

Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Gdański

Ul. Wita Stwosza 57, 80-308 Gdańsk, +48 58 523 20 27

www.ug.edu.pl

POLITECHNIKA POZNAŃSKA		
WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I FIZYKI TECHNICZNEJ		
DNIA	12-10-2023	DNIA
WPLYNĘŁO		

DF-63 / 115 / 2023

Dr. hab. Ryszard Drozdowski, prof. UG
e-mail: ryszard.drozdowski@ug.edu.pl

Gdańsk 29.09.2023

Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Marcina Suskiego zatytułowanej
„Wyznaczanie kanałów fluorescencji w atomach terbu i europu na podstawie pomiaru stałych
struktury nadsubtelnej i czynników Landégo g”,
zrealizowanej w Instytucie Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej Wydziału Inżynierii
Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej
pod kierunkiem promotora dr. hab. Bogusława Furmana prof. PP.

Dzięki poznaniu właściwości fizykochemicznych pierwiastków i wykorzystaniu zaawansowanych technik komputerowych nastąpił fascynujący okres rozkwitu inżynierii materiałowej. Na podstawie zgromadzonych danych można „projektować” struktury materii z dokładnie określonymi właściwościami. Tak wytworzone materiały znajdują zastosowania dedykowane dla określonych celów – pożądane źródła fotoluminescencyjne, sondy diagnostyczne, aparatura naukowo-badawcza, nowe materiały o niespotykanych dotychczas właściwościach. Dlatego poznanie podstawowych właściwości swobodnych atomów poszczególnych pierwiastków jest fundamentem inżynierii materiałowej. W tym kontekście bardzo ważna jest grupa lantanowców (15 pierwiastków) wraz z itrem i skandem tzw. grupa metali ziem rzadkich. Przekazana mi do recenzji praca doktorska mgr. inż. Marcina Suskiego jest pracą naukowo-badawczą dotyczącą atomów terbu (*jeden stabilny izotop* $^{159}_{65}\text{Tb}$) i europu (*dawa stabilne izotopy*: $^{151}_{63}\text{Eu}$ i $^{153}_{63}\text{Eu}$) przyczyniającą się do poszerzenia wiedzy o tej grupie pierwiastków.

Pracę doktorską mag. inż. Marcina Suskiego stanowi 6 prac tematycznych opublikowanych w Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer poprzedzonych odpowiednim opisem i załącznikami. JQSRT jest renomowanym spektroskopowym czasopismem naukowym z indeksem wpływu IF równym 2.3 i 100 punktami na liście ministerialnej. Wszystkie publikowane prace są recenzowane przez wybranych ekspertów, co gwarantuje ich wysoki poziom merytoryczny.

Przedstawiony cykl prac jest bardzo jednorodny tematycznie zarówno pod względem zastosowanych metod badawczych jak i teorii. Dlatego wygodnie jest go rozpatrywać jako całość, bez szczególnego podziału na poszczególne prace. Tak też uczynił Doktorant, a ja

zaakceptowałem ten tryb postępowania. Zasadnicza część pracy została poprzedzona streszczeniem w wersji angielskiej i polskiej oraz spisem treści. We wstępie autor podaje krótką charakterystykę atomów terbu i europu oraz historię prac badawczych dotyczących struktury nadsubtelnej poziomów energetycznych tych pierwiastków i jej rozszczepienia zeemanowskiego, co jest zasadniczym tematem pracy. Ze względu na złożoność struktury poziomów energetycznych metali ziem rzadkich konieczne jest zastosowanie wyrafinowanych technik pomiarowych. Należy podkreślić, że ze względu na przykrywanie się konfiguracji układ poziomów energetycznych jest bardzo skomplikowany i prawidłowy jego opis umożliwia precyzyjnie wyznaczone stałe A i B struktury nadsubtelnej oraz czynniki Landégo g_J. Dlatego, pomimo pierwszych pomiarów przeprowadzonych metodami spektroskopii tradycyjnej dla atomów terbu i europu już w latach 60'tych i 70'tych ubiegłego wieku dopiero w ostatniej dekadzie nastąpił znaczący postęp dzięki zastosowaniu różnych technik o wysokiej zdolności rozdzielczej. Umożliwiło to precyzyjne wyznaczanie stałych struktury nadsubtelnej i czynników Landégo, a także wyznaczenia przesunięcia izotopowego w przypadku izotopów europu.

Drugi rozdział pracy zatytułowany „Metodologia”, jest niezmiernie istotny, gdyż zawarty jest w nim opis techniki pomiarowej i przedstawione są podstawy teoretyczne symulacji widma struktury nadsubtelnej i zeemanowskiej poziomów energetycznych. Do zarejestrowania widm zastosowano technikę laserowo indukowanej fluorescencji (LIF). Pomimo, że idea tej techniki jest zasadniczo prosta to jej realizacja wymaga zaawansowanego laboratorium laserowego i dużych umiejętności połączonych z wiedzą o badanych pierwiastkach. Szczególnie istotnym w tej technice jest to, że obserwuje się linię widmową o innej długości niż linia badana, wzbudzana bezpośrednio przestrajalnym laserem. Zapewnia to możliwość odseparowania urządzenia rejestrującego od bezpośredniego światła lasera wzbudzającego. W przypadku badanych linii aby odtworzyć ich strukturę nadsubtelną, czy zeemanowską trzeba było zapewnić płynną zmianę częstotliwości w zakresie do kilkudziesięciu gigaherców. Jednakże zakres długości badanych linii rozciąga się od 481 nm do 679 nm i do pokrycia go użyto trzech jednomodowych przestrajalnych laserów barwnikowych o pracy ciągłej z rezonatorem pierścieniowym pompowanych odpowiednio laserem neodymowym i diodowym. Specjalnie to podkreślam, gdyż praca z takimi układami laserowymi świadczy o dużych umiejętnościach doktoranta w tej dziedzinie, co potwierdzone jest współautorską publikacją niewchodzącą w zakres pracy doktorskiej, a oznaczoną jako pierwsza w „Pozostałych publikacjach współautorskich”.

Jako źródło swobodnych wzbudzonych atomów w prezentowanych pomiarach zastosowano lampę wyładowczą z katodą wnątkową. Jako gaz buforowy wykorzystano argon, który też dodatkowo służył do wyznaczenia rzeczywistej wartości indukcji pola magnetycznego podczas pomiaru struktur zeemanowskich linii. Odpowiednia konstrukcja takiej lampy wyładowczej i jej sterowanie również wymagają dużego doświadczenia i ostrożności, gdyż konieczne jest chłodzenie układu ciekłym azotem.

Całości układu doświadczalnego dopełnia układ detekcji i rejestracji natężenia badanych linii widmowych. Do selekcji wybranych linii (kanałów luminescencji) zastosowano monochromator i ze względu na zwykle małe natężenia badanych linii zastosowano fazoczułą metodę rejestracji sygnału z fotopowielacza - modulowanie światła wzbudzającego poprzez tzw. chopper i zastosowanie sprzężonego z nim wzmacniacza Lock-in. Układ rejestracji uzupełnia znacznik zmiany częstotliwości (interferometr Fabry'ego Perot'a z FSR równym 1500 MHz) i miernik długości linii laserowej.

W przypadku pomiarów dotyczących struktury zeemanowskiej układ doświadczalny był zmodyfikowany. Do katody wnekowej wprowadzano pole magnetyczne wytwarzane przez zewnętrzne magnesy neodymowe. Natomiast w bieg wiązki laserowej wstawiane były odpowiednie filtry polaryzacyjne umożliwiające wzbudzanie stanów σ i π . I tu kolejny raz chcę podkreślić zdolność doktoranta, a także pewnie całego Zespołu badawczego do radzenia sobie z niespodziewanymi problemami doświadczalnymi w przypadku atomu terbu. Obserwowanie znacznej zmiany indukcji pola magnetycznego wraz ze zmianami prądu wyładowania w lampie wyładowczej musiało wzbudzić duże zaniepokojenie. Wy tłumaczenie tego zjawiska zachodzącymi przemianami fazowymi w atomach terbu pokrywających wnękę katody pod wpływem temperatury (ogrzewanie prądem wyładowania) wymagało posiadania dużej wiedzy o własnościach fizycznych tego pierwiastka. Jest to piękny przykład jak niewielka zmiana warunków doświadczalnych może doprowadzić do dużych zmian wyników końcowych. Dzięki pomiarom rozszczepienia struktury zeemanowskiej wybranej linii argonu wyznaczono rzeczywiste pole magnetyczne w obszarze wyładowania.

W omawianym rozdziale podano również podstawy oraz odpowiednie referencje do teorii struktury nadsztywnej poziomów energetycznych i linii widmowych, a także do teorii zjawiska Zeemana i teorii przesunięcia izotopowego. Są to teorie ogólnie znane więc nie ma konieczności przeprowadzania ich analizy. Jedyne zastrzeżenie to, że w treści opisu zjawiska Zeemana (podrozdział 2.3.) podano przykład rozszczepienia poziomów energetycznych tylko dla tych opisanych liczbą kwantową $F = 1$, zarówno dolnego jak i górnego poziomu energetycznego bez zaznaczenia, że jest to przykład. Można odnieść wrażenie, że efekt Zeemana dotyczy tylko poziomów energetycznych o tej wartości liczby kwantowej - F . Jednakże zupełnie inną kwestią jest wykorzystanie tych teorii do napisania odpowiednich programów obliczeniowych umożliwiających porównanie teorii z wynikami doświadczalnymi.

Zatem trzeci rozdział rozprawy zatytułowany jest „Oprogramowanie”. Jak wynika z treści zawartych w tym rozdziale Doktorant nie brał udziału w przygotowaniu oprogramowania, a tylko je umiejętnie wykorzystywał. Program do symulacji możliwych przejść i kanałów fluorescencji został przygotowany przez promotora dr. hab. Bogusława Furmana, prof. PP. Rejestrację widma i sygnału markera częstotliwości zapewniał program przygotowany przez mgr. inż. Patryka Gałczyka.

Natomiast program umożliwiający wyznaczenie stałych struktury nadsztywnej A i B o nazwie „Fitter” został opracowany przez grupę prof. G. H. Guthörleina z Hamburga. Wyznaczenie tych stałych polega na dopasowaniu widma teoretycznego do zarejestrowanego wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów. Program umożliwia zastosowanie różnych profili linii widmowych: Gaussa, Lorentza i Voigta. Ponadto program można zastosować do jednoczesnego dopasowania widm dla kilku izotopów. W programie tym wprowadzona jest procedura uwzględniająca efekt nasycenia. Prawidłowe wyznaczenie stałych struktury nadsztywnej wymaga pewnej wprawy i znajomości liczb kwantowych J opisujących górny i dolny poziom energetyczny.

Program do wyznaczenia czynników Landégo został przygotowany przez Promotora dr. hab. Bogusława Furmana prof. PP i dr. hab. Jarosława Ruczkowskiego. Jego działanie jest podobne do programu Fitter, ale umożliwia on dopasowanie symulowanego widma typu σ i π do widma zarejestrowanego, a także uwzględnia możliwość mieszania się tych dwóch typów widm. Jako dane wejściowe podaje się stałe struktury nadsztywnej A i B oraz liczbę kwantową J dolnego i górnego poziomu energetycznego oraz czynniki Landégo g_J , które są elementem dopasowania – oba lub jeden z nich.

Czwarty rozdział rozprawy „Opis prac wchodzących w skład rozprawy” wraz z dołączonymi 6 pracami w załączniku jest najważniejszą częścią osiągnięcia naukowego. Jednakże, część „aparaturową” uważam, za bardzo ważną w doświadczalnej pracy doktorskiej. Ten rozdział został podzielony na część związaną z pomiarami dotyczącymi atomu terbu – 4 prace (2 prace pomiar stałych struktury nadsubtelnej i 2 prace pomiar czynników Landégo) i część związaną z pomiarami dotyczącymi atomu europu – 2 prace (po jednej pracy związanej odpowiednio ze stałymi struktury nadsubtelnej i czynnikami Landégo).

W przypadku atomu terbu pomiary stałych struktury nadsubtelnej dotyczyły 69 poziomów energetycznych konfiguracji nieparzystych. Dokonano analizy aż 135 linii widmowych i na tej podstawie określono po raz pierwszy stałe A i B dla 67 poziomów a dla pozostałych dwóch poziomów wartości te zostały skorygowane. Ponadto skorygowano wartości stałych A i B dla 6 poziomów konfiguracji parzystych. Z kolei w wyniku analizy struktury zeemanowskiej 47 linii wyznaczono wartości czynników Landégo dla 17 poziomów energetycznych należących do konfiguracji parzystych, a na podstawie 32 linii wyznaczono te czynniki dla 20 poziomów energetycznych konfiguracji nieparzystych. Dokonano również weryfikacji czynników Landégo 17 poziomów konfiguracji nieparzystych i 15 poziomów konfiguracji parzystych.

W pracach dotyczących europu wyznaczono stałe struktury nadsubtelnej A i B oraz przesunięcia izotopowe dla 26 poziomów konfiguracji parzystych na podstawie analizy 73 linii widmowych. Dla 10 poziomów stałe te wyznaczono po raz pierwszy, a dla 3 poziomów zwiększono dokładność ich wyznaczenia. Z kolei na podstawie analizy 54 linii widmowych wyznaczono czynniki Landégo 23 poziomów energetycznych – dla 16 należących do konfiguracji nieparzystych i dla 7 należących do konfiguracji parzystych. Tylko dla 3 poziomów konfiguracji parzystych wartości te były skorygowane, a wszystkie pozostałe wyznaczono po raz pierwszy.

Podsumowując, zastosowanie jako techniki pomiarowej - laserowo indukowanej fluorescencji (LIF) jest bardzo efektywne. Jednakże cały cykl przygotowania i przeprowadzenia pomiarów, a potem opracowanie wyników wymaga wiele wysiłku. Utrzymanie i odpowiednia obsługa aparatury wymaga dużego zaangażowania i pracy kilku eksperymentatorów. Dlatego prace tego typu są wieloautorskie.

Zatem teraz moją rolą jest ocena, czy wkład pracy mgr. inż. Marcina Suskiego w cykl prezentowanych prac można uznać za jego rozprawę doktorską i czy cykl ten jest wystarczający. Całkowity dorobek naukowy doktoranta zgodnie z dołączonym spisem jest imponujący, gdyż obejmuje 16 prac opublikowanych w uznanych czasopismach naukowych. Należy zwrócić uwagę, że z dołączonego spisu publikacji wynika iż dołączył On do renomowanego Zakładu Inżynierii i Metrologii Kwantowej przed rokiem 2017. Pierwszą pracą której jest współautorem jest praca opublikowana w Laser Physics Letters właśnie w roku 2017, ale także jest On współautorem kilku prac opublikowanych przed cyklem prac prezentowanych jako rozprawa doktorska. Oznacza to, że w tym czasie opanował On warsztat badawczy i stał się cennym elementem zespołu naukowo-badawczego. W wymienionej pracy po raz pierwszy na świecie zaprezentowano wykorzystanie lasera diodowego do pompowania lasera barwnikowego wykorzystywanego w spektroskopii o dużej zdolności rozdzielczej. Jak wynika z oświadczenia dołączonego w załącznikach we wszystkich prezentowanych pracach jako cykl prac doktorskich Doktorant brał udział w pomiarach, uczestniczył w analizie formalnej oraz w opracowaniu otrzymanych wyników. Natomiast w pracach oznaczonych jako druga, trzecia i czwarta brał udział w redagowaniu manuskryptu i przygotowaniu odpowiedzi dla

recenzentów – był autorem korespondencyjnym i pierwszym autorem tych prac. Ponadto współautorzy przedstawionych prac również potwierdzają znaczący udział Doktoranta w ich powstaniu - zaakceptowali w swych oświadczeniach złożenie tych prac jako praca doktorska. Na podstawie przedstawionych oświadczeń oraz otrzymanych wyników mogą stwierdzić, że przedstawiony cykl prac z pewnością można rozpatrywać jako praca doktorska mgr. inż. Marcina Suskiego.

Jednakże mam kilka uwag i pytań do przedstawionego opisu prowadzonych badań i zaprezentowanych w cyklu 6 prac. Uważam, że opis schematu pomiarowego jest zbyt enigmatyczny. W tego typu rozprawie cennym jest dla przyszłych użytkowników aparatury badawczej podanie więcej szczegółów. Ułatwia to szybkie odtworzenie warunków doświadczalnych w układzie pomiarowym. Na przykład przydałoby się więcej informacji o zastosowanej technice fazoczułej, a także o zastosowanym układzie do obrotu polaryzatora, gdyż jego ustawienie ma istotny wpływ na rejestrowany sygnał. Równie bardzo ważna jest wartość indukcji pola magnetycznego w obszarze oddziaływania atomów z wiązką laserową. W pracy nr 6 w podpisie do rysunku 1 podana jest długość linii argonowej wykorzystywanej do wyznaczenia wartości indukcji pola magnetycznego, ale brakuje pozostałych danych dotyczących poziomów energetycznych umożliwiających symulację efektu Zeemana tej linii.

Ani w przewodniku ani w prezentowanych pracach nie ma podanych „kanałów luminescencji”, które posłużyły do rejestracji natężenia badanych linii widmowych. Wypisywanie ich wszystkich w przewodniku oczywiście nie ma sensu ale można było je podać dla przykładowo prezentowanych widm. Czy do zarejestrowania określonej linii widmowej stosowano kilka różnych kanałów luminescencji? Czy może przeprowadzono porównanie zarejestrowanych widm z różnych kanałów luminescencji dla badanej linii widmowej? Ponadto w opisie programu do symulacji możliwych przejść znajduje się stwierdzenie, że na podstawie zaimplementowanej krzywej kalibracyjnej, program wyznacza ustawienia szczeliny monochromatora. Raczej chyba tutaj chodzi o określone położenie siatki dyfrakcyjnej monochromatora. A swoją drogą jak szeroka była szczelina monochromatora i jakie to ma znaczenie?

Procedura dopasowania widma teoretycznego do doświadczalnego jest dosyć oczywista ale interesuje mnie, bardziej szczegółowe wyjaśnienie jak uwzględniano w tej procedurze efekt nasycenia i jak było to istotne?

Na zakończenie jeszcze kilka uwag edytorskich. Na rysunku 2 w przewodniku os odciętych opisana jest jako ilość punktów pomiarowych, chyba raczej powinno być: „numer punktu pomiarowego”. Rysunek 8 jest fotografią fragmentu układu doświadczalnego, ale bez opisu raczej trudno się zorientować jakie elementy układu są na nim widoczne.

Ponadto doktorant nie ustrzegł się przed użyciem żargonu i skrótów myślowych, które oczywiście są dla pracujących w określonej dziedzinie, ale mogą być niezrozumiałe lub niejasne dla innych i tak tylko kilka przykładów dla zwrócenia uwagi:

Str. 9, 8 wiersz od dołu, Str. 34, 2 wiersz od góry, podpis pod rysunkiem 11 – „...rozszczipienie pod wpływem efektu Zeemana.” - właśnie to rozszczipienie jest efektem Zeemana,

Str. 14, 9 wiersz od dołu – „...na skutek oddziaływań magnetycznych dipolowych i elektrycznych kwadrupolowych dochodzi do...” – skrót myślowy - co z czym oddziałuje?

Str. 15, 2 wiersz od dołu – „...oraz oddziaływań pomiędzy funkcjami falowymi elektronów.” – raczej powinno być – od wzajemnych korelacji ruchów par elektronowych.

Str. 16, 2 wiersz od dołu – „przyłożony prąd” – właściwie przepuszczony lub przepływający prąd.

Str. 17, 5 wiersz od dołu – „...tak by na widmie widoczna była cała struktura nadsubtelna...” – raczej powinno być „... aby zarejestrować pełne widmo struktury nadsubtelnej.

Str. 18, 5 wiersz od góry „...sygnał trafiał do fotopowielacza...” – raczej powinno być „...wyselekcjonowane fotony trafiały do fotopowielacza.”

Str. 18, 2 paragraf – „w zależności od siły sygnału” – raczej „w zależności od natężenia sygnału”.

Str. 32, 5 wiersz od dołu – „Uzyskane eksperymentalnie wartości są zgodne z przewidywaniami teoretycznymi, jednak w wielu przypadkach różnice przekraczają niepewności pomiarowe.” – czyli nie są zgodne.

Str. 34, 6 wiersz od góry- „...opisujących liczbowo rozszczepienie zeemanowskie” – co to znaczy liczbowo?

I chociaż sam przewodnik nie podlega ocenie to jednak mogę stwierdzić, że przytoczone powyżej uchybienia nie wpływają w żaden sposób na wartość pracy. Praca jest bardzo ładnie zredagowana, a treść jest przedstawiona w sposób przejrzysty i spójny. Rysunki są czytelne i poprawnie opisane. Widać, że autor bardzo dobrze opanował umiejętność pisania prac naukowych i ma zdolności do klarownego prezentowania uzyskanych wyników.

W podsumowaniu chcę podkreślić, że praca doktorska mgr. inż. Marcina Suskiego zawiera bardzo wartościowe z naukowego punktu widzenia wyniki badań, które zostały opublikowane w renomowanym czasopiśmie naukowym. Otrzymane wyniki w znacznym stopniu rozszerzają wiedzę o strukturze poziomów energetycznych atomów terbu i europu, co z pewnością jest ważne dla przyszłego wykorzystanie tych pierwiastków w nauce jak i w gospodarce. Opracowane w dysertacji procedury pomiaru i analizy ich wyników stanowią duży potencjał do wykorzystania w pomiarach stałych struktury nadsubtelnej, współczynników Landégo i przesunięcia izotopowego innych pierwiastków. Szczególnie na wyróżnienie zasługuje zdolność Doktoranta do pracy w kilku przedsięwzięciach jednocześnie rozwijających Jego umiejętności co jest udokumentowane dużym całkowitym dorobkiem publikacyjnym (16 prac). Z całą pewnością mogę stwierdzić, że jest On przygotowany do samodzielnej pracy naukowej.

Moim zdaniem recenzowana przeze mnie praca mgr. inż. Marcina Suskiego spełnia wszystkie ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane pracom doktorskim w myśl ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 r. z póź. zm. i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Marcina Suskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto biorąc pod uwagę osiągnięcia mgr. inż. Marcina Suskiego stawiam wniosek o wyróżnienie Jego pracy doktorskiej.

Ryszard Drozdowski

Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Gdański
Ul. Wita Stwosza 57, 80-308 Gdańsk, +48 58 523 20 27
www.ug.edu.pl

Dr. hab. Ryszard Drozdowski, prof. UG
e-mail: ryszard.drozdowski@ug.edu.pl

Gdańsk 29.09.2023

Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie rozprawy mgr. inż. Marcina Suskiego zatytułowanej „Wyznaczanie kanałów fluorescencji w atomach terbu i europu na podstawie pomiaru stałych struktury nadsubtelnej i czynników Landégo g_J ”, zrealizowanej w Instytucie Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej pod kierunkiem promotora dr. hab. Bogusława Furmanna prof. PP.

Proszę o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr. inż. Marcina Suskiego, gdyż uważam, że otrzymane przez Niego wyniki mają dużą wartość naukową i znacznie poszerzają wiedzę o atomach terbu i europu należących do grupy metali ziem rzadkich. Pierwiastki te są niezmiernie istotne jako surowce o znaczeniu strategicznym dla różnych dziedzin gospodarki jak i medycyny. Wierzę, że uzyskane przez Doktoranta wyniki ułatwią procesy projektowe i badawcze niezbędne w pozyskiwaniu nowych materiałów, jak i w pożądanej modyfikacji już znanych. Ponadto chcę podkreślić, że rozwijana w trakcie badań struktura laboratoryjna wraz z opracowanymi procedurami pozyskiwania wyników ma bardzo duży potencjał badawczy. Świadczy o tym fakt, że cykl 6 prac przedstawionych jako praca doktorska ukazał się w przeciągu niespełna 4 lat: 2019 – 2023, ale poza nimi Doktorant był w tym czasie współautorem jeszcze ośmiu prac. Dwie prace z całego dorobku 16 prac Doktoranta powstały w latach 2017 – 2018. Wszystkie prace zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych.

Ryszard Drozdowski