

# Efeitos da turbulência quântica

Perturbação introduzida em nuvem de átomos frios de rubídio produz fenômeno ondulatório similar ao da luz

Victória Flório

Quando submetidos a condições específicas que caracterizam os sistemas quânticos, os mesmos átomos que formam uma folha de papel, os seres vivos e as estrelas deixam de se comportar como partículas e passam a manifestar seu caráter de onda. Nesse estado, a matéria apresenta efeitos que violam a intuição clássica e os átomos podem atravessar barreiras antes intransponíveis. Em experimentos recentes, uma equipe coordenada por pesquisadores do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC-USP) constatou que uma nuvem de átomos do elemento químico rubídio, mantida super-resfriada e confinada, preserva aspectos de seu comportamento ondulatório mesmo depois de ter sido perturbada pela geração de vórtices e evoluir para uma condição de turbulência quântica. Amostras de átomos nessas condições são bem conhecidas e estudadas, mas não se sabia qual seria o resultado da introdução de uma grande desordem nesse tipo de sistema.

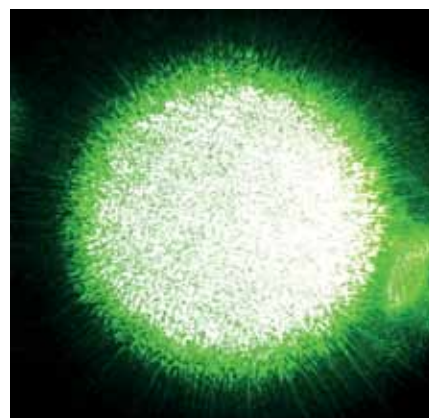
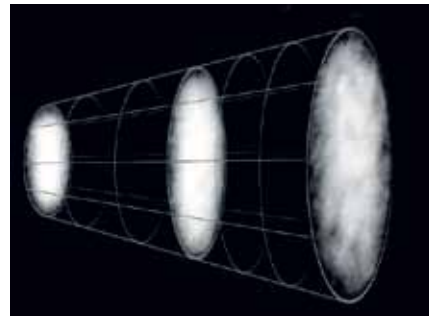
Os pesquisadores descrevem, em artigo publicado em outubro na revista *PNAS*, que, à medida que a nuvem se expande, surge um padrão granular, o *speckle*, característico da interferência de ondas, como a que ocorre quando a luz laser é projetada em um anteparo. Na amostra de átomos resfriados de rubídio, o *speckle* apresenta a forma de manchas em três dimensões. No caso do laser projetado no anteparo, ele é bidimensional. “Essa foi a primeira vez que se obser-

Sequência de manchas tridimensionais gerada por turbulência quântica em condensado de Bose-Einstein (*alto*) se assemelha a efeito do laser sobre um anteparo

vou *speckles* tridimensionais”, explica o físico Vanderlei Bagnato, do IFSC, um dos autores do artigo e coordenador do Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica (CePOF), um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) da FAPESP.

O grupo da USP estuda um superfluido aprisionado, o condensado de Bose-Einstein, formado por uma nuvem de centenas de milhares de átomos de rubídio presa em uma armadilha magnética. Nesse sistema, os efeitos quânticos começam a aparecer quando ele é resfriado a temperaturas da ordem de 1 milionésimo de grau acima do chamado zero absoluto, zero Kelvin, ou 273,15 graus Celsius negativos. Nessa condição, o conjunto de átomos perde toda a viscosidade e se torna superfluido, um dos estados da matéria. Para introduzir a turbulência quântica na nuvem, os físicos aplicam um campo magnético para induzir a formação de vórtices. Em seguida, desligam a armadilha e registram a expansão do condensado. É nesse momento de instabilidade que surge o *speckle*.

A equipe de São Carlos foi uma das pioneiras em introduzir turbulência no con-



densado de Bose-Einstein. Em parceria com colegas da Universidade de Florença, na Itália, os pesquisadores paulistas mostraram em 2009 que o condensado é um meio mais simples para estudar turbulência em superfluidos do que o hélio líquido, usado normalmente. O novo trabalho amplia as possibilidades de estudo do comportamento dos *speckles* tridimensionais e da turbulência quântica. “Essa é uma situação nova em física, que poderá revelar efeitos ainda não investigados”, conta Pedro Ernesto Tavares, primeiro autor do artigo da *PNAS*. O padrão granular de manchas bidimensionais gerado por laser hoje é amplamente empregado para caracterizar superfícies de materiais. ■

## Projeto

CePOF-Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica (nº 13/07276-1); Modalidade Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid); Pesquisador responsável Vanderlei Salvador Bagnato (USP); Investimento R\$ 28.014.802,21 (para todo o projeto).

## Artigo científico

TAVARES, P. E. S. *et al.* Matter wave speckle observed in an out-of-equilibrium quantum fluid. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. v. 114 (8), p. 12691-95. 2017.