

Prof. dr hab. inż. Janusz Toboła
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Email: tobola@ftj.agh.edu.pl
Tel: 12 617 44 55

**Recenzja osiągnięć naukowo-badawczych oraz dorobku naukowego dr inż. Marcina Sikory
w postępowaniu kwalifikacyjnym o nadanie stopnia doktora habilitowanego**

Dr inż. Marcin Sikora ukończył studia magisterskie na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej AGH w Krakowie w 1999 r. i tam też w 2002 r. obronił swoją pracę doktorską pt. *Magnetyzm związków $La_{2/3-y}RE_yCa_{1/3}MnO_3$ badany metodą magnetycznego dichroizmu promieniowania X*, realizowaną w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego pod kierunkiem prof. Czesława Kapusty. Jak można wnioskować z tematyki rozprawy doktorskiej, zarówno techniki pomiarowe (XMCD oraz XANES) wykorzystywane w badaniach magnetyzmu, z którymi M. Sikora zapoznał się podczas eksperymentów w ośrodkach HASYLAB/DESY w Hamburgu oraz BESSY w Berlinie, jak też ciekawe materiały do badań (wykazujące m.in. gigantyczny magnetoopór) stały się niezwykle istotne z punktu widzenia dalszych dokonań.

Szczegółowa wiedza i praktyka badawcza zdobyta przez doktoranta podczas eksperymentów w laboratoriach synchrotronowych, w tak dynamicznie rozwijającej się dziedzinie, jaką są metody rozpraszania promieniowania synchrotronowego do badań subtelnych zjawisk magnetycznych, stanowiła znakomity punkt startowy do regularnej pracy badawczej. Po doktoracie M. Sikora przebywał m.in. w Aragońskim Instytucie Badań Materiałów w Saragossie (2004-2005), a następnie w Europejskim Laboratorium Promieniowania Synchrotronowego ESRF w Grenoble (2005-2008). Warto zwrócić uwagę na to, że ostatnie kilkanaście lat jest okresem niezwykle bujnego rozwoju tych dyscyplin fizyki ciała stałego i inżynierii materiałowej, w których z powodzeniem można stosować techniki rozpraszania promieniowania synchrotronowego. W szczególności należy do nich badanie subtelnych zjawisk magnetycznych w materii skondensowanej z uwzględnieniem wkładów orbitalnych do momentów magnetycznych atomów, wcześniej uzyskiwanych w badaniach z użyciem dyfrakcji neutronów. Fakt, że w wielu ważnych, czasem pionierskich eksperymentach, najpierw w Hamburgu a następnie w Grenoble, brał udział dr M. Sikora, stawia go w gronie najlepszych polskich specjalistów-ekspertów młodego pokolenia, w dziedzinie badań spektroskopowych struktury elektronowej i magnetyzmu materiałów (np. tak egzotycznych układów jak perowskity z gigantycznym magnetooporem, magnetyt, półprzewodniki magnetyczne czy nadprzewodniki). Uzasadnię swoją opinię analizując najpierw cykl prac stanowiących podstawę rozprawy habilitacyjnej, a następnie dotychczasowy dorobek naukowy dr Sikory (zwłaszcza po doktoracie).

Ocena cyklu publikacji pt. *Właściwości elektronowe i magnetyczne złożonych tlenków metali przejściowych badane metodami spektroskopii rentgenowskiej.*

Podstawą ubiegania się dr M. Sikory o nadanie stopnia doktora habilitowanego jest cykl siedmiu publikacji doświadczalnych oraz doświadczalno-teoretycznych, opublikowanych w latach 2006-2012 i

tematycznie koncentrujących się wokół badań właściwości elektronowych oraz magnetycznych wybranych tlenków metali przejściowych z zastosowaniem przede wszystkim technik spektroskopowych promieniowania rentgenowskiego, takich jak magnetyczny dichroizm kołowy (XMCD) oraz spektroskopia promieni X w pobliżu krawędzi absorpcji (XANES). W swoich badaniach habilitant skorzystał ponadto z metody wysoko-rozdzielczej spektroskopii emisji rentgenowskiej (XES), która jak sam zauważa, nie jest szeroko stosowana w kontekście badań właściwości magnetycznych wybranych jonów metali w tlenkach. W swoich pracach zastosował też metodę rezonansowego nieelastycznego rozpraszania promieniowania rentgenowskiego (RIXS).

Wszystkie prace, ponumerowane w Autoreferacie od [1] do [7], zostały opublikowane w renomowanych czasopismach fizycznych (o dużym współczynniku oddziaływania) tj. *Physical Review Letters* (1), *Physical Review B* (3), *Applied Physics Letters* (1) oraz *Journal of Applied Physics* (2). Prace są wieloautorowe (od 4 do 10 współautorów), co uzasadnione jest częściowo ich doświadczalno-teoretycznym charakterem, ale przede wszystkim specyfiką eksperymentów na dużych instrumentach badawczych (ESRF), które wymagają udziału wielu wysokiej klasy specjalistów na kolejnych etapach badań. Niemniej fakt, że w sześciu artykułach dr Sikora jest pierwszym autorem, a w jednej pracy jego nazwisko figuruje na drugim miejscu, świadczy niewątpliwie o kluczowej roli habilitanta w zaproponowaniu i przeprowadzeniu eksperymentów, interpretacji uzyskanych wyników oraz ich pomyślnej publikacji (Pan Sikora był autorem korespondującym przy publikacji tych artykułów). Rolę jaką odegrał wyraźnie podkreśla sam Autor w wykazie swoich osiągnięć stwierdzeniem, iż był pomysłodawcą i koordynatorem większości eksperymentów synchrotronowych przedstawionych w pracach [1-7], jak też opracował „*samodzielnie wyniki wszystkich przedstawionych eksperymentów synchrotronowych, włączając w to wykonanie odpowiedniego oprogramowania analizującego dane eksperymentalne*”. O zasadniczym wkładzie dr Sikory w powstanie artykułów będących podstawą niniejszej oceny są też oświadczenia współautorów. W kontekście oceny roli innych badaczy mających swój niewątpliwý udział w powstaniu tych siedmiu publikacji, na podkreślenie zasługuje skrupulatność z jaką oświadczenia te zostały zebrane (mam wrażenie, że ustawodawca nie do końca przewidział czasochłonność takiego kolekcjonowania opinii, co w pewnych sytuacjach wskazuje na przesadę tych wymagań, podobnie zresztą jak procentowy wkład intelektualny w powstanie określonych publikacji). W swoich oświadczeniach współautorzy uznali istotną i wiodącą rolę dr Sikory nie tylko w uzyskaniu wyników eksperymentalnych, ale też w zaproponowaniu ich spójnej interpretacji w oparciu o obliczenia teoretyczne metodami DFT (uzyskanych przez grupę obliczeniową z Rosji).

Jako praktykujący teoretyk nie w pełni czuję się kompetentny docenić szczegóły przeprowadzonych doświadczeń, ani też skalę wykorzystania technik spektroskopowych promieniowania synchrotronowego, ale z uznaniem zauważam warsztat i wszechstronne umiejętności badawcze dr Sikory. Wobec powyższej uwagi, chciałbym skupić się bardziej na zagadnieniach i problemach fizycznych podjętych w przedstawionym cyklu artykułów, niż na szczegółach doświadczalnych. Tematyka prac dr Sikory dotyczy fundamentalnych zagadnień dotyczących zachowań materii skondensowanej na poziomie atomowym, a w szczególności badania i poszukiwania korelacji pomiędzy strukturą krystaliczną i strukturą elektronową, manifestujących się w skomplikowanych zmianach własności magnetycznych i transportowych badanych układów. Prace

dotyczą bardzo aktualnych problemów, znajdujących się w głównym nurcie badań fizyki ciała stałego, takich jak (1) rola uporządkowania magnetycznego i ładunkowego w fazowych przejściach strukturalnych, magnetycznych i transportowych; (2) wpływ zewnętrznych pól (temperatura, pole magnetyczne, ciśnienie) na zmianę charakteru wybranych wielkości fizycznych czy też (3) znaczenie sprzężenia spinowo-orbitalnego w obniżaniu symetrii układu i w konsekwencji indukowanie różnorodnych, często wzajemnie powiązanych, przejść fazowych jak (anty)ferromagnetyk-paramagnetyk połączone z przejściem metal-izolator. Zastosowanie przez habilitanta technik spektroskopii rentgenowskiej do badań magnetyzmu jonów metali przejściowych, daje możliwość selektywnej obserwacji wyżej wspomnianych zjawisk, poprzez wysoko-rozdzielczą na skali energii analizę zachowań spinowych i orbitalnych poniżej (stany obsadzone) jak i powyżej (stany puste) poziomu Fermiego. Metody te są komplementarnymi, a czasem wręcz jedynymi narzędziami badawczymi do sondowania subtelnych efektów w ciałach stałych.

Prace [1] i [3] są kontynuacją zainteresowań dr M. Sikory z okresu realizacji rozprawy doktorskiej i prezentują wyniki badań stanów ładunkowych i spinowych perowskitu $\text{La}(\text{Co-Mn})\text{O}_3$, w którym obserwuje się różnorodne przejścia fazowe (magnetyczne i transportowe), odpowiedzialne m.in. za gigantyczny magnetoopór. Złożoność diagramu fazowego tego układu ma również związek z mieszaną walencyjnością zarówno jonów kobaltu ($\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$) oraz manganu ($\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$), która się silnie zmienia i w różny sposób uzewnętrznia przy zmianie składu próbek. Uzyskane wyniki doprowadziły autorów prac [1] i [3] do modelu z separacją fazową, w którym zakłada się, że stopy chemicznie nieuporządkowane w rzeczywistości składają się z dwóch podsystemów o mieszanej walencyjności, tj. $\text{Co}^{2+}+\text{Co}^{3+}$ i $\text{Mn}^{3+}+\text{Mn}^{4+}$. Nieoczekiwanym rezultatem, w świetle wcześniejszych badań, które wskazywały na współzawodnictwo różnych oddziaływań wymiennych pomiędzy jonami metali przejściowych jako główne źródło zachowań tego układu, była obserwacja, że wszystkie jony metali przejściowych występują w stanie wysoko-spinowym, nawet w temperaturach pokojowych. Pomiary technikami XES i XANES, pokazały jednak, że walencyjność jak też stan spinowy silnie zmieniają się nie tylko w funkcji składu próbek, ale mogą one również zależeć od mikrostruktury (przy tej samej stechiometrii), co ma silny wpływ na obserwowane magnetyczne własności makroskopowe. Nowatorska analiza porównawcza dwóch metod spektroskopowych emisji (XEA) oraz absorpcji przy krawędzi (XANES) promieni X, wskazana jako potencjalne źródło informacji o mikrostrukturze próbek, zostało docenione w prestiżowym zestawieniu najciekawszych eksperymentów synchrotronowych realizowanych w ESRF Grenoble w 2007 roku (M. Sikora et al., *Evolution of charge and spin state of transition metals in the $\text{LaMn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ perovskite series*, ESRF Highlights 2007).

Innymi, niezwykle interesującymi układami badanymi w ramach rozprawy habilitacyjnej, były podwójne perowskity $A_2\text{FeReO}_6$ (gdzie $A = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}$). Z uwagi na to, że charakteryzują się stanem półmetalicznego ferromagnetyzmu oraz temperaturami Curie wyższymi od temperatury pokojowej, były one rozważane jako potencjalne materiały do zastosowań spintronicznych. Badania przedstawione w pracy [2] wskazywały na podsić Re jako kluczową w zrozumieniu ewolucji zachowań elektronowych i magnetycznych (istotnym, choć niepożądanym parametrem w aspekcie spintroniki jest m.in. duże pole koercji w tych związkach) dla całej serii układów, w których zmianie ulega promień jonowy metalu alkalicznego. Pomiary metodą XMCD na krawędzi $L_{2,3}$ Re pokazały obecność silnej składowej orbitalnej

przeciwnie skierowanej do składowej spinowej momentu magnetycznego. Niemniej zmiany momentu magnetycznego (spinowego m_s i orbitalnego m_L) wraz z promieniem jonu A nie tłumaczyły obserwowanych zmian magnetycznych pól koercji w tych związkach. Dalsze eksperymenty dr Sikory i współpracowników inspirowane były, po pierwsze odkryciem przez inną grupę efektu kolosalnego magnetooporu w tych związkach, a po drugie hipotezą współistnienia dwóch faz, tj. jednej o własnościach bardziej „metalicznych” i drugiej o własnościach bardziej „półprzewodzących”. Doprowadziło to habilitanta do pionierskiego eksperymentu z pomiarem kołowego dichroizmu magnetycznego w silnych impulsowych polach magnetycznych (do 30 T). Zasadnicze wyniki zawarte zostały w znakomitej pracy [4], prezentującej m. in. dwuwymiarowe mapy stosunku składowej m_L/m_s w funkcji temperatury i pola. Wskazano na współistnienie dwóch faz charakteryzujących się różnym stosunkiem m_L/m_s , jak też zaobserwowano przejście magnetostrukturalne indukowane polem. Autorzy pokazali, że pole magnetyczne może w zauważalny sposób wpływać na sprzężenie spinowo-orbitalne na podsięci Re. O oryginalności i szerokim rezonansie uzyskanych wyników, świadczy opublikowanie ich wśród ESRF Highlights za 2009 (M. Sikora et al., *Field-induced magnetostructural phase transition in Ca_2FeReO_6 studied via XMCD under 30T pulsed magnetic field*).

Uzupełnieniem badań struktury elektronowej i magnetyzmu tlenków metali przejściowych jest praca [6] pokazująca możliwości spektroskopii rezonansowej emisji promieniowania rentgenowskiego (RXES) w sondowaniu wpływu sprzężenia spin-orbita na formowanie się elektronowych gęstości stanów 5d (obsadzonych jak i pustych), co jest szczególnie ważne w badaniach ewolucji zachowań elektronów przy powierzchni Fermiego. Wśród cyklu publikacji habilitacyjnych jest to pierwsza praca dr Sikory, w której skonfrontowano bezpośrednio rezultaty wysokoczułych eksperymentów synchrotronowych z obliczeniami struktury elektronowej z pierwszych z zasad wykonanymi dla kilku tlenków metali przejściowych 5d przez grupę rosyjskich teoretyków. W mojej opinii praca [6] stała się zwiastunem poszerzenia przez habilitanta swoich zainteresowań naukowych i wzbogacenie możliwości interpretacyjnych uzyskanych krzywych eksperymentalnych poprzez odwołanie się do zaawansowanych obliczeń kwantowych.

Ukoronowaniem wielu lat badań z zastosowaniem spektroskopii promieniowania rentgenowskiego dr Sikory jest inna pionierska praca [5] pokazująca możliwość obserwacji kołowego dichroizmu magnetycznego na krawędzi K w eksperymentach nieelastycznego rozpraszania promieniowania X (RIXS). Magnetyt charakteryzujący się dwiema nierównoważnymi podsięciami Fe (w pozycjach oktaedrycznej i tetraedrycznej) okazał się znakomitą układem do detekcji tego zjawiska przy krawędzi absorpcji K żelaza. Prognozowany teoretycznie efekt dichroizmu magnetycznego na poziomie kilkunastu procentów, został rzeczywiście potwierdzony doświadczalnie ~16%. Wynik ten stwarza szerokie możliwości badawcze rozpraszania fotonów twardego promieniowania rentgenowskiego do studiowania momentów magnetycznych metali przejściowych w kryształach, wraz z rodzajem ich uporządkowania przy rozróżnieniu podsięci krystalograficznych oraz rodzaju atomu obsadzających poszczególne węzły. Po raz trzeci wyniki badań [5], który głównym inicjatorem, wykonawcą oraz interpretatorem był dr M. Sikora zostały opublikowane w zestawieniu najważniejszych osiągnięć ESRF za 2010 (M. Sikora et al., *Strong K -edge magnetic circular dichroism in $1s2p$ RIXS*, ESRF Highlights 2010).

Ocena dorobku naukowego

Dr Marcin Sikora jest współautorem łącznie 64 artykułów (w tym 7 artykułów będących podstawą rozprawy habilitacyjnej) opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym (baza *Journal Citation Reports*) oraz 25 publikacji o niższej randze (Raporty Roczne HASYLAB oraz ESRF, wydawnictwa konferencyjne, biuletyny, preprinty w bazie *arXiv.org*). Z wyłączeniem kilku prac opublikowanych podczas realizacji pracy doktorskiej, większość z nich powstała po doktoracie w okresie ostatnich 10 lat, co wskazuje na nieprzeciętną efektywność publikacyjną habilitanta (średnio ~7 artykuły na rok). Jak sądzę, poza indywidualnym talentem i pracowitością, dr Sikora zawdzięcza ten wynik wieloletnim pobytom w znakomitych ośrodkach zagranicznych oraz czysto naukowemu charakterowi swojej pracy (bez konieczności prowadzenia zajęć dydaktycznych). Publikacje powstały we współpracy z wieloma grupami badawczymi, stąd są one udziałem wielu autorów (od kilku do kilkunastu). Wyniki badań uzyskane często z istotnym wkładem dr Sikory (na co wskazują stosowne oświadczenia) były publikowane w czasopismach o dużym współczynniku oddziaływania (IF). Wymieniając te najbardziej liczne to : *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (9), *Physical Review B* (5), *Journal of Alloys and Compounds* (4), *Physical Review Letters* (3), *Review of Scientific Instruments* (3).

Tematyka prac opublikowana przez Marcina Sikorę po doktoracie jest bardzo różnorodna, co wynikało ze specyfiki stażów naukowych typu post-doc, spędzonych w kilku grupach i w różnych zagranicznych ośrodkach badawczych, jak też z uczestniczenia w wielu projektach laboratoriów synchrotronowych. Można odnieść jednak korzystne wrażenie, że mimo sporej dyspersji tematów, odejście od głównego nurtu swoich zainteresowań naukowych, jakim jest spektroskopia promieniowania rentgenowskiego, dało młodemu badaczowi świeże i szersze spojrzenie na uprawianą dziedzinę, jak też cenną świadomość ograniczoności i zawodności niektórych metod i podejść badawczych.

Do najciekawszych zagadnień podejmowanych w artykułach z udziałem dr Sikory, spoza cyklu prac habilitacyjnych, zaliczyłbym: (i) badania układów z mieszaną walencyjnością z zastosowaniem magnetycznego rezonansu jądrowego (realizowana w grupie prof. Cz. Kapusty i we współpracy z zespołem prof. M. R. Ibarry i prof. P. C. Riediego), (ii) badania magnetycznych półprzewodników z zastosowaniem techniki EXAFS, (iii) aktywny udział w uruchomieniu nowego stanowiska pomiarowego z zastosowaniem lasera na swobodnych elektronach, (iv) badania własności magnetycznych struktur organicznych (we współpracy z zespołem z IFJ PAN w Krakowie), (v) badania przejścia Motta w tlenkach metali przejściowych z zastosowaniem metod spektroskopowych promieniowania synchrotronowego (w grupie dr P. Glatzela z ESRF Grenoble), (vi) pomiary nadprzewodnictwa w wysokich ciśnieniach.

Do prac z udziałem dr Sikory inni autorzy często się odwołują (~440 razy na podstawie *ISI Web of Science* - dane z Autoreferatu), co skutkuje również wysokim indeksem cytawalności $h=12$. Podobnie publikacje wchodzące w skład rozprawy habilitacyjnej są chętnie cytowane (prawie 70 razy), uwzględniając fakt, że większość z nich powstała w ostatnich pięciu latach. Warto też podkreślić, że szerokie kontakty z naukowcami polskimi a przede wszystkim zagranicznymi (Francja, Niemcy, Hiszpania, Czechy, Wielka

Brytania, Holandia, Rosja, Białoruś, Austria, Szwajcaria i USA) stały się niezwykle cenne dla rodzimych badań prowadzonych aktualnie przez dr Sikorę w WFIS AGH. Zaowocowało to kilkoma publikacjach, już po złożeniu habilitacji.

O dużej aktywności naukowej, ale też o wysokim uznaniu profesjonalizmu dr Sikory, świadczy powierzenie mu kierowania czternastoma projektami badawczymi w europejskich laboratoriach synchrotronowych (Berlin, Triest i Grenoble), czynny jego udział w kolejnych piętnastu projektach tych laboratoriów oraz w projekcie badawczym w laboratorium magnetycznych pól impulsowych w Tuluzie. M. Sikora uczestniczył w trzech grantach europejskich: *PHIL (Polarised 3He for Imaging of Lungs)*, 5FP (2000-2004); *RTN SCOOTMO (Spin Charge and Orbital Ordering in Transition Metal Oxides)*, 5FP (2002-2005); *MUNDIS (Competitive contact-less position sensor based on magnetoresistive nano-contacts)*, 6FP (2005-2008). Jest aktualnie kierownikiem grantu habilitacyjnego MNiSW oraz koordynatorem w grantcie POIG (*Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii*). W latach 2002-2005 był wykonawcą projektu KBN, a w roku 2009 został laureatem 9-tej edycji stypendium POLITYKI *Zostańcie z nami* w kategorii fizyka. W 2010 otrzymał też stypendium MNiSW dla wybitnych młodych naukowców.

Wyniki swoich badań Marcin Sikora prezentował na kilkudziesięciu konferencjach międzynarodowych oraz wielokrotnie na spotkaniach projektów w Polsce i zagranicą, jak też wygłosił 5 referatów zaproszonych na ważnych konferencjach, w tym m.in. na prestiżowym kongresie *CIMTEC 2010 (12th International Ceramics Congress)* w Montecatini Terme we Włoszech.

Dr Sikora był recenzentem 25 artykułów do kilku znanych czasopism fizycznych, w tym między innymi do *Physical Review Letters* i *Physical Review B*.

Mimo wielu lat spędzonych w zagranicznych ośrodkach naukowych, habilitant nie zarzucił całkowicie działalności dydaktycznej, gdyż opiekował się m.in. studentami, doktorantami i stażystami z AGH w Krakowie podczas ich eksperymentów w laboratoriach synchrotronowych Elettra, ESRF, Hasylab i SLS (2003-2011). Przebywając w ESRF w Grenoble (2005-2008) prowadził też wykłady wprowadzające dla grup polskich naukowców, studentów i uczniów wizytujących laboratorium synchrotronowe. Po powrocie do Krakowa w krótkim czasie (2009-2012) wypromował dwóch inżynierów i dwóch magistrantów.

W podsumowaniu stwierdzam na podstawie przedstawionego cyklu siedmiu publikacji jak też dorobku naukowego uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, że Pan dr Marcin Sikora nie tylko spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami), ale je znacznie przewyższa, dzięki wysokiemu poziomowi i oryginalności uzyskanych wyników. Dr M. Sikora wniósł znaczny wkład w szybko rozwijający się w ostatnich latach obszar fizyki fazy skondensowanej jaką jest spektroskopia rentgenowskiego promieniowania synchrotronowego oraz wykazał się nieprzeciętną aktywnością naukową. Całość pozwala uznać osiągnięcia dr Marcina Sikory wręcz za wybitne i wnoszą o dopuszczenie habilitanta do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego.

Kraków, 3 stycznia 2013 r.