



Warszawa, 6 maja 2010

Operacje na jednym atomie – krok ku informatyce przyszłości

Informację kwantową można z powodzeniem zapisać w pojedynczym atomie manganu, a następnie przetworzyć w nim i odczytać. Eksperyment, przeprowadzony na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, jest ważnym krokiem w kierunku budowy komputerów o ogromnych mocach obliczeniowych.

Współczesne komputery stają się coraz szybsze dzięki miniaturyzacji: liczba tranzystorów w procesorach podwaja się mniej więcej co półtora roku. Miniaturyzacji nie można jednak kontynuować w nieskończoność, na przeszkodzie staje ziarnista, atomowa struktura materii. W pracowniach Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (WF UW) – członka Narodowego Laboratorium Technologii Kwantowych – udało się opracować metody zapisu i odczytu informacji w pojedynczym atomie manganu. „Dotarliśmy do fizycznego limitu rozmiarów elementów przetwarzających informację. Co więcej, przechowujemy ją za pomocą efektów kwantowych, które w przyszłości będzie można wykorzystać do budowy komputerów nowego typu, o wielkich mocach obliczeniowych” – mówi prof. dr hab. Jan Gaj z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Współczesne komputery operują na klasycznych bitach. Każdy taki bit może przyjmować tylko dwa stany, którym przypisuje się umowne wartości „0” i „1”. Komputer kwantowy będzie zawierał kubity, czyli bity kwantowe, mogące znajdować się także w mieszaninie swych dwóch stanów (superpozycji). Mangan oferuje tu jeszcze ciekawsze możliwości. „Do przechowania informacji w atomie manganu wykorzystujemy jego spin, czyli cechę kwantową związaną z wirowaniem” – wyjaśnia prof. Gaj. Ponieważ spin atomu manganu może przyjąć aż sześć wartości, w jednym atomie daje się zapisać więcej niż dwa bity informacji (którym odpowiadają $2^2 = 4$ stany), lecz mniej niż trzy (bo 2^3 daje 8 stanów). Podobnie jak zwykły kubit, atom manganu może znajdować się w superpozycji swoich stanów. Gdyby taki stan udało się rozszerzyć na grupę atomów manganu, każdy kolejny atom zwielokrotniłby możliwości obliczeniowe komputera kwantowego. Przykładowo, komputer kwantowy z 10 atomów manganu w każdym kroku przetwarzałby ponad 60 milionów stanów ($6^{10} = 60\,466\,176$), a zbudowany ze zwykłych kubitów zaledwie nieco ponad tysiąc ($2^{10} = 1024$). W tym czasie klasyczny komputer przetworzyłby tylko jeden stan z 1024 możliwych.

Doświadczenia na pojedynczych atomach wymagają starannych przygotowań. Warszawscy naukowcy najpierw wyhodowali kropki kwantowe, czyli specjalne, powstające na drodze samoorganizacji struktury półprzewodnikowe. Mają one rozmiary rzędu miliardowych części metra i są wykonane z telurku kadmu, otoczonego telurkiem cynku. Kropki kwantowe są niekiedy nazywane „sztucznymi atomami”, ponieważ uwięzione w nich elektrony emitują światło podobnie jak w atomach, w postaci fotonów o ściśle określonych energiach.

Kropki kwantowe zostały wyhodowane na płytce półprzewodnika przez dr. Piotra Wojnara z grupy prof. Jacka Kossuta z Instytutu Fizyki PAN w Warszawie, instytucji wchodzącej w skład NLTK. Dr Wojnar skierował na rosnące w próżni kropki tak słabą wiązkę atomów manganu, aby na jak największej liczbie kropek osadzić po jednym atomie. Tak przygotowana płytka trafia następnie na Wydział Fizyki UW, gdzie naukowcy umieszczają ją w optycznym układzie pomiarowym, za pomocą którego można w kilka godzin odszukać kropki z pojedynczymi atomami manganu.

Na pojedynczej płytce półprzewodnikowej powstaje wiele kropek kwantowych. Składają się one z tysięcy atomów, w każdym przypadku rozmieszczonych nieco inaczej. W konsekwencji każda kropka emituje fotony o energiach charakterystycznych tylko dla siebie. Efekt ten jest niezwykle istotny, bo pozwala fizykom wybrać jedną, konkretną kropkę kwantową i nawiązać z nią kontakt. Emitowane przez kropkę fotony niosą informację o stanie uwięzionych w niej elektronów. Jeśli elektrony w kropce kwantowej oddziaływały z atomem manganu, w emitowanym świetle pojawi się sześć charakterystycznych pików odpowiadających sześciu stanom spinowym manganu. Gdy jeden z pików dominuje oznacza to, że atom manganu najczęściej znajduje się w odpowiadającym mu stanie.

Przełączenie manganu do wybranego stanu spinowego wymaga subtelniejszych metod. W tym celu na płytce półprzewodnikowej naukowcy z WF UW wyszukują dwie kropki, które powstały tak blisko siebie, że tworzą parę. Za pomocą światła laserowego można wówczas „wrzucić” elektron o określonym spinie do jednej kropki, skąd przetuneluje do drugiej, z atomem manganu, i zacznie z nim oddziaływać. Powtarzając ten proces wielokrotnie, fizycy potrafią wprowadzić atom manganu w wybrany stan spinowy. W nowym stanie atom przebywa przez mniej więcej jedną tysięczną sekundy. „Milisekunda to niewiele, trzeba jednak pamiętać, że potrafimy w tym czasie zmienić stan atomu nawet kilkaset tysięcy razy. To wystarczy, aby przeprowadzić cały szereg operacji” – mówi prof. Gaj.

Badania będzie można prowadzić z jeszcze większą precyzją dzięki wyposażeniu dostarczanemu przez Narodowe Laboratorium Technologii Kwantowych: nowym femtosekundowym laserem impulsowym, nadprzewodzącemu magnesowi wytwarzającemu pole magnetyczne silniejsze od generowanego przez magnesy działające w tunelu akceleratora LHC, oraz strojonemu oscylatorowi optycznemu, za pomocą którego precyzyjnie dopasowuje się częstotliwość światła laserowego do częstotliwości drgań elektronu w danej kropce kwantowej. „Dzięki tak nowoczesnej aparaturze będziemy mogli kontynuować prace badawcze na najwyższym poziomie i przeprowadzać doświadczenia, których przed nami nie zrobił nikt na świecie” – podkreśla prof. Gaj.

Narodowe Laboratorium Technologii Kwantowych (nltk.fuw.edu.pl) to konsorcjum złożone z wiodących w kraju jednostek naukowych zajmujących się badaniami w zakresie technologii kwantowych, w tym informatyki kwantowej, inżynierii kwantowej oraz dziedzin pokrewnych. W skład NLTK wchodzi: Uniwersytet Warszawski, Politechnika Wrocławska, Instytut Fizyki PAN, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Uniwersytet Jagielloński, Uniwersytet Gdański, Uniwersytet Łódzki i Centrum Fizyki Teoretycznej PAN. W pięciu spośród ośmiu instytucji tworzących konsorcjum NLTK (UW, PWR, IF PAN, UMK, UJ) jest realizowany projekt o tej samej nazwie, którego celem jest utworzenie i wyposażenie członkowskich jednostek naukowych w sprzęt niezbędny do prowadzenia wspólnych badań naukowych oraz badawczo-rozwojowych na światowym poziomie. Projekt Narodowe Laboratorium Technologii Kwantowych jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007-2013, Priorytet 2. Infrastruktura sfery B+R, Działanie 2.2 „Wsparcie tworzenia wspólnej infrastruktury badawczej jednostek naukowych”.

KONTAKTY DO NAUKOWCÓW:

prof. dr hab. **Jan Gaj**
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. + 48 22 5532214, 5532329
email: jan.gaj@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://nltk.fuw.edu.pl/>
Strona Narodowego Laboratorium Technologii Kwantowych.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

NLTK100506b_fot01s.jpg

HR: http://nltk.fuw.edu.pl/pliki/NLTK100506b_fot01.jpg

Aparaturę laserową i detekcyjną przy kriostacie przeznaczonym do badań nad kropkami kwantowymi z pojedynczymi atomami manganu obsługuje doktorant Tomasz Kazimierczuk z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. (Źródło: NLTK/aFOTO)

NLTK100506b_fot02s.jpg

HR: <http://presse.uni-bremen.de/sixcms/detail.php?id=3265>

Warstwowa struktura mikrolasera zbudowanego na Uniwersytecie w Bremen. W tym przypadku kropki kwantowe znajdują się w szerszej warstwie widocznej w górnej części zdjęcia. Fotografia ma charakter uzupełniający i nie jest bezpośrednio związana z operacjami na kropkach kwantowych z pojedynczymi atomami manganu. (Źródło: Universität Bremen)



INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

