

Prof. dr hab. Marcin Mierzejewski
Katedra Fizyki Teoretycznej
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Recenzja rozprawy habilitacyjnej i dorobku naukowego
dr Konrada Kapci
ubiegającego się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Przebieg kariery naukowej i realizowane projekty naukowe

Pan dr. Konrad Kapcia uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w 2014 roku. Postępowanie dotyczące nadania stopnia doktora zostało przeprowadzone na Wydziale Fizyki UAM na podstawie rozprawy doktorskiej pt. "Uporządkowania elektronowe i ich separacje w rozszerzonym modelu Hubbarda", której promotorem był Prof. dr hab. Stanisław Robaszkiewicz.

Po uzyskaniu stopnia doktora, kariera naukowa Pana dr Konrada Kapci związana była z pracą badawczą, którą realizował w licznych ośrodkach naukowych zarówno w Polsce, jak i za granicą. W 2015 roku, w ramach projektu Etiuda, prowadził badania naukowe w Międzynarodowej Szkole Studiów Zaawansowanych (*SISA*) w Trieście, w ramach półrocznego stażu naukowego. W latach 2015-2017 był zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, następnie w latach 2017-2017 w Instytucie Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, a od 2020 pracuje na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Praca naukowa dr Konrada Kapci w każdym z tych ośrodków zaowocowała licznymi publikacjami naukowymi, które ukazały się w dobrych lub bardzo dobrych czasopismach. Warto też podkreślić jego współpracę naukową z Centrum Fizyki Laserów na Swobodnych Elektronach (CFEL) w Hamburgu, gdzie w 2015 r. odbył półroczny staż naukowy i w którym przebywa obecnie w ramach dwuletniego stażu podoktorskiego.

Pan dr. Konrad Kapcia brał udział w realizacji wielu projektów naukowych, które uzyskały finansowanie w ramach konkursów. W szczególności należy zauważyć fakt, że kierował trzema projektami finansowanymi przez Narodowe Centrum Nauki. Były to projekty realizowane w ramach następujących programów: Preludium (2011-2013), Etiuda 1 (2013-2015) Sonatina (w latach 2017-2021). Pan dr Konrad Kapcia jest współautorem 52 publikacji, które zostaną szerzej omówione w dalszej części recenzji. Wygłosił też liczne referaty (w tym wykłady zaproszone) na wielu konferencjach krajowych i zagranicznych. W świetle przytoczonych powyżej danych nie mam najmniejszej wątpliwości, że dr Konrad Kapcia wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w tym w instytucjach

zagranicznych. W mojej ocenie aktywność ta znacząco wykracza poza ustawowe wymagania oraz typowe osiągnięcia osób ubiegających się o stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Recenzja rozprawy habilitacyjnej

Oceniane osiągnięcia naukowe zostały ujęte w cyklu dziesięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, które zostały opublikowane w czasopismach objętych wykazem sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b. Cykl ten zatytułowany jest "Przemiany metal-izolator, porządek ładunkowy i efekty oddziaływania dalszego zasięgu w wybranych modelach silnie skorelowanych fermionów". Pan dr. Konrad Kapcia jest jedynym autorem dwóch spośród wyżej wymienionych prac. Wniósł dominujący wkład w powstanie siedmiu publikacji, który to wkład dr. Konrad Kapcia szacuje na 70% lub 80%. Taka ocena wkładu jest spójna z dołączonymi oświadczeniami pozostałych współautorów. W przypadku jednej z prac, dr. Konrad Kapcia oszacował wniesiony przez siebie wkład na 40%. Sumaryczny współczynnik wpływu (*impact factor*) tych publikacji przekracza 30. Na podstawie bazy *Web of Science* prace te były cytowane ok. 70 razy (33 razy bez uwzględnienia autocytowań). W mojej ocenie, liczba publikacji, ranga czasopism oraz wkład wniesiony przez dr. Konrada Kapcię w ich powstanie odpowiadają wymaganiom stawianym rozprawom habilitacyjnym. Przejdę teraz do omówienia poszczególnych prac, w kolejności odpowiadającej analizowanym zagadnieniom oraz technikom obliczeniowym.

Praca [H2] ukazała się w *Physical Review B* w 2017 r. i zawiera wyniki uzyskane przez dr. Konrada Kapcię (który jest pierwszym autorem tej publikacji) we współpracy z Prof. Robaszkiewiczem oraz M. Capone oraz A. Amaricci z Triestu. W mojej ocenie jest to najciekawsza praca wchodząca w skład recenzowanego cyklu. Autorzy analizują fazy występujące w stanie podstawowym dla modelu Hubbarda rozszerzonego o oddziaływania pomiędzy sąsiednimi węzłami sieci. Głównym celem pracy było wyznaczenie diagramu fazowego obejmującego fazy uporządkowane ładunkowo o różnej gęstości cząstek oraz fazę izolatora Motta. Badano model na sieci Bethego z wykorzystaniem dynamicznego przybliżenia średniego pola (*dynamical mean field approximation - DMFT*). W takim ujęciu badane zagadnienie mapuje się na problem dwóch efektywnych domieszek, które analizowano numerycznie wykorzystując algorytm Lanczosa. Pomimo, że diagram fazowy omawianego modelu badany był także w innych pracach, dr Kapcia uzyskał wyniki numeryczne w ramach zaawansowanego podejścia, które jest uznawane za szczególnie precyzyjne. Z tego powodu można oczekiwać, że uzyskany diagram fazowy będzie źródłem wiarygodnych informacji, które będą istotne w dalszych badaniach teoretycznych i eksperymentalnych poświęconych uporządkowaniu ładunkowemu w rozszerzonym modelu Hubbarda.

Zbliżony model, lecz bez lokalnego oddziaływania kulombowskiego badany był także w pracy [H6], która ukazała się w *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2020 r. Jest to praca dwuautorska, a dr. Konrad Kapcia jest pierwszym autorem. Rozpatrywano tę samą geometrię sieci co w pracy [H4] jednak złamana została spinowa symetria SU(2) poprzez wprowadzenie zależności całki przeskoku od rzutu spinu. Model z asymetryczną całką przeskoku może mieć zastosowanie w analizie mieszaniny ultrazimnych fermionów w sieciach optycznych. Zastosowano

przybliżenie średniego pola typu Hartee-Focka, które jest znacznie prostsze i jednocześnie mniej wiarygodne od podejścia stosowanego we wcześniej omawianej pracy [H2]. Oprócz uporządkowania ładunkowego, wyznaczony diagram fazowy uwzględnia także obecność uporządkowania antyferromagnetycznego które, jak pokazano, może współistnieć z porządkiem ładunkowym.

Rozszerzony model Falicova-Kimballa badany w cyklu prac [H4], [H5], [H7] oraz [H9] można taktować jako rezultat konsekwentnego upraszczania rozszerzonego modelu Hubbarda. Model badany w pracy [H2] posiada całość przeskoku niezależną od rzutu spinu. W pracy [H4] badano model z anizotropową całością przeskoku, natomiast w rozszerzonym modelu Falicova-Kimballa całość przeskoku dla wybranego rzutu spinu jest zerowa. O ile zastosowanie takiego przybliżenia na poziomie Hamiltonian może wydawać się bardzo drastyczne, umożliwia ono uzyskanie dokładnych wyników numerycznych lub analitycznych dla nieskończone wymiarowych sieci.

Praca [H4] ukazała się w 2017 r. w *Physical Review B* i jest rezultatem współpracy naukowej dr. Konrada Kapci z Prof. R. Lemańskim oraz Prof. S. Robaszkiewiczem. Autorzy badali rozszerzony model Falicova-Kimballa przy do połowy wypełnionym paśmie z uwzględnieniem oddziaływań lokalnych oraz pomiędzy sąsiednimi węzłami sieci. Badano przypadek, gdy wymiar sieci zmierza do nieskończoności, a dynamiczne przybliżenie średniego pola daje dokładne wyniki. Najważniejszym uzyskanym wynikiem było pokazanie, że przy dowolnie słabych lecz niezerowych oddziaływaniach, układ w stanie podstawowym jest izolatem. Innym ciekawym i w mojej ocenie dość nieoczekiwanym wynikiem była zgodność wyników numerycznych uzyskanych w ramach dynamicznego przybliżenia średniego pola oraz przybliżenia średniego pola.

Kolejna praca [H5] dotycząca rozszerzonego modelu Falicova-Kimballa ukazała się w 2019 r. również w *Physical Review B*, także jako wynik współpracy z Prof. R. Lemańskim oraz Prof. S. Robaszkiewiczem. Pan dr Konrad Kapcia jest pierwszym autorem tej publikacji. Głównym celem tej pracy było rozszerzenie badań prezentowanych w [H4] na przypadek skończonych temperatur. Najważniejsze wyniki dotyczą wyprowadzenia dokładnej postaci gęstości stanów dla układu z do połowy wypełnionym pasmem. W modelu występuje szereg faz odpowiadających różnym własnościom transportowym oraz uporządkowaniu ładunkowemu, które w badanym modelu współistnieje z porządkiem magnetycznym. Praca [H7] powstała również we współpracy z Prof. Lemański i została opublikowana w 2020 r. w *Condensed Matter Physics*. Praca ta również dotyczy rozszerzonego modelu Falicova-Kimballa a jej celem było zbadanie anomalnej zależności temperaturowej jednego z parametrów porządku, której obecność stwierdzono we wcześniejszych badaniach dla przypadku słabych oddziaływań pomiędzy sąsiednimi węzłami sieci.

Ostatnia z prac dotyczących rozszerzonego modelu Falicova-Kimballa [H8] ukazała się w *Journal of Physics: Condensed Matter* w 2021 roku. Pan dr Konrad Kapcia jest pierwszym autorem także tej publikacji. W pracy wykorzystano przybliżenie Hartree-Focka a uzyskane wyniki porównano z uzyskanymi wcześniej rezultatami otrzymanymi w pracach [H4] oraz [H5] w ramach dokładnego (w tym modelu) podejścia opartego o dynamiczne przybliżenie średniego pola. Udowodniono równoważność obu podejść w przypadku, gdy badania ograniczają się jedynie do

stanu podstawowego oraz jakościową poprawność podejścia Hartree-Focka w zakresie niskich temperatur. Wskazano także, że wyższych temperaturach pojawiają się istotne różnice. W mojej ocenie oszacowanie reżimu stosowalności przybliżenia Hartree-Focka w rozszerzonym modelu Falicova-Kimballa jest bardzo cennym wynikiem.

Pozostałe cztery publikacje wchodzące w skład ocenianego cyklu, tj. prace [H1], [H3], [H9] i [H10], dotyczą diagramów fazowych dla modelu, który uwzględnia oddziaływanie lokalne pomiędzy sąsiednimi węzłami sieci oraz następnymi najbliższymi sąsiadami. Niestety, procesy przeskoku elektronów zostały całkowicie pominięte w badanym modelu. Jest to bardzo silne przybliżenie, które eliminuje najtrudniejsze wyzwanie w badaniach modeli ciasnego wiązania, jakim jest wyznaczenie wartości i wektorów własnych hamiltonianu. Modele badane w omawianych pracach są diagonalne już na poziomie wyjściowego hamiltonianu. Poza kilkoma szczególnymi przypadkami, wyznaczenie fizycznych własności tak uproszczonego modelu wciąż pozostaje nietrywialnym problemem, a złożoność obliczeniowa jest taka, jak w przypadku modelu Isinga. Głównym rezultatem prac [H1], [H3], [H9] i [H10] były diagramy fazowe otrzymane dla różnej geometrii sieci oraz w różnych reżimach parametrów. Praca [H1] została opublikowana w 2016 r. w *Physica A*, natomiast [H3] w 2017 r. w *Physical Review B*. Pan dr Konrad Kapcia jest pierwszym autorem obu tych publikacji. Prace [H9] i [H10] to publikacji monoautorskie, które ukazały się odpowiednio w *Nanomaterials* (2021 r.) oraz *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (2022 r.)

Prace [H1]-[H10] bez wątplenia stanowią monotematyczny cykl publikacji, w których badane są diagramy fazowe w rozszerzonym modelu Hubbarda oraz w uproszczonych wersjach tego modelu. W mojej ocenie recenzowany cykl publikacji dostarczył istotnych informacji dotyczących uporządkowania ładunkowego w układach silnie skorelowanych elektronów.

Ocena pozostałego dorobku naukowego

Pan dr Konrad Kapcia jest współautorem 52 publikacji naukowych, z pośród których 37 opublikował po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych. Na podstawie bazy *Web of Science* prace te były cytowane ponad 500 razy, z czego mniej więcej połowę stanowią cytowania przez innych autorów. Indeks Hirscha wynosi 14. Kilkanaście prac ukazało się w czasopiśmie, w których publikowane są najważniejsze osiągnięcia dotyczące teorii materii skondensowanej: *Physical Review B* (6 prac), *Physical Review A* (1 praca), *Physical Review E* (1 praca), *New Journal of Physics* (1 praca).

W początkowym etapie kariery naukowej badania Pana dr. Konrada Kapci koncentrowały się na diagramach fazowych modeli, w których pominięta była dynamika elektronów (granica atomowa). W późniejszym okresie prowadził także badania dotyczące własności nadprzewodzących szeregu układów, w tym układów wielopasmowych opisujących nadprzewodnictwo w związkach żelaza, układów z przeskokiem par opisujących tzw. nadprzewodnictwo typu "eta", nadprzewodnictwo w modelu Hubbarda z przyciągającym oddziaływaniem lokalnym oraz przestrzennie niejednorodne nadprzewodnictwo typu *FFLO* (*Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov*). Ponadto jest współautorem ośmiu prac, których podstawą były

obliczenia oparte na metodach *ab initio*. W ostatnim czasie rozpoczął badania dotyczące nierównowagowej dynamiki układów makroskopowych. Biorąc pod uwagę staż podoktorski w Centrum Fizyki Laserów na Swobodnych Elektronach wydaje się to być wyjątkowo trafnym wyborem dalszej tematyki badawczej.

Pan dr Konrad Kapcia przedstawiał swoje wyniki naukowe na wielu konferencjach. W szczególności wygłosił 36 referatów, w tym 8 zaproszonych wykładów. Ponadto, na 35 innych konferencjach prezentował wyniki w formie plakatów. Pan dr Konrad Kapcia ma w swoim dorobku zarówno prace monoautorskie, jak i publikacje będące rezultatem współpracy naukowej z licznymi grupami badawczymi w kraju i za granicą. W mojej ocenie, przytoczone dane naukometyczne, zakres realizowanej tematyki badawczej oraz techniki obliczeniowe stosowane przez dr. Konrada Kapcię odpowiadają wymaganiom stawianym osobom, które ubiegają się o stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne oraz popularyzujące naukę

Pan dr Konrad Kapcia prowadził liczne wykłady, ćwiczenia i laboratoria związane z wieloma działami fizyki oraz podstaw matematyki, w szczególności: wykłady z matematyki, ćwiczenia i laboratoria komputerowe z termodynamiki, wykład z magnetyzmu i nadprzewodnictwa, pracownię fizyczną oraz szereg zajęć dotyczących technologii informacyjnych. Brał udział w pracach komitetów organizacyjnych kilku konferencji, był członkiem Rady Wydziału Fizyki UAM oraz Senatu UAM. Uczestniczył w szeregu wydarzeń popularyzujących naukę.

Podsumowanie recenzji

W mojej ocenie Pan dr Konrad Kapcia spełnia wszystkie warunki nadania stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych: posiada stopień doktora nauk fizycznych; posiada w dorobku osiągnięcia naukowe, stanowiące znaczny wkład do teorii silnie skorelowanych układów elektronowych; przedstawił cykl dziesięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, w powstanie których wniósł dominujący wkład i które zostały opublikowane w czasopiśmie objętych wykazem sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b; wykazuje się wyjątkową aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej. Z tego powodu, wnioskuję o nadanie Panu dr. Konradowi Kapci stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Marcin Mieniewski