

O bamboleio das partículas

Elétrons essenciais à criação de computadores quânticos são mais bem compreendidos

REINALDO JOSÉ LOPES

Conhecer os obstáculos ao longo do percurso é tão importante quanto alcançar a linha de chegada na corrida para se projetar uma forma eficiente de computador quântico, máquina capaz de utilizar as propriedades das partículas fundamentais da matéria para fazer cálculos muito mais rapidamente do que os computadores convencionais. É o que sugere o trabalho de físicos brasileiros que estudam uma característica das partículas atômicas chamada *spin* – giro, em inglês –, que no caso das partículas de carga negativa (elétrons) pode ser descrito, ainda que com alguma imprecisão, como o sentido em que giram ao redor de seu próprio eixo.

Investigando essa propriedade dos elétrons, a equipe do físico José Carlos Egues, da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos, descobriu recentemente uma interação entre essa partícula e o caminho que ela percorre, que pode afetar o controle do *spin*, uma das tecnologias – a spintrônica – imaginadas para o desenvolvimento de uma eletrônica não-convencional útil para

a computação quântica. Em paralelo, o grupo do engenheiro elétrico Gilberto Medeiros-Ribeiro, do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas, vem testando experimentalmente o controle do *spin* de elétrons em diferentes componentes que, quem sabe, um dia possam integrar esses computadores do futuro.

Nos computadores atuais – usados em casa ou no trabalho – a informação é codificada em unidades chamadas *bit*, representadas pelos números 0 e 1, que representam ausência ou presença de corrente elétrica. Por analogia, a unidade básica da computação quântica é o *bit quântico* ou *qubit*, que pode ser codificado no *spin* dos elétrons. Embora os elétrons não sejam esferas – estão mais para pontos, sem dimensão espacial –, assume-se que girem em torno do próprio eixo como um peão. Dependendo do sentido de rotação, diz-se que o *spin* é *up* (para cima) ou *down* (para baixo), o equivalente ao 0 e ao 1 dos computadores tradicionais.

Aí as semelhanças terminam. De acordo com a mecânica quântica, parte da física que explica o comportamento

das partículas subatômicas, cada elétron pode, a um só tempo, girar para baixo e para cima e também em todos os outros sentidos, como se assumissem simultaneamente os valores 0 e 1 e todos os intermediários, como 0,23 ou 0,65, entre outros – é o que os físicos denominam sobreposição de estados quânticos. Só se conhece ao certo o sentido de rotação ou o valor do *spin* no momento em que ele é medido. Essa característica faz do *spin* dos elétrons uma base interessante para a computação quântica, uma vez que, se for controlada, a sobreposição de estados aumenta exponencialmente a capacidade de fazer cálculos – cada *qubit* seria capaz de lidar com muito mais informação do que os *bits* clássicos. Em condições ideais, algumas centenas de *qubits* poderiam codificar mais informação do que o número de partículas elementares de todo o Universo.

Apesar desse potencial astronômico, o valor prático da computação quântica ainda precisa ser totalmente demonstrado. “As aplicações ainda vão demorar. Por enquanto é um erro conceitual dizer que o computador quântico vai ser bom para tudo, superando os computadores clássicos em qualquer tarefa”, explica Egues. Até agora as vantagens estão restritas a problemas bem específicos como a compreensão de fenômenos quânticos da física e da biologia ou o desenvolvimento de formas mais seguras de codificação de informação (criptografia).

Giro sob controle - O desafio é transformar essas possíveis aplicações em realidade. No caso da spintrônica, a dificuldade envolve tanto a indução do *spin* desejado nos elétrons de determinado material quanto impedir que, feito um peão cambaleante, eles acabem oscilando e assumindo o *spin* oposto. Segundo Egues, a primeira demonstra-



> OS PROJETOS

1. Interações magnéticas e transporte eletrônico *spin* polarizado em pontos quânticos magnéticos
2. Materiais nanoestruturados investigados por microscopias de tunelamento e força atômica através de medidas de transporte

MODALIDADE

1. Auxílio Regular a Projeto de Pesquisa
2. Programa Jovem Pesquisador

COORDENADORES

1. JOSÉ CARLOS EGUES DE MENEZES - IFSC
2. GILBERTO MEDEIROS RIBEIRO - LNLS

INVESTIMENTO

1. R\$ 93.343,20 (FAPESP)
2. R\$ 587.417,83 (FAPESP)

ção sólida de que era possível enfrentar a instabilidade do *spin* veio em 1999, de um trabalho de David Awschalom, da Universidade da Califórnia em Santa Bárbara, nos Estados Unidos.

A partir desse resultado começou uma corrida para aumentar esse controle e dominar a inversão do *spin* – fazê-lo passar de *up* para *down*, o que equivaleria a uma operação com um único *qubit*. Um dos fatores que dificultam esse controle é a sutil variação de temperatura do material onde estão os elétrons – no mundo atômico a temperatura corresponde ao nível de agitação das partículas, o que significa que mesmo em um sólido elas nunca estão totalmente imóveis.

Essa agitação interfere na trajetória que o elétron percorre ao redor dos átomos e pode modificar seu *spin* – é a chamada interação *spin*-órbita, um caminho de mão dupla, uma vez que tanto a trajetória afeta o *spin* quanto vice-versa.

Em um trabalho publicado em 2007 na revista *Physical Review Letters*, Egues e seus colaboradores identificaram uma nova forma de interação entre o *spin* do elétron e a órbita do próprio elétron – um efeito com influência pequena, mas significativa, sobre o bamboleio dos elétrons. “Essas interações entre *spin* e órbita também podem ser boas, pois permitem manipular o *spin* da maneira desejada, controlando a trajetória dos elétrons”, diz o físico da USP.

Em outro trabalho de 2007, publicado na *Physical Review B*, o grupo de Egues, em parceria com Fabricio Souza, atualmente pesquisador na Universidade de Brasília, demonstrou teoricamente que é possível construir um dispositivo capaz de selecionar os elétrons segundo o *spin* que apresentam em determinado momento – o chamado diodo de corrente de *spin* –, útil para a realização de operações computacionais que envolvam o controle da rotação dessas partículas. Os diodos de *spin*, construído experimentalmente este ano por pesquisadores da Universidade Johns Hopkins, nos Estados Unidos, deixam passar apenas elétrons com o mesmo sentido de rotação, funcionando como um filtro, de modo semelhante aos diodos da eletrônica convencional, que só deixam passar eletricidade em um sentido.

A era do diamante - Ainda que muitos trabalhos lidem com o controle de elétrons em materiais como o silício, largamente usado nos computadores tradicionais, alguns estudos avaliam o uso de alternativas mais exóticas, como o diamante. Em geral considerado um material isolante – por não permitir a movimentação nem a manipulação de elétrons –, o diamante pode em determinadas circunstâncias funcionar como um excelente semicondutor. Para isso,

basta que entre os átomos de carbono existam impurezas, como átomos de nitrogênio. Cada átomo de nitrogênio substitui dois dos seis átomos de carbono que compõem a estrutura interna em forma de tetraedro do diamante. Essa substituição deixa o espaço de um carbono vago – é o chamado centro de vacância – e permite a manipulação dos elétrons do nitrogênio.

Usando microondas, Gilberto Medeiros-Ribeiro e Thiago Alegre, da Universidade Estadual de Campinas, conseguiram controlar experimentalmente o *spin* dos elétrons nesses centros de vacância, como descreveram em artigo de 2007 na *Physical Review B*. “Conhecendo espacialmente a impureza no diamante, é possível determinar a mudança de estado de *spin*”, conta o pesquisador do LNLS. Espera-se que o controle desse fenômeno permita, no futuro, usar essas estruturas para realizar operações computacionais.

Medeiros-Ribeiro, porém, recomenda cautela diante do pouco que se sabe sobre os mecanismos básicos da computação quântica. “A cada problema vencido, aparece outro. Os obstáculos são difíceis de ser transpostos e existem limites fundamentais para o que podemos fazer que ainda não são bem compreendidos”, diz. Para Egues, as incógnitas mostram a fertilidade científica desse campo: “Se soubéssemos aonde isso vai dar, não haveria tantos grupos estudando esses problemas”. ■

> Artigos científicos

1. BERNARDES, E. *et al.* Spin-Orbit Interaction in Symmetric Wells with Two Subbands. *Physical Review Letters*. v. 99. 2007.
2. ALEGRE, T.P.M. *et al.* Polarization-selective excitation of nitrogen vacancy centers in diamond. *Physical Review B*. v. 76. 2007.

