



Projeto Temático FAPESP, conduzido na Unesp, desenvolve modelo teórico para explicar resultados de pesquisas experimentais sobre condensado de Bose-Einstein, que permite estudar fenômenos quânticos em escala visível

## Especiais

20/07/2010

**Por Fábio de Castro**

**Agência FAPESP** – Até meados da década passada os fenômenos quânticos só podiam ser estudados na teoria, pois não era possível visualizar os componentes de sistemas atômicos em escala tão pequena. Essa limitação só começou a ser superada quando foi descoberto o condensado de Bose-Einstein – uma fase da matéria formada por átomos em temperaturas próximas do zero absoluto, que permite a observação de efeitos quânticos em escala macroscópica.

O estudo do condensado de Bose-Einstein se tornou fundamental para desvendar os enigmas do mundo quântico. Um Projeto Temático financiado pela FAPESP está contribuindo para esse avanço do conhecimento ao desenvolver modelos teóricos capazes de explicar fenômenos observados a partir de experimentos realizados com o condensado.

Coordenado por Sadhan Adhikari, professor do Instituto de Física Teórica da Universidade Estadual Paulista (Unesp), o projeto “Estudo de Condensação de Bose-Einstein usando a teoria de campo médio” foi iniciado em 2006.

Segundo Adhikari, entre os diversos resultados obtidos até agora, um dos mais significativos está relacionado ao fenômeno conhecido como localização de Anderson em condensados de Bose-Einstein. Três artigos sobre o tema foram publicados na revista *Physical Review A* em 2009 e 2010 pelo grupo de Adhikari.

Os trabalhos tiveram base em dois artigos publicados por grupos europeus em 2008 na revista *Nature*, os quais descreviam experimentos que utilizaram lasers polarizados para estudar a localização de Anderson em condensados de Bose-Einstein.

“Nós estudamos e explicamos em modelos teóricos os resultados desses experimentos. Os estudos sobre o condensado de Bose-Einstein são muito interessantes, porque permitem observar processos quânticos que, tempos atrás, estavam na imaginação dos teóricos. Agora que podemos verificar em laboratório as previsões teóricas, precisamos voltar à teoria para explicar de forma precisa o que foi observado”, disse Adhikari à **Agência FAPESP**.

A existência do condensado de Bose-Einstein foi prevista por Albert Einstein em 1925, a partir do trabalho de Satyendra Nath Bose, como consequência teórica da mecânica quântica. Setenta anos depois, em 1995, na Universidade do Colorado (Estados Unidos), Eric Cornell e Carl Wieman produziram pela primeira vez o condensado – recebendo, por conta disso, o Prêmio Nobel da Física em 2001.

O físico norte-americano Philip Warren Anderson, nascido em 1923, estudou profundamente as propriedades dos sólidos e os problemas da física da matéria condensada. Quando trabalhava nos Laboratórios Bell Labs, há cerca de 50 anos, Anderson descobriu o conceito de localização – a ideia de que estados expandidos podem ser localizados pela presença da desordem em um

sistema.

Em 1977, Anderson ganhou o Nobel da Física por pesquisas sobre a estrutura eletrônica de sistemas magnéticos e desordenados, que permitiram o desenvolvimento de componentes de memória em computadores.

A condensação de bósons, ou de pares de férmions pela generalização apropriada, é um efeito frágil que pode ser facilmente superado por outras instabilidades. Dentre seus principais competidores estão a cristalização, a dissociação no caso de bósons compostos, e a desordem e localização.

“Anderson sugeriu que é possível transformar um sólido condutor em semicondutor – isto é, em um sólido que não permite que os elétrons carregados se movam por ele – com a introdução de uma pequena porcentagem de impurezas. Anderson estudou esses mecanismos e percebeu que os elétrons se movem em paralelo a uma rede de átomos localizada na superfície do sólido”, disse Adhikari.

Com isso, Anderson percebeu que os átomos do sólido têm um potencial que, muito ordenado quando o sólido é puro, repete-se periodicamente. “Mas, quando colocamos impurezas no sólido, esse potencial periódico é quebrado. Quando o elétron encontra essa desordem, ele não consegue continuar seu trajeto e o sólido perde a condutividade. Anderson descobriu a formação de um estado ligado do elétron na superfície sólida”, explicou Adhikari.

### **Tamanho e natureza**

A ausência da difusão de ondas em um meio desordenado passou a ser conhecida como “localização de Anderson”. O fenômeno sugere a possibilidade de localização de elétrons dentro de um semicondutor, desde que o grau de aleatoriedade das impurezas ou defeitos seja suficientemente alto.

Os movimentos dos elétrons, no entanto, não podem ser observados, já que as minúsculas partículas obedecem às leis da mecânica quântica. Só a partir de 1995 o condensado de Bose-Einstein abriu a perspectiva para estudos experimentais desses fenômenos. Em 2008, os dois estudos europeus descreveram experimentos feitos com o condensado sobre o fenômeno da localização de Anderson.

“No laboratório, os cientistas criaram uma rede potencial com o uso de lasers polarizados que, refletidos entre dois espelhos, geravam uma onda estacionária. Ao longo dessa onda aparece um campo magnético que varia enquanto se propaga, mas que possui um comportamento periódico, com um potencial encontrado pelos elétrons dentro do sólido. Em vez do elétron, os pesquisadores colocam o condensado de Bose-Einstein nesse potencial para tentar localizá-lo”, disse Adhikari.

Se o potencial for suficientemente forte, o condensado é localizado. Se for fraco demais, o condensado desaparece. “Eles criaram um potencial sem periodicidade, aleatório e perceberam que o condensado fica estagnado. Com isso, deram uma prova experimental do efeito de Anderson”, disse.

Adhikari utilizou equações de Schroedinger para estudar e explicar os resultados das experiências em modelos teóricos. Além de verificar se as observações estavam corretas e se o condensado de Bose-Einstein de fato se tornava localizado, os estudos avaliaram o tamanho e a natureza da localização, definindo como ela varia ou qual sua interferência na interação potencial entre os átomos do condensado.

“A partir desse estudo, previmos também a localização do condensado de Bose-Einstein em outros casos, como o dos átomos dipolares. Condensados simples envolvem átomos comuns com potencial de curto alcance entre eles. Mas com os átomos com momento elétrico dipolar – que estão sendo muito utilizados para gerar condensados – podemos ter um potencial de longo

alcance”, disse.

Os artigos [\*\*Localization of a Bose-Einstein condensate vortex in a bichromatic optical lattice\*\*](#), de Sadhan Adhikari, [\*\*Symmetry breaking in a localized interacting binary BEC in a bichromatic optical lattice\*\*](#), de Adhikari e Yongshan Cheng, e [\*\*Localization of a Bose-Einstein condensate in a bichromatic optical lattice\*\*](#), de Adhikari e Luca Salasnich, podem ser lidos por assinantes da *Physical Review A*.