# Taniec wirów w ciele stałym

2011-04-03

Dr Barbara Piętka prezentuje na monitorze wyniki eksperymentalne przedstawiające fazę polarytonów w stanie nadciekłym. Dwa wiry, wir i anty wir widoczne są na nieciągłości frontu falowego. Czerwone strzałki ilustrują kierunek i zwrot prędkości polarytonów. Foto: Mariusz Piętka

Wir kojarzony jest zwykle z ruchem wody. Niełatwo wyobrazić sobie podobne zjawisko wewnątrz kryształu, a jednak tam także jest ono możliwe.

Strukturę krystaliczną ciała stałego tworzą regularnie ułożone atomy. Jądra atomowe pozostają zazwyczaj w swoich ustalonych miejscach, podczas gdy lekkie elektrony z powłok atomowych mogą być wymieniane pomiędzy atomami. Mogą też pojawiać się miejsca, w których chwilowo brakuje elektronów, czyli dziury. Dziury i uwolnione elektrony mają swoją dynamikę, w szczególności mogą przyciągać się i tworzyć rodzaj stanów związanych nazywanych ekscytonami. Ekscytony są więc lokalnymi zaburzeniami „porządku" na powłokach elektronowych atomów sieci krystalicznej. Zaburzenia te mogą się przemieszczać wewnątrz ciała stałego, a ich zachowanie pod wieloma względami przypomina ruch zwykłych cząstek, dlatego nazywa się je kwazicząstkami. Z kolei przemieszczanie się dużej liczby kwazicząstek poprzez kryształ może być porównane do przepływu płynu. W takim ruchu kwazicząstek defekty sieci krystalicznej – miejscowe nieregularności ułożenia atomów lub obecność „obcych" atomów innych pierwiastków – zaburzają swobodny przepływ podobnie jak kamienie w strumieniu zaburzają przepływ wody. A więc mogą pojawiać się wiry.

Jednym z warunków koniecznych do wytworzenia dynamicznych wirów w ciele stałym, jest wprowadzenie „płynu" kwazicząstek w stan nadciekły. W przypadku zwykłych płynów stan nadciekłości osiąga się obniżając ekstremalnie temperaturę. Nadciekła ciecz – na przykład hel 4 schłodzony do temperatury ok. 2 stopni Kelwina – nie wykazuje żadnej lepkości. Przy małej prędkości przepływa w prowadzących ją instalacjach bez oporów, wciskając się w nawet najmniejsze szczeliny. Jeśli na drodze

jest jakaś przeszkoda to cząsteczki nadciekłej cieczy … zupełnie jej nie zauważą – opłyną ją bez najmniejszych zaburzeń. Podobnie „płyn” kwazicząstek można wprowadzić w stan nadciekły.

Pracujący na politechnice w Lozannie zespół, w skład którego wchodziła dr Barbara Piętka z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, wprowadził w stan nadciekły polarytony. Nazwą tą określa się ekscytony sprzężone ze światłem. „Są to kwazicząstki, będące połączeniem światła widzialnego (fotonu) oraz materii (ekscytonu)” – opisuje dr Piętka. Podczas eksperymentów naukowcy obserwowali, co się dzieje z przepływającymi przez kryształ półprzewodnikowy polarytonami w stanie nadciekłym w miarę zwiększania ich prędkości. Nadciekłe polarytony nakierowano na znajdujący się w krysztale defekt – niewielką wypukłość. „Aby wytworzyć wiry kwantowe trzeba było rozpędzić polarytony na tyle, by na obwodzie defektu prędkość tych kwazicząstek przekraczała prędkość dźwięku” tłumaczy badaczka. „Wtedy stan nadciekły się załamywał, a za defektem pojawiały się wiry”.

Wiry powstające podczas przepuszczania polarytonów przez półprzewodnik przypominają inne znane zjawiska tego typu. W krysztale nie tworzą się one jednak tak chaotyczne, jak choćby wiry w wodzie, lecz w sposób bardziej uporządkowany. Autorzy zaobserwowali powstanie wiru oraz antywiru oraz ich uwolnienie w tym samym momencie. W skali makro jest inaczej – tam wir i rotujący w przeciwną stronę antywir zwykle uwalniane są po kolei i nie tworzą par. Po odłączeniu od defektu, wiry kwantowe nie znikają i przesuwają się w próbce tak długo, jak istnieją tworzące je polarytony. Żywot tych kwazicząstek jest bardzo krótki - liczy się w pikosekundach, czyli trylionowych częściach sekund. Polarytony mogą w tym czasie pokonać odległości nawet do 200 mikrometrów, co ma istotne znaczenie w szybkim przekazie informacji na odległości duże w skali rozmiarów bramek logicznych i tranzystorów.

Próbka, którą posługiwano się podczas eksperymentu opisanego w Nature składała się z połączeń pierwiastków z III i V grupy układu okresowego. „Taki kryształ hoduje się w specjalnych warunkach, atom po atomie układa się w sieci krystaliczne o różnych warstwach” – mówi dr Piętka. W trakcie eksperymentu użyto próbki z arsenku galu oraz arsenku aluminium. Jej poszczególne warstwy miały grubość rzędu nanometrów, różniły się właściwościami oraz pełnioną funkcją. Równie dobrze mogły to być połączenia innych pierwiastków, np. azotu i galu. „Eksperyment można by przeprowadzić na materiałach z II i VI grupy pod warunkiem, że ktoś umiałby wyhodować taką próbkę, co jest kwestią zastosowania odpowiedniej technologii” – uzupełnia autorka. Założeniem eksperymentu było przeprowadzanie badań tak, aby otrzymane wyniki można było łatwo otrzymać i potwierdzić niezależnie w innych laboratoriach.

Badaniem własności polarytonów zajmuje się nowa dziedzina fizyki nazywana polarytroniką. Oczekuje się, że prowadzone w jej ramach prace pozwolą zbudować w przyszłości wiele pożytecznych urządzeń m.in. zużywające mniej energii lasery lub nowe polarytonowe pamięci optyczne oraz tranzystory. Badanie zjawisk zachodzących podczas przepływu polarytonów przez półprzewodnik jest ważne z punktu widzenia ich zastosowań – zakłócenia jakie powstają podczas tego procesu będą miały wpływ na szybkość przekazywania informacji.

Praca pod tytułem Hydrodynamic nucleation of quantized vortex pairs in a polariton quantum fluid (Hydrodynamiczna nukleacja par skwantowanych wirów w kwantowym płynie polarytonowym) została opublikowana 3 kwietnia w „Advance Online Publication” czasopisma Nature Physics (nr referencyjny DOI: 10.1038/NPHYS1959).

## MATERIAŁY GRAFICZNE

HR Dr Barbara Piętka prezentuje na monitorze wyniki eksperymentalne przedstawiające fazę polarytonów w stanie nadciekłym. Dwa wiry, wir i anty wir widoczne są na nieciągłości frontu falowego. Czerwone strzałki ilustrują kierunek i zwrot prędkości polarytonów. Foto: Mariusz Piętka

# UZNANIE AUTORSTWA

(ang. Creative Commons Attribution) Wolno kopiować, rozprowadzać, przedstawiać i wykonywać objęty prawem autorskim utwór oraz opracowane na jego podstawie utwory zależne pod warunkiem, że zostanie przywołane źródło pierwowzoru.