

Przewidywania teoretyczne na temat kondensacji Bosego-Einsteina mają już prawie sto lat. Einstein, zainspirowany pracą przesłaną przez hinduskiego naukowca imieniem Bose na temat statystyki fotonów, rozwinął tę ideę na gaz cząstek masywnych posiadających całkowity spin, które zostały później nazwane bozonami. Wywnioskował on, że poniżej pewnej krytycznej temperatury gazu, spora jego część naturalnie obsadzi jednocząstkowy stan podstawowy układu. W analogii do kondensacji pary wodnej na chłodnej powierzchni, to zjawisko kwantowe zostało nazwane kondensacją Bosego-Einsteina. Świat czekał na eksperymentalną realizację takiej ekstremalnej kwantowej fazy materii aż do końca dwudziestego wieku. Pierwsze kondensaty zostały uzyskane w gazach atomów alkalicznych, schłodzonych do bardzo niskich temperatur, bliskich zera bezwzględnego. Za to odkrycie została przyznana Nagroda Nobla z Fizyki w 1995 dla C. E. Wiemana, E. Cornell i W. Ketterle. Takie gazy atomowe okazują się oddziaływać ze sobą, ponieważ atomy mogą się wzajemnie ze sobą zderzać. Okazuje się, iż kondensat gazu cząstek oddziałujących jest mocno powiązany z właściwościami nadciekłymi, czyli z właściwością cieczy do przepływu bez lepkości i rozpraszania, nawet jeśli na drodze spotka jakieś przeszkody.

W międzyczasie, naukowcy zdali sobie sprawę, że najbardziej dostępny gaz bozonów w naturze, czyli światło – gaz fotonowy, powinien podlegać tym samym prawom i kondensacja Bosego-Einsteina fotonów powinna być łatwa do zaobserwowania. Najpopularniejszy model fizyczny gazu fotonów, promieniowanie ciała doskonale czarnego, nie wykazuje niestety takiej kondensacji, pomimo faktu, iż gaz jest w równowadze termodynamicznej z pojemnikiem (wnęką ciała doskonale czarnego). Dzieje się tak dlatego, że liczba fotonów nie jest zachowana, gdy temperatura pojemnika jest obniżana i nie da się uzyskać takiego gazu w niskiej temperaturze, bo po prostu oznacza to brak gazu w  $T = 0$ . Okazuje się, że problem ten udaje się rozwiązać w innego typu pojemnikach, który znajdują się w urządzeniu półprzewodnikowym, czyli wnęcie laserowej. Należy jedynie umieścić w niej materiał aktywny spełniający specyficzne wymogi.

W tym projekcie zrealizujemy eksperymentalnie kondensat Bosego-Einsteina fotonów w znanej i popularnej realizacji lasera, czyli lasera o wnęcie pionowej z emisją powierzchniową (VCSEL). Planujemy przeprowadzić szczegółowe badania nad uwięzionym światłem w takim laserze i procesowi osiągnięcia równowagi termodynamicznej z temperaturą urządzenia. Będziemy również badać fundamentalne właściwości takiego kondensatu i jego relacji do standardowej akcji laserowej w takich urządzeniach. Co więcej, wielka uwaga zostanie poświęcona na uzyskanie eksperymentalnych dowodów na efektywne oddziaływania fotonów w takim kondensacie Bosego-Einsteina. To jest, oczywiście, niemożliwe bez jakiegoś układu/materiału pośredniczącego. W tym celu będziemy badać fundamentalne właściwości materiału budującego nasze lasery VCSEL, czyli półprzewodniki z grup III-V, które naturalnie cechują się silnymi parametrami nieliniowymi. Oznacza to, że właściwości materiału zmieniają się wraz z intensywnością światła, tj. gęstością gazu fotonów. To jest właśnie mechanizm pozwalający na efektywne oddziaływania fotonów, ponieważ zaczynają one w ten sposób odczuwać swoją wzajemną obecność w wysokich gęstościach uzyskanych w laserze. Ten efekt pozwoli nam na uzyskanie nadciekłego przepływu światła w laserze, jako że jest to wtedy kondensat Bosego-Einsteina cząstek oddziałujących.

Wyniki uzyskane w projekcie pozwolą na badania kwantowych właściwości gazu świetlnego i uzyskanie nadciekłej cieczy świetlnej w nowym układzie materiałowym, w standardowych laserach typu VCSEL. Planujemy pokazać światu, iż taki zwyczajny laser kryje w sobie dużo więcej, niż się wydaje na pierwszy rzut oka.