

ciência **ABERTA**

ALAIN ASPECT

EINSTEIN

E AS

REVOLUÇÕES QUÂNTICAS

Tradução de Jorge Pereirinha Pires

NÃO-FICÇÃO · CIÊNCIA

ÍNDICE

Duas Revoluções Quânticas	9
A Primeira Revolução Quântica	13
A Dualidade Onda-Partícula	17
Os Sucessos da Teoria.	29
A Segunda Revolução Quântica	35
As Experiências de Medição de Entrelaçamento	43
Manipulação de Objectos Quânticos	53
Informação Quântica	57
Criptografia Quântica.	67
Conclusão.	73

DUAS REVOLUÇÕES QUÂNTICAS

Costuma dizer-se que o século xx foi marcado por duas grandes revoluções físicas: a relatividade e a física quântica. Ambas desafiaram radicalmente a imagem que nós tínhamos do mundo e as noções que se julgava estarem firmemente estabelecidas. Mas a física quântica, além disso, transformou radicalmente a nossa vida, e, de facto, pode-se falar de uma «revolução quântica», ao mesmo nível em que se pôde falar de uma «revolução industrial» no século xix com a invenção da máquina a vapor.

Porque a física quântica não alterou apenas os conceitos, mas também a sociedade

em que vivemos. Sem uma compreensão profunda do mundo quântico, os computadores, tal como os *lasers* que permitem a transmissão rápida de informação através das fibras ópticas, não teriam sido inventados. E a sociedade da informação e da comunicação, tal como a conhecemos, não existiria. Nenhum habilitado poderia ter inventado na sua garagem, na Califórnia ou em qualquer outro lugar, o *laser* e os circuitos integrados que estão na base dos computadores.

De facto, quando analisamos um pouco mais em detalhe a história da física quântica ao longo do século xx, apercebemo-nos de que não houve uma, mas duas revoluções quânticas. A primeira começa no início do século com Max Planck, e depois com Albert Einstein. Ela baseia-se na célebre dualidade onda-partícula, que alterou radicalmente toda a física e está na base de numerosas aplicações.

Por volta da década de 1960, poderá ter-se pensado que o assunto começava a esgotar-se. Ora, curiosamente, nesse momento compreendeu-se a importância de um conceito, até então sem dúvida subestimado, embora já estivesse identificado desde os anos 1930 por Einstein, e depois por Erwin Schrödinger: trata-se do entrelaçamento, que é radicalmente diferente da dualidade onda-partícula. A partir dos anos 1970, os progressos experimentais permitiram a realização de experiências muito mais apuradas sobre objetos quânticos individuais. Esses progressos deram origem à segunda revolução quântica, que se está a desenvolver diante dos nossos olhos. É dessas duas revoluções quânticas que se tratará aqui.

A PRIMEIRA REVOLUÇÃO QUÂNTICA

A primeira revolução quântica começa com o século xx, quando Planck descobre que, para explicar as propriedades da radiação que é emitida por um corpo aquecido, à qual se chama «radiação do corpo negro», era necessário admitir que as trocas de energia entre a matéria e a radiação não se fazem por quantidades infinitesimais, mas por pacotes de tamanho finito. É a isso que se chama quantificação das trocas de energia: não se pode transferir menos do que uma certa quantidade.

Em 1905, Einstein deu um passo ainda mais revolucionário. Ele descobriu que não

apenas as trocas de energia entre a radiação e a matéria se fazem por quantidades elementares, às quais chamamos «quanta», mas que a própria radiação é formada por grãos de energia. A esses grãos chamar-se-á mais tarde «fotões».

Esse passo conceptual é muito maior que o de Planck. Einstein deduziu imediatamente, para aquilo que é conhecido como o efeito fotoeléctrico (o qual permite que a radiação remova electrões da matéria), leis verdadeiramente surpreendentes, chocantes para os físicos clássicos, tão chocantes que, na época, ninguém acreditou nelas. Cerca de dez anos mais tarde, Robert Millikan, um reputado experimentador americano, leva a cabo experiências para demonstrar, como ele reconhece, a falsidade das previsões de Einstein. Ao fim de magníficas experiências, demoradas e difíceis, ele conclui que Einstein, afinal, tinha razão.

O júri do Nobel compreendeu bem o carácter revolucionário da hipótese de Einstein e outorga-lhe o prémio em 1921 pelas suas leis sobre o efeito fotoeléctrico – e não pela sua teoria da relatividade, ao contrário do que muitas vezes se julga.

Segundo Einstein, a radiação é constituída por grãos elementares de energia, uma espécie de partículas chamadas fótons. Não podemos, no entanto, esquecer as conquistas anteriores, particularmente as do século XIX. Físicos geniais, como Thomas Young em Inglaterra e Augustin Fresnel em França, demonstraram de maneira irrefutável que as numerosas propriedades da luz só podem ser explicadas se a luz for uma onda. Existem, nomeadamente, fenómenos de interferências e de difracção que só podem ser interpretados dessa maneira. E eis que Einstein afirma que ela é feita de partículas. Como conciliar as duas coisas? É essa a famosa dualidade onda-partícula, proposta por Einstein para a

luz a partir de 1909, e enunciada por Louis de Broglie para as partículas materiais na década de 1920. A dualidade para essas partículas é equacionada em dois formalismos matemáticos cuja correspondência é inicialmente difícil de compreender: por um lado, o de Erwin Schrödinger, o qual desenvolve uma equação de onda que rege a famosa função de onda, que descreve a evolução das partículas; por outro, o de Werner Heisenberg, que desenvolve a mecânica das matrizes. É preciso esperar alguns anos, com Schrödinger, e depois com Paul Dirac, para se compreender a equivalência entre estas duas abordagens. É somente no início da década de 1930 que um formalismo matemático unificador, inventado por Dirac, consegue explicar simultaneamente as propriedades ondulatórias e as propriedades corpusculares da luz, bem como, simetricamente, as propriedades como partículas e as propriedades como ondas das partículas materiais, por exemplo as dos electrões na matéria.