



Prof. dr hab. Maciej Maška  
Instytut Fizyki Teoretycznej  
Wydział Podstawowych Problemów Fizyki  
Politechnika Wroclawska

Wroclaw, 29.01.2024

Recenzja rozprawy doktorskiej pana mgr. Nguyen Minh Nguyen p.t.:

***Topological and non-topological boundary states  
in SnTe and HgTe materials***

Recenzowana rozprawa powstała w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk. Promotorem doktoranta był dr hab. Wojciech Brzezicki, opiekę sprawował także dr. Timo Hyart.

Recenzję rozpocznę nietypowo, a mianowicie od konkluzji: w mojej ocenie rozprawa mgr. Nguyena Minha Nguyena w **stopniu minimalnym spełnia** wymagania stawiane rozprawom doktorskim. W dalszej części recenzji postaram się uzasadnić dlaczego „**stopniu minimalnym**”, jak i dlaczego „**spełnia**”.

Zgodnie z tytułem recenzowana rozprawa doktorska dotyczy stanów brzegowych w SnTe i HgTe, zarówno stanów topologicznych, jak i stanów topologicznie trywialnych. Większość rozprawy stanowią wprowadzenia do zagadnień takich jak: ważne w kontekście topologicznym symetrie, modele Qi-Wu-Zhanga czy Bernevig-Hughesa-Zhanga, model Kitaeva wraz z fizyką modów Majorany (rozdział pierwszy), klasyfikacja topologicznych izolatorów i nadprzewodników, modele materiałów SnTe (rozdział drugi), klasyfikacja bezszczelinowych faz topologicznych, dwuwymiarowe nadprzewodniki z węzłami w szczelinie (*nodal superconductors*), półmetale Weyla (rozdział trzeci), klasyfikacja faz topologicznych wyższych rzędów, topologiczne fazy drugiego rzędu z symetrią odbicia (rozdział czwarty). Znaczna część tych wprowadzeń to wiedza książkowa albo dostępna w publikacjach przeglądowych. Jeśli rozdziały te zawierają **oryginalne** wyniki doktoranta, to trudno je tam znaleźć. Oczywiście są tam obliczenia i ich wyniki, ale albo wszystkie, albo przynajmniej znaczna ich większość, to odtworzenie rzeczy już znanych.

Rozdział piąty rozpoczyna prezentację wyników doktoranta. Niestety, prezentacja ta ograniczona jest do dwóch półtorastronicowych wprowadzeń do dwóch publikacji doktoranta oraz oświadczeń współautorów odnośnie ich udziału



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by  
**IEP** INSTITUTIONAL  
EVALUATION  
PROGRAMME  
[www.iep-qaa.org](http://www.iep-qaa.org)

Politechnika Wroclawska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wroclaw

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,  
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl  
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Nr konta:  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



w tych pracach. Dalej następują publikacje oraz jednostronicowe podsumowanie i spis literatury.

Główna część rozprawy zawiera 94 ponumerowanych stron, co nie odbiega znacząco od typowych objętości prac doktorskich z fizyki. Co jednak nie jest typowe, to fakt, że wśród tych stron liczone są 3 zupełnie puste strony, 9 stron z oświadczeniami współautorów oraz 29 stron załączonych publikacji. Ponadto jest wiele stron, które zawierają jedną figurę z podpisem. Tak więc efektywna objętość pracy redukuje się do 50, najwyżej 60 stron, co jest bliżej typowych prac magisterskich niż doktorskich. Ustawa „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” w art. 187, punkt 3, mówi, że „Rozprawę doktorską może stanowić (...) zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych” i myślę, że w tym wypadku trzeba przyjąć, że doktorant skorzystał z tej właśnie możliwości. Wówczas tą skromną część, która pozostaje po odliczeniu wyżej wspomnianych fragmentów, należy traktować jako wprowadzenie do części zasadniczej, którą stanowią załączone artykuły. Zwyczajowo jednak wprowadzenie to powinno zawierać nieco bardziej rozbudowany przewodnik po publikacjach, niż te dwa półtorastronicowe streszczenia. Ponadto, choć nie jest to w przepisach jawnie określone, zwyczajowo w doktoratach z fizyki formę „zszywki” stosuje się przy liczebnie nieco większym dorobku. Należy tu jednak zauważyć, że obie prace są pracami stosunkowo rozbudowanymi, co pozwala zaakceptować zastosowane w rozprawie podejście. Ponieważ przy takiej interpretacji części wstępne nie stanowią rozprawy, a także ze względu na ich wprowadzający charakter, pominię ich merytoryczną ocenę. Natomiast w końcowej części recenzji wrócę do ich formy. Powyższe krytyczne uwagi dają swoje przyczynki do wcześniejszego stwierdzenia, że wymagania spełnione są jedynie w stopniu **minimalnym**.

Po tych ogólnych uwagach, chciałbym przejść do omówienia zasadniczej części rozprawy, za którą przyjmuję dwie publikacje doktoranta. Wspomniana wyżej ustawa wymaga, żeby w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych przedmiotem rozprawy doktorskiej było **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**. Stwierdzam, że prace te spełniają ten wymóg, a załączone oświadczenia współautorów oraz fakt, że doktorant jest w obu pracach pierwszym autorem, wskazują na jego niepomijalną rolę w ich powstaniu. Tym samym argumentuję, że wymagania stawiane rozprawom doktorskim **są spełnione**.

Pierwsza z prac, „*Corner states, hinge states, and Majorana modes in SnTe nanowires*” (Phys. Rev. B **105**, 075310 (2022)), dotyczy własności materiałów na bazie SnTe, których nietrywialne własności, w tym własności topologiczne, można kontrolować między innymi poprzez domieszkowanie czy





potencjały bramek. Praca poświęcona jest zbadaniu jak pole Zeemana, parowanie czy złamanie symetrii inwersji prowadzą do powstania stanów topologicznych w tych układach. Rozpoczyna się ona od wprowadzenia hamiltonianu w przybliżeniu ciasnego wiązania. Rozpatrywanym układem jest nieskończony nanodrut o kwadratowym przekroju. Pierwszym badanym przypadkiem jest pole Zeemana, łamiące symetrię odwrócenia czasu oraz kilka symetrii lustrzanych. W pracy pokazano, że w zależności od natężenia pola oraz grubości nanodrutu szeroki wachlarz faz może być obserwowany: system może być między innymi w stanie trywialnego izolatora, jednowymiarowego półmetal Weyla czy izolatora z odwróconymi pasmami. Kolejny rozdział poświęcony jest stanom zawiasowym (*hinge states*). Są to jedne ze stanów, których obecność spodziewana jest izolatorach topologicznych wyższych rzędów, czyli takich, w których nie tylko wewnątrz jest izolacyjne, ale także ściany. Stany te, chronione topologicznie, ulokowane są wzdłuż krawędzi. W pracy pokazano, że nawet w nieobecności pola Zeemana stany te powinny występować w SnTe, co może czynić te materiały interesującymi np. dla spintroniki. W rozdziale pokazano także obecność stanów narożnych (*corner states*). Przy pomocy szczegółowej analizy symetrii układu zdefiniowano niezmienniki topologiczne charakteryzujące te nietrywialne stany. W kolejnym rozdziale przeanalizowano wpływ nadprzewodnictwa, które w badanym układzie może być zaindukowane na przykład poprzez efekt bliskości, czyli po umieszczeniu nanodrutu na nadprzewodzącym podłożu. Łączenie nietrywialnych własności topologicznych z nadprzewodnictwem jest atrakcyjne ze względu na nadzieje związane z topologicznymi komputerami kwantowymi, w których operacje logiczne realizowane by były poprzez „zaplatanie” nieabelowych obiektów. W pracy autorzy argumentują, że także w tym aspekcie SnTe może być obiecującym materiałem. Wprowadzając formalizm Bogoliubowa-de Gennesa pokazują istnienie modów Majorany i wyznaczają diagramy fazowe określające warunki, w których topologiczne nadprzewodnictwo jest możliwe. W szczególności pokazane tam zostało, że konieczne jest wprowadzenie pola łamiącego symetrię inwersji, żeby mody Majorany były zlokalizowane i chronione topologicznie, co jest konieczne do ich ewentualnego praktycznego zastosowania w komputerach kwantowych. Praca napisana jest czytelnie, a pięć rozbudowanych załączników pomaga zrozumieć przeprowadzone w niej obliczenia. Dyskusja w końcowej części pracy zawiera także propozycje eksperymentalnego potwierdzenia obecności sugerowanych nietrywialnych stanów. Miałbym jednak w związku z pracą dwa pytania. Założona jest tam wydłużona geometria układu, niemniej jednak ma on skończoną szerokość. Czy w badanych przypadkach szerokość ta jest na tyle mała, że efekty orbitalne pola magnetycznego, które nie



Politechnika Wroclawska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,  
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl  
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 00001614  
NIP: 896-000-58-51  
Nr konta:  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



zostały uwzględnione w obliczeniach, rzeczywiście można zaniedbać? Czy może bardzo duży czynnik żyromagnetyczny powoduje, że znaczenie efektów orbitalnych w porównaniu z efektem Zeemana jest pomijalne? Drugie pytanie dotyczy efektów korelacyjnych, także pominiętych w obliczeniach. Na ile dobre jest takie przybliżenie? Wiadomo, że w układach jednowymiarowych słabe ekranowanie wzmacnia znaczenie oddziaływania Kulomba. Nawet bardzo słabe oddziaływanie może zmienić charakter układu z cieczy Landaua na ciecz Luttingera. Istnieją sugestie (np. Phys. Rev. Lett. **116**, 026803 (2016)), że może ono odgrywać pewną rolę także w SnTe.

Druga z prac składających się na rozprawę, „*Unprotected edge modes in quantum spin Hall insulator candidate materials*” (Phys. Rev. B **107**, 045138 (2023)) poświęcona jest wyprowadzeniu z pierwszych zasad efektywnych hamiltonianów w przybliżeniu ciasnego wiązania dla heterostruktur będących kandydatami na materiały z kwantowym spinowym efektem Halla. W szczególności konstruowane i badane są hamiltoniany dla HgTe/CdTe, HgS/CdTe oraz InAs/GaSb. Parametry hamiltonianów „objętościowych” (*bulk*), takie jak całki przeskoku, energie na węzłach czy amplituda sprzężenia spinowo-orbitalnego, zostały wyznaczone z dopasowania modeli ciasnego wiązania do struktur pasmowych otrzymanych metodami teorii funkcjonałów gęstości. Następnie z warstw różnych materiałów skonstruowane zostały „kanapki”, będące modelami heterostruktur ze studniami kwantowymi. Badania struktur pasmowych tych modeli pokazały obecność dodatkowych stanów krawędziowych, które jednak nie są stanami topologicznymi. Mikroskopowe źródło tych stanów autorzy pracy upatrują w „pofałdowanej” (*buckled*) sieci anionów i kationów o strukturze plastra miodu, którą traktują jako elementarny blok, będący podstawą budowy badanych heterostruktur. W tym celu wprowadzają przybliżenia prowadzące do minimalnego modelu. Model ten charakteryzuje się płaskimi pasmami i to właśnie z ich obecnością wiąże powstanie stanów brzegowych. Dodatkowo pokazują, że stany te są czułe na rodzaj zakończenia układu, co może pozwolić na użycie potencjału na krawędzi układu, na przykład poprzez bramkowanie albo domieszkowanie, w celu usunięcia tych stanów z przerwy energetycznej. Także ta praca kończy się kilkoma dodatkami, które pozwalają zrozumieć niektóre szczegóły techniczne. W stosunku do tej pracy, chciałbym spytać, czy doktorant mógłby, podobnie jak to zrobił w przypadku poprzedniej pracy, zaproponować eksperymentalną weryfikację istnienia tych stanów. Miałbym także ogólne pytanie odnośnie obu publikacji, a mianowicie co w każdej z prac zostało zrobione przez doktoranta? W rozprawie znajdują się oświadczenia współautorów określające ich udział, więc można



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by  
**IEP** INSTITUTIONAL  
EVALUATION  
PROGRAMME  
[www.iep-qsa.org](http://www.iep-qsa.org)

Politechnika Wroclawska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,  
+48 71 320-23-95

[dziekan.wppt@pwr.edu.pl](mailto:dziekan.wppt@pwr.edu.pl)  
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 00001614  
NIP: 896-000-58-51  
Nr konta:  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



# Politechnika Wroclawska

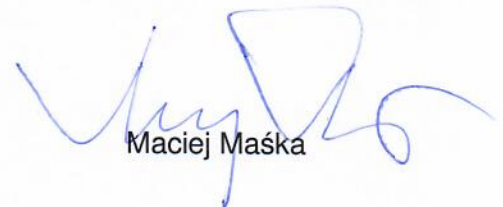
Wydział Podstawowych Problemów Techniki

założyć, że wszystko co nie jest tam ujęte, było dziełem doktoranta. Prosiłbym jednak o w miarę precyzyjne wyliczenie tego wkładu.

Rozprawę kończy bardzo skromne, jednostronicowe podsumowanie głównych wyników. Podobnie jak w przypadku wprowadzeń do prac, szkoda, że ogranicza się ono w zasadzie to przytoczenia tego, co już zostało w pracach napisane. Znacznie korzystniejsze byłoby umieszczenie tych wyników w szerszym kontekście.

Na koniec chciałbym wrócić jeszcze do części wprowadzającej, czyli pierwszych czterech rozdziałów rozprawy. Niestety, z przykrością muszę stwierdzić, że jest ona napisana wyjątkowo niestarannie. Błędów zarówno merytorycznych, jak i edytorskich jest tam znacznie więcej, niż w typowych rozprawach doktorskich, co znacznie utrudnia śledzenie toku rozprawy.

Podsumowując, jak już napisałem na wstępie recenzji, pomimo znaczących braków, stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane przez ustawę „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”. Wnoszę więc o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Maciej Maśka



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by  
**IEP** INSTITUTIONAL  
EVALUATION  
PROGRAMME  
www.iep-qas.org

Politechnika Wroclawska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

budynek A-1, pok. 234

Tel: +48 71 320 25 79,  
+48 71 320-23-95

dziekan.wppt@pwr.edu.pl  
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Nr konta:  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434