

prof. dr hab. Adam Pikul

Wrocław, dn. 25 czerwca 2024 roku

profesor instytutu w Oddziale Badań Magnetyków
Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych
im. Włodzimierza Trzebiatowskiego
Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu

Recenzja dorobku naukowego dra Karola Synoradzkiego

Przedmiot oceny

Niniejsza recenzja została sporządzona na podstawie art. 221 ust. 8 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zmianami, zwanej dalej Ustawą) w ramach postępowania wszczętego na wniosek dra Karola Synoradzkiego z dnia 27.09.2023 roku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania **stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne** (zwanego dalej Wnioskiem). Ocena ta dotyczy w szczególności tego, czy w swoim dorobku naukowym dr Synoradzki posiada **osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój nauk fizycznych, w tym co najmniej jedno wyodrębnione tematycznie autorskie osiągnięcie naukowe** (art. 219 ust 1 pkt 2 Ustawy).

Ocena formalna osiągnięć naukowych

Jako swoje osiągnięcia naukowe dr Karol Synoradzki wskazał wyniki prowadzonych przez siebie badań naukowych, które to wyniki zostały upowszechnione w:

- **60 artykułach naukowych** (oznaczonych indeksami P1-P60, patrz rozdział II.1 zał. nr 5 do Wniosku), w tym w **1 cyklu powiązanych tematycznie 10 artykułach naukowych** (oznaczonych indeksami H1-H10, patrz rozdz. I.1 zał. nr 5 do Wniosku) zatytułowanym „**Niskotemperaturowe właściwości magnetyczne i magnetokaloryczne trójskładnikowych materiałów na bazie metali ziem rzadkich**”,
- **1 rozdziale w monografii naukowej** (oznaczonej indeksem M1, patrz rozdział II.2 zał. nr 5 do Wniosku),
- **31 komunikatach konferencyjnych (plakatowych i ustnych)** (oznaczonych liczbami porządkowymi od 1 do 31, patrz rozdział II.3 zał. nr 5 do Wniosku).

Publikacje stanowiące wyodrębniony cykl artykułów naukowych ukazały się w następujących czasopismach: Acta Physica Polonica A (H1, H2), Journal of Magnetism and Magnetic Materials (H3, H6, H7, H8), Journal of Applied Physics (H4), Journal of Rare Earths

(H5), Journal of Alloys and Compounds (H9) oraz Physica B: Condensed Matter (H10). Wszystkie te czasopisma **w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b Ustawy**, a w szczególności w wykazach czasopism opublikowanych w Biuletynie Informacji Publicznej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego komunikatami z dnia 26.01.2017 (w części A wykazu), 31.07.2019, 18.12.2019, 09.02.2021, 18.02.2021, 01.12.2021, 21.12.2021 oraz 17.07.2023.

We wszystkich pracach składających się na wyodrębniony cykl publikacji pan dr Synoradzki jest pierwszym autorem. Ponadto w czterech pracach jest jedynym autorem, a w pracach H1-H4, H6, H9 i H10 jest autorem korespondencyjnym. Oświadczenia współautorów prac H2, H4, H5 oraz H7-H9 wskazują na to, że ich rola była pomocnicza i polegała na częściowym lub pełnym wykonaniu niektórych eksperymentów, przeprowadzeniu obliczeń struktury elektronowej lub też na ich (oczywistym i koniecznym) współudziale w redagowaniu i korekcie manuskryptów (patrz zał. nr 7 do Wniosku). W przypadku artykułów H4 i H9 jeden ze współautorów (dr Debarchan Das) brał także udział w ustaleniu koncepcji badań, a w pracy H4 był drugim autorem korespondencyjnym. Wynikało to zapewne z tego, że publikacje te dotyczyły właściwości związków chemicznych będących w kręgu zainteresowań dra Dasa, czego nie można powiedzieć o efekcie magnetokalorycznym. (Na podstawie przeglądu dotychczasowego dorobku publikacyjnego dra Dasa można łatwo ustalić, że badanie efektu magnetokalorycznego nie jest jego domeną). A zatem nie ulega wątpliwości, że **opracowanie wydzielonego zagadnienia pt. „Niskotemperaturowe właściwości magnetyczne i magnetokaloryczne trójskładnikowych materiałów na bazie metali ziem rzadkich” stanowi indywidualny wkład habilitanta do pracy zbiorowej**. (Przez pracę zbiorową rozumiem tutaj przedstawiony do oceny cały cykl publikacji).

Już nawet pobieżna lektura publikacji H1-H10 pozwala zauważyć, że ich tematem przewodnim są właściwości magnetyczne i magnetokaloryczne wybranych związków międzymetalicznych, stopów i kompozytów, w których jeden z pierwiastków jest lantanowcem, drugi pierwiastkiem bloku p układu okresowego, a trzeci pierwiastkiem bloku d lub innym pierwiastkiem z bloku p. Ponadto w każdej pracy można wyodrębnić co najmniej trzy powtarzające się elementy: (1) badania strukturalne i spektroskopowe (określenie struktury krystalicznej i jej parametrów, wyznaczenie składu chemicznego), (2) badania magnetyczne (określenie rodzaju magnetycznego przejścia fazowego i wyznaczenie parametrów charakteryzujących magnetyzm danego układu) oraz (3) badania magnetokaloryczne (opis jakościowy i ilościowy efektu magnetokalorycznego zaobserwowanego w każdym z badanych układów). Jest to typowy zestaw badań właściwości ciał stałych pod kątem występowania w nich efektu magnetokalorycznego. Oczywiście jest zatem, że **publikacje H1-H10 są cyklem powiązanych tematycznie artykułów naukowych**.

Podsumowując, stwierdzam, że **wyodrębniony przez dra Karola Synoradzkiego cykl publikacji H1-H10 spełnia warunek, o którym mowa w art. 219 ust 1 pkt 2 lit. b Ustawy z uwzględnieniem art. 219 ust 2 Ustawy**.

Na pozostałe osiągnięcia naukowe habilitanta Ustawa nie nakłada szczegółowych wymogów formalnych, poza tym, że muszą to być osiągnięcia naukowe. A że tak jest w istocie, można wywnioskować choćby z faktu ukazania się prawie wszystkich publikacji spoza wyodrębnionego cyklu w recenzowanych przez środowisko naukowe czasopismach indeksowanych w *Journal Citation Reports* (m.in. wydawanych przez takie wydawnictwa jak Elsevier, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Institute of Physics, Instytut Fizyki PAN, American Institute of Physics oraz American Physical Society), monografia ukazała się w wydawnictwie Nova Science Publishers indeksowanym w *Book Citation Index*, a komunikaty konferencyjne były ogłaszane na uznanych konferencjach naukowych w kraju i za granicą (m.in. The European Conference Physics of Magnetism, ECMAAtAC Days, International Conference on Thermoelectrics, Strongly Correlated Electron Systems oraz Prague Colloquium on f-Electron Systems).

Ocena merytoryczna wyodrębnionego cyklu publikacji

Jako wyodrębnione autorskie osiągnięcie naukowe dr Synoradzki wskazał badania efektu magnetokalorycznego w materiałach opartych na lantanowcach. Efekt magnetokaloryczny jest zjawiskiem bardzo intensywnie badanym ze względu na jego potencjalne zastosowanie w przemyśle i nauce. Materiały wykazujące ten efekt mogą być bowiem wykorzystane jako czynnik chłodzący w chłodziarkach magnetycznych: nie tylko do przechowywania różnego rodzaju materii organicznej w niskich temperaturach, ale również do skraplania gazów oraz do uzyskiwania ekstremalnie niskich temperatur bez użycia cieczy kriogenicznych. Ponadto sprawność prototypowych chłodziarek magnetycznych jest zauważalnie wyższa od konwencjonalnych chłodziarek kompresorowych. Wykorzystanie lantanowców w projektowanych i wytwarzanych materiałach magnetokalorycznych jako czynnika chłodzącego jest umotywowane ich stosunkowo dużym momentem magnetycznym, zwłaszcza w przypadku gadolinu, europu, czy dysprozu.

Wśród zbadanych przez habilitanta układów magnetokalorycznych można wyróżnić pięć grup: (1) związki międzymetaliczne o strukturze heksagonalnej typu CaCu_5 (LaCu_4Mn [H1] i GdCu_4Mn [H6]), (2) związki międzymetaliczne o strukturze ortorombowej typu MgAgAs lub TiNiSn (DyNiSb [H2], DyNiSn [H10] i TmNiSn [H3]), (3) związki międzymetaliczne o strukturze heksagonalnej typu BaNiO_3 (CeCrGe_3 [H4] i NdCrGe_3 [H9]), (4) stopy będące pochodnymi związku Gd_5Si_4 ($\text{Gd}_5\text{Si}_2\text{Ge}_2$ i $\text{Gd}_5\text{Si}_{4-x}\text{B}_x$ [H5] oraz (5) stopy $\text{CeSi}_{1-x}\text{Ga}_x$ ($\text{CeSi}_{1.2}\text{Ga}_{0.8}$ [H7] i $\text{CeSi}_{1.3}\text{Ga}_{0.7}$ [H8]). Metody pomiarowe wykorzystane przez habilitanta w jego badaniach to m.in. dyfraktometria rentgenowska (XRD), magnetometria stało- i zmiennoprądowa, a także pomiar ciepła właściwego jako funkcji temperatury. Artykuły H1–H10 zawierają też inne dane badawcze, w tym wyniki uzyskane we współpracy z innymi naukowcami (współautorami publikacji), które były oczywiście bardzo pomocne w interpretacji danych podstawowych. Poniżej omawiam najważniejsze moim zdaniem wnioski płynące z badań przeprowadzonych na poszczególnych grupach materiałów w zakresie wskazanym jako wydzielone zagadnienie będące indywidualnym wkładem dra Karola Synoradzkiego.

- (1) **LaCu₄Mn [H1] i GdCu₄Mn [H6]**. Cechą charakterystyczną związków typu CaCu₅ jest to, że w ich strukturze krystalicznej można wyróżnić podsieć przyjmującą kształt tzw. sieci *kagome*, która sprzyja pojawianiu się frustracji magnetycznej. W przypadku badanych związków pojawia się ponadto nieporządek chemiczny związany z częściowym obsadzeniem pozycji miedzi przez mangan. Jest to drugi czynnik, który może prowadzić do pojawienia się frustracji magnetycznej, a ta z kolei może polepszyć właściwości magnetokaloryczne danego układu. Te dwie obserwacje były punktem wyjścia do badań związków LaCu₄Mn i GdCu₄Mn.

Dr Synoradzki jako pierwszy na świecie określił właściwości magnetokaloryczne obu układów. Wykazał też, że w związkach LaCu₄Mn i GdCu₄Mn rzeczywiście występuje frustracja magnetyczna, która co więcej prowadzi do formowania się szkła spinowego (w LaCu₄Mn) lub klasterowego szkła spinowego (w GdCu₄Mn). Ponadto habilitant zweryfikował negatywnie hipotezę o wzmocnieniu efektu magnetokalorycznego przez frustrację magnetyczną w związku z Gd. Uważam te ustalenia za ważne z punktu widzenia badania roli frustracji magnetycznej w kształtowaniu się odpowiedzi magnetokalorycznej magnetyków.

- (2) **DyNiSb [H2], DyNiSn [H10] i TmNiSn [H3]**. W przypadku tej grupy materiałów habilitant postawił sobie za cel wyznaczenie parametrów magnetokalorycznych oraz weryfikację potencjału aplikacyjnego wymienionych związków. Wiadomo było już wcześniej, że układy te porządkują się antyferromagnetycznie, ale nie określono dla nich właściwości magnetokalorycznych.

W każdym z wymienionych układów habilitant potwierdził występowanie uporządkowania magnetycznego oraz jako pierwszy wykrył obecność normalnego efektu magnetokalorycznego oraz odwrotnego efektu magnetokalorycznego. Wyznaczone parametry magnetokaloryczne (w szczególności zmiana entropii magnetycznej w różnych polach magnetycznych, adiabatyczna zmiana temperatury próbki oraz wydajności czynnika chłodzącego) pozwoliły mu ocenić zaobserwowany efekt magnetokaloryczny jako umiarkowany i porównywalny do tego występującego w innych związkach międzymetalicznych. Uważam, że obserwacje poczynione podczas badań układów DyNiSb, DyNiSn i TmNiSn są istotne ze względu na uzupełnienie danych literaturowych dotyczących tych materiałów w zakresie ich właściwości magnetokalorycznych.

- (3) **CeCrGe₃ [H4] i NdCrGe₃ [H9]**. Cechą charakterystyczną związków RCrGe₃ (gdzie R = La, Ce, Pr, Nd lub Sm) jest umiejscowienie się jonów lantanowca w dwóch nierównoważnych pozycjach krystalograficznych w komórce elementarnej. W przypadku pierwiastków z częściowo wypełnioną powłoką elektronową 4f (czyli również w omawianych związkach) prowadzi to do formowania się dwóch podsieci magnetycznych i często także do pojawienia się kilku następujących po sobie magnetycznych przejść fazowych oraz złożonych struktur magnetycznych. Badania tych złożonych układów dr Synoradzki podjął ze względu na ich stosunkowo wysokie

temperatury uporządkowania magnetycznego (od 70 do nawet 155 K) oraz brak w literaturze badań magnetokalorycznych dla tych związków.

Habilitation potwierdził występowanie uporządkowania ferromagnetycznego poniżej temperatury 70 K w CeCrGe_3 oraz 122 K w NdCrGe_3 . Wykazał, że źródłem magnetyzmu w tych związkach są nie tylko momenty magnetyczne jonów lantanowca, ale również momenty magnetyczne chromu, co wydaje mi się informacją istotną choćby z punktu widzenia projektowania przyszłych materiałów magnetokalorycznych. Niemniej jednak wielkości wyznaczonych parametrów magnetokalorycznych (tj. zmiany entropii magnetycznej w różnych polach magnetycznych, względnej mocy chłodniczej oraz adiabaticznej zmiany temperatury próbki) badanych związków okazały się małe, co dyskwalifikuje te układy jako potencjalne materiały magnetokaloryczne. Mimo to wyniki uzyskane w omawianej grupie związków uważam za istotny wkład do literatury przedmiotu przede wszystkim ze względu na rzetelne scharakteryzowanie układów CeCrGe_3 oraz NdCrGe_3 przy użyciu różnorodnych metod badawczych.

- (4) **Gd:Gd₅Si₂Ge₂ i Gd₅Si_{4-x}B_x [H5].** Cechą wyróżniającą tę grupę stopów jest fakt, że zarówno czysty gadolin, jak i związki Gd_5Si_4 i $\text{Gd}_5\text{Si}_2\text{Ge}_2$ są dobrze znanymi materiałami termoelektrycznymi o wysokich wartościach zmiany entropii magnetycznej oraz adiabaticznej zmiany temperatury w pobliżu temperatury pokojowej. Czyni je to wybitnie predystynowanymi do zastosowań w chłodziarkach magnetycznych. Celem badań dra Synoradzkiego było zbadanie wpływu modyfikacji składu chemicznego układów wyjściowych oraz metody ich syntezy na wielkość parametrów magnetokalorycznych. W szczególności habilitant podstawiał część atomów krzemu borem (w tym przypadku zastosował metodę stapiania pierwiastków w łuku elektrycznym) oraz tworzył kompozyty związku $\text{Gd}_5\text{Si}_2\text{Ge}_2$ z czystym Gd (tutaj zastosował metodę stapiania mechanicznego za pomocą młynka kulowego). Zbadał również stopiony mechanicznie czysty związek Gd_5Si_4 .

W przypadku roztworów $\text{Gd}_5\text{Si}_{4-x}\text{B}_x$ dr Synoradzki wykazał, że niewielkie stężenie boru (na poziomie kilku lub kilkunastu procent) poprawia właściwości magnetokaloryczne układu wyjściowego: zbliża temperaturę uporządkowania ferromagnetycznego do temperatury pokojowej, zwiększa zmianę entropii magnetycznej, a przede wszystkim znacznie zwiększa wartość względnej mocy chłodniczej (o około 20 %). Z kolei w przypadku układu Gd_5Si_4 ustalił on, że postulowana w literaturze hipoteza o możliwości poprawienia parametrów magnetokalorycznych przez zmielenie próbki jest nieprawdziwa w przypadku tego układu: parametry magnetokaloryczne Gd_5Si_4 po zmieleniu uległy bowiem pogorszeniu. Również wytworzone tą metodą kompozyty Gd_5Si_4 z gadolinem miały gorsze właściwości niż związek wyjściowy. Uważam, że wyniki uzyskane dla tej grupy materiałów są ciekawe i istotne z punktu widzenia nie tylko poznawczego, ale również praktycznego. Pokazują bowiem, jakiego typu modyfikacje struktury i składu chemicznego materiałów magnetokalorycznych są obiecujące z punktu widzenia zastosowań, a jakie nie są.

- (5) **CeSi_{1.2}Ga_{0.8} [H7] i CeSi_{1.3}Ga_{0.7} [H8]**. W tej grupie habilitant zbadał dwa roztwory CeSi₂ z CeGa₂. Pierwszy z nich jest znany jako układ Kondo, a drugi wykazuje aż cztery następujące po sobie magnetyczne przejścia fazowe. Związki te mają również nieco różne struktury krystaliczne: tetragonalną typu α -ThSi₂ w pierwszym przypadku i heksagonalną typu AlB₂ w drugim. Z wymienionych różnic wynika bardzo ciekawa ewolucja struktury i właściwości magnetycznych zaobserwowana w roztworach CeSi_{2-x}Ga_x. Wskazuje ona na możliwość przejścia tego układu przez kwantowy punkt krytyczny (ang. *quantum critical point*, QCP). Z punktu widzenia habilitanta nie był istotny sam QCP, ale raczej doniesienia literaturowe sugerujące wzmocnienie parametrów magnetokalorycznych w pobliżu tego punktu. Przede wszystkim jednak brakowało wcześniej w literaturze jakichkolwiek danych dotyczących efektu magnetokalorycznego w układzie CeSi_{2-x}Ga_x.

Najciekawszym wynikiem jest moim zdaniem uzyskanie w roztworze CeSi_{1.2}Ga_{0.8} nieco wyższej temperatury uporządkowania ferromagnetycznego niż w związku wyjściowym CeGa₂ oraz zredukowanie liczby obserwowanych magnetycznych przejść fazowych do dwóch. Co oczywiste, nie można mówić tutaj o żadnym kwantowym punkcie krytycznym, a tym bardziej o wzmocnieniu za jego sprawą efektu magnetokalorycznego. Natomiast bardzo cenne jest wyznaczenie po raz pierwszy parametrów magnetokalorycznych stopów CeSi_{1.2}Ga_{0.8} i CeSi_{1.3}Ga_{0.7}. Co ciekawe, wartości zmiany entropii magnetycznej w zakresie temperatur 10–15 K są w tych roztworach porównywalne do tych uzyskanych dla kompozytów opartych na Gd₅Si₄. Nie rozumiem niestety, czym kierował się dr Synoradzki przy wyborze tych konkretnych roztworów (z $x = 0,7$ i $0,8$). Jedynym kryterium wymienionym w publikacjach wydaje się być to, że tych składów jeszcze nikt nie zbadał pod kątem ich właściwości magnetokalorycznych, a takie uzasadnienie badań jest moim zdaniem mało przekonujące. Niemniej jednak obie prace uważam za wartościowe ze względu na ich dobry poziom merytoryczny.

W ocenianych publikacjach H1-H10 rzuca się w oczy systematyczność i skrupulatność prowadzonych badań oraz rozbudowany aparat analityczny habilitanta. Bez wątpienia przeprowadzi on eksperymenty na przyzwoitym światowym poziomie metodami uznanymi powszechnie w środowisku naukowym za właściwe omawianej tematyce, a jego publikacje obfitują w dobrze przeanalizowane dane eksperymentalne. Bardzo systematycznie dr Synoradzki podchodzi przede wszystkim do wyznaczania parametrów efektu magnetokalorycznego: zmian entropii magnetycznej w różnych polach magnetycznych, wydajności czynnika chłodzącego (ang. *refrigerant capacity*, RC), względnej mocy chłodniczej (ang. *relative cooling power*, RCP), uśrednionej temperaturowo zmiany entropii (ang. *temperature averaged entropy change*, TEP), a także adiabatycznej zmiany temperatury próbki. Ponadto szczególną starannością i dociekliwością wykazał się dr Synoradzki m.in. przy wyznaczaniu temperatury przejść fazowych (przy użyciu skalowania Arrota), czy też przy analizie ciepła właściwego (mam tu na myśli korektę masy odnośnika fononowego), które to procedury są niestety coraz częściej ignorowane w literaturze przedmiotu. Dlatego uważam publikacje H1-H10 za źródło ciekawych danych dotyczących badanych układów.

Czytając te artykuły, można łatwo dostrzec pewien charakterystyczny styl pracy habilitanta. Wynika on właśnie z dobrze opanowanego warsztatu i konsekwentnie realizowanej tematyki badawczej. Jednocześnie z przedstawionego powyżej zestawienia (pięciu grup) prac widać wyraźnie, że dr Synoradzki starał się swój warsztat i umiejętności wykorzystać do badania układów fizycznych o różnym charakterze: związków Kondo, sfrustrowanych magnetyków, antyferromagnetyków, ferromagnetyków oraz komercyjnych materiałów magnetokalorycznych. Uważam to za bardzo cenne doświadczenie habilitanta, ponieważ pozwoliło mu ono spojrzeć na efekt magnetokaloryczny nieco szerzej, tj. od strony stanu podstawowego danego układu, a nie tylko od strony czysto praktycznej.

Warto zauważyć, że przedstawione do oceny prace H1-H10 zostały opublikowane w dobrych czasopismach naukowych i zostały już zauważone przez środowisko zajmujące się badaniem efektu magnetokalorycznego. Liczba cytowań każdego artykułu wynosi od kilku do kilkunastu, co jest wartością przyzwoitą, biorąc pod uwagę silną konkurencję w uprawianej przez habilitanta tematyce oraz stosunkowo krótki czas, jaki minął od ukazania się rzeczonych artykułów (połowa prac, tj. H6-H10, ukazała się w latach 2022-2023, a Wniosek został złożony w 2023 roku). Nie sposób jednak nie zauważyć, że wśród ocenianego wyodrębnionego cyklu prac nie znalazł się ani jeden artykuł opublikowany w takich renomowanych czasopismach jak choćby Physical Review B, Journal of Physics: Condensed Matter, czy też w dowolnym innym czasopiśmie z pierwszego kwartyłu (Q1) czasopism poświęconych fizyce ciała stałego. Nie sądzę, żeby problem leżał w jakości wyników uzyskanych przez dra Synoradzkiego. Wynikało to raczej z uzyskanych w eksperymentach odpowiedzi na postawione pytania: zbadane materiały okazały się zbyt mało atrakcyjne z punktu widzenia zastosowań.

Ostatnia uwaga nie zmienia jednak mojej pozytywnej oceny tego cyklu artykułów. Nie mam wątpliwości, że **przedstawione mi do oceny wydzielone osiągnięcie naukowe pt. „Niskotemperaturowe właściwości magnetyczne i magnetokaloryczne trójskładnikowych materiałów na bazie metali ziem rzadkich” stanowi znaczny wkład w rozwój nauk fizycznych w zakresie badań efektu magnetokalorycznego.**

Ocena merytoryczna pozostałych osiągnięć naukowych

Dr Karol Synoradzki w swoich badaniach prowadzonych już od czasu studiów II stopnia skupiał się na badaniu właściwości magnetycznych różnych związków międzymetalicznych, roztworów stałych, stopów, kompozytów i struktur warstwowych oraz występujących w nich zjawisk fizycznych, w tym efektu magnetokalorycznego. Publikacje powstałe w wyniku tej aktywności naukowej można podzielić na kilka grup tematycznych, które poniżej krótko omawiam.

- (1) **Zmiana hybrydyzacji elektronów 4f z elektronami przewodnictwa za pomocą modyfikacji składu chemicznego [P2-P6, P8, P9, P12, P17, P21, P22, P26, P35, P48, P57].** W ramach swojego doktoratu habilitant zbadał właściwości fizyczne roztworów stałych $\text{Ce}(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_4\text{Mn}_y\text{Al}_{1-y}$, $\text{CeCo}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Al}_4$ oraz $\text{Ce}(\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x)_2(\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y)_2$, a po

doktoracie także $\text{Ce}(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_4\text{Ga}$, $\text{Ce}(\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x)_2(\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y)_2$, $\text{Ce}_{1-y}\text{Pr}_y\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}_3$. Część badań wykonał wraz ze swoim doktorantem (pełnił w tym czasie funkcję promotora pomocniczego mgra Przemysława Skokowskiego). Podstawieniem jednych pierwiastków drugimi starał się on wymusić zmianę stanu podstawowego układu wyjściowego. Dzięki temu miał okazję zaobserwować przejścia między stanem cieczy Fermiego a ferromagnetyzmem, szkłem spinowym, czy też fluktuującą wartościowością.

Wynikiem tych prac było scharakteryzowanie badanych układów (m.in. wyznaczenie ich temperatury uporządkowania magnetycznego, temperatury Kondo, współczynnika Sommerfelda) oraz skonstruowanie po raz pierwszy czterech diagramów fazowych dla zupełnie nowych materiałów. Dlatego moim zdaniem wymienione artykuły są pracami wartościowymi z punktu widzenia fizyki układów silnie skorelowanych.

- (2) **Efekt magnetokaloryczny w stechiometrycznych związkach międzymetalicznych [P1, P7, P13, P14].** W ramach realizacji projektu badawczego MNiSW pod kierownictwem prof. dra hab. Tomasza Tolińskiego habilitant zbadał efekt magnetokaloryczny w związkach DyCo_3B_2 , GdNi_4Al i GdNi_4Si , NdNiAl_4 , DyNi_4Si i Mn_5Ge_3 . Jego wkładem w te badania było przeprowadzenie pomiarów magnetycznych oraz analiza danych (m.in. wyznaczenie parametrów magnetokalorycznych). W przypadku związku Mn_5Ge_3 dr Synoradzki badał też wpływ zmniejszenia rozmiaru krystalitów na jego parametry magnetokaloryczne (wykazał, że rozdrabnianie próbki Mn_5Ge_3 w młynku kulowym pogarsza te parametry).

Omawiane publikacje są niewątpliwie źródłem cennych informacji na temat efektu magnetokalorycznego w tych układach. Zostały one zauważone przez środowisko i należą do jednych z najlepiej cytowanych prac habilitanta. Na przykład prace P7 i P14 zostały zacytowane już około 30 razy każda.

- (3) **Efekt termoelektryczny w fazach Heuslera opartych na pierwiastkach ziem rzadkich [P27, P28, P32, P34, P42, P47, P49, P58].** W czasie swojego stażu podoktorskiego odbytego w Instytucie Badań Strukturalnych im. Włodzimierza Trzebiatowskiego Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu dr Synoradzki realizował projekt badawczy NCN MAESTRO pod kierownictwem prof. dra hab. Dariusza Kaczorowskiego poświęcony badaniu materiałom termoelektrycznym. W szczególności habilitant zajmował się określeniem właściwości termoelektrycznych rodziny związków krystalizujących w strukturze regularnej typu MgAgAs , czyli tzw. faz Heuslera, o ogólnej stechiometrii RNiSb (gdzie R oznacza pierwiastek ziem rzadkich). O ile fazy Heuslera oparte o metale przejściowe były już wcześniej znane ze swojego wysokiego potencjału aplikacyjnego, o tyle układy zawierające pierwiastki ziem rzadkich były obszarem do tej pory słabo zbadanym. Dr Synoradzki przeprowadził więc pionierskie badania tej materii. Co więcej, zmienił też wyraźnie profil swoich dotychczasowych eksperymentów – w tym przypadku przeprowadzał głównie pomiary transportowe (oporu elektrycznego i magnetooporu, współczynnika Seebecka, przewodnictwa cieplnego i efektu Halla), nie zaniedbując rzecz

jasna pomiarów wielkości termodynamicznych (namagnesowania i ciepła właściwego). Samodzielnie syntezował i charakteryzował też próbki. Był też odpowiedzialny za analizowanie i publikowanie swoich wyników.

W wyniku wykonanych eksperymentów dr Synoradzki wyznaczył dla wszystkich zbadanych układów parametry charakteryzujące materiały termoelektryczne, tj. termoelektryczny współczynnik mocy (ang. *power factor*) i termoelektryczny współczynnik dobroci (ang. *figure of merit*). Wartości tych parametrów są bardzo istotne z punktu widzenia projektowania nowych materiałów termoelektrycznych, więc ich wyznaczenie po raz pierwszy dla intensywnie badanych faz Heuslera stanowi niewątpliwie znaczny wkład w rozwój fizyki termoelektryków.

- (4) **Właściwości fizyko-chemiczne materiałów na bazie magnetytu [P23, P29, P30, P40, P41, P46, P50, P55, P56].** Ta grupa publikacji zawiera wyniki badań prowadzonych przez habilitanta we współpracy z przedstawicielami innych ośrodków i dyscyplin naukowych. Ich celem było wytworzenie materiałów hybrydowych (kompozytowych) zawierających cząsteczki Fe_3O_4 i charakteryzujących się pożądanymi z punktu widzenia zastosowań właściwościami magnetycznymi. Habilitant został zaproszony do współpracy jako ekspert od magnetyzmu, a jego zadaniem było badanie właściwości magnetycznych przekazywanych mu materiałów.

Badania te, choć mniej ciekawe z punktu widzenia badań podstawowych, stały się źródłem niewątpliwie istotnych danych i informacji przede wszystkim w obszarze zastosowań magnetytu w medycynie i ochronie środowiska. Niemniej jednak również dla nauk fizycznych mają one pewne znaczenie, ponieważ jednym z aspektów pracy habilitanta było poszukiwanie w badanych materiałach przejawów superparamagnetyzmu.

- (5) **Inne badania [P18, P25, P43-P45, P51].** Tę grupę stanowi kilka publikacji poświęconych układom, które są bardzo dalekie od podstawowego obszaru badawczego dra Synoradzkiego. Badał on w nich m.in. właściwości magnetyczne zygzakowatych nanokolumn kobaltu wytworzonych w procesie epitaksji z wiązki molekularnej, formowanie się i strukturę ultracienkich warstw tlenku żelaza FeO na podłożu $\text{Ru}(0001)$, a także właściwości magnetyczne nanokompozytów na bazie $\text{TiO}_2\text{-MoO}_3$ oraz nanokompozytów na bazie polidopaminy i $\beta\text{-FeOOH}$.

Publikacje te mają nieco mniejsze znaczenie dla rozwoju nauk fizycznych, ale niewątpliwie stanowią bardzo konkretny wkład habilitanta do fizyki magnetyków.

Reasumując, uważam, że **przedstawione mi do oceny pozostałe osiągnięcia naukowe dra Synoradzkiego stanowią znaczny wkład w rozwój nauk fizycznych w zakresie badań magnetyzmu i materiałów magnetycznych.**

Ostateczna konkluzja recenzji

Na podstawie dokonanej powyżej oceny dorobku naukowego dra Karol Synoradzkiego jako podstawy ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne, **stwierdzam jednoznacznie, że dorobek ten spełnia warunki, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy z uwzględnieniem art. 219 ust. 2 Ustawy.** W szczególności:

1. Dr Karol Synoradzki **posiada w dorobku osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny nauki fizyczne.**
2. Dorobek dra Karola Synoradzkiego zawiera osiągnięcie naukowe pt. „Niskotemperaturowe właściwości magnetyczne i magnetokaloryczne trójskładnikowych materiałów na bazie metali ziem rzadkich”, którym jest **1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b Ustawy.**

Post scriptum

Zgodnie z Ustawą zadaniem recenzenta jest wyłącznie ocena dorobku habilitanta (art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy), a nie jego aktywności naukowej (art. 219 ust. 1 pkt 3 Ustawy). Niemniej jednak ocena aktywności musi zostać przeprowadzona na dalszych etapach postępowania przez komisję habilitacyjną. Dlatego też jako głos w dyskusji przedstawiam poniżej swoją krótką opinię na temat aktywności dra Synoradzkiego.

Pan Karol Synoradzki otrzymał **stopień doktora nauk fizycznych** w 2015 roku w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu na podstawie wyróżnionej rozprawy doktorskiej pt. „Własności magnetyczne, elektryczne i termodynamiczne związków $\text{Ce}(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_4\text{Mn}_y\text{Al}_{1-y}$ ” napisanej pod kierunkiem prof. dra hab. Tomasza Tolińskiego. Następnie odbył **roczny staż podoktorski** na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (w grupie dra hab. Mikołaja Lewandowskiego, prof. UAM) oraz **trzyletni staż podoktorski** w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu (w grupie prof. dra hab. Dariusza Kaczorowskiego). Nie ulega wątpliwości, że były to długoterminowe staże naukowe poza macierzystą jednostką naukową, niemniej wielka szkoda, że habilitant nie zdecydował się na długi wyjazd za granicę, bowiem w oparciu o staże krajowe dużo trudniej jest zbudować międzynarodową sieć kontaktów naukowych owocujących w przyszłości wyższej jakości publikacjami. Niemniej jednak dr Synoradzki kilka razy **wyjeżdżał za granicę w celu wykonania eksperymentów** (w Instytucie Lauego-Langevina w Grenoble we Francji oraz w Centrum Helmholtza w Berlinie w Niemczech). Na swoim koncie ma również **dwutygodniowy pobyt badawczy** w Instytucie Maxa Plancka Fizyki Chemicznej Ciała Stałego w Dreźnie w Niemczech.

Habilitant kilkakrotnie **uczestniczył w realizacji projektów badawczych** finansowanych przez wiodące instytucje finansujące badania naukowe w Polsce (tj. Narodowe Centrum Nauki, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Fundację na rzecz Nauki Polskiej). Niestety był on kierownikiem tylko jednego z tych projektów (a właściwie działania badawczego NCN MINIATURA). Dlatego czuję pewien niedosyt w tym obszarze aktywności, choć doskonale wiem, jak bardzo trudno jest zdobyć w Polsce środki na badania własne.

Dr Synoradzki **był promotorem lub promotorem pomocniczym dziesięciu prac dyplomowych** studentów wrocławskich i poznańskich uczelni i instytutów PAN, a także **promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej** (dra Kamila Ciesielskiego z INTiBS PAN we Wrocławiu). Regularnie **opiekował się też praktykantami i stażystami** z tychże ośrodków.

Habilitant **był wielokrotnie członkiem komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji naukowej** The European Conference „Physics of Magnetism” odbywającej się co roku i od wielu lat w Poznaniu. Pomagał także w organizacji Letnich Warsztatów „Niskie Łąki” w INTiBS PAN we Wrocławiu (w 2017) oraz 12th International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals (w 2018). **Był wielokrotnie zaangażowany w przedsięwzięcia o charakterze popularnonaukowym:** Noc Naukowców, Poznański Festiwal Nauki i Sztuki oraz Fizykę Wartą Poznania, gdzie m.in. **wygłaszał wykłady popularnonaukowe i prowadził zajęcia warsztatowe** dla uczestników. Podczas ECMetAC Euroschool 2018 odbywającej się na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie **prowadził kurs (tzw. tutorial session) na temat efektu magnetokalorycznego**, co świadczy o tym, że już wtedy uznany był za eksperta w tej materii.

Dr Synoradzki kilkakrotnie **wygłaszał referaty w ramach seminariów odbywających się poza jego ośrodkiem macierzystym:** w Centrum NanoBioMedycznym UAM, Uniwersytecie Śląskim, INTiBS PAN oraz w Centrum Helmholtza. Ponadto **przygotował ponad pięćdziesiąt recenzji artykułów naukowych dla ponad dwudziestu czasopism** z listy JCR. Obecnie **jest członkiem Rady Naukowej IFM PAN** (z wyboru) oraz członkiem dwóch towarzystw naukowych: Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz Polskiego Towarzystwa Badań Materiałowych, w którym od dwóch lat **pełni funkcję sekretarza**. Jest on również znany w swoim środowisku ze swojego **zaangażowania w urządzenie nowych laboratoriów i opiekę nad nimi** (tj. zakup i instalację aparatury, opiekę nad aparaturą i jej serwisowanie, a także organizację pracy w tych laboratoriach). Współgra to z wyrażoną przeze mnie wcześniej opinią na temat rzetelności habilitanta, która jest bardzo dobrze widoczna w jego publikacjach, i która najwyraźniej została też zauważona przez jego kolejnych pracodawców.

Drobne uwagi krytyczne dotyczące wyjazdów zagranicznych i kierowania projektami nie zmieniają mojej wysokiej oceny aktywności naukowej habilitanta. Sam miałem okazję obserwować poczynania dra Karola Synoradzkiego podczas jego stażu podoktorskiego w INTiBS PAN we Wrocławiu, dlatego bogaty dorobek naukowo-organizacyjny opisany

w załącznikach do Wniosku w ogóle mnie nie dziwi. Można tylko pozazdrościć takiego współpracownika Instytutowi Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu.

Podsumowując, uważam, że **pan dr Karol Synoradzki wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, wliczając to instytucje zagraniczne.** Tym samym kryterium, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt 3 Ustawy uważam za spełnione z naddatkiem.

/podpisał: prof. dr hab. Adam Pikul/