

Dr hab. inż. Leszek Bryja, prof. uczelni
Katedra Fizyki Doświadczalnej
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wroclawska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław, 8 maja 2024

Recenzja

dotycząca wniosku w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne dr. Mateuszowi Gorycy

Dr Mateusz Goryca ukończył studia z wyróżnieniem i uzyskał tytuł magistra fizyki na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w roku 2007. W latach 2007 – 2012 dr Mateusz Goryca odbył studia doktorskie w ramach umowy o wspólnej opiece doktorskiej (cotutelle) pomiędzy Uniwersytetem Warszawskim i Université Joseph Fourier (obecnie Université Grenoble Alpes). Studia te ukończył w 2012 roku pisząc pracę doktorską pt. „*Spin dynamics in low-dimensional semiconductor structures*”, pod kierunkiem prof. dr. hab. Piotra Kossackiego z Uniwersytetu Warszawskiego oraz prof. dr. hab. Marka Potemskiego z Laboratoire National des Champs Magnetiques Intenses. Za pracę tą otrzymał wyróżnienie.

Po uzyskaniu stopnia doktora odbył dwa staże naukowe w renomowanych ośrodkach naukowych: w roku 2013 w Laboratoire National des Champs Magnetiques Intenses, CNRS-UJF-UPS-INSA, w Grenoble, a w latach 2017 – 2020 w Los Alamos National Laboratory w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. Od roku 2013 roku dr Mateusz Goryca jest zatrudniony na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego na stanowisku adiunkta (obecnie naukowo – dydaktycznego).

Dr Mateusz Goryca przedstawił jako osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego „Cykl powiązanych tematycznie publikacji” dotyczących optycznych badań dwuwymiarowych systemów spinowych niekonwencjonalnymi metodami eksperymentalnymi. Cykl ten stanowi siedem publikacji, oznaczonych w autoreferacie [MG1-MG7], opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych o wysokim współczynniku wpływu (ang. impact factor, IF). Spełnia to wymagania wynikające z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce

(Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym, który mówi o „Cyklu powiązanych tematycznie publikacji”.

Tematyka badawcza jaką dr Mateusz Goryca podjął po ukończeniu pracy doktorskiej jest bardzo aktualna i dotyczy dwuwymiarowych układów spinowych, w szczególności: monowarstwowych dichalkogenków metali przejściowych (ang. Transition Metal Dichalcogenides – TMD), zwanymi również materiałami atomowo cienkim i systemów materiałów sztucznego lodu spinowego (ang. Artificial Spin Ice – ASI).

Dichalkogenki metali przejściowych należą do szerokiej klasy materiałów warstwowych, o silnych wiązaniach jonowo-kowalencyjnych w płaszczyźnie dwuwymiarowej warstwy i słabych wiązaniach van der Waalsa pomiędzy monowarstwami. Materiały te stały się przedmiotem niezwykle intensywnych badań po otrzymaniu, poprzez eksfoliację mechaniczną z kryształów grafitu, pojedynczej dwuwymiarowej warstwy węgla (grafenu) i odkryciu jego unikalnych właściwości fizycznych (fermiony Diraca, Nagroda Nobla w 2010). Jednakże grafen ma zerową przerwę energetyczną, co ogranicza jego zastosowania w elektronice. Dichalkogenki metali przejściowych, takie jak MoS_2 , WS_2 , MoSe_2 , WSe_2 i MoTe_2 , są natomiast półprzewodnikami i również posiadają szereg unikalnych właściwości fizycznych. Przy ich pocienianiu do pojedynczej monowarstwy (w zasadzie silnie związanej wiązaniami jonowo-kowalencyjnymi trójwarstwie MX_2 , $\text{M}=\text{Mo, W}$; $\text{X}=\text{S, Se, Te}$) przerwa energetyczna przechodzi w nich ze skośnej do prostej. Podobnie jak w przypadku grafenu, również monowarstwy TMD wykazują zasadnicze różnice w stosunku do ich trójwymiarowych kryształów macierzystych, choć szereg podstawowych właściwości fizycznych wyraźnie je odróżnia. Mianowicie, chociaż podobnie jak w grafenie, również w monowarstwowych dichalkogenkach metali przejściowych MX_2 minimum pasma przewodnictwa i maksimum pasma walencyjnego położone są w nierównoważnych punktach K^+ i K^- , dwuwymiarowej heksagonalnej strefy Brillouina, to w przypadku monowarstwy TMD przerwa energetyczna jest otwarta (masywne fermiony) i położona jest w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni promieniowania elektromagnetycznego, najbardziej korzystnym do zastosowań w optoelektronice. Dodatkowo, w przeciwieństwie do grafenu, w monowarstwach TMD nie występuje symetria inwersji, co w połączeniu z silnym oddziaływaniem spin-orbita prowadzi do silnego rozszczepienia spinowego pasm walencyjnego i przewodnictwa o przeciwnym znaku w nierównoważnych dolinach K^+ i K^- . Silne ograniczenie przestrzenne ruchu elektronów i dziur do pojedynczej warstwy oraz silnie zredukowane ekranowanie dielektryczne prowadzi do formowania się ekscytonów, związanych kulombowsko par elektron dziura, o energiach wiązania setek meV. Rozszczepienie spinowe pasm walencyjnych w monowarstwowych TMD, które są rzędu

kilkuset meV, jest dużo większe od rozszczepienia spinowego pasma przewodnictwa, które wynosi od kilku do kilkudziesięciu meV, co prowadzi do formowania się ekscytonów A i B o znacznie różnych energiach, związanych odpowiednio z wyższym i niższym energetycznie spinowo rozszczepionymi podpasмами walencyjnymi. Rozszczepienie spinowe pasm przewodnictwa i walencyjnego może być takiego samego lub przeciwnego znaku. Rozszczepienie spinowe pasma przewodnictwa oraz nie równoważność dolin K^+ i K^- w monowarstwach TMD, prowadzi do spinowo-dolinowych stopni swobody nośników prądu co w połączeniu z silnym oddziaływaniem kulombowskim pomiędzy nośnikami prądu prowadzi z kolei do formowania się w monowarstwach TMD ekscytonów wyższych rzędów, jak triony (dodatnio lub ujemnie naładowane ekscytony), biekscytony (związana para ekscytonów) naładowane biekscytony, czy tzw. ekscytony ciemne, których rekombinacja promienista jest zabroniona poprzez reguły wyboru dla przejść dipolowych, ze względu na zasadę zachowania spinu lub pędu (ekscytony skośne). Spinowo-dolinowe stopnie swobody powodują, że poprzez pobudzania optyczne falą elektromagnetyczną o określonej polaryzacji kołowej, σ^+ lub σ^- , w dolinach K^+ i K^- można otrzymać w monowarstwach nośniki prądu o zadanej polaryzacji spinowej. Te unikalne właściwości monowarstwowych dichalkogenków metali przejściowych, niewystępujące w konwencjonalnych półprzewodnikach, takich jak Si czy GaAs, związane z blokadą spinowo-dolinową (ang. spin-valley locking) i „optyczną” przerwą energetyczną spowodowały, że materiały te stały się bardzo atrakcyjne do zastosowań w spintronice i tzw. „elektronice dolinowej” (ang. valleytronics), między innymi do wykorzystania dolinowego stopnia swobody nośników prądu do kodowania informacji. Inną ważną właściwością monowarstwowych dichalkogenków metali przejściowych jest wykorzystanie ich w tzw. heterostrukturach van der Waalsa (vdW). W strukturach takich poprzez układanie w dowolnej, zadanej sekwencji różnych monowarstw TMD można otrzymać struktury o niespotykanych dotąd właściwościach fizycznych (Moiré superlattices).

Układy magnetyczne z konfliktem, czyli z frustracją oddziaływań magnetycznych są przedmiotem niezwykle intensywnych badań. W układach takich nie można ustawić momentów magnetycznych wszystkich par do najniższego stanu energetycznego. Najprostszym przykładem takiego układu z frustracją spinową są trzy spiny, oddziaływujące antyferromagnetycznie, ustawione w narożach trójkąta równobocznego. Tak frustracja oddziaływań prowadzi do pojawiania się różnych unikalnych stanów materii skondensowanej, jak stan cieczy spinowej (ang. spin liquid) czy stan lodu spinowego (ang. spin ice). Stan lodu spinowego zaobserwowano, między innymi w tlenkach tytanu, takich jak np. $Dy_2Ti_2O_7$, złożonych z tetraedrów stykających się wierzchołkami. Dwuwymiarowe materiały sztucznego

lodu spinowego (ASI), skonstruowane z oddziaływujących pomiędzy sobą nanomagnesów, zostały początkowo zaprojektowane w celu naśladowania sfrustrowanych oddziaływań magnetycznych występujących w naturze. Przewaga materiałów sztucznych lodów spinowych nad występującymi w naturze materiałami lodów spinowych polega na tym, że w przypadku ASI można zmieniać oddziaływania pomiędzy poszczególnymi nanomagnesami, poprzez zmianę ich rozmiarów i odległości pomiędzy nimi, oraz projektowanie geometrii układu, co powoduje, że ASI wykazują szereg unikalnych własności związanych z topologiami magnetycznymi niewystępującymi w naturze. Dodatkowo, małe rozmiar i anizotropia nanomagnesów sieci ASI powodują, że można je opisać prostym modelem Isinga.

Badaniami obu tych spinowych struktur dwuwymiarowych niekonwencjonalnymi metodami eksperymentalnymi zajął się dr Mateusz Goryca. Swoje badania przeprowadził podczas kilkuletniego stażu w grupie dr. Scota A. Crookera w National High Magnetic Field Laboratory, Los Alamos National Laboratory. Laboratorium to jest bardzo zaawansowane i posiada, między innymi, możliwości przeprowadzania badań metodami „liniowej” spektroskopii optycznej, w pomiarach fotoluminescencji (ang. photoluminescence – PL), odbicia i absorpcji, w impulsowych polach magnetycznych do około 100 T, przy czasach narostu impulsu rzędu 10 – 100 ms.

Ocena osiągnięcia, o których mowa w art. 219 ust. 3 Ustawy

Cykl 7 prac przedstawionych jako osiągnięcie habilitacyjne obejmuje artykuły opublikowane w latach 2019 – 2013 w: Nature Communications (2019, IF=16,6), Science Advances (2019, IF=13,6), Physical Review Letters (2020, IF=8,6), Physical Review X (2021, IF=12,5), Physical Review B (2022, IF=3,7) i Proceedings of the National Academy of Sciences (2023, IF=11,1). W sześciu pracach dr Mateusz Goryca jest pierwszym autorem a w jednej drugim.

Z oświadczenia dra Mateusza Gorycy, jak i oświadczeń współautorów wynika, że w cyklu publikacji stanowiących rozprawę habilitacyjną rola dr. Mateusza Gorycy była dominująca.

W badaniach przeprowadzonych w ramach pracy habilitacyjnej dr Mateusz Goryca skupił się na właściwościach fizycznych dichalkogenków metali przejściowych i struktur sztucznego lodu spinowego.

W autoreferacie dr Mateusz Goryca podzielił przeprowadzone przez siebie badania na trzy grupy tematyczne:

1. Spektroskopia materiałów dichalkogenków metali przejściowych w ekstremalnych polach magnetycznych.
2. Pomiary czasów relaksacji dolinowej w dichalkogenkach metali przejściowych przy użyciu detekcji szumów.
3. Badania monopoli magnetycznych w ASI przy użyciu spektroskopii szumowej.

Ad 1. Spektroskopia materiałów TMD w ekstremalnych polach magnetycznych.

W pracach MG1, MG3, MG5 habilitant badał właściwości fizyczne monowarstwowych dichalkogenków metali przejściowych metodami spektroskopii optycznej w silnych impulsowych polach magnetycznych do 91 T.

W pracy: *„Revealing exciton masses and dielectric properties of monolayer semiconductors with high magnetic fields”* (ref. MG1), opublikowanej w Nature Communications w 2019 r., zostały przeprowadzone badania absorpcji optycznej monowarstw MoS_2 , MoSe_2 , MoTe_2 , WS_2 i WSe_2 w bardzo wysokich impulsowych polach magnetycznych do 91 T. W badaniach fizycznych właściwości półprzewodników istotne informacje na temat ich struktury elektronowej i parametrów materiałowych można uzyskać w badaniach przy użyciu spektroskopii optycznej w odpowiednio silnych polach magnetycznych. Ze względu na bardzo duże masy efektywne nośników prądu (elektronów i dziur), jak również znacznie obniżone ekranowanie dielektryczne i wynikające stąd bardzo duże energie wiązania ekscytonów w monowarstwowych dichalkogenkach metali przejściowych, przewyższające znacznie energie wiązania w konwencjonalnych półprzewodnikach, pola magnetyczne wymagane do takich badań monowarstwowych TMD są znacznie wyższe, rzędu kilkudziesięciu tesli. Dr Mateusz Goryca opracował unikalną metodę pomiaru absorpcji promieniowania elektromagnetycznego w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni monowarstw TMD w silnych polach magnetycznych, które umożliwiła mu zbadanie rozszczepienia Zeemana ekscytonów w dolinach K^+ i K^- . Silne pola magnetyczne i wysoka jakość badanych monowarstw umożliwiły obserwację nie tylko przejścia absorpcyjnego w stanie podstawowym ekscytonu, $1s$, ale również w stanach wzbudzonych ekscytonów, $2s$, $3s$, $4s$, a w niektórych monowarstwach nawet w stanie $5s$. Na podstawie prawie liniowej dyspersji energii najwyższych zaobserwowanych stanów rydbergowskich w wysokich polach magnetycznych wyznaczono masy efektywne ekscytonów dla wszystkich badanych monowarstw. Stosując przybliżenie potencjału Rytowej-Keldysha, do opisu ewolucji energetycznej ekscytonów w funkcji pola magnetycznego wszystkich obserwowanych przejść

optycznych, od 1s do 5s, wyznaczono dokładniej masy efektywne ekscytonów, jak również szereg innych istotnych parametrów dla wszystkich monowarstw, w tym: energie wiązania ekscytonów i ich rozmiary, przerwy energetyczne, oraz parametry ekranowania dielektrycznego. Wyniki prac eksperymentalnych habilitanta potwierdziły teoretyczne oczekiwania dotyczące wzrostu mas ekscytonów i długości ekranowania dielektrycznego wraz ze wzrostem masy atomowej chalcogenu (od S, przez Se, do Te), oraz obniżaniem masy atom metalu (od W do Mo). Zmierzone masy efektywne ekscytonów są znacznie większe od przewidywanych w obliczeniach metodą teorii funkcjonału gęstości, w szczególności dla monowarstw na bazie molibdenu, co dodatkowo potwierdziło wyznaczenie dużych mas elektronów w pomiarach transportowych.

W pracy: „*Spontaneous Valley Polarization of Interacting Carriers in a Monolayer Semiconductor*” (ref. MG3), opublikowanej w *Physical Review Letters* w 2020 r., zostały przeprowadzone badania magnetoabsorpcji w monowarstwach WSe₂ z bramką w impulsowych polach magnetycznych do 60 T. Badania z bramką przyłożoną do monowarstwy pozwalały na jednoczesne strojenia zarówno pola magnetycznego, jak i gęstości nośników w monowarstwie. Badania widm absorpcji w rozdzielonych polaryzacjach kołowych σ^+ i σ^- w monowarstwie WSe₂ domieszkowanej dziurami pozwoliły na określenie liczby zajętych poziomów Landaua, oddzielnie dla obu dolin K⁺ i K⁻. Pokazano, że dolinowy efekt Zeemana dziur (opisany przez efektywny g czynnik g_n) może być strojony w szerokim zakresie poprzez zmianę gęstości nośników. Zaobserwowano, że ze zmianą pola magnetycznego linia absorpcyjna naładowanego ekscytonu związanego z dziurami w jednej dolinie zanika i pojawia się co powiązano z niestabilnością gazu dziur, które spontanicznie przenoszą się z jednej doliny K do drugiej. Efekt ten powiązano ze spontaniczną polaryzacją dolinową, podobną do przejścia do stanu ferromagnetycznego w kwantowym efekcie Halla w konwencjonalnych półprzewodnikach. Zaobserwowane nagłe zmiany dolinowej polaryzacji dwuwymiarowego gazu dziurowego podkreślają kluczową rolę oddziaływań elektron-elektron w monowarstwach dichalkogenków metali przejściowych.

W pracy: „*Many-Body Exciton and Intervalley Correlations in Heavily Electron-Doped WSe₂ Monolayers*” (ref. MG5), opublikowanej w *Nano Letters* w 2022 r., badano wielociałowe korelacje w gazie elektronowym w monowarstwie WSe₂. W monowarstwach WSe₂ wysokiej jakości, w reżimie wysokiej gęstości gazu elektronowego, pojawia się silna linia absorpcyjna (często określanego jako X⁻) przy energii znacząco niższej od linii trionów lub polaronu ekscytonowego. Zainspirowani nietypowym zachowaniem się linii X⁻ autorzy przeprowadzili pomiary polaryzacyjnie rozdzielonych widm absorpcji w monowarstwach WSe₂ z bramką w

impulsowych polach magnetycznych do 60 T. Zaobserwowano, że wraz ze zmianą pola magnetycznego najniższy optycznie aktywny poziom Landaua w jednej z dolin dolinie K jest wielokrotnie na przemian zapełniany i opróżniany przez elektrony. Zmianom tym towarzyszy zmiana energii i siły oscylatora przejść optycznych do wyżej leżących poziomów Landaua w obu dolinach K. Wyciągnięto stąd wniosek, że korelacja pomiędzy tymi przejściami optycznymi pokazuje, że rezonans X^{\pm} jest stanem wielociałowym z korelacjami międzypolinowymi, tj. że może być opisany jako stan obejmujący nie tylko optycznie wzbudzoną parę elektron-dziura, ale także elektrony o przeciwnym spinie w tej samej dolinie, a także elektrony o różnym spinie w przeciwległej dolinie.

Ad. 2. Pomiary czasów relaksacji dolinowej w dichalkogenkach metali przejściowych przy użyciu detekcji szumów.

W pracy: „*Detection of thermodynamic “valley noise” in monolayer semiconductors: Access to intrinsic valley relaxation time scales*” (ref MG2), opublikowanej w Science Advances w 2019 r., zostały przeprowadzone badania czasów relaksacji dolinowej elektronów i dziur w monowarstwach WSe₂. Zastosowano niestandardową metodę pomiaru szumu optycznego, która w odróżnieniu od innych metod jest metodą niezaburzającą układ nośników prądu. Mierzono efekt Faradaya (skręcenie płaszczyzny polaryzacji) w specjalnie przygotowanej przezroczystej strukturze monowarstwy WSe₂ umożliwiającą zmianę koncentracji gazu dziur. Zmierzono tzw. „szum dolinowy”, któremu odpowiadają niewielkie fluktuacje skręcenia Faradaya. Wyznaczono lorentzowskie widma częstotliwości fluktuacji, równoważne transformacie Fouriera czasowej funkcji korelacji, które pozwoliło na wyznaczenie czasu relaksacji dolinowej dziur w niskich temperaturach, rzędu pół mikrosekundy i o około rząd wielkości krótszego czasu relaksacji dla elektronów. Obserwacje te potwierdziły przewidywania teoretyczne, że blokada spinowo-dolinowa w monowarstwowym dichalkogenkach metali przejściowych jest znacznie słabsza w podpasmach przewodnictwa niż w podpasmach walencyjnych, jak również, że oba czasy relaksacji dziur i elektronów są dużo większe od czasów relaksacji spinowej ekscytonów. W pracy wykonano również pomiary czasów relaksacji między-dolinowych nośników metodą pompa-sonda. Zmierzono podobne długie czasy relaksacji spinowej elektronów i dziur, które wyjaśniły wątpliwości dotyczące wpływu ciemnych ekscytonów pomiary czasów relaksacji spinowej nośników w perturbacyjnej metodzie pompa-sonda.

Ad. 3. Badania monopoli magnetycznych w ASI przy użyciu spektroskopii szumowej.

W pracach MG4, MG6 i MG7 autorzy zastosowali metodę spektroskopii szumów, opracowaną do badań dynamiki spinowo-dolinowej w strukturach monowarstw dichalkogenków metali przejściowych, do badań dynamiki w układach sztucznego lodu spinowego (ASI). Zbudowano magnetoptyczny spektrometr szumów o szerokim zakresie częstotliwości (obejmującym 5-6 rzędów wielkości), do pasywnego wykrywania termicznych fluktuacji namagnesowania w ASI o sieci kwadratowej. Układ umożliwiał pomiar skłębienie płaszczyzny polaryzacji liniowej fali elektromagnetycznej (laser o niewielkiej mocy) odbitej od badanej próbki pod niewielkim kątem padania (podłużny efekt Kerra). Badano fluktuacje namagnesowania na powierzchni próbki poprzez pomiar fluktuacji skłębienia płaszczyzny polaryzacji światła odbitego lasera. Pomiar widmo częstotliwościowego fluktuacji w szerokim zakresie częstotliwości pozwalał na szczegółową analizę dynamiki spinów w badanym systemie ASI.

W pracy: „*Field-Induced Magnetic Monopole Plasma in Artificial Spin Ice*” (ref MG4), opublikowanej w *Physical Review X* w 2021 r., pokazano, że w archetypowej kwadratowej sieci ASI, w określonych regionach magnetycznego diagramu fazowego, występują reżimy podobne do plazmy zawierające dużą gęstość ruchomych monopoli magnetycznych. Reżimy te wynikają z regulowanego polem magnetycznym napięcia na strunach Diraca łączących ruchome monopole, w polach magnetycznych odpowiadających granicy pomiędzy różnymi uporządkowaniami magnetycznymi układu ASI. Pomiar spontanicznego szumu monopolowego, w warunkach ścisłej równowagi termicznej, ujawniły ich wewnętrzną dynamikę i pokazały, że kinetyka monopoli jest najbardziej dyfuzyjna w reżimie plazmy. Autorzy wykonali szczegółowe obliczenia metodami Monte Carlo, które pozwoliły zaobserwować, że zarówno gęstość monopoli, jak i ich właściwości kinetyczne można zmieniać poprzez zmianę pola magnetycznego. Rezultaty pracy wskazały nową drogę do badania egzotycznych monopoli magnetycznych o stale regulowanej gęstości i właściwościach dynamicznych, zapewniając tym samym nowy paradygmat dla badania fizyki efektywnych ładunków magnetycznych w materii syntetycznej.

W pracy: „*Magnetic field dependent thermodynamic properties of square and quadrupolar artificial spin ice*” (ref MG6), opublikowanej w *Physical Review B* w 2022 r., kontynuowano badania ASI o sieci kwadratowej, jak również przeprowadzono badania podobnymi metodami ASI o sieci kwadrupolowej. Zbadano zależne od pola magnetycznego diagramy fazowe i przejścia fazowe w obu układach. W badaniach eksperymentalnych spektroskopii szumu

namagnesowania określono fazy stabilne w polu magnetycznym i reżimy ekstensywnej degeneracji, a w symulacjach Monte Carlo, liczonych dla warunków równowagi, określono zależne od pola magnetycznego wartości magnetyzacji, magnetycznego ciepła właściwego, termodynamicznych fluktuacji magnetyzacji i parametrów uporządkowania magnetycznego. Przeprowadzono szczegółową analizę dwóch egzotycznych faz w kwadrupolowym ASI: ferrokwadrupolową i antyferrokwadrupolową i wykazano, że druga faza jest mniej stabilna. Dodatkowo, pokazano, że na granicach pomiędzy zakresami pola odpowiadającymi stabilnemu porządkowi magnetycznemu, zarówno kwadratowy, jak i kwadrupolowy ASI wykazują reżimy, w których topologicznie chronione wzbudzenia magnetyczne mogą się rozprzestrzeniać i dyfundować.

W pracy: „*Deconstructing Magnetization Noise: Degeneracies, Phases, and Mobile Fractionalized Excitations in Tetris Artificial Spin Ice*” (ref MG7), opublikowanej w Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America w 2023 r., zbadano sieci tetris. Sieć tetris należy do grupy układów ASI o sfrustrowanych wierzchołkach (ang. vertex-frustrated ASI). Tworzy się ją przez usunięcie wybranych nanomagnesów z kanonicznej kwadratowej sieci ASI. W układach tych zaobserwowano unikalne zjawiska: ekstensywną degenerację stanu podstawowego i uporządkowanie dalekiego zasięgu związane ze wzrostem entropii. W pracy zbadano zachowania sieci tetris ASI w polu magnetycznym metodami optycznej detekcji szumu namagnesowania oraz symulacji Monte Carlo. Badania eksperymentalne pokazały intensywne i wąskie pasma szumu dla określonych kierunków i zakresów przyłożonego pola magnetycznego. Symulacje Monte Carlo pozwoliły na dekonstrukcję i wyodrębnienia składowych szumu pochodzących od poszczególnych nanomagnesów. Określono pasma wynikające z kolektywnego zachowania wzbudzeń magnetycznych mogących rozdzielać się na dwie kwazicząstki, które z kolei mogą dyfundować wzdłuż długich, kwazi-jednowymiarowych ścieżek w sieci ASI. Badania pokazały efektywność badań opartych na detekcji szumu i symulacji Monte Carlo w ujawnianiu mikroskopowych szczegółów złożonych zjawisk magnetycznych sieci ASI.

Podsumowując cykl publikacji MG1 – MG7, stwierdzam, że prace wykonane przez dr. Mateusza Gorycę stanowią znaczny wkład w badania podstawowych właściwości fizycznych dwuwymiarowych układów spinowych: monowarstwowych dichalkogenków metali przejściowych i systemów materiałów sztucznego lodu spinowego.

**Ocena pozostałego dorobku naukowego w tym istotnej aktywności naukowej
realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności
zagranicznej**

Moja ocena pozostałego dorobku naukowego dr. Mateusza Gorycy jest również bardzo pozytywna. Zaczę od danych parametrycznych zgodnie ze złożonymi dokumentami habilitanta. Dr Mateusz Goryca jest współautorem 90 artykułów naukowych, w tym 48 po uzyskaniu stopnia doktora, opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych, takich jak: Nature Communications, Science Advances, Nano Letters, ACS Nano, Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review Materials, Physical Review B, Applied Physics Letters.

Łączna liczba cytowań prac dr. Mateusza Gorycy wg. Google Scholar wynosi 1762 (1466 bez autocytowań), w tym:

po uzyskaniu stopnia doktora: 1076 (970 bez autocytowań)

przed uzyskaniem stopnia doktora: 686 (496 bez autocytowań)

Łączna liczba cytowań prac dr. Mateusza Gorycy wg. Scopus wynosi 1415 (1142 bez autocytowań), w tym:

po uzyskaniu stopnia doktora: 847 (743 bez autocytowań)

przed uzyskaniem stopnia doktora: 568 (399 bez autocytowań)

Jego indeks Hirsha:

wg. Google Scholar: $h = 22$

wg. Scopus: $h = 19$

Impact Factor^E wszystkich artykułów: 382,8, w tym:

po uzyskaniu stopnia doktora: 296,8

przed uzyskaniem stopnia doktora: 85,9

Są to bardzo dobre wyniki na tym etapie kariery naukowej i świadczą o tym, że prace dr. Mateusza Gorycy są zauważane przez społeczność naukową.

Mateusza Goryca prowadził i nadal prowadzi swoje badania naukowe na Uniwersytecie Warszawskim, gdzie jest obecnie zatrudniony na etacie adiunkta naukowo-dydaktycznego, jak również w ścisłej współpracy kilkoma zagranicznymi instytucjami naukowymi.

Studia doktorskie Mateusz Goryca odbył na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego oraz na Université Joseph Fourier w Grenoble we Francji. w ramach polsko-francuskiego programu *cotutelle*, pod kierunkiem prof. dr. hab. Piotra Kossackiego i prof. dr. hab. Marka Potemskiego. Eksperymentalną część pracy wykonał w Laboratoire National des

Champs Magnetiques Intense, gdzie badał dynamikę spinów jonów manganu w niskowymiarowych strukturach na bazie CdTe, w tym kropek kwantowych z pojedynczym jonem Mn^{+2} . Wyniki tych badań zostały opublikowane w wielu prestiżowych czasopismach naukowych.

Po ukończeniu doktoratu pracował od 2012 do 2017 r. na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego na stanowisku adiunkta, kontynuując badania kropek kwantowych CdTe metodami spektroskopii optycznej, w tym przy użyciu optycznie wykrywanego rezonansu magnetycznego (ODMR).

W 2013 r. odbył dwumiesięczny staż jako badacz wizytujący Centre National de la Recherche Scientifique w Grenoble, gdzie rozpoczął nową tematykę badawczą związaną z monowarstwowymi dichalkogenkami metali przejściowych.

W latach 2017 – 2020 r. pracował w Los Alamos National Laboratory (LANL) w grupie dr. Scotta Crookera w ramach stypendium przyznanego dyrektora tej instytucji. W laboratorium tym prowadził badania monowarstw dichalkogenków metali przejściowych i dwuwymiarowych systemów spinowych przy użyciu niekonwencjonalnych technik eksperymentalnych: ekstremalnych pól magnetycznych oraz optycznej spektroskopii szumów. Wyniki tych prac są przedmiotem cyklu publikacji rozprawy habilitacyjnej dr. Mateusza Gorycy. Podczas pobytu w LANL prowadził też badania koloidalnych kropek kwantowych, oraz polarnych i chiralnych materiałów magnetycznych.

Po zakończeniu stażu w LANL od 2020 r. ponownie pracuje na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, początkowo jako kierownik projektu finansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej w ramach programu Polskie Powroty. Badania. W swojej obecnej pracy naukowej kontynuuje badania dynamiki systemów ASI oraz monowarstw TMD, jak również również rozpoczął badania nowej niskowymiarowych struktur perowskitów.

Dr Mateusz Goryca jest również bardzo aktywny w pozyskiwaniu grantów naukowych. Po uzyskaniu stopnia doktora był kierownikiem trzech grantów: dwa w realizacji a jeden ukończony. Dwa granty były przyznane przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) a jeden przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA). Był również wykonawcą w pięciu grantach: cztery przyznane przez Narodowe Centrum Nauki a jeden przez Europejską Radę ds. Badań Naukowych (European Research Council).

Przed uzyskaniem stopnia doktora nauk fizycznych był kierownikiem dwóch grantów, przyznanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i wykonawcą pięciu grantów: cztery przyznane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i jeden przez Komitet Badań Naukowych.

Osiągnięcia dr. Mateusza Gorycy zostały również zauważone przez społeczność naukową przez zaproszenie go do wygłoszenia licznych wykładów naukowych na prestiżowych konferencjach i spotkaniach międzynarodowych. Po uzyskaniu stopnia doktora wygłosił 15 wykładów zaproszonych i 16 zwykłych. Przed uzyskaniem stopnia doktora wygłosił 4 wykłady zaproszone i 13 zwykłych.

Dr Mateusz Goryca jest recenzentem prac w wielu prestiżowych czasopismach naukowych w tym w: Physical Review Letters, Physical Review B, Nano Letters, ACS Nano, Applied Physics Letters, Europhysics Letters, Physica E.

Dr Mateusz Goryca otrzymał również prestiżowe nagrody za działalność naukową, między innymi Nagrodę im. profesora Stefana Pieńkowskiego.

Ocena osiągnięcia dydaktycznego, organizacyjnego oraz popularyzujących naukę

Dr Mateusz Goryca wykazuje się również aktywną działalnością na polu dydaktycznym, organizacyjnym i popularyzującym naukę.

Był promotorem pomocniczym w dwóch pracach doktorskich, promotorem dwóch prac magisterskich i promotorem dwóch prac licencjackich.

Prowadził liczne zajęcia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, w tym wykłady oraz ćwiczenia laboratoryjne i rachunkowe, z których warto wymienić prestiżowy wykład specjalistyczny dla studentów III roku studiów I stopnia „Wstęp do optyki i fizyki materii skondensowanej”.

Aktywnie włącza się w popularyzację nauki. Od 2010 r. jestem członkiem Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej. Prowadził też liczne zajęcia (warsztaty) dla uczniów gimnazjów i szkół ponadgimnazjalnych.

Wykazuje również zaangażowanie w sprawy organizacyjne uczelni. Od 2021 r. jestem odpowiedzialny za nadzór nad realizacją modernizacji i rozbudowy infrastruktury do odzysku i skraplania gazowego helu na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Był członkiem Rady Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. W latach 2014-2017 sprawował opiekę na Chórem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Podsumowując, stwierdzam, że zarówno cykl powiązanych tematycznie publikacji przedstawionych przez dr Mateusza Gorycę, będący podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, jak i pozostały jego dorobek naukowy oraz inny, związany ze współpracą z partnerami zagranicznymi i krajowymi, działalnością organizacyjną, a także wpływ jego prac naukowych na rozwój dziedziny, który wyraża się bardzo dużą liczbą

cytowani jego prac, spełniają z naddatkiem wymagania stawiane przez ustawodawcę kandydatom w postępowaniu habilitacyjnym.

Wnoszę zatem o dopuszczenie dr. Mateusza Gorycy do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego przewidzianych odnośnymi przepisami.

Derek Bryja