

Prof. dr hab. Agnieszka Iwan

Wrocław, 17.08.2022

Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. prof. Józefa Kosackiego
ul. Obornicka 136,
50-961 Wrocław

**Recenzja rozprawy doktorskiej lic. Katarzyny Pydzińskiej-Białek
pt.: „Determination of charge transfer and recombination dynamics in perovskite solar
cells”**

wykonanej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. Marcin Ziółek mający bardzo duże osiągnięcia w zakresie interpretacji dynamiki procesów przenoszenia i rekombinacji ładunków zarówno w ogniwach barwnikowych jak i perowskitowych przy zastosowaniu czasowo-rozdzielczych absorpcyjnych i emisyjnych technik laserowych. Tematyka doktoratu mieści się w najnowszych nurtach badań materiałowych i analizy obserwowanych zjawisk fizycznych w kierunku wytworzenia nowoczesnych i wydajnych ogniw perowskitowych. Badania procesów przenoszenia i rekombinacji ładunków opracowane w ramach doktoratu mają niewątpliwie charakter interdyscyplinarny i obejmują zagadnienia zarówno z zakresu fizyki, inżynierii materiałowej jak i nanotechnologii. Można zatem stwierdzić, że tematyka niniejszej rozprawy doktorskiej, mieści się w zakresie współczesnych trendów w badaniach nad rozwojem OZE w kraju i na świecie, a cele pracy są jak najbardziej aktualne. Poszukiwana i pożądana synergia w zakresie ogniw słonecznych czyli wydajność-stabilność-cena w aspekcie zasad szeroko pojętej Zielonej Chemii tworzy tzw. złoty trójkąt w fotowoltaice, a proponowane w dysertacji dogłębne analizy i przeprowadzone badania zbliżają nas do jego osiągnięcia. Synergia między zastosowanymi materiałami a ich właściwościami jest niezbędna w celu konstrukcji ogniw perowskitowych dla aplikacji praktycznych, np. BIPV (Buildings 2020, 10, 129).

Przedstawiona do recenzji praca doktorska lic. Katarzyny Pydzińskiej-Białek ma formę autoreferatu/przewodnika po publikacjach. Rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim i obejmuje sumarycznie 269 stron (w tym 16 stron zajmują oświadczenia od współautorów artykułów), autoreferat obejmuje 73 strony i zilustrowany jest 41 rysunkami i 3 tabelami. Spis literatury zawiera 72 pozycje literaturowe.

Praca doktorska składa się z 5 rozdziałów, streszczenia, celów pracy oraz dołączonych pełnych tekstów 7 publikacji (KPB-1 – KPB-7). Rozdział 1 dotyczy wprowadzenia do tematyki rozprawy i składa się sumarycznie z 8 krótkich podrozdziałów w których Doktorantka przedstawia, ale na poziomie bardzo dużej ogólności tematyki zagadnienia związane zarówno z zjawiskiem fotowoltaicznym jak i perowskitowymi ogniwami słonecznymi. Niewątpliwie pracę wzbogaciłyby informacje odnośnie opisu mechanizmu działania ogniw każdej z trzech wspomnianych generacji. Ponadto zabrakło w Wprowadzeniu odniesienia do kluczowych kwestii związanych z badaniami nad ogniwami perowskitowymi nurtujących naukowców w XXI wieku w tym z recyklingiem perowskitowych ogniw słonecznych (np. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80 (2017) 1321–1344) oraz aspektami toksyczności ogniw perowskitowych ze względu na zawartość ołowiu, w

odniesieniu do wzrostu świadomości ekologicznej społeczeństw (np. *ACS Energy Lett.* 2017,2, 1749-1751 oraz *Sci. Bulletin* 62, 901-902, 2017). Proszę również o komentarz do stwierdzenia w autoreferacie odnośnie niskiej sprawności ogniw perowskitowych bezołowiowych. Znane są z literatury informacje, iż skonstruowano obecnie perowskitowe ogniwa bezołowiowe, np. na bazie cyny o PCE = 13% (np. *Buildings* 2020, 10, 129). Niewątpliwie pracę uatrakcyjniłaby także dyskusja dotycząca szerszego spojrzenia na kwestie związane z stabilnością ogniw perowskitowych w warunkach atmosferycznych, a ich zastosowaniem praktycznym.

Ponadto, bezwzględnie pracę by wzbogacił przegląd literaturowy wpływu rodzaju ETM i HTM na parametry ogniw perowskitowych (Uoc, Jsc, FF, PCE) i porównanie do osiągniętych w ramach doktoratu sprawności ogniw perowskitowych o takiej samej architekturze ogniwa i składzie materiałowym.

Zabrakło także informacji w autoreferacie o wpływie przeskalowania technologii wytwarzania ogniw perowskitowych na ich parametry PV (np. *Buildings* 2020, 10, 129) oraz analizy czy zastosowana technika czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej dla ogniw o małej powierzchni może być użytecznym narzędziem pomiarowym przy przeskalowaniu technologii. Wiadomym jest fakt złożoności procesów związanych z trudnością wytworzenia warstw homogenicznych i jednorodnych podczas przechodzenia ze skali mikro do makro. Są to bardzo istotne zagadnienia z uwagi na fakt początkowych założeń związanych z aplikacją praktyczną ogniw perowskitowych czy ostatnio perowskitowo-krzemowych.

Drugi i trzeci rozdział przedstawiają metodologię badań zastosowaną w celu realizacji pracy doktorskiej i obejmują zarówno wykaz zastosowanych materiałów, metod syntezy czy też technik badawczych. Omówienie wyników badań i ich interpretacja zostały przedstawione w rozdziale 4 zatytułowanym: *Comments on the publications* (15 stron, na każdy artykuł 2 strony opisu, na KPB-7: 2,5 strony). Pracę zamyka 2,5-stronicowe podsumowanie.

Dorobek naukowy Pani lic. Katarzyny Pydzińskiej-Białek związany ściśle z rozprawą obejmuje 7 wieloautorskich (od 3 do 10 autorów) publikacji umieszczonych na liście *Journal Citation Reports*. Doktorantka jest pierwszym autorem każdej pracy, a ponadto w pracy KPB-7 jest także autorem do korespondencji wraz z Promotorem. Publikacje ukazały się w czasopismach takich jak *Synthetic Metals* (2017), *RSC Advances* (2018), *The Journal of Physical Chemistry C* (2019), *Chemistry-A European Journal* (2019), *ACS Applied Materials and Interfaces* (2020), *Physical Chemistry Physics* (2020), *ACS Chemistry of Materials* (2022). Na podkreślenie zasługuje dodatkowa aktywność naukowa Doktorantki i opublikowanie 3 artykułów niewchodzących w skład rozprawy. Według bazy Scopus Doktorantka posiada Indeks Hirsh'a 5. Ponadto na wyróżnienie zasługuje fakt, iż Doktorantka była beneficjentką Diamentowego Grantu i kierownikiem projektu NCN Preludium.

W mojej opinii jest to bardzo dobry dorobek naukowy jak na Doktorantkę broniącą rozprawy doktorskiej świadczący także o jej pracowitości, zaangażowaniu i pasji do nauki, co jest wartością nadrzędną w osiągnięciu założonych celów.

Celem pracy doktorskiej lic. Katarzyny Pydzińskiej-Białek było określenie dynamiki procesów przenoszenia i rekombinacji ładunków w ogniwach perowskitowych poprzez modyfikację zarówno architektury ogniwa jak i związku chemicznego stosowanego jako warstwy HTM czy ETM. Ponadto modyfikacje obejmowały także syntezę perowskitu na bazie ołowiu - jedno lub dwu-etapową, w tym także wytwarzanie kompozycji perowskitowych poprzez modyfikacje rodzaju kationów. W pracy nie analizowano wpływu nowych materiałów na właściwości ogniw perowskitowych, a skupiono się na analizie

wpływu komercyjnych materiałów na wybrane właściwości fizyczne skonstruowanych ogniw perowskitowych. Jako warstwy ETM zastosowano głównie mezoporowaty TiO_2 oraz trzy związki organiczne (PCBM, PenPTC i SPP013). Z kolei jako HTM zastosowano głównie spiro-OMeTAD, bardzo szeroko wciąż badany jako materiał transportujący ładunki dodatnie w ogniwach perowskitowych, oraz X60 i PEDOT:PSS. Elektrodamy były FTO i złoto. W ramach przeprowadzonych analiz materiałowych badano także wpływ rozmiaru Au i TiO_2 oraz grubość wytworzonych elektrod Au na analizowane właściwości fizyczne. Skonstruowano i przebadano ogniwa perowskitowe (PSC) o architekturze określonej jako mezoporowate PSC (FTO/compact TiO_2 /mezoporowate TiO_2 /perowskit/spiro-OMeTAD/Au) i PSC o architekturze tzw. odwróconej (inverted PSC, ITO/PEDOT:PSS/perowskit/ PC_{61}BM /PenPTC/Au).

Nadrzędnym celem pracy było przeanalizowanie najszybszych procesów przenoszenia i rekombinacji ładunków za pomocą technik czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej zarówno dla poszczególnych materiałów jak i wytworzonych ogniw perowskitowych. Należy podkreślić, że przeprowadzona przez Doktorantkę szczegółowa analiza procesów fizycznych dla materiałów składowych i ogniw perowskitowych o różnej architekturze wnosi nowe, interesujące spojrzenie na zagadnienia dotyczące zarówno efektu fotowoltaicznego w materiałach HTL, ETL jak i roli zaproponowanej techniki badawczej w rozwoju i dogłębnym zrozumieniu zjawisk zachodzących na złączach w ogniwach perowskitowych. Bezwzględnie Doktorantka znalazła lukę badawczą w zakresie analizy ogniw perowskitowych i z sukcesem ją wypełniła.

Dyskusja otrzymanych wyników badań eksperymentalnych nie budzi zastrzeżeń. Doktorantka zaproponowała prawidłową metodologię badań dotyczącą konstrukcji i charakterystyki ogniw perowskitowych i ich pomiarów za pomocą innowacyjnych technik czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej w celu charakterystyki dezaktywacji wzbudzonych ładunków oraz charakterystyki szybkości i wydajności ich przenoszenia z perowskitu do materiałów sąsiadujących (HTM, ETM) w ogniwie perowskitowym. Zaproponowano i z sukcesem zastosowano femtosekundową absorpcję przejściową oraz czasowo-rozdzielczą emisję w zakresie od pikosekund do nanosekund co umożliwiło analizę obserwowanych procesów w skali czasowej od femtosekund do sekund. Ponadto innowacyjną i wartościową częścią pracy jest propozycja szczegółowej analizy sygnałów absorpcji przejściowej w perowskicie. Na wyróżnienie zasługuje fakt zbadania efektów w skonstruowanym ogniwie perowskitowym co jest przedmiotem artykułu KP-B-7 i jest bez wątpienia próbą skorelowania otrzymywanych wyników dla poszczególnych materiałów czy półogniw z gotowym w pełni działającym ogniwem perowskitowym. Oprócz metod spektroskopii laserowej zastosowano także elektrochemiczną spektroskopię impedancyjną w celu dopełnienia interpretacji otrzymywanych wyników.

Przedstawiona metodologia badań stanowi logiczną i konsekwentną próbę wykazania, w kolejnych etapach badań, słuszności założeń i osiągnięcie podstawowych celów, jakimi było wykazanie możliwości zastosowania czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej do lepszego zrozumienia mechanizmów działania ogniw perowskitowych w kierunku wytworzenia ogniw nie tylko wydajnych ale i stabilnych w warunkach atmosferycznych dla zastosowań praktycznych szczególnie jako technologii zintegrowanej z budownictwem tzw. BIPV czy technologii fotowoltaicznych zintegrowanych z magazynami energii co jest ewidentnie priorytetowym kierunkiem na kanwie XXI wieku.

Poniżej ustosunkuję się do opisu badań i ich interpretacji przedstawionych w autoreferacie. Na wyróżnienie i gratulacje zasługuje fakt skonstruowania w Polsce ogniw perowskitowych o sprawności $\text{PCE} = 18\%$ w roku 2021 co zgodnie z moją wiedzą jest

wartością rekordową dla ogniw perowskitowych konstruowanych w kraju i dowodzi o odpowiednich posiadanych przez Doktorantkę umiejętnościach do konstrukcji wydajnych ogniw perowskitowych przy zastosowaniu odpowiednich warunków technicznych i opanowanego warsztatu eksperymentatora. Na podkreślenie zasługuje fakt świadomości Doktorantki o istotnym/kluczowym wpływie jakości i czystości stosowanych materiałów do konstrukcji ogniw i odpowiednich warunków środowiskowych niezbędnych do wytworzenia perowskitu i konstrukcji na jego bazie ogniw.

Proszę o podanie informacji o grubości wytworzonych ogniw perowskitowych w zależności od zastosowanych materiałów HTM, ETM i rodzaju perowskitu. Proszę o informację czy grubość wytworzonych warstw była taka sama w konstruowanych ogniwach perowskitowych i warstw/półogniw badanych techniką czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej. Jaka jest korelacja grubości wytwarzanych warstw do pomiarów metodą spektroskopii laserowej i do konstrukcji ogniw perowskitowych.

Kluczowym do analizy procesów fizycznych jest świadomość konstrukcji wydajnych, stabilnych i bez efektu histerezy ogniw perowskitowych. Bezwzględnie pracę wzbogaciłyby informacje zbiorcze na temat otrzymanych parametrów fotowoltaicznych dla wszystkich konstruowanych ogniw perowskitowych. Informacje te można znaleźć w artykułach. Proszę o zbiorcze przedstawienie parametrów PV (U_{oc} , J_{sc} , FF, PCE i powierzchnia ogniwa oraz efektu histerezy i stabilności czasowej) w postaci tabeli dla wszystkich badanych ogniw perowskitowych w aspekcie różnych materiałów. Proszę także o informację o ilości wytworzonych ogniw dla każdej architektury badanego ogniwa perowskitowego.

Cykl 7 prac Doktorantki można podzielić na 4 grupy. Prace KPB-1, KPB-3 dotyczą aspektów materiałowych rodzaju wytwarzanych warstw organicznych HTM i ETM. Prace KPB-2, KPB-4 i KPB-5 dotyczą analizy wpływu rodzaju perowskitu na analizowane parametry fizyczne. Praca KPB-6 dotyczy analizy rodzaju wytworzonej warstwy TiO_2 na procesy obserwowane w ogniwach perowskitowych. Praca KPB-7 dotyczy analizy skonstruowanych ogniw perowskitowych w aspekcie zastosowania w pełni techniki czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej i w aspekcie wpływu grubości i jakości wytworzonej elektrody złotej. Bezwzględnie zaplanowany i wykonany cykl prac badawczych i ich analiza wykazują wielopłaszczyznowe podejście do tematyki ogniw perowskitowych i obejmują zarówno aspekty materiałowe, techniczne jak i użytkowe dla zastosowań praktycznych w oparciu o zaproponowaną i zastosowaną tak dogłębnie przez Doktorantkę metodę czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej wielokrotnie dopełnianej przez wykonane badania za pomocą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej.

W pracy KPB-1 analizowano wpływ dwóch materiałów organicznych spiro-OMeTAD i X60 oraz ich mieszaniny na właściwości ogniw perowskitowych i dynamikę transportu nośników ładunków. Zastosowanie w ogniwie jako warstwy HTM związku X60 jest elementem innowacyjnym podobnie jak wytworzenie warstwy dwuskładnikowej. Proszę o wyjaśnienie co było celem/założeniem wytworzenia mieszaniny. Ponadto, proszę o komentarz do otrzymanych różnic w pomiarach fotowoltaicznych dla ogniw badanych po czasie i rozbieżności w pętli histerezy.

W pracy KPB-2 skupiono się na analizie wytworzonego perowskitu w oparciu o zastosowanie femtosekundowej absorpcji przejściowej i czasowo-rozdzielczej emisji w aspekcie wpływu stosunku molowego MAI:PbI₂ (1:1 i 3:1) na otrzymane parametry. Zaprezentowana analiza nie budzi zastrzeżeń i wnosi nowe interesujące spojrzenie na perowskit.

W pracy KPB-3 analizowano perowskitowe ogniwa na podłożu elastycznym (ITO/PET) poprzez modyfikację rodzaju warstwy ETL (PCBM, PenPTC, SPPO13). W artykule jako warstwę HTM zastosowano PEDOT:PSS. Najlepsze wyniki otrzymano dla ogniów z PCBM, gdzie $PCE_{max} = 10,2\%$. Proszę o komentarz odnośnie wykonanej i analizowanej architektury ogniwa perowskitowego. Jak rodzaj podłoża elastyczne/sztywne wpływa na obserwowane efekty. Czy skonstruowano ogniwo perowskitowe o tej samej architekturze na podłożu sztywnym (szkło)?

W pracy KPB-4 poszerzono badania nad perowskitami poprzez modyfikację kationów i analizę różnych warunków eksperymentalnych wytwarzania perowskitów (stopień wilgotności 8-40%, $PCE_{max} = 10,5\%$ dla BM 21O₂ 8RH). Proszę o podanie architektury ogniwa perowskitowego analizowanej w pracy KPB-4 oraz komentarz do obserwowanego efektu histerezy. Kontynuacją i poszerzeniem badań nad perowskitami jest praca KPB-5 gdzie wytwarzano półogniwa/ogniwa zarówno w komorze rękawicowej jak i w warunkach atmosferycznych otrzymując wartości $PCE = 17,31\%$ i $14,26\%$, odpowiednio. Są to bardzo dobre wartości szczególnie dla ogniów perowskitowych konstruowanych w warunkach atmosferycznych. Do wytwarzania perowskitu w warunkach atmosferycznych zastosowano mieszaninę rozpuszczalników DMSO:DMF zmieniając stosunek DMSO od 0,24 do 0,4. Na podkreślenie zasługuje dogłębna analiza wpływu ilości DMSO na obserwowane efekty i sugestia, iż dla niskiego stężenia DMSO w mieszaninie z DMF procesy rekombinacji w perowskicie są spowodowane głównie poprzez tzw. rekombinację objętościową i przechodzą w rekombinację powierzchniową dla wysokiego stężenia DMSO. Ponadto, innowacyjną częścią pracy jest analiza obserwowanych efektów w ujęciu wpływu rodzaju otoczenia perowskitu (zastosowanego związku chemicznego) na dynamikę transportu nośników ładunków (TiO₂/perowskit i spiro-OMeTAD/perowskit). Proszę o próbę przeanalizowanie możliwości oddziaływań niekowalencyjnych między DMF i DMSO w zależności od stężenia DMSO i wpływu na obserwowane wyniki badań. Czy polarność zastosowanego rozpuszczalnika ma wpływ na obserwowane zjawiska? Proszę o wyjaśnienie stwierdzenia, iż dla wytworzonych potrójnych kationów perowskitowych najwyższą wydajność otrzymano dla ogniów skonstruowanych w warunkach atmosferycznych (KPB-5).

Praca KPB-6 dotyczy analizy wpływu rodzaju wytworzonej warstwy TiO₂ na parametry zarówno ogniów perowskitowych jak i DSSC, aczkolwiek Doktorantka omawia tylko ogniwa perowskitowe dla których otrzymano rekordową sprawność $PCE = 18\%$, a warstwą HTM był spiro-OMeTAD, zaś TiO₂ miało rozmiar ziaren 30 nm. Analizowano nanocząstki TiO₂ o rozmiarach 30 nm i 18 nm i grubości wytworzonych warstw 150-200 nm i 300-350 nm, odpowiednio. Proszę o rozwinięcie podanego skrótu w autoreferacie MK2. Autoreferat i wprowadzenie do badań przeprowadzonych w pracy KPB-6 wzbogaciłby rys historyczny dotyczący rozwoju ogniów perowskitowych poprzez modyfikację architektury ogniów DSSC i zastąpienie elektrolitu ciekłego elektrolitem stałym. Proszę o komentarz do obserwowanego efektu histerezy dla skonstruowanych ogniów perowskitowych.

Praca KPB-7 zamyka cykl publikacyjny i jest zwieńczeniem włożonego trudu badawczego Doktorantki w przejściu krok po kroku od analizy poszczególnych materiałów, półogniów i w efekcie finalnym ogniów perowskitowych o architekturze FTO/compact TiO₂/mezoporowaty TiO₂/perowskit/spiro-OMeTAD/Au za pomocą czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej udowadniając tym samym cel pracy i przydatność oraz sensowność zaproponowanych badań. Skonstruowane ogniwo wykazywało sprawność $PCE = 14\%$. Natomiast rekordowa sprawność otrzymana przez Doktorantkę dla ogniwa o tej samej architekturze to $PCE = 18\%$. Proszę o

interpretację tak dużej różnicy w sprawności ogniwa otrzymanej dla tej samej architektury i wpływie na analizę za pomocą metod spektroskopii laserowej i powtarzalność wyników. W pracy KPB-7 poszerzono analizę o badanie wpływu grubości i wielkości ziaren wytworzonej elektrody na bazie Au na otrzymane efekty i żywotność ogniwa. Przeprowadzona kompleksowa analiza zachodzących procesów w skonstruowanym ogniwie na poszczególnych złączach jest bardzo wartościową częścią badań wykonanych przez Doktorantkę.

W autoreferacie zabrakło/nie znalazłam ponadto informacji odnośnie enkapsulacji wytworzonych ogniwa perowskitowych i możliwości przeskalowania technologii dla ogniwa o najwyższej wartości PCE.

Należy podkreślić, iż praca jest napisana dobrym komunikatywnym językiem angielskim. Pod względem edytorskim jest przygotowana bardzo starannie. W streszczeniu w języku polskim Doktorantka popełniła kilka niezgrabności językowych (czy kolokwializmów) wynikających prawdopodobnie z bezpośredniego tłumaczenia określeń i sformułowań z języka angielskiego. Np. **normalne** ogniwa. Właściwiej jest powiedzieć ogniwa o standardowej architekturze. W **pełnych i niepełnych** ogniwach perowskitowych. Właściwiej byłoby powiedzieć w ogniwach z elektrodami i półogniwach bez elektrod. Czy sformułowanie wewnątrz **suchej** komory rękawicowej oraz **ekstrakcja dziur** czy **wstrzykiwanie** ładunków czy TiO_2 o różnej **jakości**.

Podsumowując, pomimo wyrażonych powyżej zastrzeżeń uważam, że Pani lic. Katarzyna Pydzińska-Białek przedstawiła interesującą, tematycznie zwartą i logiczną w formie pracę, popartą szeroko rozwiniętym eksperymentem, wnioski z której na pewno są cenne dla rozwoju badań nad ogniwami perowskitowymi. Moje uwagi, które nasunęły mi się w trakcie czytania rozprawy nie mają zasadniczego wpływu na moją bardzo pozytywną ocenę pracy.

Wśród elementów nowości naukowej przedstawionych w dysertacji należy wyróżnić:

- (i) Dla przebadanych perowskitów, wykazano iż warstwy o najlepszej jakości wykazują najwyższe wartości parametrów fotowoltaicznych w ogniwie oraz najszybszy zanik wzbudzonych ładunków poprzez najszybszy transport ładunków na złączach.
- (ii) W odwróconych ogniwach perowskitowych elektrony w PCBM są ekstrahowane najszybciej w porównaniu z pozostałymi przebadanymi warstwami ETL. Aczkolwiek może również występować niepożądana rekombinacja ładunków.
- (iii) W ogniwach perowskitowych z X60 zaobserwowano iż zarówno transport ładunków dodatnich (dziur) jak i procesy rekombinacji na złączu są szybsze niż dla najczęściej stosowanego materiału jako HTM – spiro-OMeTAD w ogniwach perowskitowych o standardowej architekturze.
- (iv) Zaproponowane i zastosowane selektywne sondowanie złącza pozwoliło na zaobserwowanie asymetrii w transporcie ładunków na złączach z materiałami HTM i ETM.
- (v) Zaobserwowano fotoindukowane spektralne i kinetyczne zmiany dla złącza TiO_2 /perowskit.
- (vi) Zaproponowana metodologia eksperymentu pozwoliła na wykazanie, iż przyłożenie napięcia blisko wartości U_{oc} powoduje spowolnienie procesu generowania ładunków w ogniwie.

Ponadto, na wyróżnienie zasługuje fakt zastosowania czasowo-rozdzielczej spektroskopii laserowej do charakterystyki skonstruowanych ogniw perowskitowych (a nie tylko materiałów składowych i półogniw, czyli w myśl zasady od szczegółu do ogółu), co poszerza zakres metodologii badań w temacie omawianej techniki. Podobnie jak próba pomiaru wybranych właściwości ogniw perowskitowych w warunkach bliskich naturalnym co ma znamiona badań aplikacyjnych.

Na moją bardzo pozytywną ocenę dysertacji i Doktorantki ma wpływ także fakt, iż 7 artykułów będących przedmiotem pracy doktorskiej zostało opublikowanych w czasopismach z IF = 3,266 – 9,811 z punktacją MEiN = 70 – 200 pkt.

Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani lic. Katarzyny Pydzińskiej-Białek pt.: *Determination of charge transfer and recombination dynamics in perovskite solar cells* spełnia wymogi formalne stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę do Rady Naukowej Wydziału Fizyki Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Bezwzględnie Doktorantka wykazała, iż jej dociekliwość naukowa i właściwa analiza postawionych problemów zaskutkowały przesunięciem granic poznania naukowego w analizowanej tematyce co jest niezmiernie istotne w rozwoju nauki. Dlatego też, ze względu, na jakość i zakres dysertacji wnoszę do Rady Naukowej Wydziału Fizyki Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu o wyróżnienie jej pracy doktorskiej.

Agnieszka Luan