

**Recenzja rozprawy doktorskiej pani mgr Anny Zarzeckiej
pt. „Właściwości strukturalne i magnetyczne wybranych związków $RTIn_{1-x}Sn_x$
(R = ziemia rzadka, T = metal d-elektronowy) i ich wodorków”**

Przedmiot oceny. Przedstawiona mi do oceny praca doktorska została wykonana i napisana przez panią mgr Annę Zarzecką w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie pod kierunkiem pana dra hab. Łukasza Gondka jako promotora, pana prof. dra hab. Grzegorza Sulki jako drugiego promotora oraz pani dr Joanny Czub jako promotora pomocniczego. Rozprawa została zgłoszona do oceny jako praca z dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie wiodącej nauki fizyczne i dyscyplinie dodatkowej nauki chemiczne. Do rozprawy dołączone zostało oświadczenie Autorki o samodzielnym wykonaniu pracy doktorskiej i o niekorzystaniu z innych źródeł niż wymienione w rozprawie, a także oświadczenie Promotora o gotowości rozprawy do oceny przez recenzentów. Wśród zwyczajowych podziękowań znalazła się ponadto informacja o źródłach finansowania badań wykonanych przez Kandydatkę.

Struktura rozprawy. Recenzowana rozprawa doktorska ma postać monografii naukowej. Liczy ona 136 stron, z czego 20 zajmuje przegląd literatury i wstęp teoretyczny, 26 poświęcono opisowi technik eksperymentalnych, a na 80 stronach przedstawiono, przeanalizowano i omówiono uzyskane w ramach pracy doktorskiej wyniki badań. Całość kończy spis literatury liczący 81 pozycji oraz spis dorobku naukowego Autorki rozprawy w postaci listy jej wystąpień konferencyjnych i współredagowanych artykułów naukowych (z których dwa ukazały się już drukiem). Struktura pracy jest charakterystyczna dla rozpraw naukowych i nie budzi zastrzeżeń.

Treść rozprawy. W pierwszym rozdziale rozprawy Autorka przedstawia cel swojej pracy doktorskiej, którym było zbadanie wpływu domieszkowania elektronami p oraz nasycania wodorem międzymetalicznych związków $RPdIn$ (gdzie R oznacza Ce, Nd, Gd, Tb, Ho lub Er) na właściwości magnetyczne i strukturalne tych układów, w tym na dynamikę ich sieci krystalicznej. Domieszkowanie elektronami p zrealizowano poprzez częściowe podstawienie indu cyną, co oznacza, że obiektem badań były tak naprawdę roztwory stałe związków $RPdIn$ i $RPdSn$. W tym samym rozdziale Doktorantka formułuje hipotezy badawcze, którymi są przewidywania skutków wspomnianej modyfikacji chemicznej układów $RPdIn$, tj. zmniejszenie oddziaływań magnetycznych (i ewentualny zanik uporządkowania magnetycznego) oraz zmiana struktury krystalicznej z heksagonalnej (właściwej dla związków $RPdIn$) do rombowej (właściwej dla związków $RPdSn$). Ten fragment również nie budzi większych zastrzeżeń.

Drugi rozdział pt. „Wstęp” zawiera: (1) przegląd znanych z literatury właściwości strukturalnych i magnetycznych związków macierzystych $RPdIn$ i $RPdSn$ oraz ich wodorków, (2) porównanie struktury heksagonalnej typu $ZrNiAl$ z rombową typu $TiNiSi$ (w których to strukturach krystalizują związki $RPdIn$ i $RPdSn$) wraz ze wskazaniem potencjalnych pozycji wodoru w ich komórkach elementarnych, (3) omówienie magnetyzmu związków międzymetalicznych pierwiastków ziem rzadkich, oraz (4) omówienie zjawiska absorpcji wodoru w metalach. Zawartość tego rozdziału dowodzi, że tematyka badań podjętych przez panią Zarzecką jest aktualna i dobrze wpisuje się w jeden

ze współczesnych nurtów badań naukowych prowadzonych na świecie. Niewątpliwie ciekawy jest potencjał aplikacyjny wodorków metali, tzn. perspektywy ich zastosowania jako magazynu wodoru, choć moim zdaniem niekoniecznie musi to dotyczyć materiałów zawierających bardzo drogie pierwiastki ziem rzadkich.

Zaraz potem (tj. w rozdziale „Techniki eksperymentalne”) Autorka opisuje szczegółowo wykorzystane w pracy doktorskiej metody badawcze (tj. syntezę próbek w łuku elektrycznym, ich nasycanie wodorem, dyfrakcję rentgenowską, dyfrakcję neutronów, magnetometrię, pomiary ciepła właściwego i pomiary oporu elektrycznego). Rozdział ten stanowi zrozumiałe i przydatne wprowadzenie do zagadnień poruszanych w dalszej części manuskryptu i świadczy o dobrej znajomości Autorki uprawianej przez nią tematyki i technik badawczych, a zwłaszcza technik dyfrakcyjnych i metod nasycania metali wodorem. Merytorycznie ten fragment również nie budzi moich większych zastrzeżeń, choć na miejscu Autorki zrezygnowałbym z pewnych fragmentów opisu technik eksperymentalnych znanych od ponad wieku (np. historii odkrycia i pochodzenia promieniowania X, czy też zasady działania i schematu pieca łukowego). Uaktualniłbym również opis magnetometrii, który w obecnym kształcie jest bardzo uproszczony i nieco archaiczny (chodzi mi na przykład o bardzo tradycyjną systematykę materiałów magnetycznych, czy też o przybliżenie Van Vlecka, które nie odgrywa już obecnie tak istotnej roli w analizie podatności magnetycznej, jak w czasach przed powszechną komputeryzacją nauki). O wiele lepiej byłoby uwzględnić w rozprawie na przykład opis wpływu pola krystalicznego na właściwości magnetyczne związków zawierających lantanowce.

W kolejnym rozdziale pt. „Wyniki doświadczalne” Autorka przedstawia rezultaty swoich badań roztworów stałych $\text{RPdIn}_{1-x}\text{Sn}_x$ (czystych oraz nasyconych wodorem lub deuterem) z podziałem na układy z różnymi pierwiastkami ziem rzadkich. Prezentację otwiera obszerny opis właściwości strukturalnych i fizycznych układu z cerem, który jest jednocześnie najbogatszy w dane naukowe w całej rozprawie. Na początku przedstawione są wyniki pomiarów dyfrakcji rentgenowskiej na próbkach proszkowych kilku roztworów $\text{CePdIn}_{1-x}\text{Sn}_x$ wraz z podstawowymi parametrami udokładnionej struktury krystalicznej (parametrami sieciowymi i objętością komórki elementarnej, pozycjami ceru i indu, a także odległościami między jonami ceru). Podobnie opisana została seria próbek nasyconych wodorem. Eksperymenty te wykazały stabilność struktury heksagonalnej aż do stężenia cyny na poziomie około 80% oraz anizotropową zmianę wymiarów komórki elementarnej przy jednoczesnej monotonicznej redukcji jej objętości. W próbkach nasyconych wodorem zaobserwowano tendencję podobną, ale ze zwiększonymi parametrami sieci. Ponadto zbadane zostały zmiany parametrów sieciowych względem temperatury, które wykazały monotoniczną zmianę parametru sieciowego a i objętości komórki oraz ciekawe (choć bardzo płytkie) minimum w wartościach parametru c w zakresie temperatur od 100 do 150 K. Analiza danych eksperymentalnych za pomocą modelu rozszerzalności cieplnej Grüneisena pozwoliła na oszacowanie współczynników ściśliwości i charakterystycznej temperatury Debye’a poszczególnych roztworów. Pokazały one, że biorąc pod uwagę drgania sieci krystalicznej, układ $\text{CePdIn}_{1-x}\text{Sn}_x$ wyraźnie twardnieje pod wpływem stopniowej zamiany indu na cynę. Uzupełnieniem rentgenowskich badań strukturalnych były badania neutronograficzne, dzięki którym możliwe było zaobserwowanie skutków uwalniania deuteru pod wpływem podgrzewania. Ze zmian parametrów sieciowych wywnioskowano, że uwalnianie wodoru z różnych pozycji sieciowych odbywa się niejednocześnie, co uważam za bardzo ciekawą obserwację.

Dalej Autorka opisuje wyniki pomiarów namagnesowania badanych roztworów jako funkcji temperatury i pola magnetycznego, które to wyniki analizuje w języku prawa Curie–Weissa (wyznacza efektywny moment magnetyczny jonów ceru, temperaturę paramagnetyczną Curie i temperaturę uporządkowania magnetycznego, jeśli oczywiście ma ono miejsce). Uzupełnieniem tej analizy są wyniki pomiarów ciepła właściwego, które – co istotne – zostały wykonane w niższych temperaturach,

co w kilku przypadkach umożliwiło zaobserwowanie uporządkowania magnetycznego niemożliwego do wykrycia za pomocą magnetometrii. Co ciekawe, badania neutronograficzne nie potwierdziły występowania uporządkowania magnetycznego w badanych roztworach $CePdIn_{1-x}Sn_x$, mimo ich wykonania w bardzo niskich temperaturach (od 250 mK do 5 K). Wyniki pomiarów oporu elektrycznego również nie potwierdziły występowania uporządkowania magnetycznego w badanych próbkach, więc prawdopodobnie z tego powodu Autorka przeanalizowała je w języku cieczy Fermiego. Z tej analizy wnioskuje ona, że wraz ze wzrostem zawartości cyny badany układ z cerem ewoluuje w stronę nie-Landauowskiej cieczy Fermiego.

Podrozdział poświęcony roztworom $CePdIn_{1-x}Sn_x$ kończy krótki wyjątek z wyników badań współpracownika Autorki (dra inż. Waldemara Tokarza), które służą jej do zinterpretowania wyników eksperymentów w języku hybrydyzacji elektronów f z pasmem przewodnictwa oraz do wyjaśnienia przyczyny ich nietrywialnych właściwości magnetycznych.

Kolejne układy (z Nd, Gd, Tb, Ho i Er) są opisane według podobnego schematu, ale zawierają znacznie mniej danych eksperymentalnych, przez co są też znacznie krótsze. W ich przypadku Autorka skupiła się na śledzeniu ewolucji struktury krystalicznej (m.in. parametrów sieci, objętości komórki elementarnej, współczynnika ściśliwości i charakterystycznej temperatury Debye'a) oraz właściwości magnetycznych roztworów (m.in. momentu efektywnego, temperatury i rodzaju uporządkowania magnetycznego). W przypadku związków z Nd, Tb, Ho, Tb i Er wyznaczona została ponadto struktura magnetyczna wybranych roztworów, w tym ich wodorków lub deuterków.

Rozprawę zamykają dwa rozdziały pt. „Dyskusja wyników” oraz „Podsumowanie”. W pierwszym z nich Autorka zbiera najważniejsze wyniki swoich badań i analizuje je pod kątem struktury krystalicznej, dynamiki sieci, właściwości elektronowych oraz uporządkowania magnetycznego, a w drugim wymienia osiem najważniejszych obserwacji i wniosków ze swoich badań.

Cytowana w rozprawie literatura jest bogata i pokazuje, że Autorka korzystała nie tylko z artykułów w czasopismach naukowych, ale również z monografii i rozpraw doktorskich, co świadczy o jej determinacji w zdobywaniu wiedzy na temat badanych zjawisk. Ten pozytywny odbiór psuje jednak kilkanaście pozycji, które nie są w żadnej mierze literaturą naukową, a jedynie linkami do stron internetowych i lokalnych zasobów uczelni (w kilku przypadkach nieaktywnych, patrz ref. 53, 61 i 64), które zawierają nierecenzowane informacje. Najbardziej zaskakujące jest cytowanie w pracy doktorskiej, która przecież ma być poważną rozprawą naukową, artykułu z popularnonaukowej i obfitującej w błędy Wikipedii (ref. 76) oraz z instrukcji do ćwiczenia laboratoryjnego studenckiej pracowni fizycznej (ref. 60). Niemniej jednak moja ocena tej części jest pozytywna ze względu na znaczną przewagę wartościowych pozycji literaturowych.

Przedstawiona analiza treści manuskryptu jasno pokazuje, że zawiera on wszelkie elementy typowe dla rozpraw naukowych, tj. hipotezę badawczą, uzasadnienie podjęcia konkretnego problemu badawczego i propozycję sposobu jego rozwiązania, szeroki przegląd literaturowy dotychczasowych wyników badań i opis aktualnego stanu wiedzy, opis zastosowanych metod badawczych i aparatury badawczej, wyniki przeprowadzonych eksperymentów i ich analizę w oparciu o powszechnie znane modele fizyczne, a także logiczne wnioski odwołujące się do postawionej na wstępie hipotezy badawczej oraz nowe hipotezy naukowe (do zweryfikowania w przyszłości).

Uwagi dotyczące treści rozprawy. Podczas lektury rozprawy nasunęło mi się kilka uwag dotyczących sposobu analizy i interpretacji niektórych wyników badań przez Autorkę. Poniżej omawiam najpoważniejsze zarzuty i mam nadzieję, że pani mgr Anna Zarzecka zechce ustosunkować się do nich podczas publicznej obrony rozprawy.

1. Właściwości magnetyczne roztworów $\text{CePdIn}_{1-x}\text{Sn}_x$ wskazują na pełną lokalizację momentów magnetycznych ceru, a w próbkach bogatych w cynę można doszukiwać się nawet objawów dalekozasięgowego uporządkowania tych momentów (patrz: ciepło właściwe). Tymczasem ani neutronografia, ani pomiary oporu elektrycznego nie ujawniły najmniejszych nawet śladów tego typu przejść fazowych. Ograniczona czułość neutronografii (Autorka podaje tutaj wartość $\sim 0,05 \mu_B$) nie jest moim zdaniem dobrym wytłumaczeniem, bo biorąc pod uwagę wyniki badań magnetycznych w niskich temperaturach mamy najprawdopodobniej do czynienia z momentami o rząd większymi.
2. Nie rozumiem stwierdzenia, że entropia magnetyczna w temperaturze uporządkowania jest zredukowana z tego powodu, że niektóre momenty magnetyczne ceru w układzie $\text{CePdIn}_{1-x}\text{Sn}_x$ nie biorą udziału w uporządkowaniu dalekozasięgowym (str. 71). W badanej strukturze krystalicznej wszystkie pozycje ceru są przecież równoważne, ich uśredniony efektywny moment magnetyczny jest bliski teoretycznemu, a to oznacza, że wszystkie momenty magnetyczne ceru w komórce elementarnej są identyczne, i że są one dobrze zlokalizowane. Natomiast z teorii przejść fazowych wiemy, że w układach jednorodnych jest niemożliwe, aby przejście fazowe obejmowało tylko niektóre cząstki.
3. W próbce $\text{CePdIn}_{0,2}\text{Sn}_{0,8}$ Autorka wykryła podwójne przejście fazowe (rys. 49 na str. 70), które słusznie przypisała wykrytej wcześniej obcej fazie. Dlatego uważam, że należy być ostrożnym w formułowaniu wniosków o pojedynczym przejściu fazowym (rys. 44 i 45) oraz o występowaniu przemiany metamagnetycznej w takiej dwufazowej próbce (rys. 45, 46, 48). Wątpliwości budzą też niektóre temperaturowe zależności podatności magnetycznej badanych układów (m.in. na rys. 70, 76, 94), które moim zdaniem sugerują obecność obcych faz w badanych próbkach. W tym kontekście wskazane byłoby zbadanie składu chemicznego próbek mikrosondą EDXS. Trudno jest się bowiem zgodzić z sugestią Autorki, że rentgenowska dyfraktometria proszkowa pozwala wykryć już 2% obcej fazy o strukturze rombowej.
4. Na rys. 54 na str. 75 (panel po prawej) Autorka analizuje opór roztworów $\text{CePdIn}_{1-x}\text{Sn}_x$ pod kątem występowania w nich stanu cieczy Fermiego (FL) lub nie-Landauowskiej cieczy Fermiego (NFL), co stoi w sprzeczności z jej wcześniejszym odkryciem dalekozasięgowego uporządkowania magnetycznego w tych układach. Ponadto swoje ustalenia porównuje z zależnościami temperaturowymi, które wynikają z modelu Hertza-Millisa opracowanego dla układów ze zdelokalizowanymi momentami magnetycznymi (tab. 9).
5. W układzie $\text{NdPd}_{1-x}\text{In}_x$ Autorka dopatruje się stanu szklanego ze względu na rzekomo obniżoną wartość uporządkowanego momentu magnetycznego wyznaczoną w najwyższych dostępnych polach magnetycznych (str. 84). Nie rozumiem tej argumentacji, zwłaszcza że wyniki badań neutronograficznych wyjaśniły wszelkie wątpliwości co do uporządkowania magnetycznego. Niezrozumiała jest też dla mnie uwaga Autorki, że wyznaczone z neutronografii momenty magnetyczne są mniejsze niż teoretyczne (rozumiem, że ma ona tutaj na myśli momenty efektywne) – są to przecież wartości wyznaczone w różnych temperaturach, a więc (ze względu na wszechobecne pole krystaliczne) odpowiadające różnym stanom elektronowym. Podobnie na str. 19 Autorka porównuje dwie wartości różnych momentów magnetycznych (efektywnego i uporządkowanego) i wyciąga z tego wniosek o antyferromagnetycznym charakterze uporządkowania w układzie $\text{ErPdIn}_{1-x}\text{Sn}_x$, co przypadkowo jest prawdą, ale wynika z zupełnie czegoś innego.

Ponadto w pracy zauważyłem kilka co najmniej niefortunnych stwierdzeń lub sugestii, które czuję się zobowiązany wymienić i poddać Autorce pod rozwagę, ale które nie wymagają ustosunkowania się w czasie publicznej obrony rozprawy. Przy pewnych założeniach są one

rzeczywiście prawdziwe, ale bez odpowiedniego komentarza mogą zostać źle zrozumiane i wprowadzić czytelników rozprawy w błąd.

- Na str. 15 czytamy, że wartość całki wymiany J_{RKKY} określa temperaturę uporządkowania. Tymczasem całka wymiany jest wprawdzie dominującym, ale nie jedynym czynnikiem wpływającym na wartość temperatury uporządkowania.
- Efekt Kondo jako ekranowanie momentu magnetycznego w przestrzeni prostej (str. 17) jest dość starym i nie do końca prawdziwym, choć nadal czasami wykorzystywanym podejściem. Dużo lepiej i ściślej można go jednak opisać przy użyciu modelu Andersona.
- Na str. 27 Autorka sugeruje, że do zapalenia łuku elektrycznego jest konieczny wsad metaliczny. Tak nie jest (łuk w piecu można zapalić przecież bez żadnego wsadu), choć niewątpliwie metale topi się w piecu łukowym znacznie łatwiej niż np. izolatory.
- Na str. 38 jest mowa o tym, że dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego na momentach magnetycznych nie jest możliwa do zaobserwowania. Tymczasem badanie struktury magnetycznej jest obecnie możliwe przy użyciu promieniowania synchrotronowego (o długości fali odpowiadającej promieniowaniu rentgenowskiemu), choć niewątpliwie jest to niemożliwe przy użyciu dyfraktometru laboratoryjnego z lampą rentgenowską, bo sygnał pochodzący od struktury magnetycznej jest kilka rzędów słabszy od tego pochodzącego od struktury krystalicznej.
- Na str. 42 czytamy, że momenty magnetyczne w paramagnetykach nie oddziałują ze sobą. Teoria paramagnetyzmu faktycznie pomija wszelkie oddziaływania, ale w rzeczywistych układach często widać wyraźny wpływ oddziaływania tych momentów nawet w układach nieuporządkowanych. W tym kontekście warto zauważyć, że wzór Curie–Weissa (wzór 30 na str. 43) stosuje się do opisu nie tylko antyferromagnetyków.
- Rys. 27 na str. 45 przedstawia inną konfigurację magnesu (magnes z dwoma nabiegunnikami, pomiar w polu prostopadłym), niż ta zastosowana w urządzeniu PPMS-9 (solenoid, pomiar w polu równoległym) i w tym sensie jest to rysunek mylący. Również oznaczenie „uniform magnetic field” na rys. 27 jest umieszczone w miejscu, gdzie akurat pole magnetyczne z pewnością nie jest jednorodne.
- Opis anomalii Schottky’ego (str. 49) sugeruje, że model Schottky’ego opisuje tylko dwa poziomy energetyczne. Tymczasem modelem tym można opisać dowolną liczbę poziomów energetycznych, a kształt anomalii Schottky’ego silnie zależy od liczby i degeneracji tych poziomów.
- Wykładniki wyznaczone na rys. 54 na str. 75 nie są wykładnikami krytycznymi (to określenie jest zarezerwowane do termodynamicznego opisu przejść fazowych).
- Na str. 92 (ale też w kilku innych miejscach rozprawy) Autorka określa rodzaj uporządkowania magnetycznego na podstawie wartości temperatury paramagnetycznej Curie oraz dopatruje się w zmianach tej temperatury skokowej zmiany znaku całki wymiany. Tymczasem temperatura paramagnetyczna Curie niesie w sobie informację również o innych oddziaływaniach, a nie tylko o uporządkowaniu magnetycznym danego związku.
- Na str. 103 Autorka stwierdza, że moment magnetyczny w związku $TbPdIn_{0.8}Sn_{0.2}$ maleje wraz ze wzrostem temperatury. Jest to prawdopodobnie skrót myślowy, podobnie jak zamienne stosowanie pojęcia momentu magnetycznego i namagnesowania (patrz np. interpretacje zależności $M(H)$ układów z innymi pierwiastkami ziem rzadkich).

- Na str. 121 Autorka określa specyficzne ułożenie momentów w płaszczyźnie *ab* jako frustrację. Tymczasem uporządkowanie momentów nie budzi wątpliwości, a struktura magnetyczna jest dobrze określona, a nawet dość prosta, tj. opisana stosunkowo prostym wektorem propagacji ($\frac{1}{2}; 0; \frac{1}{2}$). Pojęcie frustracji jest zarezerwowane dla innego zjawiska.

W manuskrypcie również znalazłem też kilku drobnych błędów redakcyjnych, które wymagałyby korekty w przypadku chęci opublikowania rozprawy. Są to m.in.: brak wyjaśnienia oznaczeń stosowanych na niektórych rysunkach, używanie na jednym wykresie jednostek z układu cgs i SI, brak wartości χ_0 w tabelach, inne wartości dopasowania w tabelach niż na poprzedzających je przykładowych rysunkach $\chi^{-1}(T)$ oraz okazjonalną niekonsekwencję w stosowaniu symboli H, *H*, T i *T* jako symboli wodoru i pola magnetycznego oraz metali przejściowych i temperatury. Chciałbym też uczulić Autorkę na kwestię wykorzystania w rozprawie ilustracji zaczerpniętych z literatury: w przypadku chęci upublicznienia manuskryptu konieczne może być uzyskanie odpowiednich zgód wydawnictw.

Język rozprawy jest przeważnie poprawny, niemniej jednak za niewłaściwe uważam posługiwanie się w rozprawie naukowej zapożyczeniami z języka angielskiego i żargonem laboratoryjnym. Przykładami takich sformułowań są: *motywacja pracy*, *period*, *w funkcji temperatury* (lub *pola*), *rozmiar luki w promieniu*, *uściślanie struktury krystalicznej*, *oddziaływania krótkozasięgowo*, *piece z insertami*, *superstruktura*, *oscylacje maksimów*, *energia próbki* (przy opisie wzbudzeń), czy też *elementy p-elektronowe*. Znalazłem też kilka innych niefortunnych sformułowań, które wymagałyby korekty: *gaz jonizujący* (o argonie), *magnetyczna temperatura uporządkowania*, *istnienie temperatury uporządkowania* (jako dowód, że uporządkowanie występuje), *pochodna temperatury*, czy też *mieszanina sumy* (przy opisie dyfraktogramów).

Ocena rozprawy. Mimo moich krytycznych uwag, które w większości mają charakter polemiki naukowej, uważam rozprawę pani mgr Anny Zarzeckiej za spełniającą wymogi ustawowe dotyczące rozpraw doktorskich. W szczególności stwierdzam, co następuje.

1. **Rozprawa reprezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w deklarowanych dyscyplinach naukowych.** Świadczy o tym zreferowany przeze mnie wcześniej opis zjawisk fizycznych zachodzących w związkach międzymetalicznych zawierających lantanowce, opis zastosowanych metod eksperymentalnych oraz wykorzystanie przez Kandydatkę współczesnych teorii fizycznych do analizy wyników eksperymentów.
2. **Rozprawa reprezentuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Kandydatkę pracy naukowej.** Jest ona bowiem wynikiem samodzielných działań Kandydatki, które – jak wykazałem wyżej – obejmowały wszystkie elementy metody badawczej, w tym: opis problemu badawczego i przegląd faktów (przegląd literatury), sformułowanie hipotezy badawczej i zaproponowanie metod roboczych, zbieranie materiału badawczego (przeprowadzenie eksperymentów), opracowanie teoretyczne materiału (analiza wyników pomiarów) oraz wyprowadzenie wniosków.
3. **Przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.** Kandydatka jako pierwsza podjęła się zbadania wpływu systematycznej modyfikacji składu chemicznego związków RPdIn na ich strukturę oraz właściwości magnetyczne, w tym wywołania w nich określonych zjawisk fizycznych. Stąd uzyskane wyniki są niewątpliwie oryginalne, co zresztą zostało niejako potwierdzone faktem opublikowania niektórych z nich w dwóch regularnych artykułach, które ukazały się w międzynarodowych, recenzowanych czasopismach naukowych.

Adam Pikuł