y criticar a fondo los resultados experimentales obtenidos. Poco antes de su descubrimiento había logrado licuar el helio tras un pugilato con Dewar, que quebrantó la salud de ambos. Organizó en su Universidad, en Leiden, una sesión memorable a la que invitó a los físicos europeos más conocidos. Desde primera hora de la mañana hasta bien avanzada la tarde del día fijado, los convocados fueron testigos, por primera vez en la historia, de la obtención de poco más de medio litro de helio líquido.

La finalidad que se proponía Kamerlingh-Onnes está muy bien definida en el artículo en el que daba cuenta de su descubrimiento. Intuía que los materiales tenían que presentar, a temperaturas muy bajas, muy cercanas al cero absoluto, propiedades singulares, inesperadas. Aunque se pensaba — y se continúa pensando — que los átomos de los sólidos ocupan posiciones fijas en el espacio, a la vez se sabía que la temperatura los hace vibrar en esas posiciones. Eliminar la vibración térmica llevaría,

según la intuición de Kamerlingh-Onnes, a fenómenos singulares. Y así fue.

Una vez recuperado del agotamiento que le habían producido las noches en claro y la tensión a que estuvo sometido hasta que logró la licuefacción del helio, disponía de helio líquido suficiente para obtener temperaturas cercanas al cero absoluto, por lo que midió la variación de la resistividad eléctrica del mercurio hasta temperaturas muy bajas. Así descubrió que a 269 grados bajo cero, a cuatro del cero absoluto, el mercurio —sólido, a esas temperaturas— dejaba de ser conductor metálico, con una cierta resistividad, para pasar a ser superconductor, es decir, para transitar a un estado de resistividad nula.

A pesar de que lo intentaron físicos de primera, Einstein entre otros, el fenómeno descubierto en 1911 no se explicará satisfactoriamente hasta cuarenta y seis años más tarde, cuando en 1957 Bardeen, Cooper y Schrieffer, que también lograrían el premio Nobel, proponen la teoría que se conoce con sus iniciales, BCS. De modo semejante a los superfluidos, cuando un material alcanza la temperatura a la que se torna superconductor —la temperatura crítica—, se anula su resistencia al paso de la corriente eléctrica, los electrones se asocian en pares que se mueven acompasados, llevando el paso del mismo modo. Así evitan las colisiones entre ellos, de modo que la corriente fluye sin pérdida de energía.

Los sesenta años que transcurren desde 1911 hasta que se descubre la transición BCS de ^3He muestran cómo se produce el avance científico. Primero se observa en el laboratorio una propiedad llamativa, a menudo inesperada, no siempre la que se trataba de encontrar. A continuación, la comunidad científica se propone de modo perseverante explicar desde un punto de vista teórico la propiedad observada. A veces, como en el caso de la superconductividad de materiales metálicos, se tarda mucho tiempo en formular una buena teoría. Luego, las teorías superan el fenómeno que las originó y permiten predecir nuevos fenómenos que acaban observándose en el laboratorio: como la transición de ^3He al estado superfluido, en el caso de la teoría BCS.

El futuro

Las peculiaridades del helio a las que me he referido continuarán estimulando durante los próximos años el estudio de muchos materiales a temperaturas extremadamente bajas, a las que se producen fenómenos interesantísimos, inesperados para las leyes de la física clásica, aunque sean previsibles por la mecánica cuántica. Por otra parte, las posibilidades que abre el fiillereno en el ámbito de la ciencia de materiales son muy dilatadas. Ya se sabe cómo introducir en las moléculas C_{60} muchas clases de átomos y cómo sacarlos después. De la misma forma que se ha logrado una nueva familia de superconductores moleculares cuando se han dopado con elementos alcalinos, se espera ahora encontrar otros materiales con propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas no menos llamativas.

Los hallazgos felices que han conducido a los premios Nobel de física y química de este año permiten esperar desarrollos y descubrimientos aún más espectaculares para el futuro próximo. Así ha sido desde que comienza en el siglo XVIII el desarrollo de la ciencia moderna. Lo había formulado años antes Niels Stensen (Esteno, como le llamamos en castellano), un danés que vivió en el siglo XVII a quien se deben hallazgos importantes en el ámbito de la anatomía humana y la cristalografía, donde descubrió la ley de la constancia de los ángulos diedros de los cristales. Escribió en el idioma científico de la época estas palabras: *pulchra quae videntur, pulchriora quae sciuntur, longe pulcherrima quae ignorantur*. Algo así como: «son bellas las cosas que se ven; más bellas las que se conocen; pero muchísimo más bellas las que aún no se saben».

Fecha de creación

29/01/1997

Autor

Isidoro Rasines

Nuevarevista.net