

CIRCUITO DE LUZ

Material formado por nanopartículas de ouro pode alterar propriedades do laser e dar origem a transistor fotônico

Ricardo Zorzetto

Partículas extremamente pequenas de certos metais podem apresentar um comportamento incomum quando dispostas muito próximas umas das outras e a distâncias bem regulares no interior de um cristal. Usando partículas de ouro com apenas 60 nanômetros (nm) de diâmetro, cerca de mil vezes menores do que a espessura de um fio de cabelo, um grupo de físicos alemães e brasileiros conseguiu produzir cristais com uma propriedade muito especial. Quando um feixe de laser atravessa um desses cristais, as partículas de luz (fótons) interagem com as partículas de carga elétrica negativa (elétrons) que compõem

a matéria com uma intensidade jamais observada em outro material. A obtenção desse efeito, apresentado em um artigo publicado em 29 de julho na revista *Nature*, cria a possibilidade de que esses cristais venham a originar, por exemplo, transistores controlados por luz ou células solares mais eficientes que os atuais.

Os pesquisadores conseguiram aumentar muito a intensidade da interação entre partículas individuais de luz não confinadas e partículas de matéria ao ajustar o tamanho das nanopartículas e a distância entre elas. No regime de interação alcançado agora, denominado profundamente forte, fótons e elétrons deixam momentaneamente de exibir as características individuais que os defi-

nem e, por frações de segundo, atuam como uma nova entidade: partículas de luz e matéria chamadas poláritons, com propriedades próprias.

“Durante a interação, a partícula de luz se une à de matéria de modo semelhante aos átomos em uma molécula”, compara o físico teórico Eduardo Barros, da Universidade Federal do Ceará (UFC). Ele é um dos autores dos cálculos que orientaram a produção desse cristal especial, criado pela equipe do físico-químico Holger Lange, da Universidade de Hamburgo, e testado pelo grupo da física Stephanie Reich, da Universidade Livre de Berlim, ambas na Alemanha. “As propriedades do sistema formado pelo fóton e pelo elétron são diferentes das

propriedades de cada uma dessas partículas individualmente, assim como as da molécula de água são distintas das apresentadas isoladamente pelos átomos de hidrogênio e oxigênio”, explica Barros.

A combinação de partículas de luz e de matéria desperta o interesse dos pesquisadores por abrir o caminho para o desenvolvimento de tecnologias potencialmente mais rápidas e mais eficientes do ponto de vista energético. Um exemplo de aplicação imaginada para os novos cristais são os chamados circuitos fotônicos, que poderiam equipar uma nova classe de computadores. Neles, os códigos (0 e 1) da linguagem binária dos computadores seriam codificados pelo bloqueio ou pela passagem de fótons, e não de elétrons, como ocorre nos equipamentos atuais. Outra possível aplicação que se antecipa é o uso desses cristais em filmes para a fabricação de células solares capazes de captar as partículas de luz e convertê-las em eletricidade com mais eficiência do que a dos dispositivos fotovoltaicos existentes hoje.

Essas e outras potenciais aplicações se devem ao fato de os cristais criados pela equipe de Hamburgo serem, ao menos em teoria, capazes de alterar de forma importante propriedades da luz como velocidade e direção de deslocamento. Os fótons são uma das raras partículas fundamentais que não têm massa, razão pela qual também são as mais rápidas que existem – quanto maior a massa de uma partícula, mais difícil é colocá-la em movimento ou alterar sua rota. No vácuo, os fótons se deslocam a 300 mil quilômetros por segundo, quase o tempo que levam para percorrer a distância que separa a Terra da Lua. No interior do novo cristal, porém, essa velocidade deve ser menor. É que, ao interagir tão intensamente com o elétron e formar um poláriton, o fóton passa a se comportar como se também tivesse massa e torna-se mais lento.

Caso os experimentos a serem feitos mostrem que é possível aumentar a interação e frear completamente os fótons, o cristal poderia funcionar, por exemplo, como um transistor, ora permitindo a passagem das partículas de luz, ora a bloqueando. “Esse é um material novo, com propriedades que nunca haviam sido alcançadas. Se conseguirmos controlá-las, podem surgir muitas aplicações”, diz Barros.

Quando a luz atravessa o cristal, fótons e elétrons interagem muito intensamente e se comportam como se fossem uma nova partícula

Antes das equipes de Hamburgo e Berlim, outros grupos na França e na Alemanha já haviam conseguido produzir em laboratório a interação profundamente forte entre fótons e partículas de matéria. Os experimentos, no entanto, exigiam o uso de aparatos complexos e caros, como cavidades ópticas e materiais supercondutores, que precisam ser mantidos a temperaturas próximas a zero Kelvin (-273,15 graus Celsius). “Apenas uns poucos grupos de pesquisa altamente especializados eram capazes de realizar esses experimentos”, conta Reich, coordenadora dos testes com o novo material. “Nossos cristais são facilmente sintetizados e a interação profundamente forte emerge naturalmente à medida que eles se formam”, explica a física.

O segredo para obter essa propriedade é controlar de modo muito preciso a forma e o tamanho das nanopartículas de ouro, além da distância entre elas. “Otimizamos a rota de síntese para obter nanopartículas muito uniformes”, diz Langer, da Universidade de Hamburgo. As nanopartículas são revestidas por uma camada de material plástico (poliestireno) e, quando colocadas em uma solução, auto-organizam-se em estruturas cristalinas, com distâncias muito regulares entre si. Na UFC, Barros e o físico Bruno Vieira, na época aluno de doutorado, realizaram simulações computacionais nas quais ajustavam o tamanho, a forma das nanopartículas e o número de camadas que compunham no interior do

cristal. “Começamos a ver efeitos interessantes com nanopartículas com mais de 40 nm de diâmetro, mas, inicialmente, suspeitamos que fosse outro fenômeno”, conta Vieira. Com base nos parâmetros ideais encontrados pela dupla no Ceará, o grupo de Hamburgo sintetizou o cristal seguindo os passos descritos em um artigo publicado em 30 de julho na *Nature Communications* e o enviou para ser testado em Berlim. As medições feitas por Niclas Mueller, da equipe de Reich, produziram valores para a interação entre fótons e elétrons quase idênticos aos obtidos nas simulações.

“O regime de interação no interior desses cristais é o mais forte obtido até o momento”, comenta o físico Celso Villas-Bôas, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que não participou do trabalho. A intensidade foi quase duas vezes maior que a verificada em testes com materiais supercondutores e ao menos 1 milhão de vezes superior à medida em experimentos com fótons e elétrons aprisionados em cavidades ópticas. De acordo com Villas-Bôas, o uso desse cristal apresenta duas vantagens em relação às técnicas anteriores, o que deve facilitar o desenvolvimento de aplicações: não exige o confinamento da luz e ocorre à temperatura ambiente.

Antes que esse cristal possa ser usado em um chip fotônico ou em sensores de luz, no entanto, serão necessários mais testes. “Queremos construir cristais com características microscópicas distintas e combinar nanopartículas de ouro com partículas que emitem luz ativamente. Também pretendemos mergulhar mais fundo na avaliação das predições do que ocorre com os materiais no regime de interação profundamente forte”, diz Reich. Uma vez identificados o material e a propriedade mais interessantes do ponto de vista tecnológico, o passo seguinte será otimizar a síntese do cristal. “Precisaremos aumentar a escala de produção de nanopartículas e, ao mesmo tempo, manter a alta qualidade delas e otimizar a automontagem, para obter cristais grandes e reproduzíveis”, planeja Lange. ■

Artigos científicos

MUELLER, N. S. *et al.* Deep strong light-matter coupling in plasmonic nanoparticle crystals. *Nature*. 29 jul. 2020.
SCHULZ, F. *et al.* Structural order in plasmonic superlattices. *Nature Communications*. 30 jul. 2020.