

SPINOWE FLUKTUACJE W KWANTOWYCH ANTYFERROMAGNETYKACH

Maciej Fidrysiak

Politechnika Wrocławska, 50-370 Wrocław, Polska

rozprawa doktorska

listopad 2015

Streszczenie

W pracy dyskutowane są dynamiczne własności struktur magnetycznych występujących w lekko zdomieszkowanych związkach macierzystych nadprzewodników wysokotemperaturowych na bazie miedzi i żelaza. Uwagę poświęcono również fizyce modu amplitudowego (Higgsa) w zdimeryzowanych antyferromagnetykach.

W rozdziale 2. przeanalizowano problem stabilności fazy antyferromagnetycznej (AF) względem domieszkowania dziurami w miedzianach opartych na lantanie. W szczególności zbadano rolę, jaką anizotropowe oddziaływania wymienne i masy wzbudzeń magnetycznych odgrywają w stabilizacji porządku AF w $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ dla $x < 0.02$. Głównym uzyskanym rezultatem są ograniczenia, jakie przybliżona symetria obrotowa układu spinowego nakłada na niskoenergetyczną dynamikę magnonów w obecności sprzężenia podukładu magnetycznego i domieszkowanych dziur. W oparciu o powyższą analizę pokazano, że bezpośrednia renormalizacja szczelin w spektrach wzbudzeń spinowych przez mobilne nośniki jest nieefektywna, co zapobiega destabilizacji fazy AF, nawet w przypadku układu izotropowego. Wskazuje to, wbrew dotychczasowej wiedzy, na drugorzędne znaczenie anizotropii magnetycznych w dyskutowanym zagadnieniu. W pracy zidentyfikowano dominujący niebezpośredni mechanizm redukcji szczelin spinowych jako renormalizację sztywności podukładu magnetycznego w obecności domieszek oraz, związane z tym, znaczne kwantowe fluktuacje spinowe. W ramach zaproponowanego schematu wyznaczono zależność mas magnonów od domieszkowania oraz temperatury, uzyskując zgodność z doświadczeniem w dostępnym obszarze parametrów.

W rozdziale 3. zbadana została możliwość wykorzystania podłużnych fluktuacji spinowych (PFS) do identyfikacji mikroskopowego mechanizmu porządkowania magnetycznego w związkach macierzystych nadprzewodników żelazowo-arsenowych BaFe_2As_2 i NaFeAs , w których PFS mają znaczący udział w niskoenergetycznej magnetycznej wadze spektralnej. Obecnie akceptowana interpretacja PFS jako wzbudzeń z kontinuum Stonera (KS) wskazuje na istotny wkład wędrownych nośników w magnetyzm tych układów. Nie jest ona jednak kompatybilna z dostępnymi pomiarami optycznymi i częścią eksperymentów fotoemisji elektronów, które sugerują że KS powinno być obserwowane w innym zakresie energii. W pracy zaproponowano jakościowo odmienny mechanizm, oparty o procesy wielomagnonowe, który generuje PFS we właściwym przedziale energii i jest zgodny ze spektroskopią optyczną. W przeciwieństwie do KS, jest on efektywny zarówno w układach wędrownych, jak i zlokalizowanych elektronów. Detekcji PFS nie można zatem uważać za dowód wkładu wędrownych elektronów w magnetyzm. Głównym rezultatem tego rozdziału jest pokazanie, że obserwowany zakres PFS można uzyskać w ramach opisu bazującego na spinach zlokalizowanych blisko kwantowych przejść fazowych. Scenariusz ten jest zgodny z badaniami wzbudzeń magnetycznych w tych układach, opartych o modele J_1 - J_2 w reżimie silnej frustracji.

W rozdziale 4. zbadano stabilność modów amplitudowych (Higgsa) w $3 + 1$ wymiarowych antyferromagnetykach. W ostatnich latach wzbudzenia te zostały zaobserwowane w zdimeryzowanych układach spinowych w pobliżu kwantowych punktów krytycznych. Głównym rezultatem (uzyskanym w ramach teorii efektywnej) są więzy na stosunek szerokości do masy modu amplitudowego (MA), który jest podstawową miarą jego stabilności i determinuje możliwość detekcji MA w realnych układach. Ograniczenia powiązane z własnością trywalności modeli skalarnych w czterech wymiarach, która implikuje związki pomiędzy wielkościami makroskopowymi i wysokoenergetycznym parametrem obciążenia. Ponadto, przeprowadzono analizę stabilności MA dla dobrze zbadanego eksperymentalnie antyferromagnetyka TlCuCl_3 w pobliżu kwantowego przejścia fazowego indukowanego ciśnieniem i zademonstrowano, że więzy są respektowane. Pokazano, że istnieje zakres ciśnień, dla których ograniczenia są restrykcyjne, co tłumaczy znaczny czas życia MA w tym materiale.

Podjęte badania przedstawiono w szerszym kontekście w rozdziale 1, a całość pracy podsumowano w rozdziale 5.