

Ocena rozprawy habilitacyjnej
"Impact of spin and spin-orbit interaction
on transport properties of strongly correlated
complex oxides and topological crystalline insulators"
oraz dorobku naukowego Pana dra Krzysztofa Dybko

Pan dr Krzysztof Dybko ukończył studia fizyki w Uniwersytecie Warszawskim i uzyskał tytuł magistra fizyki w roku 1985. Stopień doktora uzyskał na podstawie rozprawy doktorskiej pt. *"Własności transportu elektronowego w półprzewodnikach półmagnetycznych na bazie żelaza"*, wykonanej pod kierunkiem prof. dra hab. Andrzeja Mycielskiego w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie w roku 2002. Od roku 1985 jest zatrudniony w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie.

Działalność naukowa p. dra K. Dybko, zwanego dalej Autorem, koncentruje się wokół zagadnień związanych z własnościami magnetycznymi manganitów oraz nadprzewodników wysokotemperaturowych, a ostatnio również izolatorów topologicznych, między innymi SnTe. Badania te doprowadziły do powstania cyklu pięciu prac na temat własności:

- heterostruktur $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3/\text{YBCO}$,
- supersieci o większej liczbie n warstw $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ w komórce elementarnej,
- struktur warstwowych $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ z perowskitem z oddziaływaniem spin-orbita SrIrO_3 , oraz
- układów na bazie krystalicznych izolatorów topologicznych $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$.

Rozprawa habilitacyjna dotyczy wpływu oddziaływań spinowych oraz oddziaływania spin-orbita na transport w powyższych układach silnie skorelowanych tlenków lub izolatorów topologicznych. Moją ocenę dorobku naukowego Habilitanta rozpocznę od dyskusji wyników merytorycznych uzyskanych przez Niego w pracach opublikowanych wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej.

Badania prowadzone przez p. dra Krzysztofa Dybko doprowadziły do powstania cyklu pięciu tematycznie ze sobą związanych prac, traktujących kompleksowo problem własności magnetycznych w wybranych materiałach warstwowych lub krystalicznych izolatorach topologicznych. Nie ulega wątpliwości, że tak sformułowany problem badawczy jest oryginalny i interesujący. Wszystkie prace ukazały się w bardzo dobrych czasopismach o szerokim zasięgu, w tym po jednej:

- [H1] — w znanym czasopiśmie na temat magnetyzmu *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*;
 - [H2] — w znanym czasopiśmie w dziedzinie materii skondensowanej, *Journal of Physics: Condensed Matter*;
 - [H3] — w znanym czasopiśmie na temat zastosowań *Journal of Physics D: Applied Physics*;
 - [H4] — w czasopiśmie europejskim *open access New Journal of Physics*;
 - [H5] — w prestiżowym czasopiśmie fizycznym w dziedzinie fizyki materii skondensowanej, *Physical Review B*.
- Tym samym został spełniony warunek opublikowania pracy habilitacyjnej. Ponadto, cztery inne prace [Z1–Z4] są tematycznie związane z cyklem prac habilitacyjnych lecz nie są do niego włączone i stanowią cenny materiał uzupełniający, o czym szerzej poniżej.

Na wstępie warto podkreślić, że wśród prac składających się na habilitację brak prac monoautorskich; wszystkie pięć prac powstało w niezbyt licznych zespołach 4-9 osobowych, co w badaniach doświadczalnych w fizyce jest obecnie zjawiskiem powszechnym. Osiągnięcie liczących się wyników naukowych w fizyce eksperymentalnej jest bowiem możliwe jedynie poprzez wspólny wysiłek dość licznej grupy badawczej, korzystającej z wysokiej jakości próbek wyprodukowanych przez specjalistów oraz z nowoczesnej aparatury. O wysokim poziomie tych prac i prezentowanych w nich wyników najlepiej świadczy fakt, że powstały one w wyniku współpracy Autora ze światowej klasy ekspertami w dziedzinie badań silnie skorelowanych tlenków metali przejściowych, jak prof. M. Sawicki, P. Przysławski, T. Story, A. Szewczyk, W. Zawadzki. Obowiązkiem recenzenta jest w tej sytuacji ustalenie, w jakim stopniu prace objęte rozprawą stanowią samodzielny dorobek naukowy Habilitanta. Jest to możliwe dzięki oświadczeniom współautorów dołączonym do

dokumentacji przewodu habilitacyjnego.

Jeden z głównych współautorów (3 prace wspólne), prof. Piotr Przysławski, stwierdza: "... *mój udział polegał na kierowaniu projektem naukowym obejmującym badania opisane w tych pracach i na dyskusji nad wynikami prac eksperymentalnych*". Podobnie napisał prof. Tomasz Story. Pozostałe oświadczenia podają zwykle pracę nad treścią publikacji lub pomiary jedną z metod eksperymentalnych. Pozostałe osoby określają swój wkład w prace powstałe w większych zespołach jako niewielki i wynikający z podziału zadań zespołu, podając zwykle pracę nad treścią publikacji lub pomiary jedną z metod eksperymentalnych. Oświadczenia współautorów pozwalają mi stwierdzić, że: (i) prace wspólne wchodzące w skład rozprawy powstały przy istotnym wkładzie twórczym ze strony dra Dybko, oraz (ii) udział dra Dybko w pomiarach, które doprowadziły do powstania wszystkich tych prac był bardzo istotny lub dominujący.

Ponadto, zwraca uwagę fakt, że w czterech pracach składających się na habilitację Pan Dybko jest pierwszym autorem w porządku antyalfabetycznym. Świadczy to niewątpliwie o Jego dominującym wkładzie w wyniki uzyskane w tych pracach. Jedynie w pracy [H3] — Habilitant jest drugim autorem, tym razem w porządku alfabetycznym. Proponuję zinterpretować ten fakt jako potwierdzenie istotnego wkładu Autora.

W tej sytuacji stwierdzam, że rozprawa habilitacyjna p. dra Krzysztofa Dybko została opublikowana, a wszystkie pięć prac wchodzących w skład rozprawy stanowią samodzielny dorobek naukowy Habilitanta. W związku z tym przedstawiona rozprawa habilitacyjna może być rozpatrywana jako podstawa do uzyskania przez Niego stopnia doktora habilitowanego.

Przejdę teraz do szczegółowej analizy wyników zawartych w pracach opublikowanych wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej, wymieniając najważniejsze wyniki i osiągnięcia Autora (cytowane numery [H1]–[H5] odnoszą się do prac objętych rozprawą wg kolejności przyjętej w omówieniu rozprawy, dołączonym przez Autora):

(1) Głównym wynikiem pracy [H1] jest podanie nowego dowodu na istnienie nadprzewodnictwa trypletowego. Potwierdzono wcześniejsze przewidywania teoretyczne dotyczące trypletowego zaworu spinowego w układzie wielowarstwowym na bazie ferromagnetyka $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LSMO) i nadprzewodnika YBCO. Potwierdzenie istnienia składowej trypletowej uzyskano dzięki niemonotonicznej zmianie temperatury nadprzewodzącej T_c w funkcji kąta obrotu próbki w jednorodnym polu magnetycznym.

(2) Warunki istnienia dwóch konkurencyjnych porządków, ferromagnetycznego i nadprzewodzącego, były badane w pracy [H2] Autor wykazał, że ferromagnetyzm zanika w bardzo cienkich warstwach LSMO dla mniej niż trzech warstw, natomiast nadprzewodnictwo pojawia się właśnie w takich układach.

(3) Temat nadprzewodnictwa jest w pracy [H3] zastąpiony badaniem wpływu warstw SrIrO_3 (SIO) na własności zaworów spinowych. Wykazano istnienie oddziaływania wymiennego pomiędzy warstwami LSMO, czyli poprzez niemagnetyczne warstwy SIO. Badania te dostarczyły istotnych informacji o zależności działania zaworu spinowego od kierunku pola magnetycznego względem kierunku prądu w wielowarstwie.

(4) Ciekawe jest powiązanie efektu Nernsta-Ettingshausena z topologicznymi własnościami materii przedstawione w pracy [H4]. Wykazano w niej, że topologiczne przejście fazowe wywołane przez odwrócenie struktury pasmowej pojawia się gdy współczynnik Nernsta-Ettingshausena osiąga maksimum.

(5) Dużym osiągnięciem Autora jest przebadanie topologicznych stanów powierzchniowych w krysztale SnTe. W pracy tej przeanalizowano objętościowy i topologiczny wkład do zjawiska magnetotransportu. Autorowi udało się podać argumenty uzasadniające interpretację, że rezerwuuar objętościowy jest otoczony przez topologiczne stany powierzchniowe i zjawisko to ma charakter uniwersalny.

Na zakończenie tej części jeszcze kilka uwag na temat autoreferatu (*self-report*) p. dra Krzysztofa Dybko, który stanowi krótkie podsumowanie najważniejszych wyników otrzymanych przez Habilitanta i zawartych w pracach opublikowanych. Jest to materiał o objętości około 12 stron maszynopisu i jako taki nie jest artykułem przeglądowym, oraz nie stanowi niezależnego opracowania syntetycznego przedstawionej w habilitacji tematyki. Z uwagi na to, że przedstawiony autoreferat jest materiałem nieopublikowanym, nie może on stanowić części rozprawy habilitacyjnej i nie będzie brany pod uwagę w końcowej ocenie. Niemniej jednak chciałbym poczynić tutaj następujące uwagi:

(1) Sam tekst jest napisany miejscami zbyt zwięźle, bez szerszego kontekstu literaturowego. Najistotniejszą wadą autoreferatu jest jednak brak myśli przewodniej. Brak syntetycznego podejścia do omawianych zagadnień sprawia, że nie wyeksponowano faktycznych osiągnięć Habilitanta, których moim zdaniem nie brakuje.

(2) Nie podjęto też próby powiązania ze sobą przedstawionych wyników szczegółowych oraz umiejscowienia ich w szerszym kontekście.

(3) Lista literatury wniosku (17 pozycji) jest zdecydowanie zbyt uboga. W podsumowaniu Autor nie podaje najistotniejszych w tej części informacji, czyli, co zostało zrobione, na czym polegają istotne osiągnięcia

rozprawy, oraz jakie ważne problemy zidentyfikowano, ale pozostały jeszcze nierozwiązane.

(4) Ponadto, brak jest logicznego powiązania badań warstw LSMO i nadprzewodników YBCO [H1]–[H3] z pracami o stanach topologicznych [H4]–[H5].

Dla porządku wymienię też kilka uwag dotyczących doboru materiału, które nasunęły mi się przy czytaniu rozprawy:

(1) Doprawdy trudno zrozumieć dlaczego do osiągnięcia habilitacyjnego nie zostały włączone prace [Z2] i [Z3], które dotyczą podwyższenia temperatury T_c w polu magnetycznym oraz hipotezy nadprzewodnictwa trypletowego w trójwarstwach LSMO/YBCO/LSMO. W obydwu tych pracach dr Dybko jest pierwszym autorem a liczba autorów nie jest duża i tylko dwóch jest nowych w stosunku do pracy [H2]. Dodatkowe oświadczenia o ich udziale w tych pracach nie byłyby prawdopodobnie bardzo dużym wysiłkiem logistycznym. Tymczasem, praca [H3] jest jedną z trzech najliczniej cytowanych prac Autora i rozpoczyna cykl prac na temat układów warstwowych LSMO/YBCO.

(2) Praca [Z1] została słusznie pominięta w cyklu prac habilitacyjnych ponieważ została ona opublikowana już dość dawno temu i dotyczy innego tematu.

(3) Domyślać się można, że praca [Z4] jest nieuwzględniona ponieważ wprawdzie jest ona dużym sukcesem oraz pokazuje odkrycie pierwszych topologicznych izolatorów krystalicznych na bazie związków IV–VI, ale brało w niej udział aż 11 innych autorów oraz dr Dybko nie jest pierwszym autorem tej pracy. Dlatego wydaje się, że rola Habilitanta w powstanie tej pracy nie była wiodąca.

(4) Lista publikacji jest nieprzejrzysta — publikacje w czasopismach są wymienione wraz z publikacjami konferencyjnymi podczas gdy te dwie istotnie różne kategorie powinny być podane oddzielnie.

Podsumowując, w pracy habilitacyjnej otrzymano szereg nowych informacji na temat konkurencji ferromagnetyzmu i nadprzewodnictwa oraz efektów topologicznych w wybranych izolatorach. Nie wszystkie osiągnięcia Autora byłem w stanie w pełni docenić, ponieważ sam nie prowadzę badań eksperymentalnych. Niemniej jednak jestem przekonany, że prace wykonane przez Habilitanta istotnie wzbogaciły wiedzę o badanych związkach z silnie skorelowanymi elektronami. Szkoda jednak, że ten postęp nie został dokładniej omówiony. Okazją do bogatszego podsumowania wykonanych badań są plany naukowe podane na zakończenie omówienia wyników rozprawy i wynikające z niego problemy badawcze, które powinny być przedmiotem dalszych badań.

Dorobek naukowy dra K. Dybko to również szereg innych prac nie objętych rozprawą habilitacyjną. Nie sposób omówić tutaj wszystkich wyników szczegółowych zawartych w tych pracach, które obejmują kilka zagadnień dotyczących układów o kilku oddziałujących zwykle splątanych stopniach swobody. W dokumentacji brak niestety wspomnienia kilku prac, które Autor uważa za najważniejsze; również autoreferat takich prac wyraźnie nie wskazuje. Jako przykład chciałbym tutaj wymienić pracę [Z4] P. Dziawa, B. J. Kowalski, K. Dybko, R. Buczko, A. Szczerbakow, M. Szot, E. Łusakowska, T. Balasubramanian, B. M. Wojek, M. H. Berntsen, O. Tjernberg, and T. Story, Topological crystalline insulator states in $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$, *Nature Materials* **11**, 1023 (2012). Praca ta powstała we współpracy polsko-szwedzkiej i opisuje odkrycie topologicznych izolatorów krystalicznych. Udział Habilitanta w tej ważnej pracy, cytowanej już 431 razy, uważam za duży sukces — nawet w przypadku jeśli ten udział nie był wiodący. Niektóre inne prowadzone wcześniej prace przyniosły też spory sukces, jak np. badania prowadzone wspólnie z grupą MBE w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN.

Łącznie pan dr K. Dybko brał udział w 93 publikacjach wg bazy danych *Web of Science* w okresie do 19 grudnia 2019. Dostarczona mi do recenzji lista publikacji dra Dybko obejmuje 84 pozycje oprócz prac [H1]–[H5] składających się na rozprawę habilitacyjną, czyli łącznie:

- 34 publikacje, czyli prace oryginalne opublikowane w czasopismach recenzowanych o zasięgu międzynarodowym, w tym zdecydowana większość po uzyskaniu stopnia doktora, oraz
- 50 komunikatów konferencyjnych, opublikowanych przeważnie w czasopismach recenzowanych.

Oznacza to, że dorobek publikacyjny jest nierówny i złożony w większości z prac konferencyjnych. Warto jednak podkreślić, że publikacje niekonferencyjne są zwykle jakościowo dobre i częściowo opublikowane w najlepszych czasopismach, m.in.:

- 5 prac opublikowanych w *Physical Review B*,
- 1 praca w *Physical Review Letters*,
- 2 prace w *Europhysics Letters* — *EPL*,
- 1 praca [Z4] w *Nature Materials* (wymieniona powyżej), oraz
- 1 praca w *New Journal of Physics*.

Dorobek ten, wraz z pracami opublikowanymi w innych czasopismach, jest łącznie jak na habilitację ponad dobry, mógłby jednak być bogatszy po 17 latach pracy naukowej, które upłynęły od uzyskania stopnia doktora oraz biorąc pod uwagę fakt, że Habilitant jest w sytuacji uprzywilejowanej ponieważ nie ma obowiązków

dydaktycznych jak pracownicy wyższych uczelni. Podsumowując uważam, że dorobek publikacyjny jest wystarczający i spełnia zwyczajowe wymagania dla kandydatów do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie fizyki.

Prace dra K. Dybko były cytowane wg *Web of Science* w okresie do 19 grudnia 2019 łącznie 982 razy (933 bez autocytowań). Podobną liczbę cytowań 905 (860) podaje Autor we wniosku habilitacyjnym; rozbieżność wynika zapewne z okresu trwania procedury habilitacyjnej. Oznacza to średnio ponad 10 cytowań na pracę dla 80 prac opublikowanych do końca 2018 roku. Wskaźnik ten jest zatem wyższy od średniej światowej około 7 liczonej na jedną publikację z fizyki wg tej samej bazy danych. Najliczniej cytowana praca, P. Dziawa, B. J. Kowalski, K. Dybko *et al.*, Topological crystalline insulator states in $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$, *Nature Materials* **11**, 1023 (2012), uzyskała już 431 cytowań. Niektóre inne prace były dość licznie cytowane, np. praca C. Skierbiszewski *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 102106 (2005) — 55 razy, praca [Z3] — 38 razy, praca F. Holts *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **89**, 276801 (2002) — 31 razy, natomiast praca [Z2] — 8 razy. Prace habilitacyjne były natomiast słabiej cytowane niż nawet niektóre z prac uzupełniających ([Z2], [Z3]). Najlepiej cytowana praca [H5] uzyskała dotychczas 7 cytowań.

Biorąc pod uwagę fakt, że kilka prac powstało niedawno i ich obecne liczby cytowań są zapewne jeszcze dość odległe od wartości asymptotycznych, proponuję uznać wyniki dotyczące cytowalności prac za ponad dobre. Indeks Hirscha wynosi $h = 13$ i jest typowy na tym etapie kariery naukowej w fizyce. Powinien on być jednak około dwukrotnie wyższy dla naukowca, który uzyskał tytuł magistra w roku 1985, a sama habilitacja jest wyraźnie spóźniona.

Pan dr K. Dybko wygłosił cztery referaty zaproszone na konferencjach międzynarodowych, które odbyły się w Polsce. Był też zapraszany do ośrodków badawczych za granicą, w tym kontrakt 20 miesięcy na Uniwersytecie w Leoben, 1998-2000. Brał udział w kilku projektach badawczych w charakterze wykonawcy lub głównego wykonawcy. Za działalność badawczą otrzymał kilka nagród naukowych. Prowadził też kilkakrotnie zajęcia dydaktyczne oraz prowadził działalność popularyzatorską.

Wszystkie podane powyżej okoliczności pozwalają mi stwierdzić, że, pomimo wymienionych tu uwag krytycznych, Pan dr Krzysztof Dybko uzyskał wartościowe wyniki w swojej pracy habilitacyjnej oraz posiada dobre przygotowanie do samodzielnej pracy naukowej. Jest On specjalistą w skali światowej w zakresie badań eksperymentalnych związków o złożonych i konkurujących ze sobą typach uporządkowania. Dorobek naukowy dra Krzysztofa Dybko jest wystarczający i spełnia przyjęte zwyczajowo standardowe wymagania dla kandydatów do stopnia doktora habilitowanego z fizyki, zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym.

Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Pana dra Krzysztofa Dybko do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



Andrzej Michał Oleś

Kraków, 31 grudnia 2019 roku.