

Dr hab. Piotr Kolenderski, prof. UMK
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
e-mail: kolenderski@umk.pl
tel. +48 510 459 791

Recenzja dorobku naukowego oraz osiągnięcia habilitacyjnego
pt. „Kondensaty polarytonów ekscytonowych w pułapkach indukowanych optycznie”
Pana dr Macieja Pieczarki

Ocena działalności naukowej i organizacyjnej:

Pan doktor Maciej Pieczarka ma bogate doświadczenie zawodowe, które obejmuje pracę w renomowanych instytucjach zarówno w Polsce, jak i za granicą. Obecnie jest adiunktem badawczo-dydaktycznym na Politechnice Wrocławskiej. Przez dwa lata pracował jako Postdoctoral Research Fellow w Australijskim Narodowym Uniwersytecie w Canberze, a wcześniej przez sześć lat był asystentem naukowym i naukowo-dydaktycznym również na Politechnice Wrocławskiej.

Pan Maciej Pieczarka przedstawia bogaty dorobek naukowy, który obejmuje 12 publikacji po doktoracie oraz 14 publikacji przed uzyskaniem tego stopnia. Zaprezentował również 25 plakatów naukowych oraz wygłosił dwa wykłady zaproszone, co świadczy o jego aktywności i rozpoznawalności w środowisku.

Pan Pieczarka kierował trzema grantami: Diamentowym Grantem, Sonata oraz Preludium. Dodatkowo, był wykonawcą czterech innych projektów badawczych, w tym międzynarodowego projektu bilateralnego Deutsche Forschungsgemeinschaft o nazwie LIEPOLATE oraz projektów finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki, takie jak Sonata BIS i Maestro.

Zdobył doświadczenie poprzez udział w stażach naukowych zarówno przed, jak i po uzyskaniu stopnia doktora. Wśród nich warto wymienić staże w renomowanych instytucjach, takich jak Technische Physik na Uniwersytecie Würzburga w Niemczech oraz Nonlinear Physics Centre na Australian National University w Canberze, gdzie wykonał badania które, w mojej opinii, nadały kierunek jego dalszej karierze naukowej.

Należy również docenić zaangażowanie pana Pieczarki jako recenzenta publikacji naukowych. Liczba 19 recenzji, w tym dla tak renomowanych czasopism jak Physical Review Letters, Physical Review A i Physical Review B, świadczy o jego ugruntowanej pozycji w środowisku naukowym oraz jego zdolnościach w ocenie pracy innych badaczy.



Ponadto, pan Maciej Pieczarka aktywnie uczestniczył w organizacji różnych konferencji naukowych, zarówno w kraju jak i za granicą. W 2019 roku był głównym organizatorem konferencji w australijskim centrum doskonałości ARC Centre of Excellence FLEET na Australian National University w Canberze. Ponadto, brał udział w organizacji konferencji we Wrocławiu w 2013 roku oraz był zaangażowany w organizację konferencji studenckich koła naukowego NANOIN w latach 2009-2012.

Ocena osiągnięcia naukowego:

Wniosek jest złożony po 6 latach po doktoracie. Przedstawionych jest siedem powiązanych ze sobą tematycznie publikacji, których pan Maciej Pieczarka jest pierwszym lub drugim autorem. Zgodnie z oświadczeniami, w pracach, których rezultaty są tam raportowane pan dr Pieczarka wnosił istotny wkład merytoryczny. Zajmował się doświadczalną fizyką ciała stałego przeplatana badaniami teoretycznymi, które były konsekwencją wyników eksperymentu. Motywem przewodnim jest badanie oddziaływania polarytonów w półprzewodnikach z wykorzystaniem pułpki optycznego.

Zacznę, chronologicznie, od *pracy H1*. Pan Pieczarka rozpoczął swoją pracę od przeprowadzenia weryfikacji kontrowersyjnych wyników doświadczalnych, opublikowanych w *Nature Physics* **13**, 870 (2017) przez zespół badawczy z MIT oraz Uniwersytetu w Pittsburghu. W ich badaniach wykorzystano mikrowaneki na bazie GaAs, cechujące się bardzo długim czasem życia polarytonu, aż 150 ps. Głównym wnioskiem tych badań było stwierdzenie, że gazy polarytonów ekscytonowych powinny być opisywane jako silnie skorelowane gazy bozonowe, a nie jako słabo oddziałujące kondensaty Bosego-Einsteina.

W rezultacie badań porównawczych na tej samej próbce, Pan Pieczarka zidentyfikował szereg problemów związanych z interpretacją wcześniejszych doniesień. Wskazał na dwa istotne błędy. Po pierwsze, anomalnie duże przesunięcia spektralne dla małych wartości współczynnika Hopfielda zostały wyjaśnione poprzez zjawisko niejednorodnego poszerzenia linii spektralnej, wynikającej z obecności co najmniej kilku stanów związanych oraz redystrybucji obsadzeń między tymi stanami w zależności od mocy lasera wzbudzającego. Po drugie, założenie o stateczności rezerwuaru ekscytonowego oraz pułpki okazało się błędne.

Pan Maciej Pieczarka stwierdza że to jeden z jego najlepszych wyników naukowych z czym w pełni się zgadzam zwłaszcza w warstwie koncepcji stosowania metod naukowych oraz podejścia i motywacji do publikowania rezultatów. Równocześnie nie twierdzę, że kolejne wyniki mają mniejszą wartość naukową.

Praca H2 skupia się na badaniu tzw. gałęzi widmo, która odpowiada ujemnym energiom, charakterystycznym dla tego obszaru badań. Fizycznie, jest to zakres energii kwazi-cząstek opuszczających próbkę w wyniku efektu zubożenia kwantowego. Doświadczalnie, obserwacja tego zjawiska była wyzwaniem.



Przed opublikowaniem pracy H2 nie było doniesień o obserwacji spontanicznie obsadzonej gałęzi widma poprzez efekt zubożenia kwantowego. Warto zauważyć, że obserwacja tego zjawiska w kondensacie polarytonowym była drugą - po kondensatach atomowych - i pierwszą w układzie poza równowagą termodynamiczną.

Analizę tego zagadnienia nieco utrudnił mi brak prostego schematu układu pomiarowego. Więcej informacji na temat eksperymentu można znaleźć w pracy Phys. Rev. B 100, 085301. Korzystne byłoby przedstawienie obrazka układu doświadczalnego w autoreferacie. Po przeanalizowaniu innych publikacji Habilitanta, udało mi się zgromadzić odpowiednie informacje na ten temat, co przyczyniło się do lepszego zrozumienia istoty przeprowadzonych pomiarów i docenienia ich.

Praca H6 opiera się na, koncepcyjnie, tym samym układzie eksperymentalnym, lecz istotnie ulepszonym w praktyce. Zwiększono moc pompy oraz ulepszono konstrukcję filtrów krawędziowych, co przyczyniło się do rozszerzenia zakresu dynamicznego pomiarów. Autorzy napotkali trudność związaną z wysoką dyspersją bardziej pobudzonych stanów, które znacząco przyczyniały się do wyników dla $k=0$. Dzięki usprawnieniom, czułość eksperymentu została znacząco zwiększona, co objawia się w zakresie dynamicznym większym o dwa rzędy. Dodatkowo, dostrojenie ustawienia wnęki lasera wzbudzającego pozwoliło na osiągnięcie dwukrotnie większej mocy, co przekłada się na dwukrotne zwiększenie maksymalnej gęstości kondensatu polarytonowego. Głównym osiągnięciem raportowanym w tej publikacji było wyjaśnienie nierównowagowych obsadzeń opisanych w pracy H2 oraz rozwinięcie teorii opisującej wzbudzenia w kondensacie polarytonów ekscytonowych w warunkach nierównowagowych.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że praca to tzw „incremental work”, ale w istocie tak nie jest. Warsztat eksperymentalny został istotnie ulepszony, co pozwoliło na poszerzenie możliwości pomiarowych i głębsze zrozumienie natury obserwowanych efektów. W efekcie powstało uogólnienie teorii Bogoliubova, które uwzględnia przypadki kondensatu ekscytonowo-polarytonowego z niekoherentnym i nieskondensowanym rezerwuarem. Praca H6, licząca 12 stron plus odniesienia, w głównej mierze teoretyczna!, stanowi istotny wkład w zrozumienie mechanizmów powstawania kondensatów polarytonowych.

Praca H4 pana doktora Macieja Pieczarka opiera się na modyfikacji eksperymentu używanego w pracach H2 i H6. Z pomocą doktorantki, wprowadzili nowe elementy do układu detekcyjnego, umożliwiając analizę polaryzacji światła. Dodatkowo, zastosowali filtrację w przestrzeni kierunków propagacji światła, co pozwoliło na badanie pełnej dwuwymiarowej przestrzeni wektorów k . Ta metoda pomiarowa, oparta na technice tomografii spektralnej, pozwoliła na skuteczne przeprowadzenie badań polarytonów ekscytonowych. To pozwoliło na zbadanie dwóch komponentów wzbudzeń Bogolubowa oraz wyznaczenie obu parametrów oddziaływania polaryton-polaryton.

Zgodnie z oświadczeniem pana Pieczarki, wyniki eksperymentalne zostały uzyskane przez panią Dąbrówkę Biegańską, która pracowała pod jego opieką. To świadczy o zdolnościach organizacyjnych, umiejętności zarządzania badaniami naukowymi oraz pokazuje że pan Maciej



Pieczarka ma kompetencje w zakresie sprawowania opieki nad doktorantami. To jest jeden z aspektów motywujących uzyskanie habilitacji.

Pan Maciej Pieczarka podjął się badania nieeksplorowanego dotąd obszaru kondensatów polarytonowych w kontekście hydrodynamiki, którego rezultaty zostały opisane w *pracy H3*. Wskazał braki w literaturze dotyczące eksperymentalnych badań kolektywnych oscylacji nadciężcy bozonowej w zakresie niskich częstości, próbujących obszar widma Bogoliubowa dla małych k . Następnie, pan Pieczarka rozszerzył zakres badań kondensatów polarytonowych w pułapkach optycznych, badając możliwość wykorzystania potencjału pułapkującego do obserwacji właściwości hydrodynamicznych kondensatu polarytonowego. Do tego celu potrzebna była dalsza modyfikacja układu doświadczalnego w kierunku pomiarów czasowo rozdzielczych. W przeciwieństwie do wcześniejszych prac, w których próbkę wzbudzano, w zasadzie, laserem pracy ciągłej, w jego projekcie próbkę wzbudzano laserem impulsowym, co skutkowało stworzeniem dynamicznej pułapki cylindrycznej.

W *pracy H3* opisane są wyniki badań, którymi kierował i w które był w sposób istotny zaangażowany pan Pieczarka. Motywem przewodnim była weryfikacja możliwości „zaobserwowania przejścia z zakresu silnego sprzężenia ekscyton-foton do zakresu słabego sprzężenia.” W istocie chodziło o możliwość sprawdzenia dwóch wiodących teorii: analogicznej do BCS oraz opartej na niehermitowskim przejściu fazowym. W tym celu zbudowany został nowy układ doświadczalny, który umożliwiał oświetlanie próbek laserem CW jak i impulsowym o zadanym modzie przestrzennym.

Praca H7 przedstawia wyniki badań przeprowadzonych na układzie optycznym, którego pan Maciej Pieczarka jest współautorem. Z oświadczeń wynika, że była to praca wspólna z doktorantką, która była pod opieką pana Pieczarki. Celem modyfikacji układu pomiarowego było stworzenie możliwości badania różnego rodzaju próbek z różnych źródeł – instytucji współpracujących z laboratorium, w którym pracował pan Maciej Pieczarka. Przy okazji należy podkreślić szeroką sieć znajomości naukowych i współpracowników, którą w trakcie swojej pracy naukowej stworzył Habilitant. Jako rezultat zaobserwowano w geometrii pułapki optycznej dwa krytyczne progi mocy, z których pierwszy został zidentyfikowany jako kondensacja polarytonowa, a drugi jako przejście do laserowania fotonowego.

Głównym motywem badawczym w *pracy H5* są obserwacje fluorescencji przy wykorzystaniu nietypowych geometrii pułapki. Habilitant zastosował lustra deformowalne w celu lepszej kontroli frontu falowego. Dzięki temu możliwe było stworzenie tzw. łańcucha Su–Schrieffer–Heegera (SSH) o nietrywialnym indeksie topologicznym. Eksperymentalna weryfikacja została przeprowadzona za pomocą tomografii spektralnej emisji przestrzennej. Taki układ doświadczalny umożliwił obserwację przejścia między topologią trywialną a SSH.

Po przeczytaniu opisu osiągnięcia naukowego oraz analizie publikacji stwierdzam, że stanowią one jedną całość.



Podsumowanie:

Na podstawie przedstawionego opisu osiągnięcia oraz informacji o przebiegu pracy naukowej pana Macieja Pieczarki jestem w pełni przekonany, że uzyskał pełną samodzielności w pracy naukowej. Bez wątplenia jest w stanie promować doktorantów oraz prowadzić niezależnie badania naukowe. Z tego też powodu jestem przekonany, że przedstawiony dorobek spełnia warunki zawarte w art. 219 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i wnioskuję o dalsze procedowanie jego wniosku.

Piotr Koleuderski

