

Tornado w pudełku

16 sierpnia 2024

Fizycy z Warszawy zbudowali pułapkę na „kwantowe tornada” - pojedyncze kwantowe wiry (vorteksy) pojawiające się w nadprzewodnikach. A dzięki najszybszemu termometrowi świata swojego pomysłu poznali te wiry i ustalili, jak je kontrolować. Teraz naukowcy proponują, by pomysł ten wykorzystać jako pamięć w komputerach kwantowych. Badania pod kierunkiem prof. Macieja Zgirskiego z grupy CoolPhon w warszawskim Instytucie Fizyki PAN ukazały się w „Science Advances”.

W temperaturach bliskich zeru absolutnemu w bardzo małych obiektach dzieją się rzeczy, o których nie śniło się filozofom. I tak np. niektóre materiały stają się nadprzewodnikami – prąd może przepływać przez nie bez żadnych oporów. Niektóre nadprzewodniki są wrażliwe na obecność pola magnetycznego (niczym Superman na obecność kryptonitu).

Do takich materiałów należy choćby aluminium – jeśli wyziębi się je do ok. 1 kelwina, nabiera ono „supermocy” i staje się nadprzewodnikiem. Jeśli jednak do nadprzewodnika tego przykładając będziemy coraz silniejsze pole magnetyczne, materiał w którymś momencie straci swoje niespotykane własności i znów stanie się zwykłym metalem.

Ciekawe rzeczy dzieją się jednak zanim ta zmiana całkiem nastąpi. Jeśli pole magnetyczne jest odpowiednio dobrane, nadprzewodnik zaczyna „bronić się” przed utratą swoich „supermocy”. Pojawiają się w nim tzw. prądy ekranujące pole magnetyczne, a potem materiał – jeśli jest dostatecznie cienki – wpuszcza do swojego wnętrza maleńki kwantowy wir prądu, nanotornado. „Taki vortex to niepodzielny kwantowy obiekt, tak jak elektron, foton czy fonon. Jest chroniony topologicznie” – zwraca uwagę dr Foltyn.

W tym małym tornadzie pary związanych elektronów (tzw. pary Coopera) wirują wokół rdzenia o średnicy ok. 150 nm. Taki vortex – jako przeszkoda – wprowadza psuje właściwości nadprzewodnika, ale sam ruch wirowy odbywa się bez strat energii – tak, jak to tylko w nadprzewodnikach możliwe. Więc jeśli warunki się już dalej nie zmieniają, elektrony w takim tornadzie mogą kręcić się w nieskończoność. To stabilny, niepodzielny kwantowy byt.

Kwantowe wiry były dotychczas raczej szwarczarakterami w branży nadprzewodników. „Ruch tych vortexów potrafi kompletnie zepsuć działanie urządzeń nadprzewodzących, takich jak cewki do rezonansu magnetycznego, detektorów promieniowania czy bezoporowych linii transmisyjnych” – tłumaczy doktorant Konrad Norowski z IF PAN.

Dr Marek Foltyn mówi, że wir może rzeczywiście nieźle w nadprzewodniku nabroić, jeśli jest niekontrolowany. Jeśli jednak uda się go ujarzmić, może stać się zupełnie nowym pozytywnym superbohaterem. I właśnie naukowcy pokazali sposób na kontrolowanie vorteksów. Opracowali pułapkę, w którą łapią się wiry, a także zademonstrowali sposób ich uwalniania z tego nanowięzienia.

Nadprzewodząca pułapka na wiry polskiego pomysłu to umieszczone między dwoma kabelkami kwadratowe aluminiowe „nanopudełko”. W pudełku tym – jak pokazali naukowcy z IF PAN – można za pomocą odpowiedniego dobranego impulsu prądu umieszczać wiry – zmieści się ich tam kilka, a potem wypychać je – również za pomocą sygnału prądowego. „W świetle naszych wyników pewne teorie w opisie nadprzewodników – szczególnie pewien model opisujący, co się dzieje, kiedy nadprzewodnik przełącza się do stanu oporowego – będą nie do utrzymania” – mówi dr Foltyn.

Badania mają też jednak znaczenie praktyczne. Taka pułapka na wiry mogłaby służyć jako komórka pamięci w komputerach kwantowych. Obecność wiru w pułapce oznaczałaby stan 1, brak

wiru – stan 0.

Komputery kwantowe potrzebują nie tylko kubitów, w których procesowane będą informacje, ale również komórek pamięci, gdzie informacje będą zapisywane na dłużej i przechowywane do późniejszej obróbki. Zdaniem polskich badaczy wiry dobrze by się w komputerach kwantowych spisały, bo są stabilne, powstają w warunkach nieźle współgrających z obecnymi technologiami stosowanymi w tej branży – w urządzeniach z nadprzewodzącego aluminium i w podobnie ultrazimnych temperaturach.

Dr Foltyn opowiada, że wirami zajmowało się bardzo wielu naukowców, w tym noblista Andre Geim, który potem przerzucił się na grafen. Problemem było to, że nikomu wcześniej nie udało się tych wirów z taką dokładnością kontrolować. „A my to zrobiliśmy. I chcemy pokazać dobrą stronę wiru” – komentuje dr Foltyn.

Polskim fizykom udało się poznać tajniki zachowania wirów, bo opracowali wcześniej najszybszy termometr świata. Potrafi on mierzyć w nadprzewodnikach temperaturę z oszałamiającą rozdzielczością czasową: 1 nanosekundy (sekunda to miliard nanosekund). A pomiar ten odbywa się z dokładnością do około 100 mikrokelwinów (czyli z dziesięciotysięczną częścią stopnia C). „Zastanawialiśmy się, czy nie zgłosić naszego rozwiązania do »Księgi rekordów Guinnessa«” – uśmiecha się dr Foltyn.

Są tu pewne haczyki: pomiar nie dotyczy pojedynczej sytuacji pomiaru temperatury, ale jest opisem tego, co dzieje się bardzo wiele razy w powtarzalnych procesach. Eksperymenty przeprowadza się bowiem w warunkach kriogenicznych tysiące razy na sekundę, z których wyznacza się prawdopodobieństwo przełączenia termometru do stanu oporowego odpowiadającego stanowi danej sytuacji – np. pułapki z wirem lub bez niego. Dzięki temu prawdopodobieństwu, zależnemu od temperatury, można wydobyć niezwykle szczegółowe informacje o procesach termodynamicznych, które zachodzą w nanomateriałach ekstremalnie szybko.

Badania zespołu prof. Zgirskiego kładą podwaliny pod nową gałąź fizyki – nanotermometrię przełączeniową z wykorzystaniem nadprzewodnictwa.

Badacze dodają, że ich nanourządzenie – w zależności od tego, jak się je wykorzysta – może też służyć jako generator liczb losowych, kalorymetr, bolometr, czujnik pola magnetycznego. „Dzięki temu urządzeniu dowiedzieliśmy się, ile energii jest uwalnianej przy wyrzucaniu pojedynczego vorteksa z nanostruktury. Okazało się, że zmierzona energia odpowiada energii pojedynczego kwantu światła widzialnego” – podsumowuje Konrad Norowski. A, jak zapewnia, nie jest to jeszcze limit pomiarów – urządzenie może mierzyć fotony o energii tysiąc razy mniejszej niż światło widzialne.

Badania będą prowadzone w ramach Międzynarodowego Centrum Sprzężenia Magnetyzmu i Nadprzewodnictwa z Materiał Topologiczną MagTop. FNP przyznała Centrum MagTop blisko 30 mln zł. Zespół prof. Zgirskiego poszukuje teraz doktorantów i postdoców, by rozwijać projekt. „Chcemy te badania prowadzić w Polsce. Chcemy, żeby oryginalne i ambitne pomysły powstawały w naszym kraju i tu były realizowane” – mówi dr Foltyn.

Autorstwo: Ludwika Tomala

Źródło: NaukawPolsce.pl