

UNIwersytet Jagielloński
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej

Prof. dr hab. Andrzej Michał Oleś

Ocena rozprawy habilitacyjnej
"High-temperature superconducting state in systems
with conventional and unconventional pairing mechanism"
czyli: **"Wysokotemperaturowy stan nadprzewodzący w układach**
o konwencjonalnym oraz niekonwencjonalnym mechanizmie parowania"
oraz dorobku naukowego Pana dra inż. Artura P. Durajskiego

Pan dr inż. Artur P. Durajski uzyskał stopień doktora na podstawie wyróżnionej rozprawy doktorskiej pt. *"Właściwości termodynamiczne wysokociśnieniowego stanu nadprzewodzącego w związkach wodorowych"*, obronionej na Wydziale Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Zielonogórskiego, w roku 2014; od roku 2014 jest zatrudniony w Instytucie Fizyki Politechniki Częstochowskiej na stanowisku adiunkta. W latach 2015 i 2018 odbył trzymiesięczne staże naukowe w Uniwersytecie *La Sapienza* w Rzymie, oraz w *Jiangsu Normal University* w Chinach.

Działalność naukowa p. dra A. P. Durajskiego, zwanego dalej Autorem, koncentruje się wokół zagadnień związanych z własnościami nadprzewodników wysokotemperaturowych oraz odkrytych niedawno nadprzewodników typu H_3S pod wysokim ciśnieniem. Te dwa nurty tematyczne prac Habilitanta to badania teoretyczne:

- (1) możliwości mechanizmu elektron–fonon wyjaśnienia wysokich wartości T_c w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych pod wysokim ciśnieniem, oraz
- (2) własności wybranych nadprzewodników wysokotemperaturowych w kontekście oddziaływania elektron–fonon.

Rozprawa habilitacyjna dotyczy zagadnień objętych tematami (1) i (2), przy czym badania w temacie (1) są głównym tematem w związku ze stosunkowo niedawnym odkryciem nadprzewodnictwa w H_3S i związkach pokrewnych, oraz mniejsze znaczenie mechanizmu elektron–fonon w nadprzewodnikach wysokotemperaturowych. Moją ocenę dorobku naukowego Habilitanta rozpocznę od dyskusji wyników merytorycznych uzyskanych przez Niego w pracach opublikowanych wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej.

Badania prowadzone przez p. dra inż. A. P. Durajskiego doprowadziły do powstania cyklu dziesięciu tematycznie ze sobą związanych prac, traktujących kompleksowo problem oddziaływania elektron–fonon jako mechanizmu nadprzewodnictwa w wybranych nadprzewodnikach wysokotemperaturowych oraz H_3S pod ciśnieniem. Wszystkie prace ukazały się w czasopiśmie o szerokim zasięgu, w tym:

- 3 prace w prestiżowym czasopiśmie o dość wysokim impakcie ($IF \simeq 4.2$) *Scientific Reports*;
- 2 prace w znanym czasopiśmie o dość wysokim impakcie [$IF \in (2.6, 3.0)$] *Annalen der Physik*,
- 2 prace w znanym czasopiśmie dotyczącym nadprzewodnictwa *Physica C* o dość niskim niestety $IF \simeq 1.1$,
- oraz po 1 pracy w *Journal of Chemical Physics*, *Superconductor Science and Technology*, oraz *Frontiers of Physics* (wszystkie $2.3 < IF < 2.9$) .

Tym samym został spełniony warunek opublikowania pracy habilitacyjnej. Publikacje ukazały się w czasopiśmie o szerokim zasięgu i niektóre z nich są dość licznie cytowane, ale brak jest obszerniejszych lub bardzo ważnych prac w najlepszych czasopiśmie, jak *Physical Review B* czy *Physical Review Letters*.

Na wstępie warto podkreślić, że wśród prac składających się na habilitację są dwie prace monoautorskie; natomiast pozostałe osiem prac powstało w małych zespołach 2-3 osobowych, co jest obecnie zjawiskiem powszechnym i może świadczyć o dobrym poziomie tych prac. Zwraca uwagę fakt, że w pięciu pracach składających się na habilitację Pan Durajski jest pierwszym autorem, a w trzech pozostałych — drugim. Świadczy to niewątpliwie o Jego dominującym lub istotnym wkładzie w uzyskane wyniki omawiane w tych pracach. Obowiązkiem recenzenta jest w tej sytuacji ustalenie, w jakim stopniu prace objęte rozprawą stanowią samodzielny dorobek naukowy Habilitanta. Jest to możliwe dzięki oświadczeniom współautorów dołączonym do dokumentacji przewodu habilitacyjnego.

Główny współautor (8 prac wspólnych), dr hab. R. Szczęśniak, podkreśla dominującą rolę dra A. P. Durajskiego w wykonanych pracach, oraz określa swój udział na 20–50 %, przy czym 50 % dotyczy prac [A5], [A8] i [A10], w których dr Durajski jest drugim autorem. W pracach [A1], [A2] i [A10] jest trzech autorów, ale trzeci z autorów określa swój udział w każdym z przypadków na 5 %. Zwraca uwagę oświadczenie Prof. Luciano Pietronero, z którym Autor współpracował podczas pobytu w Uniwersytecie *La Sapienza* w Rzymie. Prof. L. Pietronero stwierdza: "*I declare that the paper ... was created with his (Durajski's) dominant participation*". W tej sytuacji, oświadczenia współautorów jak i przytoczona tu pochlebna opinia znanego eksperta w dziedzinie teorii nadprzewodnictwa pozwalają mi stwierdzić, że:

(i) prace wspólne wchodzące w skład rozprawy powstały przy dominującym bądź bardzo istotnym wkładzie twórczym ze strony dra Durajskiego, oraz

(ii) udział dra Durajskiego w obliczeniach, które doprowadziły do powstania wszystkich tych prac był bardzo istotny lub dominujący.

W tej sytuacji stwierdzam, że rozprawa habilitacyjna p. dra inż. Artura P. Durajskiego została opublikowana, a wszystkie osiem prac wspólnych wchodzących w skład rozprawy stanowią samodzielny dorobek naukowy Habilitanta, w związku z czym przedstawiona rozprawa habilitacyjna może być rozpatrywana jako podstawa do uzyskania przez Niego stopnia doktora habilitowanego.

Przejdę teraz do szczegółowej analizy wyników zawartych w pracach opublikowanych wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej, wymieniając najważniejsze wyniki i osiągnięcia Autora (cytowane numery [A1]–[A10] odnoszą się do prac objętych rozprawą wg kolejności przyjętej w omówieniu rozprawy, dołączonym przez Autora):

- Głównym wynikiem pracy [A1] jest odtworzenie korelacji pomiędzy wartością temperatury krytycznej T_c a wartością ciśnienia. Otrzymano funkcję Eliashberga w sytuacji odpowiadającej ciśnieniu 160 GPa, gdzie fonony pochodzące od siarki i od wodoru w H_2S są od siebie odseparowane. Wykazano, że wartości stosunku $2\Delta(0)/k_B T_c$ odbiegają od teorii BCS oraz możliwość istnienia fazy nadprzewodzącej w temperaturze pokojowej w tym związku. Nieprawdziwe jest jednak sformułowanie w omówieniu tej pracy poniżej wzoru (14), gdzie Autor pisze, że przedstawia *exact results concerning high-temperature superconductivity* — w rzeczywistości opis ten jest przybliżony.
- W pracy [A2] badany był efekt izotopowy dla D_3S w porównaniu do H_3S . Badania Autora sugerują, że wartość T_c w D_3S jest zaniżona (147 K zamiast 159 K), wobec czego wartość $\alpha \simeq 0.35$. Dużym sukcesem Autora jest wyróżnienie tej pracy przed edytora *Annalen der Physik*, który uznał ją za jedną z najciekawszych w roku 2016 (*Editor's choice*) i wykorzystał na okładce czasopisma w zeszycie majowym.
- Istotnym sukcesem jest też opublikowanie samodzielnej pracy [A3] gdzie Autor dokonuje ilościowej analizy nadprzewodnictwa w H_3S i PH_3 . Wykazano, że pseudopotencjał kulombowski jest redukowany przez poprawki wierzchołkowe (*vertex corrections*), a efekt ten wynosi około 10 % dla H_3S oraz 6 % dla PH_3 , przy czym wartości elektronowej masy efektywnej oraz stosunku $2\Delta(0)/k_B T_c$ pozostają niezmiennione.

- Interesujące są dwie kolejne prace [A4]–[A5], w których dyskutowana jest zależność wartości T_c od ciśnienia oraz efekt izotopowy dla siarki. W pracy [A4] przeprowadzono analizę w obszarze silnego sprężenia i pokazano, że maksymalna wartość T_c nie przekracza 203 K. Dla izotopu ^{36}S wykazano natomiast wyższą wartość $T_c \simeq 242$ K dla ciśnienia 155 kPa. W ten sposób wartość T_c zbliża się już do temperatury pokojowej.
- Praca [A6] poświęcona jest sprawdzeniu przewidywań opartych o strukturę elektronową i widmo fononów dla temperatury T_c w grupach związków: $\text{H}_3\text{S}_{0.875}\text{P}_{0.125}$, $\text{H}_3\text{S}_{0.5}\text{P}_{0.5}$, oraz $\text{H}_3\text{S}_{0.375}\text{P}_{0.625}$ pod ciśnieniem. Obliczenia odtwarzają obserwacje eksperymentalne ale nie wyjaśniają dlaczego wartość T_c maleje przy wzroście ciśnienia. Wydaje się, że te obserwacje stawiają pod znakiem zapytania możliwość syntezy nadprzewodników z tej grupy o wartościach T_c zbliżonych do temperatury pokojowej.
- Autor przeprowadził też obliczenia, które wykazały dużą wartość stałej sprężenia elektron–fonon dla związku H_3Cl , która daje wyjątkowo dużą wartość $T_c \simeq 198$ K pod ciśnieniem 150 GPa; wartość T_c maleje jednak przy dalszym wzroście ciśnienia [A7].
- W pewnym sensie uzupełniający charakter dla wniosku mają prace [A8] i [A10], w których Autor bada konsekwencje oddziaływania elektron–fonon dla nadprzewodników wysokotemperaturowych. Model użyty w pracy [A8] jest fenomenologiczny ponieważ założono tu stan nadprzewodzący o symetrii parametru porządku $d_{x^2-y^2}$. W pracy [A8] przedstawiono szczegółowe studium zależności temperatury T_c oraz anizotropii przerwy od parametrów modelu. W pracy [A10] przedstawiono wyniki teorii Eliashberga dla stanu normalnego. Podejście to eksponuje rolę oddziaływania elektron–fonon. Konkurencyjne podejście związane z oddziaływaniami elektron–elektron oraz silnymi korelacjami jest potraktowane w sposób bardzo fragmentaryczny a wybór literatury jest mało reprezentatywny. Na koniec Autor jednak słusznie zauważa, że na mechanizm parowania składają się oddziaływanie elektron–fonon oraz efekty silnych korelacji elektronowych, niestety jednak nie jesteśmy w stanie powiedzieć wiele więcej na temat powiązań między nimi.
- Osiągnięciem jest niewątpliwie samodzielna praca [A9], w której Autor dokonał analizy przerwy energetycznej w niskodomieszkowanym $\text{Bi}2212$ w funkcji temperatury i domieszkiowania. Najciekawszym wynikiem jest, że amplituda przerwy energetycznej słabo zależy od temperatury i nie znika powyżej temperatury przejścia T_c . Moje zdziwienie wzbudziło sformułowanie w podsumowaniu tej pracy, gdzie czytamy: *On the basis of the exact numerical calculations for the Bi2212 superconductor ...*, co jest mylące ponieważ model na pewno nie jest ścisły, a obliczenia dla przyjętego w tego typu pracach modelu są zawsze robione numerycznie ściśle co jest jednak faktem oczywistym.

Na zakończenie tej części jeszcze kilka uwag na temat komentarza do rozprawy habilitacyjnej dra A. P. Durajskiego, który stanowi krótkie omówienie najważniejszych wyników otrzymanych przez Habilitanta i zawartych w pracach opublikowanych. Jest to materiał o objętości 41 stron maszynopisu i jako taki nie jest artykułem przeglądowym, oraz nie stanowi niezależnego opracowania syntetycznego przedstawionej w habilitacji tematyki. Z uwagi na to, że przedstawiony autoreferat jest materiałem nieopublikowanym, nie może on stanowić części rozprawy habilitacyjnej i nie będzie brany pod uwagę w końcowej ocenie, niemniej jednak chciałbym poczynić następujące uwagi. Sam tekst jest napisany zwięźle i dla omawianego podejścia zawiera szeroki kontekst literaturowy. Pomimo tego jest on jednak w niektórych aspektach zbyt fragmentaryczny. Dla przykładu, prace reprezentujące mechanizm parowania oparty o silne korelacje elektronowe jest omówiony zbyt skrótowo i bez podania ważnych prac przeglądowych, a w to miejsce pojawia się kilka prac z ostatnich lat, niekoniecznie reprezentatywnych dla tego tematu. Taka kompletna dyskusja byłaby znacznie bardziej pożyteczna of *"Bibliometric summary"* na stronie 37.

Najistotniejszą wadą autoreferatu jest jednak brak myśli przewodniej. Brak syntetycznego podejścia do omawianych zagadnień sprawia, że nie wyeksponowano faktycznych osiągnięć Habilitanta w kontekście istniejącej literatury. Nie podjęto też próby powiązania ze sobą przedstawionych

wyników szczegółowych oraz umiejscowienia ich w szerszym kontekście. W podsumowaniu Autor nie podaje najistotniejszych w tej części informacji, czyli, co zostało zrobione i na czym polegają najistotniejsze osiągnięcia rozprawy, oraz jakie problemy zidentyfikowano, ale pozostały jeszcze nierozwiązane. Ponadto, mechanizm oddziaływania elektron–fonon dla nadprzewodników wysokotemperaturowych [A8]–[A10] jest mało przekonujący a na najważniejsze pytanie o jego rolę w tych materiałach Autor nie udziela odpowiedzi. Oczywiście problem jest otwarty a te niedociągnięcia nie są bardzo istotne i nie zmieniają mojej ogólnie pozytywnej opinii na temat rozprawy.

Podsumowując, w pracy habilitacyjnej otrzymano szereg nowych informacji na temat oddziaływania elektron–fonon w nadprzewodnikach typu H_nS pod ciśnieniem. Jestem przekonany, że prace wykonane przez Habilitanta istotnie wzbogaciły wiedzę o badanych związkach, chociaż w przypadku nadprzewodników z silnie skorelowanymi elektronami teza rozprawy jest niejasna.

Dorobek naukowy dra A. P. Durajskiego to również szereg innych prac nie objętych rozprawą habilitacyjną. Nie sposób omówić tutaj wszystkich wyników szczegółowych zawartych w tych pracach, które obejmują zagadnienia dotyczące nadprzewodnictwa w wybranych układach. W dokumentacji brak niestety wspomnienia kilku prac, które Autor uważa za najważniejsze; również autoreferat takich prac wyraźnie nie wskazuje. Chciałbym jednak podkreślić, że problemy podejmowane w pracach dra A. P. Durajskiego są ważne, o czym świadczy ich opublikowanie w czasopiśmie międzynarodowych. Jako przykład zaangażowania Autora w tematykę nadprzewodnictwa chciałbym tutaj wymienić dwie monoautorskie prace w *Phys. Status Solidi (b)* oraz *Superconductor Science and Technology* z roku 2015. Istotnym problemem jest brak współpracy z wiodącymi grupami w tej dziedzinie, co mogłoby wzbogacić tematykę i podnieść poziom prac. Staż w Uniwersytecie *La Sapienza* w Rzymie zaowocował jedną wspólną publikacją opublikowaną z Luciano Pietronero; nie zauważyłem prac powstałych w wyniku stażu w Chinach. Habilitant podaje kilka ośrodków, z którymi współpracuje, brak jednak udokumentowanych wyników tej współpracy.

Dostarczona mi do recenzji lista publikacji dra inż. A.P. Durajskiego obejmuje 55 pozycji oprócz prac [A1]–[A10] składających się na rozprawę habilitacyjną), czyli łącznie:

- 65 publikacji, czyli prac oryginalnych opublikowanych w czasopiśmie recenzowanych o zasięgu międzynarodowym, w tym zdecydowana większość (44) po uzyskaniu stopnia doktora.

Prace te znajdują się w bazie danych *Web of Science*. Dorobek publikacyjny jest zatem zupełnie wystarczający i spełnia z nadmiarem zwyczajowe wymagania dla kandydatów do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie fizyki. Warto podkreślić, że prace te są jakościowo dobre. Dorobek jest wprawdzie w większości monotematyczny, ale obejmuje też kilka prac na temat przejścia półprzewodnik–metal, kwantowych oscylacji w warstwach nadprzewodzących, oraz wybrane własności układów na bazie grafenu, co wzbogaca dorobek naukowy w istotny sposób. Brak jest jednak prac opublikowanych w najlepszych czasopiśmie: *Physical Review Letters*, *Physical Review B* lub *Physical Review X*. Pomimo tych niedostatków, dorobek ten oceniam jako ponad dobry, szczególnie biorąc pod uwagę fakt, że upłynęło tylko 5 lat od uzyskania stopnia doktora.

Prace dra inż. A.P. Durajskiego były cytowane wg *Web of Science* w okresie do 15 marca 2019 łącznie 547 razy (327 razy bez autocytowań, czyli udział autocytowań jest znacznie wyższy niż zwykle występujące około 20 %). Podobną liczbę cytowań 514 (289) podaje Autor we wniosku habilitacyjnym; rozbieżność wynika zapewne z okresu trwania procedury habilitacyjnej. Oznacza to średnio około 10 cytowań na pracę dla 55 prac opublikowanych do końca 2017 roku. Wskaźnik ten jest zatem wyższy od średniej światowej około 7 liczonej na jedną publikację z fizyki wg tej samej bazy danych. Niektóre prace były dość licznie cytowane; trzy najliczniej cytowane prace wchodziły w skład habilitacji: A. P. Durajski *et al.*, *Physica C* **515**, 1-6; A. P. Durajski *et al.*, *Ann. der Physik* **528**, 358-364; A. P. Durajski, *Sci. Rep.* **6**, 38570 — mają one odpowiednio 41, 35 i 33 cytowania. Prace objęte rozprawą [A4] i [A8] doczekały się 18 i 20 cytowań; pozostałe są mniej cytowane. Biorąc pod uwagę fakt, że wiele prac (w tym 5 prac objętych habilitacją) powstało po roku 2016 i ich obecne liczby cytowań są zapewne jeszcze dość odległe od wartości asymptotycznych, proponuję uznać wyniki dotyczące cytowalności prac za bardzo dobre. Indeks

Hirscha wynosi $h = 16$ i jest znakomity, biorąc pod uwagę, że dr Durajski uzyskał stopień doktora w roku 2014.

Uzupełnieniem publikacji są zwykle wystąpienia konferencyjne, Dr Durajski podaje 19 referatów wygłoszonych na różnego rodzaju konferencjach międzynarodowych i krajowych w Polsce; na liście jest również referat w Uniwersytecie *La Sapienza* oraz dwa spotkania na Ukrainie w roku 2010 w innej tematyce. Wprawdzie liczba wystąpień na konferencjach jest znaczna, ale brak wystąpień na ważnych konferencjach za granicą oraz referatów zaproszonych na takich konferencjach. To właśnie na takich konferencjach wyniki Habilitanta mogłyby zostać ocenione i przedyskutowane w gronie ekspertów. Sprawia to, że aktywność konferencyjna nie jest osiągnięciem w skali światowej i można ją uznać jedynie za dostateczną.

Dr inż. A. P. Durajski był wykonawcą w kilku grantach finansowanych przez NCN oraz MNiSzW oraz uzyskał grant SONATA w roku 2016. Uzyskał też kilka nagród za osiągnięcia naukowe, m.in. stypendium START FNP (2017) oraz stypendium MNiSzW dla młodych naukowców (2018). Wielokrotnie był konsultowany w sprawie publikacji prac w czasopiśmie średniej i niskiej jakości. Wszystkie te fakty świadczą o znacznym zaangażowaniu w prowadzone prace badawcze.

Wszystkie podane powyżej okoliczności pozwalają mi stwierdzić, że Pan dr inż. Artur P. Durajski uzyskał wartościowe wyniki w swojej pracy habilitacyjnej oraz posiada dobre przygotowanie do samodzielnej pracy naukowej. Jest On specjalistą w skali światowej w zakresie mechanizmu parowania w oparciu o oddziaływanie elektron–fonon i uzyskał wartościowe wyniki teoretyczne dla nadprzewodników typu H_3S pod ciśnieniem. Dorobek naukowy dra A. P. Durajskiego jest wystarczający i spełnia przyjęte zwyczajowo standardowe wymagania dla kandydatów do stopnia doktora habilitowanego z fizyki, zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym.

Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Pana dra inż. Artura P. Durajskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



Andrzej Michał Oleś

Kraków, 19 marca 2019 roku.