

Klasyczne i kwantowe symulacje z ultrazimnymi 4-składnikowymi mieszaninami fermionowymi na sieciach optycznych Popularne streszczenie projektu (SONATINA 1) – Dr Agnieszka Cichy

Ultrazimne gazy kwantowe dostarczają unikalnych możliwości *symulacji kwantowych* oddziałujących układów wielu ciał. Ogromny postęp w technikach doświadczalnych w ostatnich latach pozwolił na kontrolę wszystkich istotnych aspektów takich symulacji i umożliwił wgląd w fizyczne mechanizmy, które nie mogły być zrozumiane w konwencjonalnych układach fizyki fazy skondensowanej. Pełne zrozumienie tych eksperymentów nie jest jednak możliwe bez odpowiedniego opisu teoretycznego. Kwantowe symulacje nie są, oczywiście, możliwe do przeprowadzenia na analogowych komputerach. Metody numeryczne mające na celu taki opis są często nazywane *symulacjami klasycznymi*.

Motywacją dla projektu jest nowy trend w doświadczeniach, polegający na użyciu metali ziem rzadkich oraz ziem alkalicznych (ang. *alkaline-earth-like (AEL) atoms*), które mają wiele zalet w porównaniu do tradycyjnie używanych metali alkalicznych. Metale alkaliczne umożliwiły badanie wielu interesujących układów, ale względna prostota ich wewnętrznej struktury wprowadza wiele ograniczeń. Z drugiej strony, atomy AEL otworzyły rewolucyjne perspektywy badania nowych stanów materii. Pozwoliło to na doświadczalną realizację dwupasmowego modelu Hubbarda. Warto podkreślić, że eksperymenty te zmieniły status modelu Hubbarda – fizyka takich układów nie jest już *modelowana* za pomocą modelu Hubbarda, lecz jest przez niego *opisywana*. Jest to możliwe, gdyż w ultrazimnych gazach włączone są tylko pożądane mechanizmy. Otworzyło to nowe możliwości badawcze, w których opis teoretyczny może być *bezpośrednio* porównany z eksperymentem.

Głównym celem projektu jest dostarczenie opisu teoretycznego nowatorskich doświadczeń z ultrazimnymi gazami, w bliskiej koordynacji z nimi, poprzez zastosowanie zaawansowanych metod numerycznych, takich jak teoria dynamicznego pola średniego (DMFT), hybrydowe Monte Carlo (HMC) i sieci tensorowe. Innymi słowy, przeprowadzimy symulacje klasyczne zjawisk zachodzących w symulatorach kwantowych, aby osiągnąć pełne zrozumienie szerokiej klasy oddziałujących układów wielociałowych. Główną hipotezą badawczą jest, że badana klasa zjawisk jest kluczowa z punktu widzenia ogólnych mechanizmów niekonwencjonalnego nadprzewodnictwa, a także kwantowego magnetyzmu. Poprzez wyizolowanie odpowiednich mechanizmów w w pełni kontrolowany sposób, rzuci to nowe światło na najbardziej istotne problemy fizyki fazy skondensowanej.

Projekt zostanie podzielony na 2 podprojekty, dotyczące różnych rodzajów zjawisk w ultrazimnych gazach na sieci: magnetyzmu orbitalnego (w szczególności reżimów parametrów najbardziej korzystnych dla realizacji magnetycznie uporządkowanych faz) i nadciekłości (w szczególności przejścia BCS-BEC i stabilności egzotycznych faz).

Istotne jest podkreślenie nowatorskich i innowacyjnych aspektów projektu: koordynacja z najnowszymi eksperymentami w ultrazimnych gazach; zbadanie nowatorskich mechanizmów fizycznych, których eksperymentalna realizacja stała się możliwa dopiero niedawno lub stanie się możliwa wkrótce; zastosowanie zaawansowanych metod numerycznych, w tym zbadanych w niewielkim stopniu solverów matrix product states (MPS) używanych w DMFT oraz metod wywodzących się z teorii pól cechowania na sieci (hybrydowe Monte Carlo); użycie bardziej standardowych metod, MPS i DMFT, które są, jednakże, używane w relatywnie niewielkim stopniu w polskim środowisku fizyki materii skondensowanej; użycie kart graficznych w numeryce, co pozwoli na efektywne z komputerowego punktu widzenia przeprowadzenie obliczeń.

Pomyślna realizacja projektu zaowocuje lepszym zrozumieniem kwantowego magnetyzmu, przejścia BCS-BEC oraz niekonwencjonalnego nadprzewodnictwa w układach, które znajdują się w polu szerokiego zainteresowania ze strony eksperymentalnej – dostarczy opisu niedawnych doświadczeń i motywować będzie kolejne eksperymenty. W ten sposób, projekt ten doprowadzi do istotnych i nowatorskich spostrzeżeń dotyczących ogólnych mechanizmów kwantowego magnetyzmu, nadprzewodnictwa oraz nadciekłości. Problemy naukowe rozwiązane w ramach projektu będą miały duże znaczenie dla teoretycznej i eksperymentalnej fizyki fazy skondensowanej. Ich wpływ na eksperymenty z ultrazimnymi gazami atomowymi może prowadzić do postępu technologicznego (np. może pomóc w konstrukcji komputerów kwantowych, a także różnych urządzeń wykorzystujących zjawisko nadprzewodnictwa) i w ten sposób do szeroko rozumianego rozwoju społeczno-cywilizacyjnego.