



La super- conductividad

Historia y leyendas

Sven Ortoli
Jean Klein

Biblioteca
Científica
Salvat

La superconductividad

Historia y leyendas

Sven Ortoli
Jean Klein

SALVAT

Versión española de la obra
Histoire et légendes de la supraconduction,
publicada por Calman — Lévy

Traducción: Fernando E. Mateo
Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass
Foto de cubierta: A.G.E. FotoStock

Escaneado: thedoctorwho1967.blogspot.com.ar
Edición digital: Sargont (2018)

© 1993 Salvat Editores, S.A., Barcelona
© Editorial Gedisa, 1990
© Calman - Lévy, 1989
ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-8892-7 (Volumen 12)
Depósito Legal: B-27526-1993
Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona
Impresa por Printer, i.g.s.a.. Octubre 1993
Printed in Spain

ÍNDICE

[ADVERTENCIA](#)

[PRÓLOGO](#)

[INTRODUCCIÓN](#)

[I. EL ÚLTIMO DE LOS GASES PERMANENTES](#)

[AUTO DE FE](#)

[II. EL DRAGÓN CUÁNTICO](#)

[UNA CACERÍA INCIERTA](#)

[III. UNA CORRIENTE PERPETUA](#)

[EL LIBRO DE LAS METAMORFOSIS](#)

[IV. LA LEVITACIÓN DE LOS SUPERCONDUCTORES](#)

[EL SOLDADO Y LA MUÑECA](#)

[V. LA SUPERFLUIDEZ](#)

[EL DIABLO EN EL CRIOSTATO](#)

[VI. LA CLAVE DEL ENIGMA](#)

[LOS ASOCIADOS](#)

[VII. EL MILAGRO](#)

[EPÍLOGO](#)

[APÉNDICE 1: UN LÍMITE INACCESIBLE](#)

[APÉNDICE 2: EL TRANSPORTE DEL HELIO](#)

[APÉNDICE 3: EL EFECTO TÚNEL](#)

[APÉNDICE 4: LA TEORÍA DE ABRIKOSOV](#)

[APÉNDICE 5: LOS EFECTOS JOSEPHSON](#)

[BIBLIOGRAFÍA](#)

ADVERTENCIA

La historia de la superconductividad exige a veces del lector no especializado un esfuerzo de adaptación a conceptos relativamente nuevos, e incluso diferentes de los que le han podido ser transmitidos en la escuela. Para aclarar algunos de esos conceptos, creímos conveniente intercalar entre un capítulo y otro un cuento, un relato muy breve ilustrando la principal idea física del capítulo precedente. Para diversión de los autores, cada relato ha sido concebido como si hubiese sido escrito (o al menos inspirado) por un escritor célebre, que al lector no le resultará difícil identificar. Como los autores no son plagiarios profesionales se disculpan aquí por las imprecisiones o imperfecciones de estilo que el lector informado sabrá reconocer.

PRÓLOGO

En el jardín del emperador de los dos mundos, había una fuente cerca de la cual se encontraba, llorando, el muy poderoso soberano.

Por ser algo que le habían enseñado en su más tierna edad y además fácil de verificar, siempre había creído que la materia existía bajo tres formas: sólida, líquida o gaseosa. Sólidos, el mármol de su palacio, la hoja de su espada o las piedras preciosas de su trono. Líquidos, el agua de la fuente, el vino de sus bodegas o el mar que bañaba su reino. Gaseosos, el aire que respiraba, el vapor que salía de una cacerola y las chispeantes burbujas del vino de sus colinas. Después, le habían hablado de otras formas que nunca le habían sido reveladas.

Los sabios de su corte le habían mostrado objetos pastosos que parecían no tener ni la rigidez de los sólidos ni la fluidez de los líquidos, pero él lograba siempre hacer entrar las cosas extrañas que le presentaban en alguna de las tres categorías. Los sólidos eran duros y la mayor parte del tiempo cristalizados. Los líquidos se deslizaban por sus preciosas alfombras cuando volcaba los recipientes. En cuanto a los gases, llenaban invariablemente el volumen en el que se los soltaba. Otras formas no veía. Y por eso lloraba.

Muchos sabios, traídos con enormes gastos desde más allá de los mares, habían tratado de reconfortarlo. En las estrellas, le aseguraban, la materia existe bajo otras formas; las más pequeñas son tan densas y los elementos que las componen tan apretados que se trata sin ninguna duda de un nuevo estado, ni sólido, ni líquido, ni gaseoso. En las más brillantes, en cambio, la temperatura es tan alta que los elementos de la estrella se separan en dos familias que oscilan atrayéndose y rechazándose. Con eso, pues, tenemos cinco estados de la materia, le dijeron al emperador, esperando que éste los compensaría al menos regíamente. Pero sus palabras fueron vanas. Y el emperador suspiraba: ¿para qué me sirven vuestras estrellas si no puedo traerlas a mi palacio?

Y todos los días, cuando en la sala del trono el gran reloj daba cuatro campanadas, el emperador iba a llorar a la fuente durante

lo que demoraba en descender la arena de su ampollita. No más, pues era un emperador concienzudo que se ocupaba personalmente de sus asuntos. Como aquello se prolongaba desde hacía mucho tiempo, era suficiente para exasperar hasta a los cortesanos más celosos. La situación parecía no tener salida. Fue entonces que el astrólogo de la corte pidió una entrevista. Hasta ese momento había callado porque no tenía nada que decir; si no quería que lo tomaran por un imbécil, se decía a sí mismo, mejor sería no dejar huellas.

Su contribución fue modesta pero decisiva: conocía, le dijo al emperador, un hechicero eminente; sólo él podría devolver la alegría al palacio en lo que dura una ampollita después de la cuarta campanada del reloj.

El emperador, que estaba dispuesto a todo, hizo venir al hechicero. Quisiera saber, le dijo, si existe fuera de las estrellas lejanas un estado de la materia que no sea ni sólido, ni líquido, ni gaseoso. Si yo te muestro una cosa, dijo el hechicero, que se parezca a un sólido, pero en la que se puede derramar un fluido tan perfecto que jamás encontrará resistencia, una cosa con la que tú puedes hacer un anillo en el que ese fluido girará por toda la eternidad, algo, en fin, que flotará en el aire apenas lo coloques encima de una de esas piedras del norte con las que atraes el hierro, ¿te sentirás satisfecho? El emperador, demasiado contento, no prestó atención a la familiaridad del hechicero y simplemente asintió con la cabeza. Y ante sus ojos, apareció un disco hecho de una materia negruzca y ligeramente granulosa. No es muy hermoso, dijo el emperador, y, sobre todo, no veo el fluido del que hablabas. No lo verás jamás con tus ojos, respondió el hechicero. El emperador, terriblemente decepcionado, se puso a llorar porque el reloj daba justamente cuatro campanadas y, después de todo, él era un poco caprichoso.

El hechicero decidió darle una segunda oportunidad. Si te muestro algo, le dijo, que se parezca a un líquido, pero que vertido en este cántaro de barro cocido se esparcirá sobre la mesa como si el cántaro estuviese rajado, algo que atravesaría una pared de ladrillo como el agua atraviesa un papel secante, algo que colocado en ese vaso de oro se arrastrará por las paredes para derramarse hacia el exterior y dar la vuelta al mundo, una cosa, en fin, que colocada en un frasco de cristal cuidadosamente cerrado, permanezca inmóvil haciendo girar al mismo tiempo al frasco como un trompo, si te muestro eso, ¿te sentirás satisfecho? El emperador asintió. Entonces, ordenó el hechicero, sígueme

hasta mi laboratorio. De ninguna manera, respondió el emperador enfurecido, tú eres mi súbdito, ¡llena esta fuente con tu líquido! Como quieras, murmuró filosóficamente el hechicero. E instantáneamente apareció en la fuente un líquido maravilloso que al mismo tiempo se escapaba de ella subiendo hasta los bordes para esparcirse por el jardín del palacio.

Sólo el mago quedó para ver aquello, pues el emperador y sus cortesanos quedaron congelados para la eternidad. A una temperatura más bien primaveral le había sucedido un frío casi total, un frío más intenso que el de la noche entre las estrellas. A su alrededor, el aire se había licuado, y luego se había transformado en una masa dura y compacta; todo se había solidificado. Todo, salvo el helio superfluido que espejeaba en la fuente.

Pero en los labios del emperador petrificado, flotaba por fin una sonrisa.

INTRODUCCIÓN

La superconductividad es una célebre desconocida. A pesar de haber sido desde 1987 la número Uno en varios centenares de diarios y revistas a través del mundo, ha seguido siendo ignorada por la gran mayoría del público.

Se ha dicho todo, o casi todo, sobre sus aplicaciones en el futuro: desde la perspectiva de ver flotar en el año 2000 trenes rápidos de levitación magnética, hasta la de poder conservar, y extraer a voluntad, la energía de una central nuclear en un anillo de almacenamiento, producir campos magnéticos de una intensidad inigualada, fabricar una nueva generación de ordenadores, inventar nuevos aparatos de exploración del cuerpo y transportar corriente eléctrica sin pérdidas.

Se ha hablado de revolución industrial; y en esta ocasión, quizá, la palabra no resultó devaluada. En todo caso, es la esperanza de las dos locomotoras que conducen a los países industrializados: los Estados Unidos, con discurso del presidente Reagan en su apoyo incluido, han hecho de la superconductividad una causa nacional, y el Japón, movilizándolo a sus industriales, declara por boca de sus expertos que ese mercado valdrá 20 mil millones de dólares por año a comienzos del siglo XXI. De pronto, la cantidad de investigadores que trabajan sobre el tema se decuplicó en unos meses, pasando de algunos cientos en 1986 a varios miles desde 1987.

Se ha hablado mucho de las aplicaciones y los beneficios de la superconductividad, pero se ha escrito poco, o en todo caso no lo bastante, acerca de su naturaleza, extraña, y de su historia, excepcional. Cuanto ambiciona este libro es explicar aquélla contando ésta.

Extraña como todos los fenómenos que escapan completamente a la física clásica, la superconductividad es un efecto puramente cuántico: su explicación depende de una descripción de la materia que renuncie a asignar una posición y una trayectoria a los elementos, átomos y electrones, que la constituyen. Sin embargo, se puede constatar su existencia como se ve el efecto de la gravitación en la caída de una manzana: la superconductividad

es un efecto cuántico «macroscópico». Un privilegio que sólo comparte con su hermana melliza, la superfluidez. Una, la superconductividad, es un desplazamiento en la materia que transforma un metal, una aleación, a veces incluso un aislador, en conductores perfectos en los que la corriente eléctrica se desplaza idealmente sin ninguna resistencia, sin desprendimientos de calor, es decir, sin perder energía. La otra, la superfluidez, es un desplazamiento de la materia que metamorfosea al helio, cuando éste es enfriado a -271°C , en un líquido sin ninguna viscosidad que se derramará más rápido en una pajita que en un oleoducto. La primera es el resultado de un movimiento coordinado de electrones, la segunda de un movimiento coordinado de átomos. Las dos están íntimamente ligadas. Tienen una historia común.

Si ésta es excepcional, es en primer lugar porque ofrece una condensación sorprendente de una transición que ha conducido a la profesionalización de una actividad reservada hasta entonces a los aficionados: la historia de la superconductividad comienza en el siglo de los gabinetes de física para acabar en el de los laboratorios gigantes. Arranca con la rivalidad de algunos hombres en una Europa en el apogeo de su poderío. Prosigue en la lucha entre una escuela soviética debilitada por las purgas estalinianas y una escuela americana minada por la «caza de brujas». Termina en una competencia entre los grandes laboratorios multinacionales.

Entretanto, habría de suscitar las mejores esperanzas... y las mayores decepciones. Comenzando por la de Giljés Holst, el físico holandés, que constata en 1911 que un hilo de mercurio enfriado a algunos grados del cero absoluto, hacia los -269°C , deja pasar la corriente sin resistencia. Él es quien observa por primera vez la superconductividad, pero permanecerá en el anonimato... Su patrón, Kamerlingh Onnes, se atribuirá sin compartirla la paternidad de su descubrimiento. Continuando por las desilusiones de todos los físicos, y no de los menos importantes, que durante medio siglo registrarán los más pequeños rincones de la materia esperando ver aparecer la superconductividad a temperaturas cada vez más altas, y hasta a la temperatura normal en que un hilo de cobre conduce la electricidad. Durante el cuarto de siglo siguiente desesperarán de verla superar jamás un límite experimental de $-249,7^{\circ}$ Celsius, incluso se habían resignado: la superconductividad debía ser irremediabilmente confinada al mundo de las muy bajas temperaturas.

Y sin embargo, estaba allí, oculta en un material fabricado por un químico francés que ignoraba el tesoro que tenía entre manos. Este es el tesoro que desenterrarán, en 1986, el suizo Alexander Müller y su sobrino alemán Georg Bednorz, en un laboratorio de IBM, y que les valió el premio Nobel de 1987, apenas un año y medio después de su descubrimiento de «materiales superconductores a alta temperatura».

I. EL ÚLTIMO DE LOS GASES PERMANENTES

Una noche de invierno excepcionalmente fría, los tubos del órgano de la catedral de San Petersburgo se hicieron pedazos. La mayoría de los fieles vio en ello la intervención del Maligno. Pero si tal hubo, esa intervención se limitó a sugerirle al constructor del órgano que empleara estaño casi puro para fabricar los tubos. El estaño, lo que no se sabía en aquel comienzo del siglo XVIII, es un metal cuyos átomos se reorganizan cuando la temperatura desciende por debajo de los 13 grados. Al comienzo esto no es muy grave, pero a -50° Celsius esta transformación es brutal; el estaño literalmente se pulveriza. Los melómanos de San Petersburgo pagaron los gastos del fenómeno. Pero éste al menos les indicó claramente a los físicos del lugar que los hielos arrastrados por el Neva no eran el único signo de una modificación de la materia por el frío. El silencio de la catedral les reveló mejor que un largo discurso el magnífico campo de investigación que les ofrecían las bajas temperaturas. Investigaciones cuya coronación sería el descubrimiento de la superconductividad.

Porque la historia de la superconductividad se confunde con la de la búsqueda de las bajas temperaturas. Para llegar al descubrimiento llamado de Kamerlingh Onnes en 1911, era preciso alcanzar una temperatura más baja que la de los objetos más fríos del Universo; una temperatura que, salvo que consideráramos la existencia de primos del más allá que fuesen además físicos experimentales dotados, no había existido jamás en ninguna otra parte; de hecho, una temperatura sólo algunos grados por encima del cero absoluto. Allí, en esa zona en la que los átomos están a un pelo de la inmovilidad total, se iban a descubrir electrones dotados de una movilidad perfecta.

¡Pero era necesario saber que esa zona existía! Al nacer Kamerlingh Onnes, en 1853, ya se daba por hecho: se sabía que una temperatura no puede caer indefinidamente, que existe un límite en el frío: se lo bautizó el «cero absoluto». El trazado de esta

frontera había sido trabajoso. El tema del siglo XVIII fue distinguir, a modo de preámbulo, calor y temperatura.

UN ESQUIMAL EN PARÍS

¡Había que pasar por esa distinción! Hablar de canícula o de frío siberiano tiene la ventaja de ser expresivo y el inconveniente de ser poco riguroso; calor y frío son nociones ambiguas. Raymond Devos lo habría dicho mejor: en el fuego de la conversación bien puede colarse el frío. Einstein escribió más prosaicamente que, para darse cuenta, basta con sumergir una mano en el agua fría, la otra en el agua caliente, y luego las dos en el agua tibia. Los mensajes percibidos por cada mano se contradirán. De la misma manera, un beduino y un esquimal que se encuentren en París para la primavera tendrán opiniones contrapuestas sobre el clima de la capital francesa. Sólo el empleo del termómetro permite laudarse en la querrela, al indicar una temperatura.

Sin embargo, no es porque tengan la misma temperatura que dos cuerpos contienen cantidades iguales de calor: en dos calentadores idénticos, diez litros de agua serán llevados al punto de ebullición menos rápidamente que un litro. Habrá sido necesario algo más para llevar esos diez litros de agua a los 100°; algo que fue llamado calor, pero que posee un nombre más general: energía. La experiencia cotidiana nos enseña esta correspondencia: la frotación, por ejemplo, de las ruedas de un vehículo contra el asfalto, provoca un calentamiento de los neumáticos. Hay transformación de la energía cinética (ligada a la velocidad del vehículo) en calor. Haciendo una observación menos moderna, pero en el fondo idéntica, James Joule comprendió que el calor es una forma de energía, ni más ni menos que la energía eléctrica o la energía mecánica.

Corría el año 1845, y como se verá, las ideas de Joule iban a jugar un papel preponderante en la carrera de Kamerlingh Onnes. Pero ya entonces hacían posible una definición de la temperatura. Si dos cuerpos, uno caliente y el otro frío, entran en contacto, se sabe por experiencia que al cabo de un cierto tiempo ambos estarán tibios; en otras palabras, se van a poner a la misma temperatura. El calor se ha esparcido entre ellos como el agua entre dos recipientes situados a niveles diferentes. El nivel de arriba corresponde a la temperatura elevada y el nivel inferior a la temperatura baja. Dicho de otro modo, la temperatura mide

un nivel y no una cantidad de calor. En términos microscópicos, mide el grado de agitación de los átomos de un cuerpo. No hay límite superior: cuanto más se agitan, más elevada es la temperatura. A la inversa, cuanto más «calmos» están más desciende la temperatura. El límite inferior está determinado por la inmovilidad casi total de los átomos: es el cero absoluto.

¿Dónde se sitúa exactamente el cero absoluto? El siglo XIX encontró la respuesta. Hacia 1802, Gay Lussac había demostrado que el enfriamiento de un gas lo lleva a contraerse. A tal punto que, según sus cálculos, debía ocupar un volumen nulo una vez que llegara a -270 grados Celsius! Por supuesto, nadie iba a ir a ver; por otra parte, el químico francés sabía que los gases no podían desaparecer y que el «volumen nulo» no era más que una ficción.

EL SEÑOR DEL FRIO

William Thomson fue más preciso. Este joven físico escocés había continuado los trabajos de Gay-Lussac sobre la contracción de los gases. En 1848 demostró que las moléculas de toda sustancia, gaseosa, líquida o sólida, pierden energía a un ritmo constante cuando la temperatura desciende. El escocés calculó que una vez perdida toda su energía, un cuerpo alcanzaba los $-273,15^{\circ}\text{C}$, y que ahí estaba el cero absoluto. Thomson se convirtió en el barón Kelvin of Largs, lord Kelvin, en 1866. Pero no fue promovido a noble por sus soberbios trabajos de termodinámica, sino porque había pergeñado una máquina que permitía la transmisión rápida de señales a través del cable transatlántico. Invencción inmediatamente rentable y más fácil de comprender. Su genio, sin embargo, fue reconocido de diversas maneras. Entre otros honores, el grado Kelvin ha sido elegido como signo de la escala absoluta de las temperaturas: 0° Kelvin corresponde a $-273,15^{\circ}\text{C}$. No hay temperatura más baja.

Una vez conocida y cifrada la existencia del cero absoluto, quedaba por descubrir cómo llegar a él, o, más exactamente, cómo acercarse, puesto que, y esto se descubriría mucho después, se trata de un límite hacia el cual se puede tender, pero al que no se puede llegar. Esta cuestión habría de ocupar a una parte de la comunidad científica durante más de medio siglo. La primera etapa ya estaba diseñada: era necesario encontrar un nuevo método de enfriamiento. La puesta a punto llevada a cabo por el químico

francés Thilorier, en 1835, había permitido llegar a los -110°C . Esto representaba más frío que la noche más glacial jamás registrada en la Antártida, pero todavía se estaba lejos de la meta. La mezcla de nieve carbónica y éter preparada por Thilorier no proporcionaba el refrigerante necesario para licuar aquello que se designaba con el nombre de «gases permanentes». Era el gran enigma del momento: resultaba imposible licuar tres de los gases conocidos (el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno) a -110°C . Por más que se los comprimía, no pasaba nada. Seguían siendo rebeldes, irreductibles, y desesperadamente vaporosos en los tubos de ensayo.

Los treinta años posteriores al récord de bajas temperaturas obtenido por Thilorier estuvieron signados por los fracasos estrepitosos de los sucesivos experimentadores abocados a la licuación de los gases permanentes. El año 1868, sin aportar solución al problema, fue testigo, sin embargo, de un acontecimiento fundamental en la historia del frío.

EN EL CORAZÓN DEL SOL

Aparentemente sin relación alguna con la investigación de las bajas temperaturas, este acontecimiento era, sin embargo, su clave, como iba a serlo también de la superconductividad: un astrónomo aficionado, Joseph Norman Lockyer, había descubierto el helio.

Lockyer era un joven de treinta y dos años que trabajaba en el «War Office», menos apasionado por la política extranjera que por las especulaciones sobre los orígenes de las piedras de Stonehenge, cuya geometría, según él, revelaba datos astronómicos. Su interés por la astronomía superaba, sin embargo, las llanuras de Salisbury: estaba muy al corriente de los trabajos de sus contemporáneos. En especial, había leído con atención el informe titulado *Sobre las rayas de Fraunhofer*, firmado por Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen, informe justamente célebre porque en él los dos científicos alemanes explican que el espectro de una fuente luminosa (su descomposición por un prisma en rayas de colores) está relacionado con la composición de la fuente. En otros términos, cada raya de un espectro indica la presencia de un elemento dado.

Estudiando el espectro solar, Lockyer le aplicó esta regla. Analizando en detalle la luz descompuesta en su espectroscopio, ob-