

Recenzja osiągnięć naukowych dr. Mateusza Gorycy w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Pan Mateusz Goryca ukończył studia magisterskie w 2007 roku na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (otrzymując tytuł z wyróżnieniem), natomiast w 2012 r. uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki, nadany z wyróżnieniem przez Wydział Fizyki UW oraz *Université Joseph Fourier* (obecnie *Université Grenoble Alpes*) w Grenoble. Praca doktorska *Spin dynamics in low-dimensional semiconductor structures* była poświęcona badaniom nanostruktur (w szczególności pojedynczych kropek kwantowych) wykonanych z tellurku kadmu, zawierających magnetyczne jony manganu. Habilitant podjął następnie pracę na stanowisku adiunkta na Wydziale Fizyki UW. W 2013 roku odbył dwumiesięczny staż w Grenoble, w trakcie którego po raz pierwszy w swojej karierze przeprowadził eksperymenty dotyczące monowarstw dichalkogenków metali przejściowych (TMD).

W latach 2017-20 dr Goryca przebywał na stażu podoktorskim (jako *Director's Postdoctoral Fellow*) w *Los Alamos National Laboratory*, gdzie dołączył do grupy dr. Scotta Crookera. W czasie tego stażu rozpoczął badania, na których oparte jest recenzowane osiągnięcie. Po zakończeniu stypendium został ponownie zatrudniony na Wydziale Fizyki UW na stanowisku adiunkta.

Osiągnięcie naukowe

Podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego stanowi cykl artykułów naukowych dotyczących optycznych badań dwuwymiarowych systemów spinowych niekonwencjonalnymi metodami eksperymentalnymi. Badania obejmują dwa bardzo interesujące układy: monowarstwy dichalkogenków metali przejściowych [MG1-3, MG5] oraz sztuczny lód spinowy (ASI) z różnymi konfiguracjami sieci nanomagnesów [MG4, MG6-7].

Monowarstwa TMD ma strukturę plastra miodu, z nierównoważnymi dolinami wokół punktów K i K' strefy Brillouina. Może ona zostać wbudowana w układ warstw różnych materiałów, np. grafenu i azotku boru — staje się wtedy bardzo cienką diodą LED. Lepsze zrozumienie własności tych układów ma zatem kluczowe znaczenie dla ich zastosowania w optoelektronice czy valleytronice (technologii opartej na kontrolowaniu dolinowego stopnia swobody w strukturze pasmowej).

Cykl badań rozpoczęły pomiary własności związanych z ekscytonami — kwazicząstkami wzbudzonymi przez światło — dla monowarstw szeregu materiałów TMD: WS_2 , MoS_2 , $MoSe_2$, $MoTe_2$ ([MG1], wcześniej w grupie dr. Crookera zbadano

WSe₂). Znajomość masy efektywnej ekscytonu, jego rozmiaru czy własności dielektrycznych ośrodka jest bardzo ważna dla przyszłych zastosowań, ale wyznaczenie tych parametrów jest trudniejsze niż w przypadku konwencjonalnych półprzewodników. Trudności te wynikają z dużo większej energii wiązania ekscytonu i jego małego rozmiaru, co uniemożliwia osiągnięcie zakresu pola magnetycznego, w którym energie przejść ekscytonowych rosną liniowo z polem. Autorzy pracy [MG1] mieli do dyspozycji dobrej jakości próbkę i bardzo silne pole magnetyczne (do 91 T), co pozwoliło zaobserwować ewolucję energii ekscytonów w słabiej związanych wzbudzonych stanach rydbergowskich i oszacować masy efektywne ekscytonów dla wszystkich badanych związków (ważnym wynikiem pracy są znacznie większe wartości mas w porównaniu ze znanymi wynikami teoretycznymi). Dodatkowe parametry materiałowe wyznaczono po analizie danych przy pomocy modelowego potencjału. Habilitant odegrał wiodącą rolę w powstaniu tej bardzo obszernej publikacji, wykonując część pomiarów, analizy danych i edycji manuskryptu, a jako jedyny autor opracował unikalne elementy układu doświadczalnego i zastosował do pomiarów model Rytowej-Keldysha.

Kontynuacją opisanych pomiarów są prace [MG3] i [MG5], ukazujące znaczenie oddziaływań wielociałowych w domieszkowanych monowarstwach WSe₂. W [MG3] badana jest możliwość sterowania energetycznym dopasowaniem poziomów Landaua w dolinach K i K' poprzez zmianę gęstości dziur. Zaobserwowana niestabilność gazu dziur (spontaniczna polaryzacja dolinowa), świadczy o istotnej roli oddziaływań między nośnikami w badanym układzie. Praca [MG5] prezentuje analizę korelacji w monowarstwie WSe₂ domieszkowanej elektronami, w szczególności badanie natury rezonansu X' widocznego jako silna linia absorpcyjna dla wysokiej gęstości gazu elektronowego. Pomiar wykazały wielociałowy charakter wzbudzenia i występowanie korelacji międziodolinowych. Dr Goryca brał istotny udział w powstaniu obu publikacji (jest ich drugim autorem).

Praca [MG2] demonstruje niestandardową technikę doświadczalną wykorzystaną w badaniach czasu relaksacji elektronów i dziur w monowarstwach TMD. Wcześniejsze pomiary stosowały metody pompowania optycznego, które zaburza równowagę nośników — zamiast tego w [MG2] zostały przeprowadzone obserwacje fluktuacji dolinowych w warunkach równowagi termicznej. Niewielkie zmiany polaryzacji dolinowej wywołują skręcenie Faradaya, mierzalny „szum dolinowy”, którego analiza pozwoliła wyznaczyć bardzo długi czas relaksacji dziur i znacznie krótszy czas relaksacji elektronów. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły wcześniejsze wyniki uzyskane metodą pompowania optycznego oraz wykazały użyteczność nowej metody. Dr Goryca wniósł wiodący wkład w powstanie tej publikacji, m.in. samodzielnie projektując układ doświadczalny i wykonując pełną analizę danych. Opracowana technika spektroskopii szumów została też wykorzystana w pozostałych trzech pracach cyklu do badania dynamiki monopoli magnetycznych w różnych wariantach sztucznego lodu spinowego.

Klasyczny lód spinowy (np. HoTi₂O₇) jest sfrustrowanym układem magnetycznych jonów w węzłach sieci pirochloru, z kolektywnymi ułamkowymi wzbudzeniami o

cechach monopoli magnetycznych. Sztuczny lód spinowy jest zbudowany z nanomagnesów, które mogą modelować sieć lodu spinowego, ale także tworzyć zupełnie nowe struktury niemające odpowiedników w naturze. Zrozumienie własności tych bardzo ciekawych materiałów może otworzyć w przyszłości drogę do projektowania urządzeń, w których popłynie prąd ładunków magnetycznych.

Praca [MG4] otwierająca tę część cyklu opisuje badania diagramu fazowego sieci kwadratowej ASI w obecności pola magnetycznego. Nanomagnes zostały zaprojektowane w taki sposób, aby ich układ w temperaturze przeprowadzenia eksperymentu fluktuował blisko magnetycznego stanu podstawowego. Stan ten wyznaczony jest przez składowe zewnętrznego pola, z uwzględnieniem oddziaływań między najbliższymi i kolejnymi sąsiadami w sieci nanomagnesów. W obszarach granicznych pomiędzy dwoma stanami uporządkowanymi wzbudzenia w postaci łamiących reguły lodu defektów mogą się rozdzielić na dwa monopole o przeciwnych ładunkach magnetycznych, a następnie swobodnie przemieszczać się wzdłuż pewnych kierunków w sieci. Stan „plazmy monopolowej” jest badany poprzez obserwację fluktuacji skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła lasera odbitego od układu nanomagnesów. Zmierzone w szerokim zakresie (kilku rzędów wielkości) widmo częstotliwościowe tych fluktuacji pozwoliło na analizę korelacji w ruchu monopoli. Wynikiem eksperymentalnym towarzyszy przedstawienie symulacji Monte Carlo wykonanych z zastosowaniem algorytmu Glaubera.

Publikacje zamykające cykl obejmują badania diagramów fazowych i parametrów termodynamicznych charakteryzujących dynamikę monopoli w bardziej złożonych konfiguracjach sieci ASI. Praca [MG6] rozszerza badania sieci kwadratowej m.in. na układ z jednakowymi stałymi oddziaływań między najbliższymi i kolejnymi sąsiadami, co istotnie zmienia diagram fazowy: zanika faza uporządkowana obecna wcześniej dla niewielkich pól, a zamiast niej pojawia się punkt ($B = 0$), w którym wszystkie konfiguracje spełniające reguły lodu są zdegenerowane. Zaprezentowane są również badania i symulacje kwadrupolowego ASI, którego sieć jest zbudowana z par równoległych nanomagnesów tworzących wzór szachownicy. W pracy [MG7] podjęto pomiary i symulacje ASI z siecią tetris (siecią kwadratową z usuniętymi niektórymi nanomagnesami), mającą najbogatszy diagram fazowy. Warto zauważyć, że analiza wyników doświadczalnych była w tej pracy najbardziej zaawansowana i wymagała wykorzystania symulacji Monte Carlo.

Artykuły dotyczące lodu spinowego demonstrowują zalety zaproponowanej techniki doświadczalnej oraz stanowią istotny przyczynek do badań stanów podstawowych, przejść fazowych i dynamiki monopoli magnetycznych dla wyróżnionych kierunków sieci ASI. Habilitant jest bez wątpienia wiodącym autorem tych prac: był odpowiedzialny za zaprojektowanie i przygotowanie układu doświadczalnego, przeprowadzenie wszystkich pomiarów optycznych i analizę danych (w [MG4] przy współudziale innego autora). W dwóch ostatnich pracach jest współtwórcą idei badań. Należy podkreślić, że dr Goryca przeprowadził symulacje Monte Carlo we wszystkich trzech pracach (jedynie w [MG4] przy wstępnym udziale innego autora).

Publikacje tworzące osiągnięcie naukowe ukazały się w znakomitych czasopismach: ich sumaryczny *impact factor* wynosi 82,1, a praca otwierająca cykl (w *Nature Communications*) doczekała się już 179 cytowań wg bazy Scopus (150 w chwili składania wniosku). Pozostałe prace również zostały zauważone — cztery z nich zgromadziły ponad dziesięć cytowań.

Inne osiągnięcia naukowe

Oprócz artykułów należących do osiągnięcia naukowego Habilitant jest współautorem 41 publikacji po uzyskaniu stopnia doktora, co stanowi znakomity dorobek (należy też wspomnieć o 42 artykułach przed uzyskaniem stopnia doktora, publikowanych od 2005 roku). W chwili rozpoczęcia postępowania habilitacyjnego dr Goryca wykazał bardzo wysoki sumaryczny *impact factor* dla wszystkich publikacji: 382,8 (w tym 296,9 dla artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora) i całkowitą liczbę cytowań: 1415 (1142 bez autocytowań) wg bazy Scopus, ponad połowę stanowią cytowania artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora. Indeks Hirscha wg bazy Scopus wynosi 19, co jest wynikiem bardzo dobrym. Najwyżej cytowane prace zostały opublikowane w *Nature Communications*, *Physical Review X*, *Physical Review Letters* czy *Physical Review B*. Duża część tych artykułów jest wynikiem kontynuacji badań nad kropkami kwantowymi, np. J. Kobak *et al.*, *Designing quantum dots for solotronics*, *Nature Comm.* **5**, 3191 (2014). Dorobek Habilitanta został doceniony poprzez liczne zaproszenia konferencyjne: po uzyskaniu stopnia doktora wygłosił on aż 15 zaproszonych referatów (co ważne, większość z nich dotyczy badań wchodzących w skład przedstawionego osiągnięcia). W wykazie figuruje ponadto bardzo dużo, bo 29 zgłoszonych referatów, w tym 16 po uzyskaniu stopnia doktora.

Dr Goryca wykazał dużą aktywność w zespołach realizujących prace finansowane w drodze konkursów oraz skuteczność w pozyskiwaniu finansowania własnych projektów. Jeszcze przed ukończeniem studiów magisterskich otrzymał grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a przed uzyskaniem stopnia doktora kierował projektem w ramach programu Iuventus Plus; był też wykonawcą projektu promotorskiego, trzech innych projektów finansowanych przez MNiSW oraz projektu KBN. Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant był kierownikiem projektu NCN Sonata „Budowa i wykorzystanie układu optycznej detekcji rezonansu magnetycznego do badań nanostruktur półprzewodnikowych zawierających jony magnetyczne” (2014-17) oraz wykonawcą czterech innych projektów NCN i projektu *European Research Council*. Obecnie jest kierownikiem dwóch projektów: „Dynamika dolinowa w nowych materiałach dwuwymiarowych” (NCN, w ramach programu POLS) i *Spin noise spectroscopy of emerging materials for opto-spintronics* (NAWA w ramach projektu Polskie Powroty).

Habilitant jest laureatem licznych nagród, m.in. za najlepszą pracę magisterską wykonaną na Wydziale Fizyki UW (2007), stypendium Fundacji Nauki Polskiej (2010, 2011), stypendium dla najlepszych młodych naukowców UW (2012), stypendium MNiSW (2013-15) czy nagrody im. Stefana Pieńkowskiego za znaczące osiągnięcia naukowe w dziedzinie nauk przyrodniczych (2017).

Działalność organizacyjna, dydaktyczna i popularyzująca naukę

Dr Goryca jest członkiem zespołu recenzentów *National High Magnetic Field Laboratory* (USA), odpowiedzialnym za ocenę wniosków o dostęp do aparatury badawczej. W wykazie osiągnięć nie ma podanej liczby napisanych recenzji artykułów naukowych, ale przedstawiona lista czasopism pozwala uznać Habilitanta za aktywnego recenzenta prac w cenionych czasopismach naukowych. Działalność związana z praktyczną stroną prowadzenia badań doświadczalnych obejmuje nadzór nad rozbudową infrastruktury do odzysku i skraplania gazowego helu na Wydziale Fizyki UW (od 2021 roku) czy zgłoszenie patentowe na uchwyt na próbkę do pomiarów optycznie wykrywanego rezonansu magnetycznego.

Habilitant jest promotorem dwóch prac licencjackich (2022, 2023) oraz dwóch magisterskich (2014), ponadto jest promotorem pomocniczym dwóch prac doktorskich (2018, druga w trakcie realizacji). Posiada bogate doświadczenie w prowadzeniu zajęć dydaktycznych na Wydziale Fizyki UW, m.in. opracował przedmiot „Narzędzia obliczeniowe w analizie danych eksperymentalnych fizyki materii skondensowanej” dla studentów II stopnia. Mimo intensywnej pracy naukowej znalazł czas na opiekę nad wydziałowym chórem w latach 2014-17. Wśród działań organizacyjnych i popularyzujących naukę wyróżnia się wieloletnie członkostwo w Komitecie Głównym Olimpiady Fizycznej (od 2010 roku, z przerwą na staż podoktorski), z czym wiąże się m.in. opracowanie zadań, ocena rozwiązań i przygotowanie uczestników Międzynarodowej Olimpiady Fizycznej. Oprócz tego dr Goryca prowadził zajęcia dla młodzieży w ramach letnich obozów naukowych oraz Zajęć Otwartych z Fizyki na Wydziale Fizyki UW.

Podsumowując, Habilitant przedstawił cykl powiązanych tematycznie artykułów obejmujących zagadnienia różniące się od zakresu pracy doktorskiej. Badania będące podstawą cyklu zostały wykonane w znakomitym zagranicznym ośrodku i opublikowane w czasopismach o bardzo wysokiej międzynarodowej randze. Samodzielny wkład dr. Gorycy w powstanie tych publikacji nie budzi wątpliwości, a dla większości z nich jest on wiodący. Warto podkreślić, że wkład ten obejmuje zarówno przygotowanie elementów układów doświadczalnych, przeprowadzenie pomiarów i analizę danych, jak i dopasowanie modelu teoretycznego czy wykonanie symulacji Monte Carlo — jest zatem imponująco wszechstronny. Wyniki badań istotnie przyczyniły się do rozwoju nowych technik pomiarowych oraz lepszego poznania własności niskowymiarowych układów o dużym znaczeniu dla technologii przyszłości. Są one wysoko cytowane i zaowocowały licznymi zaproszeniami konferencyjnymi. Habilitant wykazał doskonały dorobek naukowy poza cyklem prac oraz wzbudzające uznanie działania organizacyjne i popularyzujące naukę.

Uważam, że przedstawiony wykaz osiągnięć spełnia wszystkie warunki postępowania habilitacyjnego, znacznie przekraczając wymagania. Wnioskuje zatem o nadanie dr. Gorycy stopnia doktora habilitowanego i o wyróżnienie osiągnięcia habilitacyjnego.


Olga Sikora