

Energia de ponto zero

Feito publicado na *Nature* só havia sido alcançado em sistemas de armadilhas ópticas

CARMO GALLO NETTO
carmo@retoria.unicamp.br

O professor Thiago Alegre, do Departamento de Física Aplicada do Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW) da Unicamp, integrou equipe que, pela primeira vez, conseguiu resfriar o modo mecânico de um nano-objeto, uma microcavidade composta por milhões de átomos. Utilizando luz laser o grupo conseguiu que a temperatura do modo mecânico ficasse próxima do zero absoluto (zero graus kelvin), levando-o ao seu estado de mais baixa energia atingível, a chamada energia de ponto zero (*ground state*), em que não ocorrem mais vibrações das partículas. O feito só fora alcançado anteriormente em sistemas de armadilhas ópticas envolvendo poucos átomos. A conquista abre caminho para o desenvolvimento de detectores de massa e força extremamente sensíveis, bem como para o desenvolvimento de experimentos quânticos em sistemas macroscópicos com bilhões de átomos, sonho dos cientistas há quase uma década.

O grupo de pesquisadores responsáveis pelo estudo pertence ao Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech) e contou com a colaboração de uma equipe da Universidade de Viena. Os resultados mereceram quatro páginas na edição de outubro da revista científica *Nature* e mais de uma página na seção *News&Views* da mesma edição, o que atesta sua relevância. Nessa apresentação o autor, Florian Marquardt, elenca os pontos principais do trabalho, destaca sua importância, estabelece comparações com pesquisas anteriores e antevê possíveis desdobramentos. O Caltech ocupa o primeiro lugar entre as melhores universidades do mundo, conforme ranking publicado em outubro pelo Times Higher Education (THE), superando instituições tradicionais como Harvard, Instituto de Tecnologia de Massachussets (MIT), Cambridge e Oxford.

Tornar-se aluno desse seletor e conceituado Instituto – que não chega a ter mais de mil alunos matriculados na graduação e cerca de 1.200 na pós-graduação – constitui um feito para qualquer estudante. Particularmente para os oriundos do Brasil, pois são pouquíssimos os brasileiros que nele ingressam, caso de Thiago Alegre que lá cumpriu período de três anos de pós-doutorado, depois da graduação e do doutorado na Unicamp, onde se tornou professor concursado recentemente.

Como foi feito

O artigo publicado na *Nature* descreve como a equipe liderada pelo professor Oskar Painter projetou, obteve e resfriou cavidades ópticas nanométricas em uma nanoviga de silício, na qual são feitos buracos da ordem de 200 nanômetros que ocupam posições previamente estudadas. A nanoviga tem 560 nanômetros de largura e 15 microns de comprimento e é visível ao microscópio convencional. O micron e o nanômetro são, respectivamente, a milionésima e a bilionésima parte do metro. A posição geométrica dos buracos na nanoviga permite que apenas uma frequência (cor) de um laser, ou fótons, possa ser confinada na região central da nanoviga formando uma cavidade óptica.

A figura 1 representa a nanoviga



O professor Thiago Alegre, do Departamento de Física Aplicada do IFGW, um dos autores do artigo: "Criamos um caminho óptico"

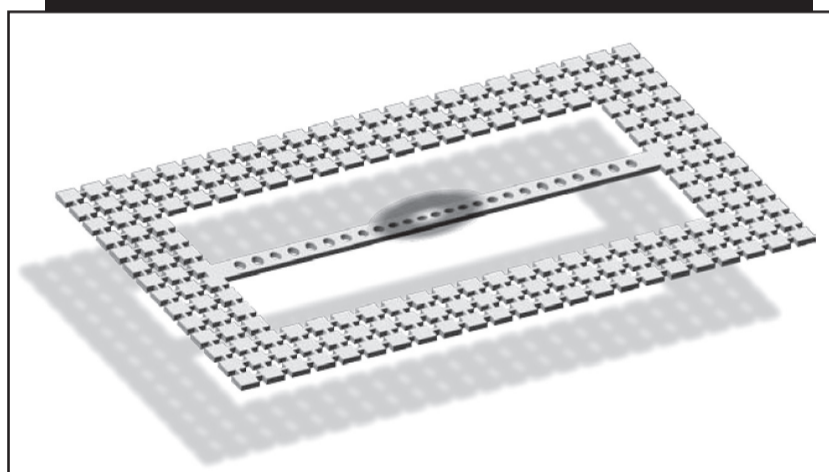


Fig. 1 Nanoviga sustentada por estrutura em forma de cruzado; no centro da nanoviga ocorre a concentração de fótons e fônons



Fig. 2 A luz que chega e sai da nanoviga é conduzida através de uma fibra óptica



Fig. 3 A figura representa de forma exagerada a distensão que ocorre na região central da nanoviga

e toda a estrutura de silício que lhe dá suporte. Thiago explica que, para interagir com o sistema, a luz laser é conduzida por uma fibra óptica mantida próxima à região central da nanoviga, conforme mostra a figura 2. É nesta região que os fótons ficam concentrados e confinados em decorrência tanto da diferença do índice de refração entre o silício e o ar, quanto da geometria e periodicidade dos pequenos buracos ao longo dela, formando um cristal fotônico. Nestes sistemas são dispostos de forma alternada e sucessiva dois materiais de índices de refração diferentes. No caso da nanoviga utilizada intercalam-se silício e ar (buracos). Com isso, forma-se uma região transparente a apenas uma frequência de luz (cor), sendo então todas as demais frequências refletidas pelo material.

Este efeito é similar ao que dá às borboletas sua coloração azulada, pois na natureza a alternância de pequenas estruturas nas asas deste inseto leva à reflexão apenas da cor azul. Ou seja, a coloração observada resulta dessas estruturas e não da pigmentação. A utilização deste efeito permite criar uma cavidade óptica em que um determinado tipo de luz (fótons) fica confinado em uma pequena região.

O sistema determinado por essas cavidades ópticas têm a propriedade de também servir de oscilador mecânico e aprisionar fônons, que são partículas associadas com oscilações mecânicas assim como os fótons estão associados com as oscilações eletromagnéticas (luz). A figura 3 mostra a região em que se dá a oscilação. Ao confinar o campo óptico e o campo mecânico em uma mesma região promove-se uma grande interação entre fótons e fônons. Alegre observa que a medida da diferença entre o tipo de fóton (luz) que entra e o tipo de luz que sai da cavidade permite informações sobre o sistema. Através da caracterização da luz que sai consegue-se determinar o movimento da cavidade e associar essa vibração à sua temperatura interna.

Os fótons que entraram na cavidade exercem força em suas paredes e ao empurrá-la mudam seu tamanho, o que facilita o escape de fótons, provocando a diminuição das forças que atuam na cavidade. Nesse processo dinâmico, essas forças atuantes aumentam e diminuem alternadamente. Esse ciclo de alimentação permite interferir no sistema, de modo a frear o movimento de vibração. Manipulando a cor da luz colocada no sistema, controla-se a alternância da força que atua na nanoviga e que a faz vibrar. Com uma força capaz de se opor à vibração, consegue-se parar o

movimento ou então, inversamente, provocar aumento da vibração até criar um oscilador.

O pesquisador esclarece que, escolhendo cuidadosamente a frequência do laser de excitação, o grupo conseguiu extrair energia mecânica através da luz que sai da cavidade, o que leva ao resfriamento do sistema. "Isso acontece porque a cavidade prefere espalhar a luz de determinada frequência. Quando a diferença entre essa frequência natural da cavidade e a frequência do laser incidente se iguala à frequência com que a oscilação mecânica ocorre, pode-se intervir nessa oscilação de forma a ampliá-la ou até anulá-la. Dessa forma cria-se uma interface eficiente entre um sistema óptico e um sistema mecânico em que a informação pode fluir de um para outro. Em outras palavras: para ser aprisionada na cavidade óptica a luz, com energia menor que a cavidade, precisa ganhar energia, mudando de cor, o que é possível absorvendo energia mecânica do sistema, que é assim resfriado. O sistema se mostrou tão eficiente que os pesquisadores conseguiram congelar e medir as vibrações em nível equivalente a um fônon", diz ele.

Alegre lembra que um dos recursos utilizados para estudar efeitos quânticos em escala macroscópica – assim considerado o sistema montado – tem sido a utilização de temperaturas próximas ao zero absoluto. Por isso o primeiro passo é levar o sistema ao estado fundamental – que é aquele em que cessam todos os movimentos – baixando sua temperatura global até poucas dezenas de milikelvin. Para chegar a esse estado fundamental é necessário trabalhar com temperaturas próximas do zero absoluto, o que é bastante complexo e caro, por isso, afirma ele, "não baixamos a temperatura global do sistema e optamos por trabalhar em uma temperatura de cerca de 20 kelvin (cerca de -250 °C). Ou seja, em vez de baixar a temperatura de todo o sistema criamos um caminho óptico para que apenas o modo vibracional chegasse próximo do zero kelvin".

News&Views

Na seção *News&Views* da mesma edição da *Nature*, Florian Marquardt, que faz a apresentação do artigo, lembra o conhecido efeito da luz solar que é capaz de empurrar sólidos, a exemplo do que ocorre com a cauda dos cometas que se deslocam para o lado oposto à sua incidência. Nos últimos anos os pesquisadores aprenderam a aproveitar essas forças da luz no mundo nano e usá-las para manipular as vibrações mecânicas de pequenos objetos. Esclarece que a equipe do professor Oskar Painter descreve como explorou a luz do laser para amortecer o movimento de um ressonador nanomecânico. Acrescenta que o experimento constitui a primeira tentativa bem-sucedida em expurgar todos os fônons para fora do ressonador, deixando as vibrações do sistema no estado de energia mais baixo possível permitido pela mecânica quântica: o estado fundamental. Considera ainda que os resultados pavimentam o caminho para a utilização da luz na realização de muitos outros fenômenos quânticos físicos em tais estruturas.

Além de Thiago Alegre, participaram da elaboração do artigo que trata do "Resfriamento a laser de um oscilador nanomecânico até o seu estado quântico fundamental" (*Laser cooling of a nanomechanical oscillator into its quantum ground state*) o pesquisador Markus Aspelmeyer e o pós-doutorando Simon Gröbner, do Vienna Center of Quantum Science and Technology, e os doutorandos do Caltech Jasper Chan, primeiro autor, Amir Safavi-Naeini, Jeff Hill e Alex Krause.

Publicação
Artigo: *Laser cooling of a nanomechanical oscillator into its quantum ground state*
Autores: Jasper Chan, Amir Safavi-Naeini, Jeff Hill e Alex Krause, Markus Aspelmeyer, Simon Gröbner, Thiago Alegre
Revista *Nature*