

**Ocena rozprawy habilitacyjnej oraz dorobku naukowego doktora  
Tomasza Tolińskiego w związku z postępowaniem o nadanie Mu stopnia  
doktora habilitowanego nauk fizycznych**

*Ocena rozprawy habilitacyjnej.* Dr Tomasz Toliński przedstawił rozprawę habilitacyjną w postaci zbioru jedenastu jednotematycznych publikacji pod wspólnym tytułem “Własności magnetyczne i elektronowe związków  $RNi_4B$  i  $RNi_4Al$  (R = lantanowiec)” wraz z komentarzem. Prace te ukazały się w latach 2002-2005 w czasopismach: Czechoslovak Journal of Physics (1 praca), Journal of Alloys and Compounds (2 prace), Journal of Physics: Condensed Matter (1 praca), Physics Letters (1 praca), Physical Review B (2 prace), Physica Status Solidi (b) (2 prace) oraz Solid State Communications (2 prace). Prace włączone do habilitacji powstały w zespołach od trzech do ośmiu współpracowników. W materiale towarzyszącym rozprawie znajduje się 13 oświadczeń współautorskich, z których analizy wynika, że kandydat przeprowadzał interpretacje otrzymanych wyników oraz przygotowywał prace do druku. W niektórych pracach (T5, T9, T11) inspiracja badań oporu elektrycznego i ciepła właściwego pochodziła od Pana Doc. dr. hab. Andrzeja Kowalczyka, współautora wszystkich jedenastu publikacji. Ponadto we wszystkich pracach Pan doc. Kowalczyk - jak pisze - brał również udział “w interpretacji wyników i w opracowaniu tekstu”. We wszystkich jedenastu artykułach nazwisko habilitanta występuje na pierwszym miejscu listy autorów co wskazuje, że dr Toliński był inicjatorem oraz głównym organizatorem opisanych w pracach badań.

Tematyka prac składających się na rozprawę jest spójna i adekwatnie wyrażona tytułem rozprawy. Cel badania wymienionej w tytule grupy stopów trójskładnikowych łatwo zrozumieć, gdyż układom tym nie poświęcono do tej pory w nauce światowej zbyt wiele uwagi. Jednym z powodów mógł być brak jasnych perspektyw wykorzystania tych stopów lantanowcowo-niklowych z glinem lub borem jako materiałów magnetycznych o wysokich temperaturach krytycznych, gdyż te w badanych związkach sięgają zaledwie 40 K. Badania Pana dr. Tolińskiego i współpracowników wypełniają więc istniejącą do tej pory lukę w naszej wiedzy na temat własności elektronowych i magnetycznych tej rodziny stopów. Ze względu na podobieństwo struktur krystalograficznych w badanych układach, efekt zmiany składnika 4f-elektronowego mógł się dość jednoznacznie odzwierciedlać w zmianie własności

magnetycznych i transportowych badanych układów, co może ułatwić stworzenie jednolitego opisu mikroskopowego dla tej rodziny stopów. Użycie wielu uzupełniających się metod doświadczalnych do badania tych samych układów (oraz dodatkowo obliczeń *ab initio* struktury pasmowej) stanowi moim zdaniem największą zaletę cyklu prac tworzącego rozprawę habilitacyjną Autora.

Dla łatwiejszego podsumowania badań opisanych w pracy habilitacyjnej można je przedstawić w postaci dwuwymiarowej tablicy, mającej w nagłówkach kolumn nazwy kolejnych ziem rzadkich (z dodatkowym podpodziałem na bor, glin lub gal) a w nagłówkach wierszy badane własności: strukturalne (neutrony), magnetyczne ( podatność, temperatura krytyczna, magnetyzacja, pole koercji, widma neutronowe), elektronowe (XPS, obliczenia metodą LMTO), transportowe (oporność) oraz termodynamiczne (ciepło właściwe). Takie przedstawienie wyników rozprawy habilitacyjnej wydaje się podkreślać zamierzenia Autora, widoczne w jej tytule. Dają się zauważyć jednak pewne niekonsekwencje - nie wiem na przykład, dlaczego do kompletu objętego rozprawą Autor nie włączył swoich artykułów dotyczących stopów z talem oraz iterbem. Ten ostatni pierwiastek często traktuje się przecież jako dziurowy odpowiednik ceru, któremu habilitant w rozprawie poświęcił (moim zdaniem zupełnie słusznie) najwięcej uwagi. Podobnie można by tu włączyć badania struktury elektronowej, wykonane dla stopów z Tm, Gd, Er, Tb. Wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem byłoby podsumowanie tych badań w samodzielnej publikacji przeglądowej habilitanta. Na korzyść Autora należy jednak zauważyć, że dołączony do rozprawy komentarz habilitacyjny nadrabia do pewnego stopnia powyższe braki a także to, że habilitant wysłał już odpowiednią pracę przeglądową do recenzji (materiał ten nie może podlegać tu ocenie, jako artykuł niepublikowany).

W moim omówieniu rezultatów pracy habilitacyjnej dr. Tolińskiego posłużę się przedstawionym wyżej schematem "tablicy" jego badań, w kolejności według wierszy.

Własności magnetyczne stopów  $RNi_4X$  charakteryzuje skłonność do występowania uporządkowań ferromagnetycznych w stosunkowo niskich temperaturach. Wykonując wykres temperatury krytycznej w zależności od liczby atomowej lantanowca w danym stopie, można stwierdzić - jak wynika to z komentarza habilitacyjnego - jej proporcjonalność do funkcji de Gennesa. To interesujący wynik, który wydaje się oznaczać, że całka wymiany efektywnego hamiltonianu magnetycznego układu raczej słabo zależy od liczby atomowej lantanowca a także niewiele się zmienia przy zastąpieniu boru glinem. Widać jednak dwa wyraźne odstępstwa: dla Sm i Er. Autor tłumaczy to nieuwzględnionym w relacji de Gennesa efektem pola krystalicznego. Być może należy tu zauważyć też wyraźnie większą niż w innych układach anizotropię widoczną jako efekt szczeliny energetycznej w zachowaniu oporności od

temperatury w fazie magnetycznie uporządkowanej lub silne (dla stopu z Sm) pole koercji [T5]. Anizotropię tę można tłumaczyć jako skutek efektów pola krystalicznego oraz oddziaływania spin-orbita. Taka anizotropia mogłaby też wyjaśnić wzrost temperatury krytycznej w stosunku do wartości danej przez (skalowaną do związku z Gd) funkcję de Gennesa. Ciekawe byłoby ustalenie, dlaczego ten efekt jest znacznie silniejszy dla układu z borem niż glinem - może nieporządek w podukładzie Al-Ni redukuje efekty anizotropii? Trzeba też zauważyć, że we wszystkich badanych układach magnetycznych efektywny moment magnetyczny oszacowany z magnetyzacji nasycenia jest niższy niż wartość teoretyczna dla swobodnego jonu. Może to również być tłumaczone efektami anizotropii magnetokrystalicznej (zob. n.p.: Koehler, *J. Appl. Phys.* **65**, 1078 (1965)).

Badania struktury elektronowej stopów  $RNi_4X$  zostały wykonane przy użyciu rentgenowskiej spektroskopii fotoemisyjnej (XPS). Interpretacja widm XPS została dokonana w oparciu o teorię Gunnarssona-Schönhammera z 1983 r. Dr Toliński i współpracownicy wyznaczyli wartości parametrów modelu Andersona do opisu badanych układów i ponadto oszacowali wypełnienie poziomu  $4f$ . Najistotniejszym wynikiem tej części analizy jest stwierdzenie, że stopy cerowe mają niecałkowite wypełnienie poziomu  $4f$ , co oznacza, że należy je zaliczyć do układów o mieszanej walencyjności. Niezależne potwierdzenie tego wniosku dostarczają wyniki obliczeń struktury pasmowej dokonane metodą LMTO [T4], pokazujące, że pasmo  $4f$  znajduje się bardzo blisko (około 0.5 eV) poziomu Fermiego w tych układach. Wyniki obliczeń struktury pasmowej dają też informację o gęstości stanów na poziomie Fermiego: otrzymane wartości teoretyczne są jednak zaniżone w stosunku do wyznaczonych z pomiarów ciepła właściwego. Powstaje pytanie: czy w ramach teorii cieczy Fermiego tę różnicę dałoby się wyjaśnić efektem zwiększenia masy wskutek n.p. oddziaływań elektron-fonon? Lub, czy wynikające z tej różnicy oddziaływanie elektron-fonon mogłoby wyjaśnić liniowy przyczynek do oporności badanych stopów. Pozostaje także do wyjaśnienia wielkość stałego wkładu do podatności magnetycznej. Sugerowany tutaj przebieg analizy można znaleźć n.p. w pracy Picketta i wsp. dotyczącej ceru (*Phys. Rev. B* **23**, 1266 (1981)) i pod tym względem dyskusja tej części wyników Autora i współpracowników wydaje mi się w pracy habilitacyjnej nieco niekompletna.

Własności transportowe badanych układów dr Toliński scharakteryzował przedstawiając analizę temperaturowego zachowania oporności. Posługując się porównaniem ze stopami zawierającymi itr, zamiast lantanowca, wydzielił w oporności przyczynek pochodzący od rozpraszania elektronów z podukładu  $spd$  na zlokalizowanych elektronach  $4f$ . Najciekawsze wyniki otrzymał tutaj dla stopów niklu z cerem (oraz

B,Al,Ga), w których niskotemperaturowa oporność dawała się opisać logarytmiczną zależnością od temperatury, czyli zachowaniem typowym dla efektu Kondo. Autor tłumaczy to zjawisko występowaniem izolowanych momentów magnetycznych, związanych z defektami struktury. Choć wyjaśnienie to można uznać za słuszne w świetle stwierdzonego w badaniach XPS niecałkowitego obsadzenia poziomu  $4f$  [T4,T8,T9], typowego dla zakresu mieszanej walencyjności, warto by pewnie wykonać badania w dużo niższych temperaturach niż wynika z oszacowań  $T_K \sim 3.1\text{K}$  dla ustalenia, czy oporność osiągnie maksimum dla  $T > 0\text{K}$  (zob. n.p.: Bauer, *Adv. Phys.* **40**, 417 (1991)). Przydatna byłaby też informacja, czy i jak zachowanie niskotemperaturowe oporności zależy od technologii przygotowania próbek, co mogłoby zmienić liczbę defektów.

Interesujące własności termodynamiczne stopów z cerem oraz neodymem ujawniają pomiary ciepła właściwego, przeprowadzone do temperatur około  $2\text{K}$  [T9,T11]. Zachowanie ciepła w wyższych temperaturach jest typowe dla anomalii Schottky'ego spowodowanej rozszczepieniem poziomu podstawowego przez pole krystaliczne. Autorem udało się określić powstałe szczeliny energetyczne przez dopasowanie do zależności teoretycznej. Przechodząc do zakresu niższych temperatur, znaleziono anomalię ciepła właściwego w obu stopach w  $T = 6\text{K}$ , ale tylko drugą z nich można było powiązać z równoczesnym pojawieniem się uporządkowania ferromagnetycznego. W obu przypadkach pole magnetyczne wpływa bardzo podobnie na ciepło właściwe, podwyższając znacznie jego wartość dla  $T > 2\text{K}$  i obniżając poniżej tej temperatury. Równie intrygujące jest zachowanie ciepła bez pola: widać wzrost wartości  $c_p/T$  z obniżaniem się temperatury poniżej  $4\text{K}$ . Zapewne rozszerzenie badań do temperatur znacznie poniżej  $2\text{K}$  pomogło by wyjaśnić, czy można to zachowanie interpretować jako przejście do zakresu cieczy Fermiego w zjawisku typu Kondo, czy jest to odchylenie od własności cieczy Fermiego. Przy okazji powstaje też pytanie o podobieństwo zachowania ciepła właściwego w polu z ciężkofermionowym układem  $\text{CeCu}_6$  (mimo dużo mniejszych wartości ciepła w badanych przez Autora układach).

Podsumowując bardzo bogaty materiał zawarty w pracy habilitacyjnej widać, że dr Toliński wykonał już sporo w celu zrozumienia mechanizmów zjawisk magnetycznych i elektronowych w dużej grupie słabo i niezbyt systematycznie dotąd badanych materiałów. Zapewne wiele pozostało do zrobienia: w wielu przypadkach (ciepło, transport, podatność) interesujące byłyby pomiary w niższych temperaturach, pomiary transportowe warto uzupełnić o zbadanie siły termoelektrycznej, stałej Halla, magnetorezystancji, w niektórych przypadkach być może warto pomyśleć o pomiarach ciśnieniowych. Przełomem w dziedzinie lepszego scharakteryzowania uporządkowań magnetycznych byłoby uzyskanie monokryształów badanych stopów,

co pomogło by opracować model mikroskopowy tych układów. Warto by również w szerszej pracy przeglądowej skonfrontować własności stopów  $RNi_4X$  z zachowaniem podobnych materiałów o strukturze  $CaCu_5$ , zawierających miedź w miejsce niklu (zob. wspomniana wyżej praca Bauera oraz inne tam cytowane). Uważam, iż dużą zaletą pracy Pana doktora Tolińskiego jest, iż dość jasno można zobaczyć perspektywę dalszych badań nad interesującą grupą stopów.

*Ocena dorobku naukowego nie zawartego w pracy habilitacyjnej.* Niezależnie od jedenastu artykułów zawartych w pracy habilitacyjnej, Pan dr Tomasz Toliński jest autorem co najmniej 62 publikacji naukowych z czego 55 powstało po uzyskaniu stopnia doktora (na podstawie danych z 2005 roku). Zdecydowaną większość z tych prac opublikowano w czasopismach z t.zw. listy filadelfijskiej. Ponadto dr. Toliński jest współautorem 63 komunikatów konferencyjnych oraz 9 referatów konferencyjnych oraz wygłosił 3 seminaria na zaproszenie. Wszystkie prace habilitanta są pracami zespołowymi, wiele z nich powstało we współpracy ze znanymi naukowcami z ośrodków zagranicznych (m.in. grupa prof. Baberschke z Wolnego Uniwersytetu w Berlinie) i krajowych. Fakt, że w publikacjach Pana doktora Tolińskiego nie znalazłem pracy samodzielnej, wynika pewnie ze specyfiki pracy doświadczalnej. Można mieć jednak nadzieję, że jego napisana już praca przeglądowa dotycząca stopów omawianych w pracy habilitacyjnej niedługo się ukaże. Powinno to mieć bardzo stymulujący wpływ na wyraźniejsze dostrzeżenie działalności habilitanta w literaturze światowej, w tej chwili bowiem liczba niezależnych cytowań prac Pana doktora Tolińskiego jest jeszcze dość umiarkowana (19 cytowań), w stosunku do liczby Jego prac. Biorąc pod uwagę fakt, że pokaźny dorobek naukowy habilitanta powstał w ciągu zaledwie 11 lat od momentu ukończenia studiów na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza (w 1994 roku), Jego całkowity dorobek naukowy, aktywność badawczą, umiejętność nawiązywania współpracy i organizacji badań trzeba ocenić zdecydowanie pozytywnie.

*Podsumowanie i wniosek końcowy.* W podsumowaniu mogę z przekonaniem stwierdzić, że zarówno rozprawa habilitacyjna jak i dorobek naukowy Pana doktora Tomasza Tolińskiego spełniają warunki określone przez Ustawę o tytule i stopniach naukowych i wnoszę o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Tomasz Kustyl