



**INSTYTUT FIZYKI MOLEKULARNEJ PAN
W POZNANIU**

**ZAKŁAD FIZYKI NISKICH TEMPERATUR
W ODOLANOWIE**

tel.: (62) 594-00-15 e-mail: trybula@ifmpan.poznan.pl
tel. kom.: 721 288 608

prof. dr hab. Zbigniew Trybula

Recenzja pracy doktorskiej

Pana magistra inżyniera Macieja Chrobaka

**„Zjawiska krytyczne w nadprzewodnikach
wysokotemperaturowych”**

Recenzja, przedstawionej mi do oceny pracy doktorskiej Pana magistra inżyniera Macieja Chrobaka, składa się z pięciu punktów:

- I. Trafność wyboru tematu oraz poprawność doboru technik eksperymentalnych.**
- II. Układ recenzowanej pracy.**
- III. Najważniejsze wyniki pracy.**
- IV. Uwagi na temat otrzymanych przez Doktoranta rezultatów i edycji pracy.**
- V. Podsumowanie.**

I. Trafność wyboru tematu oraz poprawność doboru technik eksperymentalnych.

Wybrany przez Doktoranta temat pracy doktorskiej „Zjawiska krytyczne w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych” jest interesujący i wciąż aktualny. Właściwości nadprzewodników wysokotemperaturowych różnią się od klasycznych nadprzewodników. W nadprzewodnikach wysokotemperaturowych ze względu na małą długość koherencji, stosunkowo dużą głębokość wnikania pola magnetycznego, dużą anizotropię i wysokie temperatury przejścia do stanu nadprzewodzącego, fluktuacje termiczne mogą wystąpić w szerszych obszarach temperaturowych i mają one znaczący wkład do obserwowanych właściwości. Doktorant wyróżnił dwa rodzaje fluktuacji krytycznych: w pobliżu temperatury przejścia T_c , oraz powyżej T_c tak zwane fluktuacje

gaussowskie. Cel, który postawił sobie Doktorant, to zbadanie zjawisk krytycznych występujących w materiałach należących do trzech grup nadprzewodników wysokotemperaturowych: itrowych, bizmutowych i talowych, określenie charakteru fluktuacji występujących w obszarze przejścia metal-nadprzewodnik. Dodatkowo Doktorant badał wpływ pola magnetycznego na obserwowane zjawiska. Porównał ponadto trzy metody wyznaczenia wykładnika krytycznego λ z równania (3.12 na str. 32) wpływu fluktuacji na zmianę przewodności elektrycznej $\Delta\sigma = K\varepsilon^{-\lambda}$, gdzie $\varepsilon = (T - T_c)/T_c$ jest temperaturą zredukowaną, K jest stałą. Doktorant trafnie dobrał techniki eksperymentalne: pomiary oporności elektrycznej w funkcji temperatury i zewnętrznego pola magnetycznego a także pomiary podatności magnetycznej ac w funkcji temperatury dla różnych amplitud zmiennego pola magnetycznego w cewce nadawczej. To pozwoliło wyznaczyć temperatury krytyczne, szerokość przejścia fazowego ΔT , oraz krytyczne gęstości prądu J_c . Doktorant zbadął i porównał wyniki dla ośmiu próbek badawczych opisanych w tabeli 5.1 na str. 58: dwóch próbek itrowych $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ - cienka warstwa na MgO i taśma; dwóch próbek bizmutowych $(Bi_{0.6}Pb_{0.4})_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ (skrót obj-Bi-2223) i taśmy $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ (skrót taśma 1G-Bi-2223) i czterech próbek nadprzewodników talowych: $(Tl_{0.5}Pb_{0.5})Sr_2(Ca_{1-x}Gd_x)Cu_2O_z$ dla $x=0.1, 0.2$ i 0.3 (skrót obj-Tl-1212), trzech cienkich warstw - na podłożu srebrnym $(Tl_{0.5}Pb_{0.5})(Sr_{0.85}Ba_{0.15})Ca_2Cu_3O_z$ (skrót cw-Tl-1223/Ag), na podłożu $LaAlO_3$ - $Tl_{1.85}Re_{0.15}Ba_2Ca_2Cu_3O_x$ (skrót cw-Tl-2212/LAO) i $Tl_{0.6}Pb_{0.24}Bi_{0.16}Sr_{1.8}Ba_{0.2}Ca_2Cu_3O_7$ (skrót cw-Tl-1223/LAO).

II. Układ recenzowanej pracy.

Praca doktorska Pana Macieja Chrobaka liczy 152 strony. Składa się z 6 rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim, spisem ważniejszych oznaczeń, bardzo pomocnym w dalszej lekturze pracy oraz wprowadzeniem (Rozdział 1). Układ pracy jest przejrzysty i poprawny. Praca jest napisana starannie, choć autor nie ustrzegł się błędów edytorskich, które przedstawię w rozdziale IV recenzji. Najważniejsza część pracy, dotycząca eksperymentalnych wyników badań i dyskusji stanowi 80% całej pracy, a 20% to omówienie i charakterystyka nadprzewodników wysokotemperaturowych (Rozdział 2) oraz omówienie fluktuacji krytycznych (Rozdział 3). To wprowadzenie jest potrzebne w dalszej dyskusji otrzymanych przez Doktoranta wyników eksperymentalnych. Doktorant wykazał się dobrą znajomością stanu wiedzy

dotyczącą badanych przez siebie wybranych materiałów nadprzewodzących, co wykorzystał w dyskusji wyników badań. Preparatykę próbek i metody pomiarowe opisane są w Rozdziale 4. Zasadniczą część pracy zawarta jest w rozdziale 5 Analiza i dyskusja wyników. Autor rozpoczyna ją od porównania metod wyznaczania wykładników krytycznych λ . Dalej przedstawia wyniki dla nadprzewodników: itrowych (Rozdział 5.2), bizmutowych (Rozdział 5.3), i talowych (Rozdział 5.4). Rozdział 6 to podsumowanie i wnioski. Praca kończy się obszernym spisem bibliograficznym obejmującym 126 pozycji cytowanych prac, umieszczonych w kolejności cytowania, wśród których jest pięć prac, których autorem lub współautorem jest Pan Maciej Chrobak. Bibliografia podana jest poprawnie. Jedynie w pracy [112] Doktorant nie wpisał numeru strony pracy (A88).

III. Najważniejsze wyniki pracy.

Przedstawiony przez Doktoranta cel pracy: zbadanie zjawisk krytycznych występujących w materiałach należących do trzech grup nadprzewodników wysokotemperaturowych: itrowych, bizmutowych i talowych i określenie charakteru fluktuacji występujących w obszarze przejścia metal-nadprzewodnik został osiągnięty. Autor wyznaczył temperatury krytyczne T_{c0} , T_c , $T_{c-onset}$, T_{cp} (zdefiniowane na stronie 8) i ΔT dla wszystkich ośmiu badanych próbek nadprzewodzących. Wyniki zawiera Tabela 5.1 zamieszczona na stronie 58. W mojej ocenie najważniejsze wnioski autora zawarte na str. 142 to stwierdzenia:(wniosek 3) cyt. „*W przedziale bezpośrednio powyżej temperatury T_{cp} uzyskane wartości wykładników krytycznych są pomiędzy 0.3 a 0,6. Uzyskane wyniki potwierdzają istnienie obszaru zdominowanego przez fluktuacje krytyczne. Na podstawie tego wyniku można również powiedzieć, że w okolicy temperatury T_{cp} właściwości termodynamiczne zbadanych próbek mogą być opisane za pomocą klasy uniwersalności 3D-XY.*”, oraz wniosek 4; cyt. „*Wraz z oddaleniem się od temperatury przejścia wielkości zmierzonych wykładników krytycznych zwiększają się co świadczy o tym, że w badanych materiałach zaczynają dominować fluktuacje gaussowskie. Wzrost wartości wykładników krytycznych świadczy również o zmniejszeniu się wymiarowości fluktuacji.*”

IV. Uwagi na temat otrzymanych przez Doktoranta rezultatów i edycji pracy.

Prace doktorską Pana magistra inżyniera Macieja Chrobaka oceniam wysoko. Poniżej przedstawiam moje uwagi krytyczne.

1. Przy pomiarach oporu elektrycznego metoda czteropunktową badanych próbek nadprzewodzących wyznaczano opór elektryczny R. Do dyskusji zależności temperaturowych była to dobra wartość. Szkoda, że nie wyznaczono oporu właściwego, $\rho=R \cdot S/l$ i nie porównano otrzymanych wartości z danymi literaturowymi.
2. Doktorant od str. 32 do str. 37 i od str. 59 do 69 analizuje trzy sposoby wyznaczenia wykładnika krytycznego λ z równania 3.12 ze str. 32: $\Delta\sigma=K\varepsilon^{-\lambda}$. Dwa pierwsze sposoby I i II przekształcające to równanie w równanie liniowe są tożsame. Stąd wyniki otrzymane tymi metodami nie różnią się od siebie. Moje wątpliwości dotyczą III sposobu. Po zlogarytmowaniu obustronnie równania 3.12 i zróżniczkowaniu po temperaturze autor otrzymał prawidłowy wzór:

$$\chi^{-1} = (-d(\ln(\Delta\sigma))/dT)^{-1} = 1/\lambda(T-T_c).$$

Jest to zależność od $x=(T-T_c)$. Analizy można wykonywać w obszarze powyżej T_c , a na osi odciętych winna być wartość $(T-T_c)$, tak jak przedstawiono w cytowanej pracy, której Doktorant jest współautorem, [120] *W. Woch, M. Chrobak, R. Zalecki i A. Kolodziejczyk, Acta Phys. Pol. A 126, 328 (2014) (Rys. 3 z tej pracy)*. **Temperatura T_c jest to wyznaczona temperatura przejścia fazowego i nie może być traktowana jako parametr dopasowania do zależności od T, tak jak to czyni Doktorant np. w Tabeli 5.5 na stronach 66 i 67.** Stąd wyniki otrzymane tym sposobem różnią się od wyników uzyskanych przy zastosowaniu metody I i II.

3. Dlaczego dla tej samej próbki nadprzewodnika $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ na podłożu MgO (100) wybrano do analizy różne przedziały: w Rozdziale 5.1 str. 61 Tabela 5.2, wybrano 5 przedziałów, a w rozdziale 5.2.1 na str. 74 Tabela 5.10 wybrano 4 przedziały? λ_1 i λ_2 są te same, a różne są λ_4 .
4. Dla taśmy 2G $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ temperatury charakteryzujące przejście fazowe umieszczone na str. 80 nie odpowiadają temperaturom na wykresie R(T) na Rys. 5.18. Czy skala temperatury na Rys. 5.18 jest poprawna?
5. Stwierdzenie zawarte na str.80 mówiące o porównywalnych wartościach wykładników krytycznych dla taśm 2G $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, cienkiej warstwy $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ na MgO nie jest prawdziwe, ponieważ dla obszaru bliskiego T_{c_onset} wykładnik $\lambda_3=4.50$ jest o rząd wielkości większy niż dla cienkiej warstwy $\lambda_3=0.36$.

6. Na str. 101 przedstawiono analizę szerokości przejścia fazowego dla próbek talowych. Otrzymane szerokości ΔT dla próbek $x=0.1$ i 0.3 są mniejsze w porównaniu z wartościami dla tych samych próbek opisanych w pracy [43]. Zabrakło dyskusji dlaczego te wyniki się różnią.

Praca została napisana starannie, rysunki są przejrzyste. Z obowiązku recenzenta przedstawiam poniżej przykładowe błędy edytorskie:

1. Str. 3, w tytule Rozdziału 2.1.1 zamiast „typu” powinno być „typu”.
2. Str. 10, 6 linia od dołu jest (2.3) powinno być (2.6).
3. Str. 26, 5 linia od góry jest 1985, powinno być 1895.
4. Str. 38, 4 linia od dołu, w wyrażeniu „powstałe w ten...” brak słowa sposób.
5. Str. 96, Rys. 5.37, złe oznaczenia osi, niespójne z opisem rysunku.
6. Rysunki 5.1 i 5.4 są identyczne. Niepotrzebnie powtórzono ten sam rysunek.
7. Str. 105, Rys. 5.49, oznaczenia na rysunku i opisy są niespójne.
8. Str. 123, Rys. 5.71 i 5.72, błędy w opisie rysunków.
9. Str. 138, Rys. 5.89 i 5.90, niespójność w opisie symboli umieszczonych na rysunkach.

V. Podsumowanie.

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska Pana magistra inżyniera Macieja Chrobaka „Zjawiska krytyczne w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych”, spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w ustawie z dnia 14.03.2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z 2005 r. Nr 164, poz. 1365, z 2010 r. Nr 96, poz. 620 i Nr 182, poz. 1228 oraz z 2011 r. Nr 84, poz. 455, Dz. U. z 2014 r. poz. 1852, z 2015 r. poz. 249) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Odolanów, 14 września 2015

