



UNIwersytet
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU

WYDZIAŁ FIZYKI
ZAKŁAD FIZYKI MEZOSKOPOWEJ

ul. Uniwersytetu Poznańskiego 2
61-614 Poznań

prof. dr hab. Ireneusz Weymann

www: weymann.home.amu.edu.pl
email: weymann@amu.edu.pl

Recenzja rozprawy habilitacyjnej Pana dra Nicholasa Sedlmayra
pt. „Topologia i dynamika układów kwantowych”
oraz opinia o Jego aktywności naukowej

Pan dr Nicholas Sedlmayr jest adiunktem w Instytucie Fizyki na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Tytuł magistra z fizyki teoretycznej i matematyki stosowanej uzyskał z wyróżnieniem w 2002 roku na Uniwersytecie w Birmingham w Wielkiej Brytanii. Następnie, na tymże uniwersytecie, podjął studia doktoranckie pod opieką prof. Igora Lerner i dr. Igora Yurkevicha. Rozprawę doktorską pt. „The Coulomb Blockade in Quantum Dots and a Metamagnetic Quantum Critical Point” obronił w 2006 roku. W tym samym roku rozpoczął pracę w Max-Planck Institute for Microstructure Physics w Halle, a następnie w 2007 roku przeniósł się do Instytutu Fizyki na Uniwersytecie Martina Lutra w Halle, gdzie współpracując z prof. Jamalem Berakdarem oraz prof. Vitalim Dugaevem, zajmował się zagadnieniami związanymi z dynamiką ścianek domenowych. W 2010 roku Habilitant przenosi się na Wydział Fizyki Uniwersytetu w Kaiserslautern, gdzie podejmuje współpracę z prof. Sebastianem Eggertem oraz prof. Jesko Sirkerem. Tam rozpoczyna badania nad własnościami topologicznymi oraz dynamiką skorelowanych układów jednowymiarowych i izolatorów topologicznych. Jest to tematyka, która zdominuje zainteresowania Kandydata w kolejnych latach pracy. Po trzech latach spędzonych w grupie prof. Eggerta, dr Sedlmayr przenosi się do SEA Sacley, gdzie podejmuje współpracę z prof. Cristiną Beną i prof. Pascalem Simonem dotyczącą badania quasi-cząstek Majorany w nadprzewodnikach topologicznych. Z kolei w 2015 roku Habilitant wyjeżdża do Instytutu Fizyki Matematycznej i Teoretycznej na Stanowym Uniwersytecie Michigan w USA. Spędza tam dwa lata rozwijając badania dotyczące izolatorów i nadprzewodników topologicznych. Podejmuje także współpracę z grupą eksperymentalną prof. Stuarta Tessmera. W 2017 roku dr Sedlmayr przenosi się do Polski, gdzie rozpoczyna pracę na etacie adiunkta w grupie prof. Vitalia Dugaeva na Wydziale Matematyki i Fizyki Stosowanej Politechniki Rzeszowskiej. Podczas pobytu w Polsce, Habilitant kontynuuje i rozwija dotychczasową współpracę z ośrodkami zagranicznymi, a także nawiązuje nową, m.in. z prof. Tadeuszem Domańskim z Instytutu Fizyki UMCS. W 2019 roku przenosi się do tegoż instytutu by podjąć obowiązki adiunkta.

Zainteresowania badawcze Habilitanta obejmują najnowsze trendy w fizyce ciała stałego, a dotyczą m. in. izolatorów i nadprzewodników topologicznych, w których mogą tworzyć się stany Majorany, topologicznych i dynamicznych przejść fazowych, a także spintroniki. Na dzień złożenia wniosku habilitacyjnego dr Sedlmayr był współautorem 36 publikacji, z których większość ukazała się w wiodących czasopismach

międzynarodowych, liczba cytowań Jego prac wynosiła 216 (bez autocytowań), natomiast indeks Hirscha był równy 11. Uważam, że są to dobre parametry bibliometryczne biorąc pod uwagę etap kariery naukowej.

Osiągnięcie habilitacyjne pt. „Topologia i dynamika układów kwantowych” ma formę cyklu czternastu publikacji naukowych, które powstały w latach 2012-2018. Osiem publikacji ukazało się w *Physical Review B* (z czego jedna jako *Rapid Communications*) oraz po jednej pracy w *Physical Review Letters*, *Physical Review A*, *Europhysics Letters*, *Journal of Physics: Condensed Matter*, *Annalen der Physik* oraz w *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*. Łącznie publikacje wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego były cytowane 187 razy. Jak wynika z szczegółowego opisu wkładu Habilitanta oraz z załączonych oświadczeń współautorów, Kandydat odegrał istotną rolę w każdej publikacji, a Jego wkład obejmował od (współ)planowania projektu, przeprowadzenia obliczeń analitycznych i numerycznych, po przygotowanie rysunków, interpretację wyników i redakcję tekstu. Przy czym wkład ten waha się od wykonania pewnej części obliczeń zaprezentowanych w pracy, po przeprowadzenie praktycznie pełnej analizy danego zagadnienia – wkład ten był oczywiście największy w pracach, w których Habilitant był pierwszym autorem. Warto zaznaczyć, że spośród wszystkich publikacji cyklu dr Sedlmayr jest pierwszym autorem ponad połowy z nich. Osiągnięcie habilitacyjne jest bardzo obszerne i szczegółowe omówienie wszystkich wyników w nim zawartych mogłoby być podstawą monografii, dlatego ograniczę się tutaj do omówienia głównych koncepcji i najbardziej wartościowych moim zdaniem rezultatów. Chciałbym także podkreślić, że wszystkie publikacje przeszły już wnikliwy proces recenzowania w czasopiśmie, a liczne cytowania niektórych z nich świadczą o docenieniu tych prac przez środowisko naukowe oraz o wpływie na rozwój dyscypliny.

Pierwsze trzy prace cyklu dotyczą badania dynamiki oraz termalizacji w otwartych i zamkniętych układach kwantowych. Termodynamika takich układów jest przedmiotem intensywnych badań w wielu ośrodkach naukowych na świecie, co jest związane z faktem, że nie wszystkie aspekty dynamicznego zachowania oraz ewolucji układów kwantowych są do końca poznane i należyte wyjaśnione. Zgodnie z hipotezą Deutscha i Średnickiego, dla kwantowych układów zamkniętych znajomość reprezentatywnych stanów własnych układu pozwala opisać jego zachowanie w granicy termodynamicznej. Habilitant w swoich pracach, a zwłaszcza w publikacji [H3], J. Sirker, N. Konstantinidis, F. Andraschko, and N. Sedlmayr, *Locality and thermalization in closed quantum systems*, Phys. Rev. A **89**, 042104 (2014), stara się zrozumieć proces osiągania stanu termicznego nie odwołując się hipotezy termalizacji przy pomocy stanów własnych (ang. *Eigenstate Thermalization Hypothesis* – ETH). Autor wykazał, że termalizacja może być powiązana z odpowiednimi warunkami nakładanymi na lokalne prawa zachowania. Warunki te zostały przetestowane na przykładzie jednowymiarowego łańcucha spinowego wskazując na termalizację lokalnych obserwacji w granicy termodynamicznej pomimo faktu, że nie potwierdzono stosowalności ETH. W pracy [H1], F. Gebhard, K. zu Münster, J. Ren, N. Sedlmayr, J. Sirker, and B. Ziebarth, *Particle injection into a chain: decoherence versus relaxation for Hermitian and non-Hermitian dynamics*, Annalen der Physik **524**, 286 (2012), badano dynamikę łańcucha fermionowego, do którego wstrzykiwano cząstki, przy czym rozpatrzono przypadek tzw. *quantum ratchet*, tj. ewolucji bez możliwości powrotu cząstki do rezerwuaru. Wykazano, że średnia liczba cząstek układu stabilizuje się wraz z upływem czasu, natomiast zachowanie jednocząstkowej macierzy gęstości jest scharakteryzowane dużymi fluktuacjami. Korzystając z metody zależnej od czasu grupy

renormalizacji macierzy gęstości (DMRG) pokazano także, że oddziaływania pomiędzy cząstkami prowadzą do relaksacji, która jest znacznie szybsza od dekoherencji. Ten sam model spinowy został poddany dalszej analizie w pracy [H2], N. Sedlmayr, J. Ren, F. Gebhard, and J. Sirker, *Closed and open system dynamics in a fermionic chain with a microscopically specified bath: relaxation and thermalization*, Phys. Rev. Lett. **110**, 100406 (2013), w kontekście dynamiki typu *quantum quench* oraz procesu termalizacji, rozpatrując sytuację słabego, jak i silnego sprzężenia łańcucha spinowego z termicznym rezerwuarem. Przy dużych gęstościach cząstek w łańcuchu pokazano, że układ przechodzi wstępną termalizację w pośrednich czasach, natomiast pełna termalizacja do wielkiego zespołu statystycznego Gibbsa zachodzi w granicy długich czasów. Termalizację wykazano zarówno dla otwartego jak i zamkniętego układu kwantowego.

Kolejne publikacje cyklu prezentują wyniki badań dotyczących własności topologicznych układów niskowymiarowych, z czego około połowa prac podejmuje zagadnienia związane z fermionami Majorany. Problematyka topologicznych własności materii, a w szczególności badania dotyczące egzotycznych modów Majorany, należy obecnie do jednego z najszybciej rozwijających się obszarów fizyki materii skondensowanej. Jest to między innymi spowodowane potencjalnymi możliwościami aplikacyjnymi w informatyce kwantowej, a w szczególności w topologicznych obliczeniach kwantowych. I tak, w pracy [H5], N. Sedlmayr, and C. Bena, *Visualising Majorana bound states in 1D and 2D using the generalized Majorana polarization*, Phys. Rev. B **92**, 115115 (2015), Habilitant badał proces formowania się stanów topologicznych podczas zmiany wymiarowości układu opisanego modelem Kitaeva z 2D do 1D, wykorzystując do tego uogólnioną koncepcję polaryzacji Majorany, wprowadzoną uprzednio w pracy [D. Sticlet, C. Bena and P. Simon, *Spin and Majorana Polarization in Topological Superconducting Wires*, Phys. Rev. Lett. **108**, 8096802 (2012)]. Pokazano, że badanie polaryzacji Majorany jest odpowiednim i niezbędnym kryterium do określenia czy dany stan jest stanem Majorany czy też nie. Co więcej, Autor wskazuje, że metoda ta pozwala na wyznaczenie topologicznego diagramu fazowego dowolnych modeli, pod warunkiem, że hamiltonian je opisujący da się numerycznie zdiagonalizować. W pracy przedstawiono także pierwszy, ściśle wyznaczony diagram fazowy dla quasi-1D modelu Kitaeva. Publikacja [H6], N. Sedlmayr, J.M. Aguiar-Hualde, and C. Bena, *Flat Majorana bands in 2D lattices with inhomogeneous magnetic fields: topology and stability*, Phys. Rev. B **91**, 115415 (2015), przedstawia natomiast proces tworzenia się płaskich pasm Majorany na brzegach układów dwuwymiarowych. W pracy rozwiązano równania Bogoliubova-de Gennes'a dla sieci 2D o strukturach kwadratowej i heksagonalnej z oddziaływaniem spinowo-orbitalnym typu Rashby, w obecności pola magnetycznego oraz parowania elektronowego związanego z obecnością nadprzewodnika. Autor wyznaczył diagram fazowy rozpatrywanego układu wskazując na istnienie brzegowych pasm stanów Majorany, które są stabilne ze względu na odkształcenia na granicach układu. Prace [H5] oraz [H6] zostały uogólnione w publikacji [H10], N. Sedlmayr, J.M. Aguiar-Hualde, and C. Bena, *Majorana bound states in open quasi-1D and 2D systems with transverse Rashba coupling*, Phys. Rev. B **93**, 155425 (2016), w której Habilitant przebadął własności topologiczne układów 2D i quasi-1D w przypadku anizotropowego sprzężenia Rashby. Analizując polaryzację Majorany, wykazano między innymi, że w układzie mogą tworzyć się stany quasi-majoranowe, które mają lokalnie charakter stanów Majorany, natomiast globalnie już nie. W celu określenia własności stanów topologicznie chronionych, Habilitant badał także zachowanie stopnia przekrycia stanu podstawowego,

tw. wierności, oraz entropii splątania. Badania przeprowadzono dla modelu Su-Schrieffera-Heegera (SSH) (praca [H4]) oraz dla modelu jednowymiarowego nadprzewodnika topologicznego w otoczeniu kwantowego punktu krytycznego (praca [H8]).

Ciekawą pozycją w osiągnięciu habilitacyjnym jest publikacja [H11], I.M. Dayton, N. Sedlmayr, V. Ramirez, T. Chasapis, R. Loloe, M. Kanatzidis, A. Levchenko, and S. Tessmer, *Scanning tunneling microscopy of superconducting topological surface states in Bi_2Se_3* , Phys. Rev. B **93**, 220506(R) (2016), opublikowana jako Rapid Communications. Jest to jedyna praca teoretyczno-doświadczalna całego cyklu, w której dr Sedlmayr opracował teorię wyjaśniającą wyniki pomiarów wykonanych przy pomocy skaningowej mikroskopii tunelowej dla nadprzewodzących wysp PbBi osadzonych na izolatorze topologicznym Bi_2Se_3 . W celu wyjaśnienia obserwowanych danych Habilitant skonstruował model uwzględniający hybrydyzację pomiędzy stanami topologicznymi w izolatorze topologicznym, a stanami nadprzewodnika. W badaniach zaobserwowano wzajemny efekt bliskości obu materiałów: pary Coopera wnikają do topologicznego izolatora, a jednocześnie stany topologiczne wpływają do nadprzewodnika, co między innymi prowadzi do unikalnego zachowania lokalnej gęstości stanów.

Ostatnie prace cyklu dotyczą zagadnień związanych z dynamiką oraz topologicznymi przejściami fazowymi. Habilitant badał dynamikę jednowymiarowych modeli wykazujących fazy topologiczne, poddanych kwantowemu wygaszeniu (*quantum quench*). Badano w szczególności zachowanie echa Loschmidta $L(t)$ oraz szybkości powrotu (*return rate*), której nieanalityczne zachowanie sygnalizuje dynamiczne przejście fazowe w układzie. W pracy [H13], N. Sedlmayr, P. Jäger, M. Maiti, and J. Sirker, *Bulk-boundary correspondence for dynamical phase transitions in one-dimensional topological insulators and superconductors*, Phys. Rev. B **97**, 064304 (2018), przebadano dynamiczne przejścia fazowe dla modeli SSH oraz Kitaeva, pokazując, że przejścia są związane z gwałtowną zmianą wkładów pochodzących od stanów brzegowych. Z kolei publikacja [H14], N. Sedlmayr, M. Fleischhauer, and J. Sirker, *Fate of dynamical phase transitions at finite temperatures and in open systems*, Phys. Rev. B **97**, 045147 (2018), jest poświęcona badaniu wpływu fluktuacji termicznych na obserwowaną dynamikę – wykazano między innymi wygładzenie dynamicznych przejść fazowych wraz ze wzrostem temperatury.

Jeżeli chodzi o pozostały dorobek naukowy Habilitanta, obejmuje on ponad 20 publikacji, które ukazały się w renomowanych czasopismach. Zagadnienia poruszane w tych pracach dotyczą między innymi transportu przez kropki kwantowe, własności oddziałujących jednowymiarowych drutów, cieczy Luttingera, magnetooporu, dynamiki ścianek domenowych czy też skyrmionów. Spektrum zainteresowań dra Sedlmayra jest zatem bardzo szerokie – Habilitant w swoich pracach podejmował badania nad najbardziej istotnymi zagadnieniami współczesnej fizyki ciała stałego, obejmującymi topologię, symetrię, korelacje, dynamikę, kwantowe zjawiska krytyczne, a także wchodzącymi w zakres spintroniki.

Dr Sedlmayr kierował jednym projektem badawczym finansowanym przez DAAD oraz NAWA, realizowanym w latach 2019/2020. Jest recenzentem większości renomowanych czasopism z fizyki ogólnej oraz fizyki ciała stałego. Habilitant był członkiem komitetu organizacyjnego i programowego konferencji „13th International School on Theoretical Physics: Symmetry and Structural Properties of Condensed Matter”, która odbyła się w 2018 roku w Rzeszowie. Był także edytorem materiałów

pokonferencyjnych z tej konferencji. Kandydat brał udział w około 40 konferencjach i szkołach naukowych, na których wygłosił 19 referatów, w tym 7 na zaproszenie, oraz miał liczne prezentacje plakatowe. Ponadto, dr Sedlmayr wygłosił 12 referatów na zaproszenie w placówkach badawczych. Habilitant posiada także rozbudowaną współpracę międzynarodową, zapoczątkowaną głównie podczas licznych staży w zagranicznych ośrodkach naukowych.

Jeżeli chodzi o osiągnięcia dydaktyczne, dr Sedlmayr posiada bardzo duże doświadczenie w tym zakresie. Na Uniwersytecie w Birmingham prowadził ćwiczenia z Matematyki dla fizyków oraz laboratorium z języka programowania C++. Podczas pracy w Niemczech prowadził ćwiczenia i egzaminował z Kwantowej teorii pola, Teorii pola w fizyce ciała stałego, Kwantowej teorii układów wielu cząstek oraz Mechaniki kwantowej i Zaawansowanej mechaniki kwantowej. Na Michigan State University dr Sedlmayr wykładał Rachunek całkowity i Algebrę liniową. Na Politechnice Rzeszowskiej Kandydat prowadził m.in. wykłady z Algebry liniowej, Mechaniki, Matematyki wyższej po angielsku, Fizyki oraz Równań różniczkowych. Natomiast, na UMCS dr Sedlmayr prowadził wykłady dla studentów i doktorantów z Nanophotonics, Quantum Liquids oraz Modern Topics in Condensed Matter. Profil i doświadczenie Habilitanta wskazują na wysokie predyspozycje do prowadzenia zajęć zarówno na początkowych latach studiów, jak i bardziej zaawansowanych kursów dla studentów studiów drugiego i trzeciego stopnia. Jest to niewątpliwie cenne biorąc pod uwagę internacjonalizację studiów w Polsce. Dr Sedlmayr ma także doświadczenie w promowaniu młodej kadry – nadzorował realizację dwóch prac doktorskich oraz dwóch prac magisterskich na Uniwersytecie w Kaiserslautern.

Na docenienie zasługuje również fakt, że dr Sedlmayr bardzo aktywnie włączył się w inicjowanie życia naukowego zarówno na Politechnice w Rzeszowie, jak i na UMCS w Lublinie. Na Politechnice Rzeszowskiej dr Sedlmayr prowadził seminaria naukowe grupy „Spintronics”, natomiast w IF UMCS Habilitant koordynuje spotkania doktorantów w ramach „journal club”. Ponadto, Kandydat jest autorem popularnonaukowego bloga, na którym wyjaśnia podstawowe zagadnienia oraz koncepcje z zakresu fizyki, a w szczególności z fizyki ciała stałego.

Chciałem również zauważyć, że od momentu złożenia wniosku habilitacyjnego, dr Sedlmayr opublikował cztery prace w *Physical Review B*, a kolejne publikacje są złożone w bazie preprintów. W tym roku Habilitant otrzymał również grant Opus Narodowego Centrum Nauki. Biorąc pod uwagę osiągnięcia naukowe Kandydata oraz całokształt Jego dorobku dydaktycznego i organizacyjnego, nie mam wątpliwości, że dr Nicholas Sedlmayr już jest samodzielnym pracownikiem nauki.

W podsumowaniu stwierdzam, iż recenzowane osiągnięcie naukowe oraz dorobek naukowy, organizacyjny i dydaktyczny Habilitanta spełniają w pełni kryteria zwyczajowe oraz te określone w Ustawie. Wnoszę zatem o dopuszczenie dra Nicholas Sedlmayra do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego oraz popieram wnioszek o nadanie Mu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Poznań, 25 września 2020 roku

