



*Se passarmos de trás para frente um filme de duas bolas de bilhar colidindo, a colisão nos parecerá totalmente normal*

## TEMPO NO MUNDO QUÂNTICO

Que o tempo avança, ninguém duvida – o amanhã se aproxima, e o ontem se distancia. Nele, envelhecemos; as folhas caem; uma gota de tinta na água se espalha. Não observamos ninguém rejuvenescer, nem a gota de tinta voltando a se concentrar. Essa discussão no contexto da física se denomina o problema da ‘flecha do tempo’.

A termodinâmica trata da capacidade de um corpo aquecido realizar trabalho, incluindo a capacidade de transferência de calor e energia mecânica. Essa área da física lida com princípios gerais independentes de qualquer modelo da estrutura microscópica da matéria (moléculas, átomos etc.). Isso permite que ela seja aplicada a qualquer sistema: gases, líquidos e sólidos.

A primeira lei da termodinâmica é conhecida por todos: a energia sempre se conserva. A segunda lei foi formulada de modo elegante e preciso pelos físicos do século 19, por meio do conceito de entropia, que quantifica o quanto a energia de um corpo deixa de ser útil para produzir trabalho.

A entropia também quantifica o grau de desordem de um sistema físico – quanto mais desorganizado um sistema, menor sua capacidade de realizar trabalho. Para um sistema isolado, a entropia nunca pode decrescer.

O problema é que as leis da mecânica (área da física que estuda o movimento e suas causas) não incorporam essa flecha do tempo. Exemplo: se passarmos de trás para frente um filme de duas bolas de bilhar colidindo, a colisão nos parecerá totalmente normal. Por isso, dizemos que as leis da mecânica são ‘invariantes sob inversão temporal’. Ou seja, elas, por si mesmas, não determinam a direção da flecha do tempo.

Mas, se passarmos ao contrário a tacada inicial de um jogo de sinuca, mostrando as bolas se reagrupando, logo desconfiamos de que há algo errado no filme.

Como conciliar uma lei de movimento na qual o tempo pode ser revertido sem pro-


blema com um mundo no qual as bolas de sinuca espalhadas jamais se reagrupam? A resposta é a seguinte: a probabilidade de as bolas se espalharem depois da tacada inicial é muito alta. Mas a probabilidade de as bolas voltarem a se agrupar é extremamente pequena – na prática, zero.

Na colisão de duas bolhas de bilhar, a entropia se conserva, pois os processos com o tempo ‘fluindo para frente’ são equivalentes àqueles com o tempo ‘fluindo para trás’. Mas, depois da tacada inicial, temos um sistema em que a entropia aumenta e no qual observamos a flecha do tempo, ou seja, o sistema passou por um processo irreversível.

Quando passamos do mundo macroscópico para o quântico (moléculas, átomos etc.), o problema se torna ainda mais complicado. As leis que governam o movimento também são ‘invariantes sob reversão temporal’, mas propriedades intrínsecas dos sistemas quânticos (incertezas além das presentes nas medidas da física clássica e um tipo de ‘ação a distância’) adicionam desafios ao problema.

Até recentemente, não havia nenhum experimento que mostrasse que sistemas quânticos são irreversíveis. Mas, no artigo ‘Irreversibility and the arrow of time in a quenched quantum system’ (Irreversibilidade e a flecha do tempo em um sistema quântico variado bruscamente), publicado recentemente no prestigioso periódico *Physics Review Letters* (2/11/15), Ivan dos Santos Oliveira, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro (RJ), e colegas mediram a variação de entropia de um sistema quântico.

Eles usaram técnica baseada na ressonância nuclear magnética – a mesma empregada nos exames clínicos. O experimento mostrou que a entropia cresceu em um sistema (quântico) isolado.

Ou seja, a flecha do tempo também está em ação no nível atômico. 

**JOÃO TORRES DE MELLO NETO**  
Instituto de Física,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
joaodemelloneto@cienciahoje.org.br