

# Recenzja osiągnięć naukowych **dr Davida Ziemkiewicza** w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne

*Niniejszą recenzję wykonano w odpowiedzi na uchwałę Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne UMK w Toruniu z dn. 11.10.2023 oraz na podstawie przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, zwanej dalej Ustawą (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.). Recenzję sporządzono w oparciu o dokumentację załączoną do wniosku z dnia 31 maja 2023 r. o przeprowadzeniu postępowania, który kandydat do stopnia doktora habilitowanego, zwany dalej Kandydatem, złożył za pośrednictwem Rady Doskonałości Naukowej.*

## **Sylwetka Kandydata**

Dr David Ziemkiewicz od początku swojej kariery naukowej jest związany z Wydziałem Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Bydgoskiej. W 2013 roku uzyskał stopień inżyniera na tymże wydziale, a opiekunem pracy inżynierskiej była prof. dr hab. Sylwia Zielińska-Raczyńska. W 2014 roku uzyskał stopień magistra na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, a opiekunem pracy magisterskiej był dr hab. Piotr Peplowski, pod okiem którego realizował temat *Symulacja numeryczna metamateriałów o ujemnym współczynniku załamania*. Rozprawę doktorską zatytułowaną *Zjawiska falowe w ośrodkach o ujemnym współczynniku załamania* obronił w 2018 roku na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, a promotorem rozprawy doktorskiej była prof. dr hab. Sylwia Zielińska-Raczyńska. W latach 2014 - 2018 był zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Matematyki i Fizyki Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Bydgoskiej. W 2018 roku awansował na stanowisko adiunkta na tym samym wydziale, gdzie pracuje do chwili obecnej. W trakcie swojej kariery naukowej był siedmiokrotnie nagradzany przez Rektora Politechniki Bydgoskiej za osiągnięcia naukowe, co wskazuje, że jest uznawany za wartościowego pracownika naukowego w swojej macierzystej uczelni. W czasie doktoratu Kandydat w roku 2015 odbył krótkoterminowy staż naukowy w ośrodku zagranicznym Karlsruhe Institute of Technology, Niemcy, a po doktoracie w maju 2023 roku, krótkoterminowy staż naukowy na Uniwersytecie St. Andrews, Wielka Brytania. Współpraca z zespołem doświadczalnym z Uniwersytetu St. Andrews została uwieczniona publikacją w uznanym czasopiśmie naukowym Physical Review B. Kandydat współpracował też z kilkoma zagranicznymi grupami doświadczalnymi. Warta podkreślenia jest współpraca Kandydata z Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, CNRS-UGA-UPS-INSA-EMFL, Grenoble, Francja, oraz Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure, ENS,

Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Université de Paris, Paryż, Francja. Owocem tej współpracy są dwie prace opublikowane w prestiżowych czasopismach, *New Journal of Physics* i *Physical Review Letters*.

## Ocena osiągnięcia naukowego Kandydata

Jako osiągnięcie naukowe Kandydat wskazał cykl wieloautorskich, powiązanych tematycznie 12 oryginalnych prac (H.1) - (H.12), opublikowanych w latach 2018 - 2022 i przedstawionych (zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy) pod wspólnym tytułem: *Własności optyczne ekscytonów rydbergowskich w  $Cu_2O$* . Wszystkie artykuły wchodzące w skład cyklu zostały opublikowane w renomowanych czasopismach o wysokim wskaźniku Impact Factor (*Physical Review Letters*, *Physical Review B*, *Optics Letters*, *New Journal of Physics*, *Optics Express*), w których publikacja świadczy o wartości uzyskanych wyników i ich uznaniu w oczach ekspertów-recenzentów tychże czasopism. Łączna wartość wskaźnika Impact Factor dla przedstawionego cyklu prac wynosi 24,62, punktacja Ministra Edukacji i Nauki (MEiN) wynosi 695, co świadczy o wysokiej randze czasopism. Wszystkie prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego Kandydata są pracami współautorskimi, w siedmiu Kandydat jest pierwszym autorem. Kandydat przedstawił wymagane ustawowo oświadczenia współautorów co do zakresu prowadzonych prac, opisał także swój udział w publikacjach zgłoszonych do osiągnięcia naukowego świadczący o Jego wiodącej roli w planowaniu badań, interpretacji otrzymanych wyników oraz ich dyskusji. Oświadczenia współautorów wskazują na wiodący udział Kandydata zarówno w opracowaniu koncepcji badań, jak również w przeprowadzeniu poszczególnych etapów prac.

Wszystkie prace przedstawione do oceny przez Kandydata dotyczą własności optycznych ekscytonów rydbergowskich w  $Cu_2O$ , czyli wzbudzeń wysoko energetycznych stanów atomów rydbergowskich. Stąd, że ekscytony rydbergowskie (odkryte w 2014 roku) to stosunkowo młoda dziedzina kwantowych układów w ciele stałym, z możliwością zastosowania w obecnie prężnie rozwijającej się informatyce kwantowej, uważam podjęty przez Kandydata temat za wartościowy z punktu widzenia optyki ciała stałego, a przede wszystkim zrozumienia teorii i właściwości optycznych ekscytonów rydbergowskich i ich zastosowań. Pomysły rozwinięcia badań nad ekscytonami rydbergowskimi i metodologia zastosowana w cyklu publikacji Kandydata to twórcze modyfikacje wzbogacone o ciekawe i nowe idee nawiązujące do zastosowań metody rzeczywistych macierzy gęstości w teorii atomów rydbergowskich.

Omówienie wyników badań zawartych w przedstawionych do oceny prac przeprowadzę nie według numeracji prac, gdyż przedstawione prace można pogrupować według szczegółowych tematów badań. Mianowicie, można zauważyć cztery tematy badań: masery na kryształach  $Cu_2O$ , prace H1 i H5. Wpływ pola elektrycznego i magnetycznego na ekscytony rydbergowskie, prace H2, H3, H9, H10. Własności nieliniowe ekscytonów rydbergowskich, prace H4, H11, H12.

Wpływ struktur niskowymiarowych na zjawiska wywołane ekscytonami rydbergowskimi, prace H6, H7, H8, H12. Według tej kolejności przeprowadzę omównienie wyników badań.

W pierwszej publikacji (H1) przedstawiony jest teoretyczny model masera przestrajalnego polem elektrycznym, pracującego w szerokim zakresie częstości na przejściach pomiędzy wysoko wzbudzonymi stanami energetycznymi ekscytonów rydbergowskich w kryształach tlenku miedzi,  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Częstości emisyjne masera wybierane są poprzez dopasowanie ich do częstości odpowiednio skonstruowanej wnęki rezonansowej. Pokazano, że maser bazujący na ekscytonach rydbergowskich różni się znacznie od typowego masera realizowanego na atomach rydbergowskich. Mianowicie, posiada znacznie większą moc, mniejsze rozmiary i możliwość pracy w szerokim zakresie temperatur.

Zagadnienie konstrukcji masera na kryształach  $\text{Cu}_2\text{O}$  kontynuowane jest w pracy (H5), gdzie uwzględniono procesy mające wpływ na pracę masera w trybie impulsowym. Masery impulsowe charakteryzują się dużą mocą promieniowania, która osiągana jest w wyniku działania efektów nieliniowych, oraz efektów związanych z polem elektrycznym we wnęce. Pokazano, rozważając pracę masera pomiędzy trzema lub czterema poziomami energetycznymi ekscytonów rydbergowskich, że uwzględnienie efektu Starka i blokady rydbergowskiej, które są niezbędne do otrzymania dokładnego dopasowania częstości wybranego przejścia ekscytonowego do częstości wnęki, prowadzi do efektów nieliniowych.

Kolejna tematyka padań przedstawiona do oceny to wpływ pola elektrycznego i magnetycznego na zjawiska wywołane ekscytonami rydbergowskimi. W szczególności, w pracy (H2) przedstawiono opis teoretyczny efektu Franza-Kiełdysza w kryształach  $\text{Cu}_2\text{O}$ , po raz pierwszy uwzględniający efekty ekscytonowe w obszarze energetycznym powyżej pasma wzbronionego. Efekt Franza-Kiełdysza to zjawisko wywołujące oscylacje w widmie absorpcji po przyłożeniu stałego pola elektrycznego. Pokazano, że okres oscylacji wywołanych efektem Franza-Kiełdysza jest zależny od przyłożonego pola.

Praca (H3) poświęcona jest zagadnieniu wpływu pola magnetycznego na optyczne własności ekscytonów w kryształach  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Jest to praca teoretyczno-doświadczalna zawierająca wyniki teoretyczne opracowane przez zespół, którego członkiem jest Kandydat, oraz wyniki doświadczeń wykonanych przez grupę z Laboratoire National des Magnetiques Intenses, Grenoble, Francja. Należy wysoko ocenić wkład pracy (H3) do badań nad optycznymi własnościami ekscytonów rydbergowskich w silnym polu magnetycznym, gdyż jest to w literaturze pierwsza praca przedstawiająca to zagadnienie w tak rozwiniętej formie.

Zasadniczym celem pracy (H9) jest zbadanie optycznych własności ekscytonów rydbergowskich w studni potencjału utworzonej przez granice nanostruktury  $\text{Cu}_2\text{O}$ , poddanych działa-

niu zewnętrznego pola elektrycznego. W przypadku energii poniżej przerwy rozważano dwie konfiguracje z polem równoległym i prostopadłym do płaszczyzny studni. Dla obu przypadków wyprowadzono analityczne wyrażenia dla efektywnej średniej podatności optycznej. Część rzeczywista podatności przedstawiona w funkcji częstości to spektrum absorpcji pola. Otrzymane wyniki pokazują rozszczepienie i przesunięcie stanów ekscytonowych wynikające z działania efektu Starka. Stąd, że studnia jest układem jednowymiarowym spektra dla tych dwóch przypadków znacznie różnią się od siebie. Jest to wynik wpływu stanów uwieczonych, stanów kwantowych, które występują w jednym wymiarze.

Praca (H10), która jest rozwinięciem zagadnień omawianych w pracy (H9) na przypadek energii powyżej przerwy wzbronionej, przedstawia analizę efektu Franza-Kiełdysza w nanostrukturach, a dokładniej w studni potencjału  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Należy podkreślić, że omawiana praca jest pierwsza, która uwzględnia wpływ na efekt Franza-Kiełdysza efektów związanych z ekscytonami rydbergowskimi.

Praca (H4) to pierwsza z cyklu trzech prac analizujących nieliniowe własności optyczne ekscytonów rydbergowskich. W pracy pokazano przydatność metody rzeczywistych macierzy gęstości do studiowania nieliniowych własności ekscytonów rydbergowskich. Pokazano dobrą zgodność otrzymanych wyników teoretycznych z istniejącymi wynikami badań doświadczalnych. Praca (H11) to wspólna praca z grupą doświadczalną z Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure, ENS, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Université de Paris, Paryż, Francja. Rozważane jest kilka efektów nieliniowych indukowanych przez ekscytony rydbergowskie w  $\text{Cu}_2\text{O}$ . W szczególności przesunięcie fazy oraz nieliniowy współczynnik załamania. Podobnie jak we wszystkich przedstawionych do oceny pracach, wyniki teoretyczne otrzymano z wykorzystaniem metody rzeczywistych macierzy gęstości. Problem rozważany w ostatniej z tego cyklu pracy (H12), to zagadnienie łączące tematykę własności nieliniowe ekscytonów rydbergowskich z wpływem struktur niskowymiarowych na ekscytony rydbergowskie. Zasadniczym celem pracy jest zbadanie efektów nieliniowych wywołanych przez ekscytony rydbergowskie w strukturach niskowymiarowych. Rozważane efekty nieliniowe to nieliniowy efekt Kerra i samomodulacja fazy.

Prace (H6)-(H8) poświęcone są zbadaniu wpływu ekscytonów rydbergowskich na własności absorpcyjne w niskowymiarowych strukturach półprzewodnikowych. W obliczeniach teoretycznych, podobnie jak w większości przedstawionych do oceny prac, stosowano tzw. metodę rzeczywistych macierzy gęstości. W szczególności, w pracy (H6) porównano własności absorpcyjne ekscytonów (spektrum absorpcji, część urojoną podatności elektrycznej) w strukturach o różnych wymiarach. Mianowicie, w zero wymiarowych kropkach kwantowych, jednowymiarowych drutach kwantowych, dwuwymiarowych studniach potencjału oraz trójwymiarowych kryształach o rozmiarach makroskopowych. Pokazano dobrą zgodność otrzymanych w pracy

wyników teoretycznych z istniejącymi wynikami doświadczalnymi. W pracy (H7) analiza własności absorpcyjnych w niskowymiarowych strukturach rydbergowskich ograniczona jest do jednowymiarowej studni potencjału, wewnątrz której elektrony poddane są działaniu zewnętrznego pola magnetycznego o trzech różnych zakresach natężeń i dwóch różnych kierunkach propagacji. Podobnie jak w pracy (H6) pokazano dobrą zgodność przedstawionych wyników teoretycznych z istniejącymi wynikami badań doświadczalnych. Praca (H8) to wspólna teoretyczno-doświadczalna praca powstała w wyniku współpracy z grupą doświadczalną na Uniwersytecie St. Andrews, Wielka Brytania. Celem pracy było pokazanie po raz pierwszy wpływu wnek kwantowych na ekscytony rydbergowskie.

Podsumowując tę część aktywności naukowej stwierdzam, że Kandydat miał kluczowy wkład w powstanie omawianych powyżej osiągnięć naukowych. Osiągnięcie naukowe Kandydata polega na konsekwentnym rozwoju teorii ekscytonów rydbergowskich, głównie w kryształach  $\text{Cu}_2\text{O}$ , z zastosowaniem metody rzeczywistych macierzy gęstości. Powyższa analiza wyników prac Kandydata jednoznacznie pokazuje, że przedstawiony cykl artykułów naukowych w sposób znaczący pogłębia wiedzę na temat własności optycznych ekscytonów rydbergowskich. Na podkreślenie zasługuje fakt, że przedstawione artykuły wnoszą znaczny wkład w rozwój teorii ekscytonów rydbergowskich, który ma również wymiar praktyczny, zwłaszcza zaproponowane przez Kandydata zastosowanie ekscytonów rydbergowskich jako ośrodka czynnego w maserach. Pozwala mi to uznać, że przedstawione do oceny osiągnięcia naukowe spełniają wymogi stawiane w art. 219 ust. 1, pkt 2 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku niezbędne do nadania stopnia doktora habilitowanego.

### **Ocena pozostałych osiągnięć Kandydata**

Do czasu uzyskania stopnia doktora zainteresowania naukowe Kandydata koncentrowały się na metamateriałach i ich optycznych własnościach. W tym okresie opublikował 11 prac w czasopismach o wysokiej randze (*Physical Review B*, *Applied Physics A*, *Journal Optical Society America B*), oraz brał udział w 9 międzynarodowych konferencjach, gdzie przedstawił w formie plakatów wyniki swoich badań naukowych.

Należy podkreślić wyjątkową "produktywność" Kandydata, że na tym etapie kariery naukowej, w tak krótkim dziewięcioletnim okresie działalności naukowej opublikował 35 prac naukowych w czasopismach o wysokiej randze. Warty podkreślenia jest pokaźny wkład Kandydata nie tylko do teorii atomów rydbergowskich i półprzewodników ale również do innych dziedzin fizyki; plazmoniki, areodynamiki i mechaniki klasycznej.

Działalność naukowa Kandydata obejmuje także aktywny udział w realizacji projektów badawczych, finansowanych w drodze konkursów krajowych. Był aktywny w realizacji dwóch projektów fi-

nansowanych przez NCN, oba po uzyskaniu stopnia doktora, w jednym (OPUS, międzynarodowym) jako wykonawca i w drugim MINIATURA jako kierownik projektu.

Warto również podkreślić szeroką współpracę Kandydata w kilkoma krajowymi i zagranicznymi ośrodkami naukowymi (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu; Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, Grenoble, Francja; Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure (LPENS), Francja; School of Physics and Astronomy, St. Andrew University, Wielka Brytania), a także jego zaangażowanie w doraźne recenzowanie publikacji dla renomowanych międzynarodowych czasopism, w tym *Physical Review X*. Pełnił też rolę współorganizatora XIV Ogólnopolskiej Sesji Kół Naukowych Fizyków w 2015 roku.

Kandydat intensywnie propaguje wyniki własnych badań wśród innych naukowców w Kraju i za granicą, jak również jest bardzo aktywnym popularyzatorem nauki w Kraju, ma za sobą 8 wystąpień w formie referatów na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Jako popularyzator nauki Kandydat ma w swoim dorobku cztery artykuły popularno naukowe i promocyjne. Wykłady na uniwersytecie dziecięcym UTP oraz festiwalach nauki.

Pod kątem analizy bibliometrycznej wartość prac naukowych Kandydata oceniam pozytywnie. Uważam, że dorobek naukowy Kandydata jest wartościowy merytorycznie, opublikowany w wartościowych czasopismach i jest zauważalny. Publikacje Kandydata były cytowane 230 razy (bez autocytowań), co wskazuje na duże zainteresowanie środowiska naukowego wynikami prowadzonych przez niego badań. Indeks Hirscha wynosi 9 (dane na podstawie Web of Science). Według Google Scholar całkowita liczba cytowań to 326 i indeks Hirscha 11. Uważam, że na tym etapie kariery w dyscyplinie naukowej półprzewodnikowa optyka kwantowa jest to wartość wysoka.

Odnosnie doświadczeń dydaktycznych Kandydata, prowadził ćwiczenia i laboratoria. Brak doświadczenia w prowadzeniu wykładów, co prawdopodobnie spowodowane było zatrudnieniem na stanowisku naukowym, a nie na naukowo-dydaktycznym. Był promotorem jednego doktoratu oraz trzech licencjatów.

## **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Podsumowując, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że dr David Ziemkiewicz posiada w swoim dorobku osiągnięcia naukowe stanowiące istotny wkład w rozwój optyki kwantowej atomów rydbergowskich oraz teorii półprzewodników. Wkład ten polega na systematycznym (i dobrze udokumentowanym w serii publikacji) rozwojem teorii ekscytonów rydbergowskich i ich zastosowań. Przedłożone do oceny osiągnięcie naukowe, całokształt dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego spełnia wymagania stawiane rozprawom habilitacyjnym przez

obowiązujące prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o dopuszczenie dr Davida Ziemkiewicza do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego. Na koniec pragnę wyrazić opinię, że dr David Ziemkiewicz jest nie tylko rozpoznawalnym ale zmierza w kierunku stania się uznanym ekspertem w zakresie teorii ekscytonów rydbergowskich i ich zastosowań.



Prof. dr Zbigniew Ficek  
Instytut Fizyki  
Uniwersytet Zielonogórski  
ul. Szafrana 4a  
65-516 Zielona Góra  
e-mail: z.ficek@if.uz.zgora.pl