

2º Este tipo de ensayos con armas atómicas de inmenso poder destructivo ya no aportan prácticamente ninguna nueva información científica a las ya conocidas y su realización, además de significar un esfuerzo financiero gigantesco, solamente obedece a fines bélicos que son contrarios a la convivencia pacífica de la humanidad.

3º Aunque posiblemente las detonaciones en el Pacífico Sur no producirán en Chile efectos inmediatos en habitantes, animales y plantas, ni cambios climáticos violentos, la dispersión de los elementos radiactivos llegará a nuestro territorio aumentando el nivel existente y afectando lentamente la salud y el destino genético de nuestra raza.

POR LO TANTO, LA ACADEMIA CHILENA DE CIENCIAS NATURALES ADHIERE A LA PROTESTA DE TODOS LOS HABITANTES DE AMERICA DEL SUR Y SE DECLARA CONTRARIA A UN REARME ATOMICO DE NUEVAS POTENCIAS, PROTESTA QUE SE ESTA MANIFESTANDO DESDE HACE DIEZ AÑOS POR LAS ACADEMIAS CIENTIFICAS MAS IMPORTANTES DEL MUNDO.

Hugo Gunckel
Presidente

Humberto Barrera
Vicepresidente

Hans Niemayer
Secretario

EXPLICACION DEL ENIGMA DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD

por el prof. I. GALÁTIKOV

Director del Instituto de Física Teórica de la
Academia de Ciencias de la URSS

La superconductividad es, indudablemente, uno de los más importantes e interesantes fenómenos de la física del cuerpo sólido. Descubierta en 1911 por el físico holandés Kamérlingh-Onnes, durante más de medio siglo se consideró este fenómeno como un prodigio. Hoy abandonó los laboratorios y es aprovechado ampliamente durante la creación de ultrapotentes imanes permanentes, en los dispositivos computadores, abriendo fantásticas perspectivas. El ascenso ha ocurrido en virtud de que en los años 50 se ha logrado explicar este prodigio y elaborar una consecuente teoría microscópica de la superconductividad, que explica todos los hechos experimentales. En su elaboración participaron Alexei Abrikósov, Vi-

tali Guínzburg, Lev Gorkov y en la etapa inicial, el académico Lev Landau, Premio Lenin.

La superconductividad es la capacidad de algunos metales de dejar pasar, a temperaturas bastante bajas, la corriente eléctrica sin oponerle resistencia alguna. Es bien sabido que la corriente eléctrica, al circular por un conductor metálico lo calienta. Esta propiedad, debida a la resistencia a la corriente, suele ser muy perjudicial, y es fuente de pérdidas de potencia eléctrica. Resultó que en un metal superconductor, a temperaturas muy bajas, próximas al cero absoluto (por ejemplo, en helio líquido), la corriente es capaz de circular por un circuito cerrado un tiempo incalculable sin amortiguarse.

¿A qué se debe? Parecería que con cero absoluto todo movimiento, incluso el de los electrones, tendría que cesar. Según los conceptos modernos, esto se relaciona con las muy sutiles propiedades cuánticas de los electrones de la conductividad en el metal. Entre los electrones negativamente cargados actúan las fuerzas electrostáticas de repulsión de Coulomb. Pero, además de esto, todos los electrones interaccionan con los iones de la rejilla cristalina del metal. Según la mecánica cuántica, los iones, hasta sometidos a las temperaturas más bajas, jamás se encuentran en condiciones equilibradas de la rejilla, sino que realizan junto a ellas pequeñas *oscilaciones cero*. El electrón, moviéndose en la rejilla, desplaza a los iones modificando el régimen de las oscilaciones cero. El campo de fuerzas que a consecuencia se forma, influye sobre otro electrón. Por esto, además de las fuerzas de repulsión de las cargas análogas de Coulomb, entre los electrones del metal nacen nuevas fuerzas *de rejilla*, correspondientes a la atracción. En algunos metales la atracción de electrones supera a la repulsión, y los electrones parecen formar pares ligados. Según la moderna teoría microscópica, precisamente estos metales vienen a ser superconductores.

Para comprender la particular importancia de las fuerzas de atracción, es necesario recordar que en la física de los cuantos todas las partículas se dividen en dos clases opuestas, según la magnitud de su propio momento de rotación (del espín). En las unidades de la constante de Planck este momento puede ser o entero, o semientero (número impar de mitades). A los primeros pertenecen, verbigracia, los átomos de helio, al segundo, los electrones que poseen la espín-mitad. El helio líquido está dotado de una magnífica propiedad: la superfluidez, corriendo sin fricción por estrechos tubos capilares. Por lo visto, esta propiedad es próxima a la superconductividad. En 1941, el académico Lev Landau explicó la superfluidez con el hecho de que en el helio la energía puede entregarse o adquirirse únicamente en porciones estrictamente determinadas: en cuantos. Ello significa que el helio fluido puede frenarse, cuando la velocidad de su movimiento supera una magnitud determinada.

El "líquido" electrónico en el metal se compone de partículas de clase opuesta. Su fluido, o sea, la corriente eléctrica, se va amortiguando en todas las condiciones. Otra cosa es cuando entre los electrones existe atracción. Entonces, los electrones pueden formar pares ligados, complejos, y con lo mismo obtener un espín entero.

La propiedad de la superconductividad puede entenderse en este caso como una superfluidez de pares ligados. Pero la energía de la ligazón de estos pares

es muy pequeña y, por esto, la superconductividad existe solamente con las temperaturas más bajas. Una elevación insignificante de la temperatura, unos cuantos grados, basta para romper esta ligazón de los dos electrones que forman pareja. Debido a esto, el mecanismo del origen de la superconductividad seguía siendo tanto tiempo un enigma: las energías características de las interacciones de los electrones en el metal son magnitudes del orden atómico, o sea, equivalen al calentamiento de decenas de miles de grados, mientras que la superconductividad es un efecto muy débil y se caracteriza con energías del orden de un grado.

Los electrones determinantes de las propiedades del superconductor tienen una carga eléctrica e interaccionan fuertemente con el campo electromagnético. Por esta causa el estudio de las propiedades del superconductor en el campo magnético constituye el problema central de la teoría de la superconductividad. En 1933 fue descubierto el efecto de Meissner. Resultó que el campo magnético no penetra en un superconductor. Para comprender todo lo sorprendente de este hecho basta recordar que las líneas de fuerza del campo magnético penetran en todos los medios sin excepción, incluso en los metales, y que en los laboratorios de física, cuando se quiere librarse del campo magnético de la Tierra, se recurre a bobinas compensadoras especiales. Para el superconductor, semejante conducta respecto al campo está condicionada por el hecho de que el campo magnético, penetrando en él, interaccionaría con los electrones y se vería obligado a reestructurarlos. Pero los electrones forman parejas y, por esto, el sistema es *rígido*, cuando el campo no es bastante intenso.

Esta contradicción puede vencerse al surgir en la superficie del superconductor corrientes de pantalla, compensadoras del campo exterior: la superficie del superconductor se transforma en solenoide de corriente continua, en el cual el campo por él creado es exactamente igual por su magnitud y opuesto por su signo al campo exterior. A veces se suele denominar diamagnético ideal al superconductor: la dirección de las líneas de fuerza de su propio campo magnético es opuesta al sentido del campo magnético. Todo esto ocurre cuando la magnitud del campo es pequeña. Un intenso campo magnético anula la propiedad de la superconductividad.

Todos sabemos que la aguja de la brújula gira hacia el norte porque una orientación contraria de las líneas del campo terrestre y del campo propio de la aguja imantada es energéticamente desventajosa. En el superconductor, el sentido opuesto de los campos exterior y propio lo determina la necesidad de compensar el campo exterior dentro del superconductor.

Por esto la energía del superconductor en el campo exterior es siempre superior que sin el campo. Esto significa que en un campo bastante intenso es más ventajoso energéticamente un metal común, en el cual no existe la expulsión del campo, que un superconductor con el efecto Meissner. En un campo bastante poderoso el superconductor sufre, como se dice, la transformación física en un metal normal. El campo, en presencia del cual se produce el equilibrio energético es calificado de crítico. Todos los campos superiores al crítico destruyen la propiedad de superconductividad. Lo lamentable consiste en que para los metales puros estos campos son relativamente pequeños: de varios centenares de oersteds, mientras que en los imanes naturales la intensidad de campo puede llegar a varios millares de oersteds. Las fórmulas teóricas muestran que existe una limitación de principio para los campos de los superconductores puros. Otra cosa son las aleaciones, es decir, los superconductores con añadiduras. En este caso, bajo el concepto *añadiduras* se entienden tanto los átomos de otras sustancias, afines o introducidas de otro modo en la rejilla del superconductor, como también otros defectos de la rejilla ideal (deformaciones). En el metal normal estos defectos condicionan la resistencia óhmica.

¿En qué consiste la diferencia fundamental entre las aleaciones y el metal puro? Si en el superconductor, durante la transición del estado normal al estado superconductor, el campo magnético es exactamente igual al crítico, en cambio, en el mismo trozo de metal son capaces de coexistir simultáneamente las fases normal y superconductora, separadas por una superficie límite. Como analogía puede citarse una transición más corriente: de líquido a vapor.

Cuando, por ejemplo, en un líquido a la temperatura de la ebullición nace una burbuja de vapor, ésta tiene, generalmente, una forma casi esférica, lo que corresponde al área mínima de la superficie de la división entre las fases en el volumen dado de la burbuja. Desde el punto de vista energético no es ventajoso aumentar esta superficie, pues en esto ya es necesario invertir trabajo. El trabajo requerido para aumentar la superficie en un centímetro cuadrado es denominado tensión superficial. En este caso, la energía superficial es positiva. Admitamos, sin embargo, por un minuto, que la magnitud de la energía superficial es negativa. Entonces será energéticamente ventajoso aumentar la superficie y el límite de la división empezará a ramificarse; en ella aparecerán lenguas cada vez más finas y largas. Los espacios ocupados por el vapor y el líquido tenderán a refinarse y, al fin de cuentas, ambas fases se mezcla-

rán tanto que será imposible separar patentemente una fase de otra.

Al límite de división entre las fases normal y superconductora también corresponde cierta energía superficial. Para los metales puros ella, por regla general, es positiva. La teoría predice, sin embargo, que con una suficiente concentración de las añadiduras la energía superficial se vuelve negativa y, por consiguiente, la transición en el campo magnético tendrá lugar de un modo diferente.

En realidad, con la energía superficial negativa las fases normal y superconductivas penetran una en otra y se mezclan. Junto con la fase normal, al superconductor penetran las líneas de fuerza del campo magnético. Por consiguiente, el efecto de Meissner se vuelve incompleto: no todo el campo es expulsado del metal. Gracias a esto disminuye también la energía de la interacción de las corriente superconductoras de pantalla con el campo exterior. Por esto la propiedad de la superconductividad se conserva en una aleación hasta valores mucho mayores de la intensidad del campo magnético que los valores críticos en los superconductores puros.

Tales son, en forma muy simplificada, los principios físicos fundamentales sobre los que se basa la teoría, bautizada en la literatura mundial con el nombre de GLAG, sigla de los apellidos de sus autores: Guinzburg, Landau, Abrikósov, Gorkov. En los últimos años, en relación con el progreso en la tecnología de la elaboración de muestras puras y de aleaciones, los numerosos augurios y fórmulas cuantitativas de la teoría concuerdan brillantemente con el experimento.

En una de las conclusiones prácticas más importantes se ha convertido la teoría sobre el rápido incremento de la magnitud crítica destructora del campo magnético de la aleación con el aumento del número de defectos. En la actualidad se conoce una aleación en la que este campo llega a 300.000 oersteds. Campos críticos tan elevados en las aleaciones permitieron iniciar la producción de imanes ultrapotentes superconductores. El principio en que se base su estructura consiste en que la corriente superconductora, una vez excitada en una bobina en cortocircuito de una aleación superconductora, es capaz de circular un tiempo ilimitado, manteniendo en ella un campo magnético constante. Un imán de este tipo no exige fuentes de alimentación.

Los trabajos de V. Guinzburg, A. Abrikósov y L. Gorkov, relacionados con la teoría de los superconductores en campos magnéticos intensos, constituyen uno de los más destacados adelantos en la física del cuerpo sólido.

(APN).