

---

# UNIWERSYTET M. CURIE – SKŁODOWSKIEJ

Tel: (+48) 81 – 537 62 41  
Fax: (+48) 81 – 537 61 91  
Email: [doman@kft.umcs.lublin.pl](mailto:doman@kft.umcs.lublin.pl)  
Web: <http://kft.umcs.lublin.pl/doman>

Prof. dr hab. Tadeusz Domański  
Katedra Fizyki Teoretycznej  
Instytut Fizyki UMCS w Lublinie

---

Lublin, 12 sierpnia 2020 r.

Recenzja rozprawy habilitacyjnej doktora inżyniera Wojciecha Tabisia pt. **„Korelacje ładunkowe oraz własności elektronowe wysokotemperaturowych nadzewodników miedziowo-tlenowych”** oraz ocena Jego dorobku naukowo-dydaktycznego

Dr inż. Wojciech Tabiś ukończył studia magisterskie fizyki technicznej (o specjalności „fizyka ciała stałego”) na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracę magisterską pt. *Badanie dynamiki przemiany Verwey’a w magnetycie o różnym stopniu domieszkowania cynkiem* przygotował pod kierunkiem profesora Andrzeja Kozłowskiego i pomyślnie obronił w 2006 roku. Na tym samym Wydziale przygotował pracę doktorską pt. *Structural changes in magnetite in vicinity of the Verwey transition observed with various X-ray diffraction methods*. Promotorami rozprawy byli prof. dr hab. Andrzej Kozłowski (AGH Kraków) oraz dr Jose Emilio Lorenzo-Diaz (CNRS Grenoble, Francja). Pracę doktorską obronił w 2010 roku, uzyskując wyróżnienie.

W latach 2010-2013 dr inż. W. Tabiś pracował na Uniwersytecie Minnesoty w Minneapolis (USA) w charakterze adiunkta naukowego oraz przez dwa semestry na połowie etatu asystenta dydaktycznego. Od 2013 do 2017 był następnie zatrudniony w Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych w Tuluzie (Francja) na etacie inżyniera naukowego i badacza naukowego. W okresie 2017-2020 uczestniczył w realizacji projektu ERC, pracując na Uniwersytecie Technicznym w Wiedniu (Austria). Począwszy od 2013 roku został też zatrudniony na etacie adiunkta na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w Krakowie. Podtrzymując ścisłą współpracę badawczą z profesorem M. Grevenem

jest nadal związany z Uniwersytetem Minnesoty w Minneapolis, gdzie corocznie przebywa przez około 2 miesiące w charakterze wizytującego naukowca. Bogaty staż podoktorski umożliwił Habilitantowi nawiązanie owocnej współpracy z ponad 65 naukowcami z różnych krajów świata. Na liście współautorów Jego publikacji naukowych znajdują się znakomici eksperci problematyki nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego, m.in. C. Proust (Tuluza, Francja), L. Taillefer (Sherbrooke, Kanada), M. Le Tacon (Karlsruhe, Niemcy), Z.X. Shen (Stanford, USA), N. Barišić (Wiedeń, Austria), Y. Li (Pekin, Chiny), B. Keimer (Stuttgart, Niemcy), A. Damascelli (Vancouver, USA), J. Fink (Drezno, Niemcy) i wielu innych. W ramach nawiązanej współpracy dr inż. Tabiś przebywał ponadto w centrach badawczych w Berlinie (Niemcy), Villigen (Szwajcaria), Saskatoon (Kanada), Grenoble (Francja) oraz Lemont, Berkeley, Tallahassee i Los Alamos (USA).

Przedmiotem działalności naukowej Habilitanta było doświadczalne badanie właściwości fizycznych różnych materiałów, ze szczególnym uwzględnieniem nadprzewodników wysokotemperaturowych. Zasadniczym motywem tych badań było poszukiwanie uniwersalnych cech, które mogłyby wskazać na istotę mechanizmu tego (nadal niewyjaśnionego) zjawiska. Na przedłożoną rozprawę habilitacyjną składa się cykl dziewięciu artykułów, które zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach o najwyższym znaczeniu dla reprezentowanej dyscypliny badawczej. Po zapoznaniu się z treścią poszczególnych publikacji oraz zwięzłym wykazem osiągnięć Habilitanta jestem w pełni przekonany o Jego dojrzałości naukowej. Z obowiązku recenzenta przedstawię w dalszej części bardziej szczegółowy zarys problematyki badawczej uprawianej przez Habilitanta oraz merytoryczną ocenę i znaczenie ważniejszych wyników.

[P1] M.K. Chan, M.J. Veit, C.J. Dorow, Y. Ge, Y. Li, W. Tabiś, Y. Tang, X. Zhao, N. Barišić, and M. Greven, Phys. Rev. Lett. **113**, 177005 (2014).

W pracy przeprowadzono systematyczną analizę pomiarów magnetooporu dla wybranych związków nadprzewodników wysokotemperaturowych w szerokim zakresie pól magnetycznych (do 30 T) oraz temperatur (w obszarze znacznie powyżej  $T_c$ ) w celu zweryfikowania właściwości typowych dla cieczy Fermiego. Szczególną uwagę zwrócono na relację Kohlera, która w uniwersalny sposób wiąże magnetorezystywność  $\delta\rho(\mathbf{H}) = \rho(\mathbf{H}) - \rho(\mathbf{0})$  względem izotermicznej wartości  $\rho(\mathbf{0})$ . Pomiar magnetotransportu elektronowego przeprowadzone wzdłuż płaszczyzn tlenowo-miedziowych dla wysokiej jakości monokrystalicznych próbek nadprzewodnika  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+x}$  wykazały kwadratową zależność od pola magnetycznego  $\delta\rho(\mathbf{H})/\delta\rho(\mathbf{0}) \propto H^2$  obserwowaną zarówno w obszarze niedodomieszkowania (ang. *underdoped*) jak też naddomieszkowania (*overdoped*). Obserwacja ta zakwestionowała zasadność hipotezy nielandauowskiego charakteru fazy pseudoszczelinowej (podkreślaną przez niektórych teoretyków). Autorzy przeprowadzili też pomiary magnetooporu dla innych rodzin nadprzewodników wysokotemperaturowych na bazie itru oraz lantanu. Dane doświadczalne wykazały, że w przypadku związków itrowych relacja Kohlera jest nadal spełniona nato-

miast w związkach lantanowych wymagała zmodyfikowania, polegającego na zastąpieniu referencyjnej wartości  $\rho(0)$  przez  $\rho(0) - \rho_{res}$ . Resztkową wartość  $\rho_{res}$  można określić z niskotemperaturowej ekstrapolacji.

[P3] N. Barišić, M.K. Chan, M.J. Veit, C.J. Dorow, Y. Ge, Y. Li, W. Tabiś, Y. Tang, G. Yu, X. Zhao, and M. Greven, New J. Phys. **21**, 113007 (2019)

Autorzy przeprowadzili pomiary charakterystyk kotangensa kąta Halla w zakresie temperatur do około 400 K oraz szerokiego obszaru koncentracji dziur dla związku  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ . Taka wielkość fizyczna, będąca ilorzem rezystywności płaszczyzny tlenowo-miedziowej względem rezystywności Halla, pozwala określić charakterystykę czasu rozpraszania  $\tau$  według relacji  $\text{ctg}(\theta_H) \propto \frac{m^*}{\tau}$  stosowalnej w podejściu masy efektywnej  $m^*$  nośników. Głównym przedmiotem zainteresowania autorów były ewentualne zmiany jakościowe lub ilościowe na granicy fazy pseudoszczelinowej ( $T^*$ ) i w pobliżu tempertatury  $T^{**} < T^*$ , poniżej której opór właściwy wykazuje zachowanie  $\rho \propto T^2$  typowy dla cieczy Fermiego. Wyniki pomiarów doświadczalnych nie wykazały jakichkolwiek istotnych zmian kotangensa kąta Halla, ani ze wzrostem temperatury ani ze zmianą koncentracji dziur. Dla obszarów diagramu fazowego, zarówno w fazie pseudoszczelinowej jak też w obszarze tzw. dziwnego metalu (ang. *strange metal*), stwierdzono kwadratową temperaturową zależność kotangensa kąta Halla. Taki fakt empiryczny wydaje się wykluczać niektóre teoretyczne scenariusze mechanizmu nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Autorzy wykazali ponadto, że zależność  $\text{ctg}(\theta_H) = c_0 + c_2 T^2$  z uniwersalnym współczynnikiem  $c_2 = 0,0175 \pm 0,002$  jest spełniona dla związku  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$  oraz w innych materiałach nadprzewodnikowych typu dziurowego, takich jak  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  czy  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ .

[P3] Yangmu Li, W. Tabiś, G. Yu, N. Barišić, and M. Greven, Phys. Rev. Lett. **117**, 197001 (2016)

W pracy przeprowadzono systematyczne poszukiwane uniwersalnych cech transportu ładunkowego w domieszkowanym elektronowo związku nadprzewodzącym  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ . Na podstawie pomiarów temperaturowej zależności rezystancji wyodrębniono następujące trzy składowe  $\rho(T) = \rho_{res} - A_{log} \log \frac{T}{T_{log}} + A_2 T^2$ . W pobliżu temperatury krytycznej (ale powyżej  $T_c$ ) dominujące znaczenie odgrywa człon logarytmiczny, którego wkład jest odwrotnie proporcjonalny do koncentracji elektronowej  $x$ . Jego pochodzenie jest prawdopodobnie spowodowane granularnością materiału, w której obszary metaliczne współistnieją naprzemiennie z regionami izolatorowymi. Po odjęciu wyrazu resztkowego  $\rho_{res}$  oraz członu logarytmicznego pozostała część wykazała typową właściwość cieczy Fermiego, tzn. kwadratową zależność od temperatury. Taką charakterystykę zaobserwowano przy różnym stopniu domieszkowania elektronowego w zakresie temperatur do 300 K. Pominięcie wyrazu resztkowego i logarytmicznego prowadzi również do kwadratowej zależności kotangensa kąta Halla od temperatury. Takie intrygujące fakty empiryczne były



wcześniej przeoczone w literaturze specjalistycznej z powodu zbyt pobieżnej analizy całkowitej wartości rezystancji nadprzewodników domieszkowanych elektronami w zakresie powyżej ich temperatury krytycznej. Rola Habilitanta w uzyskaniu tych cennych wyników oraz ich opracowaniu i redagowaniu publikacji była kluczowa.

[P4] Y. Li, W. Tabiś, Y. Tang, G. Yu, J. Jaroszyński, N. Barišić, and M. Greven, Science Advances **5**, eaap7349 (2019)

W pracy przeprowadzono analizę pomiarów magnetooporu dla związku  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ , stwierdzając dramatyczną zmianę tej wielkości względem stopnia domieszkowania  $x$ . Magnetoopór jest ściśle powiązany z topologią powierzchni Fermiego. Obserwacja ta sugerowała więc jakościową ewolucję powierzchni Fermiego przy przejściu od obszaru słabego domieszkowania do zakresu powyżej optymalnego domieszkowania. Ilościowa zmiana współczynnika  $b_2$  w empirycznej zależności magnetooporu  $\Delta\rho(\mathbf{H})/\rho(\mathbf{H} = \mathbf{0}) = b_2|\mathbf{H}|^2$  została przez autorów zinterpretowana jako dowód ewolucji kształtu powierzchni Fermiego od małych kieszeni elektronowych (w obszarze małego domieszkowania  $x$ ), poprzez współistnienie takich elektronowych kieszeni z kieszeniami dziurowymi (w tzw. obszarze mieszanym) do dużej powierzchni typu dziurowego (powyżej optymalnego domieszkowania). Za szczególnie intrygujące można uznać przypuszczenie współistnienia komponentów elektronowych z dziurowymi. Przeprowadzając komplementarne pomiary rozpraszania miuonowego wykazano, że przejście do stanu nadprzewodzącego jest rzeczywiście realizowane z udziałem składnika dziurowego w tzw. gęstości nadciekłej (ang. *superfluid density*). Autorzy oszacowali temperaturową zależność każdego komponentu i wykazali, że poszczególne składniki podlegają liniowemu skalowaniu względem odwrotności głębokości wnikania pola magnetycznego. Takie skalowanie (odkryte wcześniej przez Uemurę i współpracowników dla wysokotemperaturowych nadprzewodników domieszkowanych dziurami oraz niektórych innych egzotycznych materiałów nadprzewodzących) jednoznacznie wskazuje, że przejście w stan nadprzewodzący jest indukowane poprzez uzgadnianie faz par lokalnych utworzonych już powyżej  $T_c$ .

[P5] W.S. Lee, J.J. Lee, E.A. Nowadnick, S. Gerber, W. Tabiś, S.W. Huang, V.N. Strocov, E.M. Motoyama, G. Yu, B. Moritz, H.Y. Huang, R.P. Wang, Y.B. Huang, W.B. Wu, C.T. Chen, D.J. Huang, M. Greven, T. Schmitt, Z.X. Shen & T.P. Devereaux, Nature Phys. **10**, 883 (2014).

Publikacja [P5] analizuje widmo wzbudzeń magnetycznych dla wybranych próbek związku  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$  o stopniu domieszkowania  $x = 0,04$  (z zakresu występowania fazy antyferromagnetycznej) oraz  $x = 0,147$  i  $0,166$  (z obszaru fazy nadprzewodzącej). Wysokiej rozdzielczości charakterystyki kolektywnych wzbudzeń magnetycznych wyznaczono za pomocą spektroskopii rezonansowego nieelastycznego rozpraszania fal X (w skrócie RIXS). Habilitant uczestniczył w pomiarach, które przeprowadzono na akceleratorze SLAC (Kali-

fornia, USA). W próbce z obszaru izolatorowej fazy antyferromagnetycznej zaobserwowano wzbudzenia jednomagnonowe o zależności dyspersyjnej typowej dla fal spinowych dwuwymiarowego modelu Heisenberga. Natomiast dla próbek z obszaru nadprzewodzącego stwierdzono obecność paramagnetycznej gałęzi wzbudzeń o dużym poszerzeniu linii widmowych (czyli krótkim czasie życia) z powodu malejącego zasięgu korelacji antyferromagnetycznych ze wzrostem domieszkowania. Występowanie takiej paramagnonowej gałęzi zaobserwowano przy znacznie wyższych energiach niż w próbce izolatora antyferromagnetycznego. Pewnym zaskoczeniem było dostrzeżenie w próbkach nadprzewodzących dodatkowej gałęzi wzbudzeń wokół punktu  $\Gamma$  strefy Brillouina, bez analogicznego odpowiednika w nadprzewodnikach domieszkowanych dziurami. Autorzy przeprowadzili dyskusję pochodzenia tej zagadkowej struktury magnetycznej. W przekonaniu niektórych naukowców mechanizm nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego wywodzić się może ze wzbudzeń magnetycznych, dlatego skrupulatne porównanie widm elektronowo- i dziurowo-domieszkowanych związków przeprowadzone w pracy [P5] przy współudziale Habilitanta ma bardzo istotne znaczenie.

[P6] N. Barišić, S. Badoux, M.K. Chan, C. Dorow, W. Tabiś, B. Vignolle, G. Yu, J. Béard, X. Zhao, C. Proust & M. Greven, *Nature Phys.* **9**, 761 (2013).

Artykuł [P6] opisuje odkrycie kwantowych oscylacji magnetoopru w słabo domieszkowanych próbkach związku  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ , analogicznych do wcześniejszego doniesienia dla nadprzewodnika itrowego (w 2007 roku). Zależność oporu od pola magnetycznego skierowanego prostopadle do płaszczyzny tlenowo-miedziowej zmierzono dla próbki o koncentracji dziur  $p \approx 0,09$  w szerokim zakresie impulsowych pól magnetycznych (od zera do około 80 T). Oscylacje poprzecznego magnetooporu pojawiły się przy silnych polach (tzn. w stanie normalnym powyżej krytycznej wartości pola), świadcząc o istnieniu orbit cyklotronowych na powierzchni Fermiego. Fizyczną implikacją tego faktu jest występowanie zamkniętych obszarów powierzchni Fermiego, w tym wypadku tworzących kształt małych kieszeni elektronowych (ang. *electron pockets*). Na podstawie częstotliwości oscylacji kwantowych wyznaczono pole przekroju zamkniętej powierzchni Fermiego (prostopadłej do kierunku pola), oszacowując ją na około 3% strefy Brillouina. Dalsza analiza ilościowa pozwoliła wyznaczyć efektywną masę nośników ( $m^* \approx 2,45m_e$ ) oraz średnią drogę swobodną ( $l \approx 5\text{nm}$ ). Występowanie kwantowych oscylacji magnetooporu miało ważne znaczenie dla komplementarnego określenia topologii powierzchni Fermiego względem pomiarów za pomocą spektroskopii fotoemisyjnej z kątową rozdzielczością, które wskazywały na istnienie łuków powierzchni Fermiego (ang. *Fermi arcs*). Wyniki uzyskały szeroki odgłos w literaturze poświęconej problematyce nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego.

[P7] W. Tabiś, Y. Li, M. Le Tacon, L. Braicovich, A. Kreyssig, M. Minola, G. Dellea, E. Weschke, M.J. Veit, M. Ramazanoglu, A.I. Goldman, T. Schmitt, G. Ghiringhelli, N. Barišić, M.K. Chan, C.J. Dorow, G. Yu, X. Zhao, B. Keimer & M. Greven, Nature Commun. **5**, 5875 (2014).

Ten cenny artykuł można uznać za rozszerzenie badań doświadczalnych opisanych w pracy [P6]. We współpracy z kilkoma ośrodkami naukowymi Habilitant przeprowadził wnikliwą analizę wyników uzyskanych przy pomocy spektroskopii RIXS oraz pomiarów komplementarną techniką rezonansowej dyfrakcji dla słabo domieszkowanych ( $p = 0,09$ ) próbek nadprzewodnika  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$  w zakresie temperatur zarówno poniżej, jak i powyżej  $T_c$ . Badania wykazały pojawienie się fal gęstości ładunku (CDW) w pobliżu temperatury 200 K. Jest to temperatura z obszaru fazy pseudoszczelinowej, poniżej której właściwości transportowe wykazują cechy typowe dla cieczy Fermiego (w literaturze specjalistycznej oznaczanej przez  $T^{**}$ ). Autorzy uzasadnili związek uporządkowania ładunkowego CDW z istnieniem elektronowych kieszeni powierzchni Fermiego, które w konsekwencji są odpowiedzialne za oscylacje Szubnikowa de Haasa (dyskutowane w pracy [P6]). Tego rodzaju relacja realizuje się zarówno w słabo domieszkowanym  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$  jak też w związkach  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ , można więc uznać ją za uniwersalną cechę nadprzewodników tlenków miedzi.

[P8] W. Tabiś, B. Yu, I. Bialo, M. Bluschke, T. Kołodziej, A. Kozłowski, E. Blackburn, K. Sen, E. M. Forgan, M. v. Zimmermann, Y. Tang, E. Weschke, B. Vignolle, M. Hepting, H. Gretarsson, R. Sutarto, F. He, M. Le Tacon, N. Barišić, G. Yu, and M. Greven, Phys. Rev. B **96**, 134510 (2017).

W pracy [P8] przeprowadzono szczegółową analizę zależności uporządkowania ładunkowego CDW od stopnia domieszkowania dziurami w tetragonalnych związkach  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ . Badania wykonano dla ośmiu próbek o koncentracji dziur w zakresie  $p \in \langle 0,064; 0,126 \rangle$  przy pomocy pomiarów dyfrakcyjnych oraz spektroskopii rezonansowego rozpraszania promieniowania, wykorzystując źródła synchrotronowe w Berlinie, Saskatchewan i Hamburgu. Na podstawie zebranych pomiarów Autorzy określili obszar występowania fazy CDW względem temperatury i stopnia domieszkowania  $p$ . Realizację uporządkowania ładunkowego stwierdzono poniżej charakterystycznej temperatury  $T_{CDW}(p)$ , która mieści się we fragmencie obszaru fazy pseudoszczelinowej o właściwościach cieczy Fermiego, tzn.  $T_{CDW}(p) \leq T^{**}(p)$ . Określono ponadto zależność od domieszkowania długości korelacji  $\xi$  (która wyniosła około  $5a$ ) oraz modułu wektora falowego  $q_{CDW}$  uporządkowania CDW. Liniowo zmniejszająca się zależność  $q_{CDW}$  od koncentracji dziur  $p$  posłużyła Autorom do opracowania schematu elektronowych kieszeni powierzchni Fermiego, których rozmiar przekłada się na częstotliwość oscylacji Szubnikowa de Haasa realizujących się w obecności silnych pól magnetycznych. Wykazano również stabilność uporządkowania



CDW względem nieporządku, który jest immanentną cechą wszystkich nadprzewodników wysokotemperaturowych. Analizując wpływ losowo rozmieszczonych atomów międzywęzłowego tlenu w warstwach  $\text{HgO}_\delta$  wykazano stosunkowo słabe zaburzenia obszarów uporządkowania fali gęstości ładunkowej.

[P9] S. Badoux, W. Tabiś, F. Laliberté, G. Grissonnanche, B. Vignolle, D. Vignolles, J. Béard, D.A. Bonn, W.N. Hardy, R. Liang, N. Doiron-Leyraud, L. Taillefer & C. Proust, *Nature* **531**, 210 (2016).

Artykuł [P9] porusza ważną kwestię zmiany efektywnego charakteru nośników ładunku pod wpływem domieszkowania związku  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ . W tym celu dokonano pomiarów współczynnika Halla  $R_H$  dla próbek o różnych koncentracjach domieszek i w zakresie silnych pól magnetycznych ( $\sim 88$  T). Pomiarzy wykazały, że zanik uporządkowania CDW (związanego z rekonstrukcją powierzchni Fermiego) zachodzi w pobliżu koncentracji domieszek 0,16. Wartość ta różni się od niskotemperaturowego zakresu występowania obszaru pseudoszczelinowego ( $p^* \approx 0,19$ ), można więc wnioskować odmienny charakter obu tych faz. Na podstawie izoterm współczynnika Halla oszacowano (hallowską) gęstość nośników  $n_H = V/(eR_H)$  w stanie normalnym dla silnego pola magnetycznego 80 T. Ewolucja  $n_H$  względem domieszkowania wykazała przejście od zależności  $n_H \sim p$  (realizowaną dla niskich koncentracji  $p$ ) do zależności  $n_H \sim 1 + p$  (powyżej  $p^*$ ). Takie zachowanie sugeruje, iż na granicy występowania fazy pseudoszczelinowej odbywa się jakościowa zmiana charakteru nośników ładunku i otwarcie pseudoprzerwy w obszarach antynodalnych (poniżej koncentracji  $p^*$ ) prowadzi do lokalizacji nośników.

Uważam, że opisana powyżej seria publikacji Habilitanta wniosła bardzo cenny wkład do zrozumienia intrygujących właściwości nadprzewodników wysokotemperaturowych domieszkowanych dziurami oraz elektronami. Za szczególne istotne uznałbym świadectwa zachowania typu cieczy Fermiego wykazane w pomiarach rezystancji, magnetooporu i współczynnika Halla dla fragmentu obszaru fazy pseudoszczelinowej (poniżej  $T^{**}$ ) a nawet w obszarze dziwnego metalu. Z uznaniem odnoszę się też do porównania uniwersalnych cech związków tlenków miedzi domieszkowanych dziurami (zbadanych na przykładzie  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$  i  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ ) oraz elektronami  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_{4+\delta}$ . Kolejnym ważnym osiągnięciem było wykazanie oscylacji magnetooporu w tetragonalnym związku  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ , co w znaczący sposób uzupełniło wcześniejszą znajomość topologii powierzchni Fermiego uzyskaną z pomiarów fotoemisyjnych. Zamknięte orbity cyklotronowe (odpowiedzialne za oscylacje Szubnikowa de Haasa) wskazały na tworzenie się struktur określanых jako *kieszenie*. Precyzyjna analiza częstości oscylacji magnetoporu pokazała powiązanie objętości takich kieszeni z długością (tzn. wartością bezwzględną) wektora falowego uporządkowania typu CDW. Habilitant przeprowadził też cenną analizę zakresu występowania uporządkowania fal gęstości ładunku względem temperatury i stop-

nia domieszkowania, wykluczając jej równoważność z fazą pseudoszczelinową. Jako kolejne istotne odkrycie Habilitanta uznałbym również wskazanie jakościowej zmiany hallowskiej koncentracji nośników  $n_H(p)$  względem stopnia domieszkowania  $p$ , realizującej się przy przekraczaniu granicy fazy pseudoszczelinowej.

Bogata lista osiągnięć dr. inż. Wojciecha Tabisia była możliwa do uzyskania dzięki kooperacji z licznymi partnerami z wielu (w tym prestiżowych) ośrodków badawczych. Publikacje stanowiące rozprawę habilitacyjną mają charakter wieloautorski, nie widzę jednak najmniejszego powodu do zarzutów, gdyż jest to uwarunkowane specyfiką nietrywialnych badań doświadczalnych. Uważam nawet umiejętność aranżowania współpracy (zwłaszcza w obecnych warunkach nacechowanych powszechną rywalizacją środowiska naukowego) za wielką zaletę, która stwarza autentyczną szansę nieprzyczynkarskich wyników. Wybitne osiągnięcia pana W. Tabisia są pięknym przykładem takiego zbiorowego sukcesu uzyskanego dzięki szeroko zakrojonej współpracy.

Oprócz dziewięciu prac, składających się na treść rozprawy habilitacyjnej, dr inż. W. Tabiś jest współautorem kilkunastu innych artykułów opublikowanych po uzyskaniu doktoratu. Ukazały się one w renomowanych czasopismach, m.in. w *Phys. Rev. Lett.* (1 artykuł), *Carbon* (1 artykuł), *Nature Comm.* (1 artykuł), *Nature Phys.* (1 artykuł), *Science Advances* (1 artykuł), *Phys. Rev. B* (6 artykułów), *Phys. Rev. Matt.* (1 artykuł), *J. Phys.: Condens. Matter* (1 artykuł), *J. Appl. Phys.* (1 artykuł). Poza problematyką nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego prace te dotyczyły m.in. syntezy i właściwości nanostruktur niklu na podłożu węglowym, ekscytonów w cienkich warstwach czarnego fosforu, termodynamicznych właściwości grafitu, półmetalicznych cech antymonu.

Dr inż. W. Tabiś aktywnie uczestniczył w międzynarodowych konferencjach poświęconych problematyce zjawisk korelacyjnych w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych. Po doktoracie wygłosił ponad dwadzieścia referatów ustnych, w tym 9 wykładów konferencyjnych na zaproszenie oraz 9 zaproszonych wykładów seminaryjnych. Miałem okazję kilka razy słuchać referatów Habilitanta. Wyróżniał się zawsze wielką starannością, klarownym przedstawianiem problematyki badawczej i opisu metod pomiarowych oraz profesjonalną interpretacją uzyskanych danych. W. Tabiś należy niewątpliwie do najzdolniejszych doświadczalników fizyki materii skondensowanej młodego pokolenia w Polsce.

Po uzyskaniu doktoratu W. Tabiś uczestniczył w realizacji 5 zagranicznych grantów badawczych w charakterze wykonawcy oraz jednokrotnie w charakterze kierownika grantu *Polskie Powroty* finansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej. Dotyczyły one badania właściwości nadprzewodników na bazie rtęci (2 projekty finansowane ze środków Departamentu Energii USA), nadprzewodników w silnych polach magnetycznych i nowych organicznych materiałów nadprzewodnikowych (2 granty finansowane przez Narodową Agencję Badań we Francji), analizy luków i kieszeni Fermiego w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych (1 grant przez Fundację Nauki w Austrii) oraz roli zlokalizowanych nośników ładunku w kontekście mechanizmu pseudoszczeliny i nadprze-



wodnictwa wysokotemperaturowego tlenków miedzi (prestżowy grant ERC przyznany na okres 2017-2022). Indywidualny grant realizowany aktualnie przez dr. inż. Tabisia w macierzystej uczelni AGH ma na celu przeprowadzenie kompleksowych doświadczeń służących do zbadania zjawisk korelacyjnych i określenia ich wpływu na mechanizm nadprzewodnictwa. Poza wymienionymi projektami W. Tabiś kierował również eksperymentami badawczymi realizowanymi na infrastrukturze synchrotronowej, m.in. w Grenoble (Francja) i w Berlinie (Niemcy). Habilitant był zapraszany do recenzowania artykułów w czasopismach naukowych, m.in. Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, J. Phys.: Condens. Matter oraz Entropy.

Na różnych etapach swojego zatrudnienia sprawował opiekę naukową i uczestniczył we współpromotorstwie wielu studentów. Brał udział w szkoleniu stażystów podoktorskich w Tuluzie (Dr. S. Benhabib, Dr. F. Laliberte) i Wiedniu (Dr. N.K. Chogondahali Muniraju). Z Jego współpromotorstwem finalizowana jest aktualnie praca doktorska pani I. Biało (AGH Kraków & UT Wiedeń). Jest też zaangażowany w kopromotorstwo pracy doktorskiej B. Kebel (UT Wiedeń), której finalizacja jest przewidywana na 2023 rok. Był opiekunem naukowym prac magisterskich na Uniwersytecie Minnesoty (K. Zhang, M. Veit) i Uniwersytecie Technicznym w Wiedniu (B. Kebel) a także kopromotorem prac licencjackich (G. Dinev, J. Dittrich, M. Cherczyński) wykonanych na UT w Wiedniu.

Habilitant zdobył także doświadczenie w pracy dydaktycznej. Prowadził ćwiczenia rachunkowe i zajęcia laboratoryjne z fizyki ogólnej dla studentów AGH w Krakowie. Podczas stażu na Uniwersytecie Minnesoty prowadził ćwiczenia rachunkowe i laboratoryjne z fizyki dla studentów kierunków pozatechnicznych. Przeprowadził serię wykładów specjalistycznych na temat wytwarzania i zastosowania promieniowania synchrotronowego w badaniach właściwości elektronowych, strukturalnych oraz magnetycznych dla doktorantów Uniwersytetu Minnesoty. Kilkukrotnie prowadził zajęcia z podstaw fizyki dla osób studiujących fizykę na Uniwersytecie Technicznym w Wiedniu. Brał czynny udział w popularyzowaniu nauki, wykonując pokazy w ramach Europejskiej Nocy Naukowców oraz festiwalu naukowego w Tuluzie.

Za dotychczasową działalność badawczą dr inż. Wojciech Tabiś uzyskał Nagrodę im. Prof. Engela dla Młodych Naukowców (2015), Nagrodę dla Najlepiej Publikującego Naukowca AGH (2016) i Nagrodę Polskiego Towarzystwa Synchrotronowego (2017). Od 2020 roku W. Tabiś jest członkiem panelu oceniającego projekty i uczestniczy w pracach komisji decydującej o przyznawaniu czasu na pomiary doświadczalne synchrotronu ESRF w Grenoble (Francja).

Reasumując, dr inż. Wojciech Tabiś uzyskał szereg oryginalnych oraz wartościowych wyników odkrywających skomplikowaną współzależność korelacji elektronowych i nadprzewodnictwa w związkach tlenków miedzi. Zdobył cenne doświadczenie podczas długoterminowych staży zagranicznych w USA, Francji oraz Austrii i nawiązał owocną współpracę z najlepszymi doświadczalnymi ekspertami problematyki nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego na świecie. Na rozprawę habilitacyjną składa się cykl spójnych tematycznie artykułów opublikowanych w prestiżowych czasopismach naukowych: Physical Review Letters, Nature, Nature Physics, Nature Communications, Science Advances oraz New Journal of Physics i Physical Review B. Prace te miały kluczowe znaczenie dla zrozumienia uniwersalnych cech nadprzewodników wysokotemperaturowych domieszkowanych dziurami lub elektronami, wskazały obszar powyżej temperatury krytycznej nacechowany właściwościami cieczy Fermiego, umożliwiły odkrycie topologii powierzchni Fermiego oraz pozwoliły określić naturę obszaru występowania pseudoszczeliny. Ten bogaty dorobek (w którym rola Habilitanta jest precyzyjnie zadeklarowana dla każdej publikacji) ma niekwestionowanie ważny wkład do zrozumienia zagadkowej natury nadprzewodnictwa tlenków miedzi. Habilitant wykazał również aktywność w kształceniu młodej kadry i popularyzowaniu nauki oraz uczestniczył w realizacji zagranicznych i krajowych projektów badawczych. Z pełnym przekonaniem przekazuję więc wniosek do Rady Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w Krakowie o nadanie doktorowi inżynierowi Wojciechowi Tabisiowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych.

Jacek Domanski