

“Exit both ways”

Carlos Herdeiro

Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro

Em 2005, ano internacional da Física, a Sociedade Portuguesa de Física organizou a conferência “Física 2005 - Física para o século XXI”, de 1 a 3 de Dezembro, na Alfândega do Porto [ver vol. 28, Fasc. 4 da Gazeta de Física]. Entre os palestrantes convidados, surge o nome de Anton Zeilinger, um dos laureados com o Prémio Nobel da Física de 2022 “por experiências com fotões emaranhados, estabelecendo a violação das desigualdades de Bell e pioneiras na ciência da informação quântica”. Tendo co-organizado este evento, lembro-me com clareza da comunicação de Zeilinger na Física 2005, com o título, “De Einstein à Informação Quântica”, e ficou-me gravada a “anedota” com que Zeilinger a fechou. Disse-nos que tinha estado nos EUA recentemente e que lá já se conseguiam sobreposições quânticas com corpos macroscópicos, mostrando-nos com um sorriso prazeroso uma fotografia da saída de um parque de estacionamento, que tinha duas vias, e com uma placa no meio das vias declarando “Exit both ways”. E rematou: “Os americanos, como sempre, estão bem à nossa frente.” À gargalhada geral seguiu-se uma sentida salva de palmas pela estimulante comunicação.

Não há qualquer evidência de que um carro possa sair da garagem pelas duas vias, em simultâneo. Mas de acordo com a Mecânica Quântica (MQ), um carro microscópico (por exemplo, um fotão ou um electrão), passa na famosa experiência das duas fendas por ambas as fendas. Prescreve a MQ que um tal “carro” propaga-se como uma onda de probabilidade (uma sobreposição das trajetórias possíveis) e interfere consigo mesmo. Mas é detetado como um carro localizado, devido ao colapso dessa onda. Esta prescrição (“interpretação de Copenhaga”) explica o padrão clássico de interferência observado quando se acumulam no alvo muitos fotões ou electrões. Um tal padrão foi observado por Thomas Young, em 1801, que engendrou a experiência das duas fendas para testar e comprovar as propriedades ondulatórias da luz. A experiência das duas fendas com fotões/electrões individuais, por outro lado, não é apenas uma *gedankenexperiment*. Por exemplo, uma realização prática com electrões foi feita por Tonomura et al. [*American Journal of Physics* 57, 117 (1989)], Figura

anexa. O filme da experiência, com elevado valor pedagógico, encontra-se no YouTube [procurar “Double-slit interference pattern from the Hitachi experiment”].

A ideia de que um objeto microscópico evolui como uma onda de probabilidade, ou seja numa sobreposição de estados, e que colapsa de uma maneira aleatória quando uma mediação é feita, incomoda os físicos há cerca de um século. A escola pragmática observa a notável capacidade da MQ de descrever o mundo atómico e sub-atómico e segue o mantra de Feynman “Cala-te e calcula!”. A escola céptica, por outro lado, procura outra hipotética realidade por detrás desta aparente aleatoriedade. Einstein famosamente encabeçou esta atitude nas décadas de 1920 e 30 e a sua oposição culminou no seu célebre artigo de 1935 com Podolsky e Rosen [*EPR, Phys. Rev.* 47 (1935) 777], onde expõe um argumento de uma lógica cristalina que conclui que a MQ ou é inconsistente ou é incompleta. Na base desta conclusão, está a noção local e realista de causalidade da (sua) teoria da relatividade restrita: dois sistemas separados não podem comunicar instantaneamente. O argumento de EPR foi algo desvalorizado por Bohr, mas Schrödinger [*Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 31 (1935) 555–563; 32 (1936) 446–451] reconheceu a sua profundidade e cunhou o termo “entanglement” (emaranhamento ou entrelaçamento) para descrever os sistemas quânticos com as propriedades descritas por EPR.

O emaranhamento quântico foi caracterizado por Schrödinger como “o traço definidor da MQ;” transcende o realismo local de EPR sem contradizer a causalidade relativista, porque não é manipulável para transmitir informação a velocidades super-luminais. Está na base da ideia que permitiu refutar a existência da tal outra hipotética realidade (as variáveis escondidas) por detrás da aparente aleatoriedade da MQ, quantificada pelas desigualdades de Bell, que as experiências de Clauser e Aspect - os outros dois laureados com o Nobel da Física 2022 - mostraram ser violadas. Estas experiências confirmam a não-localidade quântica como um traço inescapável - esta “fantasmagórica ação à distância” (nas palavras de Einstein) é um enorme desafio conceptual para a nossa intuição clássica.

Por outro lado, também baseado no emaranhamento quântico, Zeilinger tem liderado as experiências para demonstrar como mover um estado quântico de uma partícula para outra, longe da primeira. Não se pode observar um estado quântico sem interferir com ele - o que em geral o altera - e, nesse sentido, não se pode fotocopiar um estado quântico. O trabalho pioneiro de Zeilinger tem mostrado a praticidade de copiar o estado quântico (à custa de destruir o original) numa outra localização - um processo que é conhecido pela apelativa designação de teletransporte quântico. Mas desengane-se quem pensa no “Caminho das Estrelas” e numa viagem praticamente instantânea para paragens longínquas ao som de “*Beam me up Scotty*”. A velocidade deste processo de transmissão de informação quântica está limitada pela velocidade da luz (pois existe um elemento clássico na transmissão). O teletransporte quântico pode ser fundamental para futuras tecnologias, como a comunicação entre computadores quânticos.

O Nobel da Física 2022 premeia o inimaginável mundo quântico. Sem os dados experimentais que a motivaram, a MQ jamais teria sido proposta por puras excursões intelectuais, matemáticas ou teóricas. É demasiado estranha. Perguntar, por exemplo, pela física dos átomos em 1850, teria sido uma pergunta à frente do seu tempo, destinada ao falhanço na ausência da informação experimental, por exemplo, sobre os espectros atômicos. É legítimo questionar

se hoje não existem perguntas à frente do nosso tempo, que terão de aguardar por dados observacionais/experimentais para poderem ser atacadas com alguma hipótese de sucesso enquanto modelos da realidade física, por exemplo, as questões da gravitação quântica. Felizmente vivemos numa época de extraordinários desenvolvimentos observacionais, que nos faz acreditar que tais dados podem estar ao virar da esquina.

Entretanto, podemos adoptar a boa disposição de Zeilinger para encarar o que realmente acontece na experiência das duas fendas, adicionando a espirituosidade do basebolista norte-americano Yogi Berra (com desculpas por mais um anglicanismo): “*When You Come to a Fork in the Road ... Take It*”.



Figura 1 - Figura da experiência real de duas fendas com electrões, American Journal of Physics 57, 117 (1989)