

Warszawa, 30.12.2021 r.  
Prof. dr hab. Marek Trippenbach  
Instytut Fizyki Teoretycznej  
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
Ul. Pasteura 5  
00-290 Warszawa

**Ocena osiągnięć naukowych dr Karoliny Marii Słowik w związku  
postępowaniem habilitacyjnym prowadzonym w Instytucie Fizyki  
Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu w oparciu o osiągnięcie  
zatytułowane: „*Zastosowanie nanoanten do kontroli oddziaływań układów  
atomowych ze światłem w nanoskali*”.**

Dr Karolina Słowik otrzymała stopień doktora nauk fizycznych w 2012 r na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu broniąc rozprawę doktorską *Bramki logiczne dla światła rozchodzącego się i zatrzymanego w ośrodku atomów o konfiguracji trójnoga* (promotor: prof. dr hab. Andrzej Raczyński) a 2008 r. , oraz w tej samej jednostce tytuł magistra fizyki za pracę magisterską *Zatrzymywanie i uwalnianie fotonów w kontrolowanym optycznie ośrodku gazowym w konfiguracji energetycznej "trójnoga"*, napisaną również pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Raczyńskiego. Po otrzymaniu stopnia doktora w latach 2012-2015 przebywała na stażu naukowym w Friedrich-Schiller Universität w Jenie oraz w Karlsruhe Institute of Technology. Od stycznia 2016 r. jest zatrudniona jako adiunkt naukowo-dydaktyczny na Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (WFAiIS UMK). Należy dodać, że kandydatka przebywała na urlopie macierzyńskim od stycznia 2014 do lutego 2015 r. W chwili obecnej jej wskaźniki naukowo-metryczne są następujące: Indeks Hirscha: 8, całkowita liczba cytowań przekracza 300, a całkowita liczba cytowań bez autocytowań: ponad 270 (Web of Science). Te parametry nie są imponujące, ale moim zdaniem, są akceptowalne i traktuję je wyłącznie jako informacje pomocnicze. Nie widać w nich na przykład, że kandydatka opublikowała prace w Physical Review X czy Nature Photonics. Pani dr Karolina Słowik jest znana i poważana w środowisku naukowym, jest zapraszana często do wygłaszania referatów na seminariach i konferencjach naukowych (5 referatów zaproszonych oraz 16 referatów i kilkanaście plakatów na międzynarodowych konferencjach to jest już znaczący dorobek), a to dobitnie świadczy o jej pozycji naukowej, a tego się nie da wyrazić w prosty sposób naukowo-metryczny.

Ocena osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego: *Zastosowanie nanoanten do kontroli oddziaływań układów atomowych ze światłem w nanoskali*

Osiągnięciem naukowym, które pani dr Karolina Słowik przedstawiła we wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego, jest jedno-tematyczny cykl publikacji pt. „*Zastosowanie nanoanten do kontroli oddziaływań układów atomowych ze światłem w nanoskali*”. Składa się on z 9 artykułów w czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym, znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports*, jak wynika z załączonych oświadczeń wkład habilitantki był bardzo istotny. Są to prace opublikowane w *Physical Review B*, *Optics Letters*, *Nature Photonics* oraz *Scientific Reports*. Prace przedstawiają wyniki teoretycznych stanowiących uogólnienie wybranych elementów teorii układów atomowych, oddziałujących ze światłem we wnękach rezonansowych, na przypadek ich nanoskopowych odpowiedników – nanoanten, a tematyka i metody badawcze zawierają się w obszarze zainteresowań tzw. plazmoniki kwantowej, której zasadniczą motywacją jest przeniesienie eksperymentów kwantowo-optycznych z układów makroskopowych na mikroskopowe układy scalone, a w konsekwencji miniaturyzacji opartych na nich urządzeń optycznych.

Zanim przejdę do bardziej dokładnego opisu dokonania (wolę to słowo niż osiągnięcie) habilitacyjnego, mam przyjemność stwierdzić, że opis zawarty w autoreferacie jest bardzo przejrzysty i ma duże walory edukacyjne. Można by się z niego nauczyć optyki kwantowej wnęk rezonansowych i podstaw plazmoniki. Osiągnięcie habilitacyjne dotyczy opisu oddziaływania fal elektromagnetycznych ze strukturami kwantowymi w obecności nano-elementów plazmonicznych. W szczególności autorka w cyklu prac przeznaczonych do oceny, przedstawiła kolejno zagadnienia: warunków osiągnięcia silnego sprzężenia, źródeł nieklasycznego światła, problemu sterowania stanem kwantowym układu, oraz poprawek wyższego rzędu do oddziaływania, wykraczających poza standardowe przybliżenie elektryczne dipolowe. Wszystkie te cele zostały zrealizowane we współpracy z grupą badawczą dr Carlstena Rockstuhla. Jak pisze sama autorka: „Obliczenia związane z charakteryzacją nanoanten opierają się o rozwiązanie klasycznego problemu rozpraszania i były wykonywane przez współautorów, przede wszystkim studentów Jakoba Straubela i Roberta Filtera. Sposób przetłumaczenia ich wyników na parametry równania master został wypracowany wspólnie i jest owocem dyskusji. Obliczenia analityczne i numeryczne, dotyczące dynamiki układów hybrydowych - z atomami i skwantowanym polem elektromagnetycznym, były wykonane przeze mnie bądź pod moją opieką”. Jeśli chodzi o warunki silnego sprzężenia układów atomowych z polem wokół Nano-anten to są one opisane w pracy H6, która dotyczy dynamiki i widma układu w różnych warunkach i pokazano, że dla słabych pól pompujących adekwatny jest opis półklasyczny, nawet w warunkach silnego sprzężenia. Określono warunki geometryczne, sprzyjające osiągnięciu reżimu silnego sprzężenia. W pracach H4, H5, H8 rozważono zagadnienie generacji światła nieklasycznego przez nano-skalowe źródła. Generacja stanów światła o nieklasycznych właściwościach statystycznych wynika z obecności układu atomowego, który, dzięki swej kwantowej naturze, emituje fotony pojedynczo. Stwierdzono, że antena nie tylko wzmacnia emisję, ale też pozwala na generację światła w dwóch modach i uzyskanie splątania. Zagadnienie sterowania własnościami emitowanego światła omówiono w pracach H7 i H1. Mowa w nich o tzw. modach jasnych i ciemnych, przy czym te drugie są interesujące ze względu na długi czas życia, ale ich wadą jest to, że trudno je wzbudzić. W kolejnych pracach przedyskutowano wyjście poza przybliżenie dipolowe w oddziaływaniu ze strukturą kwantową, np. atomem. Przybliżenie dipolowe jest podstawowym przybliżeniem w fizyce atomowej, ale działa tylko wtedy, gdy skala zmienności pola fali jest duża w porównaniu z rozmiarami obiektu kwantowego (zwykle atomu). Jednak w przypadku Nano-anten on sytuacji, w których silna lokalizacja energii elektromagnetycznej powoduje szybkie zmiany przestrzenne pola należy to przybliżenie zrewidować. Naturalnym sposobem poradzenia sobie z tym problemem jest

zastosowanie (obliczenie i uwzględnienie) wyższych wyrazów rozwinięcia multipolowego. Tak też postąpiono w pracach H3, H2, H9, gdzie uwzględniono trzy wiodące wyrazy w hamiltonianie oddziaływania: elektryczny dipolowy, magnetyczny dipolowy i elektryczny kwadrupolowy. Z przeprowadzonych oszacowań rzędów wielkości wynika, że uwzględnione człony mogą znacząco, w sposób zarówno ilościowy jak i jakościowy, modyfikować wyniki. Jedną z najciekawszych konsekwencji obecności kilku porównywalnie silnych mechanizmów przejścia w hamiltonianie jest możliwość ich interferencji. Temu tematowi poświęcono pracę [H3], w której zbadano współczynnik emisji spontanicznej, skalujący się z kwadratem elementu przejścia, co otwiera możliwość interferencji składających się na niego mechanizmów. W pracy opisano praktyczną metodę obliczania wpływu obecności zadanej nano-anteny na współczynnik emisji spontanicznej. W kolejnych pracach [H2, H9] podano metodę umożliwiającą obliczenia współczynnika emisji spontanicznej do pewnego stopnia analityczne. Podejście bazuje na formalizmie elektromagnetycznej funkcji Greena. Wskazano na możliwość interferencji kanałów multipolowych oddziaływań, która w odpowiednich warunkach może prowadzić do redukcji stałej emisji spontanicznej poniżej wartości odpowiadającej naturalnej szerokości linii.

W podsumowaniu oceny osiągnięcia naukowego w postaci przedstawionego cyklu publikacji pt. **„Zastosowanie nanoanten do kontroli oddziaływań układów atomowych ze światłem w nanoskali”** należy stwierdzić, że mamy do czynienia z wysokiej klasy opracowaniami naukowymi, które nie tylko wpisują się w szeroki nurt badań w tym zakresie, dynamicznie prowadzonych w wielu laboratoriach na świecie, ale też znacznie poszerzają naszą wiedzę w zakresie tej tematyki i będą niewątpliwie bardzo przydatne dla naukowców zajmujących się teoretycznymi badaniami tych zjawisk, jak również dla eksperymentatorów, którzy w oparciu o gwałtowny postęp w dziedzinie plazmoniki, czego jesteśmy świadkami w ostatnich latach, pracują obecnie nad tworzeniem nowych optycznych układów scalonych z zastosowaniami do sensorów, w tym substancji szkodliwych, markerów chorób, ultra-czułej spektroskopii, mikroskopii, optoelektronice, czy fotowoltaice.

W dalszej części badań naukowych, nienależących już do osiągnięcia naukowego, pani dr Karoliny Słowik kontynuowała wątek badań oddziaływań układów atomowych ze światłem w nanoskali badała między innymi możliwość przestrajania odpowiedzi optycznej nanoanten przez ubrane optycznie ośrodki atomowe, których właściwości optyczne mogą być przestrajane za pomocą pola laserowego. Umożliwia to m.in. zmianę położenia spektralnego rezonansu plazmonowego metodą optyczną oraz kwantyzacji pola elektromagnetycznego z uwzględnieniem strat natury radiacyjnej. Autorka zajmowała się również badaniami odnoszącymi się do konkretnych realizacji doświadczalnych. W pierwszym przypadku był to eksperyment w Karlsruhe, gdzie badano statystyczne właściwości światła emitowanego przez nanorurki węglowe. W doświadczeniu typu Hanbury - Brown - Twiss potwierdzono jego nieklasyczny charakter. W drugim przypadku, we współpracy z dr Norą Tischler z Uniwersytetu w Griffiths w Australii, zaproponowano metodę implementacji dowolnych transformacji liniowych stanu kwantowego światła z wykorzystaniem prostych elementów optycznych. Warto też odnotować prace prowadzone z kolegą z WFAiIS UMK, dr Kolenderskim, dotyczących inżynierii falowodów fotonicznych do badań podstawowych, w tym analizy kwantowych sił bezwładności. W chwili obecnej habilitantka rozwija kilka kolejnych kierunków badań, w tym plazmonikę w domieszkowanych nośnikami ładunku płatkach grafenowych, który ma właściwości metaliczne, a więc można w nim wzbudzić rezonanse typu plazmonowego (projekt ten jest realizowany we współpracy z prof. Carstenem Rockstuhlem w ramach wspólnego grantu Beethoven 2 Narodowego Centrum Nauki i Deutsche Forschungsgemeinschaft). Kolejnymi

kierunkami badań są plazmonowo wzmacniana spektroskopia ramanowska (*surface enhanced Raman spectroscopy*, SERS) oraz oddziaływanie światła z układami polarnymi. Należy podkreślić, że dr Karolina Słowik prowadzi aktywną współpracę naukową, zarówno międzynarodową, jak i kolegami z Wydziału oraz innych jednostek naukowych i sukcesywnie buduje swój własny zespół naukowy, składający się ze „młodych, zdolnych i zmotywowanych osób”. Świadczy to o samodzielności oraz umiejętności kierowania zespołem i przyciągania i kształcenia nowych badaczy, a przecież tego właśnie oczekujemy od habilitantów i habilitantek!

Podsumowując ocenę całego dotychczasowego dorobku dr Karoliny Słowik można bez wątplenia stwierdzić, że jest on bardzo wartościowy i stanowi znaczący wkład w rozwój wiedzy w zakresie kwantowej elektrodynamiki i plazmoniki układów w skali nano. Habilitantka opublikowała w sumie około 40 artykułów w renomowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Wypracowana metodologia i wyniki wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego wpisują się w szeroki nurt badań w tym zakresie, dynamicznie prowadzonych na całym świecie. Stały się też inspiracją dla kolejnych projektów naukowych, które są aktualnie realizowane. Rozwój techniki laserowej oraz układów optycznych w ostatnich latach pozwala na planowanie w niedalekiej przyszłości budowy układów fizycznych, które umożliwią prowadzenie badań eksperymentalnych w zakresie fundamentalnych procesów elektrodynamiki kwantowej w silnych (lokalnie) polach. Teoretyczne badania tych procesów, które w naturalny sposób wyprzedzają planowane badania eksperymentalne, są dla nich niezbędne.

#### Ocena w zakresie dorobku dydaktycznego, popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej.

Działalność dydaktyczna dr Karoliny Słowik obejmuje zajęcia na WFAiIS UMK, w szczególności wykład i ćwiczenia przedmiotu *Quantum Optics 1, Pracownię fizyczną 1*, fragment wykładu ogólnouniwersyteckiego *Mechanika kwantowa dla nefizyków, Konwersatorium optyki kwantowej dla zaawansowanych studentów i doktorantów*, ćwiczenia z przedmiotów: *Analiza matematyczna 1, Algebra 2, Analiza matematyczna 2, Podstawy fizyki* (dla matematyków) oraz *Podstawy programowania*. Dodatkowo habilitantka aktywnie prowadziła ćwiczenia rachunkowe na Wydziale również przed otrzymaniem stopnia doktora, w tym z *Fizyki kwantowej, Algebry liniowej, Fizyki ogólnej* oraz *Matematyki elementarnej*. Brała aktywny udział w opracowaniu materiałów dydaktycznych, w tym z prof. Jarosławem Zarembą przygotowała skrypt do wykładu *Quantum Optics 1*. Obecnie jest promotorem pomocniczym w dwóch przewodach doktorskich oraz opiekunem pomocniczym w dwóch projektach w szkole doktorskiej nauk Ścisłych i Przyrodniczych Academia Scientiaris Thoruniensis, była promotorką 4 prac magisterskich. Od stycznia 2020 jest opiekunem oddziału studenckiego koła naukowego SPIE na UMK w Toruniu. Patrząc na aktywność dydaktyczną kandydatki stwierdzam z całą stanowczością, że spełnia ona w zupełności wymagania (w tym ustawowe) stawiane kandydatom i kandydatkom do stopnia **doktora habilitowanego**.

**Działalność popularyzatorska** kandydatki obejmuje wykłady i warsztaty dla Nauczycieli Nauk Przyrodniczych organizowanych przez Stowarzyszenie Wspólnota Polska, Toruńskiej Nocy, udział w licznych akcjach popularyzatorskich (m.in. akcje edukacyjne *Back to School, Lekcje Pokazowe z fizyki, Regionalne Koła Fizyczne, Matematyczne, Informatyczne*), współorganizowałam konkurs *Sztuka widzenia* na zabawkę dla dzieci słabo widzących, brała udział w programie popularnym *Trójwymiar* Polskiego Radia Trójka. Jest autorką kilku artykułów opublikowanych w czasopismach popularnonaukowych.

**Działalność organizacyjna** obejmuje koordynację programu letnich staży studenckich przy WFAiS UMK *The Toruń Astrophysics / Physics Summer Programme TAPS 2018*, przy czym należy dodać, że habilitantka przygotowała wniosek a następnie kierowała grantem *V4TAPS: Increasing V4 Student Mobility within the Toruń Astrophysics / Physics Summer Programme* w ramach konkursu na Granty Strategiczne Funduszu Wyszehradzkiego. Bierze aktywny udział w lokalnych pracach organizacyjnych na WFAiS UMK i jest w Komitecie organizacyjnym konferencji *QSCP 2020 – 25th International Workshop on Quantum Systems in Chemistry, Physics and Biology*. Kierowała 4 projektami badawczymi: HOMING, Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, DAAD, oraz Narodowe Centrum Nauki (BEETHOVEN oraz SONATA). Współpracę naukową z zagranicą dr Karolina Słowik prowadziła i prowadzi z czołowymi na świecie zespołami badawczymi w swojej dziedzinie, co miało niewątpliwie bardzo korzystny wpływ na jej rozwój naukowy. Należy tu wymienić między innymi: grupę prof. Carstena Rockstuhla, Karlsruhe Institute of Technology (Niemcy), prof. Andresa Ayuela z Donostia International Physics Center, San Sebastian (Hiszpania), dr Norę Tischler z Griffiths University, Brisbane, (Australia), dr. Tobiasa Herra z Center for Free-Electron Laser Science, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY (Niemcy) oraz dr Karolinę Milenkow z Instytut Sintef, Oslo, (Norwegia). Do tego dochodzą również współpracy krajowe z grupą profesora Szymona Pustelnego z Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz prof. Sylwii Zielińskiej – Raczyńskiej z Uniwersytetu im. Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Wszystkie te współpracy zaowocowały bardzo dobrymi publikacjami. Świadczy to niewątpliwie o talencie organizacyjnym dr Karoliny Słowik i stwarza nadzieję na przyszłość.

#### Podsumowanie i wniosek końcowy.

Podsumowując przedstawioną wyżej ocenę dorobku naukowo-badawczego, ocenę osiągnięcia naukowego w postaci jednotematycznego cyklu publikacji zatytułowanej „*Zastosowanie nanoanten do kontroli oddziaływań układów atomowych ze światłem w nanoskali*” oraz ocenę dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej Pani dr Karoliny Słowik w związku z postępowaniem habilitacyjnym prowadzonym przez Radę Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika stwierdzam, że jej dorobek wskazuje na znaczny wkład w rozwój fizyki w zakresie plazmoniki oraz dużą aktywność naukową, dydaktyczną oraz organizatorską habilitantki, a tym samym osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne wnioskodawczynie spełniają kryteria określone w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz są w pełni wystarczające do nadania jej stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie Nauki Fizyczne. Nie mogę się powstrzymać także od podkreślenia, że materiały do tej habilitacji zostały przygotowane w sposób wzorowy, są bardzo przejrzyste, zrozumiałe i „naukowo eleganckie”. Miałem przyjemność poznać habilitantkę osobiście na licznych zjazdach i konferencjach, widziałem jak odbiera ją środowisko naukowe i mam o niej i jej przyszłej karierze naukowej jak najlepsze zdanie.