

Segredos da luz

Experimento mostra que informação quântica transmitida por fótons resiste aos efeitos da turbulência do ar

Igor Zolnerkevic

O interesse de Osvaldo Fariás pela influência da turbulência do ar na propagação da luz levou-o a visitar, há alguns anos, uma exposição em Nova York com o quadro *A noite estrelada*, de Vincent van Gogh (1853-1890). O físico do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro, queria ver de perto a famosa tela, alvo de estudos feitos por colegas físicos que analisaram suas formas geométricas e concluíram que os vórtices pincelados pelo pintor holandês possuem uma ordem matemática semelhante à das correntezas turbulentas de ar, da água e dos fluidos em geral. Esse paralelismo entre arte e ciência pode ser evocado para explicar um trabalho recente do pesquisador.

Da mesma forma que é possível reconhecer a luz distorcida das estrelas no firmamento retratado por Van Gogh, Fariás e uma equipe internacional de físicos demonstraram que, se forem codificadas quanticamente da maneira certa, as informações transportadas por um feixe de luz através da atmosfera turbulenta da Terra podem ser recuperadas. O resultado do estudo, publicado em fevereiro deste ano na revista *Scientific Reports*, abre caminho para o desenvolvimento de tecnologias de transmissão de mensagens confidenciais,

teoricamente à prova de espionagem, por meio de fontes de *laser* montadas em terra ou embarcadas em navios, aeronaves e satélites. “Nosso experimento foi uma prova de princípio”, explica Fariás. “Geramos e transmitimos os estados de luz necessários para implementar um protocolo de criptografia quântica.” Hoje existem sistemas comerciais de criptografia quântica, mas eles usam a rede de fibra óptica, e não a atmosfera, para transmitir dados.

A criptografia quântica é considerada mais segura do que a tradicional. É quase impossível ler ou copiar uma chave criptográfica transmitida por meio das propriedades quânticas das partículas que constituem a luz, os fótons. Diferentemente da criptografia clássica, a quântica permite ao receptor da chave, que depois será usada para decodificar uma mensagem secreta, descobrir qualquer tentativa de interceptação. Apesar da inviolabilidade teórica, a estratégia não se mostrou totalmente à prova de espionagem. Nos últimos anos, pesquisadores conseguiram violar sistemas comerciais que usam criptografia quântica.

A informação a ser transmitida nessas mensagens pode ser escrita em um código binário semelhante ao dos computadores usando uma propriedade quântica dos

fótons chamada de polarização. Essa propriedade pode ser visualizada como uma flecha apontando para um certo sentido – por exemplo, para cima ou para baixo. Assim, um fóton com flecha para cima poderia representar um *bit* de informação do tipo 0, enquanto um fóton de flecha para baixo, um *bit* do tipo 1. As leis da mecânica quântica permitem ainda que um fóton apresente uma superposição de estados. No contexto da criptografia, esse fenômeno, que diferencia o mundo clássico do quântico, tornaria impossível para um espião determinar qual estado foi enviado.

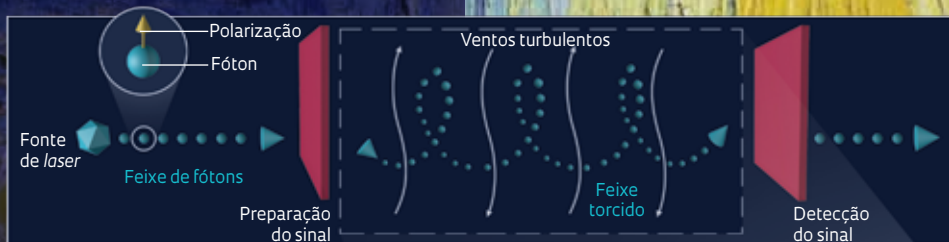
Há entretanto um problema em usar a polarização dos fótons dessa maneira. Tanto o emissor como o receptor da mensagem precisam concordar exatamente com as definições de “para cima” e “para baixo”. “Imagine um cenário de guerra em que alguém em terra precisa enviar uma mensagem secreta para um navio no mar”, sugere o físico Stephen Walborn, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), colaborador de Farias. “O balanço para esquerda e para direita do navio vai criar erros na recepção da mensagem.”

Para evitar esse problema, Walborn e o físico Leandro Aolita, também da UFRJ, propuseram em 2007 uma nova maneira de codificar a informação quântica. Eles perceberam que poderiam preparar dois estados diferentes de fótons para representar os *bits* 0 e 1, cuja aparência não muda quando o receptor da mensagem gira ou balança em relação ao emissor. Um 0 seria codificado por um fóton cuja fase espacial percorre uma trajetória em espiral, girando em sentido horário, enquanto sua polarização gira, na mesma proporção, em sentido anti-horário. O 1 seria codificado por um fóton com giro da fase e da polarização em sentidos contrários ao 0. “Esses estados não sofrem mudanças quando há rotações”, explica Walborn.

A ideia permaneceu como uma possibilidade teórica até 2011, quando Aolita e Walborn conheceram o físico Fabio Sciarrino, da Sapienza Universidade de Roma, Itália. O grupo de Sciarrino vem realizando experimentos com fótons de diferentes tipos de fases giratórias. Esses fótons são preparados dessa maneira quando um feixe de *laser* atravessa um filtro especial chamado de *q-plate*, desenvolvido pelo físico Lorenzo Marrucci, da Universidade de Nápoles Federico II, também na Itália. Os pesquisadores de-

MENSAGENS GIRATÓRIAS

Informação quântica sobrevive a viagem através de ar turbulento



cidiram colaborar em um experimento que usaria filtros *q-plate* tanto para gerar os fótons propostos por Walborn e Aolita quanto para detectá-los.

Farias colaborou com o experimento desenvolvendo um modo de simular em laboratório o efeito que a turbulência do ar teria sobre o feixe de fótons transmitindo a informação quântica. “A turbulência causada por flutuações da temperatura e da densidade do ar age como uma lente que distorce o feixe de luz de maneira aleatória, como as miragens sobre o asfalto quente”, explica Farias. “Construí uma máquina que mistura, por meio de ventiladores, o ar aquecido por resistências elétricas com o ar frio do laboratório. Quanto maior a diferença de temperatura entre o ar quente e o frio, maior o grau de turbulência. Assim, a máquina simula o efeito da propagação da luz por alguns quilômetros de ar.”

Com o experimento, os pesquisadores provaram que o esquema de Walborn e Aolita funciona. Verificaram que, embora a turbulência distorça o feixe *laser*, o filtro *q-plate* receptor consegue captar fótons que preservaram sua informação quântica. “Mostramos que a informação detectada é confiável”, diz Farias.

“A possibilidade de transmitir informação quântica codificada em estados que não dependam do alinhamento relativo entre o transmissor e o receptor é interessante para aplicações envolvendo estações móveis”, comenta Carlos Monken, especialista em óptica quântica e turbulência da Universidade Federal de Minas Gerais. ■



BIT-0

Feixe gira em sentido horário e polarização, em sentido anti-horário

BIT-1

Feixe gira em sentido anti-horário e a polarização, em sentido horário

Preparadas por um filtro especial, combinações de rotação da trajetória e da polarização dos fótons de um feixe de luz podem representar os *bits* 0 e 1 de um sinal. A turbulência do ar no caminho distorce a rotação de vários dos fótons. Mesmo assim, alguns sobrevivem à viagem e preservam a informação detectada

Artigo científico

FARIAS, O. J. *et al.* Resilience of hybrid optical angular momentum qubits to turbulence. *Scientific Reports*, fev. 2015.