

LA SUPERFLUIDEZ EN EL ^3He :
EL DESCUBRIMIENTO
VISTO A TRAVÉS DE LOS OJOS
DE UN ESTUDIANTE DE POSTGRADO

Douglas D. Osheroff

*Department of Physics
Stanford University
Stanford, California 94305-4060, USA*

Como un estudiante graduado a mediados de los años 60, fui atraído a la física de bajas temperaturas por las nuevas y poderosas tecnologías de enfriamiento que se estaban desarrollando por ese entonces. Yo estaba seguro que estas tecnologías nos permitirían ver el comportamiento de la naturaleza desde un nuevo punto de vista, y que esto llevaría a una ciencia nueva e importante. Varias de estas nuevas tecnologías involucraban las propiedades inusuales del ^3He líquido y sólido. Mientras que el ^4He es un isótopo razonablemente abundante, al menos en los Estados Unidos, el ^3He tiene una abundancia natural muy pequeña. Sólo llegó a ser accesible para el estudio a mediados de los años 50 con el crecimiento de los arsenales nucleares en los Estados Unidos y en la Unión Soviética. El tritio, usado en los disparadores de las bombas de hidrógeno, decae con una vida media de alrededor de 12 años, y lo que queda es uno de los materiales más maravillosos que conoce la humanidad: el ^3He .

El ^3He es maravilloso por varias razones. Ambos isótopos de helio comparten la habilidad única de permanecer en un estado fluido aun cuando se enfrían hasta temperaturas muy cercanas al cero absoluto. Sin embargo, las propiedades del ^3He y del ^4He líquidos son notablemente diferentes a bajas temperaturas, debido al espín que sólo posee el núcleo del ^3He . Este espín hace que los átomos de ^3He sean partículas de Fermi, es decir pertenecen a la misma familia de partículas que el electrón, y como tales los

átomos de ^3He deben obedecer el Principio de Exclusión de Pauli, el cual prohíbe que dos partículas de Fermi indistinguibles (idénticas y compartiendo el mismo volumen) ocupen el mismo estado cuántico. En contraste, los átomos de ^4He son partículas de Bose, como lo son los cuantos de luz, y las partículas de Bose tienen una propensión a acumularse en el mismo estado a temperaturas muy bajas a través de un proceso llamado *condensación de Bose-Einstein*. De hecho, por debajo de aproximadamente 2.2 grados Kelvin, el ^4He líquido realiza una transición de fase a un estado superfluido, en el cual una gran fracción de todos los átomos en el fluido se condensa en un solo estado cuántico, y por lo tanto pueden ser descritos por una función de onda cuántica macroscópica. En la fase superfluida, el ^4He líquido puede fluir por siempre, sin disipación de energía. Sin embargo, a temperaturas de casi tres órdenes de magnitud más cercanas al cero absoluto, el ^3He líquido no exhibe tal transición.

Sin embargo, el comportamiento a bajas temperaturas de los fluidos de Fermi es bastante inusual como lo muestran los electrones de conducción en los metales. Aun muy cercanos al cero absoluto, estos electrones se desplazan a velocidades notablemente altas, llegando a un uno por ciento de la velocidad de la luz! Debido a que los átomos de ^3He son mucho más masivos que los electrones, sus velocidades no son muy superiores a las observadas en las carreteras. En muchos metales, los electrones de conducción realizan una transición de fase a un estado superconductor, en el cual las corrientes eléctricas pueden fluir sin disipación de energía. Este también es un estado cuántico macroscópico en el cual alguna fracción de todos los electrones se puede describir a través de una sola función de onda cuántica. Este comportamiento para una colección de partículas de Fermi fue entendido por primera vez por Bardeen, Cooper y Schrieffer en su teoría BCS, publicada en 1957, en la cual los electrones de conducción forman pares, llamados pares de Cooper, que se comportan como partículas de Bose.

Poco después de la publicación de la teoría BCS, los físicos comenzaron a preguntarse si otros fluidos de Fermi a bajas temperaturas también podían realizar una transición de fase del tipo BCS.

Sólo se conocían otros dos fluidos de Fermi que podían permanecer en un estado fluido a temperaturas suficientemente bajas: el ^3He líquido y la materia densa en las estrellas de neutrones. De este modo empezó una búsqueda de la superfluidez en el ^3He , la cual continuó casi hasta la mitad de los años 60. Los teóricos predecirían temperaturas de transición, los experimentalistas, a través de grandes esfuerzos, enfriarían el ^3He líquido por debajo de esta temperatura y no verían nada, y entonces los teóricos construirían una nueva teoría que predijera una temperatura de transición mucho menor. Por la época en que comencé mis estudios de postgrado en 1967, la mayor parte de la gente creía que una transición del tipo BCS en el ^3He líquido estaría por debajo de los 50 microkelvin, bastante por debajo del rango de temperatura accesible para su estudio.

Sin embargo, esto no hizo que los físicos de bajas temperaturas perdieran interés en el ^3He , dado que era claro que el sólido también poseía algunas propiedades bastante interesantes. Por ejemplo, los átomos en el sólido estaban sólo marginalmente localizados en los puntos de la red, y en el sólido de más baja densidad (en equilibrio con el líquido) estos átomos intercambiarían sitios de la red con sus vecinos hasta 40 millones de veces cada segundo. Para el silicio, un elemento más típico, esta tasa es menor que un intercambio en toda la edad del universo. Este intercambio de partículas lleva a una interacción efectiva espín-espín entre los átomos de ^3He que se están intercambiando, y se creyó que esto llevaría a que el espín nuclear se ordenara en un estado ferromagnético a una temperatura de alrededor de 0.002 K (2mK).

Fue esta transición de un ordenamiento de espines en el sólido lo que yo estaba buscando en 1971, como estudiante de postgrado con los Profesores David Lee y Robert Richardson, cuando por azar descubrí la existencia de una transición de fase en una mezcla de ^3He líquido y sólido a una temperatura de alrededor de 2.6 mK, donde no se esperaba ninguna transición. De hecho, lo que yo estaba haciendo en ese momento no era el experimento en el que se suponía que yo debería estar trabajando. Esta conferen-

cia describe estos eventos, y el período posterior de siete meses durante el cual lentamente comenzamos a aprender la verdadera naturaleza del nuevo estado de la materia que habíamos descubierto. Lo que habíamos encontrado eran tres nuevas fases superfluidas. Estos son los únicos estados BCS conocidos hasta la fecha, en los cuales los pares de Cooper son magnéticos, y todos ellos exhiben texturas del tipo cristal líquido en el cual las propiedades de los fluidos son diferentes en diferentes direcciones, y cambian suavemente con la distancia. Los estudios de estas fases han aumentado considerablemente nuestro entendimiento de los estados cuánticos macroscópicos, y han mostrado la amplia aplicabilidad de la teoría BCS. Actualmente, estos estados representan sistemas modelos para medir nuestra comprensión de aspectos de la naturaleza notablemente diversos.