

## Wyplatanie komputera kwantowego

Wyplatanie było ważnym osiągnięciem technologicznym, dzięki któremu tworzono powrozy, koszyki, łapcie, płoty, tkaniny itp. Z drugiej strony czynność ta nie zawsze była poważana, o czym świadczy powiedzenie „pleść trzy po trzy”.

Komputery kwantowe (KK) okazują się łączyć oba aspekty pleceni. Patrząc z tej drugiej strony, specjaliści obiecują wiele, albo i więcej, ale dopiero (albo „i to już”) jutro [1]. Nie wiadomo jednak, z czego KK miałyby być ostatecznie wyrzeźbiony.

Podejścia są w zasadzie trzy, choć kryteria tego podziału nie są jednolite. Parafrazując, można powiedzieć, że KK może być np. zielony, kwadratowy lub konopny.

Jeden odłam to podejście „analogowo-kwantowe”, które już jest wykorzystywane praktycznie np. przez D-Wave (patrz str. 12). Drugie to dążenie do wykazania tzw. przewagi kwantowej [2] za pomocą relatywnie małych macierzy kubitów (np.  $7 \times 7$ ). Układy te mają, w zasadzie, działać według standardowego modelu obliczeń kwantowych (patrz str. 1–3). To, czego im będzie brakować, to korekcja błędów, która wymaga nadmiarowej liczby kubitów. Google twierdzi, że to już znajdzie zastosowanie praktyczne czy wręcz komercyjne, a usługę chce świadczyć poprzez chmurę [3]. W tym podejściu sprawą nadal otwartą jest technologia tworzenia kubitów (Google ma konkurentów).

O ostatnim podejściu jeszcze w tym numerze *Delty* nie pisaliśmy. Chodzi o tytułowe wyplatanie, czyli topologiczny komputer kwantowy. Jest to coś, co ma szansę rozwiązać wszystkie problemy, tylko na razie nie wiadomo, czy to, z czego ma zostać wypleciony, w ogóle istnieje, albo czy to, co wygląda na istniejące, jest tym, czym się być wydaje.

Za ojca chrzestnego tego nurtu można uznać Kitajewa [4], który właśnie za to został pięć lat temu jednym z pierwszych laureatów *Fundamental Physics Prize* ( $\Delta_{13}^2$ ). Chodzi o jeden ze sposobów wykorzystania *topologicznych stanów materii* (TSM), za odkrycie których przyznano zeszłoroczną *Nagrodę Nobla z Fizyki* ( $\Delta_{17}^1$ ).

Nibymateriałem potrzebnym do tej plecienki mają być anyony i to koniecznie w postaci nieabelowego TSM, a najlepszym kandydatem na te nibycząstki (pseudocząstki, kwazicząstki) wydają się być fermiony Majorany.

O co dokładnie chodzi, nie napiszę. Mógłbym zasugerować, że nie ma tu wystarczająco dużo miejsca, ale powód jest dużo prostszy – nie czuję się kompetentny. Polecam natomiast opracowanie [5], przynajmniej jeżeli chodzi o sam anyonowy TSM. Można też zapoznać się z amerykańskim patentem [6].

Anyony to kolektywne ekscytacje w materii o obniżonej liczbie wymiarów. W trójwymiarze identyczne (niby)cząstki mogą być albo fermi-onami, albo bos-onami, dla których podwójna zamiana cząstek jest operacją albo antysymetryczną (faza  $e^{i\pi}$ ), albo symetryczną ( $e^{i0}$ ), bo linie świata cząstek nie zapętłają się – w przeciwieństwie do sytuacji w dwóch wymiarach. Dlatego faza może

być tam dowolna ( $e^{i\theta}$ ) i stąd nazwa: any-on. Zaplatanie anyonów jest opisywane za pomocą (nieabelowej) grupy warkoczowej zamiast uboższej grupy permutacji.

Fermiony Majorany, o które w kontekście KK budowanego z TSM chodzi, to nibycząstki będące połączeniem połowy elektronu z połową dziury. Nie mają ładunku, nie mają masy, są swoimi własnymi antycząstkami i występują parami. Powinny się pojawiać w jednowymiarowych nadprzewodnikach z polem magnetycznym skierowanym wzdłuż nich. Przewidziało to prawie jednocześnie kilka grup teoretycznych w 2010 roku, a pierwsze potwierdzenie uzyskano dwa lata później [7]. Niedawno (innymi metodami) otrzymano wyniki [8–10] na tyle wyraźne, że idea budowy KK z fermionów Majorany wydaje się być w zasięgu ręki (optymistom, którzy przy okazji obiecują międzymordzie w Visual Studio [11]). Wymyślenie, dlaczego nibycząstki pojawiające się w jednowymiarowych materiałach też mogą być anyonami, warte było części zeszłorocznej Nagrody Nobla z Fizyki.

Ich fantastyczną cechą (z punktu widzenia budowy KK) jest to, że żyją na dwóch końcach nanodrutu z nadprzewodnika. Ta ich „topologiczność” powoduje, że są niewrażliwe na zakłócenia, które nieuchronnie prowadziłyby do dekoherencji zbudowanego z nich kubitów. W ten sposób podstawowe ograniczenie związane z rzeźbieniem kubitów znika przy ich plecieniu (według optymistów).

Sytuacja jednak jest taka, że na razie mamy coś, co być może jest włóczką, a już sprzedają nam arras. Głównym sponsorem rozproszonego warsztatu tkackiego jest Microsoft. Środków raczej nie zabraknie, ale czy międzymordzie będzie działać, to ja nie wiem.

Piotr ZALEWSKI

- [1] D. Castelvecchi; *Quantum computers ready to leap out of the lab*; *News in Focus, Nature*, **541**, 9, 5 stycznia 2017
- [2] S. Boixo *inini*; *Characterizing Quantum Supremacy in Near-Term Devices*, arXiv:1608.00263v3 [quant-ph]; 6 kwietnia 2017
- [3] M. Mohseni, P. Read oraz H. Neven; *Commercialize early quantum technologies*; *Comment, Nature* **543**, 171, 9 marca 2017
- [4] A. Yu. Kitaev; *Fault tolerant quantum computation by anyons*; quant-ph/9707021, *Annals Phys.* **303**(1998)2-30
- [5] Ch. Nayak, S. H. Simon, A. Stern M. Freedman oraz S. Das Sarma; *Non-Abelian Anyons and Topological Quantum Computation*; arXiv:0707.1889v2 [cond-mat.str-el], 28 marca 2008
- [6] M. Freedman, Ch. Nayak oraz S. Das Sarma; Microsoft Corporation; *Quasi-Particle Interferometry for Logical Gates*; Patent: US 7,394,092 B2; 1 lipca 2008
- [7] V. Mourik *inini*; *Signatures of Majorana Fermions in Hybrid Superconductor-Semiconductor Nanowire Devices*; *Science* **336** 1003, 25 maja 2012
- [8] J. Kammerhuber *inini*; *Conductance through a helical state in an indium antimonide nanowire*; *Nature Communications* **8**; 7 września 2017; doi:10.1038/s41467-017-00315-y
- [9] F. Nichele *inini*; *Scaling of Majorana Zero-Bias Conductance Peaks*; *Phys. Rev. Lett.*, **119**, 136803; 27 września 2017; doi:10.1103/PhysRevLett.119.136803
- [10] S. Jeon *inini*; *Distinguishing a Majorana zero mode using spin-resolved measurements*; *Science*, eaan3670; 12 października 2017; doi:10.1126/science.aan3670;
- [11] A. Linn; *With new Microsoft breakthroughs, general purpose quantum computing moves closer to reality*; news.microsoft.com/features/new-microsoft-breakthroughs-general-purpose-quantum-computing-moves-closer-reality; 25 września 2017