

Prof. dr hab. Marta Wolny – Marszałek
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
Oddział Fizyki Materii Skondensowanej
Zakład Materiałów Magnetycznych i Nanostruktur
Tel. : +48 12 6628323
e-mail: Marta.Marszalek@ifj.edu.pl

Kraków, 7.09.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. Krzysztofa Sobuckiego

zatytułowanej :

„Resonance effects in linear and nonlinear spin wave dynamics for control of propagating spin waves” („Efekty rezonansowe w liniowej i nieliniowej dynamice fal spinowych do kontroli biegnących fal spinowych”)

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Formalną podstawą opracowania recenzji jest decyzja Rady Naukowej Dyscyplin Nauki Fizyczne i Astronomia Wydziału Fizyki i Astronomii Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu z dnia 13 czerwca 2025 wraz z umową.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest Pan Profesor dr hab. Paweł Gruszecki, Profesor UAM.

2. Podstawowe informacje o rozprawie doktorskiej oraz ocena jej układu i zawartości merytorycznej

Mgr Krzysztof Sobucki przedstawił do recenzji pracę doktorską wykonaną w Instytucie Spintroniki i Informatyki Kwantowej UAM, w Zakładzie Fizyki Nanomateriałów. Ubiega się o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne. Praca zatytułowana „Efekty rezonansowe w liniowej i nieliniowej dynamice fal spinowych do kontroli biegnących fal spinowych” („Resonance effects in linear and nonlinear spin wave dynamics for control of propagating spin waves”) ma postać powiązanych tematycznie artykułów naukowych, uzupełnionych obszernym wprowadzeniem o ogólnym charakterze, krótkim wprowadzeniem do problematyki kolejnych prac, podsumowaniem, a także obszernym spisem osiągnięć naukowych Doktoranta takich jak lista projektów z udziałem Doktoranta, stypendia naukowe, prezentacje konferencyjne. Cykl prac jest obszerny i składa się z 5 artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych o zasięgu

międzynarodowym z listy JCR, posiadających współczynnik wpływu. Autor zdecydował się dołączyć do tego cyklu 2 publikacje związane z wynikami jego pracy w innych projektach.

Publikacje głównego nurtu badań

1. K. Sobucki, W. Śmigaj, J. Rychły, M. Krawczyk, P. Gruszecki, "*Resonant subwavelength control of the phase of spin waves reflected from a Gires–Tournois interferometer.*" Scientific Reports 11.1 (2021): 1-12, IF = 3.8, MNiSW – 140.
2. K. Sobucki, P. Gruszecki, J. Rychły, M. Krawczyk, "Control of the phase of reflected spin- waves from magnonic Gires-Tournois interferometer of subwavelength width" IEEE Transactions on Magnetics 58 (2), 1-5, (2021), IF = 2.1, MNiSW – 70.
3. W. Śmigaj, K. Sobucki, P. Gruszecki, M. Krawczyk, "Modal approach to modeling spin wave scattering", Physical Review B 108 (1), 014418, IF = 5, MNiSW – 140.
4. K. Sobucki, W. Śmigaj, P. Graczyk, M. Krawczyk, P. Gruszecki, "Magnon-Optic Effects with Spin-Wave Leaky Modes: Tunable Goos-Hänchen Shift and Wood's Anomaly", NanoLetters, 2023, 23, 15, 6979–6984, IF = 9.6, MNiSW – 200.
5. K. Sobucki, I. Lyubchanskii, M. Krawczyk, P. Gruszecki, "*Goos-Hänchen shift of inelastically scattered spin-wave beams and cascade nonlinear magnon processes*" Scientific Reports 15, 5538 (2025), IF = 3.8, MNiSW – 140.

Indywidualny udział Doktoranta w pracach tworzących zbiór podlegający ocenie w ramach rozprawy

W tym miejscu należy podkreślić, że mgr Krzysztof Sobucki miał znaczący udział w powstaniu wszystkich tych artykułów. Z oświadczeń Doktoranta i pozostałych autorów wynika, że samodzielnie wykonał większość obliczeń przy użyciu oprogramowania, o którym jeszcze będzie mowa, przeanalizował wyniki w oparciu o opracowane przez siebie modele i wykonał większość prac związanych z powstawaniem publikacji, włączając w to prace tak czasochłonne jak przygotowanie materiałów wideo. Prace te zostały wykonane w zespole posiadającym duże doświadczenie, a pan Sobucki jest pierwszym autorem i autorem korespondencyjnym podczas procesu edycyjnego w czterech z nich, co rozumiem jako wyraz uznania pozostałych członków zespołu dla jego wkładu i zaangażowania w proces twórczy i z pewnością świadczy o jego dużej samodzielności w pisaniu publikacji.

Pozostałe prace dodatkowe zamieszczone w dysertacji dotyczyły problematyki związanej z innymi projektami Doktoranta i zostają odnotowane tutaj jedynie dla obowiązku, nie podlegając omówieniu przez recenzentkę. Są to:

1. K. Sobucki, M. Krawczyk, O. Tartakivska and P. Graczyk, "*Magnon spectrum of Bloch hopfion beyond ferromagnetic resonance*", APL Materials 10.9, 091103, 2022.
2. Julia Kharlan, Krzysztof Sobucki, Krzysztof Szulc, Sara Memarzadeh, and

Jarosław W. Kłos, "Spin-wave confinement in a hybrid superconductor ferrimagnet nanostructure", *Physical Review Applied* 21.6, 064007, 2024

Prace wybrane jako podstawa dysertacji dotyczą fal spinowych stanowiących istotne zagadnienie dzisiejszej magnoniki jako potencjalny nośnik informacji. Od 20 lat trwają poszukiwania alternatywnych nośników informacji, które mogłyby zastąpić elektrony stosowane w technologii CMOS, takich jak plazmony, fotony i fale spinowe. Równolegle z magnoniką rozwijane są plazmonika i fotonika, jednakże kluczową zaletą magnoniki jest to, że fale spinowe działają na częstotliwościach mikrofalowych podobnych do stosowanych w komunikacji bezprzewodowej, ale dla znacznie mniejszych długości fal. Teoretycznie umożliwia to łatwiejszą integrację urządzeń magnonicznych z elektroniką, a jednocześnie pozwala na większą miniaturyzację w porównaniu z odpowiednikami elektronicznymi. Pan mgr Sobucki postawił przed sobą ambitne zadanie uczestnictwa w poszukiwaniu nowych rozwiązań, które pozwolą wykorzystać technologie magnoniczne w przekazie informacji. Aby w pełni wykorzystać potencjał fal spinowych, należy rozwiązać kilka kwestii takich jak wysokie tłumienie magnetyczne w większości ośrodków magnetycznych, wrażliwość oscylacji niskoenergetycznych na fluktuacje termiczne, ograniczoną liczbę metod wzbudzania i detekcji fal spinowych oraz sposób kontroli ich propagacji w ośrodkach magnetycznych. Przedstawiona do recenzji rozprawa dotyczy ostatniej kwestii – poszukiwania nowych metod sterowania propagacją fal spinowych. Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy było określenie możliwości sterowania propagacją fal spinowych z wykorzystaniem interferometrów magnonicznych. Zadanie to obejmowało zbadanie przy pomocy symulacji numerycznych zarówno liniowych, jak i nieliniowych efektów rezonansowych, które towarzyszą odbiciu fal spinowych od interferometrów magnonicznych i transmisji przez nie. Pan mgr Sobucki wykazał w ramach prowadzonych badań, że liniowe efekty rezonansowe w interferometrach magnonowych pozwalają na precyzyjną kontrolę fazy fal spinowych, co zostało przez niego wykorzystane w interferometrach typu Gires-Tournois i Fabry-Perot [prace 1, 2, 3]. Interferometr typu Gires-Tournois [praca 4] został przez niego użyty do badania zmiany kierunku propagacji fal spinowych poprzez wzbudzanie stanów własnych interferometrów przy ukośnym padaniu fal spinowych oraz specyficznego wzbudzania modów rozchodzących się wzdłuż rezonatora nad krawędzią cienkiej warstwy. W czasie tych badań po raz pierwszy zademonstrowano kilka ważnych efektów, ograniczę się do wymienienia tylko dwóch, kontroli wielkości przesunięcia Goosa-Hänchena oraz magnonicznego odpowiednika anomalii Woodsa. Część tych badań dotyczyła również zjawisk nieliniowego rozpraszania fal spinowych [praca 5]. Wszystkie prace ukazały się w prestiżowych czasopismach fizycznych. To prawdziwa przyjemność patrzeć na harmonijny rozwój tych zagadnień od symulacji mikromagnetycznych liniowych efektów rezonansowych opartych na uproszczonym równaniu LLG do symulacji

mikromagnetycznych opisujących nieliniowe efekty rozpraszania fal spinowych przy użyciu pełnego równania LLG.

Zastosowane metody badawcze

Doktorant w swoich obliczeniach stosował naprzemiennie dwa środowiska numeryczne COMSOL Multiphysics i MuMax3, a w niektórych przypadkach uzupełnił symulacje stworzeniem modeli półanalitycznych oraz stworzeniem własnych kodów obliczeniowych.

Zgodnie z Art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Stwierdzam, że mgr Sobucki przedstawił spójny cykl powiązanych tematycznie publikacji, w których udowodnił oryginalną hipotezę badawczą prezentując wysoki poziom naukowy i ogólną wiedzę teoretyczną oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, zatem rozprawa doktorska spełnia warunki ustawy.

3. Ocena całościowego dorobku naukowego Doktoranta

Pan mgr Sobucki jest współautorem 7 prac, będąc w 5 z nich autorem wiodącym, wszystkie zostały opublikowane w czasopismach wysokiej rangi z Listy JCR. Badania były finansowane z projektu NCN PRELUDIUM (doktorant był kierownikiem projektu) oraz projektu SONATA kierowanego przez jego promotora. Ponadto uzyskał 7 projektów uczelnianych z programów ID-UB. Wykazywał się dużą mobilnością spędzając w zagranicznych placówkach naukowych ponad rok w ramach różnego rodzaju stypendiów. Uczestniczył również w wielu konferencjach międzynarodowych i krajowych prezentując wyniki w formie plakatów (7) jak i wystąpień ustnych (12) oraz w 6 międzynarodowych szkołach i warsztatach dla doktorantów.

4. Wnioski końcowe

Oceniana rozprawa doktorska mgr Krzysztofa Sobuckiego mieści się w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne. Moja ocena merytoryczna pracy jest bardzo wysoka. Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą teoretyczną oraz posiadaniem umiejętności samodzielnego prowadzenia eksperymentu naukowego i prawidłowego interpretowania wyników. Stwierdzam, że na podstawie przeprowadzonych symulacji oraz ich wyników potwierdzonych publikacjami w renomowanych czasopismach naukowych, potwierdzona została słuszność postawionej na wstępie pracy tezy. W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr Krzysztofa Sobuckiego spełnia wymogi określone w przepisach Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i innych towarzyszących aktach prawnych. W związku z tym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscyplin Nauki Fizyczne i Astronomia Wydziału Fizyki i Astronomii

Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu o dopuszczenie mgr. Krzysztofa Sobuckiego do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Jednocześnie składam wniosek o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę:

- . bardzo wysoką jakość prowadzonych badań i sposób przedstawienia ich wyników,
- . oryginalność badań i ich wysoką aplikacyjność,
- formę przedstawionej rozprawy doktorskiej (duży spójny cykl publikacji zawierający wyłącznie artykuły w bardzo dobrych czasopismach o zasięgu międzynarodowym związanych silnie z prezentowaną tematyką.

Prof. dr hab. Marta Wolny-Marszałek