

Warszawa 5.06.2017

prof. dr hab. Andrzej Wysmołek  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski  
ul. Pasteura 5  
02-093 Warszawa  
e-mail: Andrzej.Wysmolek@fuw.edu.pl

## Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Wojciecha Pacuskiego

### Ocena osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej

Doktor Wojciech Pacuski ukończył uzyskał stopień magistra nauk fizycznych w zakresie fizyki, w zakresie fizyki ciała stałego, na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w roku 2003. Jego praca magisterska dotyczyła magnetospektroskopii domieszkowanych studni kwantowych (Cd,Mn)Te. W wyniku badań prowadzonych w ramach magisterskiej powstały trzy prace opublikowane w renomowanych czasopismach (Phys. Rev. Letters, Phys. Rev. B, Physica E), w których oprócz pomiarów magnetoptycznych dr Wojciech Pacuski wykonywał symulacje (metodą *kp*) pasma walencyjnego w badanych strukturach. Studia doktoranckie odbywał na Uniwersytecie Warszawskim oraz Université Joseph Fourier (aktualnie Université Grenoble Alpes) w ramach programu cotutelle. Ukończył je w roku 2007 uzyskując stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki. Tytuł jego rozprawy doktorskiej brzmi: „Spektroskopia optyczna szerokoprzerwowych półprzewodników półmagnetycznych na bazie ZnO i GaN”. Rozprawa została wyróżniona. Efektem badań w ramach prowadzonych studiów doktoranckich jest 10 prac w renomowanych czasopismach specjalistycznych (jedna w Phys. Rev. Lett. , 6 prac w Phys. Rev B, 2 prace w Solid State Communications). To bardzo dobry wynik dla młodego naukowca rozpoczynającego karierę naukową. Szczególnie ważne dla dalszego rozwoju kariery jest to, że dr Wojciech Pacuski nie ograniczał swoich zainteresowań do badań spektroskopowych i podjął nowe wyzwanie, jakim jest technologia wzrostu półprzewodnikowych struktur kwantowych. Od roku 2009, po odbyciu 20-miesięcznego stażu podoktorskiego na Uniwersytecie w Bremie (Niemcy), dr Wojciech Pacuski rozpoczął pracę na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego, Instytutu Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, którą kontynuuje do dziś. To dzięki niemu na Wydziale Fizyki UW zostało uruchomione laboratorium wzrostu nanostruktur metodą epitaksji z wiązek molekularnych (MBE). Stanowi ono podstawę dla szeregu projektów naukowych realizowanych na Wydziale Fizyki UW.

Dr Wojciech Pacuski przedstawił jako osiągnięcie naukowe będące podstawą do uzyskania stopnia doktora habilitowanego monotematyczny cykl publikacji w czasopismach o międzynarodowym zasięgu

pod tytułem: "Zaprojektowanie, wytworzenie i zbadanie metodami optycznymi układów mikrownek i struktur kwantowych zawierających jony magnetyczne". Na cykl ten składa się 9 prac opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych. Z deklaracji współautorów wynika, że w większości ich współudział dotyczył pomiarów nanostruktur wyhodowanych przez dra Wojciecha Pacuskiego, dyskusji naukowych, pomocy w redakcji manuskryptów prac oraz kierowania projektami, z których finansowane były badania. Badania te w mojej opinii nie byłyby jednak możliwe bez nowatorskich pomysłów technologicznych obejmujących zaprojektowanie oraz wytworzenie nowych układów mikrownek oraz nanostruktur zawierających jony magnetyczne. Wydaje się więc, że zaproponowany przez dra Wojciecha Pacuskiego procentowy udział w poszczególnych pracach jest zaniżony i nie odzwierciedla jego kluczowej roli w tych badaniach.

Cykl 9 prac oznaczonych jako [H1-H9] stanowiący osiągnięcie habilitacyjne składa się z dwóch podstawowych elementów: a) zaprojektowania i wytworzenia nowatorskich struktur półprzewodnikowych, b) badań spektroskopowych, które doprowadziły do bardzo interesujących odkryć.

Ad. a) Podjęte przez dra Wojciecha Pacuskiego działania w zakresie rozwoju technologii nanostruktur stanowią wzorcowy przykład rozwoju wiedzy i umiejętności silnie zmotywowanego, otwartego na nowe pomysły naukowca. W mojej opinii przełomowym elementem dla całego dorobku dra Pacuskiego było zaprojektowanie i wytworzenie dopasowanych sieciowo do ZnTe zwierciadeł Bragga, wykorzystujących odpowiednio zaprojektowane supersieci (stopy cyfrowe). Odpowiednia kompozycja dwuskładnikowych warstw pozwala uzyskać pożądaną stałą sieci (poprzez sterowanie grubościami warstw MgSe oraz MgTe) oraz sterować przerwą energetyczną - poprzez dobór grubości warstwy ZnTe. Uzyskana w ten sposób struktura może mieć współczynnik załamania niższy od ZnTe nawet o 20% i jest odporna na degradację w powietrzu [H1]. Podobne rozwiązanie zostało zastosowane w przypadku zwierciadeł Bragga o stałej sieci MgTe [H7]. Zaproponowane przez dra Wojciecha Pacuskiego rozwiązanie zostało opatentowane. Oprócz wykorzystania supersieci, wynalezionych przez Habilitanta, jako materiału o niskim współczynniku załamania, znajdują one zastosowanie jako bariera dla kropek kwantowych CdTe.

Mając opracowany system zwierciadeł Bragga dopasowanych do ZnTe dr Wojciech Pacuski podjął się opracowania struktur umożliwiających umieszczenie w mikrownece kropek kwantowych z pojedynczym jonem manganu [H2, H3, H4, H5, H9]. Godnym podkreślenia jest fakt, że realizacja tego pomysłu odniosła sukces dzięki współpracy pomiędzy uniwersytetem w Bremie oraz Instytutem Fizyki Polskiej Akademii nauk, gdzie została wyhodowana część wnęki oraz kropki kwantowe CdTe/ZnTe. Dzięki takim zabiegom udało się wytworzyć struktury kwantowe, umożliwiające rezonansowe badania spektroskopowe kropek kwantowych z pojedynczymi jonami manganu. Układy sprzężone takich kropek z pojedynczymi jonami, oprócz interesującego obiektu badań podstawowych dają w przyszłości nadzieję na konstrukcję kubitów dla komputerów kwantowych. Uzyskana wiedza i umiejętności pozwoliły Habilitantowi na kontynuację badań zapoczątkowanych w Bremie na Uniwersytecie Warszawskim. Zaowocowało to wytworzeniem różnorodnych mikrownek z kropkami kwantowymi CdTe z pojedynczymi jonami manganu, kobaltu i żelaza. W pełni zgadzam się z dr. Wojciechem Pacuskim, że zaprojektowane i wyhodowane przez niego struktury „*pozwoły na osiągnięcie wysokiej kontroli nad właściwościami domieszek, struktur kwantowych i fotonicznych.*” Nie ulega też wątpliwości, że dr Wojciech Pacuski ma

bardzo duży wkład w poszerzenie zrozumienia problemów technologicznych „wynikających ze specyfiki stosowanych materiałów i struktur”, mających kluczowe znaczenie dla rozwoju tematyki mikrownęk, w szczególności zawierających kropki kwantowe z pojedynczymi jonami magnetycznymi.

Ad b)

Wysoka jakość nanostruktur uzyskanych przez dr Wojciecha Pacuskiego wynika również z faktu, iż wykorzystał on umiejętność samodzielnego przeprowadzenia i interpretacji wyników pomiarów spektroskopowych. Pozwoliło mu to uzyskać kluczowe informacje z punktu widzenia postawionych celów technologicznych. Połączenie umiejętności technologicznych i wiedzy z zakresu spektroskopii półprzewodników umożliwiło wytworzenie struktur, których badania dostarczyły szeregu bardzo interesujących, nowych rezultatów. Podobnie jak Habilitant, zaliczyłbym do nich:

- wykazanie znikomego wpływu na wygaszanie luminescencji ekscytonowej przez pojedyncze jony magnetyczne w kropkach kwantowych, zbadanie anizotropii jonu  $\text{Co}^{2+}$  wywołanego naprężeniem oraz wydłużenie czasu relaksacji pojedynczego jonu magnetycznego w materiałach o słabym oddziaływaniu spin-orbita [H4],
- eksperymentalne zaprezentowanie metody optycznej orientacji spinu jonów magnetycznych w kropkach kwantowych CdSe/ZnSe [H6, H8],
- uzyskanie laserowania polarytonowego w mikrownękach ze studniami kwantowymi domieszkowanymi jonami magnetycznymi [H7],
- efektywna modyfikacja własności magnetycznych jonów  $\text{Fe}^{2+}$  poprzez naprężenie [H8].

Przedstawione osiągnięcie habilitacyjne ma, w mojej opinii, duże znaczenie dla rozwoju technologii półprzewodnikowych nanostruktur kwantowych i fotonicznych. Prace dra Wojciecha Pacuskiego otworzyły nowe możliwości wytwarzania i badania kropek kwantowych z pojedynczymi jonami magnetycznymi, czego dowodem jest wykorzystanie jego wyników przez inne grupy badawcze na świecie.

Prace wchodzące w skład cyklu [H1-H9] zostały opublikowane w latach 2009-2016 w renomowanych czasopismach takich jak Nature Communications (2), Nanotechnology (1), Phys. Rev. B (1), Appl. Phys. Letters (2), Journal of Applied Physics (1), Journal of Crystal Growth & Design (1). Jedna z prac została opublikowana w materiałach konferencyjnych (recenzowanych). Były one cytowane już w sumie ponad 120 razy. To bardzo dobry wynik pokazujący, że cykl prac [H1-H9] stanowiący rozprawę habilitacyjną dra Wojciecha Pacuskiego dokumentuje ważne w skali światowej osiągnięcie naukowe.

Należy zauważyć, że wyniki badań związanych z pracami [H1-H9] były prezentowane przez dra Wojciecha Pacuskiego na kilkudziesięciu konferencjach międzynarodowych i krajowych. Zwykle na jednej konferencji prezentowanych było kilka prac z jego współautorstwem, co świadczy o jego znaczeniu dla środowiska fizyki półprzewodników. Dr Wojciech Pacuski wygłosił 10 referatów zaproszonych i miał 16 wystąpień ustnych na konferencjach międzynarodowych oraz 7 wystąpień na konferencjach krajowych. Za najważniejsze z wystąpień, nawiązujących do habilitacji, uważam referat plenarny pt. „Individual ions of transition metals in II-VI quantum dots and photonic structures”, wygłoszony na 17th International Conference on II-VI Compounds, Paryż, 2015, będącej jedną z ważniejszych konferencji półprzewodnikowych na świecie. Świadczy to o wysokiej pozycji dra Wojciecha Pacuskiego w międzynarodowym środowisku naukowym.

Oceniając cały dorobek naukowo badawczy dra Wojciecha Pacuskiego można stwierdzić, że zgodnie z danymi z bazy Web of Science jest on współautorem 69 prac o łącznej liczbie cytowań 589 (374 bez autocytowań). Na uwagę zasługuje też współautorstwo w patencie "Bragg mirror with superlattice for compensation of lattice mismatch" (Europejskie zgłoszenie patentowe numer EP 2211431 A1 w r. 2009). Jego prace zostały zacytowane w 325 artykułach (273 bez autocytowań), a jego indeks Hirscha wynosi 13. Jest to bardzo dobry wynik na tym etapie kariery naukowej.

O pozycji naukowej dra Wojciecha Pacuskiego w środowisku naukowym świadczy szeroka współpraca z krajowymi (np. Instytut Fizyki PAN) oraz wieloma zagranicznymi ośrodkami naukowymi takimi jak: Universität Bremen, Université Grenoble Alpes, Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses Grenoble, CNRS - CRHEA Valbonne, Université de Versailles, Institut des Nanosciences de Paris/Université Paris VI et VII), Universität Leipzig, Johannes Kepler University Linz. Rozpoznawalność w międzynarodowym środowisku naukowym potwierdza między innymi wybór do komitetu programowego „The International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Montpellier 2016”.

Dr Wojciech Pacuski prowadził w swojej karierze akademickiej różnorodne zajęcia dydaktyczne: pokazy do wykładów, ćwiczenia rachunkowe, laboratoria z zakresu fizyki ogólnej, fizyki ciała stałego i optyki oraz pracownie komputerowe. Opiekował się studentami w ramach pracowni indywidualnych. Pod jego opieką, na Wydziale Fizyki UW, prace dyplomowe przygotowało 5 magistrantów oraz 5 licencjatów. Wszyscy oni rozwijają swoje kariery naukowe – jeden z wychowanków jest na studiach doktoranckich na MIT (USA).

Dr Wojciech Pacuski jest promotorem pomocniczym dwóch doktorantów. Obaj doktoranci są na końcowym etapie procedury doktorskiej (zdali wymagane egzaminy) i powinni obronić swoje prace we wrześniu 2017 r.

Dr Wojciech Pacuski aktywnie włączała się w działalność popularyzatorską. Udziela wywiadów radiowych i przygotowuje notatki prasowe o swoich artykułach opublikowanych w prestiżowych czasopismach (np. Nature Communications), które po przetłumaczeniu na wiele języków uzyskały zasięg globalny. Dr Wojciech Pacuski angażuje się w akcje popularyzatorskie takie jak Zapytaj Fizyka oraz Piknik Naukowy PR i CNK Kopernik. Prezentuje uczniom laboratoria w ramach imprez popularyzujących naukę (Dni Otwarte Wydziału Fizyki, Festiwal Nauki, itp.). Wygłosił wykład na zakończeniu Olimpiady Fizycznej w roku 2014. Dwukrotnie prowadził zajęcia dla gimnazjalistów w ramach europejskiego programu edukacyjnego „The IRRESISTIBLE” (Including Responsible Research and innovation in cutting Edge Science and Inquiry-based Science education to improve Teacher's Ability of Bridging Learning Environments). Był zaangażowany w organizację ogólnopolskiego konkursu „Poszukiwanie Talentów”.

W swojej karierze naukowej dr Wojciech Pacuski odbył jeden długoterminowy staż podoktorski (20 miesięcy na Uniwersytecie w Bremie). Warto też zwrócić uwagę na to, że w trakcie studiów doktoranckich przez 15 miesięcy przebywał na Université Joseph Fourier (aktualnie Université Grenoble Alpes). Pobyty zagraniczne, szczególnie na Uniwersytecie w Bremie, zaowocowały przeniesieniem na grunt polski szeregu nowych idei badawczych, a w szczególności technologicznych. Było również one kluczowe dla rozwoju laboratorium MBE na Uniwersytecie Warszawskim.

Dr Wojciech Pacuski był zaangażowany w 8 projektów badawczych. Był kierownikiem trzech zakończonych projektów naukowych: „Nanostruktury półprzewodnikowe do badania sprzężenia nośnik-jon magnetyczny w warunkach ekstremalnych”, w latach 2010-2011 w ramach programu „Iuventus Plus” finansowanego przez MNiSW, projektu „Mikrownęki dla żółtej optoelektroniki”, w latach 2011- 2014, finansowanego ze środków NCBiR w ramach programu LIDER oraz projektu "Wytworzenie i badania spektroskopowe nowej klasy kropek kwantowych CdTe/(Cd,Mg)Te", (2015-2017) finansowanego przez MNiSW. Aktualnie jest kierownikiem projektu pt. „Struktury półprzewodnikowe do modyfikowania konfiguracji spinowej pojedynczych domieszek metali przejściowych i do koherentnej manipulacji pojedynczym spinem" (2016-2021), uzyskanego w ramach programu Sonata-Bis ze środków NCN (projekt został zakwalifikowany na liście rankingowej jako najlepszy w naukach ścisłych wśród projektów Sonata-Bis składanych w danej edycji).

Dr Wojciech Pacuski jest koordynatorem na Wydziale Fizyki Programu „Centrum Badań Przedklinicznych i Technologii (CePT)”, finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR) oraz środków budżetowych (całkowity budżet ponad 388 mln zł). Z programu sfinansowano kilkanaście urzędzeń badawczych za łączną sumę ok. 15 mln PLN. Właściwy projekt trwał w latach 2007– 2013, obecnie projekt jest w pięcioletniej fazie sprawozdawczości.

Habilitant uczestniczył też aktywnie w projekcie Narodowe Laboratorium Technologii Kwantowych (całkowity budżet ponad 47 mln. zł, finansowany w ramach POIG 2007-2013). W ramach tego projektu zorganizował warsztaty i współrealizował zakupy aparatury naukowej, wykorzystywanej aktualnie w badaniach prowadzonych na Wydziale Fizyki UW.

Zarówno kierowanie projektami jak też rola wykonawcy w wielu projektach badawczych świadczy to dużej samodzielności naukowej i dojrzałości naukowej habilitanta. Za swoją działalność naukową dr Wojciech Pacuski, po uzyskaniu stopnia doktora, uzyskał szereg nagród, między innymi:

- Stypendium MNiSW dla młodych wybitnych naukowców (2012),
- Nagroda Indywidualna III stopnia Rektora Uniwersytetu Warszawskiego, *za rozwijanie magnetoptycznych badań półprzewodników półmagnetycznych z szeroką przerwą energetyczną* (2012),
- Nagroda Indywidualna I stopnia Rektora Uniwersytetu Warszawskiego (2014),
- Nagroda imienia Rektora Stefana Pieńskowskiego (Nagroda Dziekana Wydziału Fizyki) za *„Osiągnięcia w wytwarzaniu i badaniach optycznych nanostruktur półprzewodnikowych – mikrowęnek optycznych i kropek kwantowych z jonami magnetycznymi”* (2016).

W mojej opinii, zaprezentowana przez dr. Wojciecha Pacuskiego rozprawa habilitacyjna z nadmiarem spełnia wymagania ustawowe konieczne do uzyskania stopnia doktora habilitowanego. Jednocześnie wysoko oceniam jego pozostałe osiągnięcia naukowo badawcze, które świadczą o dużej dojrzałości i samodzielności naukowej Habilitanta. Jego dorobek dydaktyczny i popularyzacyjny jest znaczący. Wszystkie te elementy w pełni uzasadniają wniosek o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka. Dlatego wnoszę o dopuszczenie dra Wojciecha Pacuskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.