

## Streszczenie Rozprawy

Tytuł w języku angielskim: *Exciton-polariton condensates with internal degrees of freedom.*

Tytuł w języku polskim: *Kondensaty polarytonów ekscytonowych z wewnętrznymi stopniami swobody.*

Niniejsza rozprawa dotyczy kondensatów polarytonów ekscytonowych i rozważa wpływ na nie dodatkowych, wewnętrznych stopni swobody.

Kondensat polarytonów ekscytonowych jest zjawiskiem makroskopowego, koherentnego obsadzenia pojedynczego stanu kwantowego przez kwazicząstki zwane polarytonami ekscytonowymi. Częstki te są złożeniem fotonów i wzbudzeń elementarnych w ciele stałym - ekscytonów.

Najczęściej przebieg eksperymentu realizowany jest w półprzewodnikowej mikrownęce ze studniami kwantowymi, gdzie zlokalizowane są ekscytony. Padające światło rezonuje w mikrownęce, a w studiach kwantowych, gdzie oddziaływanie fotonów i ekscytonów jest najbardziej intensywne, zachodzi tzw. silne sprzężenie, tj. czas dekoherencji fotonu i ekscytonu są mniejsze niż częstotliwości wymiany przez nie energii.

Foton jak i, w dobrym przybliżeniu, ekscyton są bozonami. W związku z tym polarytony ekscytonowe podlegają statystyce Bosego-Einsteina i mogą przejść do fazy kondensatu Bosego-Einsteina. Kondensat ten to stan makroskopowego obsadzenia przez zdecydowaną większość cząstek stanu o najniższej energii. Teoretyczne sformułowania zjawiska powstały w latach 20. XX wieku, jednak na eksperymentalne potwierdzenie musiały czekać ponad 70 lat. Liczne niepowodzenia wynikały z wymogu uzyskania mocno rozcieńczonego gazu atomowego w bardzo niskiej temperaturze.

Aby w praktyce wykorzystać właściwości kondensatu kwantowego, poszukiwano innych cząstek mogących skondensować. Najlepsze wyniki uzyskano dla polarytonów ekscytonowych w stanie stałym, które dzięki bardzo małej masie mogą przechodzić do kondensatu w znacznie wyższej temperaturze niż kondensaty atomowe. Niemniej jednak przejście fazowe może nastąpić tylko w określonych warunkach. W przypadku tradycyjnej kondensacji Bosego-Einsteina silnie rozcieńczony gaz musi być schładzany poniżej ekstremalnie niskiej temperatury (temperatura rzędu mikro Kelwinów), natomiast w przypadku polarytonów, kondensat musi być utrzymywany w niskiej temperaturze (rzędu kilku Kelwinów) i należy zwiększyć jego gęstość. W praktyce oznacza to kierowanie na próbkę wiązki lasera o odpowiedniej długości fali i mocy. Najczęściej stosuje się tzw. metodę nierezonansowego generowania kondensatu, w której koherencja kondensatu zachodzi samoistnie.

W przypadku tradycyjnych kondensatów atomowych istnieje bardzo dobry dokładny opis matematyczny, natomiast dla polarytonów, ze względu na różnorodne procesy fizyczne zachodzące w ciele stałym, stosuje się równanie fenomenologiczne, oparte na teorii kondensacji Bosego-Einsteina.

Rozprawa na wstępie przedstawia zagadnienie oddziaływanie światła z materią, opisuje fizykę polarytonów ekscytonowych, podstawy kondensatów Bosego-Einsteina oraz teorię kondensatów polarytonów ekscytonowych

Jako główny przedmiot rozprawy rozważany jest spin jako wewnętrzny stopień swobody. Aby to zilustrować, przedstawiono krótkie wprowadzenie do fizyki półprzewodników półmagnetycznych. w celu ukazania roli spinu w układzie. Następnie poddano analizie stabilność kondensatu całkowicie oraz częściowo spolaryzowanego spinowo, poprzez przeprowadzenie symulacji numerycznych, a także poprzez obliczenia analityczne wykorzystujące metodę Bogoliubowa. Pod wpływem pola magnetycznego w kondensacie zaobserwowano zjawisko samolokalizacji, czyli formowania się polaronów, co nie zostało wcześniej przewidziane dla nierównowagowego kondensatu polarytonów ekscytonowych. W modelu, uwzględniającym spin jako dodatkowego stopnia swobody, wykazano naprzemienną generację polaronów (ze względu na polaryzację).

Po drugie, zbadano wpływ rezerwuaru ekscytonowego, który będąc odrębnym zasobem, można traktować jako stopień swobody. Pokazano i opisano różne zachowania układów dynamicznych, m.in. chaos, intermitencję i stabilność, które można zaobserwować w kondensatach polarytonów ekscytonowych. Zbadano wpływ mechanizmu relaksacji energetycznej, wpływającej na stabilność kondensatu, który w efekcie zwiększa obszar stabilności, nawet przy długich czasach życia ekscytonu względem polarytonu. Co ciekawe, prosty mechanizm relaksacji w określonych warunkach, tj. przy zakłóceniu impulsem optycznym, jest wbrew intuicji katalizatorem powstawania chwilowych stanów niestabilnych.

Praca wyjaśnia obszernie problem kondensatów polarytonów ekscytonowych oraz przedstawia wyniki badań teoretycznych nad wpływem dodatkowych stopni swobody na te kondensaty.

10.06.2021.  
Paweł Miętko