



UNIWERSYTET
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU
Wydział Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej

prof. Winicjusz Drozdowski
Katedra Fizyki Stosowanej
Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Grudziądzka 5
87-100 Toruń

Toruń, 2 maja 2025 r.

**Ocena rozprawy doktorskiej mgra Syeda Shabhiego Haidera
pt. „Unveiling the mechanical stimuli by mechanoluminescence:
From experimental setup design to material analysis”**

Pod koniec 2022 r. miałem przyjemność wziąć udział w charakterze członka komisji w ocenie śródkresowej Pana mgra Syeda Shabhiego Haidera w ramach jego kształcenia w Warszawskiej Szkole Doktorskiej Nauk Ścisłych i BioMedycznych. Już wtedy bardzo zainteresował mnie oryginalny, nietuzinkowy plan i temat podjętych badań naukowych oraz zachwycił mnie entuzjazm Doktoranta. Z tym większym zadowoleniem przyjąłem zaproszenie do zrecenzowania pracy doktorskiej p. Haidera.

Przedmiotem badań przeprowadzonych przez Doktoranta i opisanych w przedłożonej mi do oceny rozprawie były dwa rzadziej rozważane rodzaje luminescencji ciał stałych, tj. mechanoluminescencja (ML; świecenie wywołane bodźcami mechanicznymi) i powiązana z nią luminescencja wzbudzana ultradźwiękami (UsL). Plan badawczy obejmował zbudowanie od podstaw układów do obserwacji ww. zjawisk, przetestowanie tych układów przy użyciu dobrze znanych materiałów luminescencyjnych: $(\text{Sr,Ca})\text{SO}_4\text{:Mn}$, $\text{CaAl}_2\text{O}_4\text{:Eu,Dy,La}$ i $\text{SrAl}_2\text{O}_4\text{:Eu,Dy}$, następnie skoncentrowanie uwagi na własnościach ML i UsL związku $\text{LiTaO}_3\text{:Pr}$ z dodatkowym sprawdzeniem jego potencjału do zastosowań termometrycznych, a na koniec przeprowadzenie wybranych pomiarów ML i UsL na fosforach $(\text{Sr}_{1-x-y}\text{Eu}_x\text{Mn}_y)\text{Si}_2\text{O}_2\text{N}_2$, AlN:Mn i ZnS:Mn . Wybór $\text{LiTaO}_3\text{:Pr}$ na główny obiekt badań wynikał prawdopodobnie ze stale rosnącego zainteresowania tym materiałem, który ze względu na właściwości elektrooptyczne, piezoelektryczne, piroelektryczne i nieliniowe optycznie ma szansę znaleźć szereg ciekawych i nowatorskich zastosowań. Część zadań badawczych wykonano w ramach realizacji grantu Narodowego Centrum Nauki pt. „Wyświetlacze i detektory

mechanoluminescencyjne na bazie piezoelektrycznych materiałów nanostrukturyzowanych” (Opus 17) kierowanego przez Promotora pracy prof. Andrzeja Suchockiego.

Rozprawa p. Haidera została napisana w języku angielskim, nie licząc abstraktu występującego również w języku polskim. Jest ona złożona z ośmiu numerowanych rozdziałów, poprzedzonych wspomnianymi abstraktami, podziękowaniami, opisem dorobku Doktoranta i listą skrótów oraz zamkniętym spisem wykorzystanej literatury. Rozdział nr 1 jest przedmową wyjaśniającą cel i zakres podjętych badań oraz omawiającą strukturę pracy. Bardzo dobrym pomysłem jest zawarcie w nim informacji na temat publikacji wyników prezentowanych w poszczególnych rozdziałach. Dzięki temu czytelnik zyskuje świadomość, że przedstawione badania zostały już odpowiednio upowszechnione w świecie naukowym. Rozdział nr 2 jest poświęcony zjawisku mechanoluminescencji, poczynając od rysu historycznego (odkryto je w XVI wieku), poprzez klasyfikację i przegląd materiałów wykazujących ML wraz z ich potencjalnymi zastosowaniami, skończywszy na poszczególnych rodzajach ML (z uwzględnieniem UsL) i sposobach ich detekcji. W rozdziale nr 3 Autor szczegółowo opisał zaprojektowane i skonstruowane przez siebie układy pomiarowe, jak również wykazał ich prawidłowe działanie dzięki kalibracji przy użyciu znanych luminoforów. Ta - można by powiedzieć - inżynierska część doktoratu p. Haidera zasługuje na najwyższe uznanie i chociaż bardziej interesuje mnie - jako fizyka - część naukowa, to chciałbym w tym miejscu podkreślić, iż doceniam fakt samodzielnego przygotowania własnego warsztatu eksperymentalnego (z wieloma innowacjami) przez Doktoranta. Rozdziały nr 4-6 stanowią najważniejszą część rozprawy i zawierają wyniki bardzo dokładnych i zaawansowanych badań przeprowadzonych na proszkach $\text{LiTaO}_3\text{:Pr}$, przy czym rozdział nr 4 dotyczy mechanoluminescencji uderzeniowej (I-ML) i naprężeniowej (S-ML), rozdział nr 5 luminescencji wzbudzanej ultradźwiękami, zaś rozdział nr 6 termicznego „antygaszenia” luminescencji (*ang.* „thermal anti-quenching”) jako właściwości przydatnej w termometrii luminescencyjnej. Przedmiotem badań przedstawionych w rozdziale nr 7 są natomiast inne materiały niż $\text{LiTaO}_3\text{:Pr}$, a mianowicie $\text{SrSi}_2\text{O}_7\text{:Eu}$, $\text{SrSi}_2\text{O}_7\text{:Eu,Mn}$, $\text{SrSi}_2\text{O}_7\text{:Mn}$, AlN:Mn i ZnS:Mn , do których zastosowano techniki I-ML i UsL. Podsumowujący rozprawę rozdział nr 8 oprócz szeregu wniosków zawiera ciekawą sugestię rozwojową. Otóż zdaniem Autora przy mechanoluminescencyjnym wykrywaniu naprężeń warto rozważyć alternatywne podejście, tj. zamiast bazować na zmianach natężenia luminescencji warto monitorować zmiany jej barwy, co może dostarczyć dodatkowych cennych danych oraz poprawić rozdzielczość przestrzenną detekcji naprężeń. Ostatni rozdział pracy p. Haidera (bez numeru) to spis odnośników literaturowych.

Cechą charakterystyczną doktoratu p. Haidera, w czym widzę wpływ doskonałej opieki ze strony Promotora i Promotor Pomocniczej, jest drobiazgowość w prowadzeniu badań, w jak najbardziej pozytywnym znaczeniu tego słowa. Zachwyć może nie tylko wielość i różnorodność przeprowadzonych eksperymentów, lecz również bardzo przejrzysta prezentacja uzyskanych wyników na wykresach, którym towarzyszą precyzyjne podpisy oraz

szczegółowe wyjaśnienia w zasadniczym tekście rozprawy. Za najważniejsze osiągnięcia uważam:

- wspomniane wyżej samodzielne skonstruowanie przez Doktoranta nowych układów eksperymentalnych;
- wykazanie i wytłumaczenie zależności własności mechanoluminescencyjnych $\text{LiTaO}_3\text{:Pr}$ od koncentracji prazeodymu;
- przeprowadzenie pierwszych kompletnych badań luminescencji $\text{LiTaO}_3\text{:Pr}$ wzbudzonej ultradźwiękami o niskiej i wysokiej częstotliwości (brak doniesień literaturowych o takich badaniach);
- wykazanie przydatności $\text{LiTaO}_3\text{:Pr}$ do zastosowań termometrycznych.

Interpretacje wyników są poprawne i kompletne, mam jedynie pewne zastrzeżenia do analizy wyników pomiarów termoluminescencji. Po pierwsze zaproponowana przez Urbacha w 1930 r. empiryczna metoda wyznaczania głębokości pułapek ma w zasadzie jedynie znaczenie historyczne i nie powinna być w ogóle stosowana. W związku z tym podział pułapek na płytkie i głębokie (str. 63-64) traktuję wyłącznie jako poglądowy, gdyż wybór wspomnianej metody całkowicie pomija wpływ częstości ucieczki (*ang.* „frequency factor”) na położenie pików, nie bierze też pod uwagę kinetyki termoluminescencji. Po drugie nie jest w pełni uzasadnione użycie metody Hoogenstraaten (str. 74-78) w sytuacji wyraźnego nakładania się pików, utrudniającego określenie kinetyki termoluminescencji na podstawie ich kształtu i w ślad za tym potwierdzenie poprawności tej metody dla analizowanego przypadku. Ponieważ jednak pomiary termoluminescencji należy potraktować wyłącznie jako uzupełniające zasadniczy tok badań, moja uwaga nie obniża wartości pracy p. Haidera.

Przygotowując rozprawę Doktorant szeroko korzystał z literatury - w spisie wymienił 190 pozycji, przy czym poza kilkoma wyjątkami są to oryginalne artykuły w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Dobór źródeł jest poprawny, a ich duża liczba pokazuje docieklive podejście Autora do rozważanych zagadnień. Format opisu bibliograficznego w spisie jest jednolity, prawidłowy i pełny, co w razie potrzeby ułatwia czytelnikowi dotarcie do cytowanych prac.

Staranna jest również strona stylistyczna i edycyjna pracy doktorskiej p. Haidera, przy czym szczególne wyróżnienie należy się edycji rysunków - choć często złożone są z kilku okienek, to dzięki czytelnym legendom i opisom oraz właściwemu doborowi barw i symboli nie ma problemu z właściwym ich odczytaniem i zrozumieniem. Język angielski nie budzi zastrzeżeń, w czym zapewne pomógł ChatGPT (po raz drugi spotykam się z jego wykorzystaniem do tego celu i sądzę, że szybko stanie się to standardem). Zauważyłem co prawda pewną liczbę drobnych potknięć, które z poczucia obowiązku wymieniam poniżej, jednak nie mają one żadnego wpływu na moją całościową ocenę:

- zbędne drugie słowo „are” w zdaniu „There are numerous mechanisms (...) etc., are utilized by (...)” (str. 14);
- „Valance Band” zamiast „Valence Band” (str. 21 i 64);
- brakujące słowo w zdaniu kończącym się „due to increased.” (str. 30);
- podział podpisów rys. 3.1.3, 3.3.1, 4.3.3.1 i 6.1 między dwie strony (str. 37-38, 47-48, 57-58 i 79-80);
- pomyłka w opisie rys. 5.2.1.1, tj. „in graph (b) at 120 μm ” zamiast „in graph (a) at 120 μm ” (str. 68);
- „form one excited level” i „form second excited level” zamiast „from one excited level” i „from second excited level” (str. 80);
- przekierowanie czytelnika do rys. 7.22 zamiast do 6.22 (str. 83).

Nie mam żadnych wątpliwości, że rozprawa doktorska Pana mgra Syeda Shabiego Haidera spełnia wszystkie ustawowe wymogi¹. Autor w pełni potwierdził swoją wiedzę w tematyce spektroskopii optycznej i rozwiązał interesujące problemy postawione wcześniej jako cele pracy. Wykazał się przy tym dużą samodzielnością i dokładnością, zarówno przygotowując stanowiska pomiarowe, jak i prowadząc badania naukowe przy ich użyciu. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie p. Haidera do obrony.

Chciałbym również wyrazić uznanie dla bogatego - jak na ten moment kariery - dorobku publikacyjnego Autora, liczącego 24 prace (4 bezpośrednio związane z badaniami opisanymi w pracy doktorskiej), w tym 6 prac pierwszoautorskich. Warte podkreślenia są też dwa miesięczne staże naukowe na Uniwersytecie w Gandawie (Belgia), będące ważnym elementem rozwoju naukowego Doktoranta. Biorąc pod uwagę starannie przygotowaną, bardzo wartościową rozprawę, fakt upowszechnienia zaprezentowanych w niej wyników w publikacjach oraz całokształt aktywności naukowej wnioskuję o przyznanie p. Haiderowi wyróżnienia.

Wojciech Dorobek

¹ Ustawa „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z 20 lipca 2018 r. z późn. zm.