

## Dziesięć kilo splątanych kubitów

Kwantowy komputer ma (potencjalnie) umożliwić (przybliżone) przeprowadzanie rachunków, na które ani piasku (krzemu), ani czasu nie wystarczy w całym kosmosie. Nie jest wykluczone, że (nie tylko ludzki) mózg jest takim komputerem, ale nawet jeżeli tak, to nie mamy do niego odpowiedniego międzymordzia.

Podstawowym wyzwaniem w realizacji kwantowego komputera jest liczba kubitów, które udaje się kwantowo splątać. Możliwości obliczeniowe skalują się wykładniczo z tą liczbą. Na razie udało się doliczyć do kilkunastu. Jest, co prawda, firma D-Wave, która nazywa sama siebie „The Quantum Computing Company” i która twierdzi, że ma 512-kubitowy procesor. Jednak, choć jej pracownicy publikują w najbardziej poważanych recenzowanych periodykach (np. [1]), to społeczność naukowa nie jest do końca przekonana, że jest to prawdziwy komputer kwantowy. Należy sobie jednak zdawać sprawę, że celem D-Wave jest doprowadzenie do praktycznego wykorzystywania obliczeń kwantowych. Strategia firmy polega bardziej na patentowaniu kolejnych rozwiązań technologicznych niż na publikowaniu osiągnięć. Informacje na temat działalności D-Wave można znaleźć na ich portalu [2].

Najnowsza inkarnacja komputera kwantowego *D-Wave Two* jest czarnym sześcianiem o boku kilku metrów, w którym ukrywa się procesor o powierzchni milimetra kwadratowego, schłodzony do temperatury 20 mK. Kubity i ich splątanie jest realizowane za pomocą nadprzewodzących obwodów. Temperatura tak bliska bezwzględemu zeru nie jest niczym zaskakującym. Jeżeli jednak jest ona warunkiem koniecznym kwantowych rachunków, to mózg nie może być komputerem kwantowym. Nie jest to jednak jedyna droga do kwantowych obliczeń.

Kubitem może być każdy system kwantowy o dwóch stanach, dla których możliwa jest superpozycja. Mogą to być impulsy świetlne. O tym, jak bardzo doceniane jest tego typu podejście do problemu, może świadczyć chociażby Nagroda Nobla z fizyki za rok 2012 (*Aktualności 12/2012*).

Kolejnym przełomem w tej dziedzinie może okazać się praca [3], w której zaprezentowano wyniki splątania dziesięciu tysięcy kubitów, rozróżnianych za pomocą separacji czasowej.

Pomysł jest bardzo prosty. Najpierw tworzone są dwie wiązki tzw. stanów ściśniętych światła. Są to stany, dla których iloczyn nieoznaczoności położenia i pędu jest minimalny. Kolejne paczki w każdej z wiązek występują w stałym odstępnie czasowym  $T$ . Każda taka paczka jest niezależnym kubitem. Następnie kolejne pary są sukcesywnie splątane za pomocą kierowania ich na płytkę półprzewodzącą. Kolejnym etapem jest opóźnienie jednej z wiązek o  $T$  i ponowne splątanie za pomocą drugiej płytki półprzewodzącej. W ten sposób powstaje sieć kubitów, z których każdy jest splątany z czterema innymi. Wynik został nazwany „rozszerzonym stanem EPR” (ang. *extended EPR* – XEPR) i może być tzw. stanem źródłowym umożliwiającym przeprowadzenie tzw. jednokierunkowego obliczenia kwantowego (ang. *measurement-based quantum computation (MBQC)* lub *one-way QC*), za pomocą którego można (przynajmniej teoretycznie) zaimplementować dowolne obliczenie kwantowe (podobnie jak dowolny klasyczny algorytm można wykonać za pomocą maszyny Turinga).

W pracy [3] udokumentowane jest efektywne splątanie około 10 tysięcy kubitów. Ciekawe w tym podejściu jest to, że splątanie obejmuje kubity, które fizycznie nie współistnieją, bo na końcu obu torów sygnałowych stany kubitów są mierzone, co kończy ich żywot. Splątanie kwantowe należy rozumieć jako sukcesywną (wsteczną) teleportację kwantową zachodzącą na drugiej płytce półprzewodzącej.

Jak będzie wyglądał komputer kwantowy, jeszcze nie wiadomo. Obecną sytuację można porównać do pierwszych sterowców wykonujących loty komercyjne. Były to urządzenia niewątpliwie użyteczne i bez dwóch zdań wprowadzały zupełnie nową jakość poprzez użycie trzeciego wymiaru przestrzeni. Historia awiacji potoczyła się jednak jeszcze inaczej.

Piotr ZALEWSKI

[1] N.G. Dickson i inni (prawie wszyscy z *D-Wave Systems Inc.*), *Thermally assisted quantum annealing of a 16-qubit problem*, Nature Communications 4, 1903, doi:10.1038/ncomms2920, maj 2013.

[2] <http://www.dwavesys.com/en/deep-dive.html>.

[3] Shota Yokoyama, Ryuji Ukai, Seiji C. Armstrong, Chanond Sornphiphatphong, Toshiyuki Kaji, Shigenari Suzuki, Jun-ichi Yoshikawa, Hidehiro Yonezawa, Nicolas C. Menicucci i Akira Furusawa, *Ultra-large-scale continuous-variable cluster states multiplexed in the time domain*, Nature Photonics (2013), doi:10.1038/nphoton.2013.287.