

Prof. dr hab. Marta Cieplak
Instytut Fizyki PAN
Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Warszawa, 9.09.2020.

Ocena dorobku naukowego oraz recenzja osiągnięcia habilitacyjnego dr Wojciecha Tabisia pt. „Korelacje ładunkowe oraz własności elektronowe wysokotemperaturowych nadprzewodników miedziowo-tlenowych”

Dr Wojciech Tabiś ukończył studia z dyplomem magistra inżyniera na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica (AGH) w Krakowie w roku 2006. Pracę magisterską pt. „Badanie dynamiki przemiany Verwey’a w magnetycie o różnym stopniu domieszkowania cynkiem” wykonał pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Kozłowskiego. Tematykę własności magnetycznych kontynuował w ramach prac nad rozprawą doktorską, zatytułowaną „Structural changes in magnetite in vicinity of the Verwey transition observed with various x-ray diffraction methods”, którą obronił w AGH w roku 2010. Promotorami rozprawy byli prof. dr hab. Andrzej Kozłowski (AGH) oraz dr Jose Emilio Lorenzo-Diaz (Centre National de la Recherche Scientifique, Grenoble). W CNRS Grenoble wykonane zostały badania sychrotronowe, które stanowiły część rozprawy doktorskiej.

Ocena dorobku naukowego

Po obronie doktoratu dr Tabiś wyjechał na staż podoktorski, który odbył w grupie prof. Martina Grevena w University of Minnesota (Minneapolis, USA). W trakcie stażu zajął się nową dla niego tematyką badawczą dotyczącą wysokotemperaturowych nadprzewodników (WTN). W ramach badań pracował nad przygotowaniem monokrystalicznych próbek nadprzewodników, ich charakterystyką transportową i magnetotransportową, a także nadzorem nad studentami i doktorantami wykonującymi te prace. Brał czynny udział w badaniach struktury elektronowej i krystalograficznej przy pomocy promieniowania synchrotronowego, zarówno próbek wykonanych w grupie prof. Grevena, jak też wykonanych w innych laboratoriach na świecie, oraz w badaniach magnetotransportu wykonanych w silnych impulsowych polach magnetycznych w Los Alamos (USA).

Tematykę badawczą dotyczącą materiałów WTN dr Tabiś kontynuował również po zakończeniu stażu, gdy podjął pracę w Laboratorium Wysokich Pól Magnetycznych (Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses) w Tuluzie (Francja) w grupie dr Cyrila Prousta, gdzie pracował jako inżynier naukowy, a następnie naukowiec do 2017 roku. Badania nadprzewodników koncentrowały się na problemie wpływu fal gęstości ładunku na nadprzewodnictwo i powstawanie pseudoprzerwy. Oprócz badań nadprzewodników dr Tabiś w ramach swoich obowiązków służbowych udzielał pomocy technicznej i naukowej dla różnych grup badawczych prowadzących badania innych materiałów w impulsowych polach magnetycznych; stąd dr Tabiś ma w swoim dorobku kilka prac dotyczących takich związków jak grafit pyrolityczny, antymon, czy TaAs. Brał też udział w realizacji projektu dotyczącego nadprzewodników organicznych.

W latach 2017-2020 dr Tabiś kontynuował badania WTN jako starszy asystent projektu w Vienna University of Technology, w grupie prof. Nevena Barisica, z którym współpracę rozpoczął jeszcze w okresie swojego stażu podoktorskiego. W grupie tej dr Tabiś uczestniczył w badaniach ewolucji powierzchni Fermiego w nadprzewodnikach miedziowych w obecności

silnych pól magnetycznych, przy pomocy badań synchrotronowych oraz magnetotransportowych, oraz kierował budową aparatury i wykonaniem pomiarów synchrotronowych i transportowych w ciśnieniu jednoosiowym w zastosowaniu do badań WTN.

W sumie, w 10-letnim okresie pracy w międzynarodowych zespołach dr Tabiś był wykonawcą w sześciu projektach badawczych (pięciu już zakończonych, i jednym w trakcie), które dotyczyły badań nadprzewodnictwa; ponadto sam brał udział w wielu konkursach na projekty badań synchrotronowych, i następnie kierował ich wykonaniem. Okres ten zaowocował nawiązaniem przez dr Tabisia kontaktów z szeregiem znakomitych grup badawczych; kontakty te pozwalają mu na kontynuację współpracy z najlepszymi grupami na świecie, i umożliwiają dostęp do wielkoskalowej aparatury badawczej. Od roku 2020 dr Tabiś kieruje projektem realizowanym w AGH w Krakowie w ramach programu Polskie Powroty; celem tego projektu jest utworzenie w AGH zespołu badawczego zajmującego się tematyką WTN.

Całkowity dorobek naukowy dr Wojciecha Tabisia zawiera 33 opublikowane prace (dane z Web of Science, z dnia 7.09. 2020). Przeważająca część (17 prac) związana jest z tematyką WTN; 9 prac dotyczy tematyki magnetytów, którą habilitant zajmował się w okresie prac nad doktoratem i kontynuował przez kilka następnych lat, zaś pozostałych kilka prac dotyczy własności różnych materiałów w silnych polach magnetycznych lub innych problemów. Prace te są wieloautorskie, i opublikowane zostały w większości w bardzo dobrych czasopismach o zasięgu międzynarodowym i o dużych wskaźnikach cytowalności IF, w tym w Physical Review B - 10 prac, w Nature Physics, Physical Review Letters, oraz w J. of Alloys and Compounds po 3 prace, w Nature Communications oraz w Science Advances po 2 prace, oraz po 1 pracy w szeregu innych czasopism, najważniejsze z nich to Nature, Phys. Review X oraz Physical Review Materials. Prace współautorstwa dr Tabisia cytowane były ogółem 892 razy (bez autocytowań), współczynnik Hirscha wynosi 13. Liczby te wskazują, że prace te są bardzo istotne, zwłaszcza dla dziedziny badań związków WTN. Największe cytowania (194 razy) ma praca z 2014 r. dotycząca obserwacji fal gęstości ładunkowej i ich relacji do transportu elektronowego, której pierwszym autorem jest dr Tabiś. Dr Tabiś wygłosił 9 zaproszonych referatów na konferencjach międzynarodowych. Za swoje prace z dziedziny nadprzewodnictwa dr Tabiś otrzymał nagrodę im. Prof. Engela dla Młodych Naukowców w roku 2015; nagrodę dla najlepiej publikującego naukowca AGH w roku 2016, oraz nagrodę Polskiego Towarzystwa Synchrotronowego w roku 2017.

Dr Tabiś ma spore doświadczenia dydaktyczne. Zajęcia dydaktyczne prowadził przez 4 lata w trakcie pracy nad doktoratem w AGH (ćwiczenia rachunkowe oraz zajęcia laboratoryjne), jak również przez dwa semestry w czasie pobytu w University of Minnesota. Prowadził również wykłady specjalistyczne na temat wytwarzania i zastosowania promieniowania synchrotronowego dla doktorantów; w trakcie pobytu w Wiedniu prowadził też okazjonalnie ćwiczenia rachunkowe z fizyki. Opiekował się też kilkoma studentami i doktorantami wykonującymi prace licencjackie lub magisterskie, kilkoma stażystami poddoktorskimi, a także jest promotorem pomocniczym/kopromotorem dwojga doktorantów, których obrony przewidziane są na rok 2020 oraz 2023. W trakcie pobytu we Francji dr Tabiś uczestniczył w kilku wydarzeniach popularyzujących naukę, prowadząc pokazy i demonstracje dotyczące fizyki niskich temperatur i zjawiska nadprzewodnictwa. Do osiągnięć organizacyjnych habilitanta można zaliczyć kierowanie projektami badań synchrotronowych oraz nowym projektem w AGH, a także uczestnictwo (jako członek komitetu organizacyjnego) w pracach nad organizacją międzynarodowej konferencji 4th Grandmaster Early Career Workshop in Physics, która odbyła się we wrześniu 2019 roku w Splicie w Chorwacji.

Ocena osiągnięcia habilitacyjnego.

Spośród wszystkich prac na temat WTN habilitant wybrał 9 publikacji, które przedstawił jako swoje osiągnięcie naukowe. Wszystkie te prace są wieloautorskie, wszystkie powstały w wyniku pracy dr Tabisia w wieloosobowych zespołach naukowych. Praca badawcza w takich zespołach staje się coraz bardziej powszechna w dziedzinie fizyki materii skondensowanej, zwłaszcza, gdy dotyczy to badań przy użyciu wyspecjalizowanej aparatury. W przypadku badań prezentowanych przez habilitanta prace obejmowały przygotowanie kryształów, ich wstępną charakteryzację różnymi metodami, i następnie właściwe badania synchrotronowe lub magnetotransportowe; według oświadczenia habilitanta, brał on udział we wszystkich etapach tych prac, ale ich właściwe wykonanie wymagało współdziałania wielu innych osób. Warto tu jednak podkreślić, że w dwóch z 9-ciu omawianych prac (P7 i P8) dr Tabiś jest pierwszym autorem, a w innych trzech pracach (P3, P4 i P9) jest drugim autorem, z pominięciem kolejności alfabetycznej. Świadczy to o dominującym, bądź bardzo istotnym wkładzie dr Tabisia w powstanie ponad połowy omawianych tu prac, i o nieco mniejszym (ale też znacznym) udziale w pozostałych pracach.

Duża część omawianych prac dotyczy własności transportowych WTN, które od początku badań tych materiałów stanowiły wyzwanie dla teorii, ponieważ zdawały się przeczyć konwencjonalnej teorii cieczy Fermiego: podczas gdy temperaturowa zależność oporności jest liniowa w szerokim zakresie temperatur, kotangens kąta Halla pokazuje zależność kwadratową od temperatury. Zaproponowano wiele nowych teorii do opisu tego tzw. dziwnego metalu, jak np. pomysł dwóch różnych czasów rozpraszania nośników. Przełomem w tym względzie okazały się badania tetragonalnego, jednowarstwowego tlenku miedzi typu $\text{HgBa}_2\text{CoO}_{4+\delta}$ (Hg1201) o gęstości nośników dziurowych mniejszej niż optymalna dla nadprzewodnictwa, opublikowane w 2013 r. Pokazały one, że przy obniżaniu temperatury z obszaru dziwnego metalu do obszaru niskich T , gdy w widmie wzbudzeń elektronowych otwiera się pseudoprzerwa, oporność zmienia się z liniowej na kwadratową funkcję temperatury, co oznacza, że w obszarze pseudoprzerwy teoria cieczy Fermiego obowiązuje. Badania te wykonane zostały w zespole, w którym podjął pracę dr Tabiś, choć w tych akurat badaniach jeszcze nie uczestniczył.

Dr Tabiś włączył się w testy tzw. reguły Kohlera, które są opisane w pracy P1 (Physical Review Letters 2014 r., cytowana 54 razy). Reguła ta przewiduje, że magnetoopór orbitalny dla cieczy Fermiego jest niezależną od temperatury funkcją ilorazu pola magnetycznego i oporności w nieobecności pola. Badania te pokazały, że reguła jest spełniona w obszarze pseudoprzerwy dla kryształów Hg1201 o gęstości nośników mniejszej od optymalnej, oraz, że analiza istniejących danych dla innych materiałów WNT może prowadzić do tego samego wniosku pod warunkiem, że uwzględni się istnienie dużej oporności resztkowej, która wynika z niezależnego od temperatury rozpraszania na defektach sieci.

Rozwinięciem tych badań były pomiary kotangensa kąta Halla w kryształach Hg1201 dla szerokiego zakresu temperatur i koncentracji nośników, przedstawione w pracy P2 (New Journal of Physics, 2019 r., cytowana 4 razy). Pokazano, że kotangens kąta Halla jest kwadratową funkcją temperatury nie tylko w obszarze pseudoprzerwy, ale także w obszarze dziwnego metalu i w całym zakresie gęstości nośników poniżej optymalnej dla nadprzewodnictwa; co więcej, współczynnik temperaturowej zależności okazał się niezależny od koncentracji, co świadczy o tym, że czas rozpraszania nie zmienia się dla dużego obszaru diagramu fazowego. Porównanie z danymi dla innych jednowarstwowymi materiałami WNT pokazało, że czas rozpraszania jest

uniwersalny dla tych związków. Zasugerowano, że zmiany charakteru oporności przy przejściu od dziwnego metalu do pseudoprzerwy mogą być wywołane lokalizacją nośników ładunku.

W pracach P3 do P5 badania rozszerzono na elektronowo domieszkowany nadprzewodnik $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ (NCCO). W pracy P3 (Phys. Rev. Letters, 2016, cytowana 16 razy) pomiary oporności, efektu Halla oraz kotangensa kąta Halla dla kryształów NCCO z małą zawartością domieszki ceru, x , porównano z danymi literaturowymi, zarówno dla NCCO, jak też dla szeregu innych związków (elektronowo i dziurowo domieszkowanych). Pokazano, że w obszarze niskich temperatur powinno się uwzględnić w oporności obecność członu rosnącego logarytmicznie ze zmniejszaniem temperatury, zaś po odjęciu tego członu można wydzielić człon oporności, który w obszarze pseudoprzerwy jest kwadratową funkcją temperatury, zgodnie z teorią cieczy Fermiego. Co więcej, pokazano, że procedura ta prowadzi do czasu rozpraszania nośników o uniwersalnej wartości dla wszystkich związków.

W pracy P4 (Science Advances 2019r., cytowana 8 razy) podjęto próbę skorelowania własności transportowych elektronowo domieszkowanego NCCO z ewolucją kształtu powierzchni Fermiego, która zmienia się ze wzrostem x , od małych elektronowych kieszeni, przez obecność kieszeni dwóch typów, elektronowych i dziurowych, do dużych dziurowych powierzchni. Analiza magnetooporu pokazała, że rośnie on jednocześnie z pojawianiem się kieszeni dziurowych, i z pojawianiem się objętościowego nadprzewodnictwa. Dalsza analiza zmierzonego drugiego pola krytycznego, oraz gęstości prądu nadprzewodzącego z danych literaturowych pokazała, że nadprzewodnictwo ma charakter dwupasmowy; przy czym w wysokich temperaturach wkład pochodzi wyłącznie od kieszeni dziurowych, natomiast w niskich istotny jest również wkład elektronowy. Wreszcie, rozważając wyłącznie wkład od dziur autorzy pokazali, że zależność gęstości prądu nadprzewodzącego od temperatury krytycznej zgadza się z tzw. skalowaniem Uemury, uniwersalną zależnością obserwowaną dla dziurowych nadprzewodników.

W pracy P5 (Nature Physics, 2014r., cytowana 68 razy) zbadano wzbudzenia magnetyczne pomocy rezonansowego nieelastycznego rozpraszania promieni X w elektronowo-domieszkowanym NCCO, antyferromagnetycznym (AFM) oraz nadprzewodzącym, i porównano z literaturowymi danymi dla dziurowo domieszkowanych związków. W próbce o uporządkowaniu AFM zaobserwowano wzbudzenia magnonowe, natomiast w nadprzewodzących próbkach wzbudzenia o krótkim czasie życia (paramagnony), o dyspersji sięgającej wyższych energii niż magnony w próbkach AFM, co istotnie różni się od zachowania paramagnonów w dziurowo domieszkowanych związkach. W nadprzewodzących kryształach zaobserwowano dodatkowe kolektywne wzbudzenie w pobliżu punktu Γ , o niejasnym pochodzeniu, którego w ogóle nie ma w dziurowo-domieszkowanych związkach.

Trzy następne prace (P6, P7 i P8) poświęcone są zbadaniu kształtu powierzchni Fermiego i możliwego wpływu na ten kształt korelacji ładunkowych w dziurowo domieszkowanym, jednowarstwowym związku Hg1201 o gęstości nośników poniżej optymalnej dla nadprzewodnictwa. W pracy P6 (Nature Physics, 2013r., cytowania: 103 razy) opisano obserwacje oscylacji magnetooporu (Shubnikova-de-Haasa) dla próbek o gęstości nośników $p \approx 0.09$, w wysokich (do 80 T) polach magnetycznych. Z częstotliwości oscylacji określono rozmiary przekroju poprzecznego powierzchni Fermiego prostopadłego do kierunku pola magnetycznego, które okazały się bardzo małe, zaledwie 3% strefy Brillouina, potwierdzając tym samym obecność małej, zamkniętej kieszeni na powierzchni Fermiego. Zgodnie z wcześniejszymi badaniami efektu Halla, kieszeń ta ma charakter elektronowy, co wskazuje na

rekonstrukcję powierzchni Fermiego w niskich temperaturach. Wynik ten jest podobny do obserwowanego uprzednio w związkach typu YBCO ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ oraz $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$), o bardziej skomplikowanej strukturze krystalograficznej zawierającej łańcuchy Cu-O; prosta struktura Hg1201 z jedną płaszczyzną CuO_2 pozwala wnioskować, że rekonstrukcja związana jest z właściwościami tej właśnie płaszczyzny.

Związek korelacji ładunkowych z rekonstrukcją powierzchni Fermiego opisano w pracach P7 i P8 (Nature Communications 2014 r., cytowania: 194 razy oraz Physical Review B 2017r., cytowania: 37 razy). Przy pomocy technik synchrotronowych zaobserwowano fale gęstości ładunku dla kryształu, w którym uprzednio obserwowano oscylacje magnetooporu (praca P7), oraz dla kryształów o innych gęstościach nośników (praca P8). Pokazano, że fale gęstości ładunku pojawiają się dla temperatur, dla których transport elektronowy wykazuje własności cieczy Fermiego, i które są niższe niż temperatura otwierania pseudoprzerwy, zatem fale gęstości ładunku raczej nie odpowiadają za otwieranie pseudoprzerwy. Zasugerowano także, że fale gęstości ładunku konkurują z nadprzewodnictwem, ponieważ w ich obecności obserwuje się obniżenie temperatury krytycznej przejścia do stanu nadprzewodzącego. Wyznaczono długość korelacji ładunkowych i ich wektor falowy; pokazano, że wraz ze wzrostem koncentracji nośników wektor falowy maleje liniowo w funkcji rosnących rozmiarów elektronowej kieszeni Fermiego, otrzymanych z pomiarów oscylacji Shubnikova-de-Haasa; co więcej, zależność ta wydaje się być uniwersalna, ponieważ jest zgodna z wynikami zaobserwowanymi dla związku YBCO. Wreszcie, ciekawa jest konkluzja, że długość korelacji ładunkowych w Hg1201 może być ograniczona przez komórki elementarne, które są obsadzone podwójnie przez międzywęzłowe atomy tlenu, losowo rozmieszczone w sieci.

W pracy P9 (Nature 2016r., cytowania: 157 razy) przy pomocy pomiarów współczynnika Halla w wysokim polu magnetycznym w kryształach YBCO o różnej gęstości nośników pokazano definitywnie, że temperatura otwierania pseudoprzerwy jest wyższa od temperatury restrukturyzacji powierzchni Fermiego wywołanej przez korelacje ładunkowe, zatem pseudoprzerwa jest związana z korelacjami magnetycznymi, a nie ładunkowymi. Pokazano także, że gwałtowne obniżenie gęstości nośników zachodzi przy otwieraniu pseudoprzerwy, gdy następuje utrata nośników w pozycjach antywęzłowych powierzchni Fermiego.

Podsumowując opis tych prac warto podkreślić, że dziedzina badań związków WTN jest bardzo trudna, bo materiały te różnią się od siebie znacznie strukturą krystalograficzną i stopniem nieporządku, co bardzo komplikuje znalezienie cech wspólnych i określenie uniwersalnych własności. Pod tym względem badania, w których uczestniczył dr Tabiś, wnoszą bardzo wiele nowych istotnych danych doświadczalnych, i wiele pomysłów, które pozwalają zidentyfikować te uniwersalne wielkości. Trudno jest nawet wyróżnić, które z wyników są najciekawsze – choć prace na temat korelacji ładunkowych mają duże cytowania, to mi osobiście podoba się analiza własności transportowych przedstawiona w pracach P1-P4. W mojej ocenie przedstawione mi do recenzji prace stanowią wyjątkowy przykład znakomitych prac, w których udział habilitanta jest niewątpliwy, i zasługuje na uznanie.

Z obowiązku recenzenta dodam, że habilitant dołączył do zestawu prac obszerny autoreferat w języku polskim, w którym starał się streścić i podsumować wyniki badań, w zasadzie z sukcesem. Dla mnie pewnym problemem było użycie przez habilitanta sformułowania „domieszki” zamiast „koncentracja nośników” lub „gęstość nośników”, jak np. w zdaniu „nadprzewodniki te... zachowują się jak ciecze Fermiego nie tylko przy bardzo dużych domieszkach, ale w szerszym zakresie domieszkania”; podobne użycie tej frazy występuje

często w autoreferacie. Jest to dosłowne tłumaczenie frazy „doping”, której się używa po angielsku zamiennie zamiast „hole concentration” przy opisie diagramu fazowego miedzianów, ale w polskim języku „domieszka” ma jednak znaczenie obcego atomu w sieci, co wywołuje przy pierwszym czytaniu konsternację.

Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawione osiągnięcie habilitacyjne oraz całokształt dorobku naukowego dr Tabisia uważam, że dr Tabiś jest samodzielnym, dojrzałym badaczem. Dotychczasowe osiągnięcia kwalifikują go w pełni do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Pana dr Wojciecha Tobisia do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



Prof. dr hab. Marta Cieplak