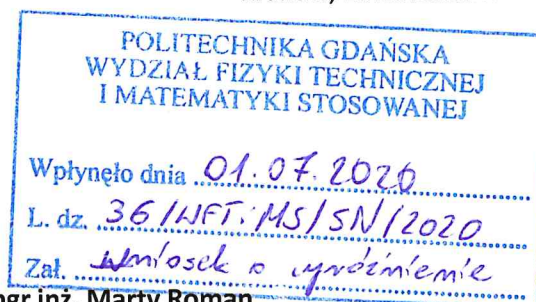


Kraków, 29.06.2020 r.

Dr hab. Paweł Starowicz
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Jagielloński
ul. Łojasiewicza 11
30-348 Kraków



Recenzja rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Marty Roman

pt. „Fale gęstości ładunku i magnetyzm w rodzinie związków LnNiC_2 (Ln - lantanowiec)”

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa poświęcona jest badaniom fal gęstości ładunku, właściwości magnetycznych, transportowych i nadprzewodnictwa dla szeregu związków z rodziny RNiC_2 , gdzie R oznacza atom ziemi rzadkiej¹. Przedmiotem badań były związki z $R = \text{Dy, Ho, Er, Tm, Lu, Y, Ce, Pr, Nd}$, a także te zawierające składy pośrednie: Nd/Gd i Nd/La . Praca została wykonana na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Tomasza Klimczuka. Promotorem pomocniczym jest dr inż. Kamil K. Kolincio.

Przed rozpoczęciem pracy, czyli w roku 2016, stan wiedzy na temat rodziny związków LnNiC_2 był znacznie uboższy. Występowanie fal gęstości ładunku było poznane tylko dla lżejszych lantanowców (Ln). Wiadomo było, że materiały te porządkują się antyferromagnetycznie z wyjątkiem ferromagnetycznego SmNiC_2 oraz nadprzewodzącego LaNiC_2 . Istniały również doniesienia proponujące obecność kwantowych punktów krytycznych w układach $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$ oraz $\text{SmNiC}_{2-x}\text{B}_x$. Prowadzono także dyskusje na temat współistnienia antyferromagnetyzmu (FM) i fal gęstości ładunku, a ówczesne doniesienia wskazywały na fakt niszczenia uporządkowania typu CDW w stanie AF gdy wektory modulacji obu wymienionych uporządkowań nie były zgodne. W przypadku zgodnych periodiczności obu modulacji tłumienie stanu CDW już nie było tak silne.

W kontekście takiego stanu wiedzy cele pracy, przedstawione w rozdziale trzecim rozprawy, zostały dobrze zdefiniowane. Pierwszym zamierzeniem było uzupełnienie diagramu fazowego i weryfikacja hipotezy o istnieniu fazy CDW w pozostałych materiałach z rodziny RNiC_2 . Kolejne cele badawcze wiązały się z poznaniem relacji między współistniejącymi uporządkowaniami typu AF oraz CDW, co jest zagadnieniem istotnym dla fizyki ciała stałego. Poszukiwanie kwantowego punktu krytycznego w roztworze stałym $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$ było również dobrze postawionym i ambitnym zadaniem.

Rozprawa doktorska będąca przedmiotem mojej recenzji przedstawia realizację wyżej przedstawionych celów badawczych, a konkluzje w pewnych przypadkach nawet wykraczają poza tak określone ramy. Praca ma charakter doświadczalny. Obejmowała ona syntezę próbek polikrystalicznych i badania prowadzone takimi metodami jak dyfrakcja rentgenowska, pomiary oporu elektrycznego, magnetooporu, magnetyzacji, współczynnika Halla i ciepła właściwego. Ponadto, w ostatnim czasie, w ramach stażu na Politechnice Wiedeńskiej pani Marta Roman otrzymała szereg monokryształów LnNiC_2 , co zapowiada nowe, interesujące wyniki.

Rozprawę obejmującą 136 stron rozpoczyna Wstęp i Część teoretyczna stanowiąca wprowadzenie do tematyki pracy. Kolejne części stanowią pięć rozdziałów, a każdy z nich zawiera artykuł z wynikami badań doktorantki. Publikacje te oznaczone są symbolami A1 do A5. Wszystkie prace zostały

¹ Będę tu używał symbolu R oznaczającego metale ziem rzadkich do których również zalicza się ittr.

opublikowane w Physical Review B. Artykuły te były cytowane 28 razy. Trzeba dodać, że liczba współautorów wynosi od 3 do 5. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w pracach A1, A4 oraz A5 pani Marta Roman jest pierwszym autorem i ma wiodący wkład. Rozprawa zakończona jest przedstawieniem dalszej perspektywy badań i podsumowaniem.

Po Wstępie, który przybliży czytelnikowi zjawisko fal gęstości ładunku, następuje Część teoretyczna, która bardziej szczegółowo wprowadza w tematykę pracy. Na początku przedstawiony jest klasyczny scenariusz przejścia do fazy fal gęstości ładunku (CDW), czyli teoria przejścia Peierlsa wraz z opisem gnieźdzenia powierzchni Fermiego oraz anomalii Kohna. Następnie wymienione są zarówno bezpośrednie, jak i te pomocnicze metody identyfikacji CDW, wraz z ciekawym zestawieniem wyników eksperymentalnych i teoretycznych dokonanych na rysunku 6. Takie zestawienie jest użyteczne dla czytelnika, jednak sformułowanie podpisu rysunku jako „Sposoby identyfikacji CDW” jest zbyt daleko idące, gdyż tylko wyniki dyfrakcyjne i te ze skaningowej mikroskopii tunelowej (rys. 6 a,b) służą do bezpośredniej identyfikacji przejścia do CDW. Natomiast pozostałe są narzędziami do identyfikacji w sposób pośredni albo też stanowią dopełnienie tworząc pełny obraz przejścia Peierlsa. Pierwsza część rozdziału kończy się krótkim i dydaktycznym opisem magnetyzmu i kwantowej krytyczności występujących w badanej rodzinie materiałów. Druga część rozdziału drugiego opisuje własności układu $RNiC_2$, co stanowi dobre wprowadzenie dla czytelnika nieobeznanego z własnościami tej rodziny związków. W szczególności Tabela 1 przedstawiająca występowanie uporządkowania magnetycznego, nadprzewodnictwa i fal gęstości ładunku w badanych materiałach według stanu wiedzy z roku 2016 rodzi ciekawość czytelnika w jaki sposób niewypełnione miejsca zostały uzupełnione w bieżącej pracy doktorskiej. Najbardziej interesujące własności rodziny $RNiC_2$ są opisane dość wyczerpująco. Pewien niedosyt pozostawia jedynie opis nadprzewodnictwa w $LaNiC_2$ i wzmianki o tym, że jedne wyniki wskazują na konwencjonalny, a inne na niekonwencjonalny charakter nadprzewodnictwa z przytoczeniem argumentów tylko z jednego odnośnika literaturowego [97]. Zastanawia mnie też fakt, dlaczego doktorantka określa typ uporządkowania magnetycznego jako antyferromagnetyzm a nie fale gęstości spinowej i jak to można uzasadnić. W rozdziale drugim są też wzmianki na temat części rzeczywistej i urojonej funkcji Lindharda. Czy maksima w obu tych częściach, czy szczególnie w jednej z nich powinny być łączone z podatnością układu na formowanie CDW² ?

Pierwsza (A1) z publikacji składających się na rozprawę doktorską, przedstawiona w rozdziale 4.1, opisuje rozszerzenie diagramu fazowego dla rodziny $RNiC_2$ w oparciu o systematyczne pomiary oporu elektrycznego i współczynnika Halla. Potwierdza się hipoteza, że w materiałach $RNiC_2$ z cięższymi atomami ziem rzadkich ($R=Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) w wysokich temperaturach występuje przejście do fazy fal gęstości ładunku (CDW). Ponadto, zależności temperatury przejścia do fazy CDW (T_{CDW}), jak i temperatury przejścia typu lock-in (T_1) od objętości komórki elementarnej okazują się być liniowe, co przystaje do zależności zaobserwowanej wcześniej w układzie $RNiC_2$ z lżejszymi atomami ziem rzadkich. Interesującymi rezultatami są również wzrosty stałej Halla i spadki oporu elektrycznego poniżej temperatur Néela, co może świadczyć o pewnym interesującym zjawisku, na przykład o destrukcyjnym wpływie porządku magnetycznego na CDW.

Artykuł A1 został opublikowany w Physical Review B jako Rapid Communication. Z pewnością, odkrycie fazy CDW w szeregu materiałów z rodziny $RNiC_2$, wyznaczenie temperatur przejścia (T_{CDW} oraz T_1), potwierdzenie liniowego wzrostu wspomnianych temperatur i jednoczesne uzupełnienie diagramu fazowego dla badanej rodziny, a wszystko dokonane w ramach jednej publikacji, zasługuje na uznanie. Chociaż wiadomo, że zależności oporu elektrycznego i współczynnika Halla nie rozstrzygają w sposób bezpośredni o istnieniu fazy CDW, to jednak w tym kontekście trudno sobie wyobrazić inną

² Proponuję, aby doktorantka odniosła się w czasie obrony przede wszystkim do podkreślonych fragmentów recenzji.

interpretację. Istnienie faz CDW zaproponowane w artykule A1 zostało potwierdzone w roku 2019 (odnośnik [114]) przy pomocy badań dyfrakcyjnych na monokryształach. Zaobserwowana liniowa zmiana T_{CDW} oraz T_1 z objętością komórki elementarnej jest interesującym wynikiem, który jednak nie mógł być wyjaśniony w pracy A1 ze względu na brak odpowiednich danych doświadczalnych lub teoretycznych. Doktorantka wymienia możliwość takiego wzrostu jako skutku poprawy warunków gnieźdzenia (nestingu) powierzchni Fermiego lub oddziaływania pomiędzy łańcuchami niklu. Nie wspomina jednak o ewentualnej roli fononów. W jaki sposób zmniejszenie objętości komórki elementarnej oraz wzrost masy atomu ziemi rzadkiej mogą wpłynąć na stałe siłowe, drgania sieci i mięknięcie fononów? Warto zauważyć, że na drugim końcu diagramu fazowego, dla lekkich lantanowców występuje nadprzewodnictwo. Trudno z tego czynić zarzut, bo takie rozumowanie ma charakter spekulacyjny, dopóki brakuje odpowiednich dowodów. Jednak rozważenie różnych scenariuszy i uzyskanie odpowiedniego materiału doświadczalnego i teoretycznego może doprowadzić w przyszłości do wyjaśnienia opisywanej zależności liniowej.

Kolejna praca (A2) poświęcona jest związkom LuNiC_2 oraz YNiC_2 , które nie wykazują uporządkowania magnetycznego. Zostały one poddane badaniom strukturalnym, pomiarom transportowym, galwanomagnetycznym i pomiarom ciepła właściwego. Jedną z ważniejszych konkluzji jest odkrycie fazy CDW w YNiC_2 . Ponadto wymienione techniki badawcze pozwoliły scharakteryzować własności materiałów RNiC_2 , w których występuje CDW przy nieobecności porządku magnetycznego. Układy te wykazują istnienie dużego magnetooporu w niskich temperaturach. Wyjaśnienie tego faktu, które zostało oparte na modelu przewodnictwa wielopasmowego, zakłada istnienie kieszeni powierzchni Fermiego charakteryzujących się dużą ruchliwością nośników ładunku. Nie jest jednak dla mnie jasne, czy wymienione kieszenie otwierają się, jak wspomniano w paragrafie D. „Multiband conductivity”, czy też pozostają częścią powierzchni Fermiego przy przejściu do fazy CDW, jak jest wspomniane w konkluzjach. Ta pierwsza opcja zgadzałaby się ze wzmianką o rekonstrukcji powierzchni Fermiego w YNiC_2 oraz LuNiC_2 zamieszczoną na koniec cytowanego paragrafu. Czy „otwieranie się kieszeni” oznacza tutaj przejście Lifszycza zachodzące przy obniżaniu temperatury? Rozumiem, że struktura pasmowa nie była mierzona bezpośrednio, a proponowane wnioski są uzasadnione w sposób niebezpośredni.

Celem artykułu A3 było zbadanie relacji między falami gęstości ładunku (CDW) a magnetyzmem na przykładzie NdNiC_2 . Do tego posłużyło interesujące zestawienie składów chemicznych, mianowicie wybrano związek, w którym występuje antyferromagnetyzm oraz CDW (NdNiC_2) oraz materiał w którym obserwuje się CDW przy braku dobrze udokumentowanego uporządkowania magnetycznego (PrNiC_2). Układem odniesienia był CeNiC_2 , w którym nie powstaje faza CDW przy istnieniu antyferromagnetyzmu. Dla tak dobranych materiałów wykonano badania porównawcze oporu elektrycznego, oporu Halla, podatności magnetycznej, namagnesowania, magnetooporu oraz ciepła właściwego. Ważna konkluzja pokazuje, że stan CDW w NdNiC_2 jest niszczone przez uporządkowanie antyferromagnetyczne i zanika znacznie silniej w stanie ferromagnetycznym indukowanym zewnętrznym polem magnetycznym. Ponadto praca opisuje istnienie interesującego stanu metastabilnego wywołanego przez pole magnetyczne również w NdNiC_2 .

Publikacja A4 oparta na badaniach układu $\text{Nd}_{1-x}\text{Gd}_x\text{NiC}_2$ poświęcona jest zagadnieniu dość fundamentalnemu, czyli również tematyce współistnienia fal gęstości ładunku i uporządkowania magnetycznego. Systematyczne pomiary oporu elektrycznego i podatności magnetycznej dla próbek polikrystalicznych doprowadziły do kilku interesujących konkluzji. Moim zdaniem, wartościowym wynikiem jest uzyskanie analogicznych zależności temperatury Néela, temperatury przejścia do stanu CDW oraz temperatury Curie-Weissa od składu chemicznego próbki. Ten wynik, chociaż nie jest jeszcze

dobrze wyjaśniony, może dostarczyć ważnych informacji na temat powstawania antyferromagnetyzmu w układzie z falami gęstości ładunku. Wskazuje on na fakt, że ten sam czynnik w sposób bezpośredni wpływa korzystnie na powstanie fazy CDW i antyferromagnetyzmu. Można przypuszczać, że jest to odpowiednie maksimum w uogólnionej podatności zwanej funkcją Lindharda albo mówiąc mniej precyzyjnie gnieźdzenie powierzchni Fermiego. Sytuacja jest o tyle interesująca, że wzmocnienie fazy CDW powinno wiązać się z większą częścią powierzchni Fermiego podlegającą zagnieżdzeniu, co przy przejściu Peierlsa prowadzi do bardziej rozległego otwierania się przerwy energetycznej, a to z kolei powinno skutkować osłabieniem uporządkowania antyferromagnetycznego. Tymczasem w artykule A4 jest odwrotnie. W pracy zacytowana jest publikacja Hanasaki et al., której autorzy proponują nakładanie się dwóch fal gęstości ładunku posiadających polaryzację spinową w GdNiC_2 . Jednak ten scenariusz prawdopodobnie nie tłumaczy faktu osłabienia refleksów dyfrakcyjnych związanych z CDW przy pojawieniu się antyferromagnetyzmu. Dlatego też ta pozytywna korelacja między konkurującymi fazami nie jest wyjaśniona. Być może faza antyferromagnetyczna (lub faza fal gęstości spinowej) lub inaczej mówiąc dominacja oddziaływań RKKY pojawia się równocześnie z osłabieniem lub wycofaniem fal gęstości ładunku, co być może pozwoliłoby zrozumieć omawiany wynik.

Kolejną ciekawą konkluzją jest załamanie skalowania de Gennes'a dla temperatury Néela, co być może da się wytłumaczyć zmianami gęstości stanów przy energii Fermiego i istnieniem fazy CDW. Pozostaje też pytanie na ile dobrym przybliżeniem jest wzięcie efektywnego współczynnika de Gennes'a jako średniej ważonej odpowiednich współczynników dla Gd i Nd? Tak więc dwie najważniejsze konkluzje nie są wyjaśnione ale samo ich postawienie jest już cenny wynikiem.

Na końcu chciałbym dodać komentarz na temat badań strukturalnych. Domieszkowanie prowadzi do liniowego wzrostu stałych sieci, więc nie ma tu zależności niemonotonicznej. Jednak dyfraktogramy mogły również być użyte do przeprowadzenia analizy Rietvelda, co wskazałoby, jak zmieniają się położenia atomów w miarę domieszkowania. Ta uwaga również dotyczy pracy A5.

Ostatnia publikacja (A5) prezentuje wyniki badań dla serii próbek o składach $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$. W układzie z $x=0$ występują fazy CDW i AFM, a związek z $x=1$ jest nadprzewodnikiem. Najważniejszym celem badawczym pracy było poszukiwanie kwantowego punktu krytycznego. Praca miała również na celu dokonanie opisu ewolucji faz CDW i AFM wraz z domieszkowaniem, a także obserwację powstania przewidywanego nadprzewodnictwa. W tym celu przeprowadzono systematyczne badania strukturalne, magnetyczne, transportowe i pomiary ciepła właściwego, a w artykule przedstawione są wyniki dla co najmniej 17 składów $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$ z różną zawartością x .

Rezultaty badań wskazują na to, że z dużym prawdopodobieństwem w układzie jest realizowany kwantowy punkt krytyczny przy $x=0.88$, na co może wskazywać liniowa zależność oporu elektrycznego w polu magnetycznym oraz silny wzrost ciepła właściwego w niskich temperaturach. Jednak badania były prowadzone w stosunkowo wysokich temperaturach, czyli powyżej 1.9 K, stąd trudno jeszcze mówić o pewności w kwestii istnienia kwantowego punktu krytycznego. Efekt zmiany składu w $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$ został przedstawiony na interesującym diagramie fazowym (Rysunek 6), który stanowi wartościowy wynik. Kolejnym ciekawym wynikiem jest konkluzja, że w miarę domieszkowania lantanu faza CDW szybko zanika, a to powoduje poszerzenie przejścia do stanu AF, który wykazuje cechy nieporządku spinowego. Badanie pokazały również, jak dla $x > 0.88$ pojawia się nadprzewodnictwo z temperaturą krytyczną rosnącą z x . Nie znalazłem wzmianki, czy zawartość fazy Meissnera jest bliska 100%. Mam również wątpliwości, czy uprawnione jest pisanie o oddziaływaniu typu Kondo przy braku odpowiednich cech tego oddziaływania w oporze elektrycznym. W przeciwieństwie do klasycznego diagramu Doniacha mamy tu przejście od antyferromagnetyzmu do nadprzewodnictwa. Warto też zwrócić uwagę na fakt, że zaproponowany przez doktorantkę diagram

fazowy dla $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$ ma sporo cech wspólnych z diagramami fazowymi dla niekonwencjonalnych nadprzewodników takich jak pniktydki żelaza, czy miedziany.

W celu podsumowania i oceny dorobku zaliczonego do pracy doktorskiej należy odnieść się do sytuacji z czasu przed powstaniem pracy. Można stwierdzić, że od roku 2016-go stan wiedzy na temat rodziny związków LnNiC_2 znacznie się poszerzył, a praca doktorska pani Marty Roman miała do tego swój istotny wkład. Przed opublikowaniem artykułu A1 wiadomo było o fazie fal gęstości ładunku w 5-ciu materiałach z rodziny RNiC_2 , a w ramach pracy doktorskiej wykazano istnienie fazy CDW w kolejnych 6-ciu związkach, co umożliwiło rozbudowanie odpowiedniego diagramu fazowego. Wysoko oceniam również wyniki opisujące niszczenie fazy CDW przy pojawieniu się uporządkowania magnetycznego oraz wykazanie korelacji pomiędzy wartościami T_{CDW} , T_{N} i temperatury Curie-Weissa w układzie $\text{Nd}_{1-x}\text{Gd}_x\text{NiC}_2$, chociaż wyniki te nie są jeszcze w pełni zrozumiane. Rezultatem, który warto podkreślić, jest propozycja występowania kwantowego punktu krytycznego w układzie $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$. Wymienione konkluzje dotyczą artykułów A1, A4 oraz A5, w których Doktorantka miała dominujący wkład. W pozostałych pracach (A2, A3) można też znaleźć wiele ważnych konkluzji takich jak duży i liniowy magnetoopór w YNiC_2 i LuNiC_2 lub też metastabilna transformacja sieci zachodząca pod wpływem przejścia do stanu ferromagnetycznego w NdNiC_2 .

Jeśli zastanowimy się co jest słabą stroną pracy, myślę że jest nią brak obliczeń teoretycznych. W rozprawie często jest wspomniane gnieźdzenie powierzchni Fermiego. Taką właściwość powierzchni Fermiego można oszacować w oparciu o obliczenia teorii funkcjonałów gęstości. Należałoby również przeprowadzić obliczenie funkcji Lindharda. Tego typu obliczenia mogłyby wnieść sporo informacji przydatnych do lepszego zrozumienia konkluzji. Wzmiankowałem też, że dyfraktogramy proszkowe mogły posłużyć do przeprowadzenia analizy Rietvelda dla układów $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$ oraz $\text{Nd}_{1-x}\text{Gd}_x\text{NiC}_2$, co pozwoliłoby zbadać położenia atomów w funkcji domieszkania.

Praca jest zredagowana w poprawny i przyjazny dla czytelnika sposób. Wstęp literaturowy rzeczywiście przybliżył nam dobrze stan wiedzy potrzebny do zrozumienia pracy. Każdy artykuł naukowy opatrzony jest wstępem w języku polskim, w którym to równocześnie omówione są najważniejsze wyniki pracy. Wyodrębnione w formie osobnych rozdziałów Cel pracy i Podsumowanie spełniają dobrze swoją rolę. Można znaleźć pewne błędy redakcyjne. Chociaż trudno wykryć literówki, to można znaleźć błąd na rysunku 4a w pracy A 4. Wartość przy $x=0.3$ podana w tekście i ta na wykresie nie są zgodne.

Przy ocenie rozprawy należy wziąć pod uwagę fakt, że w przypadku trzech artykułów (A1, A4, A5) wkład Doktorantki wynosi od 50% do 65%. W pracach A2 i A3 ten wkład został oszacowany jako odpowiednio 20% i 15%. Wszystkie prace były opublikowane w Physical Review B, o współczynniku impact factor równym od 3,736 do 3,813 i liczbie punktów ministerialnych 35 (a obecnie 140 pkt). Czasopismo to cieszy się wysokim prestiżem w środowisku naukowym na całym świecie. Nie mam wątpliwości, że taki dorobek naukowy odpowiada standardom dobrej rozprawy doktorskiej. Na podstawie treści rozprawy doktorskiej można również stwierdzić, że pani Marta Roman z całą pewnością posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Chciałbym również dodać, że praca doktorska była finansowana z grantów OPUS oraz ETIUDA.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione argumenty stwierdzam, że rozprawa doktorska pani Marty Roman spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w obowiązującej Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Kraków, 29.06.2020 r.

Dr hab. Paweł Starowicz
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Jagielloński
ul. Łojasiewicza 11
30-348 Kraków

**Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Roman
pt. „Fale gęstości ładunku i magnetyzm w rodzinie związków LnNiC_2 (Ln - lantanowiec)”**

Wnoszę do Komisji Doktorskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Roman pt. „Fale gęstości ładunku i magnetyzm w rodzinie związków LnNiC_2 (Ln - lantanowiec)”.

Mój wniosek uzasadniam następującymi argumentami:

- Uważam, że publikacje składające się na pracę doktorską stanowią znaczny wkład do wiedzy na temat rodziny związków LnNiC_2 . Chciałbym tu podkreślić takie wyniki, jak rozbudowanie diagramu fazowego dla rodziny LnNiC_2 , rezultaty dotyczące oddziaływania fal gęstości ładunku i antyferromagnetyzmu oraz propozycja istnienia kwantowego punktu krytycznego w układzie $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$.

- Chciałbym zwrócić również uwagę na znaczną ilość pracy konieczną do syntezy dużej liczby próbek, przeprowadzenia odpowiednich badań, wykonania analizy danych i przygotowania manuskryptów.

- Wszystkie pięć artykułów związanych z pracą doktorską zostało opublikowanych w Physical Review B, czasopiśmie z wysokim czynnikiem wpływu, od $\text{IF}=3,736$ do $\text{IF}=3,813$ i posiadającym wysoką liczbę punktów ministerialnych: 35 (obecnie 140 pkt). Taki zestaw publikacji jest rezultatem zdecydowanie ponadprzeciętnym dla prac doktorskich. Mam na myśli nie tylko liczbę, ale przede wszystkim jakość publikacji.

- Wysoko oceniam formę i treść rozprawy, na którą składa się odpowiedni wstęp literaturowy, sformułowanie celów pracy, rozbudowane streszczenia i komentarze do wszystkich artykułów, same publikacje, podsumowanie i określenie dalszej perspektywy badań.

Wierzę, że przedstawione argumenty będą stanowiły uzasadnienie do rozważenia wyróżnienia rozprawy.

