

Kraków, 08.03.2022.



UNIwersytet  
JAGIELLOŃSKI  
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

im.

Mariana Smoluchowskiego

Prof. dr hab. Kazimierz Łątka  
Uniwersytet Jagielloński  
Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego  
Zakład Fizyki Medycznej  
ul. Prof. Stanisława Łojasiewicza 11  
30-348 Kraków  
Telefon służbowy: 12 664 4668  
e-mail: [uflatka@cyf-kr.edu.pl](mailto:uflatka@cyf-kr.edu.pl)

## RECENZJA

pracy doktorskiej Pani mgr inż. Patrycji Bogusz p.t.:

### **"Spektroskopia mössbauerowska jako metoda odróżniania prawdziwych meteorytów od niesklasyfikowanych próbek meteorytopodobnych"**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Patrycji Bogusz napisana została w języku polskim pod kierunkiem Pani dr hab. Jolanty Gałązki-Friedman oraz promotora pomocniczego Pana dr inż. Przemysława Dudy, profesora uczelni i została starannie wydana w postaci książkowej z sygnaturą Politechniki Warszawskiej w ramach dyscypliny naukowej nauki fizyczne/dziedzina nauk ścisłych i przyrodniczych. Praca ta zawiera zgromadzone wyniki badań meteorytów prowadzonych przez Autorkę od 2017 roku w Pracowni Spektroskopii Mössbauerowskiej Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej i opiera się na 11 publikacjach z jej udziałem, które ukazały się w recenzowanych czasopismach o charakterze międzynarodowym. Należy podkreślić, że wymieniona Pracownia stworzona przez Panią Promotor jest właściwie jedynym ośrodkiem w Polsce zajmującym się w sposób systematyczny między innymi tematyką badań metodą rezonansowej spektroskopii gamma meteorytów i materiałów meteorytopodobnych, w tym przede wszystkim chondrytów zwyczajnych, a badania te prowadzone są w szerokiej i owocnej współpracy z licznymi placówkami krajowymi i zagranicznymi. Głównym celem pracy, jak to ujmuje Autorka, jest omówienie wybranych zagadnień dotyczących zastosowań spektroskopii mössbauerowskiej do badań meteorytów.

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-47-03

fax +48(12) 664-49-06

e-mail: [fizyka@uj.edu.pl](mailto:fizyka@uj.edu.pl)

Zaczynając od tytułu pracy należy zauważyć, że jest on niezwykle trafny i adekwatny do prezentowanej w pracy treści. Istotnie, technika mössbauerowska jest unikalną metodą pozwalającą na identyfikację fazową złożonych materiałów do których należą meteoryty. W szczególności wykorzystywana do badań spektroskopii mössbauerowska z użyciem izotopu  $^{57}\text{Fe}$  jest niezwykle przydatna ze względu na jej łatwość stosowania oraz dużą zdolność rozdzielczą, prowadzącą w konsekwencji do znakomitego rozdzielenia obserwowanych linii absorpcyjnych umożliwiając w ten sposób dokładne śledzenie parametrów oddziaływań nadsubtelnych jako charakterystycznych dla danej substancji zawierającej żelazo, co też pozwala na jednoznaczną analizę próbek wielofazowych. Stąd też istnieje możliwość odróżniania prawdziwych meteorytów od materiałów meteorytopodobnych, jak na przykład zwykłych kamieni ziemskich pod warunkiem, że istnieje szeroka baza dobrze sklasyfikowanych, na podstawie wcześniejszych badań, meteorytów. I właśnie, tworzeniem i udoskonalaniem takiej bazy dla chondrytów zwyczajnych zajmuje się warszawska grupa badawcza pod kierunkiem Pani dr hab. Jolanty Gałązki-Friedman od 2014 roku jako głównej inicjatorce badań, a z udziałem Autorki omawianej pracy doktorskiej od 2017 roku. Warto w tym miejscu dodać, że tematyka recenzowanej pracy jest bardzo aktualna i mieści się w głównym nurcie prowadzonych na świecie intensywnych badań meteorytów.

Omawiana rozprawa doktorska jest pracą bardzo obszerną bo liczącą 143 strony pokryte gęsto zapisanym drukiem, a w jej skład wchodzi: karta tytułowa, syntetyczne streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, kompetentnie napisany wstęp, po którym następuje 6 zasadniczych rozdziałów i krótkie lecz merytoryczne podsumowanie jako rozdział 7. Rozdziały od 8 do 12 zawierają dodatkowe załączniki 1-5. W załącznikach 1-3 (rozd. 8-10) można znaleźć zmierzone widma mössbaurowskie oraz wyznaczone na ich podstawie zawartości procentowe poszczególnych faz mineralnych dla klas H, L i LL chondrytów zwyczajnych. W załączniku 4 (rozd. 11) podana jest definicja odległości Mahalanobisa jako istotnej wielkości w analizie przedstawianych danych pomiarowych. Natomiast ostatni załącznik oznaczony numerem. 5 (rozd. 12) podaje szczegółowe informacje odnośnie definicji średniej wariancji n-wymiarowego klastra służącej do wyliczenia miary prawdopodobieństwa  $S_{\text{cluster}}$ . Bibliografia zawierająca 68 referencji literaturowych obejmująca także prace Autorki pracy, przedstawiona jest w ostatnim 13 rozdziale kończącym rozprawę.

W streszczeniu sformułowany został w klarowny sposób cel i przedmiot wykonanych badań oraz ogólne informacje dotyczące sposobu ich opracowania z użyciem metody

określonej kryptonimem 4M, która prowadzi do identyfikacji typu chondrytu zwyczajnego. We wstępie (rozdz.1) znaleźć można motywację badań, dorobek publikacyjny oraz zwięzły opis układu pracy w odniesieniu do podstawowych rozdziałów pracy to jest rozdz. 2-7. Rozdz. 2 przedstawia klasyfikacje meteorytów z bardziej szczegółowym omówieniem wybranych rodzajów. Rozdz. 3 stanowi zaznajomienie z podstawami teoretycznymi głównej metody badawczej to jest spektroskopii mössbauerowskiej. Bardzo krótki rozdział 4 podaje garść informacji na temat użytych materiałów i metodyki badań. Rozdział 5 gromadzi uzyskane rezultaty badań mössbauerowskich chondrytów zwyczajnych oraz ich szczegółową analizę i do tego rozdziału odnoszą się załączniki 1-3. W rozdziale 6 opisana została metoda pozwalająca na rozróżnienie prawdziwych meteorytów od ziemskich kamieni meteorytopodobnych. Rozdział 7 zawiera podsumowanie i wnioski końcowe pracy.

Należy zaznaczyć, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Patrycji Bogusz napisana została w bardzo przejrzysty i logiczny sposób. Zarówno szata graficzna tej pracy, jak i jej układ oraz prezentacja wyników w postaci licznych wykresów i tabel zasługuje na najwyższe uznanie. Pani mgr inż. Patrycja Bogusz wykazała przy tym bardzo dobre opanowanie techniki pomiarowej oraz umiejętność właściwej interpretacji uzyskanych wyników doświadczalnych.

Do najważniejszych osiągnięć Autorki należy zaliczyć ogromną ilość systematycznych, logicznie zaplanowanych oraz starannie przeprowadzonych eksperymentów mössbauerowskich dla próbek meteorytowych oraz trafne opracowanie uzyskanych widm, pozwalających na określenie składu fazowego badanych próbek oraz wyznaczenie zawartości procentowej tych faz co przyczyniło się do sporządzenia w 2019 roku rzetelnej bazy danych, która została dodatkowo wzbogacona o nowe 2 pozycje w 2021 roku w oparciu o nowe badania Autorki pracy. Te nowe badania obejmowały 4 próbki i właśnie dwie z nich dzięki wnikliwej weryfikacji zostały sklasyfikowane odpowiednio jako chondryt zwyczajny Leoncin oraz achondryt enstatytowy NWA 13266. Wyznaczone w pomiarach mössbauerowskich wartości procentowe, dla faz składających się na dane widmo, posłużyły do wielowymiarowej statystycznej analizy dyskryminacyjnej i wyliczenia odległości Mahalanobisa oraz miary podobieństwa pozwalające na rozróżnienie różnych typów chondrytów zwyczajnych. Ta ostatnia analiza stanowi podstawę stosowanej metody 4M. Metoda ta, jak pokazały wyniki dyskutowanej pracy, ma charakter ilościowy. W swojej pracy Pani mgr inż. Patrycja Bogusz poświęciła sporo uwagi problemowi wiarygodności i jednoznaczności uzyskanych wyników mössbauerowskich stawiając problem niepewności wyznaczanych powierzchni spektralnych dla poszczególnych składowych mineralnych analizowanego widma danej próbki uzyskiwanych w obrębie własnej grupy lub przez inną grupę badawczą w zależności od

warunków doświadczalnych oraz w przypadku używania różnego oprogramowania. Wymieniony problem jest niezwykle istotny dla prowadzonych w pracy analiz, gdyż wyznaczone powierzchnie spektralne pozwalają wyliczyć zawartości procentowe poszczególnych składowych widma i błędy wyznaczenia tych powierzchni przenoszą się bezpośrednio na błędy tych zawartości. W przypadku własnej grupy badawczej, aby zbadać sprawę powtarzalności wyników, wykonano dwa niezależne pomiary dla trzech wybranych próbek meteorytów i wykazano niedwuznacznie, że różnice wyznaczonych pól powierzchni dla poszczególnych faz są do zaniedbania. W przypadku prezentowanych wyników otrzymanych na podstawie pomiarów przez dwie grupy badawcze z użyciem trzech innych próbek również okazało się, że uzyskane rezultaty zarówno na parametry oddziaływań nadsubtelnych, jak i wyznaczonych pól powierzchni są doskonale porównywalne i niezależne od zastosowanego programu dopasowującego odpowiednie widma mössbauerowskie. Te ostatnie pomiary potwierdziły, że do tworzenia baz danych można wykorzystywać z dużym zaufaniem także wyniki literaturowe pochodzące od innych grup badawczych.

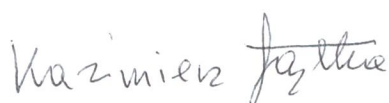
Trzeba też dodać, że wydanie książkowe rozprawy doktorskiej sprawia, że może być ona dostępna dla szerszego grona czytelników, stanowiąc przydatne kompendium wiedzy na temat meteorytów. Ponadto praca ta może służyć jako świetne źródło dydaktyczne dla studentów i doktorantów.

Z obowiązku recenzenta muszę wymienić szereg uwag o charakterze krytycznym. Generalnie rzecz biorąc praca napisana jest bardzo starannie, mimo to udało mi się znaleźć parę usterek językowych w postaci literówek czy innych braków. Na stronie 9 w drugiej linii zamiast "wykorzysaniu" powinno być "wykorzystaniu". Na stronie 14 w 11 linii od dołu na końcu zdania powinna być tylko jedna kropka. W oryginalnie sformułowanej przez Heisenberga zasadzie nieoznaczoności dyskutowanej na stronie 27 i 28 powinno występować pełna stała Plancka  $h$  we wzorach 3.1, 3.2, ale istotnie późniejsze prace Kennarda i Weyla potwierdzają ważność tych tak zapisanych wzorów, gdzie występuje połowa tej stałej. Na stronie 29 druga linia od dołu zamiast "przy niskich temperaturach" napisałbym "w niskich temperaturach". Przy omawianiu na stronie 30 czynnika Debye'a-Wallera należałoby dodać, że czynnik ten zależy od temperatury Debye  $\theta_D$  i rośnie ze wzrostem tej temperatury i najlepiej byłoby napisać pełny wzór na wartość tego czynnika. W pierwszej linii tekstu pod rysunkiem 3-6 na stronie 35 zamiast "rozczepieniu" powinno być "rozszczipieniu". Na stronie 37 pojawia się wyrażenie "w tak zwanych holderkach" pochodzące od angielskiego holder,

które potem jest konsekwentnie używane, a chodzi o pojemniki na absorbent mössbauerowski. Podobnie wygląda sprawa anglojęzycznego terminu "drive" na stronie 38 zamiast polskiego "napęd". Tabela na stronie 48 błędnie oznaczona jest jako 5.7 a w rzeczywistości jest to tabela 5.2. Na stronie 81 błędnie napisane jest nazwisko "Cadogen" zamiast "Cadogan". W pracy, aktywności używanych źródeł mössbauerowskich podawane są w jednostkach mCi, a dopiero na stronie 82 pojawia się właściwa jednostka systemu SI wyrażona w Bq.

Chciałbym jednakże jasno zaznaczyć, że wymienione powyżej, zresztą nieliczne, usterki w pracy nie mają większego znaczenia merytorycznego i zostały wymienione jedynie dla porządku.

W podsumowaniu pragnę stwierdzić, że cel badawczy recenzowanej rozprawy został w pełni osiągnięty, przynosząc wiele ważnych i nowych rezultatów, które poszerzyły naszą wiedzę o strukturze fazowej badanych materiałów. Z pełnym przekonaniem mogę powiedzieć, że rozprawa ta całkowicie spełnia wszystkie wymogi obowiązującej ustawy o stopniach naukowych. Równocześnie, biorąc pod uwagę oryginalność i bogactwo uzyskanych wyników doświadczalnych oraz znakomity warsztat i poziom naukowy prezentowany w pracy wnioskuję o jej wyróżnienie. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Patrycji Bogusz do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. Kazimierz Łątka