

Prof. dr hab. Marta Wolny-Marszałek
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
w Krakowie

Kraków, 19-09-2021 r.

Ocena

osiągnięcia naukowego zatytułowanego „Kontrola właściwości magnetycznych niskowymiarowych układów ferro- i antyferro- magnetycznych” oraz działalności naukowej, dydaktycznej i popularyzatorskiej pani **dr Anna Koziół-Rachwał** w związku z ubieganiem się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

1. Podstawowe informacje o habilitantce

Pani dr Anna Koziół-Rachwał uzyskała stopień magistra fizyki w 2008 roku w Uniwersytecie Jagiellońskim. Po studiach magisterskich rozpoczęła studia doktoranckie na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w grupie Nanostruktur Powierzchniowych, kierowanej przez prof. dr hab. Józefa Koreckiego. Studia te ukończyła w roku 2014 uzyskaniem stopnia doktora na podstawie rozprawy: „Struktura i właściwości magnetyczne układów warstwowych metal/izolator” i została zatrudniona na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej, na stanowisku asystenta naukowego, a następnie adiunkta. W latach 2015 – 2017 była wykonawcą w projekcie imPACT (Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies) japońskiej organizacji Council for Science, Technology, Grants-in-Aid for Scientific Research. Pani dr Anna Koziół-Rachwał realizowała ten projekt w ramach dwuletniego stażu podoktorskiego odbywanego w Spintronics Research Center (Tsukuba, Japonia), współpracując równocześnie z grupą Nanostruktur Powierzchniowych AGH. Po powrocie do Krakowa, kontynuując pracę w grupie Nanostruktur Powierzchniowych, kierowała projektem Homing „Antiferromagnetic proximity effect and development of epitaxial bimetallic antiferromagnets – two routes towards next-generation spintronics” finansowanym przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej (FNP). Obecnie pani dr Anna Koziół-Rachwał jest zatrudniona na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH na stanowisku adiunkta. Jak widać jest to modelowy rozwój naukowy, z uwzględnieniem dwuletniego stażu w instytucji zagranicznej. Z przedstawionej dokumentacji nie wynika, aby kandydatka ubiegała się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w innej instytucji.

2. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe pani dr Anna Koziół-Rachwał przedstawiła cykl sześciu publikacji pod wspólnym tytułem „Kontrola właściwości magnetycznych niskowymiarowych układów ferro- i antyferro- magnetycznych”. Wszystkie prace są wieloautorskie, we wszystkich habilitantka jest zarówno pierwszym autorem, jak również autorem korespondencyjnym. Prace te zostały opublikowane w czasopismach takich jak *Journal of Applied Physics*, *Applied Physics Letters*, *APL Materials*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* i *Scientific Reports* o dobrym współczynniku wpływu od 2.546 do 5.096. Mimo stosunkowo krótkiego czasu jaki upłynął od ich opublikowania (prace są z lat 2016-2020) publikacje te są cytowane 72 razy. Połowa z nich posiada japońskich współautorów, co świadczy o owocnym wykorzystaniu przez habilitantkę stażu podoktorskiego oraz kontynuacji tej współpracy. Zgodnie z oświadczeniem habilitantki oraz pozostałych współautorów publikacji wchodzących w skład osiągnięcia. udział habilitantki był wiodący, inicjowała tematykę, planowała eksperymenty i brała udział w ich wykonaniu łącznie z analizą i interpretacją danych i przygotowaniem manuskryptów publikacji.

Prace składające się na przedstawione osiągnięcie można podzielić na dwie grupy zajmujące się odpowiednio prostopadłą anizotropią magnetyczną w epitaksjalnych warstwach Fe o grubościach rzędu kilku monowarstw atomowych oraz sterowaniem właściwościami magnetycznymi cienkich warstw antyferromagnetycznych. Cykl trzech prac (**O1 – O3**) dotyczy wpływu modyfikacji anizotropii powierzchniowej na charakter anizotropii magnetycznej i zmianę kierunku momentu magnetycznego z prostopadłego do powierzchni warstwy na równoległy do niej, znaną pod nazwą reorientacji spinowej. Pierwszym przykładem takiej modyfikacji (praca **O1**) jest depozycja ultracienkich warstw Fe o zmiennej grubości na buforze MgO o zmiennej grubości. Kandydatka pokazała całą paletę efektów magnetycznych zależnych od grubości warstwy Fe od stanu superparamagnetycznego do stanu uporządkowania magnetycznego. Zmiana grubości warstwy buforowej pozwoliła na obserwację reorientacji spinowej. W kolejnej publikacji (praca **O2**) systematyczne badania dotyczyły własności magnetycznych układu Fe/Cr takich jak prostopadła anizotropia magnetyczna oraz zmiany anizotropii magnetycznej na skutek przyłożenia pola elektrycznego do powierzchni warstw. Odkryto, że mieszanie atomów Fe i Cr na międzywierzchni Fe/Cr ma istotny wpływ na efektywną anizotropię magnetyczną warstw Fe/Cr. Kolejna publikacja (praca **O3**) poszerzyła zakres tych badań o magnetyczne właściwości układu składającego się z dwóch ferromagnetycznych warstw Fe oddzielonych ultracienką tunelową barierą izolatora, którym był ponownie MgO. W takich układach obserwuje się zjawisko tunelowego magnetooporu wynikające z zależnego od spinu tunelowania elektronów przez warstwę izolatora. W badanym układzie dla płaskich warstw obserwowano pojawienie się zależnego od grubości izolatora

MgO antyferromagnetycznego sprzężenia wymiennego pomiędzy warstwami Fe. W warstwach nanostrukturyzowanych w postaci okrągłych kolumn pokazano, że sprzężenie to było silniejsze i w pewnym zakresie grubości izolatora niezmiennie, co zostało wyjaśnione pojawieniem się sprzężenia dipolowego, będącego wynikiem strukturyzacji układu. Druga grupa prac (**O4-O6**) zajmuje się własnościami magnetycznymi cienkich warstw antyferromagnetycznych. Są to badania epitaksjalnych warstw Fe/FeO, Fe/MgO/FeO i NiO. Badania wykonane dla wustytu FeO (praca **O4**) pokazały stabilizację jego antyferromagnetycznego uporządkowania dzięki doborowi właściwych warunków depozycji. Przykrycie warstwy FeO warstwą czystego Fe zmieniało własności magnetyczne tlenku, a obecność warstwy Fe doprowadziła do pojawienia się w układzie polaryzacji wymiennej manifestującej się przesunięciem pętli histerezy magnetycznej w niskich temperaturach. W przypadku międzywierzchni Fe/FeO (praca **O4**) pokazano, że wprowadzenie pomiędzy Fe a FeO ultracienkiej warstwy MgO prowadziło do wzmocnienia oddziaływania wymiennego pomiędzy żelazem a wustytem dzięki poprawie stechiometrii tlenku, a pole polaryzacji wymiennej, również obecnej w tym układzie, w temperaturze 80 K było znacznie większe niż w warstwach pozbawionych MgO. Ostatnia z tego cyklu prac (praca **O6**) dotyczy badania dwuwarstw Fe/NiO z międzywierzchnią ferromagnetyk/antyferromagnetyk, będącą zazwyczaj powodem istnienia polaryzacji wymiennej w wielowarstwowych układach magnetycznych. W zależności od materiału warstwy buforowej w dwuwarstwie zaobserwowano uporządkowanie spinów prostopadłe lub też równoległe do płaszczyzny warstwy. Systematyczne badania w zależności od grubości warstwy buforowej chromu pokazały istnienie reorientacji spinowej wywołanej naprężeniami warstwy oraz pojawienie się dla większych grubości NiO polaryzacji wymiennej. Praca ta stanowi dowód na możliwość manipulowania strukturą spinową tlenku niklu poprzez naprężenia warstw oraz sprzężenie z warstwą ferromagnetyczną.

Obowiązkiem recenzenta nie jest recenzowanie publikacji, które stanowią osiągnięcie kandydata, a jedynie stwierdzenie czy przedstawiony cykl jest powiązany tematycznie i wnosi znaczny wkład autora w rozwój dyscypliny naukowej. Osiągnięcie przedstawione przez kandydatkę spełnia powyższe warunki. Przedstawiony cykl publikacji dotyczy procesów zachodzących na międzywierzchniach ferromagnetycznych metali i antyferromagnetycznych tlenków metali, powodujących lokalną zmianę własności magnetycznych : oddziaływań wymiennych, anizotropii magnetycznej i polaryzacji wymiennej, stanowiąc przykład konsekwentnego rozwoju wiedzy w wymienionym zakresie zgodnie z warunkiem określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2b ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”. Chociaż badania te mają charakter podstawowy, to ich znaczenie dla możliwych przyszłych zastosowań w dziedzinie spintroniki jest istotne, ponieważ pozwalają one na obserwację i zrozumienie fundamentalnych zjawisk w układach cienkowarstwowych. Podkreślić pragnę uniwersalny charakter stosowanych technik pomiarowych czułych na zjawiska występujące w skali monowarstw atomowych. Poza klasycznymi dzisiaj metodami badania takich układów

kandydatka użyła również technik spektrometrii mössbauerowskiej elektronów konwersji oraz dichroizmu promieniowania rentgenowskiego, świadczących o jej wszechstronności.

3. Ocena dorobku naukowego, dydaktycznego i popularyzatorskiego dr Anny Koziół-Rachwał

Na dorobek publikacyjny składają się 32 prace opublikowane w czasopismach posiadających współczynnik wpływu, z czego 12 prac ukazało się przed uzyskaniem przez habilitantkę stopnia doktora. Oprócz czasopism wymienionych już w recenzji habilitantka publikowała również w tak renomowanych czasopismach jak *Physical Review B* (7 publikacji), *Physical Review Letters* (2 publikacje), *Physical Review Applied* (1 praca), *Nanoscale* (1 publikacja) i *NPG Asia Materials* (1 publikacja, czasopismo należące do grupy *Nature* i zajmujące się fizyką materiałów o współczynniku wpływu powyżej 10.) Wszystkie prace miały charakter współautorski, sumaryczny współczynnik wpływu wynosił 114.58, liczba punktów ministerialnych 3620, a indeks Hirscha 11. Prace te były cytowane przez autorów obcych 327 razy, co nie jest złym wynikiem biorąc pod uwagę fundamentalny charakter badań oraz stosunkowo krótki okres czasu, w którym prace te powstawały. Prace habilitantki wskazują na harmonijny rozwój naukowy w dziedzinie magnetyzmu epitaksjalnych układów cienkowarstwowych. Począwszy od pierwszych badań właściwości magnetycznych układów złożonych z ultracienkich warstw Fe/MgO, Fe/Au(001) oraz Fe/CoO, realizowanych jeszcze w czasie studiów doktoranckich, habilitantka konsekwentnie rozwija swoje zainteresowania układami magnetycznymi, w których anizotropia magnetyczna jest sterowana napięciem elektrycznym. Po układach ferromagnetycznych z prostopadłą anizotropią magnetyczną dr Anna Koziół-Rachwał rozpoczęła badania materiałów antyferromagnetycznych i możliwości kontrolowania ich własności magnetycznych przy użyciu pola elektrycznego. Dr Anna Koziół-Rachwał prezentowała wyniki badań podczas wystąpień na konferencjach krajowych i międzynarodowych, ma w swoim dorobku wygłoszenie 11 wykładów oraz prezentację 6 plakatów. Jest współtwórcą wraz z japońskimi współpracownikami międzynarodowego patentu (Magnetic element, magnetic memory device and magnetic sensor, T. Nozaki, S. Yuasa, A. Koziół-Rachwał, M. Tsujikawa, M. Shirai, K. Hoho, T. Ohkubo, X. Xu, US Patent 20210036217, 4.02.2021). Jej dorobek naukowy oceniam bardzo dobrze.

Habilitantka wykazywała się również dużą aktywnością w zagranicznych instytucjach naukowych. W latach 2010/2011 brała udział w sesjach eksperymentalnych w ośrodku synchrotronowym European Synchrotron Radiation Facility(ESRF) w Grenoble (Francja), w roku 2012 odbyła miesięczny staż w ośrodku synchrotronowym Swiss Light Source(SLS) w Villigen (Szwajcaria), a w latach 2015 - 2017 latach była na dwuletnim stażu podoktorskim w National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) w Tsukubie (Japonia).

W latach 2009-2017 habilitantka brała udział w realizacji krajowych (TEAM, MAESTRO) i międzynarodowych (imPACT, program of Council for Science, Technology Grants-in-Aid for Scientific Research) projektów badawczych, by w roku 2018 wykorzystując zdobyte doświadczenie zostać kierownikiem projektu Homing “Antiferromagnetic proximity effect and development of epitaxial bimetallic antiferromagnets – two routes towards next-generation spintronics” finansowanego przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej. W roku 2021 habilitantka uzyskała projekt SONATA BIS “Piezospintronics and voltage control of magnetic anisotropy – novel approaches to control magnetic state of antiferromagnets” finansowany przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej i przez najbliższe 4 lata będzie jego kierownikiem.

Działalność dydaktyczna dr Anny Kozioł-Rachwał w latach 2008-2021 obejmuje prowadzenie ćwiczeń rachunkowych z fizyki ogólnej, ćwiczeń rachunkowych z fizyki w języku angielskim i zajęć laboratoryjnych z fizyki ogólnej dla studentów wielu Wydziałów AGH (nie wymieniam nazw Wydziałów ze względu na liczne zmiany organizacyjne struktury wydziałów). W roku 2019 była promotorem dwóch prac magisterskich na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, a obecnie jest opiekunem naukowym w charakterze promotora pomocniczego dwojga doktorantów.

W autoreferacie nie ma wzmianki o działalności popularyzatorskiej, ale jestem przekonana, że mimo swoich licznych aktywności naukowych, habilitantka aktywnie uczestniczyła w standardowych wydarzeniach popularyzatorskich AGH.

Dr Anna Kozioł-Rachwał jest laureatką wielu nagród. Zaliczyć tu należy I Nagrodę im. J. Groszkowskiego za najlepszą pracę doktorską w dziedzinie próżni (2015), stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Wybitnych Młodych Naukowców (2017) oraz liczne zespołowe Nagrody Rektora (2018, 2019, 2020).

4. Wnioski końcowe

Uważam, że dr Anna Kozioł-Rachwał jest badaczem potrafiącym prowadzić samodzielne badania naukowe, posiada znakomitą znajomość różnorodnych technik eksperymentalnych w dziedzinie ciała stałego, zarówno laboratoryjnych jak i stosowanych na dużych urządzeniach badawczych oraz metod analizy danych uzyskiwanych z użyciem tych technik. Stwierdzam, po zapoznaniu się z przedstawionym osiągnięciem naukowym i załączoną dokumentacją, że przedstawione osiągnięcie oraz dorobek naukowy, aktywność międzynarodowa oraz działalność dydaktyczna kandydatki spełniają wymagania określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”. Wnoszę zatem o dopuszczenie dr Anny Kozioł-Rachwał do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

