

# O frio que aquece

Experimento quântico faz partícula gélida transferir calor para a quente e inverte a seta termodinâmica do tempo

Uma equipe internacional coordenada por físicos brasileiros mostrou que, em um sistema quântico formado por partículas mantidas a distintas temperaturas, pode ocorrer um fenômeno não visto no mundo macroscópico: o corpo frio fornece espontaneamente energia para o quente. A partícula fria perde calor e esfria, e a quente ganha e se aquece. Quando isso ocorre, há uma inversão no sentido natural do fluxo de calor, no que os pesquisadores denominam seta termodinâmica do tempo, que normalmente flui da matéria quente para a fria. O efeito surpreendente foi obtido por meio da manipulação, com o emprego da técnica de ressonância magnética, de propriedades dos núcleos de átomos de carbono e de hidrogênio de um sistema formado por clorofórmio líquido ( $\text{CHCl}_3$ ) diluído em acetona (os três átomos de cloro que também fazem parte da molécula do composto não são importantes para o experimento). Por 1 milionésimo de segundo, os núcleos de carbono, que estavam mais frios, cederam energia para os de hidrogênio, que se aqueceram ainda mais. Os resultados do trabalho foram divulgados em artigo disponibilizado em novembro de 2017 na base de dados arXiv e submetido para apreciação de um periódico científico.

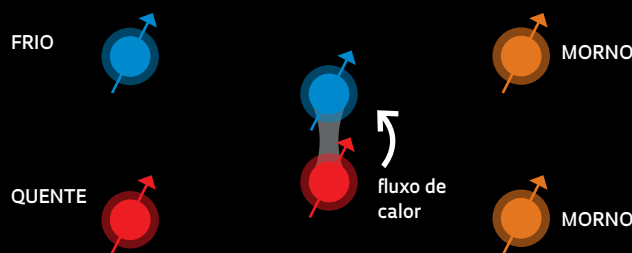


# Como controlar o sentido da energia

As condições iniciais do sistema determinam de que forma o calor é transmitido entre duas partículas com temperaturas distintas

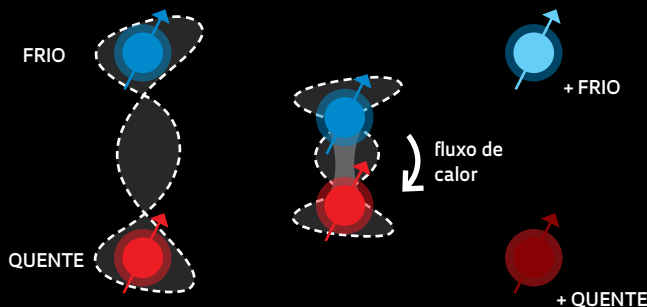
## PARTÍCULAS SEM ASSOCIAÇÃO QUÂNTICA

Na situação usual, o calor vai do átomo quente para o frio. O sentido tradicional do calor se mantém e ambas as partículas se tornam mornas



## PARTÍCULAS QUE APRESENTAM CORRELAÇÃO QUÂNTICA

No novo experimento, o átomo frio esfria e o quente aquece. O calor vai da partícula fria para a quente. A seta termodinâmica do tempo se inverte



FONTE: MICADEI, KAONAN, ET. AL.

Segundo o estudo dos físicos, a inversão da flecha termodinâmica do tempo ocorre em uma condição específica: apenas quando eles estabelecem uma correlação quântica entre um estado do núcleo dos átomos de carbono e de hidrogênio – o *spin*, uma propriedade magnética das partículas – antes de introduzir alterações significativas na temperatura dos componentes do sistema. Sem essa ligação quântica entre os *spins* dos dois elementos, o sistema se comporta de maneira tradicional e as partículas mais quentes aquecem as mais frias.

### GELADEIRA QUÂNTICA

A correlação quântica é uma associação similar, mas mais fraca do que o fenômeno conhecido como emaranhamento, um tipo de ligação tão estreita entre duas (ou mais) partículas que é impossível falar de uma sem mencionar a outra. Ainda assim, é forte o suficiente para que o núcleo de um elemento químico partilhe a informação sobre o estado de seu *spin* com o de outro elemento e vice-versa. Esse tipo de associação quântica

é criada com o emprego de pulsos de rádio sobre os átomos de carbono e de hidrogênio.

O experimento pode ser comparado a uma geladeira quântica microscópica. Tudo que está dentro do refrigerador esfria, desde que o aparelho esteja conectado a uma fonte externa de eletricidade. “Para que um corpo frio aqueça um quente, é preciso abastecer o sistema com energia extra”, explica o físico Roberto Serra, da Universidade Federal do ABC (UFABC), um dos autores do trabalho, feito no âmbito do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica (INCT-IQ). No experimento, realizado em um laboratório do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro, a energia extra é fornecida pela aplicação de distintos campos magnéticos sobre as moléculas de clorofórmio. Assim, é possível, de forma seletiva, tornar os núcleos dos átomos de hidrogênio mais quentes do que os de carbono. Essa preparação é feita de uma maneira especial que faz o calor fluir das partículas frias para as quentes.

O resultado do trabalho mexe com a delicada fronteira entre a termodinâmica clássica e a mecânica quântica. Conforme a segunda lei da termodinâmica, o passar do tempo leva, inexoravelmente, ao aumento da desordem, a uma maior entropia, no mundo macroscópico. Na natureza, a energia degenera. Por isso, espontaneamente, o café quente não esfria na xícara. Ele esfria. Mas, no limite em que se consideram átomos e elétrons, fenômenos estranhos acontecem: a ordem das trocas de calor pode se inverter e a entropia do sistema pode diminuir, dando a impressão de que o tempo fluiu na direção do passado. “Nosso trabalho entra no domínio da termodinâmica de pequenos sistemas quânticos”, comenta Kaonan Micaidei, primeiro autor do artigo e aluno de doutorado na UFABC.

A termodinâmica clássica não considera a existência de associações iniciais entre partículas como átomos e elétrons, como as criadas pela correlação ou emaranhamento quântico. Essa questão, no entanto, é importante e pode ajudar a entender como os microsistemas dissipam energia. “O experimento é fundamental para compreender fenômenos da termodinâmica ligados ao desenvolvimento da computação quântica”, comenta Ivan Santos Oliveira, do CBPF, outro coautor do estudo. “A experiência amplia o domínio de validade das leis da física”, avalia o físico teórico David Jennings, do Imperial College de Londres, Inglaterra, que não participou do estudo.

Processar informação gera aquecimento. Estima-se que entre 20% e 30% de toda energia elétrica produzida no mundo seja utilizada para resfriar os computadores. Limitar a dissipação de energia em máquinas quânticas é uma das motivações dos participantes do experimento. “Produzir um refrigerador quântico é uma etapa necessária para chegar a um dispositivo quântico mais complexo”, justifica Serra. ■

### Projeto

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica (nº 08/57856-6); Modalidade Projeto Temático; Pesquisador responsável Amir Caldeira (Unicamp); Investimento R\$ 1.977,654,30 (para todo o projeto)

### Artigo científico

MICADEI, K. et al. Reversing the thermodynamic arrow of time using quantum correlations. Disponível no repositório arXiv.