

Od dawna marzeniem ludzkości jest możliwość natychmiastowego przenoszenia się z miejsca na miejsce. Znanym (no, może nie wszystkim) przypadkiem teleportacji była podróż pewnego studenta Uniwersytetu Warszawskiego z bocznicą kolejową w Zakopanem na bocznicę kolejową na Grochowie, bez jakiegokolwiek śladu w jego świadomości. Niestety, ponieważ informacja o tym sukcesie nie została opublikowana, pierwszeństwo przypadnie Antonowi Zilingerowi z Wiednia oraz Francesco De Martini z Rzymu, których zespoły doprowadziły (niezależnie) do doświadczalnego potwierdzenia kwantowej teleportacji, jak donosi *Nature* z 11 grudnia 1997 roku.

Żyjemy w świecie kwantowym, którego podstawową cechą jest brak możliwości uzyskania pełnej informacji o stanie jego dowolnej części (nie licząc potwierdzających regułę wyjątków). Dowiadując się czegoś automatycznie gubimy informację komplementarną. Nie potrafimy przekonać się np. jakbyśmy czuli się po zjedzeniu danego pączka raz świeżego, a raz czerstwego, bo nie możemy go zjeść dwa razy.

Aby uściślić nasze rozważania, rozpatrzmy układ kwantowy, który może znajdować się w dowolnej superpozycji dwóch ortogonalnych stanów bazowych

$$(1) \quad |\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle,$$

gdzie  $\alpha$  i  $\beta$  są dowolnymi liczbami zespolonymi spełniającymi warunek  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ . Przykładem może być polaryzacja fotonu. Niech  $|0\rangle$  odpowiada polaryzacji horyzontalnej, a  $|1\rangle$  wertykalnej. Aby zbadać polaryzację fotonu w stanie  $|\psi\rangle$ , możemy skierować go na płytkę półprzepuszczalną, która przepuszcza (odbija) fotony o polaryzacji horyzontalnej (odpowiednio wertykalnej). Nasz foton zostanie przepuszczony (odpowiednio odbity) z prawdopodobieństwem  $|\alpha|^2$  (odpowiednio  $|\beta|^2$ ), przechodząc jednocześnie do stanu  $|0\rangle$  (odpowiednio  $|1\rangle$ ). Dowiedzieliśmy się jedynie, że foton miał niezerową polaryzację horyzontalną (odpowiednio wertykalną), a pączek już zjedzony.

Powyższy przykład uzmysławia trudności, jakie napotykamy przy próbie poznania stanu kwantowego. Okazuje się jednak, że o ile tylko nie jesteśmy zbyt wścibscy, to mechanika kwantowa pozwala nam na robienie rzeczy naprawdę zadziwiających. W szczególności, jeżeli zrezygnujemy z poznania polaryzacji fotonu, to w odpowiednich warunkach możemy spowodować jego zniknięcie i pojawienie się w zupełnie innym, dowolnie odległym miejscu czasoprzestrzeni.

Aby dokonać kwantowej teleportacji fotonu 1 w stanie opisanym równaniem (1), potrzebne jest przygotowanie układu dwóch kwantowo skorelowanych fotonów 2 i 3 znajdujących się w całkowicie

antysymetrycznym stanie

$$(2) \quad |\Psi^-\rangle_{23} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_2|1\rangle_3 - |1\rangle_2|0\rangle_3).$$

Stan ten nie zawiera żadnej informacji o polaryzacji fotonów 2 i 3 z osobna. Mówi tylko, że polaryzacje te są ortogonalne. W następnym kroku należy przeprowadzić fotony 1 i 2 do analogicznego stanu  $|\Psi^-\rangle_{12}$ . W tym momencie tracimy informację o indywidualnej polaryzacji fotonów 1 i 2. Wiemy tylko, że są ortogonalne, tzn. że znaleźliśmy foton 2 w stanie ortogonalnym do fotonu 1, ale wtedy foton 3 też musiał być w stanie ortogonalnym do fotonu 2. Jest to możliwe, tylko jeżeli foton 3 ma teraz polaryzację identyczną z początkową polaryzacją fotonu 1. Można to zapisać jako

$$(3) \quad (\alpha|0\rangle_1 + \beta|1\rangle_1)|\Psi^-\rangle_{23} \rightarrow |\Psi^-\rangle_{12}(\alpha|0\rangle_3 + \beta|1\rangle_3),$$

czyli: foton 1 „stopił się” z fotonem 2 w antisymetrycznym skorelowanym stanie kwantowym  $|\Psi^-\rangle_{12}$ , pojawiając się jednocześnie jako foton 3.

Już widzę, jak wielbiciele science-fiction zacierają ręce. Nie tak szybko. Co prawda kwantowa teleportacja jest sprzeczna z tzw. zdrowym, czyli niekwantowym rozsądkiem, ale nie powoduje np. przekazywania informacji z prędkością większą niż prędkość światła. Powodem jest to, że choć zawsze można „stopić” dwa fotony (o tej samej energii), to tylko raz na cztery razy znajdują się one w antisymetrycznym stanie  $|\Psi^-\rangle$  (baza układu polaryzacji dwóch fotonów jest czteroelementowa). W takim razie odbiorca fotonu 3, aby mieć pewność co do jego autentyczności, musi poczekać na wiadomość przesłaną zwykłą pocztą o tym, w jakim stanie znalazł się układ fotonów 1 i 2.

W praktycznej realizacji kwantowej teleportacji najważniejsze jest umiejętne „stopienie” fotonów 1 i 2. Aby tego dokonać, należy spowodować, by stały się one nierozróżnialne. Zespół wiedeński doprowadził do tego kierując je jednocześnie, z kierunków prostopadłych S i E, na płytkę półprzepuszczalną umieszczoną na linii SE-NW. Z mechaniki kwantowej wynika, że zarejestrowanie ich po jednym w kierunku W i N jest możliwe tylko dla stanu antisymetrycznego (w pozostałych trzech przypadkach oba fotony pojawią się albo w kierunku W, albo w kierunku N). Wystarczyło więc zaobserwować korelację odpowiedzi detektorów umieszczonych w W i N, aby mieć pewność, że foton 1 zamienił się na foton 3.

Po dalsze szczegóły oraz materiał do zastanawiania się nad „rozsądkiem kwantowym” odsyłam do *Nature* oraz cytowanej tam literatury, obiecując, że jeszcze do tego wrócimy. A póki co proponuję nie udawać fotonów i ze środków komunikacji zbiorowej korzystać w sposób świadomy.

Piotr ZALEWSKI

na podstawie *Nature* 390 (1997) 551-552; 575-579