

prof. dr hab. inż. Mariusz Zdrojek  
Wydział Fizyki  
Politechnika Warszawska  
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa  
tel.: (22) 234-7170  
e-mail: mariusz.zdrojek@pw.edu.pl

Warszawa, 17.04.2024

**Recenzja osiągnięcia oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego**  
**dra Mateusza Gorycy w postępowaniu awansowym na stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne**

**Podstawa prawna**

Recenzja została przygotowana na podstawie Uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego (nr. 157 z dn. 29.06.2022) oraz przy zachowaniu obowiązujących zasad określonych w art. 219 ustawy Prawo o Szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20.07.2018.

Podstawą oceny osiągnięć i dorobku dra Mateusza Gorycy jest udostępniona przez Radę Naukową Dyscypliny Nauki Fizyczne UW dokumentacja, w skład której, wchodzi przede wszystkim autoreferat, opis osiągnięć naukowych oraz wykaz opublikowanych prac naukowych (wraz ze stosowanymi oświadczeniami współautorów).

**Podstawowe dane o Habilitancie**

Dr Mateusz Goryca jest absolwentem Wydziału Fizyki UW, uzyskując w 2007 roku tytuł zawodowy magistra z fizyki, nadany z wyróżnieniem. Studia doktoranckie odbył w ramach polsko-francuskiego programu *cotutelle*. W 2012 roku dr Goryca uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki broniąc pracę pt. „Spin dynamics in low-dimensional semiconductor structures”. Stopień doktora został nadany z wyróżnieniem przez Wydział Fizyki UW oraz przez Université Joseph Fourier (Grenoble, Francja). Promotorem rozprawy doktorskiej był prof. dr hab. Piotr Kossacki oraz dr Marek Potemski. W związku z powyższym stwierdzam, że warunek nadania stopnia doktora habilitowanego określony w art. 219 ust. 1. pkt 1 wspomnianej powyżej ustawy jest spełniony.

Po uzyskaniu stopnia doktora, odbył krótki staż jako badacz wizytujący w CNRS w Grenoble, a w latach 2013-2017 pracował w na Wydziale Fizyki UW na stanowisku adiunkta. W latach 2017-2020 odbył niemal trzyletni staż podoktorski w Los Alamos



ul. Koszykowa 75  
00-662 Warszawa  
tel. +48 (22) 234 72 67  
fax: +48 (22) 628 21 71  
dziekan@if.pw.edu.pl  
fizyka.pw.edu.pl

National Lab, USA. Od 2020 roku i obecnie jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych na Wydziale Fizyki UW.

### Osiągnięcie naukowe kandydata będące podstawą do ubiegania się o stopień

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt. 2 stosownej ustawy, kandydat wskazał cykl powiązanych tematycznie 7 publikacji naukowych, pod wspólnym tytułem: „Cykl artykułów naukowych dotyczących optycznych badań dwuwymiarowych systemów spinowych niekonwencjonalnymi metodami eksperymentalnymi”. W skład tego osiągnięcia wchodzi następujące pozycje:

1. M. Goryca, J. Li, A. V. Stier, T. Taniguchi, K. Watanabe, E.I Courtade, S. Shree, C. Robert, B. Urbaszek, X. Marie, S. A. Crooker, *“Revealing exciton masses and dielectric properties of monolayer semiconductors with high magnetic fields”*, Nature Comm. 10, 4172 (2019),
2. M. Goryca, N.P. Wilson, P. Dey, X. Xu, S.A. Crooker, *“Detection of thermodynamic “valley noise” in monolayer semiconductors: Access to intrinsic valley relaxation time scales”*, Science Advances 5, eaau4899 (2019),
3. J. Li, M. Goryca, N. P. Wilson, A. V Stier, X. Xu, S. A. Crooker, *“Spontaneous valley polarization of interacting carriers in a monolayer semiconductor”*, Phys. Rev. Lett. 125, 147602 (2020),
4. M. Goryca, X. Zhang, J. Li, A.L. Balk, J.D. Watts, C. Leighton, C. Nisoli, P. Schiffer, S.A. Crooker, *“Field-induced magnetic monopole plasma in artificial spin ice”*, Phys. Rev. X, 11, 011042 (2021),
5. J. Li, M. Goryca, J. Choi, X. Xu, S.A. Crooker, *“Many-Body Exciton and Intervalley Correlations in Heavily Electron-Doped WSe2 Monolayers”*, Nano Lett. 22, 426 (2022),
6. M. Goryca, X. Zhang, J.D. Watts, C. Nisoli, C. Leighton, P. Schiffer, S.A. Crooker, *“Magnetic field dependent thermodynamic properties of square and quadrupolar artificial spin ice”*, Phys. Rev B 105, 094406 (2022),
7. M. Goryca, X. Zhang, J. Ramberger, J. D. Watts, C. Nisoli, C. Leighton, P. Schiffer, S. A. Crooker, *“Deconstructing magnetization noise: Degeneracies, phases, and mobile fractionalized excitations in tetris artificial spin ice”*, PANS 120 e2310777120 (2023).

W przedstawionym cyklu 7 publikacji habilitant jest pierwszym autorem w 5 z nich i jak wynika z oświadczeń odegrał w ich powstaniu wiodącą rolę. W dwóch z nich jest również autorem korespondencyjnym, w przypadku 3 kolejnych brak jak informacji na ten temat. Szczegółowy wkład merytoryczny oraz indywidualny w powstanie wskazanych prac opisany jest w autoreferacie i potwierdzony deklaracjami współautorów (bez podania wkładu procentowego). Prace zostały opublikowane w latach 2019-2023, a więc stosunkowo niedawno i w dość krótkim okresie.

Łączna wartość parametrów naukowych wskazanego cyklu publikacji to: współczynnik IF = 82,1 i 1340 pkt MEiN, czyli średnio ok. 11,7 i 190 pkt. MEiN na publikację, co świadczy o wysokiej randze czasopism, w których habilitant publikował swoje wyniki. Wspomniane prace były cytowane już ponad 200 razy (Scopus), co świadczy o dużej rozpoznawalności prac habilitanta na arenie międzynarodowej.



W prezentowanym przez habilitanta cyklu artykułów naukowych skupia się on na badaniach właściwości dwóch różnych układów spinowych – kryształów dwuwymiarowych dichalkogenków metali przejściowych (ang. TMD) oraz systemów sztucznego lodu spinowego (ang. ASI), wykorzystując niekonwencjonalne techniki eksperymentalne prowadzone w ekstremalnych warunkach. Badał właściwości optoelektroniczne materiałów TMD oraz dwuwymiarowych gazów ładunków w tych materiałach w ekstremalnych polach magnetycznych rzędu 100 T. Ponadto wykorzystał technikę optycznej spektroskopii szumów do badań właściwości systemów ASI.

W pracy [1] habilitant badał ewolucję stanów ekscytonowych (stanów podstawowych i wzbudzonych) obserwowanych w widmach absorpcyjnych dla kilku związków z rodziny TMD –  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{MoTe}_2$  i  $\text{WS}_2$ , dzięki zastosowaniu spektroskopii absorpcyjnej w wysokich polach magnetycznych. Badania te umożliwiły bezpośredni eksperymentalny pomiar efektywnych (zredukowanych) mas ekscytonów i ich właściwości dielektrycznych. Określono również energie wiązania ekscytonów, promienie ekscytonów i przerwy wzbronione cząstek. Niespodziewanie wykazano, że zmierzone masy ekscytonów są większe niż przewidywano teoretycznie, szczególnie dla monowarstw zawierających molibden. Wyniki te eksperymentalnie potwierdzają wcześniej oczekiwane zwiększenie masy ekscytonów i większe odległości ekranowania dielektrycznego wraz ze wzrostem masy atomowej chalcogenu (od S przez Se do Te), a także gdy atom metalu staje się lżejszy (od W do Mo). Praca [1] dostarcza ilościowych parametrów dla racjonalnego projektowania optoelektronicznych heterostruktur van der Waalsa zawierających półprzewodniki 2D.

W pracy [2] habilitant zastosował niestandardowe narzędzie – spektroskopię szumu optycznego – do zbadania właściwości dynamicznych ekscytonów dolinowych w monowarstwie  $\text{WSe}_2$ . Wykorzystując ich specyficzne reguły wyborów optycznej, użyto optycznej rotacji Faradaya do pasywnego wykrywania termodynamicznych fluktuacji polaryzacji doliny. Ten spontaniczny "szum dolinowy" ujawnił długą i wykładniczo zanikającą wewnętrzną relaksację dolinową (rzędu pół milisekundy). Co więcej, sygnatury szumu potwierdzają zarówno czasy relaksacji, jak i zależność widmową konwencjonalnych (perturbacyjnych) pomiarów typu pompa-sonda. Wyniki tej pracy mogą wskazać drogę do ilościowych pomiarów wewnętrznej dynamiki doliny, wolnej od zewnętrznych zaburzeń, pompowania lub wzbudzenia.

Praca [3] stanowi kontynuację badań zapoczątkowanych w pracy [1], gdzie wykorzystano zmierzone w [1] masy nośników oraz możliwość ich lokalizacji w dwuwymiarowym materiale ( $\text{WSe}_2$ ) do zbadania oddziaływań elektron-elektron. W pracy pokazano, że dolinowy efekt Zeemana dziur może być kontrolowany w szerokim zakresie poprzez zmianę gęstości nośników. Wykorzystano ten fakt do kontroli nad dopasowaniem poziomów Landaua w dolinach  $K$  i  $K'$  względem siebie i pokazano, że może to prowadzić do niestabilności dwuwymiarowego gazu elektronowego. Może to w pewnych warunkach prowadzić to do spontanicznej polaryzacji dolinowej, podobnie jak to jest obserwowane w przypadku przejścia do stanu ferromagnetycznego w kwantowym efekcie Halla w klasycznych półprzewodnikach. Wyniki pracy to potwierdzenie kluczowej roli oddziaływań elektron-elektron w materiałach dwuwymiarowych TMD.



W pracy [4] habilitant opisuje wyniki badań termicznych fluktuacji namagnesowania dwuwymiarowego systemu spinowego – ASI, o sieci kwadratowej, przy użyciu opracowanego zestawu narzędzi optycznych opartych na spektroskopii szumów. Główny rezultatem pracy jest pokazanie, że w określonych obszarach magnetycznego diagramu fazowego, dwuwymiarowy system spinowy posiada właściwości plazmy o dużej gęstości mobilnych monopoli magnetycznych. W pracy wyjaśniono możliwe powody obecności tego zjawiska, podpierając się dodatkowo szczegółowymi obliczeniami Monte Carlo. Przedstawione rezultaty mogą umożliwić dalsze badania egzotycznych reżimów monopoli magnetycznych w sztucznych materiałach 2D.

Praca [5] również jest kontynuacją badań raportowanych w pracy [1] ale tym razem skupia się na roli wielociałowych korelacji w gazie elektronowym w monowarstwie  $WSe_2$ . Dzięki zastosowaniu silnych pól magnetycznych zaobserwowano wypełnianie i opróżnianie przez gaz elektronowy najniższego optycznie aktywnego poziomu Landaua w dolinie  $K'$  pod wpływem zmiany wartości pola magnetycznego. Co ciekawe, eksperyment pokazał również, że procesowi zmiany obsadzenia towarzyszą również zmiany energii i siły oscylatora przejść optycznych do wyżej leżących poziomów Landaua. Doprowadziło to do wniosku, że rezonans  $X'$  jest stanem, który może być opisany nie tylko jako optycznie wzbudzona para elektron-dziura, ale także obejmuje elektrony o różnym spinie w tej samej i przeciwległej dolinie.

W pracy [6] habilitant przedstawia wyniki dalszych badań dotyczących systemów ASI o sieci kwadratowej i kwadrupolowej. Przy użyciu spektroskopii szumów namagnesowania zaobserwowano stabilne fazy w polu magnetycznym oraz obszary silnie zdegenerowane, co pozwoliło na rekonstrukcję diagramów fazowych zależnych od pola i pokazanie uprządkowań magnetycznych oraz przejść fazowych dla badanego systemu. Badania te habilitant wsparł symulacjami Monte Carlo, które w pracy odegrały znaczącą rolę i szczegółowo opisane są w pracy [7].

Podsumowując, przedstawiony przez dr Gorycę cykl prac pokazuje szereg nowych wyników, które wnoszą istotne argumenty do zrozumienia nowych zjawisk związanych właściwościami optycznymi i elektronicznymi dwuwymiarowych systemów spinowych. Aby to było możliwe habilitant zaproponował nowe podejście eksperymentalne – połączenie silnego pola magnetycznego z nieperturbacyjną optyczną spektroskopią szumu. Umożliwiło to wyznaczenie podstawowych optycznych parametrów wybranych materiałów 2D, zbadanie dynamiki spinowej dwuwymiarowych systemów oraz odkrycie kolektywnych zachowań spinowych w tych systemach. Uważam, że osiągnięcia habilitanta stanowią zauważalny i znaczący wkład w rozwój badań materiałów i systemów dwuwymiarowych, a wyniki prezentowanych prac są wystarczająco wartościowe aby udowodnić samodzielność naukową dra Mateusza Gorycy. Stwierdzam zatem, że warunek zawarty w ust. 2 pkt. 1 art. 219 stosownej ustawy jest spełniony i pozytywnie oceniam cykl publikacji będących podstawą osiągnięcia w postępowaniu habilitacyjnym.



### Dane naukometryczne

Całkowity dorobek publikacyjny habilitanta w momencie złożenia wniosku obejmuje 90 publikacji (włączając w to 7 publikacji przedstawionych w osiągnięciu), z czego aż 42 zostało opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora a pozostałe 48 po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych. Habilitant był zatem bardzo aktywny publikacyjnie przez cały dotychczasowy okres swojej kariery. Łączny współczynnik wpływu (Impact Factor, IF) wszystkich artykułów wynosi 382,8, w tym 296,9 po uzyskaniu stopnia doktora (wg. autoreferatu), co pokazuje, że już jako doktor nauk fizycznych habilitant publikował w czasopiśmie o znacznie wyższej randze. Według autoreferatu łączna liczba cytowań wszystkich artykułów to 1415 (bez autocytowań 1142), na podstawie bazy Scopus. Na dzień sporządzania recenzji, łączne cytowania to 1484 a index Hirsh'a wynosi 19 (Scopus). Dane naukometryczne dla cyklu publikacji przedstawionego jako osiągnięcie (łącznie IF = 82,1; cytowania ponad 200) stanowią istotną część całego dorobku publikacyjnego. Należy jednak zwrócić uwagę, że w niewielu z tych prac habilitant jest pierwszym autorem. Niemniej jednak w całości uważam, że aktywność publikacyjna habilitanta jest wysoce zadowalająca.

### Udział w konferencjach naukowych

Habilitant wygłosił 15 referatów zaproszonych i 16 referatów zgłoszonych na międzynarodowych konferencjach naukowych, po uzyskaniu stopnia doktora, oraz 4 referaty zaproszone i 12 zgłoszonych - przed uzyskaniem stopnia.

### Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych

Habilitant jest aktywnym członkiem American Physical Society (od 2017 r.). Był również członkiem SPIE, the International society for optics and photonics (w latach 2009-2010).

### Staż i wizyty naukowe

Przed uzyskaniem stopnia doktora habilitant odbył serię wyjazdów do Grenoble (Francja) do GHMFL. Były to łącznie 4 pobyty, w sumie 16 miesięcy w ramach realizowanej pracy doktorskiej. Wcześniej odbył jeszcze dwie krótkoterminowe wizyty naukowe w Grenoble w GHMFL oraz na Uniwersytecie J-F. Po uzyskaniu stopnia doktora habilitant realizował prace naukową jako postdoc w Los Alamos National Lab. (USA). Staż podoktorski trwał 3 lata. Ponadto w 2013 roku dożył krótki staż w CNRS (Grenoble).

### Udział w pracach badawczych finansowanych ze źródeł zewnętrznych

Habilitant obecnie jest kierownikiem dwóch projektów badawczych – program POLS (NCN) oraz Polskie Powroty (NAWA). Po uzyskaniu stopnia doktora brał udział w realizacji 6 projektów, w tym w jednym był kierownikiem (Sonata, NCN). Pozostałe projekty uzyskały finansowanie z NCN oraz jeden z nich ERC Advanced Grant, w których był wykonawcą. Przed uzyskaniem stopnia doktora brał udział w 7 projektach (NCN, KBN, MNiSW), w tym w dwóch z nich był kierownikiem. Habilitant wykazuje bardzo wysoką aktywność projektową.



### Recenzowanie prac naukowych

Habilitant po uzyskaniu stopnia doktora był recenzentem szeregu prestiżowych czasopism naukowych o randze międzynarodowej, m.in.: PRL, PRB, Nano Letters, ACS Nano, APL.

### Opieka nad studentami i doktorantami

Habilitant jest aktualnie promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej realizowanej na Wydziale Fizyki UW. Był promotorem pomocniczym w pracy doktorskiej obronionej w 2018r. Był również promotorem 4 prac dyplomowych.


### Istotna aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni

Istotna aktywność naukowa dr Gorycy realizowana w więcej niż jednej uczelni przejawia się poprzez: (i) publikowanie we współpracy z wieloma ośrodkami na świecie w czasopismach o wysokiej renomie, (ii) realizację pracy badawczej w ośrodkach naukowych we Francji i w Stanach Zjednoczonych Ameryki, (iii) realizowanie projektów we współpracy z partnerami z zagranicy, (iv) wygłaszanie referatów zaproszonych na międzynarodowych konferencjach. Powyższe przesłanki sprawiają iż kryterium ujęte w ust. 3 pkt.1 art. 219 ustawy, o której mowa wyżej w podstawie prawnej jest spełnione.

### Podsumowanie

Na podstawie przedłożonej mi dokumentacji stwierdzam, że dr Mateusz Goryca: (i) posiada tytuł doktora nauk fizycznych, (ii) jest współautorem cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnym stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny, (iii) wykazał się istotną aktywnością naukową na poziomie międzynarodowym. W związku z powyższym stwierdzam, że dr Mateusz Goryca spełnia kryteria art. 219 ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku. Na tej podstawie jednoznacznie **pozytywnie** oceniam kandydaturę dr Mateusza Gorycy w procesie ubiegania się o stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie nauki fizyczne w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych. Ponadto, biorąc pod uwagę znaczenie jego badań dotyczących nowych zjawisk związanych właściwościami optycznymi i elektronicznymi materiałów dwuwymiarowych oraz stworzenie i zastosowanie niekonwencjonalnych narzędzi badawczych, a szczególności eksperymentalne zmierzenie mas efektywnych ekscytonów w wybranych monowarstwach dichalogenków metali przejściowych, **wnioskuje o wyróżnienie** osiągnięcia stanowiącego podstawę nadania stopnia.

Mariusz ZDROJEK



ul. Koszykowa 75  
00-662 Warszawa  
tel. +48 (22) 234 72 67  
fax: +48 (22) 628 21 71  
dziekan@if.pw.edu.pl  
fizyka.pw.edu.pl