

Streszczenie popularnonaukowe

Tematem przygotowywanej rozprawy doktorskiej jest: „*Złożona dynamika nieliniowych modów kondensatu polarytonów ekscytonowych*”, rozprawa przygotowywana jest pod opieką dr hab. Michała Matuszewskiego w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk. Prowadzone w rozprawie badania dotyczą polarytonów ekscytonowych.

Polarytony ekscytonowe są to cząstki kwantowe o wyjątkowych właściwościach powstające w wyniku interakcji światła z materią. Proces tworzenia polarytonów można zaobserwować w specjalnie projektowanych mikrownękach półprzewodnikowych w których kwanty światła - fotony silnie oddziałują z wzbudzeniem elementarnym kryształu półprzewodnikowego - ekscytonem. Polarytony ekscytonowe zachowują się jak słynne „koty Schrödingera” będąc jednocześnie kwantem światła jak i wzbudzeniem materii. Dzięki hybrydowej naturze uzyskują unikalne właściwości niedostępne dla innych cząstek kwantowych w kryształach półprzewodnikowych – są wyjątkowo lekkie a jednocześnie mogą silnie ze sobą oddziaływać. Dodatkowo polarytony ekscytonowe są bozonami wykazują więc tendencję do obsadzania tych samych stanów kwantowych z prawdopodobieństwem obsadzenia zwiększającym się wraz z ich liczbą. W warunkach niskiej gęstości nie odczuwają nawzajem swojej obecności i możemy je traktować jak cząstki gazu doskonałego. Gdy jednak gęstość bozonów w układzie staje się duża, a temperatura układu odpowiednio niska cząstki zaczynają odczuwać swoją obecność. Dominującą rolę odgrywają wtedy efekty kwantowo-mechaniczne związane z dualizmem korpuskularno-falowym. Taki układ przestajemy traktować jako zbiór indywidualnych cząstek, lecz jako pojedynczy kolektywny stan kwantowy o charakterze falowym. Stan kolektywny układu wielu bozonów możemy porównać do stanu ciekłego lub gazowego, w którym powstawać mogą dostępne jedynie dla świata kwantowego efekty, takie jak np. spontanicznie pojawiające się wiry kwantowe.

Prace badawcze prowadzone w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej skupiają się na dwóch głównych zagadnieniach: opracowaniu spójnego teoretycznego opisu nieliniowej dynamiki kondensatu polarytonów ekscytonowych oraz zaproponowania jej zastosowania do realizacji ultraszybkich i energooszczędnych układów obliczeniowych. Dotychczasowym efektem prac jest sformułowanie spójnego modelu opisującego efekty obserwowane w kondensacie takie jak oscylacje relaksacyjne czy generacja nieliniowych wzbudzeń. Badania te mogą przyczynić się do przyszłego projektowania nowych impulsowych emiterów światła koherentnego oraz ultraszybkiego przetwarzania informacji.

Kwantowe cieczy polarytonów, nazywane również przez swoją dwojaką naturę kwantowymi cieczami światła możemy „rozlewać” do różnie ukształtowanych struktur. Kształt wspomnianych struktur może przypominać sieć wgłębień. Dynamika kwantowej cieczy jest wtedy silnie ograniczona przestrzennie, można ją jednak wykorzystać w nowatorski sposób, jakim jest konstrukcja inspirowanych budową ludzkiego mózgu sztucznych sieci neuronowych. Sztuczna sieć neuronowa, tak jak układy biologiczne, składa się z neuronów. Takie neurony połączone są ze sobą wzajemnie, a ich układy mogą również tworzyć warstwy. Dobierając odpowiednie wagi pomiędzy połączeniami poszczególnych warstw możemy „nauczyć” taką sieć różnych czynności. Sieć neuronową możemy wykorzystać np. do rozpoznawania obrazów, przewidywania i odtwarzania sygnałów, analizowania i szukania podobieństw w dużych zbiorach danych. Część z prowadzonych w ramach rozprawy prac dotyczy wykorzystania stanów cieczy kwantowych np. w sieciach specjalnie zaprojektowanych nanostruktur półprzewodnikowych do zaprojektowania nowego typu układów obliczeniowych inspirowanych budową ludzkiego mózgu. Układy te stanowią zupełnie nową klasę sieci neuronowych, które w przyszłości mogą przewyższać swoją efektywnością wykorzystywane dziś realizacje elektroniczne. Celem prowadzonych badań jest zbadanie właściwości rozważnych układów oraz wyznaczenie wpływu kwantowych efektów fizycznych które mogą wpływać na ich efektywność.