

Warszawa, 16 maj 2016

prof. dr hab. Krzysztof Byczuk  
Instytut Fizyki Teoretycznej  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski  
ul. Pasteura 5  
02-093  
Warszawa

Dziekan Wydziału  
Podstawowych Problemów Techniki  
Politechnika Wrocławska  
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

### **Recenzja rozprawy doktorskiej pana mgr Macieja Fidrysiaka**

Rozprawa doktorska pana magistra Macieja Fidrysiaka nosi tytuł „Spin fluctuations in quantum antiferromagnets” i została wykonana na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki, Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem prof. dr hab. Antoniego Mitusia i dr inż. Pawła Ruska. Praca napisana jest w języku angielskim, składa się z 95 stron tekstu podzielonego na pięć rozdziałów, dodatku, spisu literatury i streszczeń w językach polskim i angielskim.

Rozdział pierwszy poświęcony jest wprowadzeniu do zagadnień omawianych w rozprawie. Autor koncentruje się na nadprzewodnikach miedziowo-tlenowych i żelazowo-arsenowe porównując ich diagramy fazowe i własności magnetyczne. Magnetyzm tych materiałów stanowi przedmiot zainteresowania autora i jego pracy doktorskiej.

Rozdział drugi zawiera oryginalne wyniki badań autora na temat wzbudzeń magnonowych w nadprzewodnikach lantanowo-miedziowo-tlenowych. Wyniki zostały częściowo opublikowane w pracy w J. Phys.: Cond. Matt. W 2013 roku. Podrozdział pierwszy poświęcony jest podsumowaniu wyników doświadczalnych na temat struktury magnetycznej analizowanych związków. W podrozdziale drugim autor wprowadza efektywny model opisujący pojedynczą dziurę (brak elektronu) w kwadratowej sieci z uporządkowaniem antyferromagnetycznym. Punktem wyjścia jest model t-J z uwzględnieniem hoppingu pomiędzy najbliższym i następnymi sąsiadami. Opierając się na analizie Schraimana i Siggia autor wprowadza efektywny model opisujący sprzężenie dziury do spinowych stopni swobody w formalizmie rotacyjnie niezmienniczym. Podany jest też hamiltonian sprzężenia dziury i spinu w granicy

ciągłego ośrodka. W podrozdziale trzecim dyskutowany jest wpływ dystorsji na anizotropowe sprzężenie spin-spin, znane jako wyraz oddziaływania Dzyaloshinskiego-Moriya. Ostatecznie rozważania prowadzą do efektywnego hamiltonianu zawierającego opis dynamiki lokalnego parametru porządku Neela, sprzężenie prądu magnetyzacji tła do pola od dziurowego prądu spinowego, oraz dynamikę pola dipolowego dla prądu spinowego dziur. Autor zwraca uwagę, że poprawne potraktowanie rotacyjnej symetrii problemu w obecności silnego sprzężenia spinowo-dziurowego jest odpowiedzialne za identyfikację magnonów jako modów pseudo-Goldstonowskich i wskazuje, że masy magnonów odgrywają drugorzędną rolę w stabilizacji antyferromagnetyzmu w lekko domieszkowanych nadprzewodnikach tlenkowo-miedziowych. Autor zidentyfikował dwustopniowy mechanizm renormalizujący przerwy z oddziaływań anizotropowych jako wpływ dziur na podatność układu magnetycznego i jego spinowych fluktuacji. Rozdział ten kończą rozważania na temat analogii pomiędzy modelem standardowym cząstek elementarnych i opisywanymi układami.

Rozdział trzeci poświęcony jest rozważaniom na temat nisko-energetycznych podłużnych wzbudzeń spinowych w nadprzewodnikach żelazowo-arsenowych. Po krótkim wprowadzeniu do podstawowych własności materiałowych autor omawia metody detekcji stopnia wędrowności elektronów w tych układach i elementy teorii rozpraszania neutronowego i pomiaru podatności magnetycznych. W podrozdziale trzecim omówiona jest teoria dwumagnonowych procesów i ich wpływu na uogólnione podatności magnetyczne w ramach anizotropowego modelu Heisenberga dla zlokalizowanych momentów magnetycznych. Podrozdział czwarty poświęcony jest modelowi Hubbarda z jednym pasmem i wyliczeniu podatności magnetycznych w ramach teorii średniego pola z uwzględnieniem możliwych uporządkowani typu fali spinowej. W następnym podrozdziale omawiany jest model Hubbarda dwupasmowy. W podrozdziale szóstym autor omawia niejednoznaczność w przybliżeniach typu średniego pola, wynikająca z niejednoznaczności transformacji Hubbarda-Stratonovicha. Stąd w następnych podrozdziałach autor bada fluktuacje spinowe analizując przybliżenie chaotycznej fazy. Autor proponuje inny mechanizm dający wkład do podłużnej podatności spinowej w niskich energiach, który jest oparty na wielo-magnonowych wzbudzeniach. Wyniki są spójne z pomiarami optycznymi. Wyniki otrzymano w ramach efektywnego nieliniowego modelu sigma wynikającego z modelu lokalnych momentów magnetycznych z anizotropowymi sprzężeniami. Autor podkreśla, że w przeciwieństwie do ogólnej wiedzy wpływ elektronów wędrownych nie jest konieczny do opisu podłużnych wzbudzeń spinowych w niskoenergetycznej granicy.

Rozdział czwarty poświęcony jest problemom modu Higgsa i więzów na efektywne parametry sprzężenia w kwantowych antyferromagnetykach w trzech wymiarach przestrzennych ( $3+1=4$  wymiarach czasoprzestrzennych). Autor rozpoczyna od omówienia statutu modu Higgsa (modu amplitudowego) w fizyce materii skondensowanej i opisuje ostatnie osiągnięcia eksperymentalne w tej dziedzinie.

Następnie, na przykładzie skalarnego sektora modelu standardowego autor wprowadza koncepcje więzów generowanych dynamicznie w niskoenergetycznym efektywnym modelu. Znikanie stałych sprzężenia nazywane jest trywialnością. W kolejnym podrozdziale problem trywialności dyskutowany jest w granicy dużego  $N$  w modelu  $fi$  do czwartej. W podrozdziale piątym został wprowadzony nieliniowy model  $\sigma$  dla modelu dimerów kwantowego antyferromagnetyka i zostało wyznaczone sprzężenie krytyczne. W podrozdziale szóstym autor omawia fizyczne realizacje modelu spinowy dimerów. W ostatnim podrozdziale został wyprowadzony wiąz trywialny na mody amplitudowe w układach ze spinowymi dimerami. Zaproponowano, że stosunek masy (szczeliny) i szerokości połówkowej dla modu amplitudowego jest ograniczona z góry. Szczegółowa analiza jest przeprowadzona dla związku  $TiCuCl_3$ .

Praca doktorska Pana magistra inżyniera Macieja Fidrysiaka jest zredagowana z dużą pieczołowitością. Wprowadzona notacja jest spójna, skład wzorów bardzo dopracowany, prawie brak błędów typograficznych. Żałuję jednak, że styl jest bardzo hermetyczny i w zasadzie nie ma możliwości aby podążając za tekstem samodzielnie odtworzyć otrzymane wyniki. W szczególności wyprowadzenie efektywnych modeli w rozdziale drugim czy dyskusja roli fazy Berrygo w działaniu dla momentów spinowych powinno być omówione dokładniej.

Jeśli chodzi o stronę naukową, Pan Fidrysiak wykazał się ogromną znajomością kwantowej teorii pola i kunsztem w budowaniu modeli efektywnych w granicy ciągłej. Wyciągnięte wnioski w analizie poszczególnych modeli wydają się interesujące. Nie mam jednak pewności, czy jest to ostateczne rozstrzygnięcie stawianych problemów. Z pewnością dalsza analiza i pogłębione porównanie z wynikami doświadczalnymi, nie tylko tymi wybranymi przez autora, byłyby cenne.

Praca doktorska pana magistra inżyniera Macieja Fidrysiaka spełnia wszystkie zwyczajowe i ustawowe normy i dlatego wnioskuję do Rady Wydziału o dopuszczenie do publicznej obrony i dalszego postępowania zgodnie z przepisami odpowiedniej ustawy.

*K. Byca*