

Prof. dr hab. Tadeusz Domański
Katedra Fizyki Teoretycznej
Instytut Fizyki
Uniwersytet M. Curie-Skłodowskiej
20-031 Lublin

Lublin, 24 lipca 2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Jarosława Juraszka pt.
„Określenie symetrii przerw energetycznych w dwupasmowych nadprzewodnikach $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$ i $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ w oparciu o badania dolnego pola krytycznego”

Przedłożona rozprawa doktorska ma charakter doświadczalny i dotyczy aktualnie ważnego zagadnienia nadprzewodnictwa w układach wielopasmowych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na wyznaczenie symetrii przerw energetycznych. Zazwyczaj bezpośrednią metodą określania anizotropii przerw w nadprzewodnikach jest spektroskopia fotoemisyjna z rozdzielczością kątową. Taka technika pomiarowa wymaga jednak kwaziplanarnej struktury próbek i na chwilę obecną jest praktycznie niedostępna w temperaturach znacznie poniżej 10 K. Tymczasem przedmiotem badań Doktoranta były nadprzewodniki objętościowe z rodziny wypełnionych skutterudytów o wzorze stechiometrycznym MT_4Pn_{12} , gdzie M jest atomem metali alkalicznych, lantanowców lub lekkich aktynowców, T oznacza żelazo lub osm, natomiast Pn odpowiednio fosfor, arsen lub cynę. Temperatury krytyczne tych związków wynoszą od kilku do około dziesięciu kelwinów. Do wyznaczenia symetrii przerw energetycznych posłużono się więc pośrednią metodą, bazującą na pomiarze temperaturowej zależności dolnego pola krytycznego $H_{c1}(T)$. Pozwala to określić koncentrację nadciekłą $\rho_s(T)$, która w konwencjonalnych nadprzewodnikach jest ściśle powiązana ze skondensowanymi (w sensie Bose-Einsteina) parami elektronowymi. Do niskotemperaturowych pomiarów dolnego pola krytycznego wykorzystano stanowisko badawcze utworzone w Laboratorium Niskich Temperatur INTiBS PAN we Wrocławiu, przy pomocy mikroczipów Halla precyzyjnie wyznaczając wartość lokalnego namagnesowania próbek. Metoda pomiarowa sama w sobie zasługuje na spore uznanie.

Praca doktorska została przygotowana w Oddziale Badań Magnetyków INTiBS PAN we Wrocławiu pod kierunkiem prof. dra hab. Tomasza Cichorka. Od strony formalnej na zasadniczą treść rozprawy składa się cykl spójnych tematycznie czterech publikacji: *Acta Phys. Polon. A* **130**, 597 (2016); *Physica B* **536**, 813 (2018); *Phil. Mag.* **100**, 1355 (2020);

Phys. Rev. Lett. **124**, 027001 (2020). Do cyklu tych artykułów naukowych Doktorant dołączył przewodnik, w którym omówił istotę zagadnienia nadprzewodnictwa w układach wielopasmowych oraz przedstawił szczegółowy opis zastosowanych metod pomiarowych. W dalszej części przedstawię przegląd ważniejszych wyników wraz z interpretacją fizyczną i oceną ich wartości merytorycznej.

Część wprowadzająca rozprawy doktorskiej (opisana na stronach 1-30) zarysowuje zasadnicze elementy podjętej problematyki badawczej. W rozdziale pierwszym Doktorant nawiązał do zjawiska idealnego diamagnetyzmu i opisał właściwości fazy mieszanej, która realizuje się w nadprzewodnikach drugiego rodzaju pomiędzy dolnym $H_{c1}(T)$ i górnym $H_{c2}(T)$ polem krytycznym. Nawiązując do mikroskopowej teorii oraz fenomenologicznego opisu Ginzburga-Landaua przedstawiono relację $H_{c1}(T)$ z odwrotnością kwadratu głębokości wnikania a także liniową współzależność dolnego pola krytycznego z koncentracją nadprzewodzących par elektronowych $\rho_s(T)$. W objętościowych nadprzewodnikach klasycznych fluktuacje fazy parametru porządku są zanedbywalnie małe, dlatego $\rho_s(T)$ jest tam bezpośrednio obserwowalna w temperaturowej zależności przerwy energetycznej. Na taką charakterystykę temperaturową ma wpływ zarówno symetria parametru porządku, wartość stałej sprzężenia elektron-fonon, a przede wszystkim typ (singletowy lub trypletowy) parowania elektronowego. Dodatkowe niuanse uwidaczniają się w sytuacjach, gdy pary elektronów powstają przy udziale kilku pasm. Gdy sprzężenie między pasmami jest niewielkie identyfikacja poszczególnych przerw jest stosunkowo łatwa do przeprowadzenia, ponieważ wkład poszczególnych komponentów jest prawie addytywny. Natomiast sytuacja komplikuje się, gdy hybrydyzacja pomiędzy pasmami jest silna, gdyż pary elektronów mogą tworzyć się zarówno w pasmach jak też między pasmami. Doktorant wskazał przykłady niekonwencjonalnych mechanizmów parowania (m.in. w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych, związkach ciężkofermionowych, materiałach niecentrosymetrycznych) oraz wskazał kilka egzotycznych wariantów symetrii parametru porządku możliwych do realizacji w wypełnionych skutterudytach.

W kolejnym rozdziale opisano właściwości krystaliczne i przedstawiono szczegółową charakterystykę elektronową skutterudytów, które pod względem praktycznym są obiecującymi materiałami termoelektrycznymi (charakteryzując się dużym przewodnictwem ładunkowym przy słabym przewodnictwie cieplnym). Atomy M wbudowane do komórki elementarnej skutterudytów mają dużą liczbę sąsiadów, co wzmacnia rolę efektów hybrydyzacyjnych. Doktorant dokonał charakterystyki fazy nadprzewodzącej realizowanej w różnych związkach skutterydowych, wskazując empiryczne przesłanki jedno- lub dwupasmowego mechanizmu parowania elektronów. Do wielopasmowych nadprzewodników zalicza się m.in. wypełniony skutterudyt $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$ ($T_c = 10,3$ K), o czym świadczy wpływ pola magnetycznego na niskotemperaturowe ciepło właściwe. Obliczenia struktury pasmowej wskazują, że dominujący wkład do elektronowej gęstości stanów ma jedno

pasma, zaś udział drugiego oszacowano na około 4 %. Słaby wpływ defektów atomowych na wielkość przerw energetycznych sugeruje, że parowanie elektronów w poszczególnych pasmach charakteryzuje się symetrią typu s parametrów porządku. Bardziej egzotyczny wariant dwupasmowego nadprzewodnictwa realizuje się natomiast w wypełnionym skutterudycie $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$, gdzie zaobserwowano dwie temperatury krytyczne $T_{c1} \simeq 1,85$ K oraz $T_{c2} \simeq 1,75$ K. Istnieją pewne przesłanki spontanicznego łamania symetrii odróżnienia w czasie przy przejściu do fazy nadprzewodzącej (stwierdzone w pomiarach szybkości relaksacji mionów oraz efektu Kerra), co mogłoby wskazywać na ewentualny chiralny wariant nadprzewodnictwa. Rozważa się różne typy parametrów porządku możliwych w tym dwupasmowym nadprzewodniku (zilustrowane na rysunku 8), nie wykluczając nawet odmiennej symetrii par elektronowych w poszczególnych pasmach. Przypuszczalnie kontrowersje dotyczące symetrii parametrów porządku skłoniły Promotora i Doktoranta do przeprowadzenia pomiarów lokalnego namagnesowania w zakresie poniżej temperatury krytycznej w celu określenia charakteru parowania elektronów.

Dalsze rozdziały części wprowadzającej opisują preparatykę monokryształów skutterydów i metodę pomiaru lokalnego namagnesowania za pomocą mikroczytników Halla. Wskazano m.in. technologiczne aspekty otrzymywania badanych próbek, uwzględniając niekongruentność wypełnionych skutterydów. Niektóre z badanych próbek (nadprzewodzącego związku $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{14}$ i nienadprzewodzącego $\text{ThOs}_4\text{As}_{14}$) były uzyskane przez Doktoranta samodzielnie, natomiast pozostałe dostarczył profesor Zygmunt Henkie w oparciu o oryginalnie opracowany przez niego sposób hodowli monokryształów. Doświadczalne wyznaczenie temperaturowej zależności $H_{c1}(T)$ wypełnionych skutterydów uzyskano poprzez pomiar lokalnego pola magnetycznego za pomocą czujników Halla, o rozmiarach rzędu $40 \times 40 \mu\text{m}^2$, dostarczonych przez profesora Konczykowskiego z École Polytechnique (Palaiseau, Francja). Pomiaru oporu Halla poszczególnych próbek przeprowadzono w obszarze odpowiednio niskich temperatur (znacznie poniżej wartości krytycznej) na kriostacie ^3He oraz chłodziarce rozcieńczalnikowej ^3He - ^4He . Dla ustalonej temperatury wartość dolnego pola krytycznego przyporządkowano punktowi odejścia od liniowej zależności poprzecznego oporu R_{xy} względem pola magnetycznego, co odpowiada przejściu ze stanu Meissnera do fazy mieszanej z obecnością jednego lub więcej fluksonów.

Treścią rozprawy doktorskiej są cztery artykuły współautorstwa Doktoranta, z Jego zasadniczym wkładem szczegółowo określonym w załączonych deklaracjach. Formalnie część wprowadzająca nie podlega ocenie recenzenta, ale z obowiązku nauczyciela akademickiego chciałbym wyrazić następujące uwagi krytyczne: 1) w języku polskim ułamki dziesiętne zapisujemy za pomocą przecinka, Doktorant natomiast stosował konwencję anglojęzyczną; 2) sformułowanie *Pojawienie się parametru porządku jest związane ze spontanicznym naruszeniem jakiegokolwiek rodzaju symetrii* na stronie 5 jest dość niefortunne, ponieważ przejście fazowe drugiego rodzaju do stanu nadprzewodzącego ma ściśle związek ze spontanicznym łamaniem symetrii cechowania pola elektromagnetycznego, którego

ważną konsekwencją fizyczną jest efekt Meissnera. Przejdę teraz do wyników rozprawy doktorskiej przedstawionych w poszczególnych publikacjach naukowych.

- [A1] *Specific heat of the filled skutterudite superconductors $\text{LaOs}_4\text{As}_{12}$,*
J. Juraszek, Z. Henkie, T. Cichorek, Acta Physica Polonica A **130**, 597 (2016).

W pracy przedyskutowano wyniki pomiarów temperaturowej zależności ciepła właściwego dla fazy nadprzewodzącej wypełnionego skutterudytu $\text{LaOs}_4\text{As}_{12}$, którego temperatura przejścia wynosi $T_c=3,2$ K. Autorzy oszacowali temperaturę Debye’a i Einsteina oraz następnie określili wkład elektronowy, odejmując od ciepła właściwego w nieobecności pola magnetycznego wartość zmierzoną dla $B = 1$ T (czyli znacznie powyżej górnego pola krytycznego $B_{c2}(0) \simeq 0,7$ T). Charakterystyka elektronowego ciepła właściwego wykazała zachowanie zbliżone do przewidywań mikroskopowej teorii BCS, z nieco mniejszym skokiem w punkcie przejścia fazowego. Szczegółowo analizując zależność elektronowego ciepła właściwego w zakresie do temperatury 0,38 K ($\sim 0,09 T_c$) autorzy stwierdzili dwupasmowy charakter parowania elektronowego. Dopasowanie fononowego modelu nadprzewodnictwa do pomiarów doświadczalnych wskazało 40-procentowy udział par Coopera o przerwie energetycznej $\Delta_1 = 1,86 k_B T_c$ oraz 60-procentowy wkład par elektronowych o przerwie $\Delta_2 = 1,23 k_B T_c$. Przypuszczalnie obie przerwy energetyczne zanikają jednocześnie (tzn. w temperaturze 3,2 K), co jest typowe dla układów o silnej hybrydyzacji pasm. Oprócz przesłanek dwupasmowego charakteru nadprzewodnictwa zaobserwowanych w pomiarach ciepła właściwego autorzy wykazali również dodatkowe argumenty przemawiające na rzecz takiej interpretacji w oparciu o temperaturową zależność górnego pola krytycznego $B_{c2}(T)$. Przy zbliżaniu się do temperatury T_c stwierdzono dodatnią krzywiznę górnego pola krytycznego, co zwykle ma miejsce w przypadku nadprzewodnictwa wielopasmowego. Z własnego doświadczenia wiem, że taka sytuacja może realizować się nawet w jednopasmowych modelach par elektronowych, gdy przejście do nadprzewodnictwa zachodzi poprzez uzgadnianie fazy zespolonego parametru porządku. W omawianym tutaj przypadku taki scenariusz parowania raczej jednak nie realizuje się.

- [A2] *Anomalous enhancement of the lower critical field deep in the superconducting state of $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$,* J. Juraszek, L. Bochenek, R. Wawryk, Z. Henkie, M. Konczykowski, T. Cichorek, Physica B **536**, 813 (2017).

Artykuł opisuje intrygującą anomalię dolnego pola krytycznego zaobserwowaną dwoma technikami pomiarowymi w polikrystalicznych i monokrystalicznych próbkach wypełnionego skutterudytu $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$ znacznie poniżej temperatury krytycznej ($T_c = 10,4$ K). Charakterystykę $H_{c1}(T)$ próbek polikrystalicznych wyznaczono w zakresie temperatur do 1,8 K za pomocą komercyjnego interferometru typu SQUID. Alternatywną metodę określenia dolnego pola krytycznego z wykorzystaniem mikrosond Halla ($100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$) zastosowano do próbki monokrystalicznej o gabarytach $0,14 \times 0,27 \times 0,12 \text{ mm}^2$.

W tym drugim przypadku pomiary lokalnego namagnesowania wzdłuż kierunku [111] przeprowadzono w zakresie temperatur do 0,4 K. Obie metody wykazały silny wzrost dolnego pola krytycznego głęboko w stanie nadprzewodzącym, w okolicach temperatury $0,3 T_c$. Efekt ten autorzy przypisali obecności dwóch przerw energetycznych w analogii do dwupasmowego nadprzewodnictwa wypełnionego skutterudytu $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ zaobserwowanego wcześniej przez Promotora i współpracowników [PRL **94**, 107002 (2004)]. Silny wzrost dolnego pola krytycznego (niemal o 40 procent) niewątpliwie świadczy o obecności dwóch różnych przerw energetycznych. Powyżej wspomnianej anomalii stwierdzono standardowe zachowanie $H_{c1}(T) = \left[1 + \left(\frac{T}{T_c}\right)^2\right] H_{c1}(0)$, co marginalizuje wpływ anizotropii.

[A3] *Crystal growth, low-temperature specific-heat, and electronic structure of the filled skutterudite compound $\text{ThOs}_4\text{As}_{12}$,*
J. Juraszek, K. Rola, M. Samsel-Czekala, T. Cichorek, Z. Henkie,
 Philosophical Magazine **100**, 1355 (2020).

Doktorant opisał proces fabrykacji monokryształów $\text{ThOs}_4\text{As}_{12}$ i analizę ich właściwości strukturalnych oraz elektronowych. Motywacją podjętych badań była próba ewentualnego odkrycia nadprzewodnictwa tego rodzaju wypełnionego skutterudytu. W tym celu przeprowadzono pomiary ciepła właściwego w zakresie temperatur od 15 K do 0,38 K. Wyniki (przedstawione na rysunku 2) nie wykazały pojawienia się przejścia fazowego. Szczegółowa analiza temperaturowej zależności ciepła właściwego pozwoliła określić wkład fononów akustycznych (z charakterystyczną wartością Debye’a $\theta_D = 350$ K) oraz modu Einsteina (o charakterystycznej wartości $\theta_E = 62,5$ K) pochodzącego od atomu Th. Ponadto wyznaczono współczynnik Sommerfelda $\gamma = 3,4$ mJ/(mol K²), świadczący o niewielkiej gęstości stanów elektronowych w otoczeniu energii Fermiego. Fakt ten został potwierdzony obliczeniami struktury pasmowej, które wykazały półprzewodnikowy charakter $\text{ThOs}_4\text{As}_{12}$ ze skośną przerwą energetyczną 0,5 eV między punktami Γ oraz N strefy Brillouina. Komplementarne pomiary podatności magnetycznej również nie wykazały jakichkolwiek oznak nadprzewodnictwa w zakresie temperatur aż do 0,09 K. Autorzy sformułowali przypuszczenie, że badany związek może być kandydatem topologicznego izolatora Kondo. Ciekawy jestem czy taka hipoteza została zweryfikowana doświadczalnie.

[A4] *Symmetry of order parameters in multiband superconductors $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$ and $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ probed by local magnetization measurements,*
J. Juraszek, R. Wawryk, Z. Henkie, M. Konczykowski, T. Cichorek,
 Physical Review Letters **124**, 027001 (2020).

Przy pomocy magnetometrii Halla wyznaczono temperaturową zależność dolnego pola krytycznego monokrystalicznych próbek kilku wybranych przedstawicieli wypełnionych skutterudyków: $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$, $\text{LaOs}_4\text{As}_{12}$, $\text{PrRu}_4\text{As}_{12}$, $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$. Zasadniczą dyskusję uzyskanych wyników przedstawiono dla związków $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$ i $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$, w których

stwierdzono anomalię [silny wzrost] $H_{c1}(T)$ znacznie poniżej temperatury krytycznej. W obu przypadkach nieciągłość pochodnej $dH_{c1}(T)/dT$ typu *kink* zaobserwowana w pobliżu temperatury $0,3 T_c$ sugeruje dwupasmowy charakter parowania elektronowego o słabej hybrydyzacji między nimi. Autorzy przeprowadzili wnikliwą analizę symetrii poszczególnych przerw energetycznych wykazanych w pomiarach lokalnego i globalnego namagnesowania próbek. Rozszerzając dyskusję wcześniejszej pracy [A2] dla nadprzewodzącego $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$ zidentyfikowano jako obie przerwy jako izotropowe. Natomiast w przypadku $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ dostrzeżono wyraźną jakościową różnicę temperaturowej zależności dolnego pola krytycznego w obszarze poniżej/powyżej anomalii. Pomiedzy anomalią i temperaturą krytyczną przebieg zależności $H_{c1}(T)$ był zgodny z przewidywaniami teorii BCS dla nadprzewodnika z parametrem porządku typu *s*. Natomiast obszar niskotemperaturowy charakteryzował się niemal liniowym wzrostem $H_{c1}(T)$ ze zmniejszaniem T , wskazując anizotropowość jednej z przerw. Satysfakcjonujące dopasowanie wyników doświadczalnych w zakresie poniżej anomalii uzyskano, zakładając symetrię typu *d* parametru porządku z występowaniem obszarów nodalnych przerwy energetycznej. Nadprzewodnictwo wypełnionego skutterudytu $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ jest więc realizowane w wyniku dwupasmowego parowania elektronowego o odmiennych typach symetrii parametru porządku.

Podsumowując, mgr Jarosław Juraszek przeprowadził szereg badań doświadczalnych dostarczając przekonujących przesłanek o dwupasmowym nadprzewodnictwie realizowanym w wypełnionych skutterudytach. Doktorant zdobył cenną umiejętność hodowli tych związków cechujących się niekongruentnością, wykorzystując oryginalną metodę opracowaną przez profesora Henkie'go. Dzięki współpracy nawiązanej z profesorem Konczykowskim oraz stażowi w École Polytechnique (Palaiseau, Francja) uzyskał dostęp do mikroczytników Halla i zdobył pożyteczne doświadczenie w posługiwaniu się nimi do pomiarów lokalnego namagnesowania, które z powodzeniem wykorzystał do badania ferromagnetyków oraz analizy fazy mieszanej nadprzewodników drugiego rodzaju. Na podkreślenie zasługuje także współuczestnictwo, pod kierunkiem Promotora, w stworzeniu stanowiska badawczego w INTiBS PAN do pomiarów fizycznych w ekstremalnie niskich temperaturach (do 0,007 K) na chłodziarce rozcienczalnikowej ^3He - ^4He . Jako teoretyk mam respekt dla wymienionych tutaj wyrafinowanych technik badawczych i do osób potrafiących posługiwać się nimi. Moim zdaniem, identyfikacja parametrów porządku nadprzewodników wielopasmowych poprzez pomiar lokalnego namagnesowania za pomocą mikromagnetometrii Halla jest niekwestionownie istotnym osiągnięciem naukowym. Wyznaczona w ten sposób temperaturowa zależność przerw energetycznych jest w stanie jednoznacznie wskazać udział par elektronowych z dwóch (lub więcej) słabo sprzężonych pasm. Zależność temperaturowa wskazuje także pośrednio na rodzaj symetrii funkcji falowej par elektronowych, chociaż nie gwarantuje pełnej jednoznaczności w przypadku silnie anizotropowych typów np. między parowaniem o symetrii typu *d* lub *p*, o czym wspomina

Doktorant w postscriptum swojej rozprawy doktorskiej.

Nie mam żadnych uwag krytycznych do publikacji [A1-A4] zrecenzowanych przez kompetentnych ekspertów problematyki wypełnionych skutterudytów. Poza artykułami składającymi się na treść przedłożonej rozprawy Doktorant jest współautorem kilku innych prac opublikowanych w *Physical Review Research* (2 artykuły), *Nature Communications* (1 praca), *physica status solidi* (1 artykuł), *J. Electron. Matter* (1 artykuł) oraz kolejnej pracy dostępnej w bazie preprintów (arXiv:2302.03365). Mgr Juraszek uczestniczył w realizacji grantu Opus (2016/21/B/ST3/02361) w charakterze stypendysty i dwóch grantów dla młodych naukowców i doktorantów INTiBS PAN. Odbił staż naukowy w Palaiseau koło Paryża (Francja) oraz kurs szkoleniowy fizyki niskich temperatur w Koszycach (Słowacja). W dotychczasowej aktywności popularyzującej swoją pracę badawczą mgr Juraszek wygłosił cztery referaty i przedstawił siedem plakatów podczas specjalistycznych konferencji oraz był współautorem ponad dziesięciu innych wykładów przedstawionych przez Promotora, profesora Tomasza Cichorka. W uznaniu dla osiągnięć badawczych Fundacja na rzecz Nauki Polskiej przyznała Mu w 2021 roku prestiżowe *Stypendium Dla Młodych Uczonych*.

Rozprawa doktorska magistra Jarosława Juraszka wnosi istotny wkład w zrozumienie unikalnych właściwości dwupasmowego nadprzewodnictwa realizowanego w objętościowych próbkach wypełnionych skutterudytów. Za szczególne osiągnięcie uznałbym oryginalną metodę wyznaczania temperaturowej zależności przerwy energetycznej sparowanych elektronów poprzez pomiar lokalnego namagnesowania monokrystalicznych próbek przy pomocy mikrosond Halla. Przy pomocy takiej techniki wykazano m.in. odmienną symetrię parametrów porządku (funkcji falowej par elektronowych) w $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$. Istnieje nawet ewentualna możliwość, że mniejsza przerwa energetyczna (w zakresie poniżej $0,3 T_c$) pochodzi of fazy chiralnej związanej z istnieniem topologicznie nietrywialnego nadprzewodnictwa. Przedłożona rozprawa spełnia wszystkie zwyczajowe i prawne wymagania określone w *art. 13 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2017, poz. 1789)* oraz *rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30.01.2018 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postpowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. 2018, poz. 261)*. Na tej podstawie wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu o dopuszczenie pana magistra Jarosława Juraszka do publicznej obrony oraz dalszych etapów Jego przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę wysoki poziom przeprowadzonych badań doświadczalnych odzwierciedlony publikacjami w prestiżowych czasopismach naukowych (uwzględniając również artykuły spoza rozprawy) wnioskuję jednocześnie o wyróżnienie pracy doktorskiej.

Jacek Dominiński