

Louisville, 3 listopada, 2023 r.

Dr. Jacek B. Jasiński
Conn Center for Renewable Energy Research
University of Louisville
Louisville, KY 40292, USA
Tel: +1-502.852.6338
E-mail: jacek.jasinski@louisville.edu

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr Karoliny
Łempickiej-Mirek, zatytułowanej „Polarytony ekscytonowe
w mikrownękach optycznych z perowskitami”**

Niniejsza recenzja ma na celu ocenę rozprawy doktorskiej z dziedziny fizyki pt. „Polarytony ekscytonowe w mikrownękach optycznych z perowskitami”, wykonanej przez Panią mgr Karolinę Łempicką-Mirek, w Instytucie Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, pod kierunkiem Pani profesor UW, dr hab. Barbary Piętki. W szczególności celem tej recenzji jest ocena czy rozprawa spełnia warunki wymagane w § 5 pkt 1–2 Załącznika nr 1 do uchwały nr 157 Senatu Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 29 czerwca 2022 r. w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz stopnia doktora habilitowanego na Uniwersytecie Warszawskim, a mianowicie:

1. Czy rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?
2. Czy przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego albo oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej?

Od razu na wstępie podkreślę, że w mojej ocenie rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Łempickiej-Mirek spełnia te warunki, a ponadto zasługuje również na wyróżnienie. Rozprawa ta dotyczy bardzo ciekawych zagadnień, związanych z warunkami silnego sprzężenia światło-materia w strukturach optycznych wnęk rezonansowych z wbudowanymi materiałami perowskitowymi jako wydajnymi emiterami. Ze względu na swoje wyjątkowe właściwości optyczne, takie jak wysoki współczynnik absorpcji, duża energia wiązania ekscytanu, możliwość strojenia przerwy energetycznej poprzez zmiany składu chemicznego, a także wydajną emisję (również w temperaturze pokojowej) perowskity cieszą się w ostatnich lat ogromnym zainteresowaniem jako materiały aktywne do zastosowań w urządzeniach i układach optycznych. Mimo tego zagadnienia związane z integracją perowskitów w strukturach wnęk rezonansowych nie są jeszcze dostatecznie szeroko zbadane, zwłaszcza biorąc pod uwagę szereg fascynujących zjawisk zachodzących w tych układach (często nawet w temperaturach pokojowych), takich jak mieszanie stanów fotonowych i ekscytonowych, nieliniowe zjawiska związane z nierównowagową kondensacją Bosego-Einsteina polarytonów, czy nietrywialna topologia struktury pasmowej i występowanie polarytonowej krzywizny Berry'ego. **Dlatego rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Łempickiej-Mirek podejmuje bardzo aktualny temat, a szereg przedstawionych badań ma charakter pionierski w tej dziedzinie. Ponadto, badania te są niezwykle istotne zarówno z punktu widzenia zrozumienia fascynujących**

zjawisk fizycznych zachodzących w tych układach, jak i zastosowań tych układów do konstrukcji zaawansowanych urządzeń optoelektronicznych, pracujących w temperaturze pokojowej.

Rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Łempickiej-Mirek napisana jest w języku polskim i ma przystępną i logiczną strukturę, składającą się ze wszystkich typowych dla takiego dokumentu części. Rozpoczyna ją strona tytułowa, streszczenie w języku polskim i angielskim, podziękowania i spis treści z hiperlinkami do poszczególnych rozdziałów, co swoją drogą jest bardzo wygodne. Następująca po tym główna część rozprawy składa się z Rozdziałów 1-7, które omówię szczegółowo poniżej, podkreślając jednocześnie najważniejsze osiągnięcia tych badań. Dalej, w Rozdziale 8 znajduje się podsumowanie najważniejszych wyników pracy. Ostatnia część, to szczegółowa lista publikacji i wystąpień naukowych Doktorantki, a dalej - lista rysunków i bibliografia, zawierająca 275 odnośników literaturowych.

W Rozdziale 1, w oparciu o obszerny przegląd literatury, Doktorantka przybliży tematykę badań i wszystkie najważniejsze zagadnienia bezpośrednio związane z jej pracą doktorską. I tak kolejno zapozna czytelnika z podstawowymi pojęciami, jak również istotnymi szczegółami tej tematyki. Zaczyna od perowskitów, tzn. klasy materiałów, którymi zajmowała się w swoich badaniach. Omawia ich strukturę i własności optycznych, a także wpływ wymiarowości (np. zagadnienia związane z perowskitami dwuwymiarowymi (2D) i kwazi-2D) i strukturyzacji (np. wytwarzanie nano- i mikrodrutów w celu uzyskania efektów ograniczenia kwantowego) na własności tych materiałów. Potem obszernie omawia rezonansowe mikrownęki optyczne, ich rodzaje, własności, jak również metody otrzymywania i strojenia. Opisuje także fizykę mikrownęki optycznej z materiałem półprzewodnikowym takim jak perowskit pomiędzy lustrami. Omawia też zjawisko silnego sprzężenia światło-materia i pojawiające się w takich warunkach polarytony ekscytonowe tzn. kwazicząstki tworzące się w wyniku silnego oddziaływania fotonów wnękowych z ekscytonami w półprzewodniku. W celu teoretycznego opisanie tego procesu Doktorantka wprowadza model sprzężonych oscylatorów i omawia jego analityczne rozwiązania. Opis ten uzupełnia także literaturowymi wynikami doświadczalnymi dla polarytonów w różnych materiałach półprzewodnikowych. W dalszej części rozdziału opisuje strojenie mikrownęki optycznej poprzez wypełnienie jej materiałem dwójtomnym i zagadnienia związane z polaryzacją światła. W rozdziale tym omawia też trzy metody obrazowania wykorzystywane w swoich badaniach: obrazowanie w przestrzeni rzeczywistej, obrazowanie w przestrzeni odwrotnej i tomografia spektralna, pozwalającą obrazować zależności dyspersyjne w przestrzeni wektora falowego. Ostatnia część Rozdziału 1 poświęcona jest zjawisku kondensacji Bosego-Einsteina i obserwacji kondensatów polarytonowych. Ogólnie cały Rozdział 1 jest bardzo dobrze napisany i daje czytelnikowi jasny obraz omawianych zagadnień. Doktorantka w sposób zrównoważony opiera się tu na wiedzy literaturowej i opisuje te zagadnienia w stopniu umożliwiającym dobre zrozumienie wyników głównej części pracy. Jedna tylko uwaga, to to, że przy omawianiu perowskitów warto może byłoby zdefiniować za pomocą jednego ogólnego wzoru wszystkie rodzaje perowskitów, tzn. perowskity 2D, kwazi-2D i perowskity objętościowe (3D). W szczególności można byłoby dodać, że ogólny wzór perowskitów ma postać $A'_2A_{n-1}B_nX_{3n+1}$, a perowskity 2D, kwazi-2D i 3D, odpowiadają kolejno $n=1$, $1 < n < \infty$ i $n=\infty$. Ułatwiłoby to dodatkowo czytanie dalszej części pracy, a w szczególności Rozdziału 2.

Rozdział 2, a częściowo także Rozdziały 4 i 5 poświęcone są wytwarzaniu i charakteryzacji materiałów użytych później do badań w mikrownękach optycznych. Należy tu od razu podkreślić, że syntezy tych materiałów przeprowadzone zostały przez Doktorantkę (w kilku przypadkach przy wsparciu dodatkowych osób, które zostały wymienione w pracy) w większości na Wydziale Fizyki UW, gdzie m.in. Doktorantka rozbudowała laboratorium chemiczne do syntezy monokryształów perowskitów. Rozdział 2 pracy rozpoczyna się do rzetelnego, popartego przeglądem literaturowym, omówienia metod otrzymywania perowskitów. Pozwala to czytelnikowi na dobre zrozumienie kolejnych podrozdziałów, gdzie Doktorantka opisuje przeprowadzone przez siebie syntezy różnych materiałów perowskitowych i ich charakteryzację. W szczególności opisane są tu procesy syntezy perowskitów hybrydowych organiczno-nieorganicznych (2D), takich jak PEPI, PEPI-F, Mn:PEPI, BAPI, OCT, perowskitu nieorganicznego (3D) CsPbBr₃ oraz perowskitów (DA)₂(MA)_{n-1}Pb_nI_{3n+1} (n=1 do 5) (tzn. 2D i kwazi-2D) na bazie jodku dodecyloamoniowego. Część z tych materiałów otrzymana została zarówno w postaci warstw polikrystalicznych, jak i monokryształów. Ponadto, Doktorantka z sukcesem zastosowała strukturyzację perowskitów poprzez ich wzrost w formie mikrodrutów w odpowiednio zaprojektowanych i przygotowanych szablonach. Przedstawiła też wyniki syntezy fluorowanego, hybrydowego perowskitu PEPI-F i domieszkowanych perowskitów Mn:PEPI, jak również eksfoliacji niektórych z otrzymanych monokryształów perowskitów hybrydowych. W Rozdziale 2 opisała też zastosowaną przez siebie metodę zabezpieczenia wytworzonych próbek perowskitów poprzez pokrycie ich cienką warstwą ochronną PMMA - poli(metakrylanu metylu), a dalej w Rozdziale 5 metodę jaką stosowała do otrzymania zawieszonych warstw z perowskitem 2D i przekładania warstw materiału o zadanej grubości na podłoża dowolnej wielkości, w szczególności na lustra dielektryczne. W tych rozdziałach przedstawiła również wyniki charakteryzacji syntetyzowanych materiałów. Składały się na to badania morfologii próbek przy użyciu mikroskopii optycznej, badania strukturalne za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej i badania optyczne przy użyciu pomiarów fotoluminescencji i absorpcji. Pomiaru te w większości przypadków potwierdziły, że większość planowanych syntez była udana i dała materiały perowskitowe o bardzo dobrej jakości. Jedyna uwaga tylko czy nie warto może było wykonać jeszcze jakiś dodatkowych bezpośrednich pomiarów składu i struktury otrzymanych materiałów? W szczególności dałoby to może więcej informacji na temat domieszkowanych perowskitów Mn:PEPI, zwłaszcza, że niektóre wyniki nasuwają pytania o faktyczną koncentrację Mn w strukturze tych materiałów? Pytanie np. czy jeśli Mn wbudował się w dużych ilościach do sieci krystalicznej perowskitu, to jaki powinno to mieć wpływ na stałe sieciowe i położenia pików we wzorach dyfrakcji rentgenowskiej? Pewne wątpliwości budzą też wyniki XRD starzeniowych próbek PEPI i Mn:PEPI przedstawione na rysunkach 5.4 i 5.5. Otóż pomiary po 2 dniach starzenia pokazują bardzo nieznaczne zmiany, podczas gdy po 4 dniach nie ma już prawie wcale refleksów od fazy krystalicznej. Zastanawiające jest też co jest produktem degradacji. O ile próbki nie uległy niemal całkowitej amorfizacji, to po tych 4 dniach, we wzorach dyfrakcyjnych powinny pojawić się refleksy produktu degradacji. Aby rozstrzygnąć te wątpliwości może warto byłoby tutaj zmierzyć te próbki w szerszym zakresie kątów. Poza tym, badania z mniejszym krokiem czasowym, np. co 6 czy 12 godzin dałyby więcej informacji. Generalnie jednak, mimo tych kilku uwag, chcę podkreślić ogrom pracy jaki Doktorantka włożyła we wszystkie procesy syntezy i że większość z nich dała materiały o bardzo dobrej jakości co było kluczowe dla uzyskania świetnych wyników przy pomiarach w mikrownękach optycznych na dalszym etapie pracy. Chce także podkreślić, że niektóre z syntez były przeprowadzone po raz

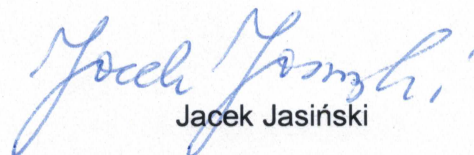
pierwszy, a inne samodzielnie zmodyfikowane przez Doktorantkę. Poza tym, jednym z bardzo znaczących osiągnięć było np. otrzymanie po raz pierwszy monokryształów Mn:PEPI. Dzięki udanym syntezom i otrzymaniu serii polikrystalicznych próbek Mn:PEPI udało się także po raz pierwszy zmierzyć rozszczepienia Zeemana zależne od koncentracji manganu w takich materiałach. Warto jeszcze podkreślić względną prostotę zastosowanych przez Doktorantkę metod syntezy i możliwość uzyskania dobrej jakości kryształów perowskitów bez konieczności stosowania skomplikowanej aparatury badawczej. Niewątpliwie ma to duże znaczenie z punktu widzenia zarówno dalszych badań podstawowych tych materiałów, jak i ich potencjalnych zastosowań.

Większość otrzymanych materiałów badana była w mikrownękach optycznych pod kątem takich zjawisk fizycznych jak silne sprzężenie światło-materia i powstawanie polarytonów i kondensatów polarytonowych. Badania te i uzyskane wyniki opisane zostały w Rozdziałach 3-7. Generalnie, ten etap projektu, podobnie jak omawiana wcześniej faza syntez i przygotowania materiałów perowskitowych, zakończył się sukcesem i szeregiem istotnych osiągnięć. W szczególności zastosowanie w mikrownękach materiałów perowskitowych o wysokiej jakości, zarówno warstw polikrystalicznych, jak i struktur monokrystalicznych umożliwiło uzyskanie warunków silnego sprzężenia światło-materia, pojawienie się polarytonów i obserwację szeregu innych interesujących zjawisk fizycznych, często w temperaturze pokojowej. Np. pomiary emisji i odbicia monokryształów hybrydowych perowskitów potwierdziły występowanie charakterystycznych rezonansów wynikających z ułożonych na przemian warstw organicznych i nieorganicznych, tworzących *de facto* układy wielostudni kwantowych. Badania Doktorantki wykazały też istnienie stanów skwantowanych wynikających z uwięzienia polarytonów w strukturach mikrodrutów perowskitu umieszczonego we wnęcie optycznej. Zaznaczyć również trzeba, że oprócz wysokiej jakości materiałów kluczowe w badaniach Doktorantki było też zastosowanie przez Nią ważnych i często nowatorskich rozwiązań w samym układzie doświadczalnym i w przygotowaniu wnęk rezonansowych. Np. zastosowanie elementu piezoelektrycznego do przesuwania zwierciadeł i strojenia wnęki pozwalało stroić mody polarytonowe pojawiające się po umieszczeniu perowskitu. Udało się dzięki temu m.in. zademonstrować po raz pierwszy strojenie dolnym modem polarytonowym w temperaturze pokojowej we wnęcie z perowskitem PEPI i zmierzyć siłę sprzężenia tego układu, jak również po raz pierwszy wytworzyć warunki silnego sprzężenia we wnękach z polikrystalicznymi warstwami perowskitów BAPI i OCT. Innym ważnym wynikiem była też obserwacja silnego sprzężenia oraz kondensacji polarytonowej, jak również współzawodnictwo pomiędzy kondensatami o różnej polaryzacji obserwowane w badaniach wnęk optycznych z perowskitem CsPbBr₃. Zaobserwowane w tym przypadku zjawisko rozdzielenia przestrzennego kondensatów polarytonowych otwiera możliwość tworzenia nieliniowej odpowiedzi układu i potencjalnie może być wykorzystywane do konstrukcji zawansowanych nieliniowych urządzeń optycznych, działających w temperaturze pokojowej. Doktorantka opracowała i zastosowała do swoich badań też nową technikę pozwalającą na wytworzone wolnostojących warstwy perowskitu na folii poliimidowej. Technika ta daje potencjalnie możliwość stosowania perowskitów w urządzeniach elastycznej optoelektroniki bo jak Doktorantka wykazała w swoich pracach cienka elastyczna folia polimidowa z perowskitem pozwala z jednej strony na przekładanie na różne podłoża, a z drugiej ma znikomy wpływ na właściwości optyczne perowskitu. Korzystając z tej techniki, Doktorantka

zastosowała zawieszoną folię poliimidową z perowskitem PEPI w strukturze strojonej wnęki dielektrycznej i z sukcesem uzyskała warunki silnego sprzężenia, a także była w stanie zmierzyć energię Rabięgo dla tego układu. Jednym z najważniejszych osiągnięć recenzowanej tu pracy doktorskiej jest również niewątpliwie zastosowanie nowatorskiej architektury wnęki fotonicznej z perowskitem wbudowanym w ośrodek silnie dwójtomny, jakim jest ciekły kryształ wypełniający wnękę. Strojenie polarytonów ekscytonowych w tym układzie może być realizowane poprzez przyłożenie zewnętrznego napięcia i zmianę efektywnego współczynnika załamania światła poprzez obrót molekuł ciekłego kryształu. To w szczególności umożliwia kontrolę spinowo-orbitalne (SOC) Rashba-Dresselhaus. W badaniach z takimi wnękami, Doktorantka pokazała m.in., że obniżenie symetrii wnęki może prowadzić do otwarcia przerwy energetycznej w punktach krytycznych zależności dyspersyjnej polarytonów. Zmieniając kąt uporządkowania molekuł ciekłego kryształu w pewnych warunkach była w stanie znosić degenerację stanów polarytonowych. W efekcie w takim układzie można generować lokalnie niezerowe krzywizny Berry'ego. Dotychczas było to możliwe jedynie przy użyciu zewnętrznych pól magnetycznych lub zmian temperatury, natomiast badania Doktorantki pokazują, że można to osiągnąć również za pomocą przyłożonego zewnętrznego napięcia. Otwiera to możliwość prac nad urządzeniami spintronicznymi sterowanymi napięciem. W oparciu o tę nowatorską architekturę, wprowadzając do mikrownęki wypełnionej ciekłym kryształem monokrystały perowskitu CsPbBr_3 , Doktorantce udało się również zademonstrować przestrajalny laser emitujący chiralne światło o dwóch wiązkach spolaryzowanych kołowo, wychodzących z wnęki pod różnymi kątami. Urządzenie to oparte na bazie kondensatu polarytonowego dało się efektywnie włączać lub wyłączać (przełączanie ON/OFF) za pomocą zewnętrznego pola elektrycznego i zmianę progu kondensacji. O znaczeniu badań Doktorantki na wnękach ciekłokrystalicznych wypełnionych perowskitem świadczy m.in. fakt, że część z otrzymanych wyników została już opublikowana w prestiżowym czasopiśmie *Science Advances*, a druga równie ciekawa publikacja jest na etapie recenzji. W obu tych pracach Doktorantka jest pierwszą autorką.

Podsumowując, w mojej ocenie rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Łempickej-Mirek, wykonana pod kierunkiem Pani profesor UW, dr hab. Barbary Piętki opiera się na ważnych i nowatorskich badaniach i stanowi oryginalne rozwiązanie szeregu problemów naukowych dotyczących zrozumienia, kontroli i wykorzystania zjawisk związanych z silnym sprzężeniem światło-materia w strukturach optycznych wnęk rezonansowych z emiterami na bazie materiałów perowskitowych. Bazując na szeregu nowatorskich eksperymentów, szczegółowej analizie danych doświadczalnych oraz adekwatnym opisie teoretycznym i modelowaniu, praca ta w bardzo istotny sposób przyczynia się do pogłębienia wiedzy w tej dziedzinie i znacznie lepszego zrozumienia zjawisk zachodzących w tych układach. Jest to niezwykle istotne zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i zastosowań tych układów do konstrukcji zawansowanych urządzeń optoelektronicznych, pracujących w temperaturze pokojowej. Rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Łempickej-Mirek wnosi również bardzo istotny wkład w zrozumienie i opracowanie procesów technologicznych dotyczących wytwarzania

i syntezy różnorodnych materiałów perowskitowych, a także w opracowanie strojonych wnęk rezonansowych opartych na emiterach tej klasy materiałów. Większość przedstawionych w rozprawie wyników badań została już opublikowana w bardzo dobrych czasopismach. Łącznie opublikowane zostały już 4 prace (dodatkowo jeszcze jedna w przygotowaniu) bezpośrednio związane z tematyką rozprawy i 6 prac, które są pośrednio z tym tematem związane. Dodać także należy, że w swoich badaniach Doktorantka wykazała głęboką wiedzę nie tylko z dziedziny fizyki ciała stałego ale także optyki i materiałoznawstwa, a jej rozprawa doktorska jest potwierdzeniem doskonałych umiejętności niezbędnych w samodzielnej pracy naukowej, a w szczególności zdolności projektowania badań, umiejętności przeprowadzania pomiarów, jak również wykonywania wnikliwej analizy danych, interpretacji wyników i wyciągania daleko idących wniosków. Dlatego biorąc to wszystko pod uwagę i mimo kilku moich drobnych uwag uważam, że rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Łempickej-Mirek spełnia warunki wymagane w § 5 pkt 1–2 Załącznika nr 1 do uchwały nr 157 Senatu Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 29 czerwca 2022 r. w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz stopnia doktora habilitowanego na Uniwersytecie Warszawskim. Jednocześnie w oparciu o uzasadnienie, jakie tu w tym podsumowaniu zawarłem wnioskuję także o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr Karoliny Łempickej-Mirek.


Jacek Jasiński

Dodatkowe komentarze i uwagi redakcyjne

- Streszczenie, 1 strona, linia 3: Zamiast słowa „wyeksploatowany” lepiej byłoby chyba użyć np. „zbadany”.
- Streszczenie, 1 strona, linie 19-20: Powinno być „i” zamiast przecinka w zdaniu „...elektroluminescencyjnych, elektrooptycznych...”.
- Streszczenie, 1 strona, linia 39: Proces eksfoliacji polega na rozdzielaniu warstw więc użycie słowa „ścieniania” jest mylące. Może lepiej byłoby użyć np. „rozwarstwiania”.
- Streszczenie, 2 strona, linia 1 (i wielu innych miejscach): Słowo „reżim” ma w j. polskim dwa znaczenia wymienione pod spodem. Rozumiem, że w fizyce używa się czasami tego określenia na zasadzie kalki z j. angielskiego. Ale może lepiej byłoby użyć np. słowo „warunki” pisząc np. „...w warunkach silnego sprężenia...”
 - reżim (system rządów) (synonim: despotyzm)
 - 1. *system rządów, w którym władza stosuje wobec społeczeństwa przemoc i ucisk polityczny; też: rząd stosujący takie metody*
 - reżim (rygor) (synonim: dyscyplina)
 - 2. *ściśle ustalony tryb postępowania*
- Strona 1, linie 12-14: W zdaniu „...Ca (wapń), Sr (stront); metalem ziem rzadkich, np. La (lantan), Y (itr) lub kationem organicznym. Kation B4+ jest zazwyczaj metalem przejściowym, np. Ti - tytan, Ta - tantal, Fe - żelazo, Sn - cyna, Ni - nikiel, Mn - mangan, Pb - ołów...” jest pewna niekonsekwencja bo niektóre nazwy pierwiastków umieszczone są w nawiasach, a inne po myślnikach.
- Strona 5: W podpisie rysunku 1.5 nie ma wyjaśnienia oznaczeń LX i SX. Dopiero z kontekstu można wywnioskować, że chodzi o prekursory tzw. dużych (large) i małych (small) kationów.
- Strona 8, linia 1: W zdaniu „...który charakteryzuje żywotność fotonu...” lepiej było chyba napisać „...który charakteryzuje czas życia fotonu...”.
- Strona 8: W podpisie rysunku 1.8 brak wyjaśnienia, która krzywa odnosi się do pola elektrycznego, a która do współczynnika załamania.
- Strona 10, równanie 1.7: Dla bardziej precyzyjnego opisu lepiej chyba użyć $E_{ph}(k)$ na początku wzoru zamiast $E(k)$.
- Strona 11, linia 10: Zamiast „...próbka wykonana w klin...” lepiej byłoby chyba napisać „...próbka wykonana w formie klina...”.
- Strona 14: Zamiast „...oraz dwie polaryzacje spolaryzowane kołowo...” lepiej byłoby chyba napisać „...oraz dwie polaryzacje kołowe...”.

- Strona 15: Stwierdzenie „Najprostszym przyrządem do obrazowania jest soczewka...” jest nie do końca prawdą bo czemu np. nie zwierciadło? Poza tym, prostszym przyrządem jest chyba jednak punktowy otwór (*ang.* pinhole), który wykorzystywany był np. w *camera obscura*.
- Strona 18: W podpisie rysunku 1.17, w drugiej linii powinno być „...poniżej i powyżej...” zamiast „...poniżej, w i powyżej...”.
- Strona 19, linia 18 (i wielu innych miejscach): Słowo „zaimplementowany” jest kalką z j. angielskiego. Należało tu raczej napisać „...po umieszczeniu wewnątrz wnęki...”. W innych miejscach, w zależności od kontekstu mogą lepiej pasować inne polskie słowa jak np. „wdrożony”, „zastosowany”, itp.
- Strona 20: Zdanie „Na hybrydowych organiczno-nieorganicznych monokryształach...” chyba lepiej byłoby zamienić na „W przypadku hybrydowych organiczno-nieorganicznych monokryształów...”.
- Strona 22: Stwierdzenie „...a następnie rozwirowanie polikrystalicznej warstwy perowskitu...” jest nieprecyzyjne bo rozwirowuje się roztwór prekursora, a dopiero w trakcie odparowywania rozpuszczalnika następuje krystalizacja i powstawanie warstwy polikrystalicznej perowskitu.
- Strona 24: Biorąc pod uwagę szerokie piki w widmie emisji i odbicia, wartość 34.40 meV wydaje się być podana ze zbyt dużą ilością cyfr. Podobna uwaga także do wartości 41,20 meV podanej na stronie 26.
- Strona 31: Zdanie „...w celu ograniczenia dostępności do promieniowania słonecznego.” Jest trochę niezręczne.
- Strona 58, linie 28-29: Słowo „kompatybilność” jest kalką z j. angielskiego.
- Strona 60: Zdanie „W takich realizacjach...” jest trochę niezręczne.
- Strona 60: Zamiast zdania „...zazwyczaj są przygotowywane z procesu CVD” powinno być raczej „...zazwyczaj są otrzymywane w procesie CVD”.
- Strona 61: Zamiast zdania „...z maksymalnym współczynnikiem odbicia na 520 nm” powinno być raczej „...z maksimum współczynnika odbicia dla 520 nm”.
- Strona 65: Stwierdzenie „Próbka była ścisnięta w klin” jest trochę niezręczne.
- Strona 77: Zamiast zdania „...z maksimum odbicia na 530 nm” powinno być raczej „...z maksimum odbicia dla 530 nm”.
- Strona 80: W podpisie rysunku jest stwierdzenie „Niebieskimi krzyżkami zaznaczono...”. Niestety nie widzę tych krzyżyków. Być może to kwestia kompresji rysunku.

- Strona 96: Odnośnie stwierdzenia „Fotoluminescencja od związanych ekscytonów wykazuje niewielki uskok w temperaturze 90 K” jak należy interpretować ten uskok, widoczny również w zależności szerokości połówkowej? Czy jest to swego rodzaju przejście fazowe? Jeśli tak to jakie, a jeśli nie to czy wiadomo jaki proces jest za to odpowiedzialny?
- Strona 108: Odnośnie stwierdzenia „Pomiary fotoluminescencji i absorpcji (oprócz pomiarów fotostabilności) odbywały się na próbkach perowskitów z ochronną warstwą PMMA.” jaki był wpływ tej warstwy ochronnej na widma optyczne?
- Strona 128: Odnośnie stwierdzenia „Im większy jest udział jonów manganów w strukturze perowskitu, tym materiał wolniej się degraduje...” czy wiadomo jaki jest tego mechanizm? Czemu dla 0% i 7% najpierw pojawia się wzrost wydajności, a nie obserwuje się tego dla wyższych koncentracji Mn?
- Strona 116, linia 10: Słowo „protekcijnej” jest kalką z j. angielskiego.
- Strona 130: Czy w równaniu 6.4, w dolnym elemencie diagonalnym w macierzy nie powinno być 2 przed drugim wyrazem, tzn. czy nie powinno tam być „ $E_{Ph}(\mathbf{k}) - 2\alpha k_y$ ”?