

David Lee, el Nobel '96 de Física en la FCEyN

Cuando la microfísica irrumpe en nuestro mundo

por Guillermo Mattei *

Mayo de 1997. Aula Magna del Pabellón I de la FCEyN. El doctor David Lee, premio Nobel de Física 1996, se dirige -después de las presentaciones de rigor- a la numerosa audiencia. Si bien su apariencia concuerda con la del científico de renombre, su actitud tiene una familiaridad capaz de diluir el halo que casi naturalmente se crea alrededor de un Nobel. Agradece con una referencia a la juventud de gran parte del público y de inmediato comienza a explicar las "Implicaciones de la investigación del superfluido en otras ramas de la ciencia".

La conferencia, organizada por la Universidad de Buenos Aires como conmemoración del 50º aniversario del otorgamiento del Premio Nobel a Bernardo Houssay, recreó aspectos "de uno de los hitos de la llamada Física de la Materia Condensada a bajísimas temperaturas", comenta la Doctora Susana Hemández, Profesora Titular del Departamento de Física de la FCEyN y directora de un grupo teórico que investiga en temas afines.

El Doctor Lee pertenece a la Universidad de Cornell y compartió el prestigioso reconocimiento con Douglas Osheroff de la Universidad de Stanford y con Robert Richardson, también de Cornell (todos de Estados Unidos). Los tres son físicos experimentales y descubrieron a principios de los 70 que, un isótopo poco abundante del helio -el helio-3- exhibe una propiedad llamada superfluidez a una temperatura de solo dos milésimas de grado sobre el cero absoluto (-273,15°).

Los líquidos superfluidos son análogos, en varios sentidos, a personajes un poco más familiares: los metales superconductores. A muy bajas temperaturas, ciertos metales no ofrecen resistencia al paso de la corriente eléctrica evitando, así, las pérdidas de energía por disipación. Indudablemente, si ningún artefacto eléctrico disipa calor al medio, el ahorro de energía sería fabuloso. De manera parecida, a muy bajas temperaturas, algunos líquidos se tornan superfluidos, es decir, sorpresivamente sus átomos pierden toda aleatoriedad y se

mueven coordinadamente. Esto provoca la ausencia de fricciones internas y hace que, por ejemplo, estos líquidos sean capaces de trepar espontáneamente por las paredes de los vasos que los contienen, atravesar agujeros muy pequeños y exhibir una serie de efectos no clásicos.

Los mecanismos que permiten la superfluidez del helio-3 confirman el hecho de que las leyes cuánticas de la microfísica irrumpen, a veces, en nuestro mundo clásico de los cuerpos macroscópicos.

Las partículas insociables

Históricamente, las concepciones de la Mecánica Clásica (el paradigma decimonónico de las ideas newtonianas) enfrentaron dos grandes revoluciones: la de la Mecánica Relativista y la de la Mecánica Cuántica. La Relatividad es capaz de describir el mundo de las altísimas velocidades cercanas a la de la luz y el de las grandes distribuciones de masas tales como galaxias y agujeros negros. La Cuántica, por su

parte, es la herramienta que permite estudiar el mundo de las estructuras elementales que conforman la materia: moléculas, átomos y partículas subatómicas.

En otros campos de la creación de conocimientos, revoluciones de esas magnitudes hubieran sido suficientes para sepultar enteramente al modelo superado. Pero lejos de pasar al olvido, la Mecánica Newtoniana sobrevivió como caso particular de cada una de las otras dos formulaciones más abarcativas en sus restricciones a nuestro mundo cotidiano (bajas velocidades, campos gravitatorios débiles y escalas macroscópicas).

Por ejemplo, los físicos pueden describir en forma clásica como, en un día frío de invierno, el vapor de agua se transforma en agua líquida o cómo ésta lo hace en hielo. A medida que la temperatura baja, cesan los movimientos desordenados en gases, líquidos y sólidos y se producen los cambios de estado llamados transiciones de fase. Pero a temperaturas inimaginadas para nuestra vida diaria, como las cercanas al cero absoluto, sólo la elaboración de una avanzada forma de Física Cuántica permite explicar la superfluididad del helio líquido.

El helio, un gas inerte presente en una proporción pequeña en el aire que respiramos, existe en la naturaleza en dos formas o isótopos. Por un lado, el abundante helio-4, formado por cuatro nucleones (dos protones y dos neutrones), por otro, el raro helio-3 con tres nucleones (dos protones y un neutrón). Para equilibrar las cargas, los núcleos de los átomos correspondientes están envueltos por una zona habitada por dos electrones. Si bien la diferencia entre ambos helios parece sutil (solo una partícula), la Mecánica Cuántica enseña que es suficiente para que pertenezcan a dos familias de características muy diferentes.

En el mundo cuántico hay esencialmente dos tipos de partículas: los fermiones y los bosones. Los sistemas de

fermiones están caracterizados por un número impar de partículas muy insociables: cada una no puede compartir un mismo estado energético con otra. Contrariamente, en los sistemas bosónicos cada integrante no tiene problemas en ocupar un mismo estado. Es más, a muy bajas temperaturas, los bosones pueden condensarse o hacer una transición de fase al estado cuántico de mínima energía.

En la anterior clasificación, el helio-4 es un sistema bosónico. En 1930, los investigadores experimentales de bajas temperaturas lograron condensarlo en una fase líquida superfluida a sólo dos grados sobre el cero absoluto. Si bien el helio-3 también podía licuarse a muy bajas temperaturas, en principio, siendo un sistema fermiónico no tenía por qué exhibir fases superfluidas.

Sin embargo, hay sistemas fermiónicos que sí condensan, pero de una manera más complicada. A mediados de siglo pudo demostrarse que, en el caso de los metales superconductores y bajo ciertas condiciones, dos electrones (cada uno es un fermión) podían aparearse para formar un sistema bosónico y también condensar.

De modo que, sabiendo que el helio-4 condensaba a una fase superfluida y que los electrones apareados en un superconductor formaban una cuasipartícula bosónica capaz de condensar, entonces el helio-3 también debía poder hacerlo. "A principios de los 60, los teóricos predijeron la estructura de las fases superfluidas del helio-3 esperando una transición que tendría lugar por debajo de la décima de grado kelvin", explica la doctora Hernández y agrega que, recién en 1972, cuando las condiciones experimentales permitieron enfriar helio-3 líquido a pocas milésimas de grado kelvin, Lee y su equipo lograron confirmar la teoría. "El descubrimiento de la superfluididad del helio-3 es un claro ejemplo en el cual la teoría se anticipa al experimento", concluye la especialista.

El descubrimiento

En realidad, el grupo de investigación del doctor Lee estaba buscando otras propiedades del helio-3 sólido que se suponía debían aparecer a una temperatura de alrededor de dos milésimas de grado kelvin. Fue el ojo atento del estudiante de doctorado Osheroff el que había notado ciertas anomalías en la regularidad esperada en esas mediciones y que, claramente, no podía atribuir las al instrumental. Finalmente, los tres miembros del equipo concluyeron que era un efecto real.

Sin embargo, la interpretación no encajaba con los resultados experimentales, por lo que el grupo de Lee, y otros más, realizaron nuevas pruebas. En esta etapa, Lee, Osheroff y Richardson se distinguieron por la aplicación de técnicas de resonancia magnética nuclear (RMN) para caracterizar ciertas propiedades magnéticas de las nuevas fases superfluidas encontradas. Este hecho, como en innumerables casos de la historia de la ciencia donde algunos aspectos de investigaciones muy básicas son capaces de revolucionar implementaciones tecnológicas, influyó en la posterior aplicación de la técnica RMN al diagnóstico en clínica médica.

El físico teórico Anthony Leggett, quien en las semanas posteriores al hallazgo logró explicar en detalle todas las características del mecanismo físico involucrado, aseguró: "el helio-3 superfluido es el sistema más sofisticado de la materia condensada del cual podemos presumir un conocimiento cuantitativo".

El descubrimiento de Lee, Richardson y Osheroff fue un punto de inflexión para toda la investigación posterior en el área. Los desarrollos teóricos y experimentales posteriores proliferaron en una complementariedad inusual y, aún hoy en día, siguen apareciendo descubrimientos fundamentales.

MANO A MANO CON UN NOBEL



Dr. David Lee

¿Qué clase de apoyo económico han recibido sus investigaciones?

El financiamiento que recibimos proviene de fondos públicos, salvo algunas becas a estudiantes graduados otorgadas por grandes empresas. Aproximadamente, el monto asciende a ciento cincuenta mil dólares por año, lo cual no es demasiado pues incluye los salarios de dos o tres estudiantes graduados y el mío propio. Yo diría que los subsidios no son extremadamente generosos sino simplemente adecuados.

Considerando que la materia condensada permite entender los complejos fenómenos emergentes debido a los constituyentes elementales de la materia (sin la necesidad de avanzar en la completa dilucidación de la naturaleza de éstos); que tradicionalmente la Física ha perseguido el reduccionismo, la simplicidad y la unificación; y que existe un tope de energías manipulables por el hombre para poder seguir contrastando los modelos con los experimentos, ¿obliga la materia condensada a cambiar el paradigma de la Física?

Más bien la Mecánica Cuántica es la que nos permite entender los fenómenos, o mejor dicho, las grandes computadoras que hacen los cálculos cuánticos. La palabra adecuada sería predecirlos antes que entenderlos. En todo caso, seguimos entendiendo las cosas en el mismo sentido en que lo hacemos en Mecánica Cuántica: interpretando funciones de ondas. Por ejemplo, vemos que la superfluididad es al-

go similar a una gran función de onda macroscópica llamada parámetro de orden. En suma, entender sería equivalente a modelizar los sistemas, muchas veces con la ayuda de las computadoras, y a ver cómo se relacionan con lo que sabemos respecto a otros sistemas. En cuanto al paradigma de la Física, opino que la unidad de la Física está a salvo. Alguno de los fenómenos de partículas elementales o del universo temprano pueden correlacionarse con los que observamos en materia condensada. Por ejemplo, en palabras más técnicas, podemos relacionar bastante bien el parámetro de orden del universo con el del helio-3 superfluido. Esto nos permite contar con un modelo del universo temprano, no todo lo preciso que se desearía pero uno de los únicos disponibles, respecto del cual la materia condensada provee muchas pistas. Hay un solapamiento entre "fenómenos emergentes" y cosas que ocurrieron hace mucho tiempo en la formación del universo. Por lo que pienso que no estamos totalmente desconectados. Hay una unidad en la Física en la que yo prefiero confiar.

Recientemente el físico estadounidense Alan Sokal envió un pseudopaper a una prestigiosa revista de humanidades con el objetivo de demostrar la inconsistencia de algunos métodos de las ciencias sociales. ¿Cuál es su opinión al respecto?

Me he enterado del tema solo tangencialmente, pero permítanme decirlo de esta manera: ¡yo hubiera temido por mí mismo de haber hecho algo semejante! Está visto que Sokal no. No me gusta burlarme de otros profesionales y, aunque no estoy de acuerdo con muchas de las cosas que los científicos sociales hacen o dicen, nunca hubiera procedido con esos métodos. De todas maneras, quiero aclarar que concuerdo con lo que Sokal piensa. Lo conozco y sé que es un individuo muy inteligente pero, en lo personal, encuentro difícil justificarlo.

¿Los científicos deben comprometerse en popularizar el conocimiento que crean o ésta es una actividad reservada a divulgadores especializados?

Ambas cosas a la vez. De hecho, nosotros tenemos muy buenos científicos-divulgadores al estilo de Carl Sagan, cuyo prematuro fallecimiento ha significado una gran pérdida, pero también hay popularizadores no científicos de la ciencia que cumplen un muy buen rol di-

vulgador. De todas maneras, los científicos debemos ser los transmisores de los resultados más atractivos para el público, que ciertamente son muchos. En mi caso particular, no digo que lo he asumido como una obligación, pero traté de hacer divulgación siempre que tuve la oportunidad; por ejemplo, en la revista **Scientific American**. Para ser justos, también hay que marcar ciertas dificultades en la divulgación: a veces algunas publicaciones tienden a sobreeditar, simplificar y hasta desnaturalizar los resultados que el científico pretende difundir.

¿Alguna vez temió o pensó que sus descubrimientos pudieran ser usados para fines bélicos o reñidos con la ética, aunque sea la personal?

La ética personal es un tema delicado pero, en cuanto a la científica, pienso que una manera de ser éticos es siendo lo más honestos y rectos posible, por ejemplo, abriendo las puertas de los laboratorios a la mirada externa. En nuestro caso, cualquiera puede visitarnos, ver qué hacemos y no va a encontrar secretos. De todas maneras, nuestras investigaciones están lo suficientemente alejadas de implementaciones tecnológicas como para enfrentarnos con problemas éticos como los del genoma humano o de la donación. Temas como esos requieren muchas decisiones morales que los científicos no pueden adoptar por sí solos sino con la participación de toda la sociedad. Por ejemplo, hay diversos actores sociales que se supone ayudan a construir la ética en las sociedades. En este sentido, los científicos también deben contribuir con su parte. Recuerdo el fin de la Segunda Guerra cuando las

armas nucleares empezaban a desarrollarse y el común de la gente no lo sabía. Esta clase de armas marcaron el comienzo de tiempos difíciles en los que los países debían controlarse mutuamente, paradójicamente, construyéndolas y distribuyéndolas por todo el globo. Por ejemplo, fue muy traumático habernos dado cuenta lo cerca que estuvimos de la guerra nuclear durante la llamada crisis cubana de los misiles. Nosotros no teníamos control sobre los misiles y tampoco pudimos hacer un buen trabajo para contribuir a su desactivación. Por esto pienso que es muy importante que tengamos una ética en ciencia, por ejemplo, capaz de evitar el desarrollo de armamentos. Sería muy útil que organizaciones locales e internacionales de científicos involucren a la propia comunidad en la conciencia de peligros potenciales y en la forma de ejercer controles efectivos.

¿Cuál es su opinión respecto a la cancelación del complejo experimental estadounidense del Supercolisionador Superconductor, con el cual se esperaba encontrar propiedades fundamentales de la materia?

Fue un gran malentendido entre el gobierno y los físicos de partículas que administraban el proyecto: ambos cometieron serios errores. Es muy desafortunado que esto haya pasado pues el hallazgo de los llamados bosones de Higgs será muy importante y dará lugar a otros descubrimientos que ahora ni siquiera podemos imaginar. La única chance que tenemos en este tema depende de lo que actualmente se pueda investigar en Europa con el Gran Acelerador de Hadrones.

Investigaciones actuales y aplicaciones del helio-3 superfluido

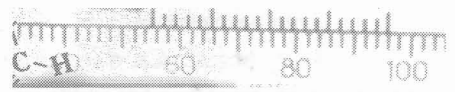
Probablemente, el experimento más convincente para testear la coherencia de un superfluido sea el que muestra la aparición de unos remolinos microscópicos llamados vórtices cuantizados, que aparecen cuando se hace rotar un superfluido más allá de una velocidad cuántica. En el helio-3, estos vórtices adoptan complicadas estructuras en ocho formas diferentes.

Recientemente, dos grupos experimentales (uno en Francia y otro en Finlandia) han usado la transición de fase del helio-3 en un intento por simular la forma-

ción de las llamadas cuerdas cósmicas en el universo temprano. Los cosmólogos suponen que, estos hipotéticos hilos de la materia original del big-bang, se formaron como resultado de rápidas transformaciones de fase en los primeros instantes de nuestro universo. La importancia de las cuerdas cósmicas reside en su presunta responsabilidad en una de las asignaturas pendientes de la astrofísica: la formación de estructuras localizadas tales como las galaxias. Sorprendentemente, la aplicación de las teorías cosmológicas -que predicen transiciones de fase al caso del helio-3-, pasa la prueba de la formación de los vórtices que, por así decirlo, serían los análogos experimentales a las cuerdas cósmicas.

Entre otras aplicaciones específicas, las nuevas fases del helio-3 sirven además para definir escalas de temperaturas en rangos bajísimos.

Finalmente, gran parte de las ideas que la superfluididad del helio-3 ha enseñado, siguen motivando el avance en el entendimiento de la superconductividad a altas temperaturas. Esto es muy promisorio, pues el control de nuevos materiales superconductores tendrá consecuencias tecnológicas inimaginadas en el futuro. **□**



* Docente Auxiliar del Dpto. de Física - FCEyN