

Warszawa 18.06.2020 r.

Dr hab. inż. Marcin Matusiak
Międzynarodowe Centrum Sprzężenia Magnetyzmu
i Nadprzewodnictwa z Materią Topologiczną MagTop
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
Aleja Lotników 32/46, PL 02-668 Warszawa



RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Marty Roman

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

Przedstawiona do recenzji praca została wykonana przez mgr inż. Martę Roman na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Tomasza Klimczuka oraz dr. inż. Kamila K. Kolincio w roli promotora pomocniczego. Rozprawa liczy 136 stron i poza częścią zasadniczą składa się ze *Wstępu* przybliżającego motywację do podjęcia badań, *Części teoretycznej*, w której dokonano przeglądu obecnej wiedzy na temat problemów poruszanych w rozprawie oraz rozdziału opisującego *Cel pracy*. Rozprawę kończy opis perspektywy dalszych badań (raczej niż *Dalszej perspektywy badań*), *Podsumowanie*, *Bibliografia* oraz *Lista opublikowanych* przez autorkę artykułów. Dorobek publikacyjny doktorantki jest znaczny, w latach 2016 – 2020 ukazało się w dobrych czasopismach 8 prac, wśród których trzykrotnie mgr inż. Marta Roman była wymieniana wśród autorów korespondencyjnych.

Główną część dysertacji tworzy zbiór pięciu publikacji koncentrujących się na badaniu relacji pomiędzy porządkiem ładunkowym i magnetyzmem. Przedmiotem zainteresowania doktorantki są związki LnNiC_2 , a podstawą do wyciągania wniosków są przede wszystkim wyniki pomiarów podatności magnetycznej i wielkości transportowych. W trzech pracach omawiane są również rezultaty pomiarów ciepła właściwego.



Prezentowaną serię rozpoczyna publikacja zatytułowana „*Extended phase diagram of $RNiC_2$ family: Linear scaling of the Peierls temperature*” (A1), w której autorzy pokazują, że liniowa zależność temperatury Peierlsa (T_{CDW}) od objętości komórki elementarnej (V) w $LnNiC_2$ jest zachowana dla ciężkich lantanowców (tj. dla $Ln = Dy, Ho, Er, Tm, Lu$). W kolejnej pracy („*Charge density wave and large nonsaturating magnetoresistance in $YNiC_2$ and $LuNiC_2$* ”, A2) autorzy dokładają do wspomnianej serii lantanowców inny pierwiastek ziem rzadkich – itr. Okazuje się, że dla $YNiC_2$ temperatura Peierlsa również wpasowuje się w obserwowaną liniową zależność od V . Znaczną część publikacji A2 poświęcona jest badaniom magneto-transportu i jego opisu w ramach modelu wielopasmowego. Przedmiotem zainteresowania pracy pt. „*Magnetism and charge density waves in $RNiC_2$ ($R = Ce, Pr, Nd$)*” (A3) jest przede wszystkim wpływ pola magnetycznego na własności $LnNiC_2$ (tu $Ln = Ce, Pr, Nd$). Natomiast dwie kolejne publikacje, tj. „*Correlation between charge density waves and antiferromagnetism in $Nd_{1-x}Gd_xNiC_2$ solid solutions*” (A4) oraz „*Crossover from charge density wave stabilized antiferromagnetism to superconductivity in $Nd_{1-x}La_xNiC_2$ compounds*” (A5) dotyczą dwóch serii roztworów stałych ($Nd_{1-x}R_xNiC_2$, $R = Gd, La$). Prace A4 i A5 wydają mi się najciekawsze z całej serii, a jednocześnie doktorantka deklaruje swój dominujący udział w ich współtworzeniu, odpowiednio 65% i 64% (przy okazji – skąd taka dokładność?). Pierwsza z prac (A4) koncentruje się na relacji między gnieźdzeniem powierzchni Fermiego i antyferromagnetyzmem w $Nd_{1-x}Gd_xNiC_2$, natomiast w drugiej (A5) zasugerowano występowanie na diagramie fazowym $Nd_{1-x}La_xNiC_2$ (w układzie skład – temperatura) kwantowego punktu krytycznego (QCP) dla $x \approx 0,9$.

Na temat rozprawy wybrano zagadnienie cieszące się dużym zainteresowaniem społeczności naukowej – wzajemne oddziaływanie różnych form porządku elektronowego jest obecnie jednym z najintensywniej badanych problemów fizyki ciała stałego. Na diagramach fazowych silnie skorelowanych układów elektronowych pojawiają się nie tylko magnetyzm i nadprzewodnictwo, ale również fale gęstości spinowej oraz ładunkowej o różnej wymiarowości, nematyczność, czy też wciąż enigmatyczna pseudoprzerwa. Zrozumienie relacji zachodzących pomiędzy różnymi fazami elektronowymi powinno

pozwolić na projektowanie materiałów o zadanych własnościach, a być może stanie się również kluczem do odkrycia mechanizmu prowadzącego do powstawania nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego. Związki LnNiC_2 , z występującym w nich magnetyzmem, porządkiem ładunkowym i nadprzewodnictwem, wydają się być dobrym kandydatem do tego typu badań.

Przedłożona dysertacja, próbując odkryć leżące u podstaw badanych zjawisk prawidłowości, prezentuje, moim zdaniem, właściwe podejście do postawionego problemu. Mgr inż. Marta Roman zaprezentowała umiejętność syntezy polikrystalicznych próbek LnNiC_2 , których wysokiej jakości dowodzi m.in. gładka ewolucja własności fizycznych roztworów stałych. W pracy zastosowany został szeroki wachlarz metod badawczych, co świadczy to o dojrzałości doktorantki, nawet jeśli nie wszystkie pomiary wykonywała samodzielnie.

Mimo ogólnie pozytywnego odbioru rozprawy, czuję się w obowiązku wymienić kilka zauważonych przeze mnie niedociągnięć. Zacznę od wyrażenia pewnego niedosytu w związku z deklarowanym celem pracy. Jest on według mnie mało precyzyjny. Doktorantka pisze w rozdziale 3.: „*Celem niniejszej pracy jest badanie fal gęstości ładunku (CDW) oraz oddziaływania CDW z magnetyzmem w rodzinie trójskładnikowych węglików RNiC_2 .*”, podczas gdy prowadzenie badań powinno być raczej środkiem do osiągnięcia celu, niż celem samym w sobie. Nie podoba mi się również wybrana forma rozprawy, która ma postać zbioru publikacji z krótkim opisem każdej z nich. Publikacje naukowe są zwykle efektem pracy zbiorowej, a udział doktorantki w ich powstawaniu nie zawsze był dominujący. Z tego względu brakuje mi rozdziału, który w sposób wyczerpujący podsumowałby wszystkie badania przedstawione w dysertacji. Chciałbym wobec powyższego prosić doktorantkę o ustosunkowanie się w trakcie obrony do kilku uwag odnoszących się do poszczególnych prac z prezentowanego cyklu:

A1:

- Jak wyglądają zależności dp/dT , z których wyznaczano T_{CDW} i czy otrzymane wartości różnią się od odpowiadających T_{CDW} wyznaczanych ze zmiany nachylenia $R_{\text{H}}(T)$? Jeśli tak, to dlaczego?

A2:

- Z jakiego powodu założono, że w YNiC_2 i LuNiC_2 istnieje tylko jedno pasmo charakteryzujące się wysoką ruchliwością nośników?
- Czy mógłbym prosić o objaśnienie stwierdzenia „*Ostre maksimum w cieple właściwym może sugerować, że dużą rolę w przejściu odgrywają fluktuacje parametru porządku CDW lub silny wkład sieciowy.*”?

A3:

- Czy przy wymuszonym polem magnetycznym przejściu AF – FM w NdNiC_2 zmienia się komórka elementarna (a więc i warunki gnieźdzenia powierzchni Fermiego)?

A4:

- Chciałbym prosić o nieco obszerniejsze wyjaśnienie zdania „*Podobieństwo w zachowaniu temperatury formowania CDW (T_{CDW}), porządkowania AFM (T_N), a także temperatury Curie-Weissa (θ_{CW}) podczas przejścia od związku NdNiC_2 do GdNiC_2 sugeruje występowanie silnej korelacji pomiędzy falami gęstości ładunku i antyferromagnetyzmem.*”.
- Czy doktorantka brała pod uwagę wpływ nieporządku na własności roztworów stałych (np. K. Cho i wsp., Nat. Commun. 9, 2796 (2018))?

A5:

- Rysunek 2. pokazuje wartości temperatury Curie-Weissa w obszarze, gdzie nie ma już porządku magnetycznego (w pobliżu $x = 1$), czy mógłbym prosić o dodatkowe wyjaśnienie?
- W układach z kwantowym punktem krytycznym nadprzewodnictwo na diagramie fazowym pojawia się zwykle „ponad” QCP, dlaczego $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{NiC}_2$ miały być wyjątkiem?

Chciałbym również prosić o rozwinięcie w czasie obrony podkreślonego w cytacie ze str. 29 stwierdzenia: „*Zanikowi nadprzewodnictwa towarzyszy pojawienie się nowej fazy (Rys. 17a), którą jak sugerują autorzy artykułu [97] może być CDW, obserwowane dla wielu przedstawicieli rodziny RNiC_2 . Takie zachowanie wskazuje na prawdopodobny niekonwencjonalny typ nadprzewodnictwa, a także jego rywalizację z CDW.*”

Pozytywnie oceniam warstwę edytorską dysertacji, chociaż i tu miałbym kilka uwag. Najwięcej z nich dotyczy rozdziału pierwszego pt. *Wstęp*. Jest w nim wiele wątpliwych stylistycznie sformułowań, jak na przykład: „50-tych”, „[...] zarówno CDW, jak i konwencjonalne nadprzewodnictwo są silnie związane z oddziaływaniem elektron – fonon [...]”, nazwanie CDW jedną z „faz pośrednich, oddzielających stan normalny od stanu nadprzewodzącego”, a zrozumienie oddziaływania „[...] jednym z głównych obszarów studiowanych w dziedzinie fizyki materii skondensowanej”. Mam też wątpliwości co do doboru cytowań 24 i 25, ponieważ magnetyzm w chromie ma postać fal gęstości spinowej (SDW).

Rozdział drugi, tj. *Część teoretyczna*, jest napisany dobrze, ale i tu wymieniałbym kilka potknięć. Zaliczyłbym do nich stwierdzenie ze str. 15. „[...] pojawienie się zakłócenia w postaci oddziaływań między elektronami i elektronami a fononami [...]”, informację ze str. 16 mówiącą, że „[...] o pojawieniu się stanu CDW świadczy zajście następujących zjawisk: gnieźdzenie powierzchni Fermiego [...]” (podczas, gdy jest to raczej okoliczność sprzyjająca formowaniu się CDW), czy też niefortunne nazwanie kwantowego punktu krytycznego „zjawiskiem czysto teoretycznym” (str. 22). Nie podobają mi się sformułowania: „[...] temperatura krytyczna [...] zanika w okolicach $p = 8 \text{ GPa}$.” (str. 29), oraz że „[...] mocne oddziaływania elektronowe mogą dawać wkład do nadprzewodnictwa.” (str. 29).

Na stronie 30. pojawia się informacja, że „Podobnie jak ciśnienie hydrostatyczne, również ciśnienie chemiczne dla roztworów stałych $\text{SmNiC}_{2-x}\text{B}_x$ powoduje tłumienie stanu CDW [...]”, podczas, gdy nieco wyżej mamy: „Wyniki pomiarów SmNiC_2 pod ciśnieniem hydrostatycznym [101] pokazały, że temperatura formowania CDW zwiększa się ze wzrostem ciśnienia [...]”.

Na str. 125 i 127 pojawiają się żargonowe: „[...] AFM tworzy się na drodze fal gęstości spinowej [...]” oraz „[...] uporządkowanie AFM zachodzi na drodze tworzącego się SDW [...]”. W całej pracy razi nadużywanie czasownika *raportować* w znaczeniu odpowiadającemu angielskiemu *to report*. Błędem edytorskim jest również odnoszenie się

w opisie *Celu badawczego* pracy A5 do hipotezy nr 5, podczas gdy faktycznie hipotezy są tylko 4.

Podsumowując, mimo krytycznych uwag jestem zdania, że rozprawa doktorska przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dowodzi ogólnej wiedzy teoretycznej kandydatki i świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia przez nią pracy naukowej. W mojej ocenie przedłożona do oceny dysertacja spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym. Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy oraz o dopuszczenie mgr inż. Marty Roman do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

