

dr hab. Jerzy Goraus
E-mail: jerzy.goraus@us.edu.pl
Instytut Fizyki im. Augusta Chęłkowskiego
Uniwersytet Śląski
ul. Uniwersytecka 4
40-007 Katowice

Katowice 13.08.2016

Recenzja pracy doktorskiej mgr. Oresta Pavlosiuka
pt. „Electronic properties of rare earth-based half-Heusler compounds”

Praca doktorska została wykonana w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk, promotorem recenzowanej pracy był dr hab. prof. Piotr Wiśniewski. Przedmiotem badań opisanych w pracy są związki międzymetaliczne na bazie ziem rzadkich o strukturze typu $MgAgAs$ i ogólnym wzorze $REMBi$ (gdzie $RE=Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Lu$; a $M = Pd, Pt$). Doktorant wybrał związki tego typu jako obiekt swoich badań ze względu na postulowane wcześniej w literaturze występowanie nietrywialnych topologicznie faz elektronowych a także możliwą koegzystencję nadprzewodnictwa i antyferromagnetyzmu. Praca ma charakter eksperymentalny, a najważniejsze techniki badawcze które autor stosuje aby wykazać obecność nietrywialnych topologicznie faz w badanych związkach to pomiary oporu, magnetooporu i efektu Halla. Poza tym autor charakteryzuje badane próbki przy użyciu pomiarów ciepła właściwego, namagnesowania a także podatności magnetycznej mierzonej techniką stałoprądową oraz zmiennoprądową. Struktura próbek została określona przy pomocy dyfrakcji rentgenowskiej, mikroskopii SEM, spektroskopii EDX, a dla trzech badanych związków przeprowadzono również pomiary metodą dyfrakcji neutronów. Doktorant jest także współautorem artykułu w którym niektóre z materiałów będących przedmiotem pracy doktorskiej były badane techniką magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR). Jak widać zakres zastosowanych technik badawczych jest szeroki, co pozwoliło dobrze scharakteryzować badane materiały i umożliwiło publikacje wyników w najlepszych czasopismach.

Na szczególne uznanie zasługuje fakt, że badane związki międzymetaliczne autor wytworzył w postaci monokryształów metodą krystalizacji z topnika. Dobranie odpowiednich parametrów hodowli monokryształów dla całego szeregu badanych

materiałów, pozwalających uzyskać próbki dobrej jakości musiało być bardzo pracochłonne.

Niewątpliwie niezwykle wartościowym potwierdzeniem nietrywialnych własności topologicznych struktury elektronowej badanych materiałów byłyby pomiary wykonane techniką kątowo-rozdzielczej spektroskopii fotoelektronów (ARPES) oraz techniką mikroskopii tunelowej. W swojej pracy doktorskiej autor tłumaczy, że takie pomiary dla związków o strukturze stopów Heuslera są trudne, a taniej i prościej jest badać własności transportowe. Chociaż taki argument niewątpliwie jest prawdziwy, wydaje się, że w perspektywie dalszych badań warto byłoby by jednak podjąć próbę precyzyjnego określenia struktury elektronowej techniką ARPES, zwłaszcza biorąc pod uwagę fakt że autor posiada próbki monokrystaliczne.

Przedłożona praca doktorska jest napisana w języku angielskim, ma 112 stron, siedem rozdziałów i jest starannie przygotowana pod względem edytorskim oraz językowym. We wstępie autor określa swój cel badawczy a także krótko nakreśla historię badań substancji których struktura elektronowa ma nietrywialne topologiczne własności. W drugim rozdziale autor opisuje aspekty teoretyczne ważne w badaniach takich materiałów. Są to zwłaszcza wskaźniki pozwalające określić na podstawie znanej struktury elektronowej czy dla danego materiału jest ona nietrywialna topologicznie. Należą do nich indeks Z_2 określający własności topologiczne materiałów dwuwymiarowych jak również jego uogólnienie na przypadek trójwymiarowy, które pozwala sklasyfikować izolatory jako trywialne topologicznie, słabe izolatory topologiczne (które de-facto są po prostu złożeniem wzdłuż jednej z płaszczyzn izolatorów dwuwymiarowych) oraz silne izolatory topologiczne. Te ostatnie są ogromnie interesujące ze względu na szczególną stabilność fazy nietrywialnej topologicznie i jej niewrażliwość na obecność defektów. Postuluje się nawet, że takie materiały mogą umożliwić zbudowanie topologicznego komputera kwantowego, w którym podstawowy problem klasycznych komputerów kwantowych jakim jest dekoherencja, zostałby rozwiązany dzięki wysokiej stabilności fazy nietrywialnej topologicznie w silnym izolatorze topologicznym. Jest to jeden z ważnych powodów dla których badania materii o nietrywialnej topologicznie strukturze elektronowej cieszą się obecnie ogromnym zainteresowaniem.

W trzecim rozdziale autor opisuje jak wytworzył próbki badanych materiałów oraz specyfikę technik eksperymentalnych którymi je później badał. W czwartym rozdziale przedstawia analizę strukturalną próbek. W przedstawionych parametrach dopasowania uzyskanych metodą Rietvelda brakuje jednak informacji o dokładności dopasowania. Autor prezentuje dyfraktogramy tylko dla dwóch próbek (LuPdBi i HoPdBi) a współczynnik Bragga tylko dla jednej.

Następne dwa rozdziały pracy doktorskiej zawierają dokładny opis tych materiałów które wykazywały nadprzewodnictwo (piąty rozdział) oraz antyferromagnetyzm (szósty rozdział). Własności fazy nadprzewodzącej autor w szczegółowy sposób określił na podstawie pomiarów własności magnetycznych, oporu elektrycznego oraz ciepła właściwego. Co ciekawe przejście do stanu nadprzewodzącego nie jest widoczne w postaci anomalii w cieple właściwym. Autor tłumaczy ten fakt obecnością chronionych topologicznie stanów powierzchniowych, których objętość jest bardzo mała - a przez to niemożliwa do obserwacji w cieple właściwym. Szczególną rolę odgrywa w piątym rozdziale analiza wyników pomiarów magnetooporu, efektu Halla oraz przewodnictwa elektrycznego. Autor zauważa w badanych materiałach oscylacje Shubnikova-de Haasa, a następnie szczegółowo je analizuje. Obserwacja tych oscylacji świadczy również o dobrej jakości uzyskanych monokryształów. Obecność w objętości próbki stanów o charakterze izolatora/półprzewodnika a na powierzchni stanów metalicznych autor uzasadnia możliwością dopasowania do temperaturowej zależności oporu od temperatury modelu uwzględniającego dwa równoległe kanały przewodnictwa - o charakterze metalicznym oraz o charakterze aktywacyjnym typowym dla półprzewodników. Podsumowanie piątego rozdziału zawiera wniosek, że wszystkie badane materiały o własnościach nadprzewodzących są dobrymi kandydatami na topologiczne nadprzewodniki. Potwierdzeniem tego jest również rozbieżność między współczynnikiem Sommerfelda określonym z pomiarów ciepła właściwego oraz z oscylacji Shubnikova-de Haasa.

Kolejny rozdział, w którym zawarte są wyniki dotyczące materiałów o własnościach antyferromagnetycznych zawiera szczegółową analizę własności magnetycznych, a pod koniec rozdziału również wyniki uzyskane metodą dyfrakcji neutronów. Również tutaj zaobserwowano w dwóch związkach oscylacje Shubnikova-de Haasa, a także podjęto próbę wyjaśnienia własności badanych materiałów w kontekście materiałów ze złożoną topologicznie strukturą elektronową. Mimo, że autor zaobserwował nadprzewodnictwo w HoPdBi, nie uwzględnił go w poprzednim rozdziale ze względu na wątpliwości co do tego czy nie ma ono związku z jakością próbki. Ostatni siódmy rozdział zawiera podsumowanie uzyskanych wyników, oraz perspektywy przyszłych badań.

Praca doktorska napisana jest w sposób przejrzysty i zwięzły, nie zaobserwowałem większych błędów edytorskich poza kilkoma literówkami (strona 3 - „antiffermagnetism”, strona 17 - „disspersive”, strona 23 - „fiield”, strona 32 - „tempearture”, strona 35 - „dush-dotted”, strona 40 - „sturdy”, strona 66 - „antifferromagnetic”). W spisie literatury czasami podana jest cała lista autorów danego artykułu, a czasami „et al.”. Uważam, że autor powinien zawsze

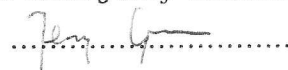
zamieszczać pełną listę autorów danego artykułu. Trudno dociec według jakich kryteriów autor w spisie literatury czasami stosuje znak & a czasami nie.

Doktorant zamieścił w pracy doktorskiej listę artykułów, których jest współautorem. Liczy ona 8 pozycji (w tym jeden preprint i jeden artykuł znajdujący się w druku). Według Web of Science doktorant jest współautorem 5 artykułów i ma 15 cytowań. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że jest on pierwszym autorem dwóch publikacji w Scientific Reports i jednej w Physical Review B. Są to jedne z najlepszych czasopism w jakich publikują fizycy zajmujący się fizyką ciała stałego. Bardzo ciekawa jest również publikacja profesora Bogdana Nowaka, której doktorant jest współautorem, a która zawiera badania techniką magnetycznego rezonansu jądrowego materiałów będących tematem omawianej pracy doktorskiej. Zarówno sama praca doktorska jak i publikacje, których doktorant jest współautorem wskazują na bardzo dobry warsztat naukowy doktoranta oraz umiejętność prowadzenia badań naukowych na najwyższym poziomie.

W podsumowaniu stwierdzam że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgr. Oresta Pavlosiuka spełnia wszystkie zwyczajowe i ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim i wnioskuje do Rady Naukowej Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu o dopuszczenie Pana mgr. Oresta Pavlosiuka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ze względu na wysoką jakość oraz wartość merytoryczną rozprawy, ogromną pracę eksperymentalną oraz doskonały dorobek doktoranta wnoszę o wyróżnienie rozprawy.

dr hab. Jerzy Goraus



Instytut Fizyki

Uniwersytet Śląski

Katowice 13.08.2016