

7 RZECZY, KTÓRE ZMIENI KOMPUTER KWANTOWY

Komputer kwantowy, kiedy już powstanie, raczej nie trafi pod strzechy. Ale nawet zaledwie kilka maszyn tego typu działających na Ziemi **może** całkowicie zmienić przyszłość naszej cywilizacji

Jan Stradowski, Marcin Bójko

1 LOGISTYKA
Szybsze dostawy,
mniej korków

2 CHEMIA
Ekologiczne nawozy,
skuteczniejsze leki

3 FIZYKA
Nowa energia,
nowe cząstki

4 PROGNOZY
Modelowanie
mózgu i ekonomii



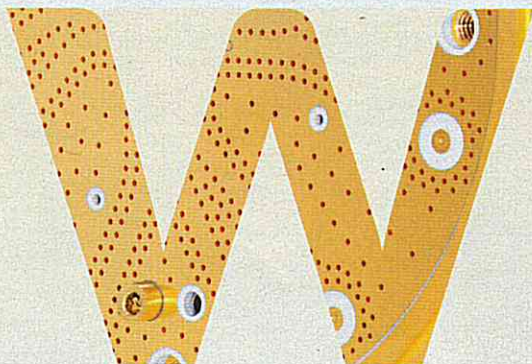
IBM Q System One – jeden z pierwszych komercyjnie dostępnych komputerów kwantowych na świecie – ma rozmiary podobne do dużej szafy. Całość jest zamknięta w hermetycznym szklanym sześcianie o boku długości 275 cm. Ten komputer zawiera 20 kwantowych bitów, zwanych kubitami, i służy wyłącznie do celów naukowych. Dostęp do niego jest możliwy zdalnie, za pośrednictwem internetu.

5 KOMPUTERY
Szybsza i skuteczniejsza
sztuczna inteligencja

6 KOMUNIKACJA
Szyfrowanie
nie do złamania

7 KOSMOLOGIA
Poszukiwanie wszechświatów
równoległych

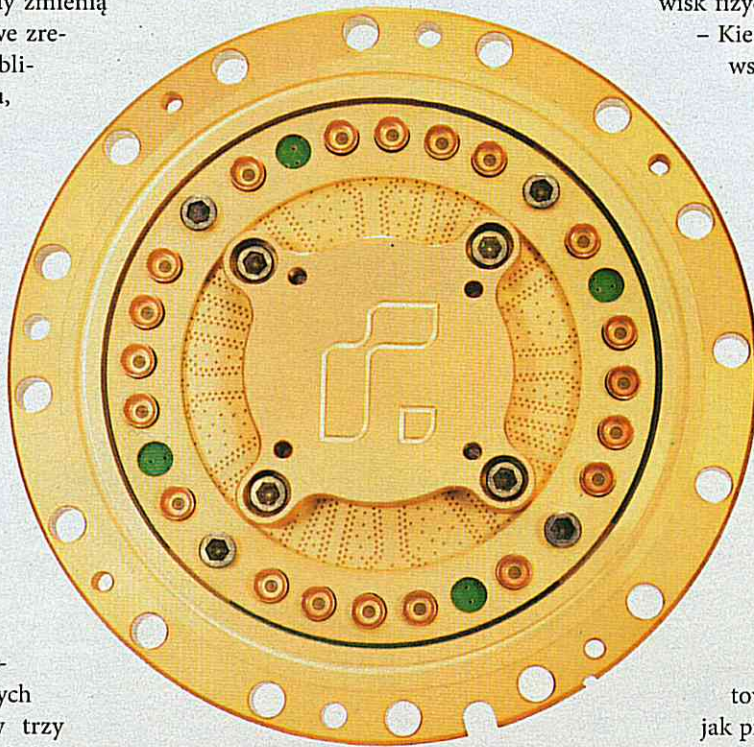
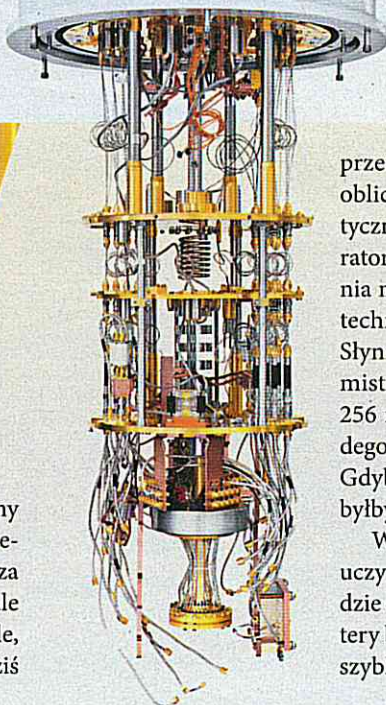




W 1943 r. Thomas Watson, ówczesny szef firmy IBM twierdził, iż na całym świecie będzie zapotrzebowanie może na pięć komputerów. Jego prognoza nie sprawdziła się i do dziś jest wyśmiewana, ale mogło tkwić w niej ziarno prawdy. IBM, Google, Microsoft, Alibaba i kilka innych firm pracuje dziś nad prototypowymi komputerami kwantowymi, które w ciągu dekady zmienią świat. „Obliczenia kwantowe zrewolucjonizują technikę obliczeniową w takim stopniu, jak wyzwolenie energii jądrowej odmieniło oblicze energetyki i zbrojeń” – przewidywał George Johnson w wydanej 17 lat temu książce „Na skróty przez czas”.

Ta wizja jest coraz bliższa realizacji. Niedawno zespół badaczy z Google ogłosił, że osiągnął tzw. kwantową supremację. Zbudowany przez nich komputer kwantowy zwany Sycamore pierwszy raz okazał się szybszy niż klasyczna maszyna bazująca na krzemowych procesorach. Sycamore w trzy minuty i 20 sekund wykonał obliczenia, na które wykorzystywany przez NASA superkomputer Summit musiałby przeznaczyć 10 tys. lat. I choć specjaliści z konkurencyjnego IBM twierdzą, że przewaga maszyny kwantowej wcale nie była tak duża, to sami przyznają, że przyszłość informatyki w dużym stopniu należy do takich właśnie rozwiązań.

Nasza cywilizacja funkcjonuje dziś w dużym stopniu dzięki komputerom i danym, które one



Choć sam **procesor kwantowy** (powyżej) jest stosunkowo niewielki, do działania potrzebuje sporych rozmiarów **aparatury chłodzącej** (u góry).

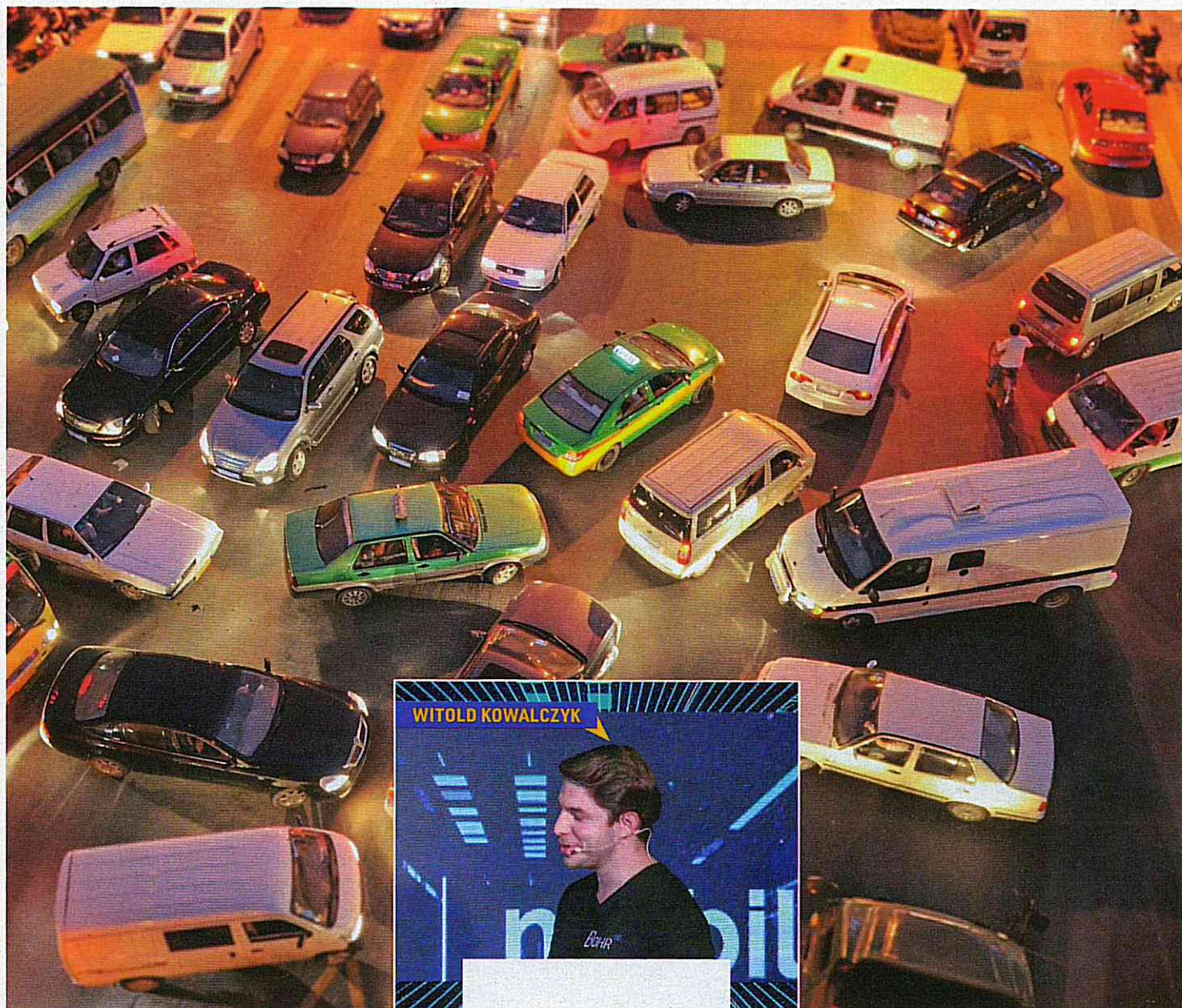
przetwarzają. A gdy potrzebna jest wielka moc obliczeniowa – tak jak przy przeliczaniu gigantycznych ilości danych produkowanych w akceleratorach CERN lub podczas symulowania działania mózgu w komputerze – stosowana dotychczas technologia krzemowa przestaje się sprawdzać. Słynny Deep Blue, który w 1997 r. pokonał arcymistrza szachowego Garriego Kasparowa, miał 256 mikroprocesorów, a przed wykonaniem każdego ruchu analizował 25 mln możliwych pozycji. Gdyby zbudowano go z procesorów kwantowych, byłby 25 mln razy szybszy!

Wielkie firmy wiedzą, że ten, kto pierwszy nauczy się wykonywać kwantowe obliczenia, zdobędzie ogromną przewagę nad konkurencją. Komputery bazujące na tej technologii będą mogły bardzo szybko przeszukiwać ogromne ilości danych. Pozwolą też na modelowanie złożonych zjawisk fizycznych czy biochemicznych.

– Kiedy w połowie XX wieku powstawały pierwsze tranzystory, uczeni nie mieli jeszcze pojęcia, do czego mogą zostać wykorzystane. Na pewno by nie przewidzieli, że dzięki nim powstaną np. smartfony. Dziś jesteśmy w podobnej sytuacji – mówi Todd Holmdahl, wiceprezes Microsoftu nadzorujący prace nad technologiami kwantowymi.

Póki co jednak takich komputerów jest na świecie zaledwie kilka. Dostęp do nich mają uczeni i informatycy, którzy próbują udoskonalić kwantowe maszyny i nauczyć się, jak pisać na nie oprogramowanie.

– W przyszłości raczej nie będziemy mieli takich komputerów we własnym domu czy w kieszeni. Te maszyny będą dostępne zdalnie, przez internet i tylko wtedy, gdy będą niezbędnie konieczne do przeprowadzenia skomplikowanych obliczeń – przyznaje dr Talia Gershon, dyrektor działu strategii badań w IBM. Możliwe więc, że przepowiednia Thomasa Watsona w pewnym sensie się spełni. Ale gdy to nastąpi, naszą cywilizację czekają przełomowe zmiany.



1 LOGISTYKA

Szybsze dostawy, mniej korków

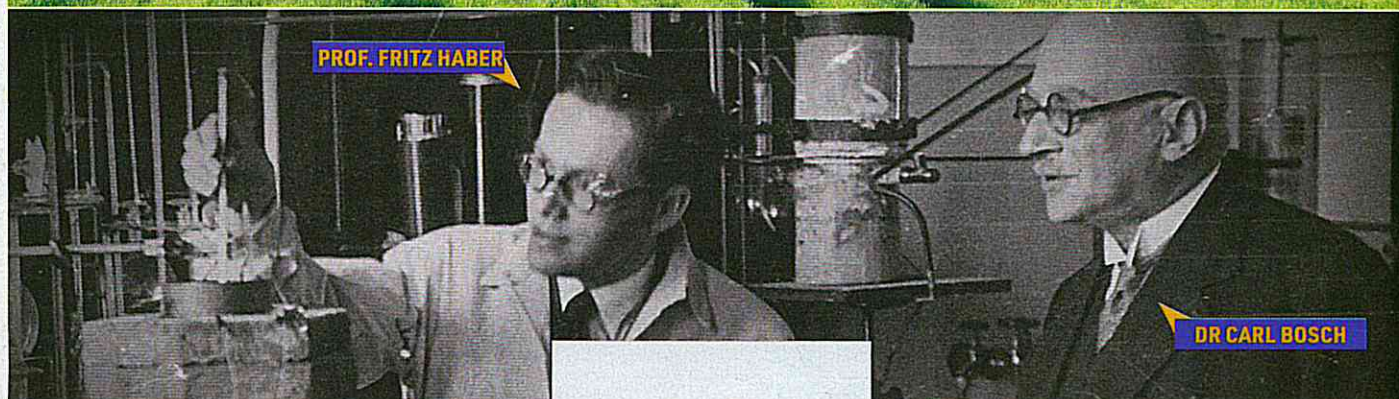
Superkomputery potrafią dziś modelować złożone zjawiska klimatyczne i badać zjawiska zachodzące podczas gwałtownych zderzeń cząstek elementarnych. Ale gdyby miały znaleźć najkrótszą drogę łączącą 25 miast – czyli wykonać zadanie, z którym musi się zmagać codziennie szef każdej dużej firmy kurierskiej, zwane w matematyce problemem komiwojażera – zajęłoby im to dziesięciolecia. Dlatego logistyka w dużym stopniu wciąż opiera się na ludzkiej intuicji, a nie na matematyce.

Komputery kwantowe radzą sobie z takimi zadaniami obliczeniowymi znacznie lepiej niż klasyczne.

Czy komputery kwantowe pomogą w rozładowaniu korków ulicznych? Nad takim rozwiązaniem pracowała m.in. polska firma Bohr Technology, kierowana przez **Witolda Kowalczyka**.

I zdaniem ekspertów jest to jeden z pierwszych rzeczywistych problemów, z jakim się zmierzą w najbliższych latach. Ustalając najlepsze trasy dojazdu, pomogą nie tylko firmom kurierskim czy flotom ciężarówek dostawczych, ale też zwykłym kierowcom korzystającym z samochodowej nawigacji.

Z podobnych powodów tą technologią interesują się motoryzacyjni giganci, tacy jak Daimler AG czy Volkswagen. Kwantowe obliczenia mają wspierać w przyszłości samochody autonomiczne i usprawniać kursowanie autobusów w miastach. Nad stworzeniem symulatora ruchu miejskiego pracowała też polska Bohr Technology. – Nasz system pomoże rozwiązać problemy z optymalizacją ruchu miejskiego, ustawieniem świateł czy działaniem nawigacji GPS w samochodach. W tym celu będziemy wykorzystywać sztuczną inteligencję i komputer kwantowy – zapowiadał Witold Kowalczyk, prezes firmy. Niestety, rok temu zakończyła ona swą działalność.



2 CHEMIA Ekologiczne nawozy, skuteczniejsze leki

Wybitny fizyk Richard Feynman powiedział kiedyś, że aby naprawdę zrozumieć naturę, potrzebujemy fizyki kwantowej. Ma to zastosowanie zwłaszcza w chemii, która opisuje wszak reakcje zachodzące między poszczególnymi atomami i cząsteczkami – a więc tam, gdzie działają prawa fizyki kwantowej. Nawet w stosunkowo nieskomplikowanych procesach chemicznych biorą udział miliardy takich elementów jednocześnie. Symulowanie ich za pomocą komputerów dało początek nowej dziedzinie, zwanej chemoinformatyką.

Jednak takie obliczenia na klasycznych komputerach są niezwykle skomplikowane. Dość powiedzieć, że aby opisać zachowanie jednej tylko cząsteczki wody, informatycy potrzebują 16 tys. bitów. Na komputerze kwantowym wystarczyłoby zaledwie 24 kwantowe bity, zwane kubitami. Obecnie najlepsze maszyny tego typu dysponują ok. 50 kubitami.

To wciąż za mało, by doprowadzić do przełomu w chemoinformatyce, ale może on nastąpić już za kilka lat. Naukowcy twierdzą, że komputer dysponują-

Rośliny do wzrostu potrzebują azotu, który możemy im dostarczyć w formie sztucznego nawozu. Do jego produkcji wykorzystywana jest reakcja opracowana przez dwóch niemieckich chemików **prof. Fritz Habera i dr. Carla Boscha** w 1910 r. Komputery kwantowe mogą pomóc w znalezieniu lepszej metody produkcji nawozów.

cy 100 kubitami pozwoli już na modelowanie reakcji chemicznych, takich jak tzw. metoda Habera i Boscha. Służy ona m.in. do produkcji nawozów sztucznych, bez których nie może się obejść współczesne rolnictwo. Usprawnienie tych reakcji dałoby ogromne korzyści finansowe, a jednocześnie pomogłoby nam walczyć z katastrofą klimatyczną. Sama tylko metoda Habera i Boscha odpowiada za co najmniej 1 proc. emisji dwutlenku węgla do atmosfery przez naszą cywilizację.

Komputery kwantowe mogą pomóc naukowcom pracującym nad innymi zjawiskami chemicznymi. Ogromnej mocy obliczeniowej wymaga modelowanie cząsteczek nowych leków, których działanie można sprawdzać za pomocą symulacji komputerowych, ograniczając eksperymenty na zwierzętach. Podobnych narzędzi potrzebują naukowcy opracowujący nowe nadprzewodniki – dzięki nim możliwe byłoby ograniczenie strat energii podczas przesyłania jej na duże odległości i wprowadzenie na dużą skalę pociągów poruszających się na poduszce magnetycznej.

Nic dziwnego, że technologia ta budzi już dziś zainteresowanie przemysłu. Gdy niedawno Microsoft ogłosił, że pozwoli programistom na dostęp do komputerów kwantowych przez internet, czyli w chmurze Azure Quantum, jednym z pierwszych stojących w kolejce klientów był amerykański Dow Chemical Company, jeden z trzech największych koncernów chemicznych na świecie.

3 FIZYKA

Nowa energia i cząstki elementarne

Na większą moc obliczeniową czekają także fizycy. Potrzebują jej do modelowania skomplikowanych, chaotycznych zjawisk zachodzących w świecie cząstek elementarnych. Przykładem może być projektowanie reaktorów termojądrowych mających dostarczać ogromnych ilości energii. Wymaga to podgrzewania atomów do ogromnych temperatur i ściskania ich z użyciem pola magnetycznego. Modelowaniem tego procesu zajmują się dziś potężne komputery, ale nadal bez powodzenia. Możliwe, że zadaniu temu sprostają dopiero maszyny kwantowe.

Innego przełomu w fizyce mogą dokonać specjaliści z Microsoftu zatrudnieni w specjalnym laboratorium

Microsoft zatrudnił zespół wybitnych specjalistów od fizyki kwantowej pod kierownictwem **prof. Michaela Freedmana**, by opracować zupełnie nowy rodzaj komputera. Ma on działać w oparciu o cząstki, których istnienie wciąż nie zostało potwierdzone.

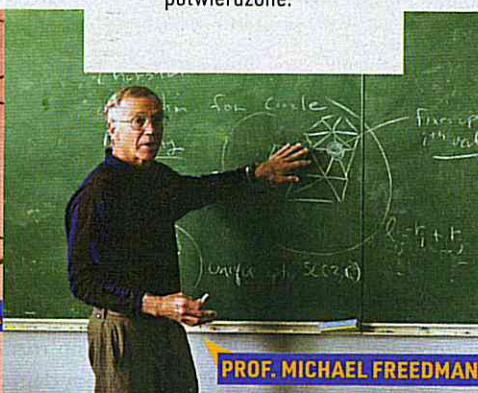
firmy pod nazwą Station Q. Komputer kwantowy, nad którym pracują, ma wykonywać obliczenia dzięki tzw. enionom. To cząstki, które pojawiają się wskutek oddziaływania między elektronami w niskich temperaturach.

Enion zachowuje się jednocześnie jak elektron i antyelektron, co daje uczonym nowe możliwości zbudowania komputera kwantowego. – Eniony nie są materialne, ale przecież cząstki powstające podczas eksperymentów w akceleratorach takich jak działające w CERN-ie też nie są. Ważne, że takie zjawiska można zmierzyć i wykorzystać do wykonywania obliczeń – wyjaśnia Alex Bocharov, matematyk i informatyk ze Station Q. Faktem jest jednak, że istnienia tych enionów, które chce wykorzystać Microsoft, do dziś nie udało się jednoznacznie potwierdzić.

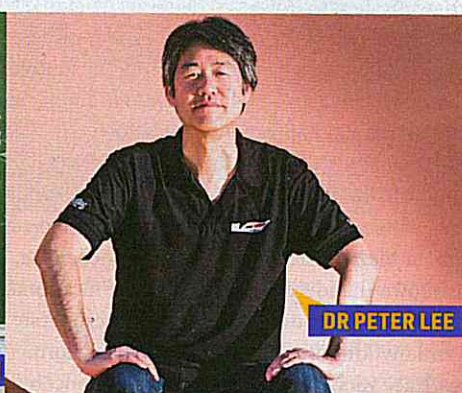
Koncern zwerbował do tego projektu wybitnych uczonych, którymi kieruje Michael Freedman, laureat Medalu Fieldsa – nagrody dla matematyków porównywanej z Noblem. Na razie firma nie chwali się wynikami badań, ale jeśli się jej powiedzie, otworzy zupełnie nowy rozdział w fizyce.



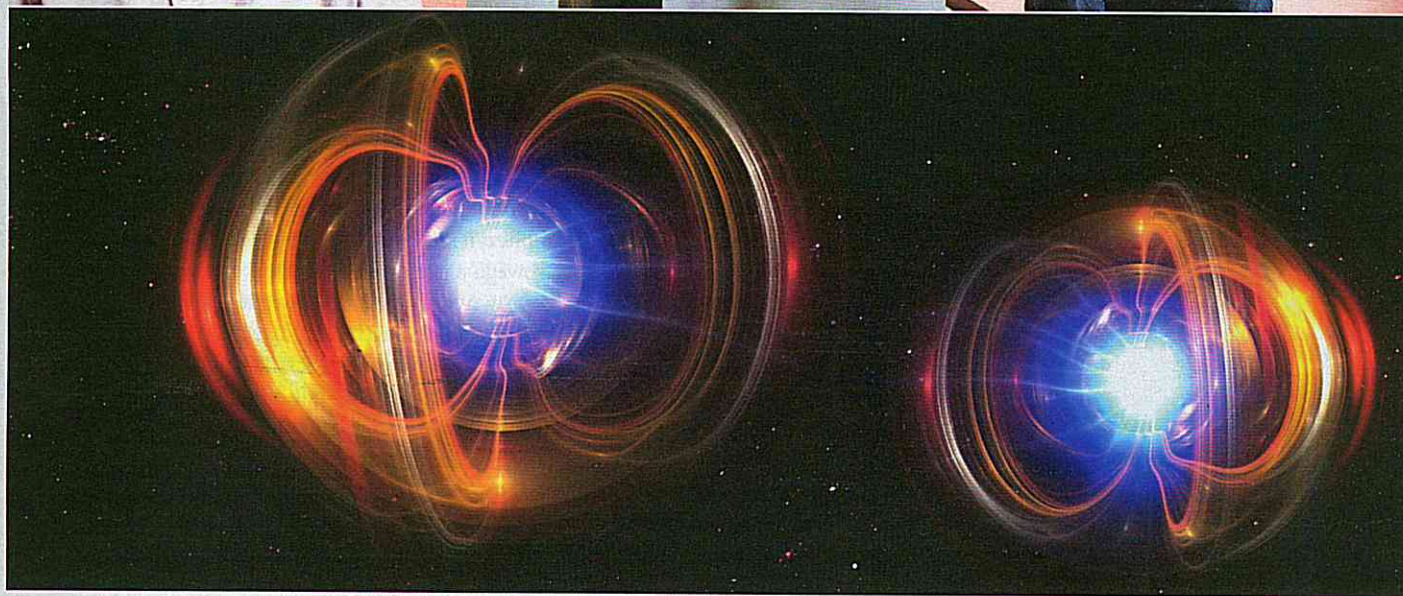
PROF. SANKAR DAS SARMA



PROF. MICHAEL FREEDMAN



DR PETER LEE



4 PROGNOZY Modelowanie mózgu i ekonomii

Dziś superkomputery przewidują pogodę, projektują nanomateriały, pozwalają poznać działanie pojedynczych komórek i całych galaktyk. Ale naukowcy pracują już nad nowymi wyzwaniami obliczeniowymi. Takie symulacje będzie można uruchomić dopiero na maszynach, które powstaną w przyszłości – co najmniej stukrotnie szybszych niż te istniejące dzisiaj.

Jednym z takich przedsięwzięć jest międzynarodowy Human Brain Project, czyli symulacja działania ludzkiego mózgu. Dzięki niej będzie można poznać mechanizmy leżące u podstaw takich schorzeń, jak depresja, choroby Alzheimera czy Parkinsona. Na wirtualnym mózgu będzie też można przeprowadzać testy nowych leków. Wyzwanie jest ogromne, ponieważ do tej pory udawało się symulować co najwyżej działanie fragmentu kory mózgowej. Stworzenie modelu obejmującego to, co mamy pod czaszką – 86 mld neuronów i biliony łączących je synaps – będzie prawdopodobnie wymagało wykorzystania komputerów kwantowych.

Równie ambitny projekt nazwano Living Earth Simulator. Miałby on pomieścić wszelkie dostępne dane o naszej planecie – od pogody po nastroje społeczne. System ma na bieżąco śledzić sieci społecznościowe, systemy bankowe i handel akcjami, publikacje na stronach informacyjnych, dane dotyczące przemieszczania się ludności i zmiany klimatyczne, by usiłować zrozumieć wzorce rządzące zachowaniami ludzi. W ten sposób można by przewidywać np. kryzysy finansowe.



Najpotężniejsze superkomputery na świecie są wykorzystywane m.in. do modelowania zmian klimatu, tak jak w przypadku japońskiego centrum **Earth Simulator** otwartego w 2002 r. Jednak dopiero maszyny kwantowe będą w stanie sprostać temu zadaniu.

Jeśli maszyny mają w przyszłości dorównać możliwościom ludzkiego mózgu, będą musiały wykonywać bardzo złożone obliczenia. Możliwe, że przetóm w dziedzinie **sztucznej inteligencji** nastąpi dopiero wtedy, gdy skorzysta ona z technologii kwantowych.



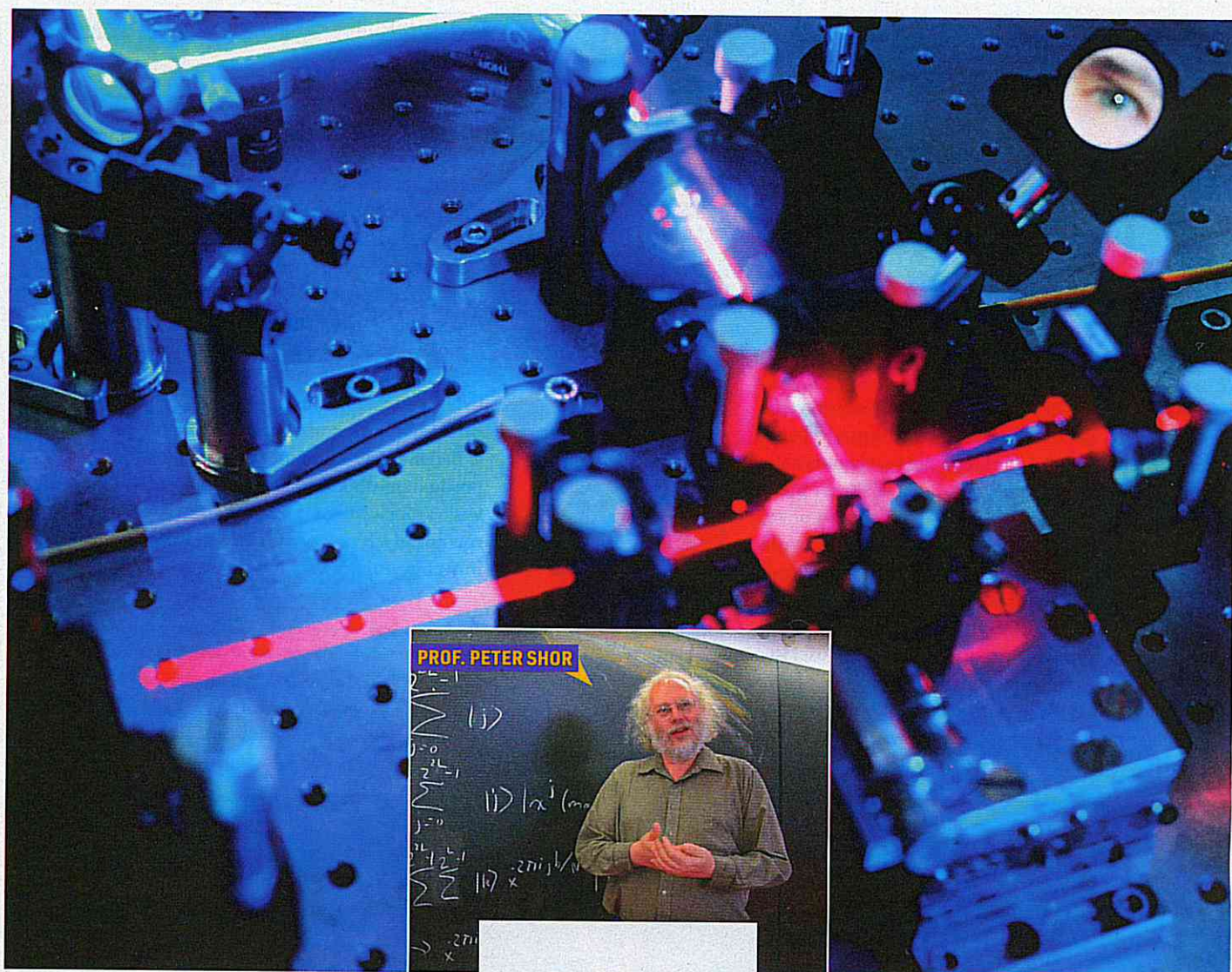
5 KOMPUTERY Szybsza i skuteczniejsza sztuczna inteligencja

Maszyny potrafią już uczyć się tak jak my – a nawet lepiej. Dzięki sztucznej inteligencji mapy Google wiedzą, jak najszybciej dojechać pod wskazany adres, a maszyny wykorzystywane przez inwestorów błyskawicznie kupują i sprzedają akcje na giełdzie. Wciąż jednak nie radzą sobie dobrze ze stosunkowo łatwymi dla człowieka zadaniami, takimi jak kierowanie samochodem.

Dlaczego? Algorytmy sztucznej inteligencji uczą się np. rozumienia ludzkiej mowy, analizując ogromne zbiory danych i poprawiając swe błędy. Taki trening zajmuje im nierzadko wiele tygodni i to nawet wtedy, gdy mają do dyspozycji bardzo szybkie komputery. – Kwantowe obliczenia mogą radykalnie skrócić ten czas. Będą też sprawdzały się przy szybkim wyszukiwaniu danych – przewiduje dr Talia Gershon z IBM.

Szybkość w tym przypadku ma znaczenie nie tylko technologiczne. Uczeń z Uniwersytetu Massachusetts obliczyli niedawno, że „wyszkolenie” jednego komputerowego algorytmu wiąże się z emisją dwutlenku węgla porównywalną z użytkowaniem pięciu samochodów przez cały okres ich eksploatacji. W efekcie firmy takie jak Google zużywają rocznie po kilka terawatogodzin energii elektrycznej – tyle, ile duże miasto.

Oczywiście komputery kwantowe też zużywają prąd, np. do schładzania procesorów, które mogą pracować tylko w temperaturach bliskich zera absolutnego. Ale ten wydatek może się opłacać, bo szybsze obliczenia dadzą oszczędność energii i mniejszy wpływ sektora nowych technologii na zmiany klimatyczne.



PROF. PETER SHOR

6 KOMUNIKACJA Szyfrowanie nie do złamania

Komputery kwantowe dobrze nadają się do wykonywania obliczeń, które są obiektem zainteresowania tajnych służb i hakerów. Chodzi o podsłuchiwanie szyfrowanej transmisji danych, dzięki której zabezpieczane są dziś np. operacje bankowe. Najlepszym dostępnym dziś superkomputerom złamanie takiego szyfru zajęłoby dziesiątki lat. Maszyna wykorzystująca zjawiska kwantowe mogłaby się z tym uporać w kilka sekund. Na szczęście nie jest to takie proste, jak mogłoby się wydawać.

Złamanie najczęściej obecnie stosowanych szyfrów RSA sprowadza się do rozkładu dużych liczb na czynniki pierwsze. Już w 1994 r. Peter Shor, informatyk pracujący w AT&T Bell Laboratories, wymyślił sposób na szybkie wykonanie tego zadania z użyciem maszyny kwantowej. Siedem lat później udało się sprawdzić jego pomysł w praktyce. Grupa naukowców z IBM i Stanford University zastosowała algorytm Shora na

Peter Shor, obecnie profesor matematyki na Massachusetts Institute of Technology, jako jeden z pierwszych wykazał, że komputery kwantowe będą mogły łamać szyfry. Dało to początek pracom nad nowymi metodami szyfrowania, też wykorzystującymi zjawiska kwantowe dotyczące m.in. światła laserowego.

komputerze kwantowym składającym się z siedmiu kwantowych bitów, czyli kubitów.

Czy w ten sposób udało się złamać jakiś szyfr? Nie – uczeni dokonali jedynie rozkładu liczby 15 na czynniki 5 i 3, a więc czegoś, co potrafi uczeń szkoły podstawowej. – Do złamania stosowanego dziś powszechnie szyfrowania danych potrzebny byłby komputer kwantowy złożony z tysięcy, a może nawet milionów kubitów – wyjaśnia Dragos Ilie z Imperial College London. Na taką maszynę przyjdzie nam poczekać jeszcze wiele lat, o ile nie dziesięcioleci.

Perspektywa wydaje się odległa, ale organizacje rządowe takie jak NASA już dziś dbają o to, by ich dane były szyfrowane za pomocą technologii odpornych na kwantowe włamanie. Co więcej, badania fizyków i informatyków mogą doprowadzić do kolejnego przełomu w tej dziedzinie. Chodzi o szyfrowanie kwantowe, które wykorzystuje zjawiska zachodzące na poziomie fotonów i cząstek elementarnych w telekomunikacji. Transmisji zabezpieczonej w ten sposób nie można podsłuchać – każda ingerencja w przesyłane dane niszczy je. Możliwe więc, że internet przyszłości będzie działał m.in. dzięki technologiom kwantowym.

7 KOSMOLOGIA

Poszukiwanie wszechświatów równoległych

W 1985 r. prof. David Deutsch, fizyk z Uniwersytetu Oksfordzkiego, zaproponował teoretyczny model komputera kwantowego. Zwykle komputery wykonują obliczenia na seriach bitów – „zer” i „jedynek”. Komputery kwantowe wykorzystują kwantowe bity, czyli kubity, które mogą przybierać obie te wartości jednocześnie – to tzw. superpozycja. Dzięki niej moc obliczeniowa rośnie w ogromnym tempie.

Dlaczego tak się dzieje? Zdaniem części uczonych – w tym samego prof. Deutscha – w rzeczywistości istnieje bardzo wiele bliźniaczych wszechświatów. Nasz Wszechświat jest tylko jednym z nich i wchodzi w skład ogromnego multiwersum. Niestety, światy przenikają

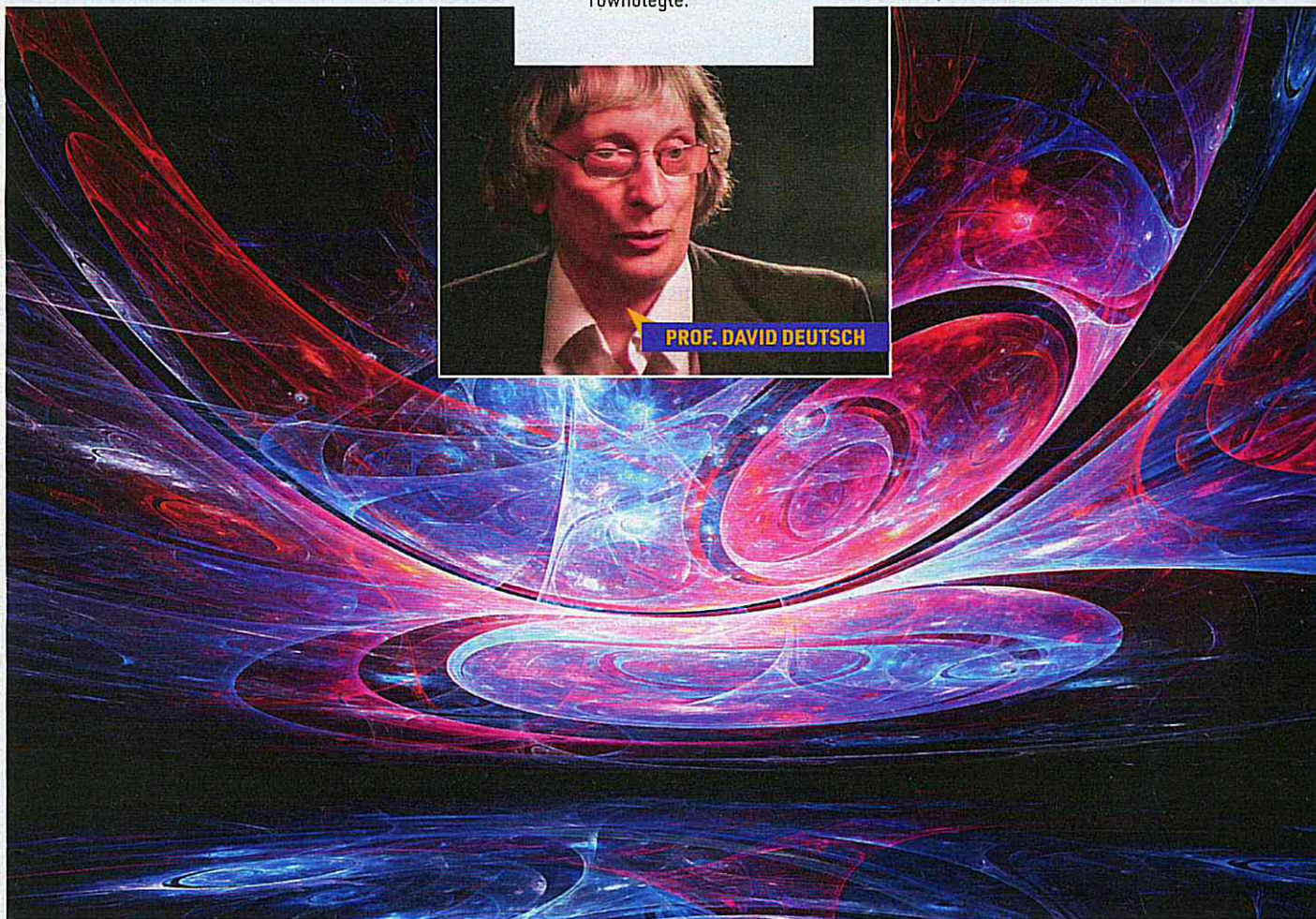
Fizyka kwantowa to dziedzina, w której do dziś jest wiele niewiadomych. Część naukowców, w tym **prof. David Deutsch** uważa, że za dziwaczne zjawiska w świecie atomów i cząstek odpowiadają przenikające się wszechświaty równoległe.

się tylko na poziomie subatomowym. Ale na tym właśnie poziomie funkcjonują komputery kwantowe i to właśnie stąd bierze się ich ogromna moc obliczeniowa. – Ta technologia wynika ze współpracy między różnymi wszechświatami. Komputery kwantowe są więc kluczem do pogłębienia naszej wiedzy o rzeczywistości – mówi prof. Deutsch.

Tej hipotezy nie da się na razie jednoznacznie potwierdzić badaniami. Ale możliwe, że uda się to właśnie dzięki temu, że bogate firmy prywatne inwestują dziś w badania nad komputerami kwantowymi. Być może produktem ubocznym tych prac będzie odkrycie zjawisk, które wydają się należeć do świata science fiction: równoległych rzeczywistości, podróży w czasie lub do innych wymiarów.

Jan Stradowski – szef działu nauki „Focusa” z wykształcenia lekarz, z zamiłowania biolog i przyrodnik. W radiu TOK FM prowadzi audycję „Człowiek 2.0”.

Marcin Bójko – dziennikarz specjalizujący się w naukach ścisłych i nowych technologiach, z wykształcenia matematyk.



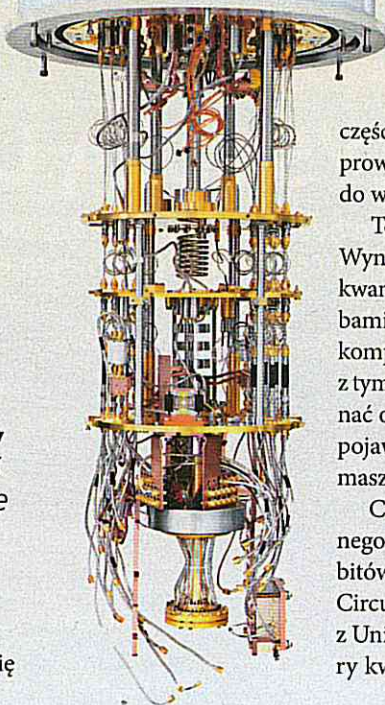
CO SPOWALNIA ROZWÓJ TECHNOLOGII KWANTOWYCH?

Pierwszy komputer operujący na kubitach, czyli kwantowych bitach, powstał ponad 30 lat temu. Jednak konstruktorzy muszą pokonać wiele przeszkód, zanim ta technologia znajdzie praktyczne zastosowania

Mimo ogromnego postępu, jaki dokonał się w ostatnich latach, wciąż jesteśmy na etapie prehistorii komputerów kwantowych. – Można to porównać z sytuacją z lat 50. XX wieku, kiedy komputery budowano z lamp próżniowych i pierwszych tranzystorów – mówi prof. Steven Girvin z Uniwersytetu Yale. Jego zdaniem minie jeszcze wiele lat, zanim zobaczymy pierwsze praktyczne efekty zastosowania maszyn kwantowych.

Obecnie najlepsze procesory zawierają niewiele ponad 50 kubitów, czyli kwantowych bitów. Wykonują obliczenia, które służą jednak bardziej demonstracji możliwości nowych technologii niż cemukolwiek innemu. Naprawdę użyteczny komputer powinien dysponować co najmniej setką kubitów.

Jest to jednak bardzo trudne do osiągnięcia. Kibity działają tylko w specyficznych warunkach – najczęściej potrzebują wysokiej próżni i bardzo niskich temperatur. Dlatego maszyny kwantowe zajmują dużo miejsca i wyglądają bardziej jak aparatura chemiczna niż komputer. Na kwantowy procesor fatalnie działają wszelkie zmiany, np. skoki temperatury czy szumy elektromagnetyczne wytwarzane przez inne



DR JERRY CHOW

Dr Jerry Chow to jeden z najlepszych specjalistów od komputerów kwantowych pracujący dla IBM. Z wykształcenia jest fizykiem i matematykiem.

części komputera. Każde takie zakłócenie może doprowadzić do skasowania obliczeń albo, co gorsza, do wystąpienia w nich błędów.

Te ostatnie są prawdziwą zimą konstruktorów. Wynika to po części z praw natury. W świecie fizyki kwantowej nie mamy do czynienia z „twardymi” liczbami, a jedynie z prawdopodobieństwami. Dlatego komputery kwantowe często dają błędne wyniki. Co z tym zrobić? Można zarządzić „głosowanie” – wykonać obliczenia wiele razy i wybrać ten wynik, który pojawia się najczęściej. Ale to spowalnia działanie maszyny i ogranicza jej zastosowania.

Część inżynierów twierdzi, że zbudowanie jednego procesora mieszczącego setki czy tysiące kubitów jest w ogóle niemożliwe. Startup Quantum Circuits kierowany przez prof. Roberta Schoelkopfa z Uniwersytetu Yale stawia na modularne komputery kwantowe budowane z oddzielnych elementów – trochę jak klocki Lego. Na razie brak jednak dowodów na to, że takie podejście jest faktycznie lepsze.

Prace nad komputerami kwantowymi utrudnia też fakt, że na razie jest to bardzo niszowa dziedzina. Niewiele firm dostarcza elementy niezbędne do zbudowania takiej maszyny. Np. na wartość kilkaset tysięcy dolarów wyspecjalizowaną chłodziarkę, która umożliwia osiągnięcie temperatur bliskich zera absolutnego, czeka się miesiącami. Z kolei okablowanie komputera kwantowego, zbudowanego z nadprzewodzących materiałów zdolnych do przesyłania precyzyjnych impulsów mikrofalowych, można kupić tylko w jednej japońskiej firmie. – Dopiero wtedy, gdy pojawią się pierwsze naprawdę użyteczne komputery

kwantowe, ten rynek ma szansę się rozwinąć – mówi Jakob Kammerhuber ze startupu Delft Circuits.

Kiedy to nastąpi? Odpowiedź na to pytanie jest warta miliardy. Na razie inwestorzy wydają coraz więcej pieniędzy na firmy zajmujące się komputerami kwantowymi, ale jeśli nie zobaczą szybko zysków, mogą się wycofać. A wówczas rozwój tej technologii może czekać wieloletni zastój.

CO WYKORZYSTUJĄ UCZENI?

W normalnym świecie szklanka może być pusta albo pełna, okno – otwarte albo zamknięte, a kot – żywy albo martwy. W świecie kwantowym wygląda to inaczej, niezgodnie z naszą intuicją. Oto, jak uczeni wykorzystują zjawiska rządzące światem cząstek elementarnych do tworzenia maszyn obliczeniowych

SUPERPOZYCJA

Zwykłe komputery wykonują obliczenia na seriach bitów – „zer” i „jedynek”. Komputery kwantowe wykorzystują kwantowe bity, czyli kubity, które mogą przybierać obie te wartości jednocześnie – to tzw. superpozycja. Badacze porównują kubit do monety, która wiruje i dopóki nie upadnie, jest w stanie pomiędzy orłem a reszką. Dzięki temu moc obliczeniowa rośnie w ogromnym tempie. Kwantowe komputery mogą za jednym zamachem wykonać działania, które klasycznym maszynom zajęłyby mnóstwo czasu.



SPLĄTANIE

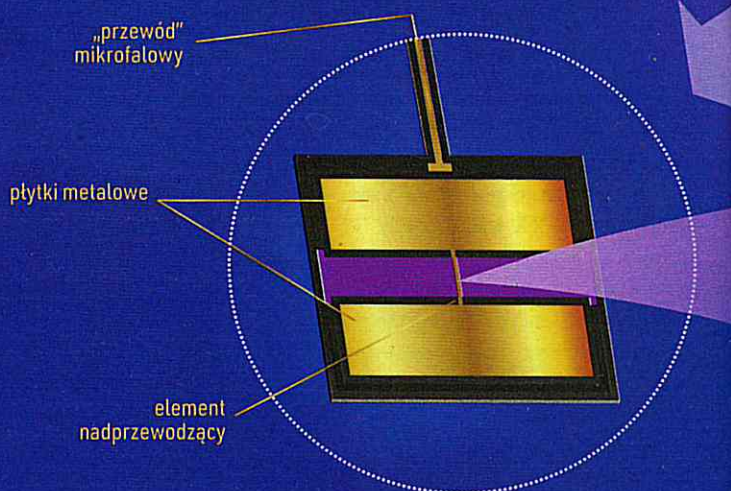
W świecie fizyki kwantowej następuje przedziwna i nie do końca zrozumiała relacja między cząstkami elementarnymi takimi jak elektrony. Gdy uda nam się je do siebie „upodobnić” (np. zbliżając je do siebie), ich losy zostają ze sobą ściśle powiązane. Gdy potem zmienimy właściwości jednej, druga zareaguje taką samą zmianą – nawet jeśli będzie daleko. W przypadku komputerów oznacza to, że możemy przeprowadzać obliczenia równolegle na wielu różnych „frontach” – a to bardzo przyspiesza wykonywanie zadania.

STAN ŚCIŚNIĘTY

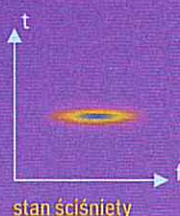
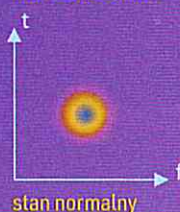
Z praw fizyki kwantowej wynika, że trudno jest precyzyjnie określić stan jakiegoś obiektu, co wpływa na dokładność obliczeń. Naukowcy radzą sobie z tym, wprowadzając kubity w tzw. stan ściśnięty, który zwiększa precyzję pomiaru ich właściwości.

3

Kubity można zbudować z pojedynczych cząstek elementarnych, takich jak elektrony, z atomów albo z nieco większych obiektów – pętelek z nadprzewodników, w których płynie nieustannie prąd.



W stanie normalnym trudno jest określić jednocześnie np. częstotliwość fali i jej zmienność w czasie. Stan ściśnięty poprawia precyzję pomiaru.



DEKOHERENCJA

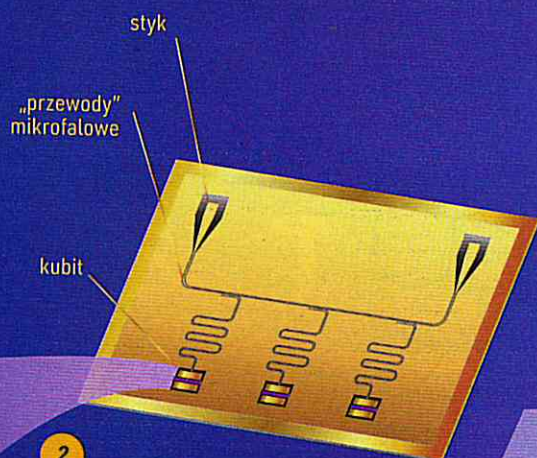
Nie wystarczy tylko zmusić atomy do wykonywania obliczeń – trzeba jeszcze umieć odczytać wyniki. A z tym jest problem, ponieważ w świecie kwantowym tak już jest, że każda obserwacja zmienia stan obserwowanej materii – dochodzi wówczas do tzw. dekoherencji. Innymi słowy, odczytując wyniki obliczeń zarazem je kasujemy – to trochę tak, jakby nasz pecet uruchamiał się ponownie za każdym razem, gdy rzucimy okiem na ekran.

INTERFERENCJA

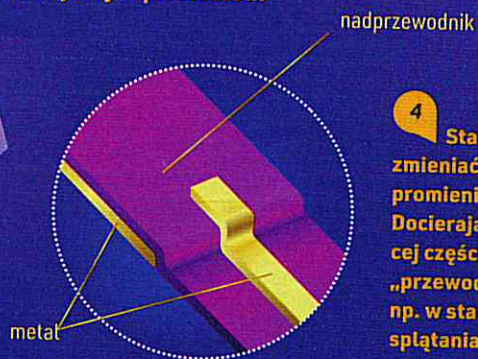
Obiekty kwantowe takie jak kubity możemy traktować jednocześnie jak cząstki i jak fale. Zjawisko to wykorzystuje się przy programowaniu komputerów – dzięki interferencji, czyli oddziaływaniu na siebie fal, prawidłowe wyniki obliczeń są wzmacniane, a nieprawidłowe – wygaszane.

JAK DZIAŁA KOMPUTER KWANTOWY

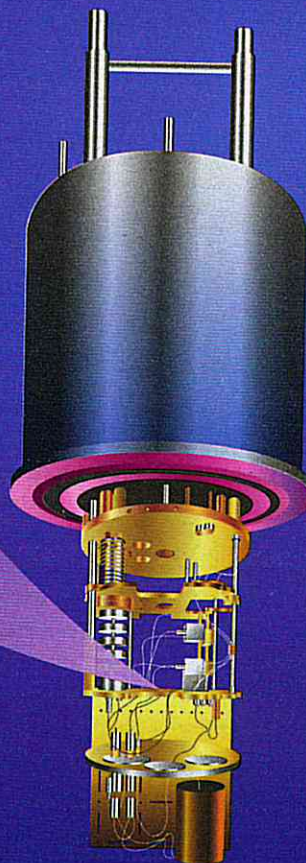
Klasyczne maszyny liczące wykonują obliczenia szeregowo, czyli kolejno przeprowadzają operacje na liczbach. Komputery kwantowe wykorzystują skomplikowane zjawiska fizyczne, by prowadzić obliczenia równolegle. Służą do tego programy zwane algorytmami kwantowymi.



2 Kwantowe bity, czyli kubity znajdują się na niewielkich płytkach wytwarzanych metodami podobnymi do tych stosowanych przy produkcji klasycznych procesorów.



4 Stan kubitów można zmieniać za pomocą impulsów promieniowania mikrofalowego. Docierają one do nadprzewodzącej części kubitów metalowymi „przewodami”, ustawiając go np. w stanie superpozycji lub splątania z innym kubitami.



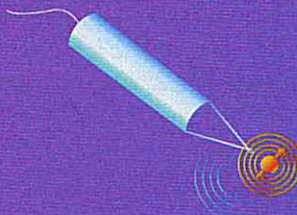
1 Układy wykonujące obliczenia muszą być odizolowane od otoczenia i schłodzone do bardzo niskich temperatur. Zapewnia to tzw. kriostat, który wyglądem przypomina ozdobny żyrandol.



SZYFROWANIE

Komputery kwantowe zagrażają bezpieczeństwu informacji, ponieważ będą potrafiły błyskawicznie łamać najpopularniejsze dziś zabezpieczenia. Jednak fizyka kwantowa pozwala też na stworzenie kanałów komunikacji, których nie będzie można podsłuchać. Informacja będzie w nich przesyłana za pomocą fotonów, które są ze sobą splątane. Jeśli ktoś spróbuje przechwycić komunikat i zmieni stan jednego fotonu, natychmiast zmieni się też stan drugiego, co będzie sygnałem wskazującym na włamanie.

Pierwsze eksperymenty z kwantowym szyfrowaniem zostały już przeprowadzone. W 2017 r. technologią tą posłużył się chiński satelita Micius, przesyłając splątane fotony na odległość 1200 km.



Sensory kwantowe zbudowane z pojedynczych atomów mają monitorować aktywne wulkany, takie jak włoska Etna.

CZUJNIKI

Zdolność do manipulowania pojedynczymi atomami, fotonami czy cząstkami elementarnymi otworzy nowe możliwości. Kwantowe sensory, nad którymi pracują dziś naukowcy, pozwolą nam zobaczyć, co dzieje się głęboko pod powierzchnią ziemi lub wody. Pojedyncze atomy mogą wykrywać niewielkie zmiany grawitacji, wywołane np. przez zbliżający się do erupcji wulkan albo przepływającą w głębinach łódź podwodną.