



dr hab. inż. Katarzyna Matras-Postolek, prof. PK

28.09.2026 r., Kraków

Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

k.matras@pk.edu.pl, tel. +48 126283059

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Szymona Smółki

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Szymona Smółki pt. „*Właściwości fizykochemiczne i mechanizmy przemian fazowych halogenków ołowiu zawierających w strukturze kationy imidazoliowe: nowe perowskity o przestrajalnych właściwościach optoelektronicznych*” została wykonana w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu pod opieką naukową Pana dr. hab. Macieja Ptaka, prof. INTiBS PAN, w ramach projektu MAESTRO 12, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Rozprawa została napisana w języku polskim i ma formę tematycznie spójnego cyklu czterech artykułów naukowych opublikowanych w renomowanych międzynarodowych czasopismach naukowych, w tym w *Inorganic Chemistry* (dwie publikacje – P1 i P4), *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (publikacja P2, IF = 4,6) oraz *Journal of Materials Chemistry C* (publikacja P3, IF = 5,2). We wszystkich wymienionych publikacjach Pan mgr inż. Szymon Smółka jest pierwszym i korespondencyjnym autorem oraz odegrał wiodącą rolę w ich przygotowaniu. Jego istotny wkład w powstanie prac został potwierdzony w oświadczeniach autora oraz pozostałych współautorów.

Wybór tematyki badawczej, ocena pracy doktorskiej

Perowskitowe materiały półprzewodnikowe należą obecnie do jednej z najintensywniej rozwijanych grup materiałów w obszarze chemii, fizyki i inżynierii materiałowej. Zainteresowanie nimi wynika przede wszystkim z ich unikatowych właściwości fizykochemicznych i optoelektronicznych, które w wielu aspektach odróżniają je od klasycznych materiałów półprzewodnikowych stosowanych od lat w optoelektronice. Perowskity metalohalogenkowe charakteryzują się m.in. wysokim współczynnikiem absorpcji światła, korzystnymi właściwościami transportu nośników ładunku oraz możliwością

stosunkowo łatwego przestrajania właściwości optoelektronicznych poprzez modyfikację składu chemicznego i struktury krystalicznej. Dzięki tym właściwościom materiały perowskitowe znalazły zastosowanie m.in. w fotowoltaice, a ich dynamiczny rozwój w ostatnich kilkunastu latach oraz osiągnięta w warunkach laboratoryjnych wysoka sprawność konwersji energii, sięgająca obecnie około 25–30%, potwierdzają ich znaczący potencjał aplikacyjny. Jednocześnie należy podkreślić, że rozwój technologii perowskitowych jest wciąż ograniczany przez szereg problemów związanych głównie ze stabilnością materiałów, ich skalowaniem oraz obecnością toksycznego ołowiu w większości najbardziej zaawansowanych układów.

Materiały perowskitowe charakteryzują się specyficzną strukturą krystalograficzną, stanowiącą strukturalny analog naturalnie występujących minerałów perowskitowych. Na tle innych materiałów półprzewodnikowych perowskity metalohalogenkowe wyróżniają się wyjątkową możliwością kształtowania ich właściwości fizykochemicznych i optoelektronicznych poprzez odpowiednią inżynierię składu chemicznego, podstawienia jonowe, modyfikację struktury na drodze kontrolowanego wprowadzania jonów do sieci krystalicznej. Ta elastyczność strukturalna i chemiczna stanowi z jednej strony jedną z największych zalet perowskitów, z drugiej zaś jest związana z ich ograniczoną stabilnością. W szczególności quasi-jonowy charakter wiązań oraz stosunkowo niska energia sieci krystalicznej sprawiają, że wiele materiałów perowskitowych wykazuje podatność na przemiany fazowe oraz degradację pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak wilgoć, tlen, promieniowanie UV, temperatura czy polarne rozpuszczalniki. Poszukiwanie nowych układów, pozwalających na lepsze zrozumienie zależności pomiędzy budową strukturalną, dynamiką molekularną, przemianami fazowymi i właściwościami, ma zatem istotne znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne.

W tym kontekście wybór tematyki rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Szymona Smółki należy uznać za w pełni uzasadniony i aktualny. Praca wpisuje się w jeden z ważnych współczesnych nurtów badań nad materiałami perowskitowymi, koncentrując się jednocześnie na zagadnieniach, które mają zasadnicze znaczenie dla zrozumienia zależności pomiędzy strukturą a właściwościami tej klasy materiałów. Warto również podkreślić, że badania nad perowskitami metalohalogenkowymi osiągnęły obecnie bardzo

wysoki poziom zaawansowania. Dynamika rozwoju tej dziedziny znajduje odzwierciedlenie w ogromnej liczbie publikacji naukowych oraz rosnącym zainteresowaniu środowiska akademickiego i przemysłu. W tym kontekście szczególnie istotne stają się badania ukierunkowane nie tylko na uzyskiwanie coraz lepszych parametrów użytkowych, lecz przede wszystkim na pogłębione poznanie mechanizmów odpowiedzialnych za właściwości i zachowanie materiałów perowskitowych. Recenzowana rozprawa zatem bardzo dobrze wpisuje się w ten nurt. Praca doktorska Pana mgr inż. Szymona Smółki ma wyraźnie charakter badań podstawowych, łącząc zagadnienia z zakresu chemii nieorganicznej i materiałowej, krystalochemii, fizyki ciała stałego oraz spektroskopii. **Praca stanowi dojrzałe i kompleksowe opracowanie wyników badań poświęconych nowej grupie hybrydowych materiałów perowskitowych, a dokładniej hybrydowych halogenków ołowiu zawierających w strukturze małowartościowy kation imidazoliowy (IM⁺).**

Ocena formalna pracy doktorskiej

Pan mgr inż. Szymon Smółka przygotował rozprawę doktorską w formie komentarza do opublikowanych i recenzowanych prac naukowych. Praca doktorska liczy łącznie 201 stron i została napisana w języku polskim, w większości poprawnym pod względem językowym i redakcyjnym. Rozprawa zawiera wszystkie elementy niezbędne do jej rzetelnej oceny, w tym streszczenie w języku polskim i angielskim, przedstawienie celów pracy, wstęp literaturowy obejmujący przegląd aktualnego stanu wiedzy, opis metodyki eksperymentalnej, omówienie najważniejszych wyników badań przedstawionych w publikacjach, podsumowanie i dyskusję, wykaz literatury, oświadczenia autorów oraz życiorys naukowy wraz z wykazem dorobku Doktoranta. Integralną część rozprawy stanowią również kopie publikacji P1–P4. Układ pracy jest logiczny i zgodny z przyjętymi standardami dotyczącymi rozpraw doktorskich opartych na cyklu publikacji.

Opinia o części literaturowej

Część wprowadzająca rozprawy została opracowana w sposób zwięzły i skoncentrowany na zagadnieniach bezpośrednio związanych z tematyką prowadzonych badań. Autor przedstawia w niej podstawowe informacje dotyczące materiałów hybrydowych organiczno-nieorganicznych perowskitowych materiałów o architekturze ABX₃ oraz ich odmian o obniżonej wymiarowości, obejmujących układy 3D, 2D, 1D i 0D. Następnie

Doktorant omówił typy podstawień w obrębie podsieci anionowej i kationowej oraz ich wpływ na właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne otrzymywanych materiałów perowskitowych. Autor odnosi się również do problematyki polimorfizmu i przemian fazowych zachodzących w perowskitach hybrydowych, wskazując na znaczenie procesów porządkowania i nieporządkowania komponentu organicznego, a także zmian geometrii i deformacji nieorganicznej sieci krystalicznej. W tej części przedstawiono również zagadnienie przestrajalności właściwości materiałów pod wpływem zmian temperatury i ciśnienia. Istotną część przeglądu stanowi omówienie możliwości wykorzystania wybranych metod analitycznych jak spektroskopii wibracyjnej, której elementem jest zarówno spektroskopia w podczerwieni (IR) i spektroskopia Ramana, umożliwiające śledzenia zmian zachodzących w strukturze badanych materiałów. Zwrócono uwagę na przydatność tych metod w identyfikowaniu zmian symetrii, liczby nierównoważnych fragmentów strukturalnych oraz charakteru i geometrii oddziaływań, w tym wiązań wodorowych. Część literaturową kończy przegląd dotychczasowych badań nad związkami perowskitowymi, w których imidazol stanowi integralny element struktury krystalicznej, co stanowi bezpośrednie wprowadzenie do problematyki badawczej podejmowanej w rozprawie.

Przedstawioną część teoretyczną oceniam pozytywnie. Jest ona wartościowym i rzetelnym wprowadzeniem do problematyki podejmowanej w rozprawie, a przedstawione informacje pozwalają czytelnikowi zrozumieć podstawy strukturalne i fizykochemiczne badanych materiałów. Jednocześnie, w trakcie lektury znalazłam kilka fragmentów, które wymagają doprecyzowania lub bardziej jednoznacznego sformułowania. Dotyczy to zarówno niektórych stwierdzeń o charakterze merytorycznym, jak i pojedynczych sformułowań językowych, które mogą utrudniać jednoznaczną interpretację przedstawionych treści np.:

- na str. 15 Autor stwierdza: „*W przypadku FA^+ dopasowanie jest bardziej zniuansowane: jodek ($TFI < 1$) stabilizuje fazę 3D, bromek znajduje się praktycznie na progu ($TFBr \approx 1$) i stanowi układ graniczny, który mimo to przyjmuje topologię 3D, natomiast chlorek wykazuje już $TFCl > 1$, co koreluje z trudnością w uzyskaniu stabilnej odmiany 3D*”. W tym miejscu nie jest dla mnie w pełni jasne, jakie znaczenie Autor przypisuje wartościom TF oraz w jaki sposób należy interpretować określenie „*dopasowanie jest bardziej zniuansowane*”.

- na str. 24 pojawia się natomiast sformułowanie: „[...] *do płytszego położenia wierzchołka pasma walencyjnego względem próżni, co może ułatwiać ekstrakcję dziur*”. Określenie „płytsze położenie wierzchołka pasma walencyjnego” jest w tym kontekście mało jednoznaczne językowo. Warto byłoby wskazać wprost, czy chodzi o niższe położenie krawędzi pasma walencyjnego bliżej poziomu próżni, a następnie wyjaśnić, w jaki sposób zmiana ta wpływa na energetykę procesu ekstrakcji dziur.
- na str. 30 znajduje się zdanie: „*Związki imidazoliowe i ich pochodne są wykorzystywane jako dodatki lub warstwy pasywujące w celu poprawy stabilności środowiskowej perowskitów halogenkowych ołowiu, w szczególności poprzez zwiększenie odporności na wilgoć dzięki właściwościom hydrofobowym. Ich działanie polega głównie na modyfikacji chemii i energetyki powierzchni, bez trwałej integracji ze szkieletem krystalicznym, dlatego pełnią przede wszystkim funkcję funkcjonalną, a nie strukturotwórczą*”. W tym przypadku określenie „pełnią przede wszystkim funkcję funkcjonalną” jest niezręczne, ponieważ jest tautologiczne i nie precyzuje, na czym ta funkcja polega, lepsze byłoby np. sformułowanie: „pełnią przede wszystkim funkcję modyfikującą właściwości powierzchni, a nie funkcję strukturotwórczą”. Jednocześnie warto byłoby zaznaczyć, że charakter oddziaływania związków imidazoliowych może zależeć od konkretnego układu i sposobu ich zastosowania.
- Pewnych wyjaśnień wymaga również stwierdzenie na str. 23, zgodnie z którym „[...] *mimo formalnego wzoru ABX_3 materiał ma w praktyce jednowymiarowy charakter elektronowy*”. Określenie „jednowymiarowy charakter elektronowy” nie jest w tym miejscu wystarczająco jednoznaczne. Czy chodzi o anizotropię transportu ładunków, ograniczenie efektywnego sprzężenia elektronowego do określonych kierunków krystalograficznych, czy też o quasi-jednowymiarową topologię pasm elektronowych? Proszę tu o komentarz.

Powyższe przykłady wskazują na drobne niedociągnięcia językowe. W kilku miejscach sformułowania są zbyt dosłowne lub wymagają dopracowania pod względem językowym. Nie wpływa to jednak na zrozumienie treści.

Opinia o części eksperymentalnej

Część eksperymentalna zawiera opis metod syntezy oraz zastosowanych technik badawczych wykorzystanych w pracy. Kluczową część rozprawy stanowi streszczenie i

omówienie wyników badań przedstawionych w czterech artykułach naukowych (P1–P4), opublikowanych w latach 2022–2026 w recenzowanych, prestiżowych czasopismach indeksowanych w bazie Journal Citation Reports:

- [P1] S. Smółka, M. Mączka, D. Drozdowski, D. Stefańska, A. Gągor, A. Sieradzki, J.K. Zaręba, M. Ptak, *Effect of Dimensionality on Photoluminescence and Dielectric Properties of Imidazolium Lead Bromides*, *Inorg. Chem.* **2022**, 61, 38, 15225-15238
- [P2] S. Smółka, E. Kucharska, M. Ptak, *Insight into the mechanisms of phase transitions in imidazolium lead bromides with varying dimensionality: A comparative vibrational study*, *Spectrochim. Acta Part A*. **2025**, 341, 126388
- [P3] S. Smółka, S. Sobczak, K. Roszak, Y. da Silva Borges, A. Katrusiak, W. Paraguassu, M. Ptak, *Exploring of Pressure-Induced Phase Transitions in Imidazolium Lead Bromide Hybrids*, *J. Mater. Chem. C* **2026**, 14, 8677-8689
- [P4] S. Smółka, D. Drozdowski, D. Stefańska, A. Gągor, A. Sieradzki, K. Fedoruk-Piskorska, Y. da Silva, Borges, W. Paraguassu, M. Ptak, *Effect of Dimensionality on Photoluminescence and Dielectric Properties of Imidazolium Lead Bromides*, *Inorg. Chem.* **2026**, doi: 10.1021/acs.inorgchem.6c00645

Głównym celem badań przedstawionych w artykułach [P1–P4] było zaprojektowanie, synteza oraz kompleksowa charakterystyka serii hybrydowych halogenków ołowiu zawierających w strukturze małowartościowy kation imidazoliowy (IM^+). W ramach pracy otrzymano i scharakteryzowano bromki i chlorki imidazoliowo-ołowiowe o ogólnych wzorach: $\text{IM}_2\text{Pb}_3\text{Cl}_8 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, IM_3PbCl_5 , IMPbBr_3 , IM_2PbBr_4 oraz IM_3PbBr_5 . Synteza badanych materiałów w postaci monokryształów opierała się przede wszystkim na metodzie krystalizacji z roztworu. Szczególną uwagę poświęcono określeniu zależności pomiędzy strukturą krystaliczną, dynamiką komponentu organicznego, przemianami fazowymi oraz właściwościami optycznymi i dielektrycznymi otrzymanych materiałów. Istotnym elementem pracy było również określenie wpływu zewnętrznych czynników fizycznych, przede wszystkim temperatury i wysokiego ciśnienia, na strukturę oraz właściwości badanych związków.

Na szczególne podkreślenie zasługuje zastosowanie przez Doktoranta zaawansowanych i komplementarnych technik badawczych do charakterystyki otrzymanych materiałów. W pracy

wykorzystano m.in. dyfrakcję rentgenowską, spektroskopię oscylacyjną (Ramana i IR) w funkcji temperatury lub ciśnienia, pomiary dielektryczne oraz różnicową kalorymetrię skaningową (DSC). Badania eksperymentalne zostały dodatkowo wsparte obliczeniami teoretycznymi opartymi na teorii funkcjonału gęstości (DFT), co pozwoliło na pogłębienie interpretacji uzyskanych wyników, w szczególności w zakresie charakterystyki struktury elektronowej oraz przypisania i interpretacji obserwowanych pasm spektroskopowych. Nowatorski charakter mają również badania wysokociśnieniowe, w których połączono wysokociśnieniową dyfrakcję monokryształów z pomiarami spektroskopowymi Ramana. Zastosowanie tych komplementarnych metod umożliwiło identyfikację progów przemian fazowych oraz ich bezpośrednią korelację ze zmianami i przebudową struktury krystalicznej opracowanych materiałów.

W mojej ocenie, zastosowany zestaw metod badawczych pozwolił na kompleksową realizację założonych celów pracy doktorskiej i uzyskanie spójnego obrazu zależności pomiędzy strukturą krystaliczną, dynamiką komponentu organicznego a właściwościami fizycznymi badanych związków. Tak kompleksowo zaprojektowany program badań wykracza poza standardową charakterystykę tego typu materiałów i stanowi istotny wkład w poznanie zależności pomiędzy strukturą, dynamiką kationów imidazoliowych a właściwościami hybrydowych halogenków ołowiu. Jest to szczególnie istotne w przypadku hybrydowych halogenków ołowiu, w których wzajemne oddziaływania pomiędzy nieorganicznym szkieletem metalohalogenkowym a komponentem organicznym mogą w istotny sposób determinować ich zachowanie pod wpływem zmian temperatury i ciśnienia. Całość uzyskanych wyników została przedstawiona i zinterpretowana w sposób spójny oraz przekonujący. W mojej ocenie praca reprezentuje bardzo wysoki poziom naukowy, a uzyskane wyniki mają znaczenie dla rozwoju wiedzy w zakresie hybrydowych materiałów metalohalogenkowych, co znajduje potwierdzenie w cyklu czterech opublikowanych artykułów naukowych.

W pierwszej z nich [P1] dokonano porównania trzech imidazoliowych bromków ołowiu charakteryzujących się różną topologią podsieci PbBr_6 . Analiza obejmująca układ pseudotrójwymiarowy (IMPbBr_3) oraz dwa układy łańcuchowe (IMPbBr_4 , IMPbBr_5) pozwoliła wykazać, że sposób wzajemnego połączenia oktaedrów PbBr_6 ma bezpośredni wpływ na charakter odpowiedzi dielektrycznej, przebieg przemian fazowych oraz właściwości

optyczne, w tym szerokopasmową fotoluminescencję. Zestawienie związków o odmiennej architekturze stanowi wartościowe podejście pozwalające wskazać zależności pomiędzy topologią struktury a właściwościami funkcjonalnymi.

Publikacja [P2] koncentruje się na mechanizmach przemian fazowych dwóch bromków ołowiu (IMPbBr_3 oraz IM_2PbBr_4) o odmiennej architekturze. Wykorzystanie temperaturowo zależnych widm Ramana i IR umożliwiło identyfikację charakterystycznych zmian w zakresie niskich liczb falowych oraz reorganizacji pasm związanych z kationem IM^+ i grupami N–H. Wyniki te pozwoliły na powiązanie zmian obserwowanych w widmach oscylacyjnych z porządkowaniem komponentu organicznego oraz deformacjami podsieci nieorganicznej. Istotną wartością tej części badań jest próba opisu przemian fazowych nie tylko w kategoriach zmian strukturalnych, ale również poprzez analizę dynamiki poszczególnych komponentów kryształu. Najważniejszym osiągnięciem pracy było wyznaczenie eksperymentalnych sygnatur przemian fazowych zarówno w zakresie drgań sieciowych, jak i drgań wewnętrznych kationu IM^+ , a także wykazanie, że w obu badanych związkach istotną rolę odgrywa sprzężenie dynamiki kationu IM^+ z geometrią i siłą wiązań wodorowych N–H $\cdots$ Br.

Z kolei w publikacji [P3] problematykę przemian fazowych rozszerzono o zastosowanie ciśnienia hydrostatycznego jako zewnętrznego bodźca umożliwiającego modyfikację struktury imidazoliowych bromków ołowiu, badanych wcześniej w funkcji temperatury [P2]. Szczególnie cenne jest połączenie wysokociśnieniowej dyfrakcji monokryształów ze spektroskopią Ramana, które umożliwiło identyfikację kolejnych etapów przemian oraz ich bezpośrednią korelację ze zmianami strukturalnymi. Podejście to pozwoliło również ocenić odwracalność obserwowanych procesów, stanowiąc istotny element charakterystyki zachowania materiałów pod wpływem zewnętrznego bodźca. Dla IMPbBr_3 najważniejszym wynikiem jest wykazanie, że już bardzo niskie ciśnienie stabilizuje fazę uporządkowaną, izostrukturną względem niskotemperaturowej fazy o symetrii polarnej. W dyfrakcji monokryształowej przejście z fazy heksagonalnej do rombowej obserwuje się w zakresie około 0,24–0,30 GPa, natomiast w widmach Ramana odpowiada mu anomalia występująca w zbliżonym zakresie, około 0,3–0,6 GPa. W przypadku IM_2PbBr_4 wykazano natomiast dwie jakościowo odmienne odpowiedzi materiału na działanie ciśnienia. Pierwsza przemiana, obserwowana w zakresie około 1,6–2,1 GPa, znajduje potwierdzenie zarówno w spektroskopii

Ramana, jak i w dyfrakcji na monokryształach. Druga anomalia, pojawiająca się w zakresie około 5,3–6,2 GPa, ma odmienny charakter i przejawia się poszerzeniem pasm oraz nieciągłościami w zależności ich częstości od ciśnienia. Wyniki te zinterpretowano jako początek ciśnieniowo indukowanego nieuporządkowania strukturalnego, któremu może towarzyszyć częściowa amorfizacja materiału.

W końcu w publikacji [P4] Doktorant rozszerza zakres badań o układy chlorkowe, pozwalając ocenić wpływ wymiany anionu halogenkowego na dynamikę kationu IM^+ i mechanizm przemian fazowych. Otrzymanie i scharakteryzowanie IM_3PbCl_5 o architekturze łańcuchowej oraz porowatego $IM_2Pb_3Cl_8 \cdot 0,5H_2O$ o trójwymiarowej sieci zbudowanej z wielościanów $PbCl_5$ umożliwiło przeprowadzenie analizy zależności pomiędzy składem chemicznym, topologią struktury i dynamiką komponentu organicznego. Szczególnie interesujące jest wyznaczenie wieloetapowej sekwencji przemian temperaturowych dla IM_3PbCl_5 oraz jej powiązanie z porządkowaniem kationów IM^+ i przebudową sieci oddziaływań $N-H \cdots Cl$. Spójność obserwacji uzyskanych metodami dyfrakcyjnymi, spektroskopowymi i dielektrycznymi wzmacnia przedstawioną interpretację.

Pytania i komentarze do części eksperymentalnej:

- Jak oceniana jest długoterminowa stabilność otrzymanych hybrydowych halogenków ołowiu zawierających w strukturze małowartościowy kation imidazoliowy (IM^+), szczególnie w kontekście ich potencjalnych zastosowań praktycznych? Czy na podstawie przeprowadzonych badań można rzeczywiście stwierdzić, że wprowadzenie małowartościowego kationu imidazoliowego, ze względu na jego charakter hydrofobowy, wpływa na zwiększenie stabilności opracowanych materiałów? O czym Autor wspominał na str. 30 w części literaturowej rozprawy?
- Czy na podstawie przeprowadzonych, szeroko zakrojonych badań można sformułować bardziej ogólne wnioski dotyczące czynników decydujących o stabilności struktury krystalicznej halogenkowych perowskitów zawierających kationy organiczne? Czy możliwe jest wskazanie uniwersalnych zależności lub reguł opisujących wpływ rodzaju i wielkości kationu organicznego, temperatury oraz ciśnienia na stabilność poszczególnych faz? Na ile wnioski te można odnieść również do innych grup hybrydowych perowskitów

zawierających większe lub mniejsze kationy organiczne? Który parametr będzie decydujący ?

- Dla większości badanych materiałów nie przedstawiono wartości wydajności kwantowej luminescencji, a tam, gdzie zostały one podane, są one stosunkowo niskie. Jakże mechanizmy mogą odpowiadać za ograniczoną wydajność kwantową i stosunkowo niską intensywność luminescencji badanych materiałów? Jest to szczególnie interesujące w kontekście faktu, że wiele halogenkowych perowskitów wykazuje bardzo intensywną luminescencję, często charakteryzując się wysokimi wartościami PLQY i małą wartością FWHM.
- Bardzo interesująca jest przedstawiona zależność intensywności luminescencji od temperatury. Dla większości badanych układów obserwuje się jej systematyczny spadek wraz ze wzrostem temperatury, natomiast dla IMPbBr_3 intensywność luminescencji początkowo wzrasta, a następnie maleje. Z czego może wynikać tak odmienny przebieg zależności? Jak można interpretować tę zależność w kontekście przemian fazowych zachodzących w tym materiale? (Fig. S16, str. 121: Changes of integrated intensity of PL for (a) IMPbBr_3 , (b) IM_2PbBr_4 and (c) IM_3PbBr_5 with increasing temperature.)

Kończąc, chciałabym zwrócić uwagę na dużą aktywność naukową Doktoranta. Jest on autorem i współautorem 18 publikacji naukowych, w tym 4 prac wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, opublikowanych w renomowanych czasopismach o wysokim poziomie oddziaływania, m.in. Chemistry of Materials, Inorganic Chemistry, Journal of Physical Chemistry C, Dalton Transactions, Materials oraz Journal of Molecular Structure. Publikacje te były cytowane 129 razy według bazy Scopus (stan na 28.09.2026 r.), a indeks Hirscha Doktoranta wynosi 6. Istotnym elementem jego dorobku jest również aktywny udział w międzynarodowym życiu naukowym. W trakcie realizacji doktoratu prezentował wyniki badań na konferencjach ICORS, EUCMOS i ICMS, m.in. w Stanach Zjednoczonych, Finlandii, Włoszech i Polsce. Doświadczenie badawcze rozwijał także w ramach projektów NCN MAESTRO 12 i OPUS 21, prowadząc badania z wykorzystaniem spektroskopii Ramana i IR oraz analizując przemiany strukturalne i właściwości fizyczne badanych materiałów.

Na podkreślenie zasługuje również doświadczenie zdobyte w Zakładzie Spektroskopii Optycznej INTiBS PAN, obejmujące prowadzenie pomiarów spektroskopowych, analizę danych oraz udział w przygotowaniu i modyfikacji układów pomiarowych. Jego przygotowanie naukowe uzupełniają wykształcenie w zakresie inżynierii materiałowej oraz doświadczenie zawodowe zdobyte w przemyśle chemicznym i sektorze materiałów dla baterii. Przedstawiony dorobek potwierdza dobre przygotowanie Doktoranta do samodzielnej pracy naukowej oraz jego konsekwentny i dynamiczny rozwój w obszarze nowoczesnych materiałów funkcjonalnych.

Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorka Pana mgr. inż. Szymona Smółki pt. *„Właściwości fizykochemiczne i mechanizmy przemian fazowych halogenków ołowiu zawierających w strukturze kationy imidazoliowe: nowe perowskity o przestrajalnych właściwościach optoelektronicznych”* stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego spełniając tym samym wszystkie kryteria zwyczajowe i formalne stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668). Wnoszę zatem do Rady Naukowej Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych im. Włodzimierza Trzebiatowskiego Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu o dopuszczenie Pana mgr. inż. Szymona Smółki do dalszych etapów przewodu doktorskiego. **Z uwagi na wysoką wartość merytoryczną rozprawy, rzetelność prowadzonych badań, a także znakomity dorobek naukowy, wnioskuję o wyróżnienie ocenianej pracy.**

Katarzyna Matras-Postołek

