

Streszczenie

Streszczenie Rozprawa doktorska poświęcona jest badaniom ekscytonowo-polarytonowych fal X w półprzewodnikowych mikrownękach optycznych. Wyniki tych badań opublikowano w trzech artykułach: "Exciton-polariton localized wave packets in a microcavity", opublikowanym w Physical Review B, "Numerical modeling of exciton-polariton Bose-Einstein condensate in microcavity", opublikowanym w Computer Physics Communications, a także w pracy eksperymentalnej "Superluminal X-waves in a polariton quantum fluid", opublikowanej w Light: Science & Applications. Stanowią one cykl publikacji powiązanych tematycznie. Łącznie z przewodnikiem tworzą pracę doktorską w formie samodzielnej i wyodrębnionej części pracy zbiorowej. Fale X należą do klasy zlokalizowanych paczek falowych które mogą przemieszczać się na duże odległości ze znaczną prędkością i bez dyfrakcji, tzn. nie ulegają rozpraszaniu. Ich nazwa pochodzi od charakterystycznego kształtu litery „X”, który zachowują zarówno w przestrzeni konfiguracyjnej (rzeczywistej) jak i przestrzeni pędów (częstotliwości). W odróżnieniu od innych typów zlokalizowanych paczek falowych, fale X istnieją zarówno w ośrodkach liniowych jak i nieliniowych. Dotychczas zrealizowano je np. w postaci fal akustycznych i elektromagnetycznych („impulsy świetlne”) oraz falach materii w ultrazimnym gazie. Znalaziono także ciekawe zastosowania fal X. Przykładowo, zostały one użyte do zwiększenia rozdzielczości w medycznym obrazowaniu ultrasonograficznym oraz w telekomunikacji, w budowie kierunkowych nadajników radiowych małej mocy. Polarytony ekscytonowe są kwazicząstkami składającymi się z fotonów silnie sprzężonych z ekscytonami (parami elektron-dziura). Powstają one w procesie laserowego pompowania mikrownęki półprzewodnikowej. Dotychczas z użyciem tych układów zademonstrowano np. wysokotemperaturową kondensację Bosego-Einsteina oraz nadciekłość. Mikrownęki pozwalają na dużą kontrolę kwazicząstek, których stan może być łatwo odczytany z użyciem ultraszybkiej techniki holograficznej. Hipotezą badawczą rozprawy jest istnienie fal X w nadcieczy ekscytonowo-polarytonowej. Hipotezę tę udowodniono z użyciem symulacji numerycznych oraz eksperymentalnie. Badania zostały podzielone na trzy etapy. W pierwszym kroku rozwiązano układ zależnych od czasu równań Grossa-Pitajewskiego w celu uzyskania rozwiązania kwazistacjonarnego. Krzywa dyspersji dolnych polarytonów posiada punkt przegięcia, dzięki czemu możliwe było odwrócenie znaku efektywnej masy fotonów wzdłuż jednej z osi wnęki, co jest warunkiem powstania fal X. Drugi etap obejmował stworzenie oprogramowania numerycznego służącego do modelowania dynamiki nadcieczy dla realistycznych parametrów. Programy napisano w języku C++ w oparciu o metodę Rungego-Kutty 4. rzędu, która została zmodyfikowana i zoptymalizowana do rozwiązywania równań Grossa-Pitajewskiego z użyciem superkomputerów. Symulacje wykazały, że kwazistacjonarne rozwiązanie prowadzi do powstania fal X i że mogą być one wytworzone z impulsu gaussowskiego w ośrodku nieliniowym. Ten wynik pozwala na uproszczenie formowania fal X w eksperymencie. W trzecim kroku przeprowadzono eksperymenty, w których zaobserwowano spontaniczne tworzenie się fal X i zbadano ich własności, np. skwantowane wiry fazowe oraz prędkość nadświatlną. Wyniki eksperymentów okazały się zgodne z obliczeniami numerycznymi, a hipoteza badawcza została udowodniona. Wyniki uzyskane w ramach opisanych badań mogą znaleźć zastosowanie np. w rozwoju nośników informacji opartych na falach X dla potrzeb technologii polarytonowej. Mogą być także użyte w badaniu zlokalizowanych paczek falowych w podobnych układach. Oprogramowanie numeryczne, którego poprawność została potwierdzona w eksperymencie, może być użyte do badania dynamiki różnych systemów ekscytonowo-polarytonowych. Zwróciło ono uwagę społeczności naukowej badającej np. ekscytonowo-polarytonowe żyroskopy (prof. Yuan Ren, Duke University, Durham, USA oraz Beihang University, Pekin, Chiny) oraz ekscytonowo-polarytonowe sieci optyczne (dr Mitchell Anderson, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lozanna, Szwajcaria).