

Aktualności (nie tylko) fizyczne

Genialne pomysły odznaczają się prostotą i wszechstronnością. Aż ciśnie się na usta sakramentalne „gdybym wiedział, że tak można, to sam bym to zrobił”. Weźmy np. taki *kołowrót*. Słowo to ma obecnie kilka znaczeń. Jako pierwsze wymieniane jest w słownikach urządzenie służące do nawijania liny za pomocą korby. Ta maszyna prosta jest niewątpliwie genialna (z definicji), ale nam tutaj chodzi o pierwotne znaczenie kołowrotu, którego mniej szczegółowe słowniki już nawet nie podają. Jak sama nazwa wskazuje, kołowrót to wrota, które mogą kręcić się w koło. Może uważasz, drogi Czytelniku, że to ja coś kręcę, no bo co w tym genialnego? To zależy od punktu widzenia. Najczęściej taki kołowrót staje nam na drodze i utrudnia przejście, to raczej zawalidroga, a nie świetny pomysł. Z drugiej strony jednak, nie wymyślono lepszego sposobu, żeby zmusić tłum do przechodzenia pojedynczo. Ale to jeszcze nie wszystko. Kołowrót, po przepuszczeniu kogoś lub czegoś, sam ustawia się w stanie umożliwiającym przepuszczenie następnej jednostki. Takich kołowrotów mamy coraz więcej. W sklepach, stacjach narciarskich, metrach (w Polsce tylko jedno metro jest wyjątkiem). Pojawiają się zwłaszcza tam, gdzie trzeba płać za przejście, a nie oplaca się stawić biletera. Tylko że nikt tych bramek nie nazywa kołowrotami. No cóż, takie są reguły rozwoju języka – piękne i adekwatne określenia zastępowane są ogólnymi i opisowymi, jak np. bezduszne „drzwi obrotowe”. W dodatku, gdy już zapomnimy o naszym pięknym słowie, to sprowadzamy sobie takie z zagranicy. Jeżeli więc usłyszycie gdzieś określenie „turnstajl”, to raczcie przypomnieć, że to nazywa się po polsku kołowrót.

A właśnie udało się zbudować, a *single-photon turnstile device* [1], czyli (jak nikt ze specjalistów tego pewnie nie przetłumaczy) „jednofotonowy kołowrót”. Nazwa jest tu wyjątkowo adekwatna. To urządzenie potrafi wysłać na sygnał pojedynczy foton i natychmiast jest w stanie tę operację powtórzyć. A sprawa nie jest prosta. Bardzo trudno ustawić fotony w kolejkę. Wszystkie chciałyby przejść na jeden bilet. Taki owczy pęd umożliwia zbudowanie lasera, ale utrudnia uzyskiwanie strumieni pojedynczych fotonów, które przydałyby się np. do przesyłania informacji kwantowych, techniki przydatnej przy konstruowaniu kwantowych komputerów. Co innego elektrony. Od dziesięciu lat wiadomo [2] o istnieniu złącza półprzewodnikowego umożliwiającego przechodzenie elektronów jeden po drugim. Pomysł polega na wytworzeniu studni potencjału, do której (za pomocą efektu tunelowego) może przejść tylko jeden elektron, gdyż po jego przejściu bariera kulombowska wzrasta na tyle, że efektywnie zamyka taką służę. Aby wprowadzić do niej następny elektron, trzeba ten pierwszy wypuścić. Stwierdzono, że gdyby udało się jednocześnie zrobić służę dla elektronów i dziur, to mogłaby ona wysłać pojedyncze fotony [3].

Zbudowany jednofotonowy kołowrót wykorzystuje jednoczesną blokadę kulombowską dla elektronów i dziur w złączu p-n. Ma trzy, oddzielone barierami studnie kwantowe. Środkową na samym złączu i po jednej w częściach n i p. Po przyłożeniu odpowiedniego

napięcia V_0 spełnione są warunki rezonansowego przejścia m -tego elektronu do środkowej studni. Po tym przejściu odpychanie kulombowskie jest już wystarczające do powstrzymania następnych elektronów. Z drugiej strony, rezonansowe przejście dziury do środkowej studni jest możliwe dopiero przy napięciu $V_0 + \Delta V$. Jeżeli takie przejście nastąpi, to już następna dziura nie może się przedostać z powodu obniżonego przyciągania ze strony kwazicząstek znajdujących się w środkowej studni. Przez modulowanie napięcia pomiędzy V_0 i $V_0 + \Delta V$ można na zmianę wpuszczać m -ty (w zbudowanym urządzeniu 10-ty) elektron i pojedynczą dziurę. Jeżeli czas tunelowania i czas rekombinacji pary elektron-dziura są mniejsze od okresu zmian napięcia, to urządzenie wysyła po jednym fotonie na cykl.

Do zbudowania działającego według powyższego przepisu złącza GaAs/AlGaAs wykorzystano technikę epitaksji za pomocą wiązki molekularnej w połączeniu z m.in. litografią elektronową. Gotowe złącze umieszczono w temperaturze 50 mK w celu ograniczenia szumów termicznych (bez czego bariery kulombowskie by nie działały). Zgodnie z przewidywaniami zachowanie urządzenia stwierdzono, obserwując kwantyzację prądu płynącego przez złącze, odpowiadającą przechodzeniu dokładnie jednego, dwóch lub trzech elektronów na cykl, oraz mierząc opóźnienie między podniesieniem napięcia i rejestracją fotonu, wskazujące na wymuszanie emisji przez zmianę napięcia.

W ten sposób zademonstrowano długo poszukiwaną metodę generacji pojedynczych fotonów i serii określonej liczby fotonów. Następnym krokiem będzie obniżenie tła i podwyższenie efektywności urządzenia, w celu zastosowania go w powstającej informatyce kwantowej czy badaniu podstaw mechaniki kwantowej.

Może ktoś pokusi się o przesłanie takich fotonów przez ultra-zimny gaz atomów znajdujących się w stanie kondensacji Bosego-Einsteina. Okazuje się, że można na drodze kwantowej interferencji doprowadzić do tego, że prędkość światła w takim ośrodku może być porównywalna z prędkością dźwięku. Po szczegóły muszę, niestety, odesłać do oryginalnej pracy [4], w której zmierzona prędkość światła była jeszcze trochę większa i wynosiła aż 17 metrów na sekundę! I choć to brzmi nieprawdopodobnie, to nie jest to dowcip o kocie spadającym z prędkością światła (lampy naftowej z nim razem puszczonej). Dodatkowo przechodzenie światła przez taki ośrodek okazuje się być silnie nieliniowe (transmisja zależy np. od intensywności przepuszczanej wiązki), co może w przyszłości znaleźć zastosowanie praktyczne w optoelektronice. A swoją drogą to może do łapania pojedynczych wolnych fotonów wykorzystać odpowiednio szybkiego kota?

Piotr ZALEWSKI

- [1] J. Kim, O. Benson, H. Kan i Y. Yamamoto, *Nature* **397** (1999) 500.
- [2] P. Delsing, K.K. Likharev, L.S. Kuzmin i T. Claeson, *Phys. Rev. Lett.* **63** (1989) 2691.
- [3] A. Imamoglu i Y. Yamamoto *Phys. Rev. Lett.* **72** (1994) 210.
- [4] Lene Vestergaard Hau, S.E. Harris, Zachary Dutton i Cyrus H. Behroozi, *Nature* **397** (1999) 594.