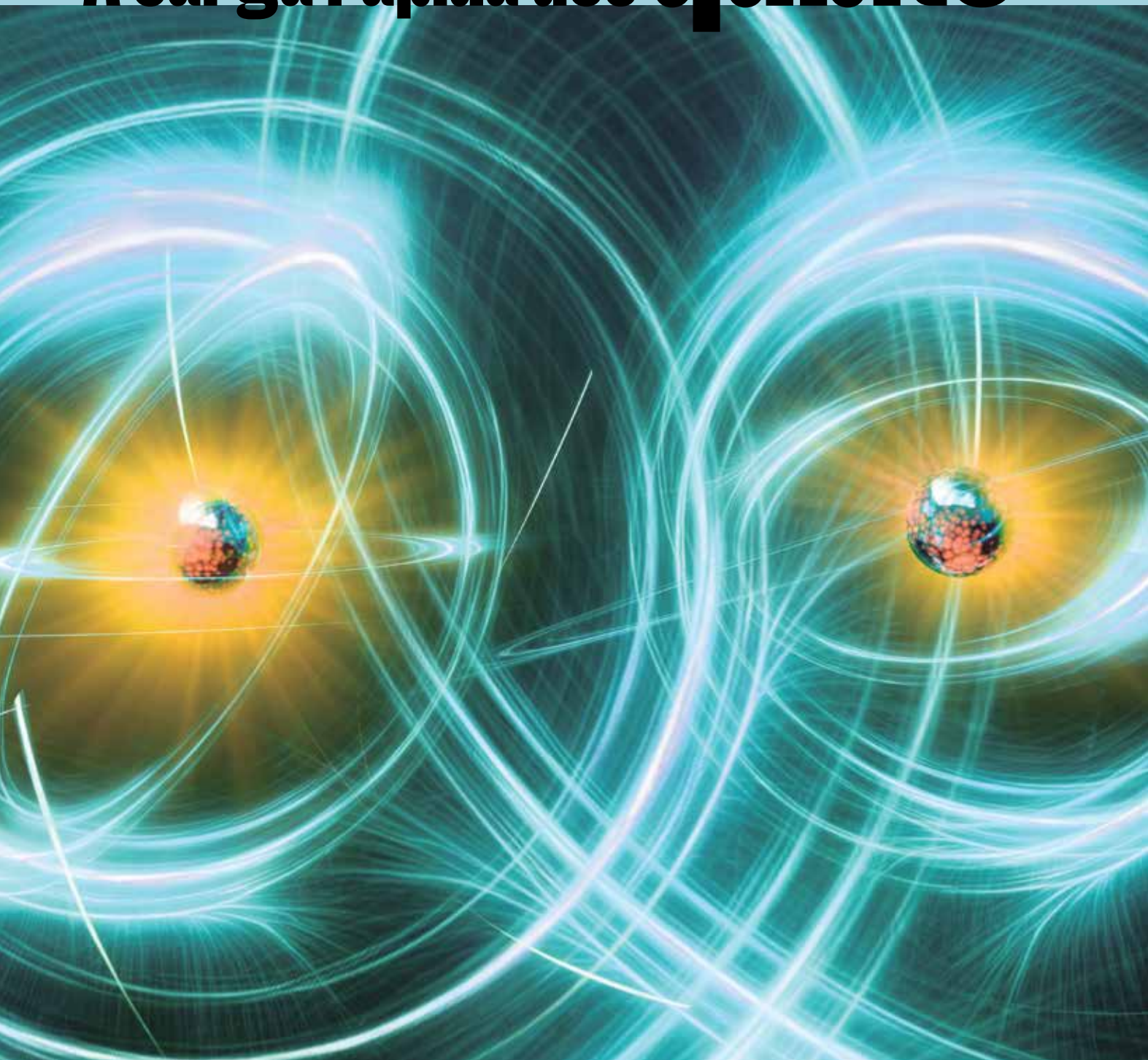


FÍSICA

A carga rápida dos qubits



Bateria quântica experimental armazena energia em metade do tempo necessário para carregar sua versão clássica

IGOR ZOLNERKEVIC

Para quem acompanha as notícias de ciência, já virou rotina se deparar com a divulgação de avanços em três novas tecnologias baseadas no controle preciso de propriedades físicas exclusivas de átomos e partículas subatômicas: a computação, a criptografia e o sensoriamento quânticos.

Nos últimos anos, entretanto, uma quarta tecnologia desse setor vem, pouco a pouco, ganhando atenção. São as baterias quânticas, que podem, no curto prazo, melhorar a eficiência de computadores e outros dispositivos quânticos e, em um futuro distante, tornar o carregamento de baterias de celulares e carros elétricos praticamente instantâneo.

“Em teoria, o potencial delas é enorme”, afirma o físico brasileiro Alan Costa dos Santos, do Instituto de Física Fundamental do Conselho Superior de Investigações Científicas (CSIC), em Madri, Espanha. Na prática, ele reconhece que ainda há um longo caminho a percorrer, mas já há progresso na pesquisa. Ao lado dos físicos Andreia Saguia e Marcelo Sarandy, da Universidade Federal Fluminense (UFF), Santos coordenou o planejamento teórico de um experimento inédito realizado na Universidade de Ciência e Tecnologia do Sul (Sustech), em Shenzhen, na China.

A equipe mostrou pela primeira vez que uma bateria capaz de gerar um efeito conhecido como emaranhamento quântico carrega em metade do tempo que o mesmo dispositivo sem esse fenômeno. Nesse estado, duas ou mais partículas se comportam como se fossem uma entidade única, entrelaçada, ainda que estejam separadas por qualquer distância. O trabalho da equipe de três pesquisadores teóricos brasileiros e 20 experimentais chineses, liderada pelos físicos Chang-Kang Hu e Dian Tan, da Sustech, foi destaque de capa na revista científica *Physical Review Letters*, em fevereiro.

No experimento, o time sino-brasileiro construiu um circuito supercondutor (que não perde energia na forma de calor) de formato quadrado, com 10 milímetros (mm) de lado, dotado de 16 bits quânticos, os chamados qubits, as mesmas unidades fundamentais usadas para armazenar e processar informação em um computador quântico. Esse sistema funciona como uma bateria, que pode ser carregada e descarregada. Os pesquisadores testaram a performance de carregamento dos qubits em duas configurações: com todos os bits quânticos desconectados, sem apresentar nenhum nível de emaranhamento, estado equivalente ao de uma bateria clássica; e com uma parte dos qubits (mas não todos) interagindo entre si, ou seja, entrelaçados, como em uma bateria quântica. Para que a comparação fosse justa, a energia fornecida ao circuito foi a mesma nas duas condições.

Os físicos observaram que uma parte dos qubits do sistema quântico atingiu um estado de emaranhamento que produziu resultados impressionantes. Com cinco bits quânticos entrelaçados, a bateria quântica carregou 60% mais rápido do que sua equivalente convencional. Com 12 qubits emaranhados, número máximo de bits que conseguiram atingir esse estado no experimento, o circuito armazenou energia a uma taxa quase 100% mais rápida, praticamente em metade do tempo do que ocorre em uma bateria tradicional. “O experimento demandou controle e calibração delicados, especialmente para balancear as interações entre os qubits, de modo a otimizar a performance de carregamento sem introduzir perturbações no sistema”, explica Tan, em entrevista por e-mail a *Pesquisa FAPESP*. “Coordenar o aumento do número de qubits, suas interações e a necessidade de aplicar pulsos precisos de micro-ondas para controlá-los foi desafiador.”

Uma das dificuldades nos experimentos com sistemas que podem funcionar como baterias

Ilustração de duas partículas com emaranhamento, fenômeno que pode ser útil para a produção de qubits de baterias quânticas

quânticas é fazer com que o maior número possível de qubits esteja emaranhado ou interaja entre si de alguma forma. O ideal seria que todos apresentassem esse estado quântico, mas experimentalmente isso ainda não foi atingido. Em uma bateria convencional, como as baseadas em íons de lítio, usadas hoje em celulares, computadores e carros elétricos, quanto maior sua capacidade de armazenar energia, mais tempo ela demora para carregar. Em uma tomada caseira, recarregar a bateria de um celular pode levar cerca de uma hora. Nesse mesmo tipo de ponto de fornecimento de energia, o carregamento da bateria de um carro elétrico, cerca de 10 mil vezes maior, pode demorar mais de um dia (com carregadores de maior potência, esse tempo pode cair para menos de meia hora).

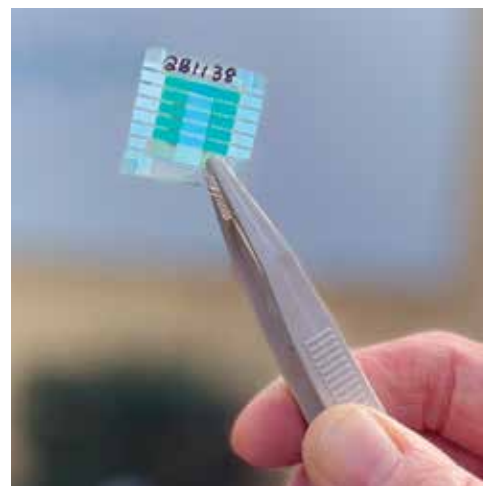
Com as baterias quânticas, ocorre o contrário. Quanto maior, mais rápida é sua recarga. Aumentar em 10 mil vezes o número de qubits de uma bateria quântica poderia, em princípio, reduzir em até 10 mil vezes o seu tempo de carregamento. Se fosse possível construir baterias quânticas tão grandes quanto as à base de lítio, esses dispositivos poderiam ser carregados talvez em frações de segundo.

Em 2022, os físicos Ju-Yeon Gyhm, Dominik Šafránek e Dario Rosa, todos então no Instituto de Ciência Básica (IBS), na Coreia do Sul, demonstraram um teorema geral que ilustra as limitações de trabalhar com muitos qubits em uma bateria. De acordo com o trio de pesquisadores, o ganho máximo em termos de redução no tempo de carregamento de uma bateria quântica só pode ser alcançado quando todos seus qubits atuarem juntos, de maneira coletiva, ao mesmo tempo, em um fenômeno descrito como interação global. Essa situação ainda não foi alcançada em sistemas com mais de 5 bits quânticos. Sem essa interação global, a velocidade de recarga deve diminuir, mas não se sabe quanto.

A interação global entre os 16 bits quânticos do experimento sino-brasileiro não foi atingida. Ainda assim, os qubits que apresentaram algum nível de emaranhamento reduziram de forma significativa o tempo necessário para carregar o circuito supercondutor. “Ter uma bateria quântica com interações globais envolvendo muitos qubits ainda é uma tecnologia do seriado *Jornada nas estrelas*”, afirma o italiano Rosa, atualmente pesquisador do Instituto de Física Teórica da Universidade Estadual Paulista (IFT-Unesp) e do Instituto Sul-americano para Pesquisa Fundamental (ICTP-Saifr), ambos funcionando no mesmo edifício em São Paulo. “Mas, do ponto de vista tecnológico, o trabalho experimental dos chineses e brasileiros é provavelmente mais relevante do que nosso teorema. Eles mostraram que, mesmo com um número pequeno de qubits interagindo, já é possível obter resultados úteis e interessantes.”

Para um físico, uma bateria é qualquer coisa que seja capaz de armazenar energia temporariamente. Por essa definição, uma represa cheia de água de uma usina hidrelétrica é uma bateria. A energia gravitacional armazenada na água represada é convertida em elétrica quando ela desce pelas turbinas da usina. Da mesma maneira, as baterias eletroquímicas armazenam energia forçando elétrons e íons de uma solução a se separarem dos polos positivos e negativos a que são naturalmente atraídos. Ligando a bateria a um aparelho, essas partículas fornecem uma corrente elétrica ao fluírem em direção aos seus polos preferidos. Mesmo as baterias mais avançadas, à base de íons de lítio, que renderam aos seus descobridores o Prêmio Nobel de Química de 2019, utilizam em essência o mesmo princípio da primeira pilha eletroquímica, criada em 1800 pelo físico e químico italiano Alessandro Volta (1745-1827).

Laboratório de engenharia da australiana CSIRO e seu protótipo de bateria quântica



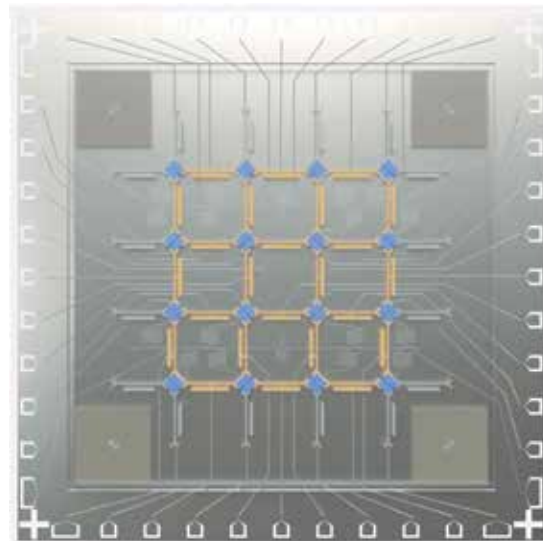
Um qubit é qualquer objeto quântico que, quando medido em um experimento, pode assumir apenas dois estados: um de menor energia, chamado de estado zero (0), e outro mais energético, chamado de um (1). Antes da medição, porém, o qubit pode estar em uma espécie de combinação entre 0 e 1 – um fenômeno conhecido como sobreposição quântica. Além disso, quando dois ou mais qubits interagem entre si, eles podem desenvolver um emaranhamento quântico – um estado coletivo em que suas propriedades permanecem interligadas mesmo a distância. Carregar uma bateria quântica consistiria em fornecer energia para um conjunto de qubits inicialmente no estado 0, até que todos atingissem o estado 1.

Hoje há diferentes abordagens que tentam explorar a superposição de estados e o emaranhamento quânticos para diminuir o tempo de carregamento dessas baterias. O trabalho sino-brasileiro empregou uma técnica, usando circuitos supercondutores, para montar um tipo de bateria quântica. Recentemente, outro estudo optou por um caminho distinto, que usa um laser para carregar o sistema. Em março de 2026, uma equipe liderada pelo físico James Quach, da Organização da Commonwealth para Pesquisa Científica e Industrial (CSIRO), na Austrália, publicou um artigo na revista *Light: Science & Applications*, em que apresenta um protótipo de bateria quântica baseada em um grande conjunto de moléculas.

O coração do dispositivo é uma minúscula película contendo de 280 a 790 trilhões de moléculas do corante azul ftalocianina de cobre (CuPc), posicionada no interior de uma cavidade óptica formada por camadas espelhadas contendo outros materiais semicondutores orgânicos. Quando um feixe de laser incide sobre a cavidade, sua energia é absorvida por um estado coletivo compartilhado por algumas das moléculas, o que pode aumentar a eficiência do processo em até três vezes em comparação com a situação sem cavidade, na qual cada molécula absorve energia individualmente. Conhecido como superabsorção, esse efeito foi comprovado em um experimento de Quach e outros colaboradores, publicado na revista *Science Advances*, em 2022.

O protótipo foi carregado em alguns femtossegundos (10^{-15} segundos) e reteve a energia por nanossegundos (10^{-9} segundos), um intervalo de tempo cerca de 1 milhão de vezes maior. O estudo também mostrou que o tempo de carregamento diminuiu em menos de 1 femtossegundo, quando o número de moléculas atingidas por um mesmo laser cresceu de 22 para 62 bilhões. Já a capacidade de extrair energia elétrica da bateria

Esquema do circuito sino-brasileiro com 16 qubits que funciona como uma bateria quântica



teve um aumento considerável com um número maior de moléculas: a vantagem em relação ao mesmo dispositivo sem cavidade passou de cerca de 20% para 120%. “Nosso próximo passo é estender o tempo de armazenamento de energia [no dispositivo]. Se superarmos esse obstáculo, estaremos um pouco mais perto de ter baterias quânticas viáveis economicamente”, disse Quach, em comunicado de imprensa.

A equipe sino-brasileira também projeta novas etapas em sua pesquisa. O chinês Dian Tan conta que eles vão tentar combinar, em um mesmo circuito, uma bateria quântica com um motor térmico quântico – um dispositivo também feito de qubits, capaz de absorver parte do calor dissipado durante o funcionamento de um computador quântico, e convertê-lo em energia reutilizável pelo sistema. Além de fornecer uma pequena economia de energia, o par bateria-motor quântico poderia reduzir o número de pulsos de micro-ondas necessários para operar o computador, diminuindo, assim, o ruído térmico que prejudica seu desempenho. “O experimento poderia criar um ciclo fechado de geração, armazenamento e utilização de energia quântica”, explica Tan.

Segundo Santos, ainda restam muitas dúvidas sobre o funcionamento das baterias quânticas. Ele cita como exemplo o fenômeno de autodescarga. Mesmo se não usadas, todas as baterias convencionais descarregam espontaneamente ao longo de um certo tempo. Minimizar o impacto da autodescarga é um objetivo dos pesquisadores que trabalham com dispositivos de armazenamento de energia. “Em sistemas quânticos isso também vai acontecer, mas ainda não sabemos como”, diz o físico brasileiro. ●

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.