



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Warszawa, 23.07.2026

Prof. dr hab. inż. Mariusz Zdrojek

Recenzja rozprawy doktorskiej Katarzyny Olkowskiej-Pucko

Uwagi wstępne.

Praca doktorska magister Katarzyny Olkowskiej-Pucko zatytułowana „Kompleksy ekscytonowe w dwuwymiarowych strukturach van der Waalsa” zrealizowana była na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem dr hab. Macieja Molasa, profesora UW. Manuskrypt pracy napisany jest w języku polskim.

Manuskrypt pracy doktorskiej przedstawiony jest w klasycznej formie – obszernej monografii, składającej się przede wszystkim z ośmiu głównych rozdziałów, dotyczących wstępu teoretycznego (badane materiały, zjawiska fizyczne powiązane z zagadnieniem ekscytonów), opisu przygotowania próbek i technik eksperymentalnych oraz właściwej części wynikowej. Każdy z rozdziałów podzielony jest na numerowane podrozdziały, których zawartość jest wzajemnie ze sobą powiązana i spójna ze omawianym obszarem tematycznym. W podsumowaniu autorka zamieszcza ciekawe perspektywy dalszych badań, listę publikacji, w których jest współautorką oraz co, szczególnie doceniam, szczegółowy opis wkładu innych współautorów do prezentowanej pracy. Manuskrypt zawiera również niezwykle bogatą listę referencji (387 pozycji), dobrze powiązaną merytorycznie z całością pracy oraz materiały dodatkowe uzupełniające kwestie merytoryczne. Całość manuskryptu jest dość obszerna i zawiera ponad 260 stron, obejmując omawianą tematykę dość szeroko i kompleksowo.

Autorka manuskryptu prezentowała wyniki zawarte w manuskrypcie na kilkunastu konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym (9 wystąpień ustnych, 5 posterów), co jest rezultatem dość imponującym. Na jej dorobek naukowy składa się współautorstwo aż czternastu publikacji w recenzowanych periodykach naukowych, z czego dwie są ściśle związane są z tematyką jej rozprawy doktorskiej a kolejna praca z tej tematyki jest przygotowania do wysłania (status na dzień przygotowywania recenzji). Podkreślam, że obie publikacje, na których oparta jest dysertacja i w których autora manuskryptu jest również pierwszym autorem opublikowane są w bardzo dobrych czasopismach *Phys. Rev. Lett.* (IF 9.2) oraz *2D Materials* (IF 4.3). Całkowita liczba cytowań wspomnianych prac wynosi 275 (według bazy Scopus), a index Hirsha wynosi 11, co jest wynikiem zdecydowanie wyjątkowym na tym etapie rozwoju naukowego. Te imponujące statystyki wynikają między innymi z tego, że p. Olkowska-Pucka miała szczęście realizować swoją pracę doktorską w jednej z najlepszych grup badawczych w kraju zajmujących się badaniami właściwości optycznych materiałów 2D pod kierownictwem prof. Macieja Molasa. Grupa LaSsO realizuje badania na najwyższym światowym poziomie i w bardzo szerokiej współpracy międzynarodowej, co dość mocno odzwierciedlone jest w manuskrypcie autorki oraz pracach, w których jest współautorką.



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Praca napisana jest bardzo poprawną stylistycznie polszczyzną, co sprawia, że lektura manuskryptu jest przyjemnością. Wyniki prezentowane są w sposób przejrzysty, estetyczny i przede wszystkim bardzo staranny. Nie odnotowałem nawet zbyt wielu tzw. literówek czy skrótów myślowych.

Uwagi krytyczne i pytania

Paradoksalnie jedna z największych zalet pracy i manuskryptu, czyli kompleksowe podejście do tematyki ekscytonów w dwuwymiarowych materiałach van der Waalsa, budzi również pewien niedosyt z punktu widzenia recenzji pracy doktorskiej. Mam tutaj w szczególności na myśli fakt, że spora część pracy w zakresie przygotowania próbek, metodologii badawczych oraz samych badań nie jest głównym dziełem kandydatki a jedynie uzupełnieniem do jej pracy, które jednak stanowi spójną całość i jako dzieło naukowe ma dużą wartość. Niemniej jednak czasem trudno rozgraniczyć, w których z przedstawianych wyników autorka pełniła rolę wiodącą. Z pomocą przychodzi tutaj opis wkładów innych autorów przedstawiony w rozdziale 8.2. Podejście zastosowane przez autorkę ma niewątpliwie dużą zaletę dydaktyczną – manuskrypt stanowić może lekturę obowiązkową dla badaczy chcących zająć się tematyką ekscytonów w materiałach 2D. Z drugiej strony z manuskrypt powinien być skoncentrowany przede wszystkim na osiągnięciach kandydatki do stopnia doktora. Zaznaczam jednocześnie, że mój niedosyt nie umniejsza dokonaniom autorki.

Bardziej szczegółowe pytania i komentarze dotyczące pracy, które nasunęły się podczas analizy manuskryptu są następujące:

- Tytuł i konstrukcja rozdziału 2 „Przygotowanie próbek” są trochę mylące, ponieważ rozdział ten zawiera opis technik eksperymentalnych (SEM, EDS), które powinny się znaleźć w rozdziale 3. Ponadto, brakuje mi w tym rozdziale opisu jak i jakie próbki robiła autorka, zamiast tego mamy bardziej ogólny opis jak inni (lub literatura) robią próbki (np. 2.4.3).
- W rozdziale 5.4 na rys. 5.7 prezentowana jest ewolucja widm luminescencji w polu magnetycznym dla próbki WSSe zamkniętej w hBN. Z czego wynika przesunięcie energii trionu (T) w zależności od pola? Linie X oraz $T^{D/A}$ nie wykazują zmian pozycji wraz ze zmianą pola.
- Na końcu rozdziału 5 autorka pisze we wnioskach o kwestiach aplikacyjnych: „... *Może to znacząco rozszerzyć zakres zastosowań materiałów dwuwymiarowych w optoelektronice i technologiach kwantowych*”. Proszę o komentarz: w jaki sposób?
- Nie mogłem się doszukać informacji dotyczących tego jakiej grubości hBN jest używany przy różnych próbkach badanych w pracy. Proszę o komentarz. Jak grubość użytego hBN może wpływać na uzyskane wyniki?
- Na rysunku 6.12 autorka rozważa wpływ lokalnych naprężeń na widmo ramanowskie trójskładnikowego stopu MoWSe o ustalonej stechiometrii. Skąd mogą wynikać rozważane naprężenia? Jak w widmie Ramana odróżnić je od ewentualnych lokalnych fluktuacji gęstości ładunku (dopingu)? Czy mapy ramanowskie były wykonywane na innych próbkach i rozrzut przesunięć modu A_{1g} był podobny?
- Na rysunku 7.3 pokazane są ewolucje widm luminescencji w polu magnetycznym dla próbek $Mo_xW_{1-x}Se_2$ o różnej stechiometrii. Z czego wynika dość odmienne zachowanie się



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

zmian intensywności w polu B dla próbek 6 i 7? Właściwie próbka 7 jest bardziej podobna do próbki 8 w tym aspekcie, pomimo, że obie próbki mają inny skład.

Ocena wraz z uzasadnieniem

Warunki stawiane rozprawom doktorskim, zostały określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Zgodnie z tym przepisem rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a ponadto przedmiotem rozprawy doktorskiej ma być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Mając powyższe na uwadze, po kolei odnoszę się poniżej do tych przesłanek:

1. Stwierdzam, że rozprawa doktorska zawiera i poprawnie prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną zakresu obejmującego dyscyplinę nauki fizyczne.

Uzasadnienie: Oceniam, że autorka manuskryptu: (i) bardzo obszernie, jasno i precyzyjnie opisuje obszar badawczy (na tle aktualnej wiedzy), którego dotyczy podjęta praca; (ii) prawidłowo opisuje właściwości strukturalne, elektroniczne i optyczne materiałów badanych w pracy – półprzewodnikowych dichalkogenków metali przejściowych (dwu- i trójskładnikowych); (iii) przedstawia bardziej pogłębioną wiedzę na temat zjawisk magneto-optycznych (ekscytony jasne i ciemne oraz ich kompleksy, ewolucja widm fotoluminescencji efekt Zeemana); (iv) przytacza podstawowe informacje o metodyce wytwarzania próbek potrzebnych w badaniach fotoluminescencji (eksfoliacja, transfer, enkapsulacja w hBN, metody identyfikacji warstw); (v) przedstawia szczegółowy i wystarczająco wyczerpujący opis metod badawczych oraz układów eksperymentalnych używanych w swojej pracy; (vi) bardzo szeroko nawiązuje do wykazanej i obszernej literatury; (vii) przedstawia wstęp teoretyczny, który jest adekwatny do podjętego przez nią problemu badawczego, co stanowi dobrą podstawę do zrozumienia wyników pracy.

2. Stwierdzam, że rozprawa doktorska jest dowodem na to, że kandydatka ubiegająca się o nadanie stopnia doktora wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Uzasadnienie: Uważam, że (i) autorka prawidłowo zdefiniowała hipotezę badawczą, która dotyczy zbadania zmian właściwości optycznych kompleksów ekscytonowych wybranych stopów dichalkogenków metali przejściowych pod wpływem czynników zewnętrznych, tj. temperatury, pola magnetycznego, mocy światła pobudzającego; (ii) autorka przekonująco wykazała zasadność podjęcia się tej tematyki badawczej, biorąc pod uwagę istniejącą literaturę naukową i luki w aktualnej wiedzy; (iii) wykazała znajomość metodyki przygotowania enkapsulowanych próbek stopów TMDs; (iv) wykazała się znajomością metod badawczych niezbędnych do prawidłowego zrealizowania celu pracy (w szczególności fotoluminescencja); (v) autorka wykazuje umiejętność zbierania i analizy danych badawczych oraz ich zrozumiałej prezentacji; (vi) autorka udowadnia umiejętność przygotowania publikacji naukowych; oraz (vii) prawidłowo wysuwa wnioski wynikające z uzyskanych wyników prac, często odnosząc je do referencji literaturowych.



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

3. Stwierdzam, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Uzasadnienie: Ogólnym problemem badawczym wskazanym przez autorkę było zbadanie właściwości optycznych kompleksów ekscytonowych stopów dichalkogenków metali przejściowych, takich jak: MoWSe_2 oraz WSe_2 , w tym takich o różnej stechiometrii. W tym obszarze autorka wnosi następujące argumenty, które są nowe w odniesieniu do wcześniej dostępnej literatury:

(i) zidentyfikowała kompleksy ekscytonowe obserwowane w niskotemperaturowych widma fotoluminescencji dla monowarstw WSe_2 , stwierdzając istnienie jasnych i ciemnych kompleksów ekscytonów oraz replik fononowych; (ii) pokazała, że stopy TMDs takie jak WSe_2 mogą stanowić ciekawą platformę materiałów, umożliwiającą kontrolowane strojenie energii przejść optycznych poprzez dobór odpowiedniego składu chemicznego tego materiału; (iii) zbadała właściwości optyczne monowarstw $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Se}_2$ zamkniętych w hBN, wyznaczając między innymi wartości g-czynników (dla trionu i ekscytonu neutralnego) na podstawie widm niskotemperaturowych w polu magnetycznym oraz pokazała ich ewolucję w zależności od składu stopu, stwierdzając iż ich wartości mieszczą się w zakresie tych obserwowanych dla MoSe_2 i WSe_2 ; (iv) zidentyfikowała i scharakteryzowała, emisję pochodzącą od ciemnych ekscytonów neutralnych dla próbek $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Se}_2$ w polu magnetycznym przyłożonym w płaszczyźnie monowarstw; (v) wykazała, że rozszczepienie jasnego i ciemnego ekscytonu neutralnego w monowarstwach $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Se}_2$ zmienia się w zależności od składu oraz jest mniejsze niż w przypadku WS_2 lub WSe_2 ale większe niż MoSe_2 ; (vi) wyznaczyła wartość bezwzględną parametru g_4 dla pola magnetycznego przyłożonego w płaszczyźnie monowarstw $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Se}_2$ na podstawie analizy ewolucji energii stanów X^B i X^D .

W związku z powyższym, przedłożoną mi do recenzji rozprawę doktorską oceniam jednoznacznie bardzo pozytywnie. Uważam, że ta rozprawa może być podstawą uzyskania stopnia doktora w dyscyplinie nauki fizyczne ponieważ spełnia warunki określone w stosownej ustawie. Niniejszym, wnoszę o dopuszczenie mgr Katarzyny Olkowskiej-Pucko do kolejnych etapów procedury ubiegania się o stopień doktora.