

Doc. dr hab. Roman Puźniak  
Instytut Fizyki PAN  
Al. Lotników 32/46  
02-668 Warszawa

**Ocena rozprawy habilitacyjnej pt. „Samoistne i niesamoistne pola  
krytyczne wybranych nadprzewodników”  
i dorobku naukowego doktora Bartłomieja Andrzejewskiego**

Podstawę rozprawy habilitacyjnej doktora Bartłomieja Andrzejewskiego stanowi dziesięć oryginalnych prac naukowych opublikowanych w latach 2001 – 2008 w następujących czasopismach znajdujących się na liście Filadelfijskiego Instytutu Informacji Naukowej:

- *Superconductors Science and Technology* (3 prace)
- *Physica C – Superconductivity and Applications* (3 prace)
- *Journal of Physics and Chemistry of Solids* (1 praca)
- *Physical Review B* (1 praca)
- *Journal of Alloys and Compounds* (1 praca)
- *Acta Physica Polonica A* (1 praca).

Sześć z nich to artykuły naukowe, a cztery to recenzowane prace konferencyjne publikowane w regularnych czasopismach naukowych. W siedmiu spośród tych prac dr Andrzejewski jest pierwszym autorem, w dwóch drugim, a w jednej trzecim. Z oświadczeń współautorów dołączonych do rozprawy habilitacyjnej wynika, że wkład naukowy habilitanta we wszystkich tych pracach był dominujący. Według bazy ISI Web of Science prace składające się na rozprawę habilitacyjną cytowane były łącznie 51 razy, przy czym zdecydowanie najlepiej cytowane są starsze prace, tj. te opublikowane przed rokiem 2005. Średnia cytowalność prac składających się na rozprawę habilitacyjną dra Andrzejewskiego wynosi 5,1, przy średniej cytowalności prac z fizyki z afiliacją z Polski wynoszącej 6,89 (w okresie 1997 – 2007, wg bazy danych ISI Web of Science).

Prace dra Andrzejewskiego dotyczą syntezy i badania właściwości fizycznych wybranych nadprzewodników, ze szczególnym uwzględnieniem badań dotyczących pól krytycznych. Autor wykazał, że nie tylko potrafi znaleźć nowe fazy nadprzewodzące, ale również, że charakteryzuje go umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych i

analizy uzyskanych wyników w zakresie: struktury krystalicznej, mikroskopii elektronowej, magnetycznie modulowanej absorpcji mikrofalowej, właściwości magnetycznych nadprzewodników w stałym i zmiennym polu magnetycznym, właściwości nadprzewodników poddanych działaniu ciśnienia hydrostatycznego, transportu elektrycznego, stanu krytycznego i prądów krytycznych w nadprzewodnikach, niestabilności strumienia magnetycznego w nadprzewodnikach, koherencji fazowej w nadprzewodnikach granularnych. Za najważniejsze z wyników prezentowanych w pracach składających się na rozprawę habilitacyjną uznać można:

- wykazanie, że wartość niesamoistnego pola krytycznego zależy głównie od gęstości międzyziarnowego prądu krytycznego,
- weryfikację i krytyczną dyskusję najbardziej znanych modeli granularnych nadprzewodników,
- określenie warunków istnienia niesamoistnego pola krytycznego i stwierdzenie, że pole to występuje tylko poniżej temperatury, w której zanika sprzężenie międzyziarnowe,
- odkrycie nowego eutektyka  $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x\text{-Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$  i zbadanie jego właściwości fizycznych,
- obserwację niekonwencjonalnego zachowania się górnego pola krytycznego nadprzewodzącej fazy  $\text{Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$ ,
- obserwację i wyjaśnienie wzrostu górnego pola krytycznego w wyniku domieszkowania borem  $\text{MgC}_{1-x}\text{B}_x\text{Ni}_3$ ,
- wyznaczanie temperaturowej zależności górnego pola krytycznego „mokrych” nadprzewodników  $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ .

Pierwszy spośród wymienionych powyżej wyników tj. wykazanie, że wartość niesamoistnego pola krytycznego zależy głównie od gęstości międzyziarnowego prądu krytycznego dyskutowany był w pracach „**Modelling of the magnetic behaviour of random granular superconductors by the single junction model**” autorstwa B. Andrzejewski i inni, *Supercond. Sci. Technol.* **14**, 904 (2001) oraz „**The effect of Bi2201 phase on the intergranular critical field and current density in Bi2223 superconductors**” autorstwa E. Guilmeau i inni, *Physica C* **377**, 304 (2002). Intuicyjnie wynik ten wydaje się dosyć oczywisty. Lepsze sprzężenie międzyziarnowe powinno prowadzić zarówno do wzrostu niesamoistnego pola krytycznego, jak i do wzrostu gęstości międzyziarnowego prądu krytycznego. Wartości obu tych wielkości w granicy całkowicie rozseparowanych ziaren powinny dążyć do zera, a w granicy idealnie połączonych ziaren powinny dążyć asymptotycznie do wartości odpowiednio: samoistnego pola krytycznego i

wewnątrzziarnowego prądu krytycznego. Pewien problem eksperymentalny stwarza tutaj fakt, że samoistne  $H_{c1}^{\parallel ab}$  dla badanego przez habilitanta związku  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  (Bi2223) jest porównywalne z wyznaczanym przez niego niesamoistnym polem krytycznym  $H_{c1}$ . Pole krytyczne  $H_{c1}^{\parallel ab}$  ziaren wynosi około 12 – 15 Oe (M. Majoros i inni, *Physica C* **282-287**, 2205 (1997); L. Martini i inni, *Il Nuovo Cimento* **16**, 2103 (1994); N. Clayton i inni, *Supercond. Sci. Technol.* **17**, S563 (2004)). Wyznaczone przez dra Andrzejewskiego niesamoistne pole krytyczne jest rzędu 8 – 12 Oe. Nie musi to jednak oznaczać, że pomiary  $H_{c1}$  są błędne. Nawet w przypadku, gdy  $H_{c1}^{\parallel ab} < H_{c1}$  dla pól  $H < H_{c1}$  wewnątrz próbek jest ekranowane przez międzyziarnowe prądy płynące na powierzchni próbki (przez złącza). W takim przypadku, strumień może jedynie wnikać do cienkiej warstwy ziaren leżących na powierzchni (jeżeli oczywiście kotwiczenie wirów wewnątrzziarnowych jest dostatecznie silne, tj. jeżeli wewnątrzziarnowy prąd krytyczny jest duży). Fakt penetracji strumienia do ziaren przy powierzchni najprawdopodobniej jest niezauważalny w pomiarach magnetycznych. Problem ten jest doskonale znany wszystkim eksperymentatorom, którzy wyznaczyli wartości  $H_{c1}$  (samoistnego), na podstawie odstępstwa od liniowej zależności magnetyzacji w funkcji natężenia pola magnetycznego, dla próbek charakteryzujących się silnym kotwiczeniem wirów na powierzchni. Oczywiście, po przekroczeniu  $H_{c1}$ , zanikają prądy ekranujące i wówczas strumień wnika zarówno do złączy jak i do części ziaren odpowiednio zorientowanych względem pola.

Kolejny problem związany jest z charakterystycznymi rozmiarami, jakich należy używać do wyznaczenia  $J_{c1}$  w modelu Beana. Autor w pracach objętych rozprawą habilitacyjną przyjmuje, że powinien to być rozmiar próbki. Argumentem za takim postępowaniem są wcześniejsze prace, zarówno teoretyczne jak i doświadczalne, poświęcone zagadnieniu międzyziarnowego stanu krytycznego, czyli stanu związanego z wnikaniem strumienia do przestrzeni międzyziarnowych oraz krążeniem prądów międzyziarnowych. W pracach D.-X. Chen i inni, *Phys. Rev. B* **50**, 10342 (1994) oraz M. Chandra, *Physica C* **267**, 59 (1996) pokazano, iż strumień magnetyczny wnika do sieci złączy w przybliżeniu tak jak do próbek jednorodnych. Przewidywania te zostały potwierdzone przez eksperyment. K.-H. Muller i inni, *Phys. Rev. B* **50**, 10218 (1994) oraz M.R. Koblischka i inni, *Appl. Phys. Lett.* **70**, 514 (1997) wykazali, że stosując model Beana w odniesieniu do strumienia zawartego między ziarnami (międzyziarnowy stan krytyczny) można poprawnie opisać mniejszą pętlę histerezy (minor hysteresis loop) związaną z wnikaniem strumienia do przestrzeni międzyziarnowych. Jeżeli jednak  $H_{c1}$  jest porównywalne z  $H_{c1}^{\parallel ab}$ , to znaczący może być wkład do mierzonej magnetyzacji pochodzący od prądów wewnątrzziarnowych. Bezpośredni

dowód na to, że strumień magnetyczny zmienia się w całej objętości próbki, tak jak dla próbek jednorodnych, można uzyskać przy pomocy obrazowania rozkładu strumienia, np. sondami Halla – patrz np. S. Reich i inni, *J. Appl. Phys.* **68**, 668 (1990), H. Darhmaoui i inni, *Phys. Rev. B* **53**, 14621 (1996), J. Jung i inni, *Phys. Rev. B* **48**, 7526 (1993). Było to też dyskutowane w pracy współautorstwa dra Andrzejewskiego opublikowanej w *Acta Phys. Polonica* **98**, 327 (2000). Ta ostatnia praca dotyczy jednak stekstrowanych próbek otrzymywanych z fazy ciekłej (melt textured samples prepared by powder melting process), a więc ze znacznie lepszymi połączeniami międzyziarnowymi, niż te dla próbek badanych w pracach będących podstawą rozprawy habilitacyjnej. Stosunkowo prostym testem na stwierdzenie, jaki powinien być charakterystyczny rozmiar używany do wyznaczenia  $J_{c1}$  w modelu Beana mogłoby stanowić sprawdzenie jak skalują się zmiany magnetyzacji ze zmianą rozmiarów liniowych badanych próbek (R. Puźniak i inni, *Appl. Phys. Lett.* **61**, 2102 (1992)).

Weryfikacja najbardziej znanych modeli granulanych nadprzewodników przeprowadzona została w pracy „**Modelling of the magnetic behaviour of random granular superconductors by the single junction model**” autorstwa B. Andrzejewski i inni, *Supercond. Sci. Technol.* **14**, 904 (2001). Dr Andrzejewski wykazał, że niesamoistne pole krytyczne zależy od gęstości międzyziarnowego prądu krytycznego, a modelem, który poprawnie opisuje właściwości takich układów, jest model pojedynczego złącza.

Określenie warunków istnienia niesamoistnego pola krytycznego i stwierdzenie, że pole to występuje tylko poniżej temperatury, w której zanika sprzężenie międzyziarnowe, zostało dokonane w pracy „**The effect of MgO addition on the formation and the superconducting properties of the Bi2223 phase**” autorstwa E. Guilmeau i inni, *Physica C* **387**, 382 (2003). Wyniki badań przeprowadzonych na próbkach Bi2223 domieszkowanych MgO pokazały, że temperatura przejścia fazowego ziaren jest nieczuła na poziom domieszkowania MgO, co świadczy o tym, że MgO nie jest wbudowywane w strukturę Bi2223. Temperatura drugiego przejścia zachodzącego w niższej temperaturze silnie zależy jednak od obecności MgO, co może być wyjaśnione zgodnie z modelem Clema uwzględniając wpływ poziomu domieszkowania na międzyziarnową gęstość prądu krytycznego  $J_c(0)$ .

Porównawcze pomiary absorpcji mikrofalowej i polowej zależności magnetyzacji przedstawione w pracy „**Microwave absorption in carbon-doped YNi<sub>4</sub>B superconductors**” autorstwa B. Andrzejewski i inni, *J. Phys. Chem. Solids* **65**, 623 (2004) pozwoliły na wykazanie, że borokarbideki YNi<sub>4</sub>B i YNi<sub>4</sub>BC<sub>0.2</sub> zawierają domieszkę dodatkowej fazy

nadprzewodzącej – prawdopodobnie  $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ . Praca ta wykazała jak przydatne w badaniach nadprzewodnictwa może być zastosowanie technik mikrofalowych.

Bardzo ciekawa interpretacja wyznaczonej przez dra Andrzejewskiego temperaturowej zależności górnego pola krytycznego „mokrych” nadprzewodników  $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$  zawarta została w pracy „**Possible singlet-to-triplet pairing transition in  $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$** ” autorstwa M.M. Maśka i inni (*Phys. Rev. B* **70**, 144516 (2004)). O ile brak potwierdzenia – przy pomocy innych technik eksperymentalnych, np. przesunięcia Knighta – przejścia ze stanu singletowego do tripletowego wydaje się dzisiaj (po upływie pięciu lat od opublikowania tej pracy) wykluczać zaprezentowaną interpretację, to jednak przedstawione wyniki eksperymentalne wciąż są bardzo interesujące i inspirujące dla rozwoju teorii opisującej nadprzewodnictwo.

Dwie prace B. Andrzejewskiego ze współautorami: „**Superconducting properties of  $\text{W}_7\text{Re}_{13}\text{B}$  compound**” opublikowana w *J. Alloys Compound*. **442**, 225 (2007) oraz „**Magnetic, transport and high-pressure properties of  $\text{W}_7\text{Re}_{13}\text{B}$  superconducting compound**” opublikowana w *Supercond. Sci. Technol.* **20**, 728 (2007) dotyczą badania magnetycznych, transportowych i wysokociśnieniowych właściwości nadprzewodzącego związku  $\text{W}_7\text{Re}_{13}\text{B}$ . Wyniki pierwszej z nich są w zasadzie w całości zawarte w drugiej z omawianych prac wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej dra Andrzejewskiego. Polityka publikacyjna habilitanta nie budzi żadnych moich zastrzeżeń jako, że pierwsza z prac jest krótką trzystronicową pracą konferencyjną – anonsującą najciekawsze uzyskane wyniki – wysłaną do druku 8-ego czerwca 2006-ego roku, tj. ponad 10 miesięcy przed wysłaniem w dniu 18-ego kwietnia 2007 roku długiej ośmiostronicowej pracy – zawierającej kompleksowe przedstawienie wszystkich uzyskanych wyników. Zaskoczony jestem jednak, że pierwsza z prac Andrzejewskiego ze współpracownikami nie jest cytowana w *Supercond. Sci. Technol.* **20**, 728 (2007) i że autor zdecydował się włączyć tę pracę do zbioru prac stanowiącego podstawę rozprawy habilitacyjnej pomimo tego, że ani nie zawiera żadnych nowych wyników w porównaniu z drugą pracą, ani też nie ma żadnych cytowań wg bazy danych ISI Web of Science.

W opublikowanej w *Physica C* **460-462**, 706 (2007) pracy „**The upper critical field in doped  $\text{MgCNi}_3$** ” dr Andrzejewski ze współautorami pokazali, że górne pole krytyczne w serii związków  $\text{MgCNi}_3$  maleje ze wzrostem zawartości Fe podstawionego w pozycję C i rośnie w związkach z B podstawionym w pozycję C. Podstawianie żelaza prowadzi do zaniku nadprzewodnictwa w wyniku rozrywania par Coopera, podczas gdy podstawianie boru prowadzi do wzrostu górnego pola krytycznego w wyniku malenia średniej drogi swobodnej.

Dwie ostatnie z prac wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej dra Andrzejewskiego, praca konferencyjna „**Superconducting properties of  $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x\text{-Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$  eutectic**” opublikowana w *Acta Phys. Polonica A* **111**, 727 (2007) i dziesięciostronicowa regularna praca „**The effect of structure on flux instability and on the superconducting properties of the  $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x\text{-Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$  eutectic**” opublikowana w *Supercond. Sci. Technol.* **21**, 045008 (2008), dotyczą efektów strukturalnych, niestabilności sieci wirów i właściwości stany nadprzewodzącego odkrytego przez autora rozprawy habilitacyjnej eutektyka  $\text{Mo}_2\text{Re}_3\text{B}_x\text{-Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$ . Najciekawszy uzyskany wynik – liniowej zależności drugiego pola krytycznego od temperatury dla nadprzewodzącej fazy  $\text{Mo}_3\text{Re}_2\text{B}_x$  zawarty jest w drugiej z tych prac. Autorzy wskazują, że wynik ten implikuje możliwość niekonwencjonalnego mechanizmu parowania w badanym związku. Recenzent rozprawy habilitacyjnej jest w tej kwestii jednak nieco bardziej sceptyczny i ma wątpliwości czy wyciągany wniosek nie jest nieco „na wyrost”, jako że badany materiał charakteryzuje się stosunkowo niewysoką temperaturą przejścia fazowego wynoszącą 6,4 K, a wszystkie prezentowane wyniki pomiarowe  $H_{c2}$  ograniczone są do temperatur powyżej 2,3 K, tj. do temperatur powyżej  $0,36T_c$ , a więc bardzo daleko od temperatury zera bezwzględnego.

Pomimo przedstawionych uwag krytycznych uważam, że rozprawa habilitacyjna dra Andrzejewskiego wnosi znaczący wkład do zrozumienia właściwości nadprzewodzących materiałów polikrystalicznych. Uważam rozprawę habilitacyjną dra Bartłomieja Andrzejewskiego za bardzo wartościową.

Dorobek naukowy dra Bartłomieja Andrzejewskiego jest znaczny. Habilitant jest autorem lub współautorem 57 prac opublikowanych po 1-szym styczniu 1996 roku i znajdujących się na liście Filadelfijskiego Instytutu Informacji Naukowej. Trzydzieści z nich to regularne artykuły naukowe, a 27 to materiały konferencyjne publikowane w recenzowanych czasopismach naukowych. Prace te były cytowane łącznie 183 razy w 138 publikacjach naukowych, z czego 109 stanowiły prace, których dr Andrzejewski nie jest współautorem. Najlepiej cytowana praca habilitanta ma 24 cytowania (T. Toliński i inni, *J. Alloys Compound.* **347**, 31 (2002)), a cztery kolejne mają odpowiednio 21 cytowań (T. Toliński i inni, *Phys. Rev. B* **70**, 064413 (2004)), 16 cytowań (M.M. Maška i inni, *Phys. Rev. B* **70**, 144516 (2004)), 13 cytowań (E. Guilmeau i inni, *Physica C* **387**, 382 (2003)) i 12 cytowań (T. Luciński i inni, *J. Magn. Magn. Mater.* **282**, 248 (2004)). Doktor Andrzejewski opublikował 12 prac w *Acta Physica Polonica A*, 6 w *Journal of Alloys and Compounds*, 6 w *Superconductor Science and Technology*, 5 w *Physica C – Superconductivity and*

*Applications*, 3 w *Czechoslovak Journal of Physics*, 3 w *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 3 w *Materials Science – Poland*, 2 w *Cryogenics*, 2 w *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2 w *Physica Status Solidi A*, 2 w *Physica Status Solidi B*, 2 w *Physical Review B* i po jednej pracy w innych czasopismach. Indeks Hirscha habilitanta wynosi 7. Pewne zaskoczenie recenzującego budzi fakt, że w przygotowanym przez habilitanta wykazie publikacji uwzględnił on, jako osobne pozycje, trzy prace umieszczone w wersji elektronicznej na serwerze arXiv:cond-mat, chociaż w przypadku jednej z nich wyraźnie jest zaznaczone, że została opublikowana w *Phys. Rev. B*, a w przypadku drugiej z nich, że została przyjęta do druku w *Eur. J. Phys. B*. Niezrozumiałym dla recenzującego jest również umieszczenie przez habilitanta w spisie jego publikacji naukowych prac: „**Lato z helem**” – **osiem lat niezwyklego eksperymentu**” opublikowanej w *Fizyka w szkole* **4**, 211 (1994) oraz „**Lato z helem '94**” opublikowanej w *Nauka* **3**, 163 (1995). Uznałbym je za prace popularyzujące naukę, a nie publikacje naukowe w kategorii „pozostałe prace (w tym prace konferencyjne)”.

Dr Bartłomiej Andrzejewski w roku 1997 obronił, wykonaną pod kierunkiem prof. dra hab. Jana Stankowskiego, pracę doktorską na temat „**Mikrofalowa detekcja efektu pułapkowania strumienia magnetycznego w nadprzewodnikach**”. W latach 2001–2002 przebywał na rocznym stażu po doktoracie w laboratorium CNRS CRISMAT w Caen we Francji, kierowanym wówczas przez prof. B. Raveau. Później jeszcze kilkakrotnie przebywał na jedno-, dwumiesięcznych pobytach badawczych w laboratorium CRISMAT. W roku 2005 przez miesiąc był zatrudniony na stanowisku profesora wizytującego na Uniwersytecie w Caen. W latach 1999–2001 działał jako ekspert w Grupie Roboczej ds. Nadprzewodnictwa Normalizacyjnej Komisji Problemowej wchodzącej w skład International Electrotechnical Commission. Oprócz działalności naukowej zajmował się organizacją cyklicznych konferencji RAMIS poświęconych spektroskopii mikrofalowej. Pełnił funkcję sekretarza *AMPERE Workshop on Magnetic Resonances and Microwave Absorption in the High-Tc Superconducting Materials*, która odbyła się w Poznaniu w roku 1994. Prowadził zajęcia ze studentami Politechniki Poznańskiej w ramach II pracowni fizycznej. Przez rok prowadził zajęcia fakultatywne w Społecznym Gimnazjum nr 1 w Poznaniu.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa habilitacyjna pt. „**Samoistne i niesamoistne pola krytyczne wybranych nadprzewodników**” oraz znaczny dorobek naukowy dra Bartłomieja Andrzejewskiego spełniają wszystkie wymagania określone w art. 16 i 17 „Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o

stopniach i tytule w zakresie sztuki". Wnoszę o dopuszczenie dra Bartłomieja Andrzejewskiego do kolokwium habilitacyjnego.

Puzniak

Warszawa, dnia 26.05.2009 r.