



UNIwersytet Warszawski

Prof. dr. hab. Andrzej Wysmołek

Wydział Fizyki

ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa

e-mail: Andrzej.Wysmolek@fuw.edu.pl

Warszawa, 9 września 2019

Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Joanny JadczaK Ocena osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej

Dr Joanna JadczaK ukończyła studia na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej w roku 2008, gdzie w roku 2012 uzyskała stopień doktora nauk fizycznych na podstawie rozprawy doktorskiej pt. „Badania magnetoptyczne naładowanych ekscytonów w dwuwymiarowych strukturach półprzewodnikowych”. Praca została uhonorowana wyróżnieniem. Opiekunem pracy magisterskiej, jak też promotorem pracy doktorskiej był dr hab. Leszek Bryja. Bardzo dobra ocena działalności naukowej oraz dydaktycznej umożliwiły dr Joannie JadczaK zatrudnienie w roku 2012 na stanowisku asystenta w Instytucie Fizyki Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. Stanowisko to obejmowała do roku 2015, kiedy uzyskała stanowisko adiunkta w Katedrze Fizyki Doświadczalnej Wydziału Podstawowych Problemów Techniki, również na Politechnice Wrocławskiej. Stanowisko to zajmuje do dziś.

Dr Joanna JadczaK przedstawiła jako osiągnięcie naukowe będące podstawą do uzyskania stopnia doktora habilitowanego „jednotematyczny cykl publikacji” składający się z sześciu prac oznaczonych [H1-H6], dotyczący „badań fundamentalnych własności fizycznych monowarstw dichalkogenków metali przejściowych” pod tytułem: „Natura kompleksów ekscytonowych i dynamika sieci w dwuwymiarowych kryształach dichalkogenków metali przejściowych”. Na cykl ten składa się 6 prac opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych. Spełnia to wymagania wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym, który mówi o „cyklu publikacji powiązanych tematycznie”.

Z oświadczeń współautorów wynika, że ich wkład w powyższe prace miał charakter pomocniczy. W przypadku studentów i doktorantów wkład ten polegał głównie na udziale w pomiarach, wstępnej charakteryzacji oraz w przygotowaniu próbek do badań. Badanie te inicjowała i prowadziła dr Joanna JadczaK. W przypadku współautorów będących

doświadczonymi naukowcami była to dyskusja wyników, pomoc w przygotowaniu manuskryptów. Jako pomocniczą można też uznać rolę prof. P. Hawrylaka, który opracował model teoretyczny badanych doświadczalnie zjawisk w przypadku publikacji [H1]. W przypadku prof. Ying-Sheng Huanga uzyskanie oświadczenia było niemożliwe ze względu na jego śmierć. Należy jednak zauważyć, że w pracach H1-H4 z jego współautorstwem dr Joanna Jadczak jest pierwszym autorem. Podsumowując, w mojej opinii w cyklu publikacji stanowiącym rozprawę habilitacyjną dr Joanna Jadczak ma wiodącą rolę – bez zaplanowanych i wykonanych przez nią eksperymentów prace te nie powstałyby.

Cykl 6 prac oznaczony jako [H1-H6] obejmuje artykuły w Nature Communications (publikacja 2019, IF 12.353), Scientific Reports (publikacja 2019, IF 4.122), Solid State Communications (publikacja 2018, IF 1.549), Acta Phys. Polon. (publikacja 2017, IF 0.857) Phys Rev. B. (2017, IF 3.836) oraz Nanotechnology (2017, IF 3.404). Mimo tego, że prace te opublikowane zostały w ostatnich dwóch latach, były cytowane już 36 razy, przy czym praca H6 uzyskała 19 cytowań, a praca H5 była już cytowana 12 razy. W mojej opinii oznacza to, że zostały one zauważone przez środowisko naukowe. Jestem przekonany, że jest tylko kwestią czasu by najnowsze artykuły z cyklu habilitacyjnego, w szczególności praca [H1], również uzyskały znaczącą liczbę cytowań, gdyż dotyczą bardzo interesujących wyników z zakresu spektroskopii kryształów 2D. Cały cykl oceniam jako znaczące osiągnięcie naukowe dr Joanny Jadczak, spełniające wymagania ustawowe do uzyskania stopnia doktora habilitowanego. Dotyczy on bardzo interesujących zagadnień związanych z badaniami właściwości monowarstw dichalkogenków metali przejściowych takich jak: MoS₂, MoSe₂, WS₂, WSe₂ oraz ReS₂. Jest to tematyka, zainicjowana przez badania grafenu, która wzbudziła w ostatnich latach wielkie zainteresowanie na świecie ze względu na unikatowe właściwości atomowocienkich warstw tych materiałów oraz możliwych zastosowań, np. do konstrukcji nanostruktur warstwowych nazywanych często NanoLego. Wykorzystując słabe wiązania van der Waalsa można budować nanostruktury złożone z atomowocienkich warstw kryształów 2D o różnych funkcjonalnościach, stanowiących centralny element nano-tranzystorów, detektorów, nano-emiterów światła. To bardzo obiecująca dziedzina badań w kontekście zastosowań w elastycznej elektronice i optoelektronice, jak również w fotowoltaice.

W badaniach, stanowiących podstawę do cyklu prac [H1-H6], zastosowane zostały szeroko zakrojone, zaawansowane badania wykorzystujące różne metody optyczne (fotoluminescencję, pobudzenie fotoluminescencji, odbicie światła w obszarze ekscytonowym oraz spektroskopię ramanowską). Zastosowano szerokie spektrum warunków w których przeprowadzane były eksperymenty – między innymi zmieniano temperaturę w zakresie 7-300 K, wykorzystano światło spolaryzowane, wykorzystywano zewnętrzne pole magnetyczne. Większość badań składających się na monotematyczny cykl nie mogłoby być

wykonana bez opanowania techniki eksfoliacji pojedynczych warstw kryształów 2D z materiałów objętościowych i ich enkapsulacji z wykorzystaniem warstw heksagonalnego azotku boru. To warta podkreślenia zasługa dr Joanny Jadczak. Równie cenne z punktu widzenia badanych materiałów było wykorzystanie kryształów mieszanych $\text{Mo}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_2$ uzyskanych w ramach współpracy z National Taiwan University of Science and Technology.

W mojej opinii najbardziej interesujące wyniki składające się na cykl prac są zawarte w pracy [H1], pt. „Room temperature multi-phonon upconversion photoluminescence in monolayer semiconductor WS_2 ”. Zademonstrowano w niej, że silne sprzężenie ekscyton-fonon w monowarstwie WS_2 prowadzi do bardzo efektywnego procesu, w którym energia unoszona przez foton emitowany z próbki jest wyższa niż energia fotonu pobudzającego o energię pochłoniętą z drgań sieci krystalicznej (fononów). Wykazano, że zysk energii w jednym akcie oddziaływania może osiągać aż 150 meV i przypisano go procesom wielofononowym z udziałem rezonansowych wzbudzeń ekscytonowych. To osiągnięcie jest bardzo obiecujące z punktu widzenia zastosowania laserowego chłodzenia nanostruktur opartych o kryształy 2D.

Praca [H2] stanowi przykład bardzo interesujących, zaawansowanych eksperymentalnie, badań anizotropii stanów ekscytonowych w ReS_2 , począwszy od kryształu objętościowego na pojedynczej warstwie skończywszy. Określono w niej energie stanu podstawowego oraz kilku stanów wzbudzonych ekscytonów. Jest to wartościowy wynik.

Praca [H3] jest przykładem zaawansowanych badań rezonansowej spektroskopii ramanowskiej do badania oddziaływania elektron-fonon w MoS_2 . Uzyskane wyniki sugerują, że energia modu „b”, którą zidentyfikowano jako efekt procesu rozpraszania drugiego rzędu z udziałem fononów LA i TA z punktu K strefy Brillouina dla monowarstwy MoS_2 , silnie zależy od koncentracji swobodnych nośników. Jest to bardzo interesujący wynik, który może stanowić punkt wyjścia do dalszych badań.

Prace [H4, H5] dotyczą bardzo badań cienkich warstw kryształów mieszanych $\text{Mo}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_2$. Wykazano w nich, że silny wzrost intensywności emisji związanej z trionem względem ekscytonu neutralnego, jest związany ze zwiększeniem siły oddziaływania ekscyton-trion mediowanego poprzez fonony optyczne, których energia zależy od zawartości siarki w badanych kryształach. To interesujący i wartościowy wynik.

Praca [H6] dotyczy badań swobodnych i zlokalizowanych stanów ekscytonowych w monowarstwach WSe_2 , WS_2 , MoSe_2 oraz MoS_2 . Są to interesujące badania porównawcze, które dostarczyły cennych informacji o energiach wiązania, stopniu lokalizacji oraz konfiguracji spinowo-dolinowej nośników w różnych kompleksach ekscytonowych. Pozwoliły one na identyfikację różnych kompleksów ekscytonowych i są wartościowym wkładem w rozwój badań dichalkogenków metali przejściowych, który może zostać wykorzystany w przyszłych badaniach tych materiałów.

Podsumowując, cykl prac [H1-H6] stanowiący rozprawę habilitacyjną dokumentuje ważne osiągnięcie naukowe dr Joanny Jadczak.

Należy zauważyć, że wyniki badań związanych z pracami [H1-H6] były prezentowane na szeregu międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Wśród tych prezentacji były trzy referaty zaproszone. Za najważniejszy z nich uznałbym referat pt. „Free and localized excitonic complexes in atomically thin transition metal dichalcogenides” wygłoszony na „Jaszowiec” International School and Conference on the Physics of Semiconductors, w Szczyrku w roku 2017. W sumie dr Joanna Jadczak wygłosiła 13 referatów na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Warte zauważenia jest też wystąpienie z referatem zaproszonym na Seminarium Fizyki Ciała Stałego, na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w r. 2017 oraz tegoroczne wystąpienia ustne na konferencji „Jaszowiec” International School and Conference on the Physics of Semiconductors, w Szczyrku, które spotkało się z bardzo dobrym przyjęciem.

Oceniając cały dorobek naukowo badawczy można stwierdzić, że zgodnie z danymi z bazy Web of Science dr Joanna Jadczak jest współautorem 30 prac, które były już cytowane 219 razy (186 bez autocytowań). Jej indeks Hirscha wynosi 8 i jestem przekonany, że po ostatnich publikacjach szybko wzrośnie. Jest to dobry wynik świadczący o już ugruntowanej pozycji naukowej.

Jeśli chodzi o działalność dydaktyczną, dr Joanna Jadczak prowadziła w swojej karierze akademickiej ćwiczenia, laboratoria i wykłady z zakresu fizyki ciała stałego na Politechnice Wrocławskiej. Były to między innymi zajęcia w języku angielskim dla studentów kierunku Nanoengineering. Dr Joanna Jadczak, wspólnie z dr. hab. Leszkiem Bryją, przygotowała materiały w formie elektronicznej do wykładu Theory of Condensed Matter. Na szczególne podkreślenie zasługuje uruchomienie Laboratorium Fizyki Ciała Stałego i prowadzenie zajęć dla studentów kierunku Fizyka Techniczna, współprowadzonego przez Wydział Podstawowych Problemów Techniki i Wydział Chemiczny Politechniki Wrocławskiej.

Dr Joanna Jadczak bardzo aktywnie angażuje się w opiekę naukową nad studentami, czego wyrazem jest 13 prac inżynierskich wykonanych pod jej opieką od roku 2014/2015 do roku 2018/2019 oraz pięciu prac magisterskich wykonanych w latach 2015-2016. Dodatkowo opiekowała się studentami w ramach indywidualnych prac w grupach badawczych na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej oraz studentami i doktorantami na National Taiwan University of Science and Technology, w czasie swojego stażu podoktorskiego na Tajwanie.

Na podkreślenie zasługuje fakt opieki w charakterze promotora pomocniczego nad mgr Joanną Kutrowską-Girzycką oraz mgr. Piotrem Kapuścińskim, którzy w swoich badaniach zajmują się właściwościami struktur złożonych z cienkich warstw kryształów dichalkogenków

metali przejściowych oraz heterostruktur uzyskanych z wykorzystaniem eksfoliacji. Te osiągnięcia dydaktyczne oceniam jako znaczące i ważne dla wychowywania młodej kadry.

Dr Joanna Jadczak aktywnie włącza się w działalność popularyzatorską, między innymi w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki (edycje 2012, 2016, 2017), w ramach którego prezentowała wykłady pt. „Pole magnetyczne wokół nas” oraz „Dwuwymiarowe kryształy półprzewodnikowe o grubości pojedynczych warstw atomowych”. Wygłosiła również wykład na Fizyczno-Optycznej Konferencji FOKA 2016 w Szklarskiej Porębie.

W swojej karierze naukowej dr Joanna Jadczak odbyła 2 półroczne staże naukowe: w Laboratoire National des Champs Magnetiques Intenses, Centre National de la Recherche Scientifique, w Tuluzie we Francji (w roku 2014) oraz w Department of Electronic and Computer Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, w Tajpej na Tajwanie. Pierwszy z tych staży zaowocował bardzo dobrą publikacją pt. "Unintentional High-Density p-type Modulation Doping of a GaAs/AlAs Core-Multishell Nanowire", opublikowaną w czasopiśmie Nano Letters w roku 2014, której jest pierwszym autorem. Praca ta była już cytowana 33 razy. Szczególnie ważny z punktu widzenia kariery dr Joanny Jadczak wydaje się staż na Tajwanie w roku 2014, gdzie rozpoczęła współpracę z prof. Ying-Sheng Huang'iem w zakresie syntezy monokryształów dichalkogenków metali przejściowych z wykorzystaniem metody CVT (Chemical Vapor Transport). Pierwszym wymiernym efektem stażu była praca pt. "Three-fold rotational defects in two-dimensional transition metal dichalcogenides", opublikowana w czasopiśmie Nature Communications, w roku 2015. Praca ta była cytowana dotychczas już 79 razy. Od dużej liczby cytowań ważniejsze jednak wydaje się to, że dzięki współpracy z National Taiwan University of Science and Technology dr Joanna Jadczak podjęła nowe wyzwania badawcze związane z pojedynczymi warstwami dichalkogenków metali przejściowych. Duże znaczenie dla jej kariery naukowej miały również krótkie staże naukowe w National High Magnetic Field Laboratory w Grenoble (2008, 2009, 2011), związane z badaniami podejmowanymi w ramach przygotowania rozprawy doktorskiej, krótkie pobyty w Department of Electronic and Computer Engineering, National Taiwan University of Science and Technology (2018) oraz wielokrotne pobyty w Technische Universität Dortmund, które zaowocowały projektem w ramach programu Beethoven, pt. „Badania spinu i pseudospinu stanów ciemnych i jasnych ekscytonów z energiami kontrolowanymi poprzez zmianę składu w dwuwymiarowych stopach $\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{Se}_2$ ”, finansowanego w kwocie 559 600 zł, ze środków NCN w latach 2018-2021, którego jest kierownikiem. Pozyskanie tego projektu wraz z dr. Jörgiem Debussem z Technische Universität Dortmund świadczy o jej dużej samodzielności naukowej, umiejętności nawiązywania międzynarodowych kontaktów naukowych i pozyskiwania środków na badania.

Dr Joanna Jadczak brała udział, jako wykonawca, w czterech projektach naukowych poświęconych badaniu półprzewodnikowych układów niskowymiarowych. Dwa z nich (kierowane przez dr. hab. Leszka Bryję) dotyczyły badań dichalkogenków metali przejściowych, a jeden z nich (MAESTRO, kierowany przez prof. dr. hab. inż. Arkadiusza Wójcisa) dotyczy efektów topologicznych w zaawansowanych strukturach niskowymiarowych i zakończy się w roku 2020. Świadczy to dobrze o jej aktywności badawczej i ciągłym dążeniu do poszerzania swych horyzontów naukowych. Nie dziwi więc fakt, że za swoją działalność naukową dr Joanna Jadczak uzyskała w latach 2013 oraz 2017 Nagrodę JM Rektora Politechniki Wrocławskiej, a w roku 2015 stypendium „START” dla młodych naukowców.

Podsumowując moją opinię, chciałbym jeszcze raz podkreślić, że zaprezentowana przez dr Joannę Jadczak rozprawa habilitacyjna w pełni spełnia wymagania ustawowe konieczne do uzyskania stopnia doktora habilitowanego. Jednocześnie wysoko oceniam jej pozostałe osiągnięcia naukowo badawcze, które świadczą o jej samodzielności i dojrzałości naukowej. Jej dorobek dydaktyczny i popularyzacyjny jest w mojej opinii znaczący. Całość osiągnięć uzasadnia wniosek o nadanie jej stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka. Dlatego wnoszę o dopuszczenie dr Joanny Jadczak do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

