

Prof. Dr hab. inż. Artur Podhorodecki  
Katedra Fizyki Doświadczalnej, WPPT,  
Politechnika Wrocławska

Wrocław 28.12.2021

## **Recenzja dorobku naukowego dr Karoliny Słowik w postępowaniu habilitacyjnym**

Pani doktor Karolina Słowik uzyskała stopień naukowy magistra fizyki w 2008 na *Uniwersytecie Mikołaja Kopernika* w Toruniu (UMK) broniąc pracę pt: *Zatrzymywanie i uwalnianie fotonów w kontrolowanym optycznie ośrodku gazowym w konfiguracji energetycznej "trójnoga"*. Rozprawę doktorską obroniła również na UMK w roku 2012 i rozprawa ta dotyczyła tematu: *Bramki logiczne dla światła rozchodzącego się i zatrzymanego w ośrodku atomów o konfiguracji trójnoga*.

Po uzyskaniu stopnia doktora (w latach 2012-2015), Pani doktor Karolina Słowik zatrudniona była na stanowisku badacza w jednostce zagranicznej *Friedrich-Schiller Universität*, Jena, Niemcy w grupie Prof. Falka Lederera, gdzie rozpoczęła badania nad nową tematyką, stanowiącą treść przedłożonej do oceny habilitacji. Badania te kontynuowała w *Karlsruhe Institute of Technology* w Niemczech, pod opieką prof. Carstena Rockstuhla, a następnie będąc już na UMK we współpracy z grupą z Karlsruhe.

W okresie po doktoracie (tj. 2013 - 2021) wyniki pracy badawczej Pani doktor Słowik zostały opublikowane w 27 czasopismach naukowych (całkowita liczba publikacji cytowana przez bazę Scopus to 32), z czego jedynie nieznaczna ich część (tj. 9 publikacji) stanowi przedmiot niniejszej rozprawy habilitacyjnej. Wszystkie prace są to publikacje w prestiżowych czasopismach takich jak *Nature Photonics* z 2016, (148 cytowań), *Physical Review B* z 2013 (45 cytowań, KS jako pierwszy autor) czy *Nature Communication* z 2019 (12 cytowań, KS jako jedyny autor korespondencyjny), *Physical Review A*, *Scientific Reports*. Prace Pani doktor Słowik cytowane były do tej pory 321 razy (bez autocytowań – za bazą Scopus), co przekłada się na indeks *Hirsha* = 9. Bazując jedynie na danych bibliograficznych, można stwierdzić, że tematyka jaką zajmuje się Pani doktor jest interesująca dla międzynarodowego środowiska naukowego, a jakość

prezentowanych wyników jest bardzo wysoka i była już wielokrotnie oceniana przez światowych ekspertów w dziedzinie. O istotności oraz aktualności badań prowadzonych przez Panią doktor Słowik świadczą także zaproszenia jakie otrzymała do wygłoszenia 4 referatów na konferencjach międzynarodowych oraz akceptacja jej zgłoszeń do referowania swojej pracy na 14 innych konferencjach. Cztery zaproszone wykłady to już liczba świadcząca, że nie tylko badania prowadzone przez habilitantkę są dostrzegane przez środowisko i są istotne, ale że potrafi ona także w sposób prosty i interesujący je prezentować, co uważam za istotne z punktu widzenia oceny możliwości dalszego rozwoju kariery habilitantki – zarówno badawczej jak i dydaktycznej.

Pani doktor Słowik wykazała się także umiejętnością pozyskiwania dodatkowego finansowania na swoje badania, co uważam za kluczowe dla skutecznego budowania własnego zespołu badawczego i jego przetrwania. W okresie po doktoracie, pozyskała i kierowała 4 projektami badawczymi tj. SONATA 14, NCN; BEETHOVEN 2, NCN; HOMING, FNP oraz DAAD, MNiSW. W ramach realizacji tych projektów udało się habilitantce zbudować zespół składający się z młodych naukowców, co również świadczy o jej dużych zdolnościach interpersonalnych.

To co imponuje w dorobku Pani doktor Słowik to rozmach jej międzynarodowej współpracy oraz doświadczenie naukowe zdobyte poza macierzystą jednostką (*Scuola Normale Superiore* w Pizie, *Karlsruhe Institute of Technology*, *Friedrich Schiller Universität* w Jenie, *Donostia International Physics Center*, San Sebastian, Hiszpania; *Norwegian University of Science and Technology*, Trondheim, Norwegia; *Uniwersytet Jagielloński*).

Spośród wszystkich swoich publikacji, habilitantka przedstawiła do oceny cykl **9 wybranych** prac wpisujący się w tematykę osiągnięcia naukowego pt: *Zastosowanie nanoanten do kontroli oddziaływań układów atomowych ze światłem w nanoskali*, autoreferat oraz załączniki obejmujące wskazane do oceny artykuły.

**Głównym celem badań przedłożonych do oceny było** uogólnienie wybranych elementów teorii układów atomowych, oddziałujących ze światłem we wnękach rezonansowych, na przypadek ich nanoskopowych odpowiedników - nanoanten. Kluczową rolę w tego rodzaju procesach odgrywają wzbudzenia zwane polarytonami plazmonowymi oraz ich oddziaływania z układami kwantowymi, stąd też tematyka badań Pani Dr Karoliny Słowik skupia się wokół zagadnień związanych z *plazmoniką kwantową*.



W pierwszej części autoreferatu, Dr Słowik w bardzo przejrzysty i przystępny sposób przedstawia teoretyczne podstawy podejmowanej przez siebie tematyki, co świadczy o bardzo dobrym *przepracowaniu* i zrozumieniu tematyki jaką się zajmuje. W części tej zabrakło mi jedynie podsumowania obecnego stanu wiedzy w zakresie podejmowanej przez habilitantkę tematyki badawczej tj.: co zostało już zrobione, czego nadal nie rozumiemy, co jest tematem najnowszych prac w dziedzinie, co należy zrobić i dlaczego, ze wskazaniem tych obszarów, w których habilitantka wnosi swój największy wkład i z uzasadnieniem dlaczego właśnie te obszary wzbudziły jej szczególnie zainteresowanie i poświęciła im ostatnie lata swojego życia. Na ile te wybory naukowe były własnymi świadomymi decyzjami, a na ile wynikiem zbiegu okoliczności lub decyzji mentorów. Niektóre z tych wątków pojawiają się wprawdzie fragmentarycznie w dalszej części pracy, niemniej jednak zwarta dyskusja na powyższe tematy pozwoliłaby lepiej zrozumieć motywacje habilitantki przy wyborze kolejnych tematów badawczych oraz lepiej ocenić wagę uzyskanych przez habilitantkę wyników. Brak tej dyskusji nie ma jednak wpływu na moją merytoryczną ocenę rozprawy. Uważam jednak, że tego rodzaju dyskusja powinna zawierać się w tego rodzaju opracowaniu mającym na celu ocenę samodzielności i dojrzałości naukowej kandydata, dlatego pozwalam sobie na ten komentarz.

W drugiej części autoreferatu, autorka opisuje otrzymane przez nią wyniki opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych (np. *Nature Communications*, *Physical Review B*, *Scientific Reports*). Wielo-autorski charakter prac nie budzi wątpliwości recenzenta, a przyjęta przez autorkę strategia dt. kolejności autorów jest w pełni zrozumiała.

Wyniki przedstawione w załączonych pracach można umownie podzielić na dotyczące (a) problemu osiągnięcia warunków silnego sprzężenia, (b) źródeł nieklasycznego światła, (c) problemu sterowania stanem kwantowym układu, oraz (d) problemu poprawek wykraczających poza przybliżenie elektryczne dipolowe w opisie oddziaływania.

Praca [H6] związana jest z badaniami w kierunku osiągnięcia **silnego sprzężenia** w otoczeniu nanoanten. Sama praca jest bardzo obszerna (12 stron wraz z załącznikami) i porusza wiele ciekawych zagadnień. Na podstawie otrzymanych wyników, zidentyfikowano warunki geometryczne, sprzyjające osiągnięciu reżimu silnego sprzężenia. Prace o podobnej tematyce istniały wcześniej, jednak nowością zaproponowaną przez habilitantkę w tym zakresie było



zbadanie układu z dwoma centrami atomowymi, a nie jak do tej pory z jednym. Za szczególnie ciekawe uznać można podanie w tej pracy kryterium pozwalającego na rozstrzygnięcie zasadności stosowalności do opisu takiego układu hybrydowego formalizmu kwantowo-mechanicznego względem opisu półklasycznego. W pracy tej zbadano dynamikę i widma układu w różnych warunkach i pokazano, że dla słabych pól pompujących adekwatny jest opis półklasyczny, nawet w warunkach silnego sprzężenia. Za bardzo ciekawy poznawczo uważam także nieoczywisty wynik pokazujący zależność pomiędzy intensywnością sprzężenia, a wydajnością samej nanoanteny. Za bardzo wartościowy uważam także fakt, że w pracy tej (jak i większości pozostałych prac habilitantki) widać intencję aby otrzymane wyniki obliczeń oraz wnioski wynikające z dość skomplikowanej teorii, przełożyć na zrozumiałe i proste instrukcje, pozwalające na wykorzystanie wyników teoretycznych obliczeń habilitantki w eksperymencie czy nawet w konstrukcji urządzenia tak, aby ostatecznie poddać je weryfikacji.

**Prace [H4, H5, H8]** dotyczyły zagadnienia **generacja światła nieklasycznego** przez nanoskalowe źródła. W pracy [H4] zaproponowano źródło pojedynczych fotonów oparte na pompowanym optycznie układzie dwupoziomowym. W mojej ocenie, najbardziej wartościowym wnioskiem z tej pracy było dostrzeżenie balansu (*trade-off*) pomiędzy wydajnością emisji, a nieklasycznym charakterem światła, wyrażonym poprzez funkcję korelacji drugiego rzędu. W pracy tej znaleziono także rozwiązania analityczne stacjonarnego równania Heisenberga w przybliżeniu fali wirującej i Markowa, co również zasługuje na podkreślenie. W artykule [H5] zbadano trójpoziomowy układ atomowy typu lambda, oddziałujący z polem wokół anteny dwu-modowej. Wnioski z tej pracy mają również ciekawe implikacje praktyczne. Zbadano bowiem zastosowanie takiego układu jako źródła pojedynczych fotonów, w którym emisja z jednego z przejść byłaby wyzwalana "na żądanie", po oświetleniu układu impulsem dostrojonym do drugiego przejścia. W pracy [H8] zaproponowano wykorzystanie dwu-modowego charakteru nanoanteny do generacji splątania. W artykule zbadano szczegółowo jasność emisji i stopień splątania emitowanego światła w funkcji parametrów anteny. Praca ta zawiera ciekawą i wartościową dyskusję nt. jak dyssypacja energii, zwykle postrzegana jako element niepożądany, może zostać wykorzystana w sposób konstruktywny: nanoantena pełni w układzie rolę aktywnego "źródła" splątania.

**Praca [H7]** dotyczyła zagadnienia **sterowanie właściwościami światła i układów atomowych**. W pracy zbadano nanoantennę, której widmo rozpraszania różniło się jakościowo przy wzbudzeniu



z pola dalekiego falą płaską i przy wzbudzeniu źródłem dipolowym, umieszczonym w polu bliskim. W tym drugim wypadku zaobserwowano także istnienie dodatkowego modu ciemnego.

W **pracy H1** zbadano wzbudzaną falą płaską antenę jednomodową, której rozproszone pole bliskie oddziaływało z parą układów atomowych. W pracy zbadano warunki stosowalności przybliżenia adiabaticznego, wyprowadzono efektywny obraz, który zanalizowano dodatkowo w wygodnej interpretacyjnie bazie Dickego.

Kolejnym aspektem badań, składających się na osiągnięcie habilitacyjne, było wyjście poza przybliżenie elektryczne dipolowe w opisie oddziaływania światła z materią w otoczeniu nanoanten. W tym celu habilitantka przyjęła podejście oparte na rozwinięciu multipolowym [H3, H2, H9]. W pracy [H3] opisano praktyczną metodę obliczania wpływu obecności zadanej nanoanteny na współczynnik emisji spontanicznej, w oparciu o wyniki symulacji rozwiązań równań Maxwella. Wypracowano metody obliczenia współczynnika emisji spontanicznej w sytuacji współistniejących multipolowych mechanizmów oddziaływania. Za bardzo interesujące i wartościowe uważam znalezienie w takim układzie warunków dla interferencji destruktywnej, w których współczynnik emisji spontanicznej ulega zmniejszeniu lub nawet całkowitemu wygaszeniu.

Kolejna praca [H9] zawiera uogólnienie opisu z pracy [H2] na przypadek z zewnętrznym polem laserowym, którego obecność pozwala uzyskać splątanie między układami kwantowymi w mechanizmie znanym już z artykułu [H1]. W pracy tej pokazano, że ze względu na różne znaki członów interferencyjnych w obecności oddziałujących z polem dipoli elektrycznych i magnetycznych, można spodziewać się asymetrii przestrzennej wyników.

Warto także podkreślić, że habilitantka w trakcie swojej pracy po doktoracie zajmowała się także innymi tematami badawczymi poszukując ciekawych tematów na kolejne lata. W okresie tym, zajmowała się także tematyką związaną z **fotonicznymi układami scalonymi** współpracując z prof. Wolframa Pernice'a z *Karlsruhe Institute of Technology* w Niemczech, z dr Norą Tischler z *Uniwersytetu w Griffiths* (Australia), z grupą dr. Norshamsuriego Ali z *Uniwersytetu w Perlis* (Malezja) oraz z dr. Piotrem Kolenderskim z UMK. Badania te, mimo że nie wchodzą w skład rozprawy, są szczególnie ciekawe dla recenzenta i istotne dla rozwoju współczesnej technologii. Współpraca ta ma dla recenzenta także istotne znaczenie bowiem pokazuje umiejętność i chęć

współpracy habilitantki z eksperymentem czy wręcz z zespołami pracującymi nad praktycznym wykorzystaniem plazmoniki kwantowej.

Pozostałe aktywności badawcze Pani doktor Słowik po doktoracie także imponują rozmachem jeśli chodzi o współprace międzynarodowe, świadcząc o jej wysokiej umiejętności pracy w zespole i umiejętności przekonywania do współpracy najwybitniejszych badaczy w kraju i za granicą, w tym także eksperymentatorów. Pozostałe badania Pani Słowik dotyczyły m.in. **Plazmonika w płatkach grafenowych** (współpraca z prof. Carstenem Rockstuhlem, z prof. Andresem Ayuelą z Donostia International Physics Center i Centro de Fisica de Materiales w San Sebastian w Hiszpanii, z prof. Garnettem Bryantem z National Institute for Standards and Technology/University of Maryland Joint Quantum Institute), **Plazmonowo wzmocniona spektroskopia ramanowska** (we współpracy z dr Karoliną Milenko (Sintef, Oslo), dr. Tobiasa Herr (lidera Ultrafast Microphotonics Group w Center for Free-Electron Laser Science, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg) i dr. Piotra Masłowskiego (UMK), **Oddziaływanie światła z układami polarnymi** (we współpracy z prof. Szymonem Pustelnym z Uniwersytetu Jagiellońskiego, z grupą prof. Saveria Pascazio z Uniwersytetu Aldo Moro w Bari we Włoszech).

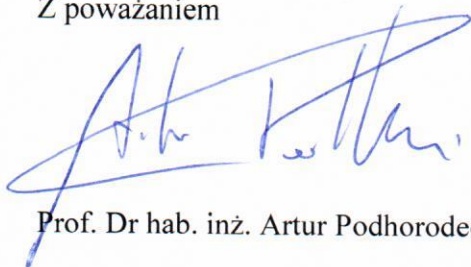
## Wnioski

Biorąc pod uwagę wyżej przedstawione do oceny:

- monotematyczny cykl publikacji o wspólnym tytule: *Zastosowanie nanoanten do kontroli oddziaływań układów atomowych ze światłem w nanoskali*,
- dorobek naukowy,
- działalność dydaktyczną oraz organizacyjną,

stwierdzam, iż w mojej ocenie Pani Dr Karolina Słowik spełnia ustawowe wymogi stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego art. 219 ust. 1 pkt. 2 oraz pkt. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.). Wniosuję zatem o dopuszczenie Pani Dr Karoliny Słowik do dalszych etapów zmierzających do nadania jej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Z poważaniem



Prof. Dr hab. inż. Artur Podhorodecki