

## Czym są diamenty?

Najlepszymi przyjaciółmi dziewczyny, jak śpiewała Marilyn Monroe. Okazuje się, że mogą być równie bezcenne dla fizyków. Klejnociki te umożliwiły zbudowanie kwantowej pamięci [1] oraz pozwoliły na splątanie drgań w dwóch kryształach znajdujących się w makroskopowej odległości [2].

Oba te efekty kwantowe zostały zaobserwowane w temperaturze pokojowej. Było to możliwe dzięki przysłowiowej twardości diamentu, związanej ze sztywnością jego struktury. Okazuje się, że można w kryształach diamentu wzbudzić wibrację polegającą na wzajemnym przemieszczaniu się dwóch jego podsiatek, obejmującą praktycznie cały kryształ (rzędu  $10^{16}$  atomów).

Termiczne wzbudzenie tego typu drgań wymaga bardzo wysokiej temperatury (około 2000 K), więc temperaturę pokojową można z tego punktu widzenia uznać za bliską zera bezwzględnego. Własności diamentu sprawiają, że drganie to ma częstość 40 THz (czyli okres 25 fs), a więc można mieć nadzieję na zaobserwowanie kwantowych efektów przed dekoherencją. Wibrację tę można wywołać za pomocą rozpraszania ramanowskiego, w wyniku którego foton „rozpada się” na foton o mniejszej energii i fonon (nazywany fononem optycznym).

Żeby zaobserwować splątanie drgań w dwóch różnych kryształach, trzeba zaprojektować drogę fotonów tak, żeby do niewrażliwych miejsc mógł dojść foton, przechodząc zarówno przez jeden, jak i przez drugi kryształ. Osiąga się to standardowo poprzez użycie odpowiedniej liczby płytek półprzepuszczalnych. W tym doświadczeniu bezpośrednio za impulsem wzbudzającym drgania emitowany był sygnał odczytujący, dla którego może zajść zjawisko odwrotne: foton łączy się w fononem i staje się fotonem o większej energii. Ponieważ prawdopodobieństwo zajścia rozpraszania ramanowskiego jest bardzo małe, więc praktycznie za każdym razem najwyżej jeden foton z każdego z ultrakrótkich (pikosekundowych) impulsów bierze udział w oddziaływaniu.

Jak w każdym tego typu eksperymencie, nieklasyczość zjawiska objawia się interferencją. W tym przypadku sytuacji, w której to jedyne wzbudzenie nastąpiło w jednym, z sytuacją, w której nastąpiło ono w drugim kryształach. Przy czym interferencja jest obserwowana tylko wtedy, gdy nie wiadomo, w którym kryształach to nastąpiło. Nie wiadomo, to znaczy, że nikt się o tym nie dowiedział z matką naturą włącznie.

Demonstracja ta [2] jest kolejnym krokiem w kierunku obserwacji zjawisk kwantowych w systemach makroskopowych.

Widzimy dwa kryształy o rozmiarach rzędu 3 mm leżące kilkanaście centymetrów jeden od drugiego i kontemplujemy pojedynczy fonon, który jest w dwóch miejscach naraz.

## Diamenty są wieczne...

... ale przecież kiedyś powstać musiały. Z tym pochodzenia ziemskiego w zasadzie nie ma problemu. Zastanawiające jest natomiast powszechne występowanie nanodiamentowych drobin w meteorytach (chondrytach). Do niedawna uważano, że muszą być one starsze od Układu Słonecznego, gdyż nikomu nie udało się wymyślić efektywnego sposobu powstawania ich w stosunkowo spokojnych (w porównaniu do np. wybuchów supernowych) procesach planetotwórczych. Okazało się jednak [3], że nanodiamenty nie występują w kometach, a przynajmniej jest ich dużo mniej w meteorytach kometarnego pochodzenia w porównaniu do tych niekometarnych. Mogłoby to świadczyć o powstawaniu tych ziarenek już w Układzie Słonecznym (bo materiał kometarny jest uznawany za bardziej pierwotny).

Zagadkę tę, być może, rozwiązuje analiza [4], w której autorzy, za pomocą symulacji, wskazują na istnienie nieznanego wcześniej mechanizmu produkcji kosmicznych nanodiamentów, który wyjaśnia bardzo dużo zagadkowych ich cech.

Tym mechanizmem są zderzenia fulerenowych cebulek. Po pierwsze, warzywa te są bardzo rozpowszechnione we Wszechświecie. Po drugie, okazuje się, że istnieje pewien dość wąski zakres prędkości względnych (około 5 km/s), przy których prawie całe zderzające się cebulki zamieniają się w nanodiamenty. Przy mniejszych prędkościach tylko mała część cebulek przechodzi tę przemianę fazową, a przy większych diament po powstaniu się roztopia. Odpowiednie prędkości względne są w dodatku typowe dla Układu Słonecznego. Ten sposób powstawania wyjaśnia domieszkowanie nanodiamentów np. ksenonem (który w dość naturalny sposób może znajdować się wewnątrz fulerenowych cebulek), występowanie różnych typów krystalicznej konfiguracji nanodiamentów, piramidalny kształt ziaren oraz ich bardzo małe rozmiary odpowiadające wielkością typowym rozmiarom fulerenowych cebulek. Opisany mechanizm powstawania ziaren diamentu może mieć miejsce zarówno po utworzeniu się protosystemu planetarnego, jak i przed jego powstaniem.

W każdym razie przekształcanie cebuli w diamenty wygląda na bardziej interesujące niż przemiana ołowiu w złoto.

Piotr ZALEWSKI

- [1] K.C. Lee, B.J. Sussman i inni, *Macroscopic non-classical states and terahertz quantum processing in room-temperature diamond*, Nature Photonics **6**(2012)41–44.
- [2] K.C. Lee, M.R. Sprague i inni, *Entangling macroscopic diamonds at room temperature*, Science **334**(2011)1253–1256.
- [3] Z.R. Dai, J.P. Bradley, D.J. Joswiak, D.E. Brownlee, H.G.M. Hill, M.J. Genge, *Possible in situ formation of meteoritic nanodiamonds in the early Solar System*, Nature **418**(2002)157–159.
- [4] N.A. Marks, M. Lattemann D.R. McKenzie, *Nonequilibrium route to nanodiamond with astrophysical implications*, Phys. Rev. Lett. **108**(2012)075503.



Suma  $(1 + 1)^{2012} = \binom{2012}{0} + \binom{2012}{1} + \binom{2012}{2} + \dots + \binom{2012}{1006} + \dots + \binom{2012}{2012}$  składa się z 2013 składników, z których największym jest liczba  $S$ .

$$\text{Zatem } S > \frac{2^{2012}}{2013} > \frac{2^{2012}}{4096} = T.$$