

Warszawa, 31/10/2022

Prof. dr hab. Andrzej Wiśniewski

Instytut Fizyki PAN

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Antona Losa zatytułowanej „Studies of critical currents and pinning properties in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals substituted with molybdenum”

Recenzowana rozprawa została przygotowana w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu, promotorem rozprawy jest prof. dr hab. Krzysztof Rogacki

Zgodnie z zaleceniami Rady Doskonałości Naukowej recenzja rozprawy doktorskiej powinna zawierać następujące elementy:

- 1) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w określonej dyscyplinie;
- 2) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;
- 3) ocenę wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

I. W swojej recenzji odniosę się najpierw do zagadnienia, czy rozprawa doktorska mgr. Losa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Przedmiotem rozprawy jest badanie prądów krytycznych i mechanizmów kotwiczenia wirów w **monokryształach** $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ z podstawieniem molibdenu. Kluczowym elementem oryginalności badanego problemu naukowego jest przeprowadzenie badań na monokryształach. Wcześniej były prowadzone tylko badania polikrystalicznych próbek $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ z podstawieniem molibdenu. Ze względu na silnie anizotropowe właściwości nadprzewodników wysokotemperaturowych (NWT), w tym w także $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, wcześniejsze badania nie pozwalały na pełne zrozumienie mechanizmów warunkujących mechanizmy kotwiczenia wirów, a tym samym mechanizmów determinujących wartości prądów krytycznych. Zagadnienia te są kluczowe dla określenia możliwości zastosowań nadprzewodników wysokotemperaturowych, a wybór związku $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ jest jak najbardziej uzasadniony. Związek ten jest uznawany za najbardziej perspektywiczny do zastosowań ze względu na temperaturę krytyczną, 92 K, wyższą od temperatury ciekłego azotu, oraz stosunkowo umiarkowaną, w porównaniu z innymi NWT anizotropię parametrów określających stan nadprzewodzący (a tym samym anizotropię prądów krytycznych). Badania monokryształów umożliwiają (choć doświadczalnie nie jest to trywialne, o czym wspomnę w dalszej części recenzji, pomiary w konfiguracji, gdy pole magnetyczne H jest skierowane zarówno równoległe do osi krystalograficznej c , jak i płaszczyzny ab monokryształu. Zdecydowana większość badań NWT prowadzona jest dla konfiguracji $H \parallel c$, a ze względu na trudności w pomiarach, bardzo mało jest wyników dla konfiguracji $H \parallel ab$. Rozprawa mgr. Losa zawiera takie wyniki i ten aspekt również uznaję za istotny element oryginalności.

Uwaga dodatkowa: dziwi mnie fakt, że wyniki dla $H \parallel ab$ nie zostały (jeszcze?) opublikowane. Również warto opublikować wyniki skalowania siły kotwiczenia wirów i wynikające z nich wnioski odnośnie rodzajów centrów kotwiczenia, które odgrywają istotną rolę. Część wyników dla $H \parallel c$, została przedstawiona w pracy: A. Los, B. Dabrowski, K. Rogacki Current Applied Physics (2021) 1–6.

II. Czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora?

Również na to pytanie z przekonaniem mogę udzielić pozytywnej odpowiedzi. We wstępnych rozdziałach pracy mgr Los dobrze zreferował kluczowe dla jego rozprawy zagadnienia teoretyczne. Wykazał dobrą znajomość wcześniejszych badań i literatury. W prowadzonych przez siebie badaniach mechanizmów kotwiczenia wirów i prądów krytycznych wykorzystywał pomiary magnetyczne (wybór metody w pełni uzasadniony ze względu na rozmiary badanych monokryształów). Kluczowe dla tej metody jest dobre zrozumienie modelu Beana (model ten daje teoretyczne podstawy do wyznaczenia wartości prądów krytycznych na podstawie pomiarów magnetycznych) w jego oryginalnym wydaniu, a także dalszych jego udoskonaleń. Założenia tego modelu i jego modyfikacji zostały dobrze zreferowane w pracy. Podobne stwierdzenie odnosi się do dyskusji możliwych mechanizmów odpowiedzialnych za tzw. „peak effect” – wzrost szerokości pętli histerezy magnetycznej (w pewnym zakresie pól) wraz ze wzrostem wartości pola magnetycznego. Mgr Los zaprezentował również dobre teoretyczne przygotowanie do analizy otrzymanych wyników. Właściwe określenie mechanizmów kotwiczenia wirów umożliwiające modele zaproponowane przez Dew-Hugesa (pozwalające na rozróżnienie rodzajów defektów mających decydujący wpływ na kotwiczenie wirów) oraz praca Kramersa, określająca, w jaki sposób należy wyznaczyć wartość „pola skalowania”. Jest to parametr o bardzo istotnym znaczeniu dla poprawnego przeprowadzenia procedury skalowania siły kotwiczenia wirów.

Uwagi związane z tym aspektem recenzji: na str. 4 i 12 autor określa stechiometrię jednego ze związków YBCO tzw. Y124 jako $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_y$. Otóż zamiast „y” powinno być „8” czyli $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$. Dlaczego jest to istotne? W związku tym nie ma łańcuchów CuO i jest pełna stechiometria tlenu, w odróżnieniu np. od Y123. Jest to dużą zaletą, gdyż badając np. wpływ podstawień chemicznych w tym związku mamy pewność, że stechiometria tlenu jest dokładnie taka sama i ewentualne zmiany, np. T_c , są tylko efektem podstawienia. Jako pierwszą pozycję w spisie literatury do trzeciego rozdziału (Introduction) autor podaje odsyłacz do hasła „Superconductivity” w Wikipedii. Niewątpliwie znalazł tam wiele użytecznych informacji, w opinii recenzenta hasło w Wikipedii nie ma statusu pracy naukowej. Dużo właściwsze byłoby np. odwołanie do ogólnie uznanego w środowisku podręcznika M. Tinkhama *Superconductivity*.

III. Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora

Na to pytanie, także udzielam pozytywnej odpowiedzi. W tej części recenzji wskażę kwestię, którą chciałbym przedyskutować z mgr. Losem w czasie publicznej obrony. Wspomnę również o drobnych usterkach pracy. Doktorant wykazał oprócz dobrego przygotowania teoretycznego, o czym już pisałem, dobre przygotowanie do prowadzenia pomiarów. Rozumie na jakie aspekty należy zwrócić uwagę, żeby właściwie przeprowadzić pomiar i właściwie zinterpretować wyniki (np. problem pola resztkowego w magnecie nadprzewodzącym, sposób montowania próbki przy bardzo czułych pomiarach z wykorzystaniem magnetometru SQUID, jak wyznaczyć wartość czynnika odmagnesowania i właściwie wyznaczyć wartość pola magnetycznego, które oddziałuje na próbkę). Mgr Los po przeprowadzeniu części pomiarów i analizie wyników, potrafił zasugerować w jaki sposób należy wygrzać badany kryształ, tak aby poprawić jego parametry nadprzewodzące.

Uwagi związana z tym aspektem recenzji: w trakcie obrony chciałbym przedyskutować następującą kwestię. Na właściwości badanych kryształów mają wpływ trzy czynniki: podstawienie Mo, ciśnienie, pod którym wygrzewane są monokryształy i temperatura wygrzewania. Na rys. 5.25 pokazane są pętle histerezy dla monokryształu „czystego” (bez podstawienia Mo) o symbolu Y123-

140b250-1. Swoją drogą wyjaśnienie co oznacza zapis nazwy badanej próbki np. Y123-140b250 (wygrzewanej pod ciśnieniem 140 barów tlenu, w temperaturze 250 °C) pojawia się dopiero na str. 61, a jest używany już od str. 58. Na dalszych rysunkach, np. 5.26 pokazane są wyniki dla próbki YMo2_130b400 czyli próbki z Mo, ale wygrzewanej w istotnie wyższej temperaturze. Nie jest dla mnie jasne dlaczego zastosowano wyższą temperaturę wygrzewania. Czy znane są wyniki dla próbki YMo2-140b250 (czyli poddanej identycznej „obróbce” jak próbka bez Mo)? Analogiczna uwaga odnosi się do pomiarów w konfiguracji *H II ab*: na Rys. 5.30 są wyniki dla próbki bez molibdenu Y123-270b500-2, na Rys. 5.31 dla próbki z Mo Y1232-130b400-1-NS1 (NS1 oznacza dodatkowe wygrzewanie pod ciśnieniem 255 barów, w temperaturze 500 °C). Również w tym przypadku proszę o komentarz.

W rozdziale 5 (Experiment) uważam, że wyraźnie należało napisać, że monokryształy zostały wyhodowane przez prof. Dąbrowskiego. Ten rozdział zawiera dużo istotnych szczegółów (to oczywiście dobrze) i z tego powodu frazę na str. 48: „Pure (without Mo) and Mo-substituted Y123 single crystals were obtained in the Laboratory of Prof. B. Dabrowski at Physics Department of the Northern Illinois University, DeKalb, USA” można zinterpretować, że wyhodował je mgr. Los w trakcie pobytu w tym laboratorium (że tak nie było można się zorientować tylko z podziękowań na początku pracy).

W pracy zdarzają oczywiście literówki, ale generalnie jest dobrze napisana i zredagowana. Krótki (taki powinien być) rozdział 7 (Summary) dobrze podsumowuje najważniejsze wyniki – to również świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W podsumowaniu stwierdzam, że zgodnie z wymaganiami przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz zaleceniami Rady Doskonałości Naukowej, oceniam pozytywnie wszystkie aspekty pracy doktorskiej mgr. Losa, które podlegają ocenie recenzenta. Wnioskuje o dopuszczenie mgr. Antona Losa do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Andrzej Wsina