



# Instytut Fizyki Molekularnej PAN

ul. Mariana Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań

tel. 061 86 95100, fax 061 86 84 524

<http://www.ifmpan.poznan.pl>

**Prof. dr hab. Bogdan Idzikowski**

Zakład Stopów Magnetycznych

## Recenzja

**dorobku naukowego oraz osiągnięcia habilitacyjnego dra Tomasza Ślęzaka, zatytułowanego „Jądrowe rezonansowe rozpraszanie promieniowania synchrotronowego w badaniach dynamiki drgań sieci i magnetyzmu nanostruktur Fe”**

### Podstawowe dane o Habilitancie:

Imię i nazwisko Habilitanta:	<b>Tomasz Ślęzak</b> (ur. 18.02.1971 r.)
Data uzyskania stopnia doktora:	25 września 2000 r.
Obecne miejsce pracy:	Katedra Fizyki Ciała Stałego Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo- Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Prowadzenie postępowania habilitacyjnego:	Rada Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademii Górniczo- Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie

Dr Tomasz Ślęzak w roku 1995 ukończył studia magisterskie na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie, kierunek fizyka. Następnie podjął studia doktoranckie na Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie i uzyskał w roku 2000 stopień doktora za dysertację „Pośrednie sprzężenie międzywarstwowe i polaryzacja spinowa w układach FeAl i FeAu”. Promotorem pracy był prof. dr hab. Józef Korecki. Praca ta, obroniona z wyróżnieniem, dotyczyła właściwości magnetycznych epitaksjalnych układów wielowarstwowych. Dr T. Ślęzak zbadał i opisał w niej sprzężenie międzywarstwowe w Fe/FeAl/Fe i jego wpływ na polaryzację spinową w przekładce stopowej. Badał również oscylacyjne sprzężenie wymienne trójwarstw FeAu/Au/FeAu zawierających żelazo w zależności od grubości przekładki niemagnetycznej. Wśród publikacji z początkowego okresu pracy naukowej Habilitanta znajdują się cztery prace opisujące rezultaty tych badań. Posumowaniem osiągnięć doktoratu jest interesująca praca z roku 2002 pt. „Spin engineering with FeAu monolayers”. Dotyczy ona sztucznych antyferromagnetyków warstwowych.

Do czasu uzyskania stopnia doktora Habilitant opublikował ponad 50 prac. Jest to dorobek pokaźny i spójny, świadczący o dobrze ukierunkowanych zainteresowaniach naukowych, prowadzony w oparciu o wiele komplementarnych metod stosowanych w badaniach układów cienkowarstwowych. Do tych metod należą dwie podstawowe: rezonansowe rozpraszanie promieniowania synchrotronowego (badania magnetyczne) i nieelastyczne rozpraszanie promieniowania synchrotronowego, wykorzystywane do badania stanów fononowych. Wyniki uzyskane przy użyciu tych metod umożliwiły uzyskanie wielu spektakularnych wyników, które stanowią podstawę naukowego osiągnięcia habilitacyjnego.

Po uzyskaniu stopnia doktora, Habilitant kontynuuje pracę Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczo im. St. Staszica w Krakowie jako adiunkt. Prowadzi zajęcia dydaktyczne, uczestniczy w realizacji grantów krajowych badawczych (8 projektów jako wykonawca, 1 projekt jako kierownik). Był promotorem 6 prac magisterskich i promotorem pomocniczym dwóch dysertacji doktorskich. Nie stroni też od konferencyjnej działalności organizacyjnej, eksperckiej i recenzenckiej. Za swoją działalność naukowo-dydaktyczną wielokrotnie otrzymywał nagrody Rektora AGH. W latach 2001-2002 był stypendystą FNP dla młodych naukowców. Odbył również staż podoktorski na Uniwersytecie w Leuven w Belgii.

### **Ocena dorobku naukowego**

Dorobek naukowy dra Tomasza Ślęzaka wg ostatnich danych zaczerpniętych z bazy WEB OF KNOWLEDGE<sup>SM</sup> obejmuje 59 prac opublikowanych w recenzowanych czasopismach z listy filadelfijskiej o obiegu międzynarodowym oraz wg spisu Habilitanta 22 doniesienia konferencyjne przedstawiane zarówno w kraju jak i za granicą (z tego 12 plakatów, prezentacje w formie wykładów 13, w tym 6 na zaproszenie). Wszystkie prace są wieloautorskie, lecz w wielu z tych prac Habilitant jest pierwszym autorem (autorzy nie są wymieniani w kolejności alfabetycznej).

Jest to dorobek obszerny i bardzo wartościowy, opublikowany w bardzo dobrych, specjalistycznych czasopismach. O randze tych prac świadczy liczba cytowań, która wynosi łącznie 494 (bez autocytowań 396). Cytatów całkowicie niezależnych, tzn. bez autocytowań oraz bez cytowań dokonanych przez współautorów, można doliczyć się ponad 250, co jest bardzo dobrym rezultatem. Przytoczone dane składają się na indeks Hirscha równy 14.

Tematycznie dorobek dra Tomasza Ślęzaka dotyczy właściwości epitaksjalnych nanostruktur metalicznych, wytwarzanych w ultrawysokiej próżni (epitaksja z wiązek molekularnych) na różnych podłożach. Z dostępnych w macierzystej uczelni i w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk (wspólne Laboratorium Powierzchni i Nanostruktur) technik pomiarowych wykorzystuje m.in. spektroskopię mössbauerowską i augerowską, dyfrakcję elektronów niskoenergetycznych, skaningową mikroskopię tunelową oraz magnetoptyczny efekt Kerr'a.

Habilitant wielokrotnie prowadził badania *in-situ* wykorzystując The European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) w Grenoble we Francji przy użyciu aparatury technologiczno-pomiarowej z ultrawysoką próżnią zbudowanej na jednej linii badawczych. Z dorobku publikacyjnego wynika (np. 7H), że Habilitant budował i koncepcyjnie rozwijał bazę pomiarową w ESRF.

### **Ocena osiągnięcia habilitacyjnego**

Osiągnięcia naukowe dra Tomasza Ślęzaka, będące podstawą do nadania stopnia naukowego doktor habilitowany, stanowią monotematyczne publikacje pod ogólnym tytułem „Jądrowe rezonansowe rozpraszanie promieniowania synchrotronowego w badaniach dynamiki drgań sieci i magnetyzmu nanostruktur Fe”. Publikacje te (razem 7 prac) ukazywały się w latach 2007-2013 na łamach następujących czasopism: *Physical Review Letters* (3 prace), *Physical Review B*, *Surface Science*, *Review of Scientific Instruments* i *Materials Science-Poland* (po jednej pracy), jako prace oryginalne.

Zbiór prac [1H-7H] jest spójnym opisem złożonych zjawisk fizycznych zachodzących w niskowymiarowych układach, to jest w cienkich warstwach Fe naniesionych na W(110). Uzyskane wyniki świadczą o doskonałym połączeniu możliwości badawczych, jakie dają klasyczne metody pomiarowe, bazujące na informacji uzyskiwanych z powierzchni badanego materiału, z bardzo złożonymi technikami wykorzystującymi promieniowanie synchrotronowe. Autor wykazał kunszt eksperymentatorski i umiejętność doboru technik pomiarowych do realizacji założonych zadań badawczych.

I tak, artykuły 1H, 3H, 4H i 5H opisują zjawiska magnetyczne, a dynamice drgań sieci na powierzchni i wewnątrz cienkich warstw żelaza, poświęcone są prace 2H i 6H. Praca 7H jest opisem aparatury z ultrawysoką próżnią, wykorzystującą do badań promieniowanie synchrotronowe. Zawiera też przykładowe rezultaty pomiarów ukazujące jej możliwości badawcze.

W warstwach ferromagnetycznych z niemagnetyczną przekładką możliwe są różne uporządkowania wektora namagnesowania w poszczególnych warstwach w zależności od grubości przekładki. Zjawisko to bazujące na międzywarstwowym sprzężeniu wymiennym od szeregu lat jest szeroko opisywane, jednak pewne detale struktury magnetycznej wewnątrz ferromagnetycznych warstw nie zostały wyjaśnione do końca. Taką właśnie tematykę podejmuje praca 1H na przykładzie monowarstwy Fe(001) oddzielonej klinową przekładką Au od układu monoatomowych supersieci FeAu. Wykazano jednoznacznie, że wpływ sprzężenia wymiennego na właściwości magnetyczne monowarstwy Fe jest największy w pobliżu jej temperatury Curie. Dzieje się tak z powodu tłumienia fluktuacji spinowych w monowarstwie Fe, które są spowodowane wymiennym oddziaływaniem tej warstwy z warstwami supersieci FeAu.

Prace 3H i 4H opisują dynamikę reorientacji kierunku spontanicznego namagnesowania w cienkich ferromagnetykach. Oceniam te wyniki jako przełomowe. Wykazano bowiem przy użyciu rezonansowego jądrowego rozpraszania promieniowania synchrotronowego, że podczas wzrostu warstwy Fe(110) na W(110) następuje przełączenie kierunku namagnesowania od kierunku [1-10] na kierunek [001] i ma to ścisły związek z grubością warstwy magnetycznej. Zjawisko to ma charakter ciągły i jest związane z tworzeniem się niekolinearnej struktury magnetycznej. Taką interpretację potwierdziły teoretyczne badania oparte na modelu warstwowym i dowiodły, że kolinearne ferromagnetyki, w zależności od warunków brzegowych, mogą wykazywać niekolinearne uporządkowania magnetyczne.

Inicjator tych badań, jakim jest niewątpliwie dr Tomasz Ślęzak, kontynuował zgłębianie przyczyn reorientowania się spinów i zaproponował badania wytworzonych przez siebie układów w różnych temperaturach słusznie zakładając, że energia termiczna ma wpływ na wartość niektórych parametrów decydujących o porządku magnetycznym, a poza tym łatwo ją można zmieniać i kontrolować.

Mechanizmy procesów reorientacji spinów analizowane są w pracy 5H. Przeprowadzone badania przy użyciu promieniowania synchrotronowego, padającego na powierzchnie warstwy pod wybranym kątem, umożliwiały określenie położenia kierunków spinów w głębi próbki. Pokazano - a to jest ważny wynik - że struktura magnetyczna w kierunku prostopadłym do powierzchni nie jest jednorodna. Reorientacje spinów zlokalizowanych na żelazie można kontrolować nie tylko grubością warstwy, ale również poprzez zmianę temperatury. W sposób jednoznaczny dowiedziono, że za wytworzenie niekolinearnej struktury odpowiedzialne jest sprzężenie wymienne między warstwami Fe oraz różnego typu anizotropie

(powierzchniowa, magnetokrystaliczna, magnetoelastyczna *etc.*), które wnoszą do wypadkowej anizotropii magnetycznej różne przyczynki. I tak, w podwyższonej temperaturze anizotropia powierzchni (110) wymusza orientację namagnesowania wzdłuż kierunku [001], natomiast kierunek [1-10] namagnesowania może być kontrolowany poprzez anizotropię magnetoelastyczną.

Odrębnym, szerokim zagadnieniem podjętym przez Habilitanta jest analiza dynamiki sieci krystalicznej badanych warstw. Tematyka ta jest obecna w pracy 2H, ale swoje rozwinięcie znalazła w publikacji 6H.

Dzięki badaniom Habilitanta wiadomo, że w odniesieniu do powierzchni litego żelaza następują modyfikacje fononów obecnych w powierzchni cienkich warstw. Poprzez umieszczenie podczas wzrostu warstwy żelaza monowarstwowej sondy izotopu  $^{57}\text{Fe}$  prześlędzono ewolucję lokalnego widma gęstości stanów fononowych od obszarów głęboko pod powierzchnią, poprzez warstwy atomowe bezpośrednio sąsiadujące z warstwą powierzchniową oraz „czyste” fonony powierzchniowe. Wyznaczono parcjalne widma fononowe i wyznaczono powierzchniowe funkcje termodynamiczne oraz parametry elastyczne. Analiza uzyskanych gęstości stanów fononowych pokazuje znaczne zróżnicowanie częstotliwości i amplitud drgań atomów w zależności od ich położenia (powierzchnia lub wewnątrz warstwy).

Ewolucja gęstości stanów fononowych warstw Fe naniesionych na W(110) w zależności grubości warstw Fe od ok. 40 warstw atomowych do pojedynczej monowarstwy została opisana w pracy 6H. Z analizy widm fononowych można było dla konkretnej warstwy wyodrębnić z całkowitej energii układu wkłady: powierzchniowy, wkład z obszaru graniczącego z podłożem oraz z objętości próbki. Znaleziono w ten sposób odpowiedź na pytanie jakie to zmiany we własnościach wibracyjnych i funkcjach termodynamicznych pociąga za sobą obniżenie wymiarowości układu. Interesujące byłoby zbadanie zmian wartości parametrów fononowych, tak przecież czułych na naprężenia czy niedoskonałości sieci krystalicznej, po relaksacyjnym wygrzaniu badanych warstw.

Praca 7H jest opisem skomplikowanej aparatury technologiczno-pomiarowej z przykładowymi wynikami pomiarów.

Uważam, że przedstawione mi do oceny osiągnięcie habilitacyjne powstałe głównie z inicjatywy dra T. Ślęzaka zawiera ważne, bardzo interesujące wyniki eksperymentalne poparte obliczeniami modelowymi. Wyniki obliczeń teoretycznych, uzyskane w ramach współpracy z teoretykami, użyte do interpretacji danych eksperymentalnych umożliwiły dogłębną interpretację obserwowanych zjawisk fizycznych.

Dobrym podsumowaniem dorobku Habilitanta, niezwykle istotnego dla zrozumienia zjawisk fizycznych (w szczególności mechanizmów reorientacji spinów) w układach cienkowarstwowych, byłaby monoautorska praca przeglądowa. Takie prace dobrze porządkują materiał z prac oryginalnych i świadczą o umiejętności kompleksowego spojrzenia na uprawianą tematykę naukową, której dr. T. Ślęzakowi nie brakuje.

Oświadczenia większości współautorów o stopniu uczestnictwa w poszczególnych pracach brzmią wiarygodnie. Wyjątek stanowi oświadczenie dr D. Wilgockiej-Ślęzak, która napisała, że jest współautorką trzech prac w renomowanych czasopismach, ponieważ pomagała w przygotowaniu rysunków i przygotowaniu jednej publikacji (sądzę, że jej rzeczywisty wkład pracy był znacznie większy). Prace *stricte* pomocnicze wykonywał też dr M. Zajac (tak wynika z jego oświadczeń odnośnie pięciu publikacji).

### **Wnioski końcowe**

Reasumując stwierdzam, że zawartość merytoryczna monotematycznej pracy habilitacyjnej (wg analizy oświadczeń współautorów przypisana głównie Habilitantowi - w pięciu ważnych publikacjach aż po 50%) i znaczący całkowity dorobek naukowy poparty licznymi cytowaniami są podstawą do uznania, że dr Tomasz Ślęzak ma pełne kwalifikacje do samodzielnej pracy naukowej. Jestem pewien, że Jego wiedza i dotychczasowe doświadczenie badawcze oraz umiejętność stawiania problemów naukowych, ich precyzyjnego formułowania i rozwiązywania, upoważnia mnie do takiej konkluzji.

Stwierdzam też, że przedstawione mi do recenzji osiągnięcie habilitacyjne jest istotnym wkładem do dziedziny fizyki ciała stałego (w szczególności dynamiki drgań sieci i magnetyzmu układów cienkowarstwowych) i bez zastrzeżeń spełnia wszelkie wymagania stawiane przez obowiązującą Ustawę (art. 18a ust. 5) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (z późniejszymi modyfikacjami).

Poznań, dnia 8 stycznia 2014 r.

