

Wrocław, 30.12.2021.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Trejgis
„Synthesis and investigation of spectroscopic properties
of luminescent thermometers doped with Eu³⁺ and Nd³⁺ ions
based on excited state absorption”

Uwagi ogólne

Rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Trejgis o powyżej przywołanym tytule została wykonana w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu. Jej promotorem jest dr hab. Łukasz Marciniak, profesor INTiBS PAN. Rozprawa napisana jest w języku angielskim. Od strony językowej jest dobrze napisana – czyta się łatwo, czytelnik nie ma problemu z podążaniem za tokiem myśli Autorki.

Doktorat Pani Trejgis jest obszernym, liczącym z literaturą 204 strony opracowaniem. Kilka pierwszych stron Autorka poświęca na prezentację swoich osiągnięć: projektów, w których realizacji uczestniczyła, a w jednym przypadku kierowała, listy publikacji z jej współautorstwem, udziałów w konferencjach oraz szkołach i wreszcie uzyskanych stypendiach i nagrodach. Już lektura tej części dysertacji przygotowuje czytelnika do obcowania ze szczególnie ambitnym naukowym przedsięwzięciem. Wystarczy wspomnieć, że samych publikacji, których Pani Trejgis jest współautorką jest 18, a w połowie z nich jest pierwszym autorem. 6 z tych publikacji składa się na rozprawę doktorską. Uczestnictwo w 8 międzynarodowych konferencjach, w tym w 3 z prezentacją ustną, także pokazuje, że badania Autorki są zauważane przez międzynarodowe środowisko naukowe. I rzeczywiście, krótka „wizyta” na stronie Web of Science pozwala stwierdzić, że Jej prace są już cytowane 327 razy (bez autocytowań, w Wigilię Bożego Narodzenia 2021), a ich indeks H = 9. To rezultaty, które nie zawsze osiągnane są w przypadku wniosków o habilitację. Oczywiście, są to liczby, które należy widzieć przez pryzmat tzw. „gorącej” tematyki – termometrii luminescencyjnej. Ale, z drugiej strony, jest to tematyka o dużej konkurencji i aby zostać w niej tak dobrze zauważonym trzeba być i oryginalnym i szczególnie rzetelnym w badaniach i interpretacji ich wyników. Po lekturze doktoratu nie sposób nie stwierdzić, że Pani Karolina Trejgis swoimi badaniami wyróżnia się bardzo pozytywnie pośród młodych pracowników nauki, będąc badaczem zarówno pomysłowym i oryginalnym, jak i bardzo solidnym i krytycznym.

Rozprawa została podzielona na 10 rozdziałów, z których główne są dodatkowo rozpisane na podrozdziały. Bazą do przygotowania doktoratu jest 6 publikacji, które ukazały się w bardzo wysokiej klasy czasopismach naukowych. We wszystkich Pani Karolina Trejgis jest pierwszym autorem, a oświadczenia współautorów nie pozostawiają wątpliwości, że była Ona w każdym przypadku autorem wiodącym, w najszerszym zakresie odpowiedzialnym za realizację badań i przygotowanie publikacji. W tym sensie wszelkie ustawowe wymagania odnośnie tak przygotowanego doktoratu zostały niewątpliwie spełnione.

Kopie wspomnianych 6 publikacji są umieszczone rozpoczynając od strony 92 i tworzą rozdział 8 doktoratu. Wcześniej Autorka na kilkudziesięciu stronach wprowadza czytelnika do tematyki prezentując m. in. problematykę oddziaływania światła z materią (5.1), charakterystykę lantanowców (5.2) oraz (5.3) problematykę termometrii luminescencyjnej, w tym rodzaje termometrów luminescencyjnych oraz definicję ważnych parametrów termometrycznych, które pozwalają porównywać termometry luminescencyjne z innymi rodzajami sensorów temperatury. Ta pierwsza część rozprawy jest przemyślana i dobrze wprowadza czytelnika w tematykę doktoratu dowodząc jednocześnie, że Autorka z dużym znanstwem i swego rodzaju lekkością porusza się w tematyce doktoratu.

Całość badań ogniskuje się wokół spektroskopii dwóch jonów z grupy lantanowców: Nd^{3+} oraz Eu^{3+} . Zgodnie z opisem celów doktoratu Autorka koncentrowała się na rozpoznaniu i określeniu wpływu struktury materiałów, w tym formy krystalicznej i amorficznej, energii fononów, jak i rozmiaru ziaren luminoforu i związanych z tym tzw. efektów powierzchniowych na luminescencyjne właściwości wspomnianych aktywatorów, a ostatecznie na ich wpływ na termometryczne właściwości badanych luminoforów. Niezwykle oryginalnym w światowej skali pomysłem badawczym było podjęcie prace nad luminoforami o pojedynczym paśmie emisyjnym, które Autorka generowała przy pomocy dwóch różnych wzbudzeń, jednego ze stanu podstawowego (to niejako klasyka luminescencji), a drugiego ze stanu termicznie wzbudzonego (ang. *excited state absorption*). To kluczowy element idei przeprowadzonych badań. Autorka niejako przełamuje stereotyp myślenia, że luminofor charakteryzujący się jednym pasmem emisyjnym nie może być tzw. termometrem ratiometrycznym, a więc takim, w którym np. zmiana intensywności wzbudzenia nie jest przeszkodą w prawidłowym odczycie temperatury z widma emisyjnego. Autorka wykorzystuje tutaj naturalną tendencję systemów do obniżania swojej energii, a z drugiej strony fakt, że energetycznie wyższe stany są obsadzone poprzez stymulację termiczną elektronów stanu podstawowego.

Zasadniczo, populacja termiczna stanu wzbudzonego jest opisana dystrybucją Boltzmanna. Jednakże, na równowagę obsadzenia między takimi poziomami wpływ mają i inne czynniki, w rozkładzie boltzmannowskim nie uwzględnione, np. procesy nieradiacyjne, w tym „uruchamiane” poprzez stany powierzchniowe, tzw. cross/kros-relaksację i inne. W ostatnich latach, właśnie w literaturze o termometrii luminescencyjnej, pojawiły się publikacje wskazujące, że nawet w termometrach pracujących formalnie w oparciu o rozkład Boltzmanna obserwuje się odstępstwa, szczególnie gdy mowa o szerszym zakresie pomiarowym. Podkreślić więc chcę szczególnie, że Pani Karolina Trejgis z dużą solidnością i naukową ostrożnością analizuje wszystkie te elementy, by wyciągać wnioski solidnie osadzone w szerokim materiale eksperymentalnym i będące efektem krytycznej jego oceny.

Luminofoery wykorzystujące emisję jonu Nd^{3+}

W przypadku materiałów luminescencyjnych wykorzystujących jon Nd^{3+} , Autorka wykorzystuje termiczną populację $^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$. To bardzo dobry wybór. Energetyczna separacja obydwu poziomów sięga $2\ 000\ \text{cm}^{-1}$. To w termometrii luminescencyjnej sytuacja niemal optymalna dla termicznego sprzężenia obydwu poziomów i dająca szansę na stosunkowo szeroki zakres pomiaru z dobrą czułością. Autorka słusznie zauważa i analizuje w swojej pracy fakt, że populacja stanu $^4I_{11/2}$ ma miejsce nie tylko na skutek termicznego pobudzenia opisanego zależnością Boltzmanna, ale także w efekcie procesów tzw. cross/kros-relaksacji. To ważny kanał populowania poziomu $^4I_{11/2}$, który powoduje, że opis względnej populacji obydwu poziomów równaniem Boltzmanna nie jest w pełni miarodajny. Z drugiej strony parametry termometryczne mogą dzięki temu procesowi być dodatkowo kontrolowane, w porównaniu z sytuacją gdyby go nie było. Efektywnością cross/kros-relaksacji można świadomie sterować poprzez modyfikację koncentracji aktywatora, a to otwiera drogę do modelowania parametrów termometrycznych termometru luminescencyjnego. Na efektywność cross/kros-relaksacji wpływać można także poprzez zmianę matrycy, co skutkuje zmianą energii fononów, a to przekłada się na kinetykę wspomnianej relaksacji. Autorka pokazuje w swoim doktoracie i publikacjach, że świetnie rozumie te zależności oraz to co i jak można z nich dla termometrii luminescencyjnej wykorzystać.

W przypadku luminescencji jonu Nd^{3+} , Autorka stwierdziła też, że wspomniana powyżej cross/kros-relaksacja ma też wpływ na kinetykę zaniku luminescencji z poziomu $^4F_{3/2}$ - tego, z którego przejścia radiacyjne są podstawą ratiometrycznej termometrii na pojedynczym paśmie emisyjnym. Autorka pokazała, że w przypadku $\text{LaPO}_4:\text{Nd}$ koncentracja aktywatora odgrywa ogromną rolę wpływając istotnie na parametry termometryczne. Wzrost stężenia Nd z 0.1 do 5 % powodował wzrost parametru termometrycznego odpowiednio z 1.5 do około 100 w badanym zakresie temperatur (0 – 300 °C). Autorka zidentyfikowała przyczynę tej różnicy w postaci cross/kros-relaksacji, która dla wyższych koncentracji była systematycznie efektywniejsza. Dzięki tak całościowym i systematycznym badaniom Doktorantka uzyskała świetną względną czułość nanometrycznego $\text{LaPO}_4:5\%\text{Nd}^{3+}$ - 6.98 %/°C w 300 °C. W zakresie temperatur biologicznych, 0-50 °C, wartość czułości nie spadała poniżej 4 %/°C, co także jest rezultatem bardzo dobrym. Z kolei rozdzielczość temperaturowa, inaczej błąd odczytu temperatury, sięgał w tych warunkach 0.5 °C i jak Autorka przyznaje należałoby nad poprawą tego parametru jeszcze popracować. Autorka ma rację. Dla celów praktycznych rzeczywiście rozdzielczość należałoby poprawić, ale oceniając ten termometr $\text{LaPO}_4:5\%\text{Nd}^{3+}$ na tym etapie jego badań uważam, że uzyskane parametry są bardzo dobre.

Ze wzrostem temperatury Autorka stwierdziła pojawienie się dodatkowych pasm emisyjnych (oprócz emisji z poziomu $^4F_{3/2}$) i słusznie uznała, że należy wykorzystać ten efekt i zbadać także bardziej klasycznie rozumianą termometrię ratiometryczną – wykorzystując zmianę stosunku intensywności różnych pasm emisyjnych. Takie badania zostały przez Doktorantkę wykonane dla emisji z populowanych termicznie z $^4F_{3/2}$ poziomów $^4F_{5/2}$, $^2H_{9/2}$, $^4F_{7/2}$ i $^4S_{3/2}$. Uzyskane względne czułości termometryczne sięgały 4.35 %/°C w 180 °C. W konsekwencji, Autorka zdefiniowała trzy użyteczne parametry termometryczne dla jednego materiału, $\text{LaPO}_4:\text{Nd}$. Dla

każdego z nich zakres temperatur wysokich wartości względnej czułości termicznej był inny, co pozwoliło na pomiar z czułością nie mniejszą niż 2 %/°C w całym zakresie 30 – 300 °C.

Z przyjemnością czytałem fragmenty analizy i dyskusji dotyczącej wpływu gęstości wzbudzenia na spektroskopię i termometryczne właściwości LaPO₄:Nd. Autorka nie unika jednoznacznych stwierdzeń wskazujących na świadomość pewnych ograniczeń przyjętej metodologii w tym zakresie. Potwierdza to moje wcześniejsze uwagi o Jej krytycznym i poważnym podejściu do swoich badań i ich wyników. Chętnie wysłuchałbym poszerzonej dyskusji tej problematyki w trakcie obrony, szczególnie co do niebezpieczeństwa zaburzenia temperatury mierzonego układu w wyniku wzbudzania termometru promieniowaniem laserowym w niskich temperaturach, bliskich helowym. Czy procesy nieradiacyjne, a więc emitujące do układu ciepło, nie staną się problemem?

Podobne badania jak dla nanokrystalicznego LaPO₄:Nd, Doktorantka przeprowadziła dla szkieł oksyfluorkowych na bazie telluru o składach (65-x)TeO₂-20ZnF₂-12PbO-3Nb₂O₅-xNd₂O₃ (TZPN), gdzie x = 0.1, 1, 2, 5, 10. W przypadku tych szkieł Autorka wykonała cały zestaw dobrze przemyślanych badań spektroskopowych, by w końcu przejść do analizy tych wyników dla celów termometrycznych. Także w tych materiałach skupiła się na możliwości wykorzystania efektu absorpcji ze stanu wzbudzonego ⁴I_{11/2} → ⁴F_{3/2} oprócz absorpcji ze stanu podstawowego ⁴I_{9/2} → ⁴F_{3/2}. Wzbudzenie ze stanu wzbudzonego charakteryzowało się 600-krotnym wzrostem intensywności luminescencji między 0 a 300 °C. Dla szkła TZPN:10%Nd³⁺ maksimum względnej czułości 6.15 %/°C osiągnięto w -50 °C, a w zakresie temperatur biologicznych (0-50 °C) wartość ta zmieniała się w zakresie 2.95 – 4.22 %/°C. To bardzo wysokie wartości, wskazujące, że jest to bardzo ciekawy termometr luminescencyjny. Pytanie jednak, czy w przypadku luminoforu na bazie szkła jest sens mówić o aplikacjach biologicznych? W kontekście badanych szkieł mam wątpliwości, czy Doktorantka prawidłowo określa stężenie Nd. Przy syntezie posługuje się dla Nd₂O₃ wielkością x = 0.1 – 10 (w stosunku do (65-x)TeO₂), a w innych częściach tekstu mówi już o 0.1 – 10 %Nd. Proszę o przemyślenie tej sprawy i jej wyjaśnienie.

Powyższe studia zostały uzupełnione o szczegółowe badania nad serią luminoforów YAG:Nd przygotowanych w formie nanoproszku, mikroprosoku oraz przezroczystego spieku ceramicznego. Celem było określenie wpływu stanów powierzchniowych na procesy wygaszania luminescencji, a ostatecznie na termometryczne właściwości luminoforu. Osobiście żałuję, że podobnych prac badawczych Autorka nie przeprowadziła dla LaPO₄:Nd, który tak systematycznie zbadała w formie nanoluminoforu. Jako powód Doktorantka wskazuje małą intensywność luminescencji tego luminoforu, co nie tylko czyni badania trudnymi, ale ogranicza też potencjał aplikacyjny tego materiału m. in. wpływając negatywnie na rozdzielczość pomiaru temperatury.

Dla wspomnianej serii YAG:5%Nd, stosując metodę pojedynczego pasma emisyjnego, Doktorantka uzyskała względne czułości 2.38 %/°C dla nanoluminoforu, 8.46 %/°C dla mikroprosoku oraz 9.51 %/°C dla transparentnego spieku ceramicznego, przy rozdzielczości bliskiej 0.5 °C. Myślę, że w przyszłości byłoby uzasadnione uzupełnienie tych porównawczych badań wykorzystując nanoluminofor o ziarnach, których powierzchnia byłaby pasywowana powłoką nieluminescencyjną, np. niedomieszkowanym YAG-iem. Chętnie usłyszę opinię

Doktorantki w tej sprawie w trakcie obrony. Przypuszczam, że mogłoby to zasadniczo podnieść czułość nanotermometru YAG:Nd.

Powyższe badania Pani Karolina Trejgis uzupełniła pracami nad aktywowanymi jonami Nd^{3+} matrycami fluorkowymi, NaYF_4 i NaGdF_4 . Ich wybór był podyktowany faktem, że energia fononów w tych matrycach jest zasadniczo mniejsza w porównaniu do matryc tlenkowych wykorzystywanych we wcześniej analizowanych przykładach. Ponieważ procesy nieradiacyjne są bardzo silnie zależne od energii dostępnych fononów należy podkreślić, że Autorka dokonała bardzo rzeczowego poszerzenia swoich badań. W przypadku wcześniej badanych układów tlenkowych energie fononów wynosiły około $1\ 000\ \text{cm}^{-1}$, podczas gdy wspomniane dwa fluorki charakteryzują się energiami drgań sieci na poziomie jedynie ok. $350\ \text{cm}^{-1}$. To ogromna różnica. Ponadto porównanie efektów spektroskopowych w NaYF_4 i NaGdF_4 ma i taki sens, że Y^{3+} oraz Gd^{3+} różnią się istotnie wielkością promienia jonowego, co ma przełożenie na spektroskopię Nd^{3+} w obydwu matrycach. M. in. wpływa na efektywność procesu kros/cross-relaksacji, która – jak to już powyżej było dyskutowane – wnosi istotny wkład do właściwości termometrycznych badanych luminoforów, w tym do badanych w ramach doktoratu efektów związanych z ratiometrycznym odczytem temperatury na jednym paśmie emisyjnym generowanym przez dwie różne energii wzbudzenia.

W powyższych badaniach, Autorka niezwykle systematycznie i krytycznie realizuje plan badawczy dążąc metodycznie do solidnie wspartych eksperymentem wniosków. Wreszcie Autorka osiąga bardzo wysoką względną czułość termometryczną $16.9\ \%/K$ w $223\ K$ dla $\text{NaYF}_4:50\%\text{Nd}^{3+}$ i $16.3\ \%/K$ w $203\ K$ dla $\text{NaGdF}_4:50\%\text{Nd}^{3+}$. Także zakresy operacyjne tych termometrów są duże, osiągając $250\ K$ z czułością nie mniejszą niż $1\ \%/K$. W przypadku obydwu fluorków, także uzyskana rozdzielczość temperaturowa była bardzo dobra mieszcząc się w zakresie $0.1 - 0.2\ K$. Na ten parametr zawsze dobrze wpływa duża intensywność luminescencji.

Luminofory wykorzystujące emisję jonu Eu^{3+}

W przypadku termometrii wykorzystującej luminescencję jonu Eu^{3+} Autorka podkreśla, że choć nie nadaje się ona do układów biologicznych, to jest potencjalnie bardzo użyteczna dla monitorowania temperatury lub pojawiania się punktów przegrzania np. w układach elektronicznych. W tym kontekście Doktorantka analizuje układ poziomów elektronowych Eu^{3+} i pokazuje możliwości stosowania metody absorpcji z poziomów wzbudzonych termicznie analogicznie jak w przypadku Nd^{3+} . Nie będę tutaj powtarzał Jej analizy. Stwierdzę jednak, że jest rzeczowa i merytorycznie poprawna. I, jak już kilkakrotnie podkreślałem powyżej, odpowiednio krytyczna.

Autorka zbadała możliwość użycia emisji Eu^{3+} wykorzystując absorpcję ze stanu wzbudzonego m. in. w luminoforach $\text{NaYF}_4:\text{Eu}^{3+}$ i $\text{NaGdF}_4:\text{Eu}^{3+}$. Autorka wykorzystwała wzbudzenie $395\ \text{nm}$ dla przejścia ${}^7F_0 \rightarrow {}^5L_6$ oraz $615\ \text{nm}$ dla przejścia ${}^7F_2 \rightarrow {}^5D_0$. Emisją, której intensywność podlegała analizie było położone około $695\ \text{nm}$ pasmo będące efektem przejścia ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_4$. Warto podkreślić bardzo szeroki zakres stężeń, które Pani Karolina Trejgis przebadala - od 0.1 do $75\ \%$ Eu . Pozwoliło Jej to zgromadzić bardzo szeroki materiał eksperymentalny do analizy i wyciągnięcia wniosków. Taką przejrzystą i fachową analizę czytelnik otrzymuje tak w publikacji

(P5) jak i w tekście doktoratu. W efekcie, Autorka uzyskała imponujące wartości kluczowych parametrów termometrycznych dla badanych fluorków: $S_r = 4.11 \text{ \%}/\text{K}$ w 213 K dla $\text{NaYF}_4:5\%\text{Eu}^{3+}$ i $S_r = 16.9\%/K$ w 163 K dla $\text{NaGdF}_4:50\%\text{Eu}^{3+}$. Także w przypadku tych termometrów zakres pomiarowy sięgał kilkuset stopni, co dodatkowo nadaje tym termometrom uniwersalności. Oczywiście, fluorki w wysokich temperaturach mają tendencję do rozkładu. Warto by Autorka poświęciła tej sprawie kilka zdań w trakcie obrony, by naświetlić problem możliwości ich wykorzystywania (lub jej braku) do pomiaru wyższych temperatur.

Rezultaty badań nad aktywowanymi jonami Eu^{3+} fluorkami o bardzo małej energii fononów, Doktorantka skonfrontowała z wynikami badań nad nanoproszkami $\text{LiLaP}_4\text{O}_{12}:\text{Eu}^{3+}$, które charakteryzują się bardzo dużymi energiami fononów, sięgającymi 1300 cm^{-1} . Także w tym przypadku Autorka przejrzyście wyjaśnia czytelnikowi najważniejsze parametry matrycy oraz ich potencjalny/oczekiwany wpływ na właściwości luminescencyjne badanego luminoforu. Jednym z istotnych parametrów matrycy jest fakt, że jon La^{3+} może być podstawiany jonem Eu^{3+} w całym zakresie koncentracji. Jest to możliwe tak ze względu na izostrukturalność takich materiałów, jak i ograniczone wygaszanie emisji jonów Eu^{3+} wraz ze wzrostem ich koncentracji, co powoduje, że nawet dla pełnokoncentracyjnego $\text{LiEuP}_4\text{O}_{12}$ dobrej jakości widmo luminescencyjne może być zmierzona. Analiza wyników dla tej grupy materiałów jest wielokierunkowa i generalnie bardzo solidna. Autorka zdefiniowała trzy różne parametry oparte na stosunkach intensywności emisji. Największą wartość $S_r = 2.17 \text{ \%}/\text{K}$ osiągnęła w 200 K. Wykorzystanie wszystkich trzech parametrów pozwoliło poszerzyć zakres pomiarowy do kilkuset stopni z czułością nie mniejszą niż $1 \text{ \%}/\text{K}$, którą Doktorantka systematycznie traktuje jak swego rodzaju graniczną wartość dobrych/akceptowalnych czułości względnych. Osobiście nie mam poczucia, że jest to powszechnie przyjęta optyka. To, myślę, kolejny dobry temat do krótkiej rozmowy w trakcie obrony doktoratu.

Doktorantka podkreśla, że najważniejszym dla niej osiągnięciem w tym badaniach było pokazanie użyteczności $\text{LiLaP}_4\text{O}_{12}:\text{Eu}^{3+}$ do dwuwymiarowego obrazowania rozkładu temperatury. Trudno nie zgodzić się z tym stwierdzeniem. Jest to także uniwersalne osiągnięcie pokazujące, że termometria i obrazowanie luminescencyjne dobrze ze sobą współgrają, będąc niejako dwoma stronami tego samego medalu i mogą być z sukcesem realizowane w praktyce.


Na zakończenie tej części pozwolę sobie zwrócić uwagę na fakt, że literatura naukowa jest bardzo bogata w publikacje o wpływie temperatury na luminescencję bardzo dużej grupy materiałów. Nie każda wszak zależność temperaturowa luminescencji jest podstawą, by twierdzić, że dany materiał to luminescencyjny termometr. Niestety, pojawiają się publikacje, gdzie takiej świadomości autorom wyraźnie brakuje, a wyciągane wnioski, to rodzaj życzeniowego, niemal bezkrytycznego myślenia. Ale nie jest tak w przypadku publikacji i doktoratu Pani Karoliny Trejgis. Autorka zachowuje zawsze zdrowy i krytyczny osąd uzyskiwanych rezultatów i dzięki niemu Jej wnioski są naukowo wartościowe i mają uniwersalny charakter. Krytyczne myślenie widać też w planowaniu badań i konkretnych eksperymentów.

Podsumowanie i konkluzje

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest bardzo wartościowym opracowaniem świadomie zaplanowanych i profesjonalnie zrealizowanych badań, które wnoszą bardzo ważną i solidną, nową wiedzę do badań nad termometrią luminescencyjną. 6 publikacji składających się na doktorat Pani Trejgis, które ukazały się w bardzo dobrych czasopismach naukowych oraz uzupełniający opis przedstawiony w pierwszej części rozprawy stanowią spójną całość o wielkim ładunku merytorycznym. Nie mam wątpliwości, że nadal będą to świetnie cytujące się prace. Należy podkreślić, że publikacje Pani Karoliny Trejgis wprowadzają nową, ważną odnogę badań nad termometrią luminescencyjną. W tym sensie, Jej dorobek mógłby swobodnie być podstawą habilitacji.

Nie ulega dla mnie żadnej wątpliwości, że rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Trejgis zatytułowana „Synthesis and investigation of spectroscopic properties of luminescent thermometers doped with Eu^{3+} and Nd^{3+} ions based on excited state absorption” w pełni i z nadmiarem spełnia warunki określone w art. 13 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017, poz. 1789) oraz rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30.01.2018 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2018, poz. 261). Wnoszę o dopuszczenie Panią mgr inż. Karolinę Trejgis do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Wobec ogromnego zakresu prezentowanych w doktoracie badań oraz ich wielokierunkowej, krytycznej i bardzo profesjonalnej analizy oraz oryginalności tematyki w skali światowej – na co kilkakrotnie zwracałem uwagę w recenzji – wnoszę też do Rady Naukowej INTiBS PAN we Wrocławiu o wyróżnienie doktoratu Pani Karoliny Trejgis. Jej doktorat jest jednym z najlepszych, jakie miałem okazję kiedykolwiek recenzować.


Eugéniusz Zych