



Wydział
Technologii i Inżynierii
Chemicznej



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Szczecin 07.12.2022

prof. dr hab. inż. Urszula Narkiewicz

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

Katedra Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska

RECENZJA

dorobku dr inż. Piotra CHUDZIŃSKIEGO

pracownika Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN

w postępowaniu habilitacyjnym

wykonana na podstawie uchwały Prezydium Rady Doskonałości Naukowej z dn. 24.10.2022 (DRKN.Z2.400.30.2022) oraz pisma Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN z dn. 26.10.2022.

Recenzja została opracowana na podstawie złożonej przez Kandydata dokumentacji, zawierającej wnioski o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych i dyscyplinie inżynieria materiałowa, autoreferat (wersja polska i angielska) oraz wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny (również w wersji polskiej i angielskiej).

Dokumenty zostały dostarczone zarówno w formie papierowej, jak elektronicznej.

1. Sylwetka Kandydata

Obszar zainteresowań naukowych dr inż. Piotra Chudzińskiego to fizyka ciała stałego, w tym szczególnie opis teoretyczny zjawisk zachodzących w nanoskali. Najważniejszą cechą aktywności naukowej Kandydata jest jej bardzo nowatorski charakter oraz ponadnormatywna mobilność międzynarodowa. W roku 2005 Pan Piotr Chudziński rozpoczął na Université Paris XI Sud realizację pracy doktorskiej zatytułowanej „The ground state diagram and the effects induced by non-magnetic impurities in two leg Cu-O Hubbard ladders”, którą obronił z

wyróżnieniem w roku 2008. Trzeba tu zaznaczyć, że na uczelniach francuskich tego rodzaju wyróżnienie uzyskuje tylko 1-5% najlepszych doktoratów z danej promocji. Doktorat był realizowany w ramach unijnego grantu doktoranckiego Marie Curie. W następnych latach po obronie doktoratu Pan Chudziński przebywał na stażach podoktorskich w kilku wyróżniających się zagranicznych ośrodkach naukowych: w Uniwersytecie Genewskim (2008 – 2012), Uniwersytecie w Ratyzbonie (2012 – 2014), Uniwersytecie w Utrechcie (2014 – 2016) oraz Uniwersytecie w Belfaście (2017 – 2022).

Od roku 2020 Kandydat jest pracownikiem Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk.

2. Działalność naukowa

Ocena osiągnięcia naukowego

Pan Piotr Chudziński zatytułował 85-stronicowy Autoreferat przedstawiony w ramach procedury habilitacyjnej jako „Rola efektów kolektywnych w teoretycznym opisie dla inżynierii materiałów o nowych właściwościach”, natomiast opisowi swojego osiągnięcia naukowego zamieszczonego w rozdziale 2 Autoreferatu nadał bardziej szczegółowy tytuł „Współczynniki transportu w materiałach z silnym niskoenergetycznym wzbudzeniem kolektywnym”.

Na osiągnięcie habilitacyjne składa się cykl 7 jednotematycznych publikacji, w których udział Pana Piotra Chudzińskiego jest znaczący, ponieważ jest w nich jedynym autorem, bądź pierwszym autorem, albo jedynym autorem części teoretycznej. Publikacje będące przedmiotem osiągnięcia habilitacyjnego dotyczą czterech kolejnych materiałów badanych przez Habilitanta: NbSe_3 , $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$, $\text{Li}_{0.9}\text{Mo}_6\text{O}_{17}$ i Bi_2Te_3 .

We wstępie do opisu osiągnięcia habilitacyjnego Kandydat stawia tezę, że do projektowania nowych materiałów o ulepszonych właściwościach niewystarczający jest opis materiałów na podstawie stanów jednoelektronowych, gdzie skoordynowany ruch elektronów jest uśredniony oraz że istnieje możliwość poszerzenia takiego opisu przy uwzględnieniu zjawisk kolektywnych.

Pierwszym z materiałów stanowiących przedmiot badań w przedstawionym osiągnięciu habilitacyjnym jest trójselenek niobu, przedstawiciel grupy materiałów quasi-jednowymiarowych, w przypadku których w niskich energiach kluczową rolę odgrywają zjawiska kolektywne. Habilitant zajmował się poszerzeniem paradygmatu cieczy elektronowej Tomonagi-Luttingera, badając, jak taka ciecz zachowuje się w przypadku nieuporządkowania i rozproszenia energii. Stwierdził, że w przypadku NbSe_3 współistnieją dwie fazy: jednowymiarowa ciecz kwantowa Tomonagi-Luttingera bez przerwy energetycznej

oraz izolator Peierlsa z przerwą energetyczną i wyznaczył nieokreślone dotychczas wykładniki potęgowe we współczynnikach transportu, uzależniając je od oddziaływań międzykolumnowych w trójselenku niobu.

Innym materiałem badanym przez Habilitanta był bizmut w postaci czystej oraz domieszkowany antymonem, w przypadku którego okazało się, że obecność niskoenergetycznych plazmonów umożliwia wydajne przenoszenie energii cieplnej pomiędzy ciecżą elektronową a siecią krystaliczną, za co odpowiada nowy mechanizm sprzęgania z fononami akustycznymi sieci krystalicznej. Mody kolektywne w takich pół-metalach mogą zintensyfikować procesy transportu energii elektrycznej i cieplnej w materiale, prowadząc do zwiększenia sprawności termoelektrycznej.

Kolejnym materiałem stanowiącym przedmiot badań opisanych w osiągnięciu habilitacyjnym jest brąz litowo-molibdenowy (LMO), znacznie odbiegający pod względem właściwości elektronowych od innych perowskitów warstwowych. W materiale LMO kolektywne wzbudzenie ładunku odpowiada za transport elektronowy o niskiej energii. Pan Chudziński opublikował na ten temat nowatorską pracę dotyczącą zachowania tego materiału w zakresie niskich energii, w której oprócz modów kolektywnych uwzględnił również udział ekscytonów. Habilitant i współpracownicy nazwali tę nową klasę materiałów niewłaściwymi izolatorami Motta, w których właściwości izolacyjne wynikają właśnie ze sprzężenia z ekscytonami, bardzo podatnymi na działanie zewnętrznego pola magnetycznego, co może spowodować zamianę izolatora w metal.

Habilitant opisał ponadto silnie anizotropową magnetooporność zależną od orientacji próbki, uzyskując potwierdzenie swojego modelu teoretycznego na drodze eksperymentalnej. Wynika stąd, że zastosowanie silnego zewnętrznego pola magnetycznego nie jest konieczne, wystarczy zmienić kierunek namagnesowania w ferromagnetyku sprzężonym z LMO.

Praca dotycząca LMO opublikowana w *Phys. Rev. B* w 2012 r. ma najwięcej cytowań (21) spośród artykułów przedstawionych przez Pana Chudzińskiego w ramach osiągnięcia habilitacyjnego.

Ostatnim z badanych materiałów był tellurek bizmutu, znany dotychczas ze względu na swoje bardzo dobre właściwości termoelektryczne, które ulegają jeszcze znacznemu wzmocnieniu przy przejściu do skali nanometrycznej. Tellurek bizmutu należy do grupy izolatorów topologicznych, półprzewodników z wąską przerwą energetyczną, w których występują stany powierzchniowe o wysokim przewodnictwie elektrycznym. Habilitant opracował wzory analityczne do obliczania termoelektrycznego współczynnika Seebecka. Powierzchniowe stany topologiczne w tellurku bizmutu występują na dyslokacjach, w związku z czym konieczne jest obliczenie szybkości tunelowania pomiędzy stanami 3D w tym materiale, a stanami topologicznymi 1D na dyslokacjach. Habilitant wykazał w swojej

pracy, że uwzględnienie tego efektu przy odpowiedniej nanostrukturyzacji materiału może zwiększyć współczynnik Seebecka nawet dziesięciokrotnie.

We wnioskach końcowych dotyczących osiągnięcia habilitacyjnego Pan Chudziński podkreślił wagę następujących aspektów swoich badań:

1) dominację niskowymiarowych efektów kolektywnych można uzyskać:

- w materiałach o wyraźnej strukturze kolumnowej
- poprzez modyfikację nakładania się orbitali
- stosując inżynierię dyslokacji sieci krystalicznej w izolatorach topologicznych
- wytworzenie półmetali z wystarczająco anizotropowymi powierzchniami Fermiego.

2) wykładniki potęgowe we współczynnikach transportu zależą od parametrów hamiltonianu.

3) opis teoretyczny nowych zjawisk, takich jak anizotropowa magnetorezystancja umożliwiająca przejście metal-izolator czy indukowane zachowanie fotometaliczne zależne od polaryzacji padającego światła, znalazł potwierdzenie eksperymentalne.

Podsumowując, przedstawiony w ramach osiągnięcia habilitacyjnego wkład Kandydata w rozwój wiedzy o roli zjawisk kolektywnych występujących w materiałach niskowymiarowych polega na opracowaniu ulepszanego opisu współczynników transportu dla takich układów oraz opisie nowych mechanizmów transportu i rozpraszania występujących w takich systemach.

Ocena istotnej aktywności naukowej habilitanta

Na dorobek naukowy Habilitanta składają się prace opublikowane przed i po doktoracie. Tych pierwszych (artykułów z listy Journal Citation Reports opublikowanych do roku 2008 łącznie) jest 4, tych drugich ponad pięciokrotnie więcej (22 w czasopismach z listy JCR w latach 2009-2022). Z porównania tego wynika, że dorobek naukowy Kandydata po doktoracie został w znacznym stopniu powiększony.

Poza dorobkiem naukowym przedstawionym w ramach osiągnięcia habilitacyjnego Kandydat prowadził po doktoracie i opublikował wyniki badań dotyczących innych materiałów niskowymiarowych, między innymi chiralnych nanorurek węglowych, badania nad właściwościami elektronowymi których prowadził w trakcie pobytu na Uniwersytecie w Ratyzbonie, co zaowocowało opublikowaniem dwóch artykułów. Badania dotyczyły zmian przerwy energetycznej spowodowanych efektami kolektywnymi w nanorurkach węglowych o właściwościach metalicznych. Habilitant wyprowadził teorię nieelastycznego tunelowania w nanorurce zachowującej się jak kropka kwantowa z nadprzewodzącymi elektrodami wzmacniającymi efekt koherentnego przewodnictwa oraz teorię łączącą zjawiska kolektywne

ze sprzężeniem spin-orbital wywołanym w nanorurkach poprzez geometryczną krzywiznę materiału.

Z kolei na Uniwersytecie w Belfaście Kandydat zajmował się zastosowaniem najnowszych metod numerycznych do badania zjawisk zachodzących w pobliżu kwantowych przejść fazowych. Badał ferroelektryki progowe (zaczątkowe), których przedstawicielem jest tellurek ołowiu. Opracował nową metodę obliczania właściwości termoelektrycznych generowanych na dyslokacjach sieci krystalicznej.

Habilitant badał również stany nierównowagowe występujące w układach niskowymiarowych oraz prowadził badania w zakresie inżynierii struktur atomowych na powierzchni krzemu.

Dane naukometryczne Habilitanta są dobre i spełniają wymagania stawiane zwyczajowo kandydatom do stopnia doktora habilitowanego. Według danych podanych przez Kandydata w lutym 2022, indeks Hirscha jego publikacji wynosił 9. W ciągu ostatnich kilku miesięcy całkowita liczba publikacji Kandydata wzrosła do 28 (Web of Science, dostęp w dniu 5.12.2022), prace te były cytowane 508 razy (480 razy bez autocytowań), a indeks Hirscha wynosi w dalszym ciągu 9. Przeciętna liczba cytowań prac Habilitanta wynika z tego, że większość z nich została opublikowana niedawno, w ostatnich latach oraz z ich niszowego i wyprzedzającego charakteru. Największą liczbę cytowań (324) posiada interesująca praca zatytułowana „Shadow nanospere lithography – simulation and experiment” opublikowana jeszcze przed doktoratem Pana Chudzińskiego w 2004 roku w *Nano Letters*, w której jest Habilitant jest współautorem, a która powstała w wyniku badań prowadzonych w grupie prof. Michaela Giersiga.

Wkład osiągnięć Habilitanta w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Materiałowa.

Pan Piotr Chudziński w pełni zrealizował postawiony cel, to znaczy w ramach osiągnięcia habilitacyjnego przedstawił opis roli zjawisk z silnymiskoenergetycznym wzbudzeniem kolektywnym występującym w materiałach niskowymiarowych i opracował ulepszony opis współczynników transportu dla takich układów, a ponadto opis nowych mechanizmów transportu i rozpraszania występujących w takich systemach.

Osiągnięcie naukowe Kandydata prezentowane w ramach habilitacji dotyczy teoretycznego opisu współczynników transportu w nanomateriałach dwuwymiarowych. Nanotechnologia i nanonauki to relatywnie młody obszar wiedzy, rozwijany pod koniec XX i w XXI wieku. O ile w przypadku metod syntezy i charakteryzowania nanomateriałów możemy mówić o znacznym postępie, to teoretyczny opis zjawisk zachodzących w nanoskali pozostaje jeszcze nadal w tyle za praktyką. Tymczasem postęp w zakresie teorii opisujących

zjawiska zachodzące w nanoskali przyczynia się nie tylko do rozwoju wiedzy w zakresie nanofizyki i nanochemii, ale ma też decydujący wpływ na projektowanie nowych materiałów o ulepszonych właściwościach. Dlatego trzeba ocenić bardzo pozytywnie **istotny wkład Habilitanta w wypełnianie tych luk i w rozwój nanofizyki w ramach dyscypliny naukowej Inżynieria Materiałowa.**

3. Dorobek dydaktyczny, popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa

Pan Piotr Chudziński intensywnie i owocnie współpracuje z licznymi zagranicznymi ośrodkami naukowymi, głównie z uniwersytetami, w których przebywał na stażach podoktorskich – w Genewie, Ratybonie, Utrechcie i Belfaście.

Dorobek dydaktyczny Kandydata jest również determinowany jego pobytami na stażach podoktorskich, gdzie powierzano mu prowadzenie różnych rodzajów zajęć ze studentami, przeważnie z fizyki ciała stałego i matematyki. Podczas pobytu na uniwersytecie w Utrechcie ukończył 3-miesięczne szkolenie dydaktyczne. Pan Chudziński był również promotorem jednej pracy magisterskiej oraz pomagał w prowadzeniu jednego doktoratu.

Kandydat często występuje na konferencjach American Physical Society, był też zapraszany do wygłoszenia referatów na spotkaniach Swiss Physical Society oraz konferencjach NGSCES (The New Generation in Strongly Correlated Electron Systems).

W ramach popularyzowania wiedzy wśród szerokiego grona odbiorców Pan Piotr Chudziński brał udział w organizacji Research Day w Ulster Museum w Belfaście, za co otrzymał w 2020 r. nagrodę dla najlepszego młodego pracownika naukowego Wydziału Inżynierii i Nauk Fizycznych Queen's University Belfast.

4. Wniosek końcowy

Na podstawie oceny dorobku naukowego Pana dr inż. Piotra Chudzińskiego oraz osiągnięcia naukowego uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora obejmującego cykl 7 artykułów zatytułowanego „Współczynniki transportu w materiałach z silnym niskoenergetycznym wzbudzeniem kolektywnym” stwierdzam, że jest On doświadczonym, utalentowanym i samodzielnym badaczem, który chętnie podejmuje nowe wyzwania.

Dotychczasowe osiągnięcia naukowe Pana dr inż. Piotra Chudzińskiego w pełni uzasadniają ubieganie się o stopień naukowy doktora habilitowanego. Habilitant bez wątpienia posiada kwalifikacje do prowadzenia samodzielnej pracy naukowo-badawczej oraz dydaktycznej.

Dorobek naukowy Kandydata stanowi materiał upoważniający mnie, zgodnie z aktualnie obowiązującymi w Polsce przepisami, do jednoznacznego poparcia nadania dr inż. Piotrowi CHUDZIŃSKIEMU stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

