

Szymon Majewski  
Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

## W pogoni za mniejszym...

Żyjemy w czasach, w których wyraźnie widoczne jest dążenie do coraz silniejszej miniaturyzacji urządzeń, układów i systemów najróżniejszego rodzaju. Dla przykładu, komputer ze skomplikowanej i zajmującej kilka pokoi maszynierii (pierwszy elektroniczny komputer ENIAC z lat 40. ważył ok. 27 ton...) ewoluował w mobilne i kompaktowe urządzenia, mieszczące się w średniej wielkości plecaku. Jako nieco inny przejaw tego samego zjawiska można przytoczyć rozwijanie technologii akceleratorów plazmowych (LPA – *Laser Plasma Accelerator*), w których cząstki naładowane przyspiesza się przy pomocy fali w plazmie elektronowej wzbudzonej krótkim impulsem laserowym. Technika ta pozwala na osiągnięcie energii zderzeń rzędu kilku GeV przy drodze rozpędzania od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. Dla porównania, konwencjonalny akcelerator cząstek wymaga tunelu długości kilkudziesięciu metrów dla uzyskania tych samych wartości energii. Sam Wielki Zderzacz Hadronów (LHC – *Large Hadron Collider*) stanowi 27-kilometrowy pierścień, który pozwala zderzać cząstki z energiami sięgającymi kilkunastu TeV. Być może niedługo możliwe będzie zaproponowanie alternatywnego akceleratora plazmowego, znacznie tańszego i prostszego w obsłudze, bo mogącego zmieścić się na stole laboratoryjnym...

Postępujący proces zmniejszania skali i rozmiarów projektowanych układów posiada liczne zalety. W szczególności, pozwala na ograniczanie ilości materiałów zużywanych w procesie produkcji, obniżanie jej kosztów (choć nie zawsze) a także zwiększanie wydajności oraz precyzji działania tworzonych z nich urządzeń. Układy działające w skali „nano” odgrywają obecnie niebagatelną rolę w elektronice, medycynie, kosmonautyce i wielu innych dziedzinach. W sposób naturalny wyłania się tutaj nanotechnologia jako dziedzina zajmująca się projektowaniem i wytwarzaniem nanostruktur mających wykonywać określone zadania. W przypadku zastosowań medycznych warto w tym miejscu wspomnieć o nanosensorach o nanosondach będących strukturami reagującymi na określone bodźce chemiczne, fizyczne, biologiczne lub optyczne. Dzięki ich małym rozmiarom bez problemu można je wprowadzić do organizmu pacjenta w celu diagnozowania, monitorowania rozwoju lub leczenia określonej choroby. Nanostruktury można tak zaprojektować, aby istniała możliwość komunikowania się z nimi za pośrednictwem np. fal radiowych, sygnałów świetlnych lub pola magnetycznego. Obecnie techniki te są jeszcze na etapie badań klinicznych, jednak są bardzo obiecujące w perspektywie przyszłości, zwłaszcza w kontekście diagnozowania i leczenia tak ciężkich chorób jak nowotwory.

Dziedziną, w której tendencje do miniaturyzacji są chyba najbardziej dostrzegalne jest produkcja mikroprocesorów. Od 1965 roku nieprzerwanie obowiązuje tu prawo Moore’a głoszące, że liczba tranzystorów przypadająca na jednostkę układu scalonego podwaja się co ok. 24 miesiące (pierwotnie było to 18 miesięcy). Na przestrzeni lat rozmiary tranzystorów w procesorach komputerowych kurczyły się od mikronów do pojedynczych nanometrów, zapewniając stały wzrost mocy obliczeniowej. Fizyczną barierą dla dalszego zmniejszania wymiarów tranzystorów są rozmiary atomów (rzędu angstromów, gdzie  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ). Moc obliczeniowa może co prawda być dalej zwiększana przez budowanie układów wieloprocessorowych, jednak na dłuższą metę to też nie jest dobrym rozwiązaniem, gdyż generuje problemy związane z komunikacją między poszczególnymi procesorami składowymi i wynikającymi stąd opóźnieniami.

Nadzieją na przedłużenie prawa Moore’a, przynajmniej pod względem dalszego wzrostu mocy obliczeniowej, są komputery kwantowe. W komputerach tradycyjnych podstawową jednostką informacji jest bit mogący przyjmować wartości 1 lub 0, czemu odpowiada napięcie na elektrodzie tranzystora lub jego brak, a określona informacja jest zakodowana w sekwencji takich bitów. Natomiast w komputerze kwantowym podstawową jednostką informacji są kubity (bity kwantowe) mogące przyjmować dowolne superpozycje stanów 1 i 0, czyli zawierać informacje o obu tych stanach jednocześnie. Pozwala to na bardziej efektywne przetwarzanie danych, a tym samym – na znaczne zwiększenie i lepsze wykorzystanie mocy obliczeniowej. Można mieć uzasadnioną nadzieję, że w przyszłości na porządku dziennym będzie wykorzystywanie komputerów kwantowych do rozwiązywania problemów nieosiągalnych dla klasycznych komputerów (np. symulowanie zjawisk kwantowych lub szyfrowanie i deszyfrowanie), choć już po-

jawiły się pierwsze doniesienia potwierdzające *supremację kwantową*, czyli sytuację, w której komputer kwantowy realizuje zadania niemożliwe do wykonania dla zwykłych komputerów.

Kubity można zrealizować przy pomocy układów, w których zakodowana jest informacja kwantowa. Reprezentacją kubitów mogą być różne stany kwantowe (np. stany kwantowe spinu, polaryzacja fotonu) a także obiekty fizyczne (np. kropki kwantowe). Kluczowa jest tutaj zdolność do kontrolowania i manipulowania stanami kwantowymi układów reprezentujących kubity, gdyż umożliwia wykonywanie na nich określonych operacji logicznych. W tym celu, stosuje się układy nazywane bramkami kwantowymi mogące dokonywać transformacji stanu kwantowego kubitów przy pomocy układów fizycznych, takich jak studnie kwantowe, nanodrut i kropki kwantowe. Projektowanie takich układów jest domeną nanotechnologii, która umożliwia tworzenie bardzo małych i precyzyjnych struktur oraz kontrolowanie ich parametrów w skali nanometrycznej. Wydaje się, że dalsze zwiększanie mocy obliczeniowej komputerów kwantowych nie będzie polegać na zmniejszaniu rozmiarów kubitów, lecz na zwiększaniu ich ilości w komputerze oraz poprawie ich stabilności i wydajności (przynajmniej w perspektywie najbliższych lat). Koncern IBM w 2022 roku uruchomił 433-kubitowy komputer kwantowy (Osprey), a w najbliższym czasie planuje zbudowanie maszyny dysponującej liczbą 1121 kubitów.

Tytułowa *pogoń za mniejszym* przenika do wielu dziedzin nauki i techniki, wyznaczając kierunki prac badawczych na kolejne lata. Obejmuje to zarówno pragmatyczną i dość oczywistą (do pewnej skali) zasadę „mniejsze jest tańsze” (*Laser Plasma Accelerator vs Large Hadron Collider*), jak również wynikającą z nieco subtelniejszych pobudek potrzebę zwiększania wydajności (mikroprocesory) i precyzji (nanosensory i nanosondy) projektowanych układów. Nieprzekraczalną (na chwilę obecną) barierą, przed którą rozpędzona miniaturyzacja musi się zatrzymać, są rozmiary atomów. Po osiągnięciu granicy nanometrycznych układów trzeba posługiwać się technologiami pozwalającymi manipulować pojedynczymi atomami w celu stworzenia nanostruktury o pożądanych właściwościach, co najczęściej wiąże się ze znacznymi kosztami. Wówczas, celowe jest udoskonalanie technologii w tej skali lub poszukiwanie nowych rozwiązań zapewniających lepsze efekty. Nie ulega wątpliwości, że w tych wszystkich przemianach kluczową rolę odgrywać będzie nanotechnologia, która dostarczając narzędzi do budowania struktur w skali atomowej, daje tym samym możliwość wykorzystywania zjawisk kwantowych w sposób świadomy i kontrolowany do rozwiązywania problemów niemożliwych dotychczas do rozwiązania.

## Bibliografia:

1. <https://www.newscientist.com/article/mg22430001-900-table-top-mini-lhc-ramps-up-to-record-energy/>
2. <https://www.benchmark.pl/aktualnosci/historia-rozwoju-komputerow-i-laptopow.html>
3. <https://www.benchmark.pl/aktualnosci/quantum-eagle-ibm-prezentuje-najwydajniejszy-komputer-quantowy-na.html#noop>