

Doc. dr hab. Krzysztof Rogacki
Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych,
Polska Akademia Nauk,
Wrocław

OPINIA

o rozprawie habilitacyjnej "Samoistne i niesamoistne pola krytyczne wybranych nadprzewodników" oraz o dorobku naukowym

dr. Bartłomieja Andrzejewskiego

Pan dr Bartłomiej Andrzejewski urodził się 3 czerwca 1967 roku w Bydgoszczy. Studia fizyczne ukończył w roku 1992 na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu broniąc pracę magisterską pt. "Charakteryzowanie nadprzewodników wysokotemperaturowych metodą absorpcji mikrofalowej". Stopień doktora nauk fizycznych nadała mu Rada Naukowa Instytutu Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu w roku 1997 na podstawie pracy pt. "Mikrofalowa detekcja efektu pułapkowania strumienia magnetycznego w nadprzewodnikach" wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. Jana Stankowskiego.

Rozprawę stanowi 10 prac opublikowanych w recenzowanych czasopismach o zasięgu światowym oraz przejrzyście napisany autoreferat w języku polskim. Jedną z tych prac opublikowano w *Physical Review B*, trzy w *Physica C*, trzy w *Superconductor Science and Technology* oraz po jednej w *Journal of Alloys and Compounds*, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* i *Acta Physica Polonica A*. W siedmiu pracach dr Andrzejewski jest pierwszym autorem, w dwóch drugim autorem i w jednej (*Physical Review B*) trzecim. Pierwsze miejsce na liście autorów w większości prac oraz dołączone do rozprawy oświadczenia współautorów nie pozostawiają wątpliwości, że dr Andrzejewski pełnił rolę wiodącą lub ważną w realizacji opisanych badań. W zestawie publikacji stanowiących rozprawę habilitacyjną brakuje pracy samodzielnej, chociaż trzeba przyznać, że role taką do pewnego stopnia pełni autoreferat. Jednoautorska praca związana z tematyką rozprawy ukazała się w czasopiśmie *Cryogenics* (48, 478, 2008) już po złożeniu dokumentacji i została przeze mnie włączona, jako ważna, do oceny całego dorobku naukowego autora.

Zasadniczym celem przedłożonej rozprawy było zbadanie samoistnych i niesamoistnych pól i prądów krytycznych w wybranych nowych materiałach nadprzewodzących oraz określenie mechanizmów sprzęgających ziarna w granularnym nadprzewodniku wysoko-

temperaturowym Bi2223 wraz z opisem właściwości sieci złączy Josephaona tam występujących. Przedstawiony zbiór prac pozwolę sobie podzielić na dwie grupy, co ułatwi omawianie wyników. Do pierwszej grupy zaliczam prace A.1, A.2 i A.3, które zajmują się niesamoistnymi polami i/lub prądami krytycznymi. To właśnie wyniki prezentowane w tych pracach stanowią moim zdaniem najistotniejszą i najciekawszą część rozprawy. Są one oryginalnym wkładem autora do tematyki budzącej zainteresowanie nie tylko z uwagi na walory poznawcze, ale również ze względu na potencjalne zastosowania. Kolejne 7 prac dotyczy wyznaczenia i zinterpretowania podstawowych parametrów krytycznych nowych materiałów i zawiera raczej standardowe podejście do problemu. Prace te świadczą o dużych umiejętnościach dr. Andrzejewskiego w projektowaniu i wykonywaniu eksperymentów oraz interpretowaniu wyników.

W pracy A.1 omawiane są relacje pomiędzy parametrami takimi jak pole krytyczne (H_{cJ}) i gęstość prądu krytycznego (j_c), charakteryzującymi pojedyncze złącze Josephaona typu nadprzewodnik/izolator/nadprzewodnik dla serii próbek Bi2223. Gęstość prądu krytycznego nie oznacza tu gęstości prądu Josephaona, ale jest związana z nią, prostszą do określenia gęstością prądu międzyziarnowego. Zbadano zgodność występujących w literaturze modeli teoretycznych z wynikami eksperymentalnymi i w ten sposób zweryfikowano model pojedynczego złącza, jako najlepiej opisujący zależność $H_{cJ} = H_{cJ}(j_c)$ dla serii ponad 30 próbek. Niestety, ani w pracy oryginalnej, ani w autoreferacie nie znalazłem wartości temperatur, dla których wykonano pomiary. Można się tylko domyślać, że chodzi o temperatury bliskie temperaturze ciekłego helu. Ciekawe jest, czy model pojedynczego złącza opisuje równie dobrze relację $H_{cJ} - j_c$ w temperaturach wyższych.

Pozostałe dwie prace (A.2 i A.3) dotyczą głównie niesamoistnych i samoistnych prądów krytycznych związku Bi2223, do którego dodano różne ilości fazy Bi2201 (praca A.2) lub cząstek MgO o rozmiarach kilkuset nm (praca A.3). Zaobserwowano znaczny wpływ fazy Bi2201 na właściwości materiału łączącego ziarna Bi2223, aż do zniszczenia prądu międzyziarnowego włącznie. Z uwagi na liczne zastosowania nadprzewodników typu Bi2223, chociażby do produkcji kabli energetycznych, niewątpliwie ważnym wynikiem jest obserwacja kilkukrotnego wzrostu gęstości prądu krytycznego na skutek dodania do Bi2223 cząstek MgO. Zależność j_c od ilości dodanego MgO nie jest, co oczywiste, monotoniczna; maksymalne j_c osiąga się dla ok. 15 wt% MgO. Wyniki obu prac dostarczają ważnych wskazówek w procesie optymalizacji właściwości nadprzewodzących związku Bi2223.

Uwaga krytyczna do tej części rozprawy dotyczy barku jakiejkolwiek analizy zależności samoistnych i niesamoistnych parametrów krytycznych Bi2223 od jego anizotropii. Anizotropia ta wynosi od 20 do 40, w zależności od tego, który z parametrów jest badany, i jest jedną z największych wśród nadprzewodników wysokotemperaturowych. W moim przekonaniu, anizotropia ta może i nawet powinna stymulować właściwości złączy międzyziarnowych, stąd badane w pracach wartości parametrów krytycznych mogą być wartościami przypadkowymi lub uśrednionymi. Jeśli tak, to wnioski, jakie można wyciągnąć z porównania wyników eksperymentalnych z modelami teoretycznymi powinny być bardzo ostrożne. Analiza ewentualnego wpływu anizotropii na niektóre mierzone wielkości fizyczne związku Bi2223 mogła by usunąć wiele pojawiających się wątpliwości, np. gdyby udało się pokazać, że materiał międzyziarnowy, który determinuje niesamoistne pola i prądy krytyczne badanego nadprzewodnika, nie jest fazą Bi2223, czyli nie jest silnie anizotropowy. I jeszcze kilka uwag o nieco bardziej technicznym charakterze. W autoreferacie na niektórych rysunkach (wtedy również w podpisach pod rysunkami) nie podano wartości temperatury czy też natężenia pola magnetycznego, dla których przeprowadzono pomiary (np. Rys. 8, 11, 12, 13, 17). Czasami wartości prądów krytycznych wymienia się w tekście bez podania temperatury, w jakiej zostały wyznaczone (np. str. 14). Te drobne mankamenty utrudniają analizę wyników zmuszając do domysłów, chociaż oczywiście nie umniejszają znaczenia tych wyników.

Omówię teraz krótko 7 kolejnych prac dotyczących wyznaczenia i zinterpretowania samoistnych parametrów krytycznych nowych wybranych nadprzewodników. W pracy A.4 użyto ciekawej techniki absorpcji mikrofalowej modulowanej polem magnetycznym do opisanie granularnych właściwości związku YNi_4B , "czystego" oraz stabilizowanego C. Użyta technika pozwoliła na wykrycie śladowych ilości obcej fazy (0.7 %, prawdopodobnie $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$), trudnych lub nawet niemożliwych do wykrycia innymi metodami. Jest to ważne, ponieważ wydaje się, że właśnie ta faza ponosi odpowiedzialność za szczątkowe nadprzewodnictwo obserwowane w badanych związkach.

W pracy A.5 przeprowadzono dokładne badania zależności górnego pola krytycznego od temperatury dla niedawno odkrytego warstwowego związku Na_xCoO_2 interkalowanego H_2O . W pobliżu T_c zaobserwowano zmianę krzywizny $H_{c2}(T)$ z dodatniej na ujemną, co zinterpretowano jako przejaw wyindukowanego polem przejścia od parowania singletowego do trypletowego. Jest to interpretacja ciekawa, ale tylko jedna z wielu możliwych, bowiem podobne zachowanie $H_{c2}(T)$ obserwowano w wielu innych związkach (np. RERh_4B_4 ,

$\text{RENi}_2\text{B}_2\text{C}$, gdzie RE = jon z grupy ziem rzadkich, czy też MgB_2) i zinterpretowano na różne sposoby (np. silne sprzężenie elektron-fonon, dwupasmowość, dwie przerwy energetyczne). Dlatego nie mogę zgodzić się z wnioskiem sformułowanym przez autora w podsumowaniu rozprawy (str. 29). Cytuję: "Do najważniejszych moich wyników zaliczam: ... - jedne z pierwszych obserwacji nadprzewodnictwa trypletowego oraz indukowanego polem przejścia fazowego w "mokrych" nadprzewodnikach $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ". Poza wieloma cechami, jakimi powinien charakteryzować się nadprzewodnik z parowaniem trypletowym, wydaje się, że jedynym sposobem na wykazanie nadprzewodnictwa tego typu jest obserwacja pewnych szczególnych cech złącza tunelowego z barierą aktywną magnetycznie. Omawiana praca została opublikowana w *Physical Review B* stosunkowo niedawno, bo w 2004 roku, ale była już cytowana 14 razy, co świadczy o jej znaczącym wkładzie do tematyki, którą się zajmuje.

Prace A.6 i A.7 poświęcone zostały badaniom właściwości magnetycznych i transportowych niedawno odkrytego nadprzewodnika $\text{W}_7\text{Re}_{13}\text{B}$ o temperaturze krytycznej $T_c = 7.2$ K. W oparciu o te badania określono diagram fazowy H-T oraz oszacowano podstawowe wielkości fizyczne charakteryzujące nadprzewodnictwo, takie jak głębokość wnikania pola magnetycznego oraz odległość koherencji, i na tej podstawie wyznaczono parametr Ginzburga-Landaua, κ_{GL} . Na podkreślenie zasługuje fakt, że część badań magnetycznych przeprowadzono pod zwiększonym ciśnieniem ujawniając słabą ściśliwość związku i stąd słabą zależność T_c od ciśnienia.

Wpływ domieszki niemagnetycznej (B, Ru) oraz magnetycznej (Fe) na właściwości nadprzewodzące międzymetalicznego związku MgCNi_3 badano w pracy A.8. Bor podstawiano w miejsce C, natomiast Ru i Fe w miejsce Ni. Wszystkie trzy podstawienia dotują związek dziurowo, ale wpływ poszczególnych domieszek jest różny. Zachowanie się H_{c2} wraz ze wzrostem zawartości domieszki niemagnetycznej wyjaśniono zmianami efektywnej odległości koherencji, ξ , na skutek zmian średniej drogi swobodnej nośników ładunku oraz, dla większej ilości domieszki, na skutek wzrostu samoistnej odległości koherencji, ξ_0 . Moim zdaniem przedstawiona interpretacja jest poprawna i pełna. Brak jest natomiast, a szkoda, pogłębionej analizy szybkiego spadku T_c i H_{c2} spowodowanego efektem rozrywania par Coopera na skutek podstawienia Fe. Na podkreślenie zasługuje fakt, że pracę wykonano we współpracy z grupą prof. Cavy z Uniwersytetu w Princeton, gdzie syntetyzowano materiały. Świadczy to o uznaniu eksperymentatorskich umiejętności dr. Andrzejewskiego w świecie naukowym.

Dwie ostatnie prace włączone do rozprawy (A.9 i A.10) poświęcono badaniom właściwości transportowych i magnetycznych odkrytej przez dr. Andrzejewskiego eutektyki $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x\text{-Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$ ($x \approx 1$). Eutektyka ta stanowi ciekawy przypadek nadprzewodnika charakteryzującego się dużym stopniem niejednorodności. Fazy $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x$ i $\text{Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$ cechują się różnymi temperaturami krytycznymi i są poprzedzielane warstwą nadmiarowego B, czyli warstwą nienadprzewodzącą. W rezultacie w materiale występują słabe złącza typu S1/N/S2, które tworzą ciekawą z uwagi na właściwości nadprzewodzące sieć złączy Josephsona. Sieć taka w obecności zmieniającego się wolno pola magnetycznego wykazuje niestabilności przejawiające się skokami strumienia magnetycznego wnikaącego do obszaru pomiędzy ziarnami, często w odniesieniu do całej objętości próbki, po przekroczeniu międzyziarnowego prądu krytycznego. Kolejnym etapem badań było zsyntetyzowanie monofazy $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}$ zawierającej tylko niewielkie ilości nadmiarowego B wytrąconego na powierzchni ziaren. Ten nowy związek cechuje się nadprzewodnictwem objętościowym potwierdzonym przez silny efekt ekranowania w stanie Meissnera, chociaż wykazuje brak zerowego oporu w temperaturach aż do 3 K, czyli dużo poniżej przejścia do stanu nadprzewodzącego ($T_c = 8.5$ K). Można to wytłumaczyć obecnością B na powierzchniach ziaren, co jest częstą cechą związków o podobnym składzie.

Odkrycie i scharakteryzowanie nadprzewodnictwa w eutektyce $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x\text{-Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$, a potem zsyntetyzowanie i opisanie fazy $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}$ jest moim zdaniem jednym z najważniejszych osiągnięciem autora. Związek ten ma temperaturę krytyczną $T_c = 8.5$ K, pole krytyczne $B_{c2}(0) = 3.7$ T, stałą $\kappa_{GL} = 16$ i należy do klasy nadprzewodników II rodzaju typu BCS. Prace na ten temat, choć opublikowane w czasopismach o nie najwyższym współczynniku Impact Factor, mają szanse być dobrze cytowane, a związek $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}$ powinien na stałe wpisać się na krótką listę nadprzewodników odkrytych przez Polaków.

Jak wynika z życiorysu naukowego dr. Andrzejewskiego, jest on specjalistą w zakresie stosowania technik absorpcji mikrofalowej do badania nadprzewodników. Zarówno praca magisterska, praca doktorska, jak i większość publikacji w dorobku naukowym autora przed doktoratem poświęcone są tej tematyce. W pracach opublikowanych po doktoracie, absorpcja mikrofalowa stopniowo ustępuje na rzecz technik pomiarowych stosowanych w przedstawionej rozprawie. Wynika z tego, że dr. Andrzejewski umiejętnie rozszerza możliwości badawcze w zależności od zagadnień, które chce badać. Dorobek naukowy dr. Andrzejewskiego jest znaczny i obejmuje blisko 80 prac w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, w tym 19 prac opublikowanych przed doktoratem. Zarówno

praca habilitacyjna, jak i cały dorobek naukowy zawierają wyniki solidne, aczkolwiek nielicznie cytowane. Wszystkie prace były cytowane łącznie ok. 100 razy, przy czym tylko ok. 50 razy po odjęciu autocytowań i cytowań współautorów. Przyczyna tkwi zapewne w tym, że większość prac opublikowano w czasopismach o niewysokim współczynniku Impact Factor, a więc w czasopismach o bardziej lub mniej ograniczonym zasięgu oddziaływania. Jak już wspominałem, wyjątek stanowi praca A.5, opublikowana w 2004 r. w *Physical Review B*, która była cytowana już co najmniej 14 razy. Może pewną winę ponosi tu dotychczasowy system oceny pracowników i placówek naukowych, który preferował raczej ilość niż jakość publikowanych prac.

Dr Andrzejewski jest również współautorem ponad 70 prac prezentowanych na konferencjach krajowych i zagranicznych. Wygłosił szereg referatów, w tym 12 "zaproszonych", zarówno na konferencjach, jak i w placówkach naukowych, które wizytował. Odbył jeden roczny oraz kilka dwumiesięcznych zagranicznych staży naukowych. Dorobek dydaktyczno-organizacyjny dr. Andrzejewskiego jest również znaczny. Był opiekunem kilku magistrantów i stażystów, prowadził zajęcia w ramach II pracowni fizycznej na Wydziale Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej oraz zajęcia fakultatywne w gimnazjum. W latach 1999-2001 był członkiem Grupy Roboczej ds. Nadprzewodnictwa Normalizacyjnej Komisji Problemowej działającej w ramach International Electrotechnical Commission. Brał udział w 7 projektach badawczych, jako główny wykonawca lub wykonawca, oraz w 2 sieciach krajowych. Należy też podkreślić, że dr Andrzejewski owocnie współpracował z kilkunastoma placówkami naukowymi w kraju i za granicą.

Podsumowując uważam, że przedstawiona rozprawa oraz całokształt dorobku naukowego dr. Andrzejewskiego świadczą o jego dojrzałości naukowej i spełniają wymagania stawiane przez odpowiednią ustawę. Wnoszę wniosek o dopuszczenie dr. Bartłomieja Andrzejewskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



Wrocław, 22 maja 2009 r.