



Mens agitat molem

Zakład Teorii Fazy Skondensowanej UMCS
Condensed Matter Theory Department

ul. Radziszewskiego 10
20 031 Lublin, POLAND

<http://kft.umcs.lublin.pl/ztfs> fax: (+48 (0)81) 537 61 90

Prof. dr hab. Karol Izydor Wysokiński tel.(081)5376236 e.mail: karol@tytan.umcs.lublin.pl

Lublin dn. 15 maja 2009 r.

Opinia o rozprawie habilitacyjnej
pt. „*Samoistne i niesamoistne pola krytyczne wybranych nadprzewodników*”
oraz dorobku naukowym **dra Bartłomieja Andrzejewskiego**

Dr Bartłomiej Andrzejewski urodził się 3 czerwca 1967 roku w Bydgoszczy. Studia fizyczne na Wydziale Fizyki UAM w Poznaniu ukończył w 1992 roku obroną pracy magisterskiej „*Charakteryzowanie nadprzewodników wysokotemperaturowych metodą absorpcji mikrofalowej*”, wykonanej w IFM PAN pod kierunkiem prof. Jana Stankowskiego. Opiekunem pracy na Uczelni był prof. Jerzy Pietrzak. Stopień naukowy doktora nadała mu Rada Naukowa Instytutu Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu, uchwałą z dn. 4 listopada 1997 r. na podstawie pracy doktorskiej „*Mikrofalowa detekcja efektu pułapkowania strumienia magnetycznego w nadprzewodnikach*”. Promotorem w przewodzie był prof. Jan Stankowski.

Na opiniowaną rozprawę habilitacyjną składa się cykl 10 publikacji oryginalnych poprzedzonych 34-stronicowym ich omówieniem. Artykuły te opublikowano w latach 2001-2008 w dobrych czasopismach specjalistycznych z listy filadelfijskiej. 3 prace ukazały się w Superconductor Science and Technology i Physica C oraz po jednej w J. Phys. Chem. Solids, J. Alloys and Compounds, Acta Phys. Pol. A i Phys. Rev. B.

Wszystkie prace są wieloautorskie, a liczba współautorów waha się od 3-6. W większości prac (7) dr Andrzejewski jest pierwszym autorem, dwukrotnie drugim, a raz w publikacji o silnych akcentach teoretycznych trzecim. Współpraca naukowa jest zawsze cenna, a czasami konieczna. Badania doświadczalne ciał stałych nieczęsto możliwe są do wykonania w jednym laboratorium, a prawdopodobnie nigdy przez jednego badacza. Konieczne jest, bowiem wyprodukowanie próbek odpowiednio dobrej jakości, ich strukturalna wstępna charakteryzacja, przeprowadzenie właściwych pomiarów elektrycznych, magnetycznych i innych oraz interpretacja wyników.

Do dokumentacji dołączono oświadczenia wszystkich współautorów prac. Zgodnie z wymogami określają oni własny udział w powstaniu prac i podkreślają dominującą rolę dr. Andrzejewskiego. Omówienie publikacji to zwięzły, znakomicie zredagowany artykuł w języku polskim. Zawiera on wprowadzenie omawiające dotychczasowy stan wiedzy w tematyce habilitacji i przekrojowe omówienie problematyki badawczej i najważniejszych osiągnięć szczegółowo opisanych w pracach [A1-A10] rozprawy habilitacyjnej.

Pierwsze trzy prace wchodzące do habilitacji wykonane zostały w Laboratorium CRI-SMAT we Francji, a poświęcone są badaniom granularnych nadprzewodników wysokotemperaturowych. I tak w pierwszej z nich wyznaczono wartości krytycznego pola złącza Josephsona H_{c1} prądu krytycznego. Analiza uzyskanych wyników w ramach kilku modeli teoretycznych pokazuje, że najlepszą zgodność z doświadczeniem otrzymuje się stosując opis w ramach modelu pojedynczego złącza. Jest to dość zaskakujący wynik, gdyż należałoby raczej oczekiwać zgodności z modelem ośrodka efektywnego. Prawdopodobną przyczyną jest niezwykle słabe sprzężenie pomiędzy ziarnami, scharakteryzowane wartością $k = 10^{-3}$ parametru będącego iloczynem prądów krytycznych: średniego międzyziarnowego i josephsonowskiego (w złączu). Dla idealnych próbek parametr ten przyjmuje wartość równą 1. Interesującym i nieco nieoczekiwanym wynikiem szczegółowej analizy pracy [A1] jest pomijalnie słaba zależność pola krytycznego Josephsona H_{c1} od rozmiarów ziaren, ich kształtu, porowatości i gęstości próbek. Prąd krytyczny T_c tego granularnego nadprzewodnika bizmutowego jest liniową funkcją temperatury T .

Interesującą ciekawostką dla Recenzenta jest to, że po kilkunastu latach od odkrycia nadprzewodników wysokotemperaturowych i ukazaniu się kilkudziesięciu tysięcy prac udało się panu Andrzejewskiemu i współpracownikom uzyskać (opisane w A1-A3) publikowalne wyniki dla układów ceramicznych.

W pracy [A2] analizowano występowanie mniejszościowej fazy Bi2201 w nadprzewodniku Bi2223 w zależności od temperatury spiekania i jej wpływ na wartości krytyczne międzyziarnowego prądu i pola magnetycznego. Temperatura spiekania materiału calcynowanego była zmieniana w relatywnie niewielkim zakresie 838-860°C. Proces spiekania trwał 100 godzin i był powtarzany dwu- lub trzykrotnie. W pracy tej potwierdzono, że domieszko- wa faza Bi2201 w spieku obniża wartości pola i prądu krytycznego próbki Bi2223.

Stosując identyczną technologię otrzymywania próbek, w kolejnej pracy habilitacji [A3], analizowano wpływ obecności ziaren MgO na morfologię i krytyczne pola i prądy granularnego nadprzewodnika Bi2223. Wybór tego materiału o wzorze chemicznym $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$, do badań w tej i poprzednich pracach związany jest z jego obiecującymi właściwościami w zastosowaniach wysokoprądowych. Obecność w materiale pewnych faz obcych w postaci nanowytrąceń może poprawić jego właściwości prowadząc do wzrostu wartości pól i prądów krytycznych dzięki zwiększeniu zdolności kotwiczenia wirów. Swoistą sztuką jest znalezienie takich faz obcych, które zwiększając kotwiczenie, nie degradują jego właściwości nadprzewodzących.

Pomiary prądu krytycznego J_c w funkcji zewnętrznego pola magnetycznego pokazują, że J_c osiąga maksymalne wartości przy 10-15% zawartości Mg. Dla wyższych zawartości gęstość międzyziarnowego prądu krytycznego maleje. Niestety, już bardzo słabe pole magnetyczne rzędu 50 Oe około dwukrotnie obniża wartość prądu krytycznego w optymalnym zakresie koncentracji MgO. Wyniki uzyskane w pracach [A1-A3] nie przynoszą przełomu w badaniach ceramicznych nadprzewodników wysokotemperaturowych na bazie bizmutu. Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze rezultaty i uzupełniają je o pewne szczegółowe informacje. Motywacje tych prac były natury praktycznej, co nie zmienia faktu, że badania przyniosły pewne wyniki ważne z punktu widzenia teorii nadprzewodnictwa granularnego. Jednym z ważniejszych jest, moim zdaniem, analiza stosowalności modeli takiego nadprzewodnictwa, jednoznacznie pokazująca na stosowalność opisu w ramach modelu pojedynczego złącza.

We wszystkich pozostałych pracach habilitacji badane są mniej znane szerokiemu ogółowi fizyków i chemików związki nadprzewodzące, w tym odkryty przez habilitanta i współpracowników w 2006 r. eutektyk $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x\text{-Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$. Podobnie jak w omówionych wyżej pracach na temat nadprzewodników wysokotemperaturowych, interesowały autora obok podstawowych charakterystyk termodynamicznych (T_c) głównie właściwości elektromagnetyczne: pole krytyczne, głębokość wnikanie czy prądy krytyczne. Informacje uzyskiwano z badań transportowych - zależności oporności od temperatury, magnetycznych - namagnesowania w zależności od przyłożonego pola magnetycznego i absorpcji mikrofalowej z modulacją pola magnetycznego.

W pracy [A4] badano związek YNi_4B posiadający heksagonalną strukturę krystaliczną, domieszkowany węglem. Autorzy potwierdzają sugestie, że nominalnie czysty (tzn. bez intencjonalnego dodawania węgla) nadprzewodnik YNi_4B jest materiałem z bardzo małą ilością fazy nadprzewodzącej. A ta nadprzewodząca faza najprawdopodobniej zawiera węgiel, który pojawia się w niej w procesie technologicznym i pochodzi z powietrza. Jeśli przypuszczenie to jest słuszne, to oznacza, że czysta faza YNi_4B nie jest nadprzewodząca. Obserwowane przejścia nadprzewodzące w YNi_4B wykazujące spory rozrzut wartości T_c od próbki do próbki pochodzą od faz z małymi wytrąceniami nadprzewodzącej fazy borowęgla niku $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}_x$. Rozrzut T_c można wyjaśnić różnym stopniem domieszkowania węgla x lub rozmiarami ziaren nadprzewodzących, gdyż często małe ziarna charakteryzują się wyższą temperaturą przejścia.

Temperaturowa zależność górnego pola magnetycznego tzw. „mokrego nadprzewodnika” $\text{Na}_x\text{Co}_2\cdot y\text{H}_2\text{O}$ wykazuje poniżej T_c charakterystyczną zmianę nachylenia. Autorzy teoretyczno-eksperymentalnej pracy [A5] sugerują i teoretycznie uzasadniają, że takie zachowanie $H_{c2}(T)$ może być objaśnione jako zmiana symetrii parametru porządku nadprzewodnika od singletowego do trypletowego w obecności wyższych pól magnetycznych. Nie będę omawiał teoretycznych aspektów tej ciekawej pracy, a jedynie stwierdzę ze zmierzona precyzyjnie przez dr Andrzejewskiego zależność górnego pola krytycznego jest w zgodzie z wynikami innych autorów. Z kolei wyniki obliczeń teoretycznych dla małego układu i sieci trójkątnej znakomicie zgadzają się z rezultatem pomiarów przy rozsądnym wyborze parametrów modelu.

Kolejne dwie prace rozprawy habilitacyjnej, to eksperymentalno-teoretyczne próby opisu odkrytego w 2005 r. nadprzewodnika $\text{W}_7\text{Re}_{13}\text{B}$. Badania potrójnych związków zawierających bor stały się bardzo modne po odkryciu nadprzewodnictwa o rekordowo wysokiej temperaturze przejścia w dwuborku magnezu MgB_2 , po przebadaniu pewnie wszystkich możliwych połączeń chemicznych boru z innym pierwiastkiem i stwierdzeniu, że inne dwuskładnikowe związki z borem charakteryzują się niskimi temperaturami przejścia lub nie są nadprzewodnikami. $\text{W}_7\text{Re}_{13}\text{B}$ jest nadprzewodnikiem II rodzaju o $T_c \approx 7.2$ K, polach krytycznych, dolnym i górnym wynoszących odpowiednio 8.8 mT i 11.8 T. Wyznaczona w pracy [A6] głębokość wnikanie $\lambda = 2675$ Å, a długość koherencji $\xi = 52$ Å. Wartość krytyczna gęstości natężenia prądu J_c w temperaturze 2 K i zerowym polu wynosi 4900 A/cm². Pomiarów fotoemisyjnych XPS oraz obliczenia teoretyczne zgodnie sugerują, że stany elektronowe w pobliżu poziomu Fermiego mają głównie charakter stanów 5d pochodzących od wolframu i od renu. Zaobserwowano tu niewielki wpływ ciśnienia na T_c , co zinterpretowano jako efekt nadmiarowego B w obszarach pomiędzy ziarnami nadprzewodzącymi. Podobne badania tego samego związku z nieco dokładniejszą analizą zależności T_c od ciśnienia, uzupełnioną obliczeniami gęstości stanów na poziomie Fermiego, opisane są w pracy [A7].

Podobnie jak praca [A5], gdzie badano mokry nadprzewodnik, tak i praca [A8] jest wynikiem współpracy dr Andrzejewskiego z grupą prof. R. Cavy z Princeton University i doktorem Tomaszem Klimczukiem. W tej pracy zmierzono górne pole krytyczne nadprzewodnika MgCNi_3 domieszkowanego atomami Ru i Fe zastępującymi atomy Ni, oraz atomami B zastępującymi węgiel. Zaobserwowano największe obniżanie wartości T_c i H_{c2} pod wpływem domieszkowania atomami Fe, co łatwo wytłumaczyć przez niszczenie par rozpraszających się na magnetycznych domieszkach żelaza. Znacznie słabszy wpływ obserwuje się dla domieszkowania rutenem. Domieszkowanie borem słabo obniża T_c w całym zakresie badanych koncentracji, a górne pole magnetyczne materiału nawet nieznacznie wzrasta dla małych stężeń boru ($x < 0.04$).

Jeśli dobrze rozumiem pracę [A9], to próba wytworzenia nadprzewodzącej fazy $\text{Mo}_7\text{Re}_{13}\text{B}$ zakończyła się kompletnym niepowodzeniem, gdyż uzyskano eutektyczny materiał zawierający dwie fazy o składach chemicznych $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x$ i Mo_3ReB_x ($x \approx 1$), które wzajemnie przenikające się w przestrzeni. Niektóre obszary próbki wykazywały laminarne uporządkowanie obu faz tworzące wzory charakterystyczne dla eutektyków. To niepowodzenie syntezy $\text{Mo}_7\text{Re}_{13}\text{B}$ i pojawienie się eutektyka okazało się dużym sukcesem, gdyż badania magnetyczne wykazały, że uzyskany materiał jest nowym nadprzewodnikiem o dwu charakterystycznych temperaturach 6.6 K oraz 8.7 K. Pozwalające na większą precyzję, pomiary transportowe wyraźnie pokazują 3 różne temperatury: 8.9 K, 7.9 K i 6.4 K. Poniżej 6.4 K opór jest niemierzalnie mały, co łącznie z sygnałem diamagnetycznym jednoznacznie identyfikuje materiał jako nadprzewodnik z dwiema temperaturami przemiany 8.9 i 6.4 K. Według autorów trzeci skok oporności w temperaturze 7.9 K jest związany z właściwościami złączy Josephsona w granularnym materiale. W tej temperaturze tworzą się większe obszary fazy nadprzewodnika o wyższej T_c , co obniża skokowo oporność, ale układ jako całość pozostaje wciąż w stanie rezystywnym. Zmierzony sygnał absorpcji mikrofalowej okazał się porównywalny z otrzymywanym dla ceramicznych nadprzewodników wysokotemperaturowych.

Dalsza szczegółowa analiza odkrytego nadprzewodnika opisana jest w ostatniej pracy habilitacji [A10] opublikowanej w Superconductor Science and Technology w lutym 2008 r. Potwierdzono, że faza $\text{Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$ eutektyka posiada temperaturę krytyczną 6.4 K. Określono dolne i górne pola krytyczne: $\mu_0 H_{c1} = 13$ mT, $\mu_0 H_{c2} = 6,5$ T. Wyznaczona stąd wartość głębokości wnikania jest równa 2040 \AA , a długości koherencji 70 \AA , co czyni tę fazę nadprzewodnikiem II rodzaju o parametrze Ginzburga-Landau $\kappa = 29$. Niewiele udało się autorom powiedzieć o drugiej fazie, ze względu na niewielką jej objętość w próbce. Stwierdzono jedynie, że dla fazy $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x$ $T_c = 8.7$ K. Zależności temperaturowe $H_{c2}(T)$ (liniowy charakter zmian w pobliżu T_c) sugerują, że $\text{Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$ może być nadprzewodnikiem niekonwencjonalnym.

Podsumowując to dość szczegółowe omówienie prac wchodzących w zakres habilitacji należy stwierdzić, że dr Bartłomiej Andrzejewski uzyskał szereg ważnych wyników dla wielu interesujących nadprzewodników. Jako teoretyk, najwyżej oceniam odkrycie nadprzewodnictwa w eutektyku $\text{Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$ - $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x$ i określenie jego podstawowych właściwości magnetycznych. W ten sposób habilitant dołączył do nielicznego grona kilku polskich badaczy, którzy odkryli nowe nadprzewodniki. Dr Andrzejewski wyspecjalizował się w badaniach samoistnych i niesamoistnych pól krytycznych nadprzewodników granularnych i z dużą swobodą prowadzi badania i analizę wyników. Z jego prac wyraźnie wynika dążenie autora do precyzyjnej analizy i zrozumienia uzyskanych zależności.

Nie będę omawiał rezultatów uzyskanych w innych pracach dr Andrzejewskiego. Bada on w nich przejścia magnetyczne, właściwości transportowe i nadprzewodzące, zjawisko

absorpcji mikrofal i prądy oraz pola krytyczne. Dorobek naukowy obejmuje ogółem ponad 90 prac opublikowanych w większości w czasopismach z listy filadelfijskiej. Prace te były też zauważone przez innych badaczy, jako że liczba cytowań z wyłączeniem autocytowań wynosi 128, a ogółem liczba cytowań od roku 1996 jest równa 202 (dane na 4 maja 2009 wg bazy ISI Web of Science).

Dr Andrzejewski jest także aktywny na polu działalności dydaktycznej: prowadził zajęcia ze studentami PP (4 lata), opiekował się w pracowni stażystami i magistrantami oraz prowadził zajęcia fakultatywne w Gimnazjum. Współorganizował cykliczną konferencję RAMIS i był sekretarzem konferencji „*AMPERE Workshop ...*” w 1994 r. Odbił staż naukowy we Francji – ponad półtoraroczny. Wielokrotnie był głównym wykonawcą w grantach KBN i MNiSzW oraz dwukrotnie w sieciach naukowych. W latach 1999-2001 był członkiem Grupy Roboczej ds. Nadprzewodnictwa Normalizacyjnej Komisji w ramach International Electrotechnical Commission. Wykonał kilkanaście recenzji dla czasopism. Posiada szeroką i udokumentowaną współpracę naukową z wieloma ośrodkami zagranicznymi i krajowymi. Wygłosił 17 referatów na konferencjach lub w innych ośrodkach naukowych. Za badania naukowe uzyskał szereg nagród, w tym nagrodę Polskiego Towarzystwa Fizycznego im. A. Piekary oraz prestiżowe Stypendium Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej.

Nie mam najmniejszych wątpliwości, że wyniki naukowe uzyskane przez dr B. Andrzejewskiego w habilitacji oraz jego obszerny i wielowątkowy pozostały dorobek naukowy, a także dorobek organizacyjny spełniają wymagania Ustawy o stopniach i tytule naukowym i wnioskuję o dopuszczenie go do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

