Wrocław, 15.01.2022

Dr hab. Małgorzata Samsel-Czekała, prof. INTiBS PAN
Oddział Teorii Materii Skondensowanej,
tel.: +48 71 3954 322
e-mail: m.samsel@intibs.pl

Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych
im. Włodzimierza Trzebiatowskiego Polskiej Akademii Nauk
ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Sylwii Sowy

pt.: „Nadprzewodnictwo i struktura związków wybranych metali grupy 5*f* i (3-5)*d* i ich wodorków"

Recenzowana rozprawa doktorska pani mgr inż. Sylwii Sowy, pt.: „*Nadprzewodnictwo i struktura związków wybranych metali grupy 5f i (3-5)d i ich wodorków*", została przygotowana w 2021 r. na podstawie wyników eksperymentalnych, uzyskanych w ramach działalności statutowej w trakcie studiów doktoranckich w Instytucie Fizyki na Wydziale Nauk Ścisłych i Przyrodniczych Uniwersytetu Pedagogicznego (UP) im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie. Rozprawa ta powstała pod kierunkiem pani Promotor dr. hab. Hoa Kim Ngan Nhu-Tarnawskiej, profesor UP, znakomitej specjalistki w badaniach układów *f*- i *d*-elektronowych o różnej strukturze i wymiarowości. Część wyników została otrzymana przez Doktorantkę bardziej samodzielnie w ramach współpracy w polsko-czeskim projekcie nt. wodorków metali *f*-elektronowych w latach 2014-2015 ze znaną na forum międzynarodowym grupą prof. Ladislava Haveli z Uniwersytetu Karola w Pradze. Było to także możliwe dzięki przyznaniu p. Sowie prestiżowego stypendium Fundacji Wyszehradzkiej (2016-2017) na odbycie 10. miesięcznego stażu badawczego w Pradze w ramach projektu pt. "*Study of structural and magnetic properties of selected f-metal hydrides*". Natomiast wybrane pomiary oporności elektrycznej w niskich temperaturach (do 70 mK) zostały wykonane dodatkowo we współpracy z grupą prof. Zbigniewa Tarnawskiego i dr. inż. Macieja Chrobaka w Laboratorium Badań w Ultra-Niskich Temperaturach Akademickiego Centrum Materiałów i Nanotechnologii AGH-Kraków.

Praca doktorska w tradycyjnej formie maszynopisu książki, napisana w j. polskim,

zawiera prezentację oryginalnych wyników Doktorantki, opublikowanych już w latach 2015-2020 w 13. międzynarodowych recenzowanych czasopismach.

Rozprawa jest dosyć obszerna, obejmując w sumie 171 stron, i składa się z Podziękowań, szczegółowego Spisu Treści, jednostronicowych Streszczeń w j. polskim i angielskim, przydatnego Spisu ważniejszych symboli, krótkiego (na 4 strony) Wstępu, zawierającego motywację, przedmiot i cel podjętych badań.

Przedmiotem badań była struktura krystaliczna i nadprzewodnictwo wybranych połączeń uranu i metali pierwiastków *d*-elektronowych w postaci roztworów stałych $U_{1-x}T_x$ dla T = Nb, Ru, Pt, Pd i Ti oraz struktura krystaliczna i magnetyzm ich wodorków $(UH_3)_{1-x}T_x$, gdzie T = Nb, Ru i Ti dla polikrystalicznych próbek typu „*splat*", otrzymanych w wyniku ultraszybkiego chłodzenia z użyciem unikalnej metody „ruchomych kowadeł" („*splat-cooling*"). Głównym celem rozprawy było rozpoznanie możliwości stabilizacji, dzięki zastosowaniu tej metody, w powyższych układach U-T wysokotemperaturowej regularnej fazy γ-U w temperaturze pokojowej a następnie określenie niskotemperaturowych właściwości takich układów w szczególności makroskopowych charakterystyk ich nadprzewodnictwa. Drugim celem było uzyskanie ww. wodorków U-T-H układów U-T w fazie γ-U oraz wyznaczenie ich właściwości magnetycznych. Oba cele udało się osiągnąć p. Sowie.

Co istotne, związki uranu w fazie γ-U wzbudzają nadal duże zainteresowanie ze względu na ich potencjalne zastosowanie jako paliw jądrowych z nisko wzbogaconym uranem (LEU) m.in. w reaktorach badawczych ze względu na ich większą stabilność przy naświetlaniu oraz większą wydajność w porównaniu ze związkami w fazie α-U, o czym Doktoranta wspomina dopiero w Rozdziale 2. Natomiast, w aspekcie badań podstawowych wciąż aktualne jest badanie unikalnego zachowania elektronów U 5*f* w związkach uranu z atomami metali *d*-elektronowych. Z jednej strony silna delokalizacja elektronów U 5*f* może prowadzić do nadprzewodnictwa, w szczególności ciężkofermionowego (niekonwencjonalnego), a z drugiej strony pewna ich lokalizacja na atomach jest często odpowiedzialna za uporządkowanie magnetyczne, tak jak w przypadku wykrytego po raz pierwszy 70 lat temu ferromagnetyzmu w wodorkach uranu i deuteru przez zespół prof. W. Trzebiatowskiego. W przypadku pośrednim możemy mieć do czynienia z nielicznymi przykładami współistnienia w tej samej fazie nadprzewodnictwa i magnetyzmu w związkach uranu, które nie doczekało się jeszcze spójnego opisu teoretycznego i stanowi wyzwanie dla fizyki ciała stałego. W tym kontekście przydatny jest model dualny elektronów U 5*f*,

dopuszczający współistnienie zarówno zlokalizowanych jak i pasmowych konfiguracji elektronów 5*f*, związanych z tym samym atomem uranu, zaproponowany przez prof. G. Zwicknagl i P. Fuldego [Phys. Rev. B 65 (2002) 081103(R)], o którym Doktorantka nie wspomina w rozprawie, zawężając rozważania głównie do badań swojej grupy badawczej i współpracowników.

Następnie dysertacja zawiera Rozdziały 1 i 2, wprowadzające w jej tematykę, podstawowe pojęcia i wielkości oraz dotychczasowy stan wiedzy nt. badań aktynowców i związków uranu. Tutaj oprócz braku uwzględnienia ww. modelu dualnego elektronów 5*f*, brakuje także bardziej zaawansowanych rozważań na temat struktury elektronowej i magnetycznej aktynowców oraz ich związków [np. Rev. Mod. Phys. 81 (2009) 235]. Doktorantka, pisze o lekkich aktynowcach w zbyt dużym uroszczeniu. Przykładowo, na str. 20, punkt 4) „*Brak wzbudzeń w polu krystalicznym w tych układach, które można zaobserwować dzięki nieelastycznemu rozpraszaniu neutronów*”, czemu przeczy chociażby praca nt. antyferromagnetycznego nadprzewodnika UPd_2Al_3 [Nature 410 (2001) 340]. Następnie na str. 21 w drugim akapicie: „*Dla lekkich aktynowców można zaobserwować słabe oddziaływanie spinowo-orbitalne (s-o). (...) Oddziaływanie s-o staje się coraz silniejsze wraz ze wzrostem liczby atomowej. W przypadku ciężkich aktynowców prowadzi to do rozszczepienia poziomów elektronowych, które może być znaczne. Dla aktynowców lekkich rozszczepienie to jest tak małe, że można je zaniedbać.*” Tymczasem już dla uranu i jego związków nie jest to prawdą, ponieważ energia oddziaływania s-o, kulombowskiego i wymiennego może być porównywalna. Prowadzi to często do nieadekwatności opisu stanu podstawowego w ramach sprzężenia Russella-Saundersa (*LS*) i momentów magnetycznych odbiegających od przewidywań na podstawie reguł Hunda, które Doktorantka wymienia w tym rozdziale. Wtedy bardziej adekwatne jest sprzężenie pośrednie pomiędzy *LS* i *jj*, o których p. Sowa nie wspomina w rozprawie. Następnie na str. 22 podana jest definicja oddziaływania RKKY tak jakby dotyczyła tylko oddziaływania pomiędzy zlokalizowanymi momentami ziem rzadkich (4*f*) lub metali przejściowych *d*-elektronowych, podczas gdy oddziaływaniu temu mogą ulegać także bardziej zlokalizowane elektrony 5*f*. W tym rozdziale występuje sporo niezgrabnych sformułowań, literówek i niejasnych zdań np. na str. 25 [dwa wiersze tuż pod wzorem (1.7)]: „ *… δE jest małą zwiększającą się energią każdego z przeniesionych elektronów z jednego do drugiego podpasma, …*” zamiast „*… δE jest małym przyrostem energii kinetycznej każdego z przeniesionych elektronów z jednego do drugiego podpasma o przeciwnych spinach …”*. Na str. 26 na końcu podrozdziału 1.1.3 podane jest, że „*μ_0 jest przenikalnością magnetyczną*”,

ale brakuje doprecyzowania, że to dla próżni. Natomiast w podrozdziale 1.2.2. przydałby się szerszy opis problemu nadprzewodnictwa w związkach uranu, połączony z cytatem bardziej zaawansowanych artykułów poglądowych na ten temat [np. Rev. Mod. Phys. 81 (2009) 1551]. Z kolei Rozdział 2 stanowi bardzo przydatny przegląd wyników wcześniejszych publikacji grupy badawczej pani Promotor, do której dołączyła Doktorantka, dotyczących podobnych do analizowanych w rozprawie nadprzewodzących układów $U_{1-x}T_x$ dla T = Mo i Zr typu „*splat*" oraz ich ferromagnetycznych wodorków $(UH_3)_{1-x}T_x$. Powyższy rozdział (24 strony) w mojej ocenie jest jednak trochę nadmiernie rozbudowany w proporcji do Rozdziałów 4-7 opisujących oryginalne kluczowe wyniki rozprawy. Pojawiają się w nim także niepoprawne zdania i sformułowania oraz literówki np. na str. 41 (ostanie zdanie podrozdziału 21.1): „*Szczegółowe informacje o metodzie kowadeł oraz o notację próbki zostano omówiona w rozdziale 3*". Na tej samej stronie w pierwszym akapicie podrozdziału 2.2: „*dla zapewnienia jednofazowej fazy γ-U*" zamiast „*dla zapewnienia czystej fazy γ-U*". Na str. 42 mamy także błąd edytorski dwa razy pojawia się podpunkt 4). Na str. 43 poniżej Rys. 2.2 występuje niezgrabne stylistycznie zdanie: „*Najważniejszym rezultatem jest to, że badania pokazały, że możliwe jest otrzymanie …*" zamiast np. „*Najważniejszym rezultatem badań jest wykazanie możliwości otrzymania …*".

Następnie w Rozdziale 3 – „Metody doświadczalne" – zamieszczone jest wyjaśnienie sposobu otrzymania próbek typu „*splat*" w przybliżonej formie krążka o średnicy ok. 20 mm i grubości 100-150 μm, z użyciem metody „ruchomych kowadeł", oraz procesu ich wodorowania. Ponadto zawiera on opis najważniejszych wykorzystanych w rozprawie metod charakterystyki struktury i mikrostruktury próbek, takich jak dyfrakcja rentgenowska (XRD), skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) z systemem do mikroanalizy dyspersyjnej energii promieniowania rentgenowskiego (EDAX) oraz dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD). Doktorantka podkreśla przy tym trudności w przygotowaniu wysokiej jakości powierzchni badanych próbek U-Mo i U-Nb, które mają tendencję do szybkiego utleniania się. Tutaj nasuwa się pytanie, czy takiej tendencji do szybkiego utleniania nie miały pozostałe próbki i jak z nimi postępowano? W celu usunięcia tlenków na powierzchni zastosowane zostały m.in. techniki frezowania wiązką jonów Ar z precyzyjnym systemem polerowania jonowego (PIPS) oraz frezowania *in situ* (w komorze SEM) zogniskowaną wiązką jonów (FIB). Dalej znajduje się opis metod badań właściwości termodynamicznych, transportowych oraz magnetycznych otrzymanych próbek. Pomiary ciepła właściwego i oporności elektrycznej układów U-T typu *„splat"* w zakresie 0,4 – 300 K zostały wykonane z użyciem standardowej aparatury PPMS, wyposażonej w nadprzewodzący magnes 9 T i 14 T. Natomiast do pomiarów

oporności elektrycznej w zakresie 70 mK – 0,4 K użyto chłodziarki rozcieńczalnikowej $^3He/^4He$ z systemem chłodzenia w obiegu zamkniętym ze zintegrowanym magnesem nadprzewodzącym. Pomiary zależności podatności magnetycznej od temperatury w zakresie 2 – 300 K i pętli histerezy w wybranych temperaturach zostały wykonane z użyciem PPMS (DC i AC) i w polu magnetycznym do 9 T lub do 14 T. Pomiary namagnesowania w funkcji temperatury z opcją DC wykonane zostały za pomocą systemu MPMS opartego na nadprzewodnikowym interferometrze kwantowym (SQUID). W tym miejscu oraz w „Spisie ważniejszych symboli" Doktorantka niefortunnie tłumaczy tę nazwę na j. polski jako „nadprzewodzącego interferometru kwantowego elementu". Poza tym szkoda, że w powyższym spisie brakuje wielu innych skrótów używanych w rozprawie metod.

Natomiast kolejne zasadnicze, długie Rozdziały 4-7, obejmujące w sumie 53 strony, przedstawiają w bardzo zwięzły i systematyczny sposób oryginalne wyniki badań Doktorantki i współpracowników dla poszczególnych układów typu „*splat*" i ich wodorków: U-Nb i U-Nb-H (Rozdział 4); U-Ru i U-Ru-H (Rozdział 5); U-Pt i U-Pd (Rozdział 6); U-Ti i U-Ti-H (Rozdział 7), które stanowią podstawę recenzowanej rozprawy. W szczególności należą do nich wyniki pomiarów struktury krystalicznej ww. układów $U_{1-x}T_x$ o różnych koncentracjach x domieszek atomów pięciu pierwiastków metali *d*-elektronowych T = Nb, Ru, Pt, Pd i Ti oraz ich wodorków $(UH_3)_{1-x}T_x$, które uzyskano tylko dla domieszek atomów trzech pierwiastków T = Nb, Ru i Ti. Następnie określone zostały właściwości nadprzewodnictwa w układach wyjściowych oraz ferromagnetyzmu w ich wodorkach (porównane z wynikami dla analogicznych układów z T = Mo i Zr opisanych w Rozdziale 2). W sumie Doktorantka otrzymała i zbadała różnymi metodami 42 próbki typu „*splat*" o różnej koncentracji x < 0,30 atomów domieszek T (w tym 4 dla czystych faz α-U, γ-U, α-UH_3, γ-UH_3) w ramach ww. 8 rozpatrywanych układów, dzięki czemu zebrała bogaty zbiór wartościowych wyników do analizy porównawczej.

Do najważniejszych osiągnięć opisanych w rozprawie doktorskiej można zaliczyć:

1) Wykazanie skuteczności zastosowania ultraszybkiego chłodzenia metodą „ruchomych kowadeł" z szybkością chłodzenia rzędu 10^6 K/s w stabilizacji, w temperaturze pokojowej, fazy regularnej γ-U w próbkach typu „*splat"* związków $U_{1-x}T_x$ dla wybranych koncentracji x = 0,20 dla atomów T = Nb, x = 12 i 15 dla T = Ru, x = 15 dla T = Pt oraz x = 30 dla Ti, a także możliwości zwiększenia przy tej szybkości chłodzenia koncentracji atomów Ru oraz Pt w takich układach „*splat*" w stosunku do próbek objętościowych typu *„bulk*", zwanych przez Doktorantkę litymi.

2) Wykrycie nadprzewodnictwa we wszystkich badanych układach U-T (dla T = Nb, Ru, Pt, Pd, Ti) typu „*splat*" z bardzo niską temperaturą krytyczną T_{SC} w przedziale 0,40 – 1,95 K, tak więc nieco niższą niż T_{SC} = 2,11 K otrzymana dla najlepszej próbki referencyjnej z T = Mo. Wyznaczenie innych kluczowych makroskopowych parametrów i charakterystyk ww. nadprzewodników II rodzaju, takich jak wartości (w zakresie 1,0 – 6.0 T) i nietrywialne (wielomianowe) zależności górnego pola krytycznego od temperatury, szerokości przejścia do stanu nadprzewodzącego w oporności właściwej oraz charakter anomalii ma wykresie temperaturowej zależności ciepła właściwego. Warto podkreślić, że dla wszystkich badanych próbek U-T (T = Nb, Ru, Pt, Ti) zaobserwowano tylko małą anomalię w cieple właściwym niższą niż oczekiwana w ramach teorii BCS (w przeciwieństwie do próbki referencyjnej $U_{0,85}Mo_{0,15}$).

3) Wykazanie, że związki U-T typu „*splat*" mogą absorbować wodór H_2 pod wysokim ciśnieniem (100 bar) dla T = Nb, Ru oraz Ti, tworząc wodorki $(UH_3)_{1-x}T_x$ w postaci mieszaniny faz α-UH_3 i γ-UH_3, stabilnej w powietrzu i niepiroforycznej.

4) Zaobserwowanie, że wszystkie zbadane wodorki są ferromagnetykami z temperaturą Curie T_C w zakresie 185 - 202 K, a także mają podobną tendencję do wzrostu T_C wraz ze wzrostem koncentracji atomów T i osiągniecia wartości maksymalnej przy stężeniu x = 0,13-0,17, a następnie do jej spadku z dalszym wzrostem koncentracji x. Wreszcie otrzymanie dla rozpatrywanych wodorków namagnesowania spontanicznego w zakresie 0,80 - 1,0 μ_B, a także dla wybranych wodorków szerokich pętli histerezy z pojedynczym skokiem Barkhausena.

Sposób opracowania materiału badawczego w Rozdziałach 4-7 w mojej ocenie jest lepszy językowo niż we wcześniejszych rozdziałach, ale stylowo nadmiernie skondensowany. W tekście podawanych jest szereg wartości parametrów nadprzewodnictwa czy magnetyzmu niczym w raporcie laboratoryjnym, które i tak zebrane są w przydatnych zbiorczych tabelach dla każdego układu, dlatego warto było się skupić raczej na ich bardziej zaawansowanej dyskusji. Brakuje tu próby głębszej interpretacji wyników, np. pod kątem określenia przyczyn odstępstw charakterystyk nadprzewodnictwa od przewidywań teorii BCS w układach U-T czy też określenia rodzaju oddziaływań i mechanizmów, prowadzących do porządku ferromagnetycznego w wodorkach U-T-H. Rodzą się tutaj następujące pytania: Czy nadprzewodnictwo w badanych układach występuje jako jedna faza w całej próbce, czy jest raczej zróżnicowane w domenach związanych z poszczególnymi fazami? Co jeszcze oprócz wpływu nieporządku strukturalnego może prowadzić do obniżenia anomalii

w przebiegu temperaturowym ciepła właściwego względem przewidywań teorii BCS? Czy może to być nadprzewodnictwo dwu- lub wielopasmowe z silniejszym sprzężeniem elektron-fonon? Jaka jest przewidywana wielkość i kształt przerwy energetycznej w tych nadprzewodnikach? Może jednak, biorąc pod uwagę wysokie pola krytyczne i ich wielomianowe zależności temperaturowe, niektóre z tych nadprzewodników mogą być niekonwencjonalne? Czy dwa przejścia nadprzewodzące w próbce $U_{0,85}Pt_{0,15}$ mogą wskazywać na obecność obcej fazy np. nadprzewodnika UPt_3?
Jakie może być źródło i mechanizm uporządkowania ferromagnetycznego w badanych wodorkach U-T-H? Jaki jest tu wpływ nieporządku strukturalnego i obecności obcych domieszek? Z czego wynikają znaczące różnice pomiędzy uzyskanymi wartościami momentów efektywnych, czy mogą one wynikać z innej konfiguracji elektronowej jonów uranu, związanej ze zmianą odległości międzyatomowych oraz rozkładu atomów domieszkowych?

Dysertacja zakończona jest krótkim Rozdziałem 8 „Podsumowanie i wnioski", który szczegółowo i syntetycznie wymienia najważniejsze wyniki rozprawy, pokaźną Bibliografią, obejmującą 149 pozycji w porządku alfabetycznym nazwisk pierwszych autorów oraz osobno 7 odnośników do stron internetowym. Jako dodatki zawiera Listę 13. publikacji autorki, związanych z rozprawą doktorska, oraz jej pozostałych 3 publikacji z okresu studiów doktoranckich, a także wykaz 11. Referatów, dotyczących tematyki doktoratu (+ jednego innego), wygłoszonych przez Doktorantkę na konferencjach naukowych, jak również 4. plakatów konferencyjnych (miałam przyjemność wysłuchać niektórych z ww. prezentacji), oraz Spis rysunków i tabel. Warto podkreślić, że Doktorantka ma już bogaty jak na młodego naukowca całkowity dorobek naukowy 21. oryginalnych publikacji w bazie ORCID. To świadczy o bardzo wysokiej aktywności naukowej p. Sowy.

Wśród 13. publikacji, dokumentujących systematycznie oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w ramach rozprawy doktorskiej, aż 10 z nich ukazało się drukiem w międzynarodowych recenzowanych czasopismach naukowych z bazy *Journal Citation Reports* (JCR) na podstawie *Web of Science* (WoS) ze współczynnikiem wpływu (*impact factor*, IF), które podaję poniżej dla danego roku publikacji. Większość z nich została opublikowana w czasopismach specjalistycznych w obrębie fizykochemii ciała stałego oraz inżynierii materiałowej o średniej randze naukowej: w tym 4 w *Physica B* (IF ~ 1,9), 2 w *Advances in Natural Sciences – Nanoscience and Nanotechnology* (IF ~ 1,3-2,0) oraz po jednej w *Physica C* (IF ~ 1,1), *Journal of Alloys and Compounds* (IF ~ 3,0), *Acta Metallurgica Sinica - English Letters* (IF ~ 1,5). Sumaryczny współczynnik wpływu 10

publikacji IF ~ 17,0 jest wysoki, ale daje średni IF ~ 1,7 przypadający na jedną publikację z bazy JCR. Publikacje ocenione już przez recenzentów ww. czasopism naukowych zawierają prezentacje szeregu wartościowych wyników, omawianych w rozprawie doktorskiej, i spełniają wysokie standardy pod względem merytorycznym oraz edytorskim. Natomiast sumaryczna liczba cytowań ww. publikacji w styczniu 2022 r. w bazie WoS wynosiła 34, w tym największe uznanie w środowisku naukowym zdobyła publikacja [10] Krupska M., Kim-Ngan N.-T.H., Sowa S., Paukov M., Tkach I., Drozdenko D., Havela L., Tarnawski Z. (2016). *Structure, electrical resistivity and superconductivity of low-alloyed γ-U phase retained to low temperatures by means of rapid cooling*. Acta Metallurgica Sinica-English Letters **29**, 388–398, która była cytowana 11 razy. Wszystkie wspomniane wyżej publikacje są wieloautorskie, przy czym średnio na każdą z nich przypada 7,8 współautorów, w tym pani Promotor. Jednak należy podkreślić, że p. Sowa jest pierwszą autorką w 4 z nich, co świadczy o jej wiodącej roli w powstawaniu tych prac, opublikowanych w *Physica B* oraz 3 czasopismach o niższej randze (Acta Physica Polonica A oraz dwóch nieposiadających IF).

Mam także inne uwagi krytyczne do rozprawy. Doktorantka używa wielokrotnie w rozprawie terminów „struktura/faza kubiczna", zamiast „struktura/faza regularna", które pojawiają się już w „Streszczeniu w j. polskim" na str. 9 w słowach kluczowych. Dodatkowo w tym Streszczeniu pojawiają się błędy gramatyczne: „wodór pod wysokim ciśnienia" zamiast „… ciśnieniem"; „Stabilizację fazy γ-U jest możliwa" zamiast „Stabilizacja … jest możliwa". W „Spisie ważniejszych symboli" na str. 13 i dalej w rozprawie znajdujemy niekonsekwentne oznaczenia wielkości. Przyjętym symbolem temperatury w omawianym tekście jest litera „*T*", ale zdarza się jej oznaczenie pisane bez kursywy, np. w definicji „górne pole krytyczne w granicy T → 0 wyrażone w [T]", gdzie pokrywa się ono z oznaczeniem jednostki Tesli „[T]". Poza tym niezbyt fortunnie wybrany jest symbol na oznaczenie temperatury krytycznej przejścia do stanu nadprzewodzącego „T_c", który ciężko jest odróżnić od temperatury Curie „T_C", ponieważ indeksy dolne różnią się między sobą tylko wielkością litery „c". Lepiej byłoby przyjąć często używany w literaturze symbol „T_{SC}" dla temperatury krytycznej nadprzewodnika. Na str. 14 oprócz wyżej wspomnianego błędnego tłumaczenia skrótu „SQUID" na j. polski, pojawia się np. literówka w ang. nazwie „*Electron Bacscatter Diffraction*" – powinno być „.. *Backscatter* ..." oraz we frazie „- metoda kowadeł … prezentowano w tej pracy" – zamiast „… prezentowana…". We „Wstępie" na str. 15 pierwsze zdanie „Uran może występować w 3 fazach alotropowych zwanymi fazą α-U, β-U, γ-U."

zawiera błąd gramatyczny, a poprawnie powinno brzmieć „… zwanych fazą…”. Na tej samej stronie w drugim akapicie pojawia się podobny błąd we frazie „pojawił się pomysł o ustabilizowaniu fazy” zamiast „pojawił się pomysł na ustabilizowanie fazy”. Dalej na str. 17 w drugim akapicie podany jest po raz pierwszy bez definicji symbol innej fazy urany „γ^0-U” oraz ponownie na str. 42 w punktach 3) i 4), gdzie tylko z kontekstu można się domyślić, że faza ta różni się niewielką dystorsją tetragonalną od fazy „γ-U”. Natomiast do błędów edytorskich możemy zaliczyć pomyłkowe umieszczenie jako Rys. 4.4. b) na str. 86 identycznego rysunku do Rys. 7.3 b) dla układu U-Ti zamiast analogicznego rysunku dla układu U-Nb. Natomiast w podpisie rysunku 5.7 na str. 103 brakuje informacji, że powstał na bazie rysunku z publikacji [Sowa 2018]. W podsumowaniu na str. 134 w punkcie 2c) wartości górnego pola krytycznego są podane w zakresie „1,0-4,3 T” a powinno być „1,0-6,0 T”. Na liście publikacji na str. 153 w pozycji 11 brakuje nazwiska p. Sowy.

Podsumowując, uważam, że recenzowana rozprawa doktorska pani mgr. inż. Sylwii Sowy jest spójna tematycznie i stanowi oryginalne rozwiązanie aktualnego problemu naukowego w zakresie fizyki ciała stałego, które doczekało się także niezależnej pozytywnej oceny recenzentów 13 publikacji o zasięgu międzynarodowym.

Pomimo dostrzeżonych usterek i braków, wysoko oceniam poziom naukowy dysertacji, która przedstawia opracowanie bogatego zbioru dobrej jakości wyników, uzyskanych, dzięki opanowaniu przez p. Sowę zaawansowanego, szerokiego warsztatu badawczego, oraz zawiera ich rzeczową dyskusję. Dzięki temu rozprawa wnosi istotny i rzetelny wkład w rozpoznanie struktury krystalicznej oraz charakterystyk nadprzewodnictwa i ferromagnetyzmu w wybranych układach związków uranu z atomami metali przejściowych *d*-elektronowych. W mojej ocenie spełnia ona wszystkie zarówno ilościowe jak i jakościowe ustawowe i zwyczajowe kryteria stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych oraz wyróżnia się pod względem znaczącego dorobku naukowego w postaci publikacji i prezentacji konferencyjnych. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie pani mgr. inż. Sylwii Sowy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.