

Streszczenie

M.Sc Eng. Buğra TÜZEMEN

Spinowo spolaryzowane domieszki w ultrazimnym gazie fermiego

Fizyka wielu ciał była świadkiem ciągłej współpracy na przestrzeni wieków między teorią a eksperymentem. Ogromny rozwój teorii gazu klasycznego w XIX wieku dał początek doświadczeniom, które z kolei wymagały dalszego rozwoju teorii. W ultraniskich temperaturach gaz, bozonowy lub fermionowy, wykazuje makroskopową spójność kwantową, która objawia się jako nadprzewodnictwo dla cząstek naładowanych, a jako nadciekłość w przypadku cząstek neutralnych. Ten nowy stan materii został dokładnie zbadany, zarówno teoretycznie, jak i eksperymentalnie, w XX wieku. Postępy w tej dziedzinie uitorowały drogę do odkrycia mnóstwa egzotycznych stanów materii.

Niniejsze badanie koncentruje się na teoretycznym odkryciu szczególnej egzotycznej konfiguracji, określanej mianem ferronu, w niezerównoważonym spinowo ultrazimnym gazie Fermiego. Pomimo że diagram fazowy dla ultrazimnego gazu Fermiego z polaryzacją spinową jest niekompletny, możliwe jest stworzenie metastabilnych stanów wzbudzonych, charakteryzujących się niskimi wartościami polaryzacji. Ferron powstaje w wyniku modulacji pola parowania, w obecności różnicy potencjałów chemicznych między składowymi spinowymi. Mechanizm ten jest zasadniczo podobny do tego, który stoi za złączem Josephsona- π w złączach nadprzewodnik-ferromagnetyk-nadprzewodnik lub fazą Fulde-Ferrel-Larkin-Ovchinnikov. Dlatego badania zwiększonej stabilności ferronu oraz jego wewnętrznej struktury oraz właściwości mogą rzucić światło na tę długo poszukiwaną fazę, której jeszcze nie zaobserwowano doświadczalnie.

Praca ta zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki spolaryzowanego ultrazimnego gazu Fermiego i skrzyżowania (ang. crossover) BCS-BEC z zarysem technik

eksperymentalnych. Drugi rozdział jest poświęcony teorii nadprzewodnictwa BCS, która jest ważna do zrozumienia metody Bogoliubowa-de Gennesa (BdG), twierdzenia Andreeva i zachowania pola parowania w skończonej temperaturze. W następnym rozdziale przedstawiono ramy techniczne symulacji układów wielociałowych. Opisano rozszerzenie teorii funkcjonału gęstości na układy nadciekłe. Model zwany asymetrycznym, przybliżeniem nadciekłej gęstości lokalnej (ang. time-dependent asymmetric superfluid local density approximation: TDASLDA) umożliwia symulację dynamiki gazu Fermiego spolaryzowanego spinowo. Zostało to zweryfikowane w licznych symulacjach na przestrzeni wielu lat.

Druga połowa pracy poświęcona jest ferronowi. W rozdziale czwartym przedstawiono sposób dynamicznego wytwarzania ferronu. Zbadano i wyjaśniono warunki do powstania ferronu oraz jego niezwyklej stabilność. Ponadto zaprezentowano (jeszcze bardziej) egzotyczne konfiguracje ferronu, takie jak deformacje i koncentryczne ferrony oraz zderzenia ferronów. Rozdział czwarty zawiera także porównanie między BdG i TDASLDA oraz między słabym oraz silnym reżimem sprzężenia w układzie.

W rozdziale piątym ferron jest badany w statycznych, dwuwymiarowych układach. Przedstawiono zachowanie stanów Andreeva, które tworzą ferron. Ferrony uzyskują określoną wielkość w stosunku do występującej w układzie nierównowagi spinowej. Wykazano również, że można je uzyskać w skończonych temperaturach, które są w zasięgu eksperymentalnym, jeśli rozmiar obiektu jest wystarczająco duży. W szóstym rozdziale omówiono dynamiczne właściwości ferronu. Okazuje się, że istnieje prędkość krytyczna dla każdego ferronu, powyżej której nie może być on przyspieszany, ponieważ będzie się to wiązać z jego zniszczeniem. Krytyczna prędkość zależy od rozmiaru ferronu oraz amplitudy pola parowania. Ponadto badana jest reakcja ferronu na superprzepływ pod kątem jego bezwładności. Z przeprowadzonych badań wynika, że masa efektywna zależy w prosty sposób od wielkości ferronu. Przedstawiono jednak dodatkowy wkład pochodzący od amplitudy pola parowania. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie i przyszłe aspekty.

Poniżej przedstawiono wykaz publikacji naukowych, na których oparta jest ta rozprawa:

- P. Magierski, B. Tüzemen, G. Wlazłowski, "Spin-polarized droplets in the unitary fermi gas", *Phys. Rev. A* **100**, 3 (2019).
- B. Tüzemen and P. Kukliński and P. Magierski and G. Wlazłowski, "Properties of spin-polarized impurities - ferrons, in the unitary fermi gas", *Acta Physica*

Polonia B, vol **51** (2020).

- P. Magierski, B. Tüzemen, G. Wlazłowski, "Dynamics of spin-polarized impurity in ultracold Fermi gas", Phys. Rev. A **104**, 3 (2021).

Słowa kluczowe: ultrazimny gaz Fermiego z polaryzacją spinową, faza FFLO, stany związane Andreeva, nadciekłość nierównowagowa