

Kraków, 10.04.2025

Recenzja osiągnięć habilitacyjnych dr. Romana Minikayeva w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Do oceny dorobku naukowego dr. Romana Minikayeva zostały przedstawione następujące dokumenty:

- a) autoreferat,
- b) wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny nauki fizyczne,
- c) kopie publikacji stanowiących jednotematyczny cykl w ramach osiągnięcia naukowego,
- d) oświadczenia współautorów,
- e) wniosek do Rady Doskonałości Naukowej,
- f) kopia dyplomu doktorskiego.

Pan dr Roman Minikayev, zatrudniony w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk, przedstawił zgodnie z art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, swój dorobek naukowy, w tym cykl 7 publikacji ([H1]-[H7]) powiązanych tematycznie, zatytułowany: „*Właściwości termostrukturalne wybranych półprzewodników i tlenków funkcjonalnych*”.

Publikacje wchodzące w skład cyklu są poświęcone systematycznym badaniom termostrukturalnym wybranych półprzewodników i tlenków funkcjonalnych, co stanowi istotny kierunek badań we współczesnej fizyce ciała stałego. Właściwości takie jak rozszerzalność cieplna, ściśliwość, temperatura Debye’a czy stabilność strukturalna w funkcji temperatury i ciśnienia są kluczowe nie tylko dla podstawowego zrozumienia fizyki materiałów, ale również dla praktycznych zastosowań w elektronice, optoelektronice i technologiach termoelektrycznych. Znajomość tych parametrów pozwala przewidzieć zachowanie materiałów w warunkach ekstremalnych, wpływa na projektowanie urządzeń pracujących w podwyższonych temperaturach lub pod dużym obciążeniem mechanicznym, a także umożliwia inżynierię właściwości użytkowych poprzez modyfikacje chemiczne (np. domieszkowanie). Dotyczy to zarówno klasycznych półprzewodników, jak PbTe i jego roztworów stałych z CdTe, które odgrywają ważną rolę w technologii materiałów termoelektrycznych, jak i bardziej złożonych układów, takich jak α -MnTe czy różnorodnych tlenków boranowych domieszkowanych jonami metali przejściowych i ziem rzadkich (np. Er^{3+} , Cr^{3+} , Tb^{3+}), które wykazują właściwości magnetyczne lub luminescencyjne. Ponadto, wykorzystanie zaawansowanych, nieinwazyjnych metod pomiarowych — w tym dyfrakcji rentgenowskiej pod zmiennymi warunkami T i p — czyni badania Habilitanta nowoczesnymi i odpowiadającymi na aktualne potrzeby rozwoju materiałów funkcjonalnych o wysokiej

technologicznej przydatności. Prace w cyklu charakteryzują się spójnym podejściem metodologicznym — zastosowano zaawansowane techniki dyfrakcji rentgenowskiej, w tym dyfrakcję z użyciem promieniowania synchrotronowego oraz analizę metodą Rietvelda, w szerokim zakresie temperatur (do 1200 K) i ciśnień.

Prace wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego dr. R. Minikayeva zostały opublikowane w okresie 2011-2022 w czasopismach: *Crystals*, *Acta Physica Polonica A*, *X-Ray Spectrometry*, *J. of Alloys and Compounds*, *Scientific Reports*, *Results in Physics* i *Materials Chemistry and Physics*. Publikacje te są wieloautorskie (od 5ciu do 11 autorów), w trzech z nich Habilitant jest pierwszym autorem. Liczba współautorów jest naturalną konsekwencją różnorodności technik eksperymentalnych zastosowanych w prezentowanych badaniach. Poniżej przedstawiam krótkie podsumowanie osiągnięć poszczególnych artykułów cyklu.

W pracy [H1] Habilitant przeprowadził kompleksową analizę wpływu podstawienia kadmu w strukturze PbTe na właściwości termoelastyczne materiału. W badaniach wykorzystał połączenie dyfrakcji rentgenowskiej na proszku i monokryształy w zakresie temperatur 15–300 K oraz pomiarów pod wysokim ciśnieniem (do 4,5 GPa). Autor wykazał, że podstawienie Cd powoduje istotne obniżenie modułu ścisłości PbTe, co wiąże się z obniżeniem sztywności sieci krystalicznej. Jednocześnie, mimo wprowadzenia domieszki, zachowana zostaje struktura typu NaCl. Szczegółowa analiza przesunięć atomowych i parametrów Gruneisena pozwoliła na identyfikację mechanizmów mikroskopowych odpowiedzialnych za zmiany właściwości dynamicznych kryształu. W pracy tej Habilitant wprowadził także dwa niezależne sposoby wyznaczania temperatury Debye’a dla obu podstruktur sieci (kationowej i anionowej), co należy uznać za nowatorskie podejście.

Publikacja [H2] stanowi rozszerzenie badań struktury roztworów stałych $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ w warunkach wysokotemperaturowych, dostarczając nowych danych na temat stabilności fazowej i rozszerzalności cieplnej tych materiałów. W pracy Habilitant wykorzystał zaawansowaną technikę dyfrakcji rentgenowskiej z użyciem promieniowania synchrotronowego oraz analizę metodą Rietvelda, co pozwoliło mu na precyzyjne określenie zmian parametrów sieci krystalicznej w zakresie do 1100 K. Szczególnie cennym rezultatem było wykazanie, że granica rozpuszczalności Cd w PbTe może być wyższa niż dotychczas sądzono, co rodzi potrzebę rewizji obowiązujących danych diagramów fazowych. Uzyskane wyniki mają bezpośrednie znaczenie dla projektowania materiałów termoelektrycznych o podwyższonej stabilności temperaturowej. Publikacja ta wnosi oryginalny wkład do aktualnych badań w zakresie wyznaczania właściwości strukturalnych materiałów półprzewodnikowych.

W pracy [H3] przeanalizowano strukturę krystaliczną i rozszerzalność cieplną $\alpha\text{-MnTe}$ w szerokim zakresie temperatur (295–1200 K). Jest to materiał istotny z punktu widzenia spintroniki i zastosowań w warunkach podwyższonych temperatur. Habilitant wykazał obecność przejściowego rozkładu materiału z powstaniem fazy MnTe_2 , co zidentyfikowano na podstawie dokładnych danych dyfrakcyjnych. Wyznaczono współczynniki rozszerzalności cieplnej w kierunkach sieci krystalicznej, co pozwoliło na zrozumienie anizotropii deformacyjnej oraz zmian dynamiki sieci w warunkach podwyższonych temperatur. Praca ta stanowi ważny wkład w zrozumienie fizycznych ograniczeń materiałów o potencjale spintronicznym.

Z kolei w publikacjach [H4]–[H7] Habilitant skupił się na badaniach właściwości strukturalnych i magnetycznych boranów metali ziem rzadkich domieszkowanych jonami przejściowymi (Co^{2+} , Cr^{3+}) oraz lantanowcami (Er^{3+} , Tb^{3+}). We wszystkich tych pracach

zastosowano zaawansowane techniki spektroskopii EPR i NMR, uzupełnione o precyzyjne pomiary strukturalne (XRD in situ w zakresie do 1073 K) i cieplne (ciepło właściwe, TSL, RL).

W pracy [H4] Habilitant zbadał właściwości układów $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ i $\text{EuAl}_3(\text{BO}_3)_4$ domieszkowanych jonami Co^{2+} . Za pomocą spektroskopii EPR wyznaczył parametry hamiltonianu spinowego oraz wykazał obecność trzech nieekwiwalentnych centrów magnetycznych. Zidentyfikował również silne sprzężenie spin-fonon, odpowiedzialne za poszerzenie linii EPR. Badania te pozwoliły na dokładne scharakteryzowanie lokalnej symetrii pola krystalicznego w pobliżu domieszek Co^{2+} .

W [H5] przedmiotem szczegółowych badań była struktura lokalna jonów Cr^{3+} w matrycy $\text{YGa}_3(\text{BO}_3)_4$ z wykorzystaniem techniki elektronowego rezonansu paramagnetycznego. Przeprowadzono pomiary kątowe w funkcji orientacji kryształu względem pola magnetycznego, co umożliwiło szczegółowe dopasowanie widm do modelu romboidalnego hamiltonianu spinowego. Wyznaczono wartości parametrów rozszczepienia pola krystalicznego oraz orientację osi Z tensora g względem głównej osi krystalograficznej C_3 . Dzięki zastosowaniu zaawansowanej analizy numerycznej autorom udało się rozdzielić wkłady pochodzące od różnych centrów krystalograficznych, co pozwoliło uzyskać pełny opis anizotropii magnetycznej i struktury elektronowej jonów Cr^{3+} w badanym układzie. Uzyskane dane są istotne z punktu widzenia projektowania materiałów optycznych i magnetycznych o kontrolowanych właściwościach spinowych.

W pracy [H6] przedmiotem badań były właściwości magnetyczne i strukturalne boranów domieszkowanych jonami Er^{3+} . Zastosowano spektroskopię EPR do szczegółowej analizy lokalnego pola krystalicznego wokół centrów Er^{3+} w matrycy $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$. Wyznaczono wartości tensorów g, parametry hamiltonianu spinowego oraz stałe oddziaływań nadsubtelnych, umożliwiając dokładną charakterystykę elektronową jonów. Analizę przeprowadzono dla różnych orientacji krystalicznych, co pozwoliło określić anizotropię paramagnetyczną układu. Przeanalizowano również mechanizmy relaksacji spinowej jonów Er^{3+} w szerokim zakresie temperatur wskazując, że relaksacja ta zachodzi głównie według mechanizmu Orbacha-Aminova, co jest istotne z punktu widzenia projektowania materiałów luminescencyjnych. Praca wnosi nowe dane do fizyki lantanowców w sieci krystalicznej o niskiej symetrii i podkreśla rolę oddziaływań spin-sieć w kształtowaniu ich właściwości dynamicznych.

W pracy [H7] Habilitant poddał szczegółowej analizie właściwości magnetyczne jonów Tb^{3+} w dwóch różnych matrycach boranowych: $\text{EuAl}_3(\text{BO}_3)_4$ oraz $\text{EuGa}_3(\text{BO}_3)_4$. Wykorzystano wysokiej rozdzielczości spektroskopię EPR, co umożliwiło identyfikację parametrów anizotropii magnetycznej oraz struktury nadsubtelnej związanej z oddziaływaniem jądrowym izotopu Tb. Wyznaczono orientację głównych osi tensora g i parametrów struktury nadsubtelnej, wykazując istotne różnice pomiędzy badanymi strukturami krystalicznymi. Praca dostarcza precyzyjnych danych istotnych dla zrozumienia zależności pomiędzy lokalną symetrią a właściwościami magnetycznymi lantanowców, co ma bezpośrednie przełożenie na projektowanie nowoczesnych materiałów luminescencyjnych opartych na jonach Tb^{3+} .

Wszystkie przedstawione prace będące podstawą osiągnięcia habilitacyjnego są wieloautorskie, lecz z dołączonych oświadczeń współautorów wynika jednoznacznie, że dr Roman Minikayev odgrywał wiodącą rolę w przeprowadzeniu i analizie eksperymentów dotyczących charakterystyki krystalograficznej i termostrukturalnej badanych materiałów oraz interpretacji wyników. Habilitant kierował częścią badań prowadzonych w laboratorium IF PAN, w tym

badaniami prowadzonymi w warunkach wysokotemperaturowych. Uczestniczył także w badaniach z wykorzystaniem wiązki synchrotronowej w HASYLAB w Hamburgu. W artykułach, w których Habilitant był pierwszym autorem był on odpowiedzialny za całokształt prowadzonych badań podczas gdy w pozostałych publikacjach cyklu, za część pracy, która dotyczyła właściwości strukturalnych i termostrukturalnych badanych próbek. Wyniki uzyskane przez Habilitanta przyczyniły się do znacznego poszerzenia wiedzy na temat termicznych właściwości materiałów funkcjonalnych i ich stabilności strukturalnej, co jest niezwykle istotne z punktu widzenia ich dalszego zastosowania technologicznego. **W mojej ocenie wkład dr. Romana Minikayeva jest wystarczający, aby artykuły z cyklu [H1]-[H7], uznać za jego osiągnięcie habilitacyjne.**

Na podstawie przedstawionej dokumentacji i analizy osiągnięcia naukowego stwierdzam, że cykl publikacji [H1]–[H7] stanowi spójne, oryginalne i merytorycznie wartościowe osiągnięcie naukowe o istotnym znaczeniu dla rozwoju fizyki ciała stałego, w szczególności w zakresie badań termostrukturalnych materiałów funkcjonalnych. Badania Habilitanta dostarczyły cennych danych eksperymentalnych dotyczących zależności właściwości strukturalnych układów półprzewodnikowych i tlenkowych od temperatury, ciśnienia oraz domieszkowania, co ma zarówno znaczenie poznawcze, jak i aplikacyjne. **Zatem, przedstawione do oceny osiągnięcie, w postaci cyklu publikacji [H1]–[H7], stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny.**

Dorobek publikacyjny Habilitanta jest obszerny i obejmuje 167 prac naukowych, opublikowanych w czasopismach krajowych i międzynarodowych. Z analizy wykazu publikacji oraz oświadczeń o wkładzie własnym wynika, że udział Habilitanta w znacznej części tych prac polegał na wykonywaniu specyficznych podzadań badawczych w ramach grantów realizowanych w dużych zespołach badawczych, co stanowi uzasadnienie faktu iż Habilitant jest pierwszym autorem w tylko ośmiu publikacjach. Taki charakter dorobku świadczy o dużym zaangażowaniu Habilitanta w pracę zespołową, realizowaną w ramach szeroko zakrojonej współpracy z licznymi grupami badawczymi, zarówno krajowymi, jak i zagranicznymi. Poza długoletnią aktywnością naukową prowadzoną w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk, istotnym elementem dorobku Habilitanta jest staż naukowy w Centrum Synchrotronowym Elettra w Trieście (Włochy), zrealizowany w latach 2010–2011 w ramach programu CERES (CEI). Współpraca naukowa dr. Minikayeva z instytucjami zagranicznymi obejmuje wieloletnie kontakty z ośrodkami takimi jak Instytut Fizyki Czeskiej Akademii Nauk (J. Lancok) oraz A.A. Galkin Donetsk Physico-Technical Institute w Ukrainie (A. Prokhorov). Wspólne projekty prowadzone w ramach tych kooperacji obejmowały eksperymenty i interpretacje danych uwieńczone szeregiem publikacji, wśród nich publikacji wchodzących w skład przedłożonego osiągnięcia habilitacyjnego.

Należy jednak zauważyć, że przy wysokiej liczbie publikacji, stosunkowo skromnie przedstawia się aktywność Habilitanta w zakresie upowszechniania wyników. Z dokumentacji wynika, że dorobek konferencyjny ogranicza się do trzech wystąpień, głównie o charakterze warsztatowym, co można uznać za niewystarczające. Może to wynikać z faktu, że Habilitant był zaangażowany w realizację wysoce specjalistycznych zadań badawczych w ramach większych projektów, skupiając się na określonych aspektach eksperymentalnych, bez formułowania i realizacji własnych, niezależnych tematów badawczych.

Podobnie widoczna jest ograniczona aktywność Habilitanta w pozyskiwaniu środków finansowych na prowadzenie badań. W dokumentacji wykazano udział Habilitanta głównie w charakterze wykonawcy w projektach badawczych. Dr Minikayev kierował tylko projektem

badawczym w ramach programu NAWA (wymiana naukowa z Ukrainą) oraz kilkoma projektami związanymi z dostępem do infrastruktury pomiarowej na źródłach promieniowania synchrotronowego (ESRF, MAX IV, SwissFEL, XFEL, Elettra, ALBA).

Odnosząc się do innych osiągnięć naukowych niewchodzących w skład cyklu habilitacyjnego, warto zwrócić uwagę na badania Habilitanta nad właściwościami strukturalnymi i elastycznymi materiałów tlenkowych, w tym nadprzewodzących. Są to systematyczne badania wpływu domieszkowania niklem na strukturę nadprzewodnika $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_4$. Habilitant wykazał, że wzrost stężenia jonów Ni (do 16%) w strukturze typu K_2NiF_4 prowadzi do niemal liniowych zmian parametrów sieciowych, co wcześniej było dokumentowane jedynie dla kilku wartości stężeń i to jeszcze ze znaczącym rozrzutem wartości. Szczegółowa analiza, przeprowadzona na ponad 15 składach, pozwoliła na określenie współczynników zależności parametrów sieci, stosunku c/a oraz objętości komórki elementarnej od stężenia domieszki. Co istotne, wykazano także zmiany w geometrii oktaedrów (Cu/Ni)-O oraz charakterystyczne przemieszczenia atomów w sieci, mające wpływ na właściwości nadprzewodzące materiału. Odrębny, równie ważny kierunek badań dotyczył własności elastycznych wanadanów ziem rzadkich RVO_4 ($\text{R} = \text{Sc}, \text{Y}, \text{La-Lu}$), w szczególności ich zachowania pod wysokim ciśnieniem. Dr Minikayev, wykorzystując rentgenowską dyfrakcję in situ, po raz pierwszy wyznaczył na podstawie danych eksperymentalnych zależność parametrów sieciowych TbVO_4 od ciśnienia (aż do 7,28 GPa), określił anizotropię ścisłości tego związku, a także wyznaczył parametry równania stanu Birch-Murnaghana. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w dwóch publikacjach, w których Habilitant jest pierwszym i korespondencyjnym autorem.

Podsumowując, Dr Roman Minikayev wykazał się bardzo dobrą znajomością zaawansowanych technik badawczych, w tym dyfrakcji rentgenowskiej w zmiennych warunkach (synchrotron, wysokie temperatury, wysokie ciśnienia) i analizy metodą Rietvelda. W swoich pracach łączy kompetencje eksperymentalne z umiejętnością współpracy zespołowej i ekspertyzą w interpretacji specjalistycznych danych pomiarowych. Jest doskonałym specjalistą w swojej dziedzinie, a zdobyte umiejętności skutecznie wykorzystuje w badaniach nad materiałami o dużym znaczeniu aplikacyjnym w elektronice, optoelektronice, spintronice oraz technologiach luminescencyjnych. Uwzględniając dodatkowo liczbę ponad 160 publikacji, aktywność we współpracy międzynarodowej oraz doświadczenie w pracy na wysokiej klasy infrastrukturze badawczej, można stwierdzić, że Habilitant spełnia wymagania ustawowe określone w art. 219 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w tym dotyczące istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej instytucji, w szczególności zagranicznej.

Na podstawie przedstawionej dokumentacji i analizy osiągnięcia naukowego uznaję, że cykl publikacji [H1]-[H7] stanowi spójne i oryginalne osiągnięcie naukowe o istotnym znaczeniu dla rozwoju fizyki ciała stałego, w szczególności w zakresie badań termostrukturalnych materiałów funkcjonalnych. W mojej ocenie pan dr Roman Minikayev spełnia wymagania określone w art. 219 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. W związku z powyższym rekomenduję Radzie Naukowej Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk nadanie panu dr. Romanowi Minikayevowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.