

FÍSICA

# Fenômeno misterioso da água também pode ser produzido em sistemas quânticos

Efeito Mpemba faz líquidos mais quentes congelarem mais rápido que os mais frios

Arissanjaya/Getty Images

Danilo Albergaria

Edição 345  
nov 2024

Física

Em 1966, uma pergunta de um aluno do ensino médio em uma palestra desconcertou o físico britânico Denis Osborne (1932-2014), da Universidade de Dar es Salaam, na capital da Tanzânia. “Se você pegar dois copos de igual volume de água, um a 35 graus Celsius [°C] e o outro a 100 °C, e colocá-los num refrigerador, o que começou a 100 °C congela primeiro. Por quê?”, indagou ao professor universitário Erasto Mpemba, que morreu no início desta década em data incerta. O questionamento tinha origem em uma observação do jovem tanzaniano quando, algum tempo atrás, preparava sorvete em casa. O estudante havia notado que, estranhamente, uma mistura de leite fervido e açúcar congelava mais rápido do que outra mais fria, que não fora ao fogo. Em vez de desconsiderar o relato do menino, Osborne decidiu testá-lo. O resultado, confirmando as observações iniciais do aluno, foi publicado em 1969 em artigo redigido por ambos no periódico *Physics Education*.

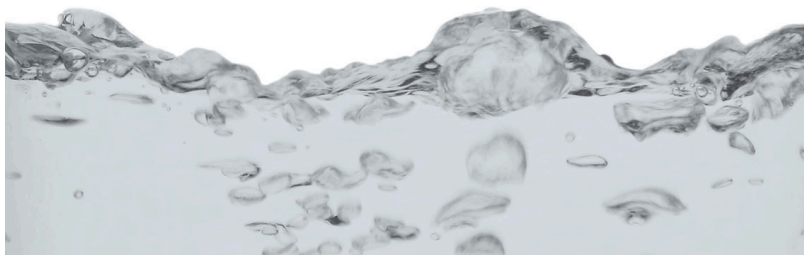
A capacidade de a água quente, e também de outros líquidos, solidificarem-se antes de seus congêneres mais frios é denominada efeito Mpemba. O fenômeno, macroscópico e contraintuitivo, desafia a lei do resfriamento de Isaac Newton (1643-1727), segundo a qual a perda de calor de um corpo é diretamente proporcional à diferença entre sua temperatura e a do ambiente. O efeito Mpemba já havia sido percebido na água por Aristóteles na Antiguidade, mais de 2 mil anos antes, e posteriormente pelo filósofo britânico Francis Bacon (1561-1626) e o matemático francês René Descartes (1596-1650). Nunca foi explicado de forma convincente pela termodinâmica, que estuda a transferência de calor e de outras formas de energia em um sistema. Ainda hoje não há consenso sobre o que faz a água mais quente se solidificar antes da fria.

Nos últimos anos, tem crescido o interesse na compreensão de fenômenos análogos ao efeito Mpemba nos domínios da mecânica quântica, que estuda o comportamento da luz e da matéria na escala atômica e subatômica, no mundo microscópico. Um estudo publicado em outubro no periódico *Physical Review Letters* propõe uma explicação teórica da versão quântica do fenômeno e sugere um caminho para que ela seja manipulada. “Estudos anteriores focavam em sistemas e

condições muito restritos. Nosso trabalho expande o escopo teórico para compreender e ativar o efeito Mpemba em qualquer sistema quântico”, explica a física brasileira Krissia Zawadzki, do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC-USP) e coautora do artigo, ao lado de uma equipe do Trinity College de Dublin, na Irlanda.

O efeito Mpemba pode ser entendido como a aceleração de um processo que tenta levar o estado inicial de um sistema para outro que ficará fixo no tempo, chamado de estacionário. Se esse estado tem uma temperatura bem definida, ele está em equilíbrio. Nessa situação, é possível saber exatamente a proporção de moléculas que estão quietas e em movimento e o grau de agitação segue uma distribuição de probabilidades conhecida. Quando a água está congelando ou fervendo, essas informações são perdidas e o sistema é considerado fora do equilíbrio. Estar inicialmente fora de equilíbrio pode ser interessante quando essa situação permite tomar uma rota mais rápida para o estado final que se deseja alcançar.

Um raciocínio similar é adotado para sistemas quânticos. “Chamamos de efeito Mpemba quântico qualquer fenômeno que faz com que um sistema quântico chegue mais rápido ao equilíbrio quanto maior for seu estado inicial de desequilíbrio”, esclarece Zawadzki. É o mesmo princípio paradoxal do efeito Mpemba original, em que o mais quente congela antes do que o menos quente. No universo quântico, quando esse fenômeno ocorre, o mais desequilibrado se equilibra antes do menos desequilibrado.



Magnascan/Getty Images

Para ativar uma versão quântica do efeito Mpemba, o estudo propõe selecionar as partes de um sistema, chamadas de modos, que apresentam maior desequilíbrio de energia, ou seja, que exibam propriedades quânticas em um nível mais intenso, como emaranhamento ou superposição de estados. Se mais modos (partes) em maior desequilíbrio forem selecionados, mais rápido o sistema pode se mover para o equilíbrio e, como no mundo clássico, literalmente se tornar mais frio.

“Nosso trabalho fornece essencialmente uma receita para gerar o efeito Mpemba em sistemas quânticos, nos quais uma transformação física que efetivamente ‘aquece’ o sistema quântico pode ser realizada”, diz o físico John Goold, do Trinity College, em material de divulgação do estudo. “Essa transformação, então, paradoxalmente permite que ele relaxe ou ‘esfrie’ exponencialmente mais rápido explorando características únicas na dinâmica quântica.”

O estudo pode ser útil para o desenvolvimento de tecnologias que permitam o resfriamento mais rápido de computadores quânticos, que funcionam a temperaturas próximas do zero absoluto,  $-273,15^{\circ}\text{C}$ . O artigo não propõe uma técnica específica de arrefecimento, mas Zawadzki aponta a manipulação de campos magnéticos sobre materiais, a exemplo do alúmen de cromo e potássio, como uma técnica atualmente promissora.

Zawadzki é cautelosa em associar o estudo ao desenvolvimento de novas tecnologias, mas aponta para a possibilidade de o efeito Mpemba ser relevante para a emergência de baterias quânticas, com carregamento muito mais rápido e maior capacidade de armazenamento, além do potencial para ser empregado em sistemas

de resfriamento necessários na área de computação quântica. “Ainda não é possível prever quão longe ou quão perto estamos da criação de possíveis novas tecnologias de resfriamento. Isso pode acontecer daqui a algumas décadas ou em menos tempo”, pondera o físico Roberto Serra, da Universidade Federal do ABC (UFABC), que não participou do estudo.

No curto prazo, a abordagem proposta no trabalho abre caminho para a física experimental testá-la em diferentes condições e materiais. Para o físico Marcelo Terra, do Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas (Imecc/Unicamp), que também não fez parte do estudo, a teoria proposta é interessante e pode ser aplicada em diferentes sistemas experimentais. Serra diz que o trabalho é muito convincente e deve atrair o interesse de vários grupos de pesquisa experimental. “É questão de tempo para alguém fazer os experimentos e testar essas ideias”, comenta o pesquisador da UFABC.

---

A reportagem acima foi publicada com o título “**Quanto mais quente, mais perto de congelar**” na edição impressa nº 345, de novembro de 2024.

#### Artigos científicos

MORODER, M. *et al.* [Thermodynamics of the Quantum Mpemba Effect](#). *Physical Review Letters*. 4 out. 2024

MPEMBA, E. B. e OSBORNE, D. G. [Cool?](#) *Physics Education*. v4. p. 172, 1969