

Dr hab. inż. Agnieszka Grabias  
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki  
Centrum Technologii Materiałów Elektronicznych  
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

Warszawa, 11.04.2022

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji Bogusz  
pt. „Spektroskopia mössbauerowska jako metoda odróżniania prawdziwych  
meteorytów od niesklasyfikowanych próbek meteorytopodobnych”**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Patrycji Bogusz została wykonana na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem promotora dr hab. Jolanty Gałązki-Friedman oraz promotora pomocniczego dr inż. Przemysława Dudy, prof. uczelni. Rozprawa dotyczy metody spektroskopii mössbauerowskiej i jej zastosowania do badania meteorytów, w szczególności do odróżniania prawdziwych meteorytów od niesklasyfikowanych próbek meteorytopodobnych. Podjęcie tej tematyki badawczej przez Doktorantkę było bezpośrednio związane z wieloletnimi pracami grupy badawczej z Pracowni Spektroskopii Mössbauerowskiej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, które dotyczyły badań meteorytów i ich klasyfikacji. Wynikiem prac tej grupy badawczej było utworzenie bazy własnych widm mössbauerowskich dla kilkudziesięciu próbek meteorytów, która następnie była podstawą do opracowania alternatywnej metody klasyfikacji meteorytów, nazwanej przez autorów metodą 4M (Woźniak i in. 2019). Metoda ta bazuje na ilościowej analizie składu fazowego meteorytu, wyznaczonego za pomocą spektroskopii mössbauerowskiej. Na uwagę zasługuje fakt, że wspomniana baza widm mössbauerowskich meteorytów jest poszerzana na bieżąco, co pozwala na udoskonalanie metody 4M. Z powyższych powodów podjęcie przez Doktorantkę tej tematyki badawczej było jak najbardziej uzasadnione.

Rozprawa obejmuje 143 strony i składa się z 7 rozdziałów, 5 załączników i bibliografii. Rozdział 1 stanowi wstęp, po którym następuje część literaturowa zawarta w rozdziałach 2 i 3, ilustrowanych 16 rysunkami oraz 1 tabelą (strony 12-37). Część badawczą pracy stanowią rozdziały 4, 5 i 6, które obejmują w sumie 55 stron, w tym 34 rysunki i 30 tabel. Na końcu zamieszczone zostało jednostronicowe podsumowanie wraz z wnioskami (str. 92). Bibliografia składa się z 68 pozycji. Układ rozprawy jest w ogólnym zarysie logiczny, chociaż wątpliwości co do przejrzystości budzi podział i zawartość rozdziału 5, o czym będzie mowa w dalszej części recenzji. Tytuł rozprawy dobrze odzwierciedla jej zawartość.

We wstępie zawarte zostało zwięzłe wprowadzenie do tematyki i zawartości pracy. W rozdziale tym Autorka przedstawiła ogólnie cel badań swojej rozprawy doktorskiej wraz z krótką motywacją dotyczącą podjęcia takiej tematyki badawczej. Zaprezentowane zostały również publikacje naukowe bezpośrednio związane z tematyką rozprawy, których współautorem jest mgr inż. Patrycja Bogusz.

Rozdział 2 stanowi przegląd literatury, wprowadzający w tematykę meteorytów. W podrozdziale 2.1 przedstawione zostały procesy tworzenia różnorodnych meteorytów, których sposób klasyfikacji opisano w podrozdziale 2.2. W dalszej części omówiono wybrane rodzaje meteorytów, ze szczególnym uwzględnieniem badanych w ramach niniejszej rozprawy chondrytów zwyczajnych.

W rozdziale 3 opisane zostały podstawy metody spektroskopii mössbauerowskiej z uwzględnieniem oddziaływań nadsubtelnych charakterystycznych dla izotopu  $^{57}\text{Fe}$ , które były wykorzystane przy opracowaniu widm mössbauerowskich meteorytów, zawierających żelazo. Rozdział ten zakończony jest zwięzłym przedstawieniem możliwych zastosowań metody spektroskopii mössbauerowskiej w różnych dziedzinach nauki.

Rozdział 4 zawiera szczegóły eksperymentalne dotyczące w pierwszej kolejności procesu przygotowania próbek meteorytów do pomiarów metodą spektroskopii mössbauerowskiej, a następnie samego pomiaru i metody opracowania widm.

Rozdział 5 jest dość obszerny (44 strony) i składa się z jednego głównego podrozdziału podzielonego na 3 części, które są dalej podzielone na podrozdziały. Na początku przedstawiona została zasada działania spektrometru mössbauerowskiego wraz z jego uproszczonym schematem. Główny podrozdział 5.1 zapoznaje czytelnika z eksperymentalnym wykorzystaniem metody spektroskopii mössbauerowskiej do badania składu fazowego chondrytów zwyczajnych. W podrozdziale 5.1.1 najpierw omówiona została podstawowa wiedza dotycząca struktur krystalograficznych faz mineralogicznych chondrytów zwyczajnych oraz charakterystycznych dla nich widm mössbauerowskich. Następnie zaprezentowano po jednym przykładzie widma mössbauerowskiego, które są charakterystyczne dla próbek chondrytów zwyczajnych trzech typów: H, L i LL. W tabelach umieszczono wszystkie parametry nadsubtelne, wyznaczone na podstawie numerycznych opracowań widm mössbauerowskich, wraz z przypisaniem poszczególnych składowych widm do faz zawierających żelazo. W następnej kolejności (5.1.1.1) zaprezentowano bazę danych, opartą na wynikach uzyskanych na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Baza ta zawiera informacje o udziałach procentowych powierzchni składowych widm przypisanych 4 fazom, które są istotne z punktu widzenia klasyfikacji danego chondrytu. Autorka w załącznikach 1, 2 i 3 zamieściła przykłady widm mössbauerowskich wraz z parametrami nadsubtelnymi oraz udziałami procentowymi poszczególnych składników widm, które zostały zmierzone dla kilkudziesięciu próbek chondrytów zwyczajnych różnego typu przez grupę badawczą z Pracowni Spektroskopii Mössbauerowskiej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. W dalszej części (podrozdział 5.1.2) przedyskutowane zostały wybrane czynniki związane bezpośrednio z warunkami wykonywania pomiarów metodą spektroskopii mössbauerowskiej oraz z zastosowaniem różnych metod numerycznego opracowywania widm mössbauerowskich. Pokazano, że czynniki te nie mają istotnego wpływu na wartości wyznaczanych parametrów nadsubtelnych, które są następnie użyte do klasyfikacji badanego meteorytu. W szczególności przedstawiono badania ilustrujące problem powtarzalności wyznaczania udziałów procentowych składowych widm w ramach jednej grupy badawczej (ta

sama próbka) oraz pomiędzy dwoma grupami badawczymi, jak również w wyniku zastosowania różnych sposobów numerycznego opracowania widm mössbauerowskich.

Podrozdział 5.1.3 poświęcony jest problemowi klasyfikacji chondrytów zwyczajnych. Na początku przedstawiono obecnie stosowany na świecie sposób klasyfikacji chondrytów zwyczajnych do typu H, L lub LL w oparciu o jakościową analizę składu fazowego metodą spektroskopii mössbauerowskiej. Następnie omówiona została nowatorska metoda, nazwana przez autorów metodą 4M. W metodzie tej wykorzystuje się wartości powierzchni spektralnych wyznaczone z widm mössbauerowskich dla 4 rodzajów faz, charakterystycznych dla chondrytów zwyczajnych, wielowymiarową analizę dyskryminacyjną i odległości Mahalanobisa. W celu weryfikacji metody 4M przedyskutowane zostały przykłady klasyfikacji wybranych chondrytów zwyczajnych do każdego z typów: H, L i LL, dokonanych w oparciu o obliczone miary podobieństwa meteorytu do danego typu. Następnie przedyskutowano problematykę klasyfikowania chondrytów zwyczajnych na podstawie wyników uzyskanych z analizy numerycznej widm mössbauerowskich, w tym określenie kryterium, które będzie odpowiednie do tego celu. Autorka wskazała, że metoda 4M jest metodą ilościową i najbardziej uniwersalną spośród metod stosowanych wcześniej.

Rozdział 6 zawiera wyniki badań Autorki, związane z problematyką odróżniania fragmentów meteorytów od niesklasyfikowanych próbek meteorytopodobnych, np. kamieni ziemskiego pochodzenia. Badania metodą spektroskopii mössbauerowskiej wykonano dla 4 różnych próbek, które nie były sklasyfikowane. Jakościowa i ilościowa analiza składu fazowego próbek dokonana w wyniku numerycznego opracowania widm mössbauerowskich umożliwiła jednoznaczną identyfikację dwóch próbek jako meteorytów. Zastosowanie metody 4M uprawdopodobniło przynależność jednej z tych próbek do chondrytów zwyczajnych typu LL. Zostało to potwierdzone poprzez oficjalne uznanie tej próbki jako fragmentu meteorytu Leoncin, który sklasyfikowano jako chondryt zwyczajny typu LL.

W końcowym rozdziale 7: „Podsumowanie i wnioski” w formie opisu przedstawione zostały zalety stosowania metody spektroskopii mössbauerowskiej do badania oraz klasyfikowania meteorytów.

Oceniając niniejszą rozprawę trzeba przyznać, że akapit opisujący cel badań został bardzo niefortunny przygotowany. Cel pracy w mojej ocenie nie został sformułowany przez Doktorantkę w odpowiedni sposób. Trudno bowiem uznać za szczegółowy cel prowadzonych badań naukowych „omówienie wybranych zagadnień dotyczących zastosowań spektroskopii mössbauerowskiej do badania meteorytów” (str. 9). Jest to zdecydowanie zbyt ogólne sformułowanie dotyczące bardziej zawartości pracy niż celu badań. Szkoda, że Doktorantka nie rozwinęła celu pracy w dalszej części akapitu. W następnym zdaniu stwierdza ogólnikowo, że „w niniejszej pracy został zaprezentowany opis składu chondrytów zwyczajnych na podstawie analizy widm mössbauerowskich”. W tym miejscu trzeba zaznaczyć, że rozprawa doktorska powinna zawierać precyzyjnie zdefiniowany cel badań, w szczególności sformułowanie problemu oraz metodę jego rozwiązania. Warto podkreślić, że już sam tytuł rozprawy w pewien sposób wskazuje konkretny cel prowadzonych badań. Oczywiście Autorka będzie miała okazję odnieść się do tej uwagi w czasie obrony swojej rozprawy doktorskiej.

Jedyną metodą eksperymentalną zastosowaną w pracy była spektroskopia efektu Mössbauera, wykorzystująca w szczególności izotop  $^{57}\text{Fe}$ . Pomiary próbek wykonane zostały w temperaturze pokojowej. Dobór tej techniki badawczej w celu charakterystyki składu fazowego był prawidłowy z uwagi na fakt, że próbki meteorytów zawierają zazwyczaj żelazo. Możliwa była również ilościowa analiza fazowa, która stanowi istotę metody 4M do klasyfikacji chondrytów zwyczajnych.

Przedstawione w rozprawie wyniki badań uważam za wartościowe, a ich omówienie zostało wykonane w ogólności w przekonujący sposób. Na uwagę zasługuje prezentacja wyników badań, połączona z ich dyskusją, dotycząca powtarzalności i niepewności wyznaczania procentowych udziałów podwładni mössbauerowskich. Przedyskutowane zostały dość szczegółowo różnice w ilościowej analizie składu fazowego, wyznaczonej metodą spektroskopii mössbauerowskiej, wynikające ze zróżnicowania czynników pomiarowych oraz stosowania różnych metod numerycznych do opracowania widm mössbauerowskich a także parametrów początkowych do obliczeń. Zagadnienia te są bardzo istotne, zwłaszcza gdy wyniki mössbauerowskie z różnych laboratoriów mają być stosowane do klasyfikacji meteorytów uniwersalną metodą. Ta problematyka była dotychczas rzadko poruszana w pracach badawczych i z tego powodu eksperymentalne badanie tych zagadnień przez Doktorantkę i omówienie wyników tych badań w pracy uważam za oryginalne i dość interesujące. Ciekawa i wyczerpująca była również dyskusja dotycząca zalet i ograniczeń metody 4M w kontekście poszukiwania sposobów klasyfikowania meteorytów za pomocą spektroskopii mössbauerowskiej przez inne grupy badawcze.

W trakcie lektury rozprawy doktorskiej nasunęło mi się kilka uwag, wyrażających pewne wątpliwości co do treści pracy:

1. Rozdział 3 poświęcony spektroskopii mössbauerowskiej zawiera w większości informacje typu wiedza ogólna, dlatego bardzo razi nadużywanie odnośników przy wzorach lub innych stwierdzeniach. Najczęściej cytowanym w takich sytuacjach (wg moich obliczeń aż 14 razy) jest odnośnik (Bolewski i Żabiński 1979), co stwarza wrażenie, że są oni autorami wiedzy teoretycznej dotyczącej spektroskopii mössbauerowskiej, a tymczasem cytowana praca opisuje metody badań minerałów i skał.
2. Podrozdział 3.7, w którym opisane zostały możliwe zastosowania spektroskopii mössbauerowskiej pozostawia pewien niedosyt ze względu na zbyt lakoniczne podejście do tego zagadnienia (zaledwie 1 strona). Wiadomo, że metoda ta ma bardzo różnorodne i ciekawe zastosowania w wielu dziedzinach nauki i warto byłoby ją szerzej propagować. Doktorantka wymieniła te dziedziny, natomiast podała zaledwie 4 krótkie przykłady. Najbardziej obszerny akapit, wg mnie zbyt obszerny, zawiera niewiele wnoszącą listę konferencji naukowych poświęconych spektroskopii mössbauerowskiej. Informacja ta jest zresztą w większości powtórzeniem fragmentu ze wstępu (Rozdział 1). W mojej opinii w tym miejscu zabrakło szerszego przeglądu literatury możliwych zastosowań tej wyjątkowej metody badawczej, który znacznie wzbogaciłby literaturową część rozprawy.
3. Początek rozdziału 4 oraz rozdziału 5 wprowadzają pewne zamieszanie. W rozdziale 4 zatytułowanym „Materiał i metoda badań” pierwszy akapit, dotyczący wyników badań meteorytów, pasuje raczej do następnego rozdziału pt. „Wyniki i analiza pomiarów mössbauerowskich”. Ponadto w rozdziale 4 brakuje istotnego wskazania jaki rodzaj źródła

mössbauerowskiego został zastosowany do badań prowadzonych przez Doktorantkę. Ta informacja znajduje się natomiast na początku rozdziału 5, w którym umieszczono opis działania spektrometru efektu Mössbauera, podczas gdy jako wiedza ogólna powinien on się raczej znaleźć w rozdziale 3 zatytułowanym „Spektroskopia mössbauerowska”. Zwłaszcza, że część tego opisu jest powtórzeniem fragmentów z rozdziału 3.

4. Niezrozumiały jest również podział rozdziału 5 na tylko jeden główny podrozdział „Zastosowanie spektroskopii mössbauerowskiej do badania chondrytów zwyczajnych”, podczas gdy do rozdziału „Wyniki i analiza pomiarów mössbauerowskich” również można z łatwością włączyć własne badania Autorki, wyodrębnione w rozdziale 6 (jako podrozdział 5.2). Wówczas wyodrębnienie podrozdziału 5.1 w obecnej formie miałyby sens.

5. Wyjaśnienie dotyczące wyznaczanych z widm mössbauerowskich parametrów nadsubtelnych (i ich symboli) znajduje się na końcu podrozdziału 5.1.1, natomiast dotyczy ono nie tylko tabel 5-1, 5-2 i 5-3, ale również większości pozostałych tabel. Z tego powodu uzasadnione byłoby umieszczenie tego akapitu na początku rozdziału „Wyniki i analiza pomiarów mössbauerowskich” (rozdział 5), zamiast opisu spektrometru. Ponadto w pracy nie znalazłam również istotnej informacji względem czego podawane są wartości przesunięcia izomerycznego.

6. Moje zastrzeżenia budzi również metodologia określania niepewności wyznaczania procentowości powierzchni podwidm w podrozdziale 5.1.2.1. W rozprawie niepewność odnosi się wyłącznie do dwóch pomiarów dla jednej próbki, co nie stanowi reprezentatywnej grupy. Wyciąganie wniosków na tej podstawie jest statystycznie nieuzasadnione. Zaznaczam, że nie mam zastrzeżeń do przedstawionych wyników a jedynie do sposobu szacowania wartości niepewności powierzchni spektralnej, który powinien bazować na znanych metodach szacowania niepewności dla reprezentatywnej liczby wykonanych pomiarów czyli co najmniej  $n=3$ . Dlatego w mojej opinii wnioski z podrozdziału 5.1.2 są być może słuszne, ale nie są przekonywująco udokumentowane.

7. Na str. 80 w ostatnim akapicie brakuje odnośnika do opisanej metody klasyfikacji chondrytów zwyczajnych proponowanej przez grupę badawczą z Rosji.

8. Na str. 87 w ostatnim zdaniu Autorka stwierdza, że „obserwacja braku podobieństwa próbki nr 2 do klastrów odpowiadających chondrytom typu H, L i LL została potwierdzona przy użyciu metody 4M”. Na potwierdzenie tego stwierdzenia oczekiwałabym przedstawienia tabeli z danymi podobnie jak to zaprezentowano w Tabeli 5-26 dla próbki nr 1. Warto byłoby ujawnić jak w przypadku próbki pochodzenia ziemskiego prezentują się wartości odległości Mahalanobisa i poziomu podobieństwa do poszczególnych typów chondrytów zwyczajnych.

9. Pewien niedosyt pozostawia rozdział „Podsumowanie i wnioski”, w którym zabrakło wg mnie jasnego wskazania (najlepiej w punktach) wniosków z przeprowadzonych badań. Stąd mam pytanie do Autorki, jakie wnioski ze swojej rozprawy uważa za najważniejsze?

Pod względem edytorskim rozprawa została przygotowana dość starannie. Dotyczy to zarówno języka rozprawy jak i przedstawionych rysunków oraz tabel. Terminologia i słownictwo są poprawne. Chciałabym jednak zwrócić uwagę na użycie w tytułach tabel słowa „parametry”, które trafniej opisywałoby wyrażenie „parametry nadsubtelne”.

Z obowiązku recenzenta wymieniam inne drobne niedociągnięcia edytorskie, które jednak nie mają wpływu na ogólną pozytywną ocenę zastosowanego w rozprawie piśmiennictwa:

- str. 4 – „mössbauer spectroscopy” – nazwa metody spektroskopii mössbauerowskiej w języku angielskim powinna być pisana wielką literą od nazwiska jej odkrywcy – Mössbauer spectroscopy
- str. 9 – „wykorzytsaniu” – wykorzystaniu
- str. 9 – „Rudolfa Mössabuera” – Rudolfa Mössbauera
- str. 9 – „biologii” – biologia
- str. 9 – „jest skromnym wkładem do prężnie rozwijającej się techniki badawczej wykorzystującej spektroskopię mössbauerowską” – spektroskopia mössbauerowska sama jest techniką badawczą
- str. 9 – „układ słoneczny” – dla nazwy własnej stosuje się wielką literę – Układ Słoneczny
- str. 10 – „Acta Physica Polonica 2018” – Acta Physica Polonica A 2018 (ta sama uwaga dotyczy tej publikacji w bibliografii)
- str. 11 – „Hyperfine Interaction” – Hyperfine Interactions
- str. 11 – „w pracy” – w pracach (dot. 3 prac)
- str. 11 – „mössbaurowskie” – mössbauerowskie
- str. 13 – „często spadające potem” – często spadały potem
- str. 14, rys. 2-2 – „płaszcz krzemianowym” – płaszcz krzemianowy
- str. 27 – „nieokreśloność pomiaru położeni” – nieokreśloność pomiaru położenia
- str. 27 – „(Bolewski i Żabiński 1978)” – (Bolewski i Żabiński 1979)
- str. 35 – „3.6.4. Przesunięcie izomeryczne” – w kontekście zawartości tego podrozdziału mowa jest raczej o przesunięciu kwadrupolowym (w nomenklaturze angielskiej: *quadrupole shift*)
- str. 37 – „Mössbuerskiej” – Mössbauerowskiej
- str. 38 – „w urządzeniu (drive)” oraz „w drivie” – w nomenklaturze stosuje się polskie słowo „napęd”
- str. 38 – „z pewną prędkością” – z pewną prędkością
- str. 46 – „Fazą mineralnym przypisywane są” – Fazom mineralnym przypisywane są
- str. 46 – „mössbaurowskimi” – mössbauerowskimi
- str. 48 – „Tabela 5-7” – powinno być „Tabela 5-2”
- str. 50 oraz 61 – „mössaburowskie” – mössbauerowskie
- str. 51 – „Meteoritic” – Meteoritics
- str. 60 – „mössbuerskich” – mössbauerowskich
- str. 61 – „mösssbauerowskich” – mössbauerowskich
- str. 76 – „Mahalanobissa” – Mahalanobisa
- str. 79 – „z wykorzystanie metody” – z wykorzystaniem metody
- str. 81 – „laboratoria Mössbauera” – raczej laboratoria spektroskopii efektu Mössbauera
- str. 91 – „spadła” – spadła
- str. 92 – „Wyniki pomiarów mössbauerowskich z laboratorium powinny być jednoznaczne i powtarzalne.” – w kontekście podsumowania to zdanie powinno raczej brzmieć: „Wyniki pomiarów mössbauerowskich z różnych laboratoriów powinny być jednoznaczne i powtarzalne.”

Mgr inż. Patrycja Bogusz ma w dorobku 11 publikacji, związanych z tematyką rozprawy doktorskiej, przy czym w dwóch z nich jest głównym autorem. Prace te zostały opublikowane w latach 2017-2021. Na wyróżnienie zasługują dwie prace, które opublikowano w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, znajdujących się na liście Journal Citation Report: 1 praca w Meteoritics & Planetary Science (dyscyplina

astronomia, kwartyl Q2, *impact factor* 2019 r.: 2.863) oraz 1 praca w Acta Physica Polonica A (dyscyplina nauk fizycznych, kwartyl Q4, *impact factor* 2018 r.: 0.545). W drugiej z tych prac mgr inż. Patrycja Bogusz jest pierwszym autorem. Pięć prac opublikowano w Hyperfine Interactions, które to czasopismo od 2008 r. przestało być indeksowane w Journal Citation Report. Pozostałe prace zostały opublikowane w języku polskim w czasopiśmie Acta Societatis Meteoriticae Polonorum (dyscyplina naukowa astronomia, dziedzina nauk ścisłych i przyrodniczych), które znajduje się w polskiej bazie Polish Scientific Journal Database (PSJD) i w Polskiej Bibliografii Naukowej (PBN). Oprócz prac bezpośrednio związanych z tematyką rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycja Bogusz jest współautorką kilku innych publikacji. Na uwagę zasługuje zwłaszcza publikacja przeglądowa w Acta Societatis Meteoriticae Polonorum pt. „Z efektem Mössbauera na Marsie”, w której Doktorantka jest głównym autorem.

Praca doktorska mgr inż. Patrycji Bogusz znakomicie łączy dwie dyscypliny: astronomię i nauki fizyczne. Podsumowując niniejszą recenzję, można stwierdzić, że mgr inż. Patrycja Bogusz wykazała się odpowiednią wiedzą ogólną w przedmiocie badań naukowych w zakresie obu dyscyplin naukowych, jak również umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań oraz publikacji wyników tych badań, o czym świadczy jej bogaty dorobek publikacyjny. Autorka osiągnęła w rozprawie cel badań, określony najlepiej przez tytuł jej pracy, ponieważ słabym punktem rozprawy było nieumiejętne zdefiniowanie celu badań. Wyniki uzyskane przez mgr inż. Patrycję Bogusz stanowią oryginalny wkład nie tylko do wiedzy o meteorytach, ale także w zakresie możliwości zastosowania „fizycznej” metody spektroskopii mössbauerowskiej do klasyfikowania meteorytów oraz odróżniania próbek meteorytów od kamieni ziemskich, co zostało wykazane w rozprawie. Widoczny jest również pewien wkład w rozwój metodologii spektroskopii mössbauerowskiej. Dodatkowo na uwagę zasługuje fakt, że wyniki badań uzyskane przez Doktorantkę mogą się przyczynić do dalszej weryfikacji i ciągłego udoskonalania metody 4M, rozwijanej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, jak również rozpropagowania tej metody wśród zainteresowanych badaczy meteorytów na całym świecie, którzy po wejściu na stronę internetową <http://4m-basev1.woreczko.pl/4mmlist.php> (Gałązka-Friedman i in. 2021) mogą samodzielnie klasyfikować swoje próbki na podstawie analizy własnych widm mössbauerowskich. Ponadto szczegółowa analiza składu fazowego chondrytów zwyczajnych może stanowić ważny przyczynek do znalezienia odpowiedzi na fundamentalne pytania dotyczące tworzenia się naszego Układu Słonecznego.

Na zakończenie recenzji mogę stwierdzić, że praca mgr inż. Patrycji Bogusz spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w ustawie „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”. Moja ogólna ocena rozprawy jest pozytywna i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Patrycji Bogusz do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Agnieszka Grabias  
Agnieszka Grabias