Prof. dr hab. Czesław Kapusta
Katedra Fizyki Ciała Stałego
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

08.01.2020.

OPINIA

o dorobku naukowym, dydaktycznym i organizacyjnym
dr inż. Michała Ślęzaka
w związku z ubieganiem się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

A) Ocena rozprawy habilitacyjnej

Rozprawa habilitacyjna dr inż. Michała Ślęzaka zatytułowana **„Reorientacja spinowa i kontrola anizotropii magnetycznej w niskowymiarowych układach ferro- i antyferromagnetycznych”** wskazana jako osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16. pkt 2. Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, jest jedno-tematycznym zbiorem sześciu artykułów opublikowanych przez Habilitanta w latach 2013-2019 w recenzowanych czasopismach naukowych znajdujących się na liście Journal Citation Reports. Są to następujące publikacje:

1. M. Ślęzak, T. Giela, D. Wilgocka-Ślęzak, A. Kozioł-Rachwał, T. Ślęzak, R. Zdyb, N. Spiridis, C. Quitmann, J. Raabe, N. Pilet, J. Korecki, X-ray photoemission electron microscopy study of the in-plane spin reorientation transitions in epitaxial Fe films on W(110), J. Magn. Magn. Mater. **348** (2013) 101–106
2. M. Ślęzak, T. Giela, D. Wilgocka-Ślęzak, N. Spiridis, T. Ślęzak, M. Zając, A. Kozioł-Rachwał, R.P. Socha, M. Stankiewicz, P. Warnicke, N. Pilet, J. Raabe, C. Quitmann, J. Korecki, Prospects of X-ray photoemission electron microscopy at the first beamline of the Polish synchrotron facility SOLARIS, X-Ray Spectrometry, **44** (2015) 317–322
3. M. Ślęzak, T. Ślęzak, K. Matlak, B. Matlak, P. Dróżdż, T. Giela, D. Wilgocka-Ślęzak, N. Pilet, J. Raabe, A. Kozioł-Rachwał and J. Korecki, Giant in-plane magnetic anisotropy in epitaxial bcc Co/Fe(110) bilayers, Physical Review B **94** (2016) 014402
4. M. Ślęzak, T. Ślęzak, K. Matlak, P. Dróżdż, J. Korecki, Adsorption induced modification of in-plane magnetic anisotropy in epitaxial Co and Fe/Co films on Fe(110), AIP Advances **8** (2018) 056806
5. M. Ślęzak, P. Dróżdż, K. Matlak, A. Kozioł-Rachwał, J. Korecki, T. Ślęzak, Multiple spin reorientation transitions and large in plane magnetic anisotropy in epitaxial Au/Co/Fe(110) films, J. Magn. Magn. Mater. **475** (2019) 195–200
6. M. Ślęzak, T. Ślęzak, P. Dróżdż, B. Matlak, K. Matlak, A. Kozioł-Rachwał, M. Zając, J. Korecki, How a ferromagnet drives an antiferromagnet in exchange biased CoO/Fe(110) bilayers, Scientific Reports **9** (2019) 889.

W pracach [1,2] badana była anizotropia magnetyczna i zjawisko reorientacji spinowej, SRT, w pojedynczych, monokrystalicznych warstwach żelaza o orientacji krystalograficznej (110) naniesionych epitaksjalnie na podłoże monokryształu wolframu. Przeprowadzono tutaj obrazowanie magnetycznej struktury domenowej w funkcji zmiany grubości i temperatury ilustrujące procesy reorientacji spinowej w warstwach Fe/W(110). Wykorzystano w nich zainstalowany w ośrodku synchrotronowym Swiss Light Source mikroskop PEEM (XPEEM), w którym kontrast magnetyczny może być uzyskiwany między innymi przy pomocy efektu XMCD. W badaniach stwierdzono, że spowodowana wzrostem grubości reorientacja spinowa (zmiana kierunku łatwego magnesowania) następuje głównie w wyniku ruchu ścian domenowych, podczas gdy w przejściu spowodowanym zmianą temperatury zaobserwowano znaczny udział mechanizmu zarodkowania domen odwrotnych.

W publikacjach [3,4] przedstawiono sposób modyfikowania anizotropii magnetycznej w wielowarstwowych ferromagnetykach o strukturze bcc i orientacji krystalograficznej (110). Zbadano w nich układy dwu- i trójwarstwowe Co/Fe i Fe/Co/Fe, dla których pokazano, że dodatkowo możliwe jest silne modyfikowanie anizotropii magnetycznej przez zastosowanie magnetycznej warstwy przykrywającej (Co) lub przy pomocy adsorpcji gazów. Zaobserwowano tutaj chemiczną czułość ferromagnetyków bcc(110) na efekty związane z adsorpcją i duże różnice zmian anizotropii wywołanych adsorpcją gazów w zależności od rodzaju warstwy powierzchniowej (atomy Co lub Fe) takiego układu. Przygotowywano i badano tutaj próbki w formie klina, z grubością warstwy zmieniającą się w sposób ciągły wzdłuż wybranego kierunku w płaszczyźnie próbki, bądź podwójnego klina - z wzajemnie prostopadłymi kierunkami zmian grubości dwóch warstw. Daje to możliwość badania właściwości w funkcji grubości obu warstw na jednej próbce, z zagwarantowaniem zachowania identycznych warunków preparatyki wszystkich obszarów o różnej grubości.

Praca [5] przedstawia badania anizotropii magnetycznej i reorientacji spinowej w układzie trójwarstwowym Au(3 ML)/Co/Fe(110) na W(110). Zjawisko reorientacji spinowej badane było tutaj w zależności od grubości warstwy żelaza, przy ustalonej grubości warstwy Co, jak i odwrotnie, gdzie dla danej grubości Fe zmiana kierunku łatwego magnesowania jest wywołana przez rosnącą grubość warstwy kobaltu. Zaobserwowane bogactwo efektów SRT zostało przypisane silnej niemonotoniczności anizotropii magnetycznej w funkcji grubości warstwy Co.

Publikacja [6] dotyczy dwuwarstw CoO(111)/Fe(110) nanoszonych epitaksjalnie na podłożu W(110). Pokazano w niej, że analogicznie do badanych wcześniej układów Fe(110), Co/Fe(110), Au/Co/Fe(110) i Fe/Co/Fe(110), również w układzie CoO/Fe(110) zachodzi reorientacja spinowa w warstwie ferromagnetycznej, indukowana wzrostem grubości warstwy żelaza. Drugim zaobserwowanym zjawiskiem jest tutaj duży efekt polaryzacji wymiennej (Exchange Bias) w układzie CoO(111)/Fe(110). Bardzo wartościowym osiągnięciem tej pracy jest zbadanie zmian efektu polaryzacji wymiennej oraz kierunku osi łatwego magnesowania w antyferromagnetycznej warstwie CoO, względem wielkości anizotropii magnetycznej warstwy żelaza. Stwierdzono, że warstwa ferromagnetyka o silnej anizotropii może zmieniać orientację spinów sąsiadującej warstwy antyferromagnetyka.

Przedstawione w tych pracach wyniki kompleksowych badań dostarczają nowych informacji o właściwościach układów cienkowarstwowych, w szczególności dotyczących

mechanizmów rządzących anizotropią magnetyczną, decydujących o kierunku łatwego magnesowania i zjawiskach reorientacji spinowej w układach ferromagnetyk-ferromagnetyk oraz ferromagnetyk-antyferromagnetyk. Bardzo cennym wynikiem uzyskanym przez Habilitanta jest zaobserwowanie zmian efektu polaryzacji wymiennej oraz kierunku osi łatwego magnesowania w antyferromagnetycznej warstwie CoO, w funkcji wielkości anizotropii magnetycznej przylegającej warstwy żelaza.

Sumaryczny współczynnik wpływu IF (ang. Impact Factor) prac stanowiących rozprawę habilitacyjną wynosi 15.8, co daje bardzo dobry wynik średni - ponad 2.6 na jedną publikację. We wszystkich sześciu pracach Habilitant jest pierwszym autorem, a także autorem korespondującym. Te dwa fakty oraz załączone oświadczenia współautorów pozwalają stwierdzić, że **dr inż. Michał Ślęzak miał wiodący udział w powstaniu wszystkich publikacji przedstawionych jako Jego osiągnięcie naukowe o którym mowa w art. 16 pkt 2 Ustawy.** Biorąc pod uwagę przeanalizowane powyżej osiągnięcia naukowe zawarte w przedstawionym zbiorze publikacji stwierdzam, że stanowią one znaczący wkład Habilitanta w **poznanie zjawisk odpowiedzialnych za reorientację spinową oraz mechanizmów sterowania anizotropią magnetyczną w niskowymiarowych układach ferro- i antyferromagnetycznych.** Osiągnięcia te mają również walor aplikacyjny dla elektroniki spinowej, technologii zapisu informacji, czy techniki sensorowej.

B) Ocena osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej.

Działalność naukowo-badawcza pana Michała Ślęzaka jest związana głównie z grupą Prof. Józefa Koreckiego. Zespół ten ma światową renomę w prowadzeniu badań magnetycznych układów cienkowarstwowych i tutaj Habilitant zrealizował swoją pracę doktorską, zatytułowaną „Wpływ morfologii podłoża na magnetyzm epitaksjalnych nanostruktur metali 3d", której Prof. Korecki był promotorem.

Po uzyskaniu stopnia doktora pan Michał Ślęzak rozwijał badania magnetycznych układów cienkowarstwowych, wzbogacając je o wyniki uzyskane przy pomocy nowych metod badawczych, między innymi spektro-mikroskopii PEEM wykorzystującej promieniowanie synchrotronowe. Zastosowanie promieniowania synchrotronowego daje tutaj możliwość pomiarów przy krawędziach absorpcji pierwiastków składowych, co pozwala badać lokalne właściwości magnetyczne nie tylko z czułością na rodzaj pierwiastka, ale także z rozdzielczością względem określonego orbitalu (pasma). Umożliwia również badania indywidualnej dynamiki magnetycznej tych pierwiastków z rozdzielczością rzędu 10 nanometrów. Dr Ślęzak zarówno prowadził badania, jak i brał udział w rozbudowie i adaptacji tej aparatury do badań na synchrotronie, a także w jej testowaniu w laboratorium synchrotronowym Swiss Light Source, Paul-Scherrer Institute, w Szwajcarii. Mikroskop ten został ustawiony i już działa na linii pomiarowej PEEM/XAS na pierwszym polskim synchrotronie Solaris w Krakowie. Habilitant miał bardzo istotny udział w tym pierwszym, imponującym kroku w tworzeniu narzędzi pomiarowych światowej klasy w Polsce.

O przydatności i sprawności tej aparatury recenzent sam miał okazję się przekonać uczestnicząc w pomiarach na tej linii w Solaris kilka miesięcy temu.

Habilitant opublikował łącznie 29 prac (w tym 23 po uzyskaniu stopnia doktora), dla których suma współczynników wpływu IF podanych w Journal Citations Report wynosi 87.2, co daje średnią 3 na jedną pracę. Łączna liczba cytowań tych prac według bazy Web of Science, to 163, w tym 126 bez autocytowań. Indeks Hirscha Jego prac na czas złożenia wniosku ma wartość 8 (obecnie 10). Według klasyfikacji Web of Science Categories 16 z nich (55%) odpowiada „Physics Applied", 12 (41%) - "Physics Condensed Matter", 11 (38%) - "Materials Science Multidisciplinary", po 4 (14%) - "Physics Multidisciplinary" i "Chemistry Physical", 3 (10%) - "Spectroscopy" i po 2 (7%) - "Nanoscience Nanotechnology" i "Materials Science Coating Films". Cytowane są w 80 publikacjach (53%) z kategorii „Physics Applied", 75 (50%) z "Materials Science Multidisciplinary", 73 (49%) z "Physics Condensed Matter", 26 (17%) z "Chemistry Physical", 16 (11%) z "Nanoscience Nanotechnology", 11 (7%) z "Physics Multidisciplinary" oraz z siedmiu innych kategoriach – w po kilku publikacjach. Pokazuje to, że wyniki prac naukowych Habilitanta są użyteczne dla badaczy z wielu dyscyplin.

Wyniki swoich badań dr inż. Michał Ślęzak zaprezentował w 10 referatach wygłoszonych na konferencjach i warsztatach międzynarodowych oraz w 13 prezentacjach plakatowych. Był promotorem jednej pracy magisterskiej oraz promotorem pomocniczym w jednym przewodzie doktorskim.

Począwszy od roku 2005, początkowo jako doktorant, potem jako pracownik, pan Michał Ślęzak prowadził ćwiczenia rachunkowe oraz laboratoryjne z fizyki dla studentów pierwszego i drugiego roku AGH. W sumie było to kilkanaście grup laboratoryjnych oraz kilkadziesiąt grup z ćwiczeń rachunkowych. Od kilku lat prowadzi seminarium z fizyki współczesnej na czwartym roku na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu oraz jest jednym z prowadzących „Laboratorium nowoczesnych materiałów i technologii" dla studentów czwartego roku fizyki AGH.

W zakresie popularyzacji nauki Habilitant kilkakrotnie brał udział w „Małopolskiej nocy naukowców" oraz „Dniach otwartych AGH". Wygłosił też referaty mające na celu promocję i popularyzację będącego w budowie (a potem rozpoczynającego działalność) ośrodka synchrotronowego Solaris w Krakowie:

1. Photoemission Electron Microscopy at NanoXAS beamline, Seminarium Swiss Light Source (2013)
2. Prospects of X-ray Photoemission Electron Microscopy at the first beamline of Polish synchrotron SOLARIS, Konwersatorium Swiss Light Source (2013)
3. Pierwsza linia eksperymentalna w synchrotronie SOLARIS - perspektywy pomiarów XPEEM, Seminarium ACMiN AGH (2014)
4. Pierwsza linia eksperymentalna w synchrotronie SOLARIS - perspektywy pomiarów XPEEM
5. Pierwsza linia eksperymentalna w synchrotronie SOLARIS - perspektywy pomiarów XPEEM, Otwarte konwersatorium Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku (2015)

O dużych umiejętnościach Habilitanta jako wykładowcy recenzent miał niedawno okazję się przekonać na Jego referacie, który wygłosił na Środowiskowym Seminarium Fizyki Ciała Stałego w listopadzie ubiegłego roku na temat reorientacji spinowej i kontroli anizotropii magnetycznej w niskowymiarowych układach ferro- i antyferromagnetycznych. Bardzo sprawnie i kompetentnie odpowiadał również na zadawane pytania w czasie dyskusji po referacie.

Za wyniki swoich badań naukowych dr inż. Michał Ślęzak uzyskał zespołową nagrodę Rektora AGH w 2018 roku. Wcześniej, w 2004 r. otrzymał wyróżnienie w konkursie im. Janusza Groszkowskiego (nadawaną przez Polskie Towarzystwo Próżniowe) za pracę magisterską pt. “Badanie charakterystyk magnetycznych i magnetorezystancyjnych elementów spintronicznych” zrealizowaną pod opieką Prof. Tomasza Stobieckiego.

Habilitant brał udział jako wykonawca w 10 projektach naukowych międzynarodowych i krajowych, w tym DYNASYNC-STREP 6PR, SPINLAB-POIG, MAG-ALCHEMI CERIC-ERIC, a także w kilkunastu projektach laboratorium synchrotronowego ESRF. W ich ramach współpracował z badaczami z kilkunastu renomowanych ośrodków zagranicznych i krajowych. Odbył też roczny staż po-doktorski SCIEX w Paul-Scherrer Institute w Szwajcarii. Brał udział w organizacji trzech konferencji i warsztatów międzynarodowych. Jest też współautorem monografii zatytułowanej „In-situ Mössbauer spectroscopy with synchrotron radiation on thin films”, będącej rozdziałem w książce Mössbauer Spectroscopy: Applications in Chemistry, Biology, Industry, and Nanotechnology, Eds.: Virender K. Sharma, Goestar Klingelhoefer and Tetsuaki Nishida, wydanej w 2013 r. przez John Wiley & Sons.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej analizę osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej dr inż. Michała Ślęzaka, a także Jego osiągnięcia stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej oraz w rozwój narzędzi badawczych stwierdzam, że spełniają one wymagania ustawowe do nadania Mu stopnia doktora habilitowanego.