

Nobel de Física

Condensado de Bose-Einstein

El premio Nobel de Física de este año se ha concedido a Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle y Carl E. Wieman, “por haber conseguido la condensación de Bose-Einstein en gases diluidos de átomos alcalinos y por estudios fundamentales preliminares de las propiedades de los condensados”. ¿Cuál es la importancia y alcance de este descubrimiento?

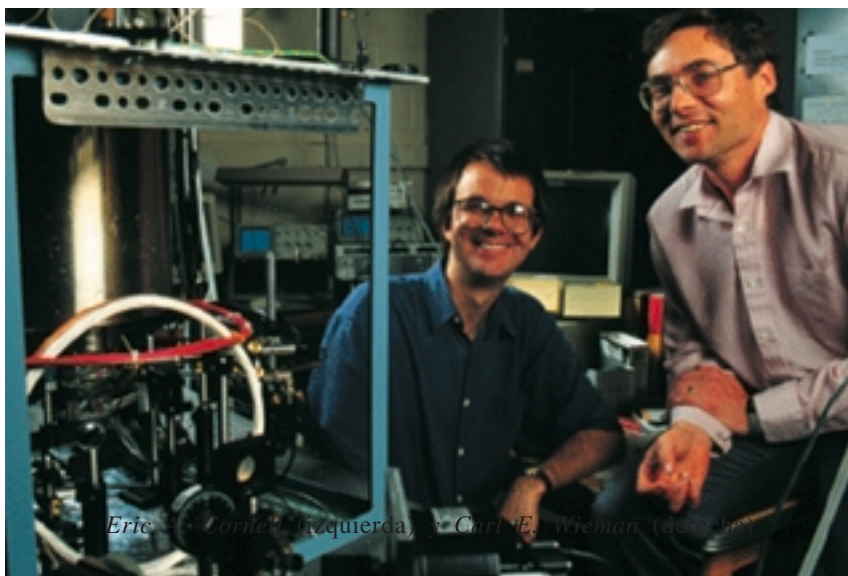
A principios del siglo XX se halló que el comportamiento de la materia a escalas muy pequeñas no se ajustaba a las leyes tradicionales de la física. Así, cuando se mira lo que pasa a distancias de la milésima parte de la milésima parte de un milímetro, se observan cosas que desafían no ya las leyes de la física newtoniana, sino incluso el sentido común. Podemos encontrar partículas que se comportan como ondas, ondas que se comportan como partículas, partículas que son capaces de pasar a la vez por dos agujeros distintos

y distantes, o que pueden desaparecer de un sitio para aparecer en otro punto distante (teletransportación), etc. Las leyes que describen el comportamiento de la materia a tales distancias pertenecen a la mecánica cuántica. Parafraseando a Richard Feynmann, “la mecánica cuántica se aprende, pero no se comprende”.

El que la mecánica cuántica sea aplicable a escalas pequeñas no quiere decir que no tenga repercusiones en el mundo que nos rodea. No estoy hablando solamente de cuestiones técnicas tales como los láseres o los microprocesadores, cuyo descubrimiento y desarrollo le debe mucho a la capacidad de predicción que hemos desarrollado utilizando las leyes de la mecánica cuántica, sino a cuestiones más mundanas; por ejemplo, ¿por qué las cosas tienen el color que tienen?, ¿por qué al tocar un trozo de madera y uno de metal a la misma temperatura, el metal me parece más frío?, ¿por qué la aguja de una brújula está hecha de hierro y no funcionaría si fuera de aluminio? Son preguntas cuya respuesta última se basa en las leyes de la mecánica cuántica.

Una de las predicciones de la mecánica cuántica es que todas las partículas microscópicas del universo, todos los átomos, todos los electrones, todos los protones, se agrupan en dos grandes familias a las que se les ha dado el nombre de bosones y fermiones en honor de sus descubridores, Satyendra Bose y Enrico Fermi. ¿Cómo se distinguen los bosones de los fermiones? Hay propiedades de la partícula individual que permiten saber si estamos frente a un bosón o a un fermión, pero la diferencia más notable está en su comportamiento colectivo, cuando hay muchos de ellos juntos. Simplificando: a los fermiones no les gusta ser iguales, mientras que a los bosones les encanta actuar de la misma manera.

Para entender este comportamiento de bosones y fermiones, permítaseme una comparación algo frívola. Como todas las comparaciones es incompleta y parcialmente inexacta, pero puede ayudarnos a entender lo que ocurre. Imagínense que hay un grupo de personas que asisten a un concierto en un auditorio. El solista interpreta una partitura para violín de Bach y a todos les gustaría estar lo más cerca posible del intérprete. Antes de empezar el concierto, todo el mundo tiene muchas ganas de hablar, moverse por el bar y pocas personas están sentadas. A medida que se aproxima el momento del concierto, la gente va perdiendo su energía, bajan el nivel de la voz y se acomodan en los asientos. Como todos se quieren sentar tan cerca como sea posible del solista (y las entradas no están numeradas), el primero en llegar se sienta en la silla más cercana, el segundo en la siguiente silla más cercana, y así sucesivamente. Este comportamiento humano es típico de los fermiones. Los bosones, por otra parte, se comportan de una manera más peculiar. Cuando el segundo ve que la silla favorita ya está ocupada, no se conforma y en vez de



Eric A. Cornell (izquierda) y Carl E. Wieman (derecha).

irse a la siguiente silla, se acomoda en la silla favorita, encima de la persona que ya la ocupa. Una situación que a los bosones parece no importarles. De hecho, el tercero también se sienta en la misma silla, hasta que llega un momento en que una fracción muy elevada de los bosones se encuentran en esa silla favorita. En mecánica cuántica, las sillas son los estados cuánticos y la más cercana al intérprete, el estado fundamental. En breve, al disminuir su energía, los bosones tienden a ocupar el estado cuántico fundamental.

Lo más sorprendente es que, cuando los bosones ocupan el estado fundamental, se comportan todos de la misma manera. Es como si todo el auditorio que se ha sentado en la misma silla, la más cercana al intérprete, abriera y cerrara los ojos al mismo tiempo, tosieran todos al unísono y aplaudieran con una simultaneidad perfecta. En términos mecánico-cuánticos, los bosones han experimentado un cambio de estado para formar un condensado. Pues bien, este condensado de bosones es lo que han encontrado los investigadores, justos merecedores del premio Nobel de este año.

Cornell y Wieman lograron en 1995 formar condensados de unos dos mil átomos de rubidio. Pocos meses más tarde, Wolfgang Ketterle, formó condensados mucho mayores, con centenares de miles de átomos de sodio.

¿Por qué este descubrimiento merece el premio Nobel? Al fin y al cabo la existencia teórica de bosones y las características de su conducta peculiar se conocían desde 1924, año en que Bose y Albert Einstein hicieron los cálculos pertinentes utilizando las entonces nacientes leyes de la mecánica cuántica. El mérito de los investigadores galardonados consiste precisamente en que han obtenido en el laboratorio lo que había sido predicho en el papel y que nadie había conseguido todavía en los setenta años desde su predicción. ¿Y dónde radicaba la dificultad? En el ejemplo del concierto, la condensación sólo se produce cuando el movimiento, la energía, de las personas ha disminuido lo suficiente y

se disponen a acomodarse para escuchar. De la misma manera, para conseguir un condensado hay que quitarles energía a los bosones. La energía se reduce enfriando a bajas temperaturas. Las temperaturas necesarias para conseguir el condensado de Bose en los átomos de rubidio y sodio mencionados son tan bajas, que sólo se alcanzan mediante técnicas de enfriamiento muy depuradas, utilizando, entre otras cosas, haces de luz láser para detener el movimiento de los bosones.

Las técnicas de enfriamiento necesarias fueron desarrolladas por S. Chu, C. Cohen-Tannoudji y W. D. Phillips a quienes les otorgaron el premio Nobel de física en el año 1997. Las temperaturas requeridas son de una milésima parte de una milésima parte de un grado centígrado por encima de la temperatura más baja posible, el cero absoluto de temperatura. Ni siquiera en el espacio interestelar tenemos unas temperaturas tan pequeñas.

Existen otras manifestaciones indirectas de la condensación de bosones que son apreciables a temperaturas bajas, pero no tanto, digamos a unas pocas decenas de grados por encima del cero absoluto. La superconductividad, o cese completo de la resistencia al paso de una corriente eléctrica tiene también su origen en un fenómeno de condensación de bosones. Sin embargo, en este sistema el fenómeno puro de la condensación de bosones aparece modificado por la presencia simultánea de otros efectos que desfiguran las propiedades esperadas de un condensado "puro" como el que han encontrado los galardonados.

El descubrimiento del condensado de bosones representó una auténtica revolución en la comunidad científica. El encontrar una nueva manera de existir de la materia abre las puertas para buscar nuevos comportamientos todavía insospechados. Es muy pronto para hablar de aplicaciones, pero tenemos motivos para creer que el condensado de bosones puede representar una revolución tal y como lo fue el láser en su tiempo. Al fin y al cabo, un láser tiene la uti-

lidad que tiene porque las partículas de luz que lo componen actúan mayoritariamente de manera coordinada, lo que da a la luz láser su potencia y precisión. Un condensado de bosones podría comportarse como un láser atómico, como un grupo de átomos que actuarían como si fuesen uno solo. Eso podría incrementar de manera espectacular la precisión de algunas operaciones tales como medidas de alta precisión, nanotécnica o litografía. Imagínense la precisión que podría alcanzarse en el diseño de microprocesadores si empleáramos como lápiz un chorro de partículas que forman un condensado de bosones, con una potencia suficiente para dibujar el circuito impreso requerido y con una finura extrema en el trazado de las líneas. Estamos en el comienzo de una nueva técnica y sólo podemos empezar a intuir sus aplicaciones.

RAÚL TORAL
Catedrático de Física
de la Materia Condensada
Instituto Mediterráneo
de Estudios Avanzados
(UIB-CSIC)