

Dr hab. Agnieszka Wołoś, prof. UW
Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Abdula Khaliq, pt. „*The Influence of Alloying GeTe with Sn and Mn on Magnetic Interactions and Magnetotransport Effects*”.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. Abdula Khaliq została wykonana w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk pod kierownictwem Dr. hab. Łukasza Kilańskiego i Dr. Andreia Avdonina jako promotora pomocniczego. Wyniki zawarte w rozprawie zostały opublikowane w pięciu artykułach naukowych w czasopismach: *J. Alloy. Compd.* (2 prace), *J. Magn. Magn. Mater.* (2 prace) i *Acta Physica Pol. A* (1 praca). Dodatkowo doktorant opublikował trzy prace luźniej związane z tematyką doktoratu oraz osiem prac przed podjęciem studiów doktoranckich w IF PAN.

Tematyka podjęta w rozprawie dotyczy badań kryształów $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$, które należą do półprzewodników o wąskiej przerwie energetycznej. Materiały z tej rodziny są od wielu lat intensywnie badane ze względu na ważne, właściwości odpowiednie do potencjalnych zastosowań spintronicznych: ferromagnetyzm w $\text{Ge}_{1-y}\text{Mn}_y\text{Te}$ z wysoką temperaturą przejścia fazowego rzędu 200 K, właściwości ferroelektryczne w fazie romboedrycznej GeTe i SnTe, właściwości termoelektryczne w SnTe i GeTe, w końcu topologiczne stany brzegowe w SnTe. Kryształy $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ mogą wykazywać złożone właściwości wynikające z kombinacji cech odziedziczonych po SnTe i GeTe, dlatego też stanowią ciekawy obiekt badań.

W rozprawie przedstawiono systematyczną charakteryzację strukturalną i badania właściwości magnetycznych i magnetotransportowych $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ w funkcji zawartości Mn i Sn. Przeanalizowano wyniki w formalizmie licznych modeli, głównie fenomenologicznych, co pozwoliło na zebranie bogatego materiału informacyjnego na temat $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$. W szczególności, w strukturze $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ wyodrębniono dwie fazy (@ RT), kubiczną fazę odziedziczoną po SnTe i fazę romboedryczną charakterystyczną dla GeTe, powiązaną z właściwościami ferroelektrycznymi. Określono, że przejście fazowe występuje przy około $x + y = 0,45$. Badania magnetometryczne określiły zakres składu Mn, y , dla kolejno: fazy paramagnetycznej, szkła spinowego, szkła klasterowego i wreszcie fazy dalekozasięgowego uporządkowania ferromagnetycznego. Zaproponowany został diagram fazowy. Wyznaczony został efektywny moment magnetyczny dla próbek w zakresie od $y = 0,02$ do $0,09$ oraz całka wymiany J_{pd} , co uzupełniło dotychczasowe dane literaturowe o wyniki dla kryształów o pośrednich składach Sn, x . W pomiarach magnetotransportowych zademonstrowano anomalny efekt Halla w próbkach z fazą szkła spinowego jak i ferromagnetyczną, wykazując niejednorodny mechanizm rozpraszania, prowadzący do tego efektu. Dodatkowo zinterpretowano wyniki magnetooporu w formalizmie modelu nieporządku

spinowego, wyznaczając efektywny parametr g , zgodny jakościowo z wyznaczonym wcześniej efektywnym momentem magnetycznym jonów Mn. **Przedstawione wyżej wyniki stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, spełniające wymagania stawiane rozprawom doktorskim.**

Rozprawa została napisana w języku angielskim. Składa się z 7 rozdziałów, podzielonych na krótsze podrozdziały. Dodatkowo opatrzona jest abstraktem i spisem literatury zawierającym 394 pozycje. Zawiera też sekcję z podziękowaniami, spisem publikacji i listą akronimów.

Rozdział 1 zawiera krótki wstęp, prezentuje cel badań i plan pracy.

Rozdział 2 zawiera opis wybranych zagadnień związanych z rozcieńczonymi półprzewodnikami magnetycznymi, od prezentacji koncepcji rozcieńczonego półprzewodnika magnetycznego i opis przykładowych materiałów z grup II-VI, IV-VI i III-V, poprzez strukturę krystaliczną materiałów z grupy IV-VI, na której skupiona jest rozprawa doktorska, do natury oddziaływań prowadzących do dalekozasięgowego uporządkowania magnetycznego. Następnie Doktorant rozważa możliwe rodzaje uporządkowania magnetycznego, sporo miejsca poświęcając fazie szkła spinowego, co jest przydatne do zrozumienia wyników pomiarów magnetyzacji prezentowanych w dalszej części rozprawy. Na koniec krótko omawiane są wybrane zagadnienia magnetotransportowe. W mojej ocenie dobór tematów omówionych we wstępie jest spójny z główną, eksperymentalną częścią doktoratu. Przedstawione w kolejnych rozdziałach zagadnienia są o rosnącym stopniu zaawansowania, opisane w sposób jasny, uzupełnione o rys historyczny tu i ówdzie. **Niewątpliwie Rozdział 2 prezentuje szeroką wiedzę Doktoranta w przedmiotowym zakresie badań i obszerną znajomość relewantnej literatury.**

Rozdział 3 zawiera opis sposobu otrzymywania kryształów, zastosowanych technik eksperymentalnych i metodologii badań. Podejście eksperymentalne opisane jest w sposób jasny i nieprzeładowany nadmierną ilością niepotrzebnych informacji. Z sekcji *Podziękowania* dowiadujemy się, że kryształy zostały otrzymane w Ukrainian Academy of Sciences przez Vasyla E. Slynko, a do uzyskania wyników magnetometrycznych i magnetotransportowych przyczynił się szereg innych osób. Z *Podziękowań* jasno wynika, że Doktorant pracował w większym zespole, a jego współpraca nie ograniczała się tylko do promotora i promotora pomocniczego. Realizowanie prac badawczych w większych lub mniejszych zespołach jest typowe dla dziedziny fizyki materii skondensowanej, a umiejętność pracy w zespole jest pożądaną, jeśli nie niezbędną, cechą pracownika naukowego. **Zaprezentowana metodologia badań, umiejętność pracy w zespole oraz przedstawiona w dalszych rozdziałach analiza teoretyczna świadczą o umiejętności prowadzenia pracy naukowej i dobrym przygotowaniu Doktoranta do pracy samodzielnej.**

Rozdział 4 zawiera analizę wyników badań strukturalnych i składu chemicznego. Informacje podane są w sposób uporządkowany, porównane z wcześniejszymi pracami na ten temat. Najważniejszym osiągnięciem tej analizy jest określenie zawartości Sn, x , przy której następuje zmiana struktury krystalicznej z romboedrycznej na kubiczną, co dalej wiąże się z zanikaniem fazy ferroelektrycznej przy większych koncentracjach Sn. Nasuwa się tu komentarz do Rysunku 4.3. Rysunek ten jest trochę mylący. Sugeruje bowiem ostre przejście pomiędzy fazą polarną i niepolarną ze wzrostem x , podczas gdy z Tabeli 1 wynika, że przejście to jest bardziej rozmyte (mniej ostro zdefiniowane) i tak też zostało opisane w tekście. Ponadto w tekście i w podpisie pod Rysunkiem 4.3. zapowiadana jest wizualizacja zależności struktury krystalicznej zarówno od zawartości Sn jak i Mn, podczas gdy na samym rysunku nie można się dopatrzyć zależności od y (Mn).

Rozdział 5 to jeden z dwóch głównych rozdziałów rozprawy. Opisuje wyniki badań podatności magnetycznej AC oraz magnetyzacji DC, na podstawie których zaproponowano diagram fazowy dla

kryształów $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$, który stanowi jedno z ważniejszych osiągnięć pracy (Rysunek 5.22). Określono, że kryształy z niewielką zawartością Mn, do ok. $y = 0,4$, są w fazie paramagnetycznej, natomiast te z największą zawartością Mn, powyżej ok. $y = 0,7$, wykazują dalekozasięgowy porządek ferromagnetyczny. Ciekawą grupę stanowią kryształy z pośrednimi zawartościami Mn, spośród których jedna próbka wykazuje cechy charakterystyczne dla klasycznego szkła spinowego, natomiast pozostałe zostały zidentyfikowane jako szkło klasterowe z klasterami o uporządkowaniu zbliżonym do ferromagnetycznego. Ponieważ badane były kryształy $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ pod kątem zmienności zarówno koncentracji Mn y , jak i koncentracji Sn x , w podsumowaniu na stronie 119 zabrakło w mojej opinii dyskusji wpływu Sn na fazę magnetyczną. Wcześniej zasygnalizowano, że zjawisko to ma miejsce i kryształy z taką samą zawartością Mn a różniące się zawartością Sn mogą wykazywać dalekozasięgowy ferromagnetyzm albo cechy szkła klasterowego. Stąd moje pytanie, czy dałoby się skonstruować diagram fazowy uwzględniający zarówno x jak i y ? Jaki wpływ ma Sn na T_g ? Jaki wpływ ma Sn na spodziewany rozmiar klasterów (szacunkowo, większe/mniejsze)?

Jeśli chodzi o podejście metodologiczne, zastosowano bardzo drobiazgową analizę fenomenologiczną zależności T_f od częstości pola magnetycznego w pomiarach podatności magnetycznej AC. Opis tej analizy mógłby być przeprowadzony klarowniej. Zastosowano kilka modeli (Równanie 2.24 z parametrem skalującym R , prawo Arrheniusa, prawo Vogela-Fulchera i prawo potęgowe), które miejscami prowadzą do sprzecznych konkluzji. Dla przykładu, parametr E_a/k_B wyznaczony przy zastosowaniu prawa Arrheniusa i Vogela-Fulchera jest zbyt wysoki dla przypadku konwencjonalnego szkła spinowego i wskazuje na występowanie klasterów w obu próbkach dyskutowanych w tym rozdziale. Podobnie parametr T_0 wskazuje na klaster magnetyczny w obu próbkach. Tymczasem parametr τ_0 wskazuje na fazę klasycznego szkła spinowego w próbce z $y = 0,047$ i fazę szkła klasterowego w próbce z $y = 0,06$. Brak jest dyskusji, które kryterium jest mocniejsze, E_a/k_B czy τ_0 , i na czym należałoby oprzeć ostateczny wniosek? Które podejście autor uważa za najbardziej stosowne dla badanych materiałów? Rzuca się też w oczy brak spójności w wyciąganiu wniosków. Na stronie 120 autor podkreśla, że parametr z_v z modelu potęgowego dla próbki z $y = 0,047$ mieści się w zakresie typowym dla szkła spinowego oraz wykorzystuje inny parametr T_g z tego modelu na Rys. 5.22, podczas gdy wcześniej na stronie 101 tenże model prawa potęgowego został odrzucony jako dający nieprzekonujące wyniki.

Wyniki zaprezentowane w *Rozdziale 5* dobitnie pokazują, że $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ w fazie szkła spinowego to trudny materiał do badań. Z całego zestawu próbek, wskazujących na obecność tego fazy tego rodzaju, tylko jedna próbka w analizie fenomenologicznej przy zastosowaniu różnych podejść wpisuje się w zakresy parametrów charakterystyczne dla kanonicznego szkła spinowego.

Poza tym w *Rozdziale 5* pokazano, że badania namagnesowania DC wykazują cechy typowe dla wzrostu koncentracji Mn – liniowy wzrost namagnesowania w nasyceniu wraz ze wzrostem y , który jest jednak wolniejszy niż wynikałoby to z prostego założenia, że wszystkie spiny Mn mają $S = 5/2$, niewykluczone są również oddziaływania AFM.

Interesująca jest przedstawiona analiza zależności T_{irr} od pola magnetycznego w formalizmie De Almeidy-Thoulessa, pokazująca zgodność dopasowanego wykładnika φ z wartością typową dla fazy szkła spinowego i rosnące odstępstwo w miarę zwiększania koncentracji Mn, sugerujące coraz bardziej złożoną naturę tej fazy.

W końcu, dla fazy ferromagnetycznej wyznaczona została całka wymiany J_{pd} , pomiędzy 0,24 eV a 0,16 eV, która wykazuje efekt zmniejszania się wraz ze wzrostem zawartości Sn. Porównując z wcześniejszymi danymi literaturowymi wykazano, że J_{pd} maleje nieliniowo ze wzrostem koncentracji

Sn, od 0,8 eV dla $x = 0$ do ok. 0,1 dla $x = 0,9$, przy czym obserwuje się gwałtowny spadek przy wprowadzeniu już niewielkich koncentracji Sn do kryształu.

Dodatkowe uwagi do tego rozdziału to:

1. Na stronie 92 doktorant pisze, że przesunięcie T_F w χ'_{AC} względem T_F wyznaczonej z χ'_{AC} może wskazywać na obecność klasterów magnetycznych w próbce z $x = 0,4$ i $y = 0,072$. Stąd pytanie, z jaką niepewnością wyznaczono T_F w tych dwóch przypadkach i czy rzeczywiście w granicy trzech odchyłeń standardowych można stwierdzić różnicę?
2. Na Rysunku 5.4. zamiast łączyć punkty i dyskutować (pozorne) odstępstwo dwóch próbek od trendu, lepiej byłoby zaznaczyć niepewności y i μ_{eff} . Wtedy widoczne byłoby, że mamy do czynienia z rozrzutem statystycznym a nie odstępstwem od trendu. Rozrzut statystyczny mierzonej wielkości musi tu występować. Gdyby nie występował, należałoby uznać, że niepewności y (ok. 0,005) zostały przeszacowane.
3. Na Rysunku 5.6ab. widnieje χ' i χ'' dla próbki z $x = 0,2$ i $y = 0,06$ z podwójnym maksimum, podczas gdy na Rys. 5.1 dla próbki z $x = 0,2$ i $y = 0,061$ z pojedynczym maksimum – skąd ta jakościowa różnica? Podobnie jakościowa różnica występuje dla próbki z $x = 0,4$ i $y = 0,052$ na Rys. 5.6cd ($T_F = 8.7$ K) i Rys. 5.2a $x = 0,4$ i $y = 0,052$ ($T_F = 7$ K). Skąd te różnice?

Rozdział 6 do drugi z głównych rozdziałów pracy, prezentujący wyniki pomiarów magnetotransportowych $Ge_{1-x-y}Sn_xMn_yTe$. Wszystkie zbadane próbki charakteryzują się wysoką opornością i małym parametrem RRR , co wynika z wpływu składu stopu na rozpraszanie nośników ładunku elektrycznego.

Na początku dyskutowana jest zależność podłużnej oporności od temperatury, gdzie wyróżnia się obszar niezależny od temperatury w reżimie niskich temperatur i obszar temperaturowo zależny w wyższych temperaturach. Część temperaturowo niezależna dyskutowana jest jako wynikająca z rozpraszania ładunku elektrycznego na domieszkach, tu Sn i Mn, jednak ze względu na złożone efekty nie da się zaobserwować wyraźnego trendu łączącego zależność ρ_{xx} z koncentracją składników stopu. Zależność w wyższych temperaturach dyskutowana była na bazie prawa potęgowego, które wskazuje na rozpraszanie elektron-elektron lub elektron-fonon, dla różnych próbek zależnie od składu. Wyraźnie różny wykładnik potęgi został zaobserwowany dla próbki, w której wcześniej zaobserwowano fazę szkła spinowego, wskazujący na rozpraszanie typu $s-d$ lub elektron-magnon.

Podłużny magnetoopor był badany w polu magnetycznym do 130 kOe i w funkcji temperatury. Wykonano skalowanie magnetooporu zgodnie z kwadratem namagnesowania, które powinno wykazywać zależność liniową w przypadku fazy szkła spinowego. Wszystkie badane próbki, również ta, której wcześniej przypisano fazę szkła spinowego, wykazują silne odstępstwa od liniowości. Dlatego zastosowano kolejny model, *spin-disorder*, zakładający redukcję spinowo zależnego rozpraszania podczas porządkowania spinów w zewnętrznym polu magnetycznym. Dopasowanie tego modelu dało dobrą zgodność z danymi pomiarowymi oraz pozwoliło wyznaczyć parametr g_s jako parametr dopasowania, który porównano z momentem magnetycznym wyznaczonym wcześniej z prawa Curie-Weissa, wykazując zadowalającą zgodność.

W dalszej części rozdziału przedstawiona jest analiza i interpretacja anomalnego efektu Halla. W tym rozdziale, tak jak i w poprzednim, zastosowano różnorodne modele i podejścia do zagadnienia. W szczególności analizie poddano zależność oporności anomalnego efektu Halla od oporności podłużnej. Najpierw zaproponowano zależność potęgową z wykładnikiem η , którą następnie rozszerzono do wielomianu drugiego stopnia bez i z wyrazem wolnym. Wynioskowano, że w anomalnym efekcie Halla można zidentyfikować dwa dominujące mechanizmy, *side jump* oraz

skew scattering, przy czym w mechanizmie *skew scattering* można wyróżnić dwa niezależne źródła, jedno związane z defektami, niezależne od temperatury i drugie związane z drganiami sieci.

Następnie dokonano odwrócenia tensora przewodnictwa i wykonano analogiczną analizę, tym razem badając zależność przewodnictwa anomalnego efektu Halla od przewodnictwa podłużnego. Zastosowano prawo potęgowe i uzyskano wartość wykładnika pomiędzy 1,4 a 1,8, którą zinterpretowano jako wskazującą na reżim przewodnictwa hoppingowego. Ostatecznie podkreślono, że rozpraszanie przez defekty i drgania sieci nie wpływa na anomalny efekt Halla. Zastanawia brak komentarza na temat ewidentnie sprzecznych wniosków w porównaniu z tymi przedstawionymi w poprzedniej części rozdziału, gdzie widziano wpływ rozpraszania ładunku elektrycznego przez domieszki na opór podłużny (plateau w niskich temperaturach), a w analizie oporności anomalnego efektu Halla wskazano na mechanizmy *side jump* oraz *skew scattering*. Podczas obrony poproszę o komentarz do tego zagadnienia. Czy autor nie widzi sprzeczności w przedstawionych analizach? Dlaczego prowadzą do tak różnych wniosków? Który model autor ostatecznie przyjmuje, a który odrzuca?

Dodatkowo, w kolejnej sekcji analizowana jest koncentracja i ruchliwość hallowska wyznaczona z pomiarów w wysokim polu magnetycznym. Autor wskazuje dwa reżimy w ruchliwości, poniżej T_{max} dominuje rozpraszanie na zjonizowanych domieszkach, powyżej T_{max} na drganiach sieci. Z kolei pomiary koncentracji hallowskiej pokazują n_H rzędu 10^{21} cm^{-3} a w wysokich temperaturach widoczna jest bardzo słaba zależność n_H od temperatury, charakterystyczna dla półprzewodników silnie zdegenerowanych. Czy również tu autor nie widzi sprzeczności z proponowanym mechanizmem anomalnego efektu Halla opartym na *hoppingu*? Tu również poproszę o komentarz.

Dodatkowe uwagi do tego rozdziału to:

1. Na Rysunku 6.10 autor proponuje dwa modele i formułuje wniosek, że model z 3 parametrami dopasowania daje dużo lepsze dopasowanie, niż model z dwoma parametrami, albo z jednym parametrem (Rysunek. 6.9). Jest to powszechnie znana zależność, że model z większą liczbą parametrów daje w wyniku dopasowania mniejszy rozrzut punktów pomiarowych wokół zależności teoretycznej, mniejsze χ^2 . Istota rzeczy leży natomiast w χ^2 liczonym na stopień swobody. Należałoby więc tutaj zrobić dopasowanie z uwzględnieniem niepewności pomiarowych i przeanalizować χ^2 i liczbę stopni swobody.
2. Na Rysunku 6.11 wyraźny jest uskok w wartości parametrów a' , a'' i b_{sj} przy koncentracji Mn lekko powyżej 0,07 %. Z czym może być związany ten uskok? Czy może mieć coś wspólnego z właściwościami strukturalnymi?
3. Czy T_{max} z Rysunku 6.14 koreluje się z T_C/T_g ?

Praca jest zredagowana bardzo starannie, niemniej można zauważyć parę błędów redakcyjnych:

- Polskie tłumaczenie *Abstraktu* zawiera liczne błędy gramatyczne i stylistyczne.
- W tekście znajdują się drobne pomyłki w odnośnikach do rysunków i wzorów.
- Na Rysunku 5.10 punkt dla $\gamma = 0,06$ jest zaznaczony przy 1×10^{-9} s, podczas gdy τ_0 wyznaczone z prawa VF to $5,6 \times 10^{-9}$ s.
- Na stronie 111 brakuje fragmentu tekstu.
- Na Rysunku 5.23 punkt dla $x \approx 0,2$ wskazuje na $J_{pd} = 0,2$ eV, podczas gdy w tekście i na kolejnym Rysunku 5.24 zaznaczono 0,24 eV.
- Na stronie 122 Doktorant pisze „it is not showing monotonic”, podczas gdy trend jest monotoniczny.

- Autor stosuje zły format zapisu wyniku i niepewności (wynik podajemy z taką samą liczbą miejsc dziesiętnych co niepewność).

Podsumowując, przeprowadzono wnikliwą i pracochłonną analizę właściwości strukturalnych, magnetycznych i magnetotransportowych trudnego materiału, jakim jest $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$. Każdy z modeli zastosowanych do opisu właściwości magnetycznych bądź magnetotransportowych jest opatrzony licznymi komentarzami i odniesieniami literaturowymi, dyskusją wartości parametrów dopasowania, porównaniem z wartościami charakterystycznymi dla innych materiałów. Wskazuje to na solidną pracę, jaką wykonał Autor. Wrażenie robi liczba cytowanych artykułów, przy czym z treści rozprawy jasno wynika, że duża część z tych prac została dogłębnie przestudiowana. Wadą zaprezentowanej analizy jest brak syntetycznego podejścia. Każdy z modeli traktowany jest oddzielnie i brakuje syntetycznego podsumowania, szczególnie w sytuacjach, gdzie różne modele prowadzą do sprzecznych wniosków. Przy takiej obfitości danych Autor wyraźnie unika sformułowania ostatecznego wniosku, co podniosłoby wartość pracy. Gorąco zachęcam do tego w przyszłości.

Jak wspomniałam wyżej, praca miałaby dużo większą wartość, gdyby autor dokonał jasnej decyzji odnośnie wyboru pasującego modelu, jasno odrzucił modele niepasujące, podając swoje uzasadnienie oraz przeprowadził syntetyczną dyskusję wyników obejmującą jednocześnie wyniki transportowe, magnetyczne i strukturalne, wskazując najciekawsze aspekty natury badanego materiału. Podczas obrony poproszę o próbę stworzenia właśnie takiego, syntetycznego podsumowania właściwości strukturalnych, magnetycznych i magnetotransportowych, obejmującego spójnie wszystkie trzy aspekty. W szczególności, czy faza szkła spinowego daje jakieś szczególne cechy w magnetotransporcie? Czy faza szkła spinowego koreluje się z badaniami strukturalnymi? Co może się dzieć na granicy ziaren fazy krystalicznej polarnej i niepolarniej (postulowanej w niektórych próbkach)?

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Abdula Khaliq, pt. „*The Influence of Alloying GeTe with Sn and Mn on Magnetic Interactions and Magnetotransport Effects*” zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, prezentuje ogólną wiedzę Doktoranta w dyscyplinie i potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, tym samym spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce stawiane pracom doktorskim. Wnoszę więc o dopuszczenie mgr. Abdula Khaliq do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora, w tym do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

A. Wołoś

Dr hab. Agnieszka Wołoś, prof. UW