

excitar el *nanotubo* con radiación infrarroja.

Al aplicar una diferencia de potencial al dispositivo mientras recibe radiación, se han podido separar los portadores de carga y estudiar cómo varía la corriente eléctrica con la frecuencia de la radiación incidente y la diferencia de potencial aplicada. Estos experimentos son continuación de los que fueron efectuados previamente, aplicando al *nanotubo* una diferencia de potencial acompañada de inyección de cargas positivas y negativas observando la emisión de luz que acompaña a la recombinación de portadores de carga.

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL COBRE NANOCRISTALINO

En su número de septiembre de 2003 la revista *Lettre des Sciences Chimiques* informa que investigadores del CNRS, pertenecientes al *Centre d'études du chimie métallurgique* (CECM) y del *Laboratoire d'ingénierie des matériaux et des hautes pressions* (LIMHP), han llevado a cabo ensayos de tracción, determinando cómo varía la deformación con la fuerza aplicada sobre muestras de cobre nanocrystalino, material cuyo tamaño de grano es muy inferior al de los materiales clásicos (un centenar de nanómetros frente a varias micras).

Se trata de los primeros ensayos de tracción en un material con grano tan fino (del orden de 80 nanómetros) llevados a cabo sobre probetas de tracción de dimensiones usuales (35 mm en la longitud y 3,5 mm de diámetro). El cobre utilizado se obtuvo mediante dos técnicas especiales: producción

masiva de polvo metálico ultrafino mediante evaporación-condensación criogénica y extrusión diferencial en frío.

Las propiedades mecánicas del cobre nanocrystalino son excepcionales, ya que es tres veces más resistente que el cobre ordinario, se deforma de forma homogénea sin encogimiento local y, asimismo, ha podido constatar por vez primera un comportamiento elasto-plástico prácticamente perfecto, a diferencia de lo que sucede en los materiales clásicos, cuya deformación es eminentemente heterogénea, aumentando con la fuerza aplicada y provocando fisuras previas a la rotura.

El comportamiento del cobre nanocrystalino podría explicarse por la gran difusión atómica y el pequeño tamaño de grano que permitirían activar los mecanismos de tipo superplástico a temperatura ambiente.

Manuel Criado Sancho

Dpto. de Ciencias y Técnicas Fisicoquímicas

SEMBLANZAS DE LOS PREMIOS NOBEL

Premio Nobel de Física 2003

El Premio Nobel de Física 2003 ha sido concedido a **Alexei A. Abrikosov**, **Vitaly L. Ginzburg** y **Anthony J. Leggett** "por sus contribuciones pioneras a la teoría de los superconductores y los superfluidos".

La superconductividad, es decir, la brusca desaparición de la resistencia eléctrica de un conductor por debajo de una temperatura crítica,

fue descubierta por Heike Kamerlingh Onnes en 1911; por ello recibió el Premio Nobel en 1913. La superfluidez, es decir, la desaparición de la viscosidad, fue descubierta en el ^4He por Pyotr Kapitsa en 1938; por ello recibió el Premio Nobel en 1978. Finalmente, la superfluidez en el ^3He fue descubierta por David Lee, Douglas Osheroff

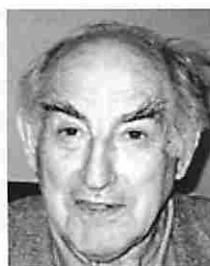
y Robert Richardson en 1972, y por ello recibieron el Premio Nobel de 1996. (Ver 100cias@uned, nº 0).

La superfluidez del ^4He fue explicada por Lev Landau. Landau se encontraba en la cárcel y Kapitsa intercedió por él cerca de Stalin con el argumento de que era la única persona que podría explicarlo, lo que elevaría el prestigio de la física de la URSS a los ojos del mundo. Dicho y hecho: Landau salió de la cárcel e hizo su teoría. Por ello recibió el Premio Nobel en 1962. De hecho, la obra de Landau está en el origen de los trabajos de los tres galardonados con el Premio Nobel de 2003, por lo que se ha podido afirmar que este premio era también un segundo Premio Nobel concedido póstumamente a Landau.

La superfluidez del ^4He es (o parece ser) un ejemplo de condensación de Bose-Einstein. Los núcleos del ^4He



Anthony J. Leggett



Vitaly L. Ginzburg



Alexei A. Abrikosov

están contruidos por 4 nucleones. Así, su espín total es entero y obedecen a la estadística de Bose-Einstein. Los bosones, como se les llama, tienden a agruparse en un mismo estado cuántico: cuanto mayor es la población de un estado, mayor es la probabilidad de que acoja a un nuevo bosón. Cerca del cero absoluto todos los bosones se acumulan en el estado fundamental, lo que significa que se mueven a la misma velocidad. Esto constituiría una condensación de Bose-Einstein perfecta, pero la repulsión electrostática entre los núcleos complica un poco las cosas.

Sin embargo, la situación es muy diferente en el caso de la superconductividad y la superfluidez del ^3He . En efecto, tanto los electrones como los núcleos de ^3He tienen espín semientero: son fermiones y obedecen al principio de exclusión de Pauli, según el cual no puede haber más de una partícula en un estado cuántico dado. Por lo tanto, los fermiones no pueden agruparse en un único estado y no pueden moverse con la misma velocidad. ¿Cómo explicar entonces los fenómenos?

La explicación microscópica completa de la superconductividad llegó en 1957 con la teoría BCS (de John Bardeen, Leon Cooper y Robert Schrieffer, quienes recibieron el Premio Nobel en 1972). La idea es que los electrones pueden emparejarse en los llamados pares de Cooper. Un par de fermiones es un bosón y por ello los pares de Cooper pueden agruparse en un mismo estado. El emparejamiento se debe a las vibraciones de la red cristalina del conductor. Un electrón libre que se mueve por la red provoca en ésta una deformación que deja una estela de carga positiva de los iones; un segundo electrón puede aprovechar esta estela para moverse con más facilidad, y queda así correlacionado con el primero.

Sin embargo, mucho antes de que apareciera esta explicación microscópica se habían propuesto teorías fenomenológicas que explicaban algunos aspectos del fenómeno. Por ejemplo, Fritz y Heinz London habían explicado el efecto Meissner, es decir, la expulsión del campo mag-

nético que atraviesa un conductor en el momento en que éste se hace superconductor. Recíprocamente, el superconductor deja de serlo bruscamente cuando se somete a un campo magnético de una intensidad por encima de un cierto valor crítico.

No obstante, las propiedades magnéticas eran más sutiles pues hay cierta penetración del campo cerca de la superficie. Estos comportamientos son los que se propuso explicar Ginzburg. Para ello se valió de la teoría de las transiciones de fase de segundo orden, de las que la magnetización espontánea es un ejemplo, que había propuesto Landau en 1937. En una transición de fase hay un paso de una fase menos ordenada a otra más ordenada: normalmente la fase más desordenada (con más simetrías) es estable por encima de la temperatura crítica, mientras que la fase más ordenada (menos simetrías) es estable por debajo de la temperatura crítica. (Una excepción aparente es precisamente la transición a la superfluidez en el ^3He (ver 100cias@uned nº 0). Esta reducción de la simetría es lo que se llama ruptura espontánea de la simetría. Landau propuso caracterizar las fases mediante un parámetro de orden. En una fase el parámetro de orden es cero mientras que en la otra tiene un valor no nulo. En el caso de una transición con cambio de simetría en una red cristalina el parámetro de orden puede construirse a partir de los coeficientes de la red; en el caso del ferromagnetismo, el parámetro de orden es la magnetización espontánea. Cerca de la temperatura de transición la energía libre podía desarrollarse en serie de potencias del parámetro de orden y la minimización de dicha energía libre daba la fase estable.

En el caso de la superconductividad, Landau y Ginzburg tomaron como parámetro de orden una función compleja $\psi(r)$ cuyo módulo daría la densidad de "electrones superconductores" (para entonces no existía la idea de pares de Cooper) en cada fase. Pero ahora había también una diferencia importante: en el caso de una transición de fase ordinaria había uniformidad espacial, mientras

que ahora el campo magnético podía variar de un lugar a otro. Por ello, en el desarrollo en serie de la densidad de energía libre debían aparecer no sólo las potencias del parámetro de orden sino también de sus derivadas. Finalmente, integrando sobre todo el espacio para calcular la energía total del sistema y minimizando ésta se llegaba a una ecuación muy similar formalmente a la ecuación de Schrödinger en presencia de un campo magnético pero con un término no lineal en $\psi(r)$. Los coeficientes de la ecuación dependían de dos parámetros que podían identificarse como la longitud de penetración λ y la longitud de coherencia ξ . Cuando el cociente entre estos parámetros λ/ξ estaba por debajo de un cierto valor crítico la energía de la interfase entre las fases conductora y superconductora era positiva. La minimización de la energía exigía disminuir la interfase. El campo magnético debía disminuir a medida que penetraba en el interior del conductor y se anulaba a una cierta distancia de la superficie dentro del mismo.

Sin embargo, existía un segundo tipo de superconductores que mostraban coexistencia de superconductividad y campo magnético. Para estos conductores existen dos valores críticos del campo magnético. Para valores pequeños del campo magnético externo, éste no puede penetrar en el conductor. Por encima de un primer valor crítico H_{c1} el campo puede penetrar en el conductor, hasta que al llegar a un segundo valor crítico H_{c2} , el estado superconductor desaparece. Abrikosov comprendió que para estos valores el cociente λ/ξ superaba un cierto valor y la energía de la interfase entre las fases conductoras y superconductoras era negativa. Por lo tanto, al sistema le interesaba aumentar la superficie entre ambas fases. Lo que ocurría entonces, descubrió Abrikosov, era que el campo magnético se concentraba en vórtices o filamentos que atravesaban el material: los "electrones superconductores" se movían entre estos vórtices. Abrikosov descubrió también que la minimización de la energía exigía que los vórtices se ordenaran en una red.

El caso de la superfluidez del ^3He introduce una complejidad adicional. Para empezar, ahora no hay red cristalina. Además, la fuerte repulsión electrostática entre los núcleos impide que los dos miembros de un par estén muy próximos. Por ello, el momento angular orbital del par no puede ser nulo sino que tiene que ser al menos un estado p con $l=1$. Esto significa que la función de onda espacial del par ya no tiene simetría esférica sino que existe una dirección privilegiada. Tenemos así un líquido anisótropo, algo similar a lo que sucede con los cristales líquidos. La función de onda espacial es entonces antisimétrica y, dado que la función de onda total del par también debe serlo (por tratarse de fermiones), la función de onda de espín debe ser simétrica, lo que corresponde a un estado triplete con $S=1$ y $S_z=-1, 0, +1$. Así, los tres estados del triplete pueden dar lugar a distintas fases dentro del helio superfluido.

Tenemos así dos vectores asociados a cada par y dos tipos de simetría distintos, una asociada al momento orbital y la otra asociada al espín. (En presencia de campo magnético existe una simetría gauge adicional). El parámetro de orden ya no es un simple escalar complejo. Leggett descubrió que en este caso el parámetro de orden era un tensor con 18 componentes. Ahora las simetrías pueden romperse de muchas maneras. La ruptura de simetría de espín, por ejemplo, puede favorecer a uno u otro de los estados del triplete, lo que da lugar a fases con distintas propiedades magnéticas y con distintas respuestas a los campos magnéticos externos. Precisamente esta variedad de fases y mecanismos de ruptura de simetría ha hecho que las transiciones en el ^3He sirvan de modelo para estudiar posibles transiciones de fase en el universo primitivo.

J. Javier García Sanz
Dpto. de Física Fundamental

Premios Nobel en Fisiología y Medicina 2003

PAUL LAUTERBUR Y PETER MANSFIELD. LA IMAGEN POR RESONANCIA MAGNÉTICA

La Imagen por Resonancia Magnética (IRM) es una de las técnicas de diagnóstico clínico más poderosas de la actualidad. Sus descubridores, el Profesor estadounidense **Paul Lauterbur** y el Profesor británico **Sir Peter Mansfield** han sido galardonados con el Premio Nobel en Fisiología y Medicina en el pasado año 2003.

El Profesor **Paul C. Lauterbur** nació el 6 de mayo de 1929 en Sidney, Ohio, Estados Unidos. En 1951, se licenció en Química en el Instituto Case de Tecnología de Cleveland. En 1962 presentó su Tesis Doctoral en Química en la Universidad de Pittsburg, Pennsylvania. Desde 1969 a 1985 ejerció su docencia como catedrático de Química y Radiología en la Universidad de Stony Brook en Nueva York. En 1985 se trasladó a la Facultad de Medicina de Chicago de la Universidad de Illinois, como Catedrático y Director del Laboratorio de Resonancia Magnética Biomédica, institución en la cual desarrolla su labor en la actualidad.

Sir Peter Mansfield nació en Gran Bretaña el 9 de octubre de

1933. En 1959 se licenció en Física en el Queen Mary College de la Universidad de Londres. En 1962 presentó su Tesis Doctoral en Física en la Universidad de Londres. Durante los años 1962 a 1964 se trasladó al Departamento de Física de la Universidad de Illinois para realizar investigación postdoctoral como Investigador Asociado. En 1964 consiguió una posición de Profesor Titular (Lecturer) en el Departamento de Físicas de la Universidad de Nottingham y en 1968 fue nombrado Profesor Agregado (Senior Lecturer). Durante los años 1972 a 1973 se trasladó como profesor visitante al Instituto Max Plank de Investigación Médica en Heidelberg, Alemania. En 1979 obtiene la Cátedra de Física en el Departamento de Físicas de la Universidad de Nottingham, en el cual desarrolla su labor en la actualidad.

Desde que en 1946 Felix Bloch y Edward Purcell, reconocidos con el Premio Nobel en Física en 1952, publicaron el descubrimiento de la Resonancia Magnética (RMN), esta técnica ha avanzado enormemente empleándose no sólo en los campos de Física y la Química, sino en multitud de disciplinas que pueden abarcar desde la Arqueología hasta la Medicina. De manera paralela al firme y gran avance de la espectroscopía de RMN, se desarrolló una nueva técnica de diagnóstico clínico, la imagen por Resonancia Magnética ó IRM. En este sentido, Paul



Figura 1. Profesor Paul C. Lauterbur (izquierda) y Sir Peter Mansfield (derecha), Premios Nobel en Fisiología y Medicina en 2003.