

Prof. dr hab. Jacek Dziarmaga  
Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego  
ul. Profesora Stanisława Łojasiewicza 11  
30-348 Kraków  
e-mail: jacek.dziarmaga@uj.edu.pl

Kraków, 13 kwietnia 2022

**Ocena dorobku doktora Marcina Mateusza Wysokińskiego  
w związku z postępowaniem o nadanie tytułu doktora habilitowanego nauk fizycznych.**

Pan Marcin Wysokiński studia magisterskie z fizyki ukończył na Uniwersytecie Jagiellońskim w roku 2011 broniąc pracę magisterską na temat helu 3 jako skorelowanej cieczy kwantowej. W tej samej uczelni i pod opieką tego samego promotora, profesora Józefa Spalka, oraz dr Jana Kaczmarczyka (wówczas w Institute of Science and Technology w Austrii) jako promotora pomocniczego w roku 2015 obronił z wyróżnieniem doktorat na temat niekonwencjonalnego nadprzewodnictwa oraz hybrydyzacji w silnie skorelowanych układach elektronów. Już w pracach powstałych podczas doktoratu wystąpiła metoda diagramatyczna optymalizacji funkcji falowej Gutzwillera, która stanowi istotne narzędzie badawcze także w cyklu prac składających się na osiągnięcie habilitacyjne. Jednak w ramach habilitacji to podejście zostało twórczo uogólnione na problemy z hamiltonianem zależnym od czasu. Pod tym względem habilitacja stanowi kreatywne rozwinięcie doktoratu.

Jeszcze w czasie doktoratu mgr Wysokiński odbył dwa krótkie staże w Institute of Science and Technology w Austrii, gdzie zajmował się rozwinięciem diagramatycznym dla funkcji falowej Gutzwillera. Po uzyskaniu stopnia doktora był krótko/pomostowo zatrudniony w granicze Maestro swojego promotora, aby następnie w ramach programu „Mobilność Plus” (9 miejsce na liście rankingowej obejmujące wszystkie dziedziny nauki objęte tym programem) spędzić dwa lata w International School for Advanced Studies (SISSA) w Trieście w grupie profesora Fabrizio. Po powrocie do kraju w roku 2017 dr Wysokiński znalazł zatrudnienie w Międzynarodowym Centrum Badawczym MagTop, IF PAN, w grupie profesora Tomasza Dietla. Podsumowując można stwierdzić, że habilitant wykazał otwartość na różnorodne doświadczenia zdobywane w bardzo solidnych instytucjach badawczych, jednocześnie intensywnie rozwijając swój indywidualny profil naukowy.

Wyniki działalności naukowej dr Wysokińskiego zostały docenione w środowisku naukowym. W chwili pisania tej recenzji całkowita liczba cytowań według Google Scholar wynosiła 249 a indeks h 10. W mojej ocenie są to typowe wartości tych wskaźników w tej dziedzinie badań w chwili składania habilitacji. Kolejne etapy kariery były wspierane przez odpowiednie prestiżowe stypendia: 3-letni małopolski grant DOCTUS w czasie studiów doktoranckich, wspomniany wyżej podoktorski grant „Mobilność Plus”, grant „Sonatina” (2-gie miejsce na liście rankingowej panelu ST), z którego habilitant musiał zrezygnować z powodów formalnych, nagroda „Start” Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, która nie wymaga wyjaśnień, czy wreszcie jako ukoronowanie dotychczasowej kariery 3-letnie stypendium MNiSW dla wybitnych młodych naukowców. Do listy osiągnięć należy dodać 3 wykłady zaproszone na zagranicznych konferencjach naukowych, jak również długą listę innych wykładów, seminariów i plakatów.

*Dorobek naukowy*

Na cykl habilitacyjny składa się 6 prac opublikowanych w Physical Review B oraz jedna w Scientific Reports. Na uwagę zasługuje, że 5 spośród prac w Phys. Rev. B ma charakter Rapid Communication. Poza cyklem habilitacyjnym znalazły się 3 prace opublikowane po doktoracie, które na dobrą sprawę mogłyby zostać do niego włączone, gdyby stosować kryterium oparte na stosowanych metodach analizy problemów. Tym bardziej można uznać, że prezentowane osiągnięcie habilitacyjne zdecydowanie stanowi spójną całość. Według deklaracji habilitanta, popartych oświadczeniami współautorów, jego wkład do publikacji cyklu jest co najmniej bardzo istotny, jeśli nie wręcz dominujący.

W pracy [p1] zbadano przemiany pomiędzy fazami ferromagnetyczną i antyferromagnetyczną w układach d-elektronowych metalicznych magnetyków. Habilitant zaproponował mikroskopowy dwu-kanalowy

mechanizm Stonera, który przewiduje powyższe przemiany fazowe w d-elektronowych związkach chemicznych. Uproszczony hamiltonian, który modeluje mieszanie się stanów o różnym stopniu korelacji, został rozwiązany wspomnianą wyżej metodą przybliżenia Gutzwillera. Przewidywania modelu można porównać z diagramami fazowymi co najmniej dwu materiałów. W jednym z tych nich model okazuje się spójny z wynikami obliczeń z pierwszych zasad. W drugim oferuje możliwość rozstrzygnięcia jaki mechanizm w istocie stoi za przejściem fazowym, jednak dotychczasowe wyniki doświadczalne nie są dostatecznie klarowne. Jednoautorską pracę [p1] można krótko scharakteryzować jako mikroskopowe wyjaśnienie/przewidywanie kwantowych przemian fazowych.

W tym samym duchu jest praca [p2], gdzie habilitant zaproponował przetestowanie dwukanałowego mechanizmu Stonera w innym związku na bazie lantanu. Została przanalizowana jego struktura pasmowa przy pomocy metody funkcjonału gęstości w przybliżeniu lokalnej gęstości. Jednak nie poprzestano na samych obliczeniach, ale wyjaśniono ich wyniki przy pomocy prostego modelu zaproponowanego przez habilitanta, który przewiduje dramatyczny wzrost modulacji z przyłożonym ciśnieniem, co może prowadzić do anomalii w pomiarach oporności. Taką anomalię próbowano wyjaśnić pojawieniem się nowej fazy, podczas gdy według pracy [p2] może ona być wyjaśniona bez potrzeby odwoływania się do przemiany fazowej.

Kolejny model mikroskopowy został sformułowany w pracy [p3], tym razem bazując na orbitalnej selektywności, który ma wyjaśniać niestandardowy porządek antyferromagnetyczny występujący pod normalnym ciśnieniem. Kluczową rolę odgrywają orbitale typu f pochodzące od uranu, które mogą hybrydyzować z każdym z dwu orbitali antymonu, w zależności od czego uzyskuje się inny charakter kwazicząstek. Ostatecznie prowadzi to do wersji modelu Andersona, który został potraktowany metodą Gutzwillera. Ten sam model przewiduje, w zgodzie z eksperymentem, przejście do fazy ferromagnetycznej w podwyższonym ciśnieniu. Eksperymenty pokazały zgodność własności pasm przewodnictwa z przewidywaniami modelu. Natomiast przejście do fazy ferromagnetycznej okazało się mieć charakter strukturalny, czyli wykraczający poza założenia zaproponowanego modelu.

Praca [p4] kontynuuje nurt modelowania mikroskopowego, ale zawiera też pierwsze uogólnienie metody Gutzwillera, w tym wypadku do układów ze spinowo zależną hybrydyzacją. Modelem mikroskopowym jest tutaj topologiczny model sieci Andersona, w którym zakłada się, że gęsta dyspersja elektronów w orbitalach f jest trywialna. W pracy zaproponowano, że efektywna dyspersja dla tych elektronów może się pojawić dzięki nielokalnym efektom korelacji, które prowadzą do zależności energii własnej od pędu. To przypuszczenie zostało potwierdzone przez obliczenia za pomocą uogólnionej metody Gutzwillera. Praca [p4] jest zatem eleganckim połączeniem nowej idei fizycznej z rozwijaniem nowych narzędzi obliczeniowych koniecznych, aby tę ideę zweryfikować.

Praca [p5] stanowi wyzwanie dla tradycyjnej metody DMFT, która jest dokładna i bardzo efektywna w granicy nieskończonej liczby wymiarów, ale rozwinięcie diagramatyczne pozwalające na badanie 2 lub 3 wymiarów przestrzennych jest bardzo wymagające obliczeniowo. Pozostawia to otwarte pole do popisu dla chcących rozwijać nowe metody, które będą porównywalne pod względem dokładności z DMFT w nieskończonej liczbie wymiarów, ale tańsze pod względem obliczeniowym w fizycznej liczbie wymiarów. Ansatz wariacyjny metody proponowanej w [p5] to funkcja Gutzwillera, do której zastosowano transformację Schrieffer-Wolffa, która w kontekście izolatorów Motta ma za zadanie wyeliminować podwójne obsadzenia, podobnie jak przy przejściu od modelu Hubbarda do efektywnego modelu t-J. Ta transformacja zawiera mały parametr, który w zaproponowanej metodzie staje się parametrem rozwinięcia. Ten parametr i parametr Gutzwillera, to dwa parametry wariacyjne funkcji falowej. Co ciekawe rozwinięcie pozwala uzyskać analityczną postać energii, więc jej optymalizacja sprowadza się do minimalizacji dwuwymiarowej funkcji. Rozwinięcie do trzeciego rzędu pozwala na sieci Bethgo uzyskać dokładność porównywalną z DMFT, przy jednoczesnej niesamowitej prostocie obliczeniowej.

W pracy [p6] zmienia się kontekst eksperymentalny z fizyki kryształów na zimne gazy atomowe, gdzie dość powszechnie bada się hamiltoniany zależne od czasu. Podobnie jak w [p5] rozważany jest model Hubbarda i przejście Motta, ale tym razem jest to tak zwane dynamiczne przejście w czasie ewolucji układu po wykonaniu „sudden quench” czyli naglej zmiany hamiltonianu w czasie. Przejście to może być adiabatycznie połączone z równowagowym przejściem Motta, skąd w ogóle bierze się hipoteza, że takie przejście dynamiczne może występować. W [p6] funkcja wariacyjna z [p5] posłużyła jako Ansatz w zależnej od czasu zasadzie

wariacyjnej, która pozwoliła sprowadzić opis ewolucji do równań ruchu dla parametrów Ansatzu. Uzyskano znamiona dynamicznego przejścia fazowego, jednak dokładna analiza pokazała, że ma ono raczej charakter gładkiego crossover, przynajmniej w zaprezentowanym podejściu do problemu. Pozostaje otwartym pytanie, czy ten charakter przejścia jest rzeczywisty, czy może wynika z prostoty wariacyjnego Ansatzu. Niemniej jednak jest to bardzo efektowne zastosowanie proponowanej funkcji wariacyjnej do zjawisk dynamicznych.

Praca [p7] ponownie rozważa model Hubbarda z zależnym od czasu hamiltonianem, ale tym razem z periodyczną modulacją zamiast pojedynczej skokowej zmiany parametru układu. Prowadzi to do formalizmu Floqueta jako naturalnego opisu, który z kolei sprowadza się do efektywnego niezależnego od czasu hamiltonianu, przynajmniej na skali czasu zanim wystąpi grzanie układu. Absorpcja energii zależy od częstości modulacji, a w modelu Hubbarda na nieskończonej sieci występują częstości rezonansowe będące całkowitymi podwielokrotnościami amplitudy modulacji. W pracy [p7] udało się perturbacyjnie wyprowadzić prosty model efektywny, który te rezonanse wyjaśnia za pomocą oscylacji Rabiego podobnych jak w atomie dwupoziomowym. Prostota tego wyjaśnienia pozwoliła zaproponować układ ultrazimnych fermionów w pułapce harmoniczej, gdzie można by zaobserwować podobne zjawisko. Praca [p7] to przykład eleganckiego w swojej prostocie wyjaśnienia, które prowadzi do nowych nieoczekiwanych przewidywań eksperymentalnych.

Podsumowując, zaprezentowane osiągnięcie habilitacyjne niezbitnie dowodzi biegłości habilitanta w zakresie fizyki układów silnie skorelowanych fermionów. Dr Wysokiński wykazał się niezwykle pasją w wyjaśnianiu obserwowanych zjawisk fizycznych, jak i przewidywaniu nowych, oraz samodzielnością w rozwijaniu nowych teoretycznych narzędzi badawczych.

#### *Dorobek dydaktyczny i organizacyjny*

Wprowadzanie te aspekty działalności w świetle ustawy nie podlegają ocenie, ale są one istotne dla nakreślenia pełnego obrazu sylwetki habilitanta. W działalności dydaktycznej zwracają uwagę prowadzone przez dwa lata zajęcia dla uczniów liceów przygotowujące ich do olimpiady fizycznej, które zaowocowały kilkoma laureatami jak i większym gronem finalistów krajowej edycji olimpiady. Dobre wrażenie, jako odpowiedzialne zadanie, robi również wykład monograficzny dla doktorantów w Instytucie Fizyki PAN pt. „Condensed Matter Theory”. Dr Wysokiński brał również udział w przedsięwzięciach mających na celu popularyzację nauki, a także był członkiem lokalnych komitetów organizacyjnych trzech konferencji.

#### *Podsumowanie*

Doktor Marcja Wysokiński przedstawił spójną tematycznie serię prac na temat silnie skorelowanych układów fermionów obejmująca zarówno nowe mikroskopowe wyjaśnienia obserwowanych zjawisk jak i nowatorskie numeryczne/analizyczne metody rozwiązywania tego typu problemów. Główne wyniki zostały przedstawione bardzo klarownie. W opisie osiągnięcia można zauważyć pewne wątki przewodnie, które przez habilitanta były systematycznie rozwijane, a kiedy zachodziła taka potrzeba także wzbogacane o nowatorskie rozwiązania. Biorąc pod uwagę także doświadczenia dydaktyczne habilitanta, można oczekiwać, że stanie się on doskonałym opiekunem naukowym dla początkujących doktorantów. Nie mam najmniejszych wątpliwości, że dr Wysokiński w zupełności zasługuje na przyznanie stopnia doktora habilitowanego i z przyjemnością rekomenduję komisji habilitacyjnej nadanie mu tej godności.

Z wyrazami szacunku,

Jacek Dziarmaga



Podpisany elektronicznie przez

Jacek Piotr Dziarmaga

13.04.2022

20:18:12 +02'00'