



Prof. dr hab. Tomasz Ślęzak
Katedra Fizyki Ciała Stałego
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Kraków 09.12.2024

Recenzja osiągnięcia naukowego dr Oresta Pavlosiuka pt. „Właściwości magneto-transportowe wybranych semimetali topologicznych” oraz jego dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

1. Ocena osiągnięcia naukowego kandydata do stopnia dr habilitowanego

Przedstawione przez dr Oresta Pavlosiuka osiągnięcie naukowe składa się z ośmiu publikacji w czasopismach o międzynarodowym zasięgu, w których akceptacja artykułu do publikacji następuje w procesie recenzji eksperckich (tzw. peer review). Należy podkreślić, że w siedmiu pracach cyklu (H1-H2, H4-H8) dr Pavlosiuk jest pierwszym autorem, w pracy H3 drugim autorem oraz w pracach H3, H5, H8 pełnił rolę autora korespondencyjnego. Rola dr Pavlosiuka w powstanie publikacji cyklu zgodnie z Jego deklaracjami polegała na udziale w powstaniu koncepcji badań, planowaniu eksperymentów, preparatyce próbek, wykonaniu pomiarów transportowych, analizie i interpretacji wyników oraz przygotowaniu manuskryptów publikacji. Nie ma żadnych wątpliwości, że wkład dr Pavlosiuka do przedstawionego cyklu prac jest kluczowy, a sam cykl biorąc pod

uwagę prestiż czasopism (Scientific Reports, Physical Review B, Applied Physics Letters) uważam za bardzo wartościowy.

Wspólnym mianownikiem wszystkich prac zaprezentowanego cyklu są badania właściwości fizycznych monokrystalicznych związków półmetalicznych o nie-trywialnej topologicznie strukturze elektronowej. Związki tego typu w odróżnieniu od izolatorów topologicznych które nie przewodzą w objętości i wykazują przewodzące stany powierzchniowe będące bezmasowymi stanami Diraca o liniowej relacji dyspersji, posiadają trójwymiarowe stany Diraca lub Weyla przy jednoczesnym braku przerwy energetycznej. Powyższe szczegóły struktury elektronowej powodują, że materiały te są bardzo ważne nie tylko z punktu widzenia badań podstawowych lecz również w związku z ich potencjalnym zastosowaniem w spintronice, fotonice czy informatyce kwantowej. Metodologię badań struktury elektronowej semimetali topologicznych podzielić można na dwie ścieżki. Ścieżka badań bezpośrednich struktury elektronowej wykorzystuje przede wszystkim metodę kątowno-rozdzielczej spektroskopii fotoemisyjnej (ARPES) podczas gdy alternatywnie, stosowane są pomiary wynikających z charakterystycznego kształtu powierzchni Fermiego, oscylacji kwantowych różnych właściwości fizycznych takich jak opór elektryczny, namagnesowanie, czy magnetostrykcja. To właśnie ta druga strategia wykorzystana została przez dr Pavlosiuka w badaniach opisanych w omawianym cyklu. W szczególności:

- w pracach [H1-H3] przedstawiono wyniki badań struktury elektronowej i właściwości magneto-transportowych związków o strukturze typu NaCl i wzorze $RE P_n$ gdzie RE oznacza ziemię rzadką a P_n to As, Sb lub Bi. Dla niemagnetycznych związków LuSb, YBi oraz LuBi [prace H1-H2] pokazano na drodze obliczeń teoretycznych oraz badań efektu Halla, że koncentracja elektronów jest prawie taka sama jak koncentracja nośników dziurowych, co świadczy o występowaniu prawie całkowitej kompensacji ładunkowej.

Ponadto, zaobserwowano oscylacje Shubnikova de Haasa (SdH) oporu elektrycznego o wielu składowych częstotliwościach, które świadczą o skomplikowanej strukturze powierzchni Fermiego, oraz dla związku LuSb poprzez analizę kontowej zależności wspomnianych oscylacji stwierdzono silną anizotropię oporności elektrycznej w zależności od kierunku przyłożonego pola magnetycznego co zinterpretowano jako efekt pochodzący od anizotropii masy efektywnej. Praca [H3] dotyczy antyferromagnetycznych związków DyBi i HoBi. W tym przypadku zaobserwowano ciekawe zjawisko polegające na zmianie częstotliwości oscylacji Shubnikova de Haasa wraz z temperaturą która może świadczyć o zmianie kształtu i rozmiarów powierzchni Fermiego. Analiza częstości składowych oscylacji SdH dla układów DyBi i HoBi wskazuje, że powierzchnia Fermiego tych związków jest podobna do powierzchni Fermiego w innych związkach z rodziny RE_{Pn} oraz jednocześnie koncentracje nośników ładunku elektronowego i dziurowego kompensują się wzajemnie co przy ich dużej ruchliwości jest źródłem znaczącego magnetooporu.

- W pracach [H4-H6] opublikowano wyniki badań związków o strukturze krystalicznej typu MgAgAs, w szczególności DyPdBi, ScPtBi, TbPtBi i HoPtBi. Najciekawszym wynikiem uzyskanym dla związku DyPdBi [4] jest pojawiający się w niskich temperaturach ujemny podłużny magnetoopór. Dodatkowo dla związku DyPdBi zaobserwowano planarny efekt Halla o znaczącej amplitudzie. Obserwacje te wytłumaczono poprzez występowanie charakterystycznej dla półmetali Weyla, chiralnej anomalii magnetycznej związanej z przepływem ładunku pomiędzy niskoenergetycznymi poziomami Landau'a w silnym polu magnetycznym równoległym do kierunku przepływu prądu. W pracy [H5] dotyczącej związków HoPtBi i TbPtBi, za pomocą pomiarów podatności magnetycznej oraz ciepła właściwego potwierdzono występowanie uporządkowania

antyferromagnetycznego i wyznaczono temperatury przejścia T_N dla obu związków. W przypadku obu związków zmierzono duże wartości nienasycającego się w wysokich polach magnetycznych poprzecznego magnetooporu, co w połączeniu z wynikami pomiarów efektu Halla wskazuje na dwa rodzaje nośników tzn. elektronów i dziur. Podobnie jak w przypadku związku DyPdBi w temperaturach poniżej 100K dla występował duży ujemny podłużny magnetoopór, który przypisano chiralnej anomalii magnetycznej. W końcu dla związku HoPtBi zmierzono oscylacje SdH, o dwóch składowych częstotliwości co wskazuje złożony kształt powierzchni Fermiego tego materiału. W pracy [H6] opisano badania właściwości magneto-transportowych związku ScPtBi, który tym różni się wspomnianych powyżej, że nie zawiera atomów magnetycznego pierwiastka ziemi rzadkiej. Obserwacja trzech zjawisk tzn. planarnego efektu Halla, charakterystyczne wyostrzenie kątowej zależności podłużnego magnetooporu oraz duży przyczynek ujemnego podłużnego magnetooporu świadczą o obecności chiralnej anomalii magnetycznej. W końcu temperaturowa zależność oporu elektrycznego wskazują na występowanie w niskich temperaturach nadprzewodnictwa.

- Prace [H7, H8] dokumentują wyniki badań zjawisk magnetotransportowych związków $PtTe_2$, $MoSi_2$, WSi_2 określanych mianem pół-metali Diraca. W przypadku związku $PtTe_2$ [praca H7] pomiary właściwości magneto-transportowych, pokazywały ekstremalnie duże wartości magnetooporu (ok. 3000% w $B = 9T$ i $T = 1,8 K$) oraz indukowane polem magnetycznym plateau w temperaturowej zależności oporności elektrycznej. Pomimo tego, że te dwa efekty są często obserwowane w półmetalach topologicznych pokazano, że w $PtTe_2$ za oba te zjawiska odpowiedzialny jest wspomniany powyżej efekt kompensacji nośników ładunku. Ponadto analiza zmierzonych oscylacji kwantowych SdH wskazała na istnienie dwóch podstawowych częstotliwości, co

wskazuje na obecnością dwóch płatów powierzchni Fermiego. Pomiar podłużnego magnetooporu pokazały jego dodatnie wartości w całym zakresie pól magnetycznych co wskazuje na brak chiralnej anomalii magnetycznej, a obserwowany dodatni podłużny magnetoopór jest związany z anizotropią powierzchni Fermiego. Wyniki badań dla związku PtTe_2 nie potwierdzają zatem istnienia stanów Diraca w badanych kryształach. Praca [H8] zawiera wyniki badań związków WSi_2 i MoSi_2 . Przedstawione w pracy obliczenia teoretyczne pokazują dla tych związków, że powierzchnia Fermiego składa się z kieszeni dziurowej o kształcie przypominającym hantle oraz kieszeni elektronowej o kształcie przypominającym rozetę, przy czym koncentracje nośników elektronowych i dziurowych są prawie identyczne. Analiza fourierowska zmierzonych dla tych związków oscylacji kwantowych SdH potwierdza obliczenia teoretyczne. Niejako przy okazji, dla MoSi_2 zaobserwowano w oscylacjach SdH kilka ciekawych efektów takich jak obecność składowych oscylacji o częstościach harmonicznych oraz częstościach będących różnicą częstości podstawowych. Dla obu związków zmierzono ekstremalnie wysokie wartości magnetooporu oraz zaobserwowano plateau w temperaturowej zależności oporu od temperatury.

Uważam, że przytoczone powyżej wyniki opisane w omawianym cyklu prac stanowią istotny przyczynek do rozwoju nauki, a w szczególności dziedziny fizyki zajmującej się materiałami o nie-trywialnej strukturze elektronowej. Jednocześnie kluczowa rola dr Pavlosiuka w ich powstaniu nie podlega dyskusji. Na uwagę zasługuje również różnorodny zakres prac wykonanych przed dr Pavlosiuka obejmujący preparatykę próbek, pomiary wielkości fizycznych prowadzone przy użyciu szerokiej gamy technik eksperymentalnych co wskazuje na wysoki poziom rozwoju naukowego kandydata.

2. Ocena innych osiągnięć naukowo-badawczych

Dr O. Pavlosiuk jest wg bazy Web of Science (na dzień 11.12.2024) współautorem 34 publikacji (w tym 8 prac przedstawionych jako osiągnięcie naukowe) cytowanych bez autocytowań 512 razy, a indeks Hirscha wynosi 12. Biorąc pod uwagę wiek kandydata są to osiągnięcia bardzo znaczące. Na uwagę zasługuje fakt, że większość prac opublikowano w bardzo prestiżowych czasopismach takich jak Scientific Reports, Physical Review B, Physical Review X czy Advanced Functional Materials. Ponadto dr O. Pavlosiuk jest współautorem 42 komunikatów naukowych prezentowanych na 25 konferencjach międzynarodowych (w tym 20 wykładów i 17 plakatów) oraz 4 konferencjach krajowych (w tym 4 wykłady i 1 plakat). Dr Pavlosiuk osobiście prezentował wyniki badań na 17 konferencjach naukowych (w tym 8 wykładów i 10 plakatów).

Na uwagę zasługuje uzyskanie przez dr Pavlosiuka prestiżowego stypendium im. Bekkera, przyznawanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej, którego następstwem było odbycie czteromiesięcznego stażu naukowego w Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids (MPI CPfS) w Dreźnie. W związku z tym, stwierdzić można, że wymaganie ustawowe dotyczące wykazania się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej instytucji naukowej zostało przez r O. Pavlosiuka spełnione. Z pośród nagród i wyróżnień wymienić należy również uzyskanie stypendium START FNP dla młodych naukowców. W końcu, podkreślenia wymaga aktywność dra O. Pavlosiuka w realizacji projektów badawczych (łącznie 6 projektów) najczęściej w charakterze wykonawcy oraz w jednym przypadku (niedawno rozpoczęty projekt Sonata NCN) jako kierownik projektu. Ogólnie opisany powyżej dorobek naukowy oceniam bardzo wysoko.

3. Ocena dorobku dydaktycznego, organizacyjnego oraz popularyzatorskiego

Dr O. Pavlosiuk był promotorem trzech prac dyplomowych (licencjackiej, inżynierskiej i magisterskiej) obronionych na Politechnice Wrocławskiej i Uniwersytecie Wrocławskim oraz promotorem pomocniczym w dwóch przewodach doktorskich (jeden przewód przerwany, drugi w trakcie realizacji).

Działalność organizacyjna ogranicza się do udziału w organizacji konferencji International Conference on Solid Compounds of Transition Elements (SCTE 2021).

W obszarze popularyzacji nauki w latach 2018, 2019 i 2022 dr O. Pavlosiuk prowadził zajęcia laboratoryjne dla uczestników warsztatów naukowych "Niskie Łąki". Ponadto w roku 2022 prowadził zajęcia laboratoryjne dla doktorantów Wrocławskiej Szkoły Doktorskiej Instytutów Polskiej Akademii Nauk.

Podsumowując, ta część dorobku dra O. Pavlosiuka nie jest zbyt imponująca, ale w mojej opinii wystarczająca, przy czym nie ma wątpliwości że dr Pavlosiuk posiada odpowiednie doświadczenie w prowadzeniu zajęć dydaktycznych oraz promotorstwie prac dyplomowych.

4. Rekomendacja

Biorąc pod uwagę wysoką jakość osiągnięcia naukowego dr Oresta Pavlosiuka oraz jego znaczący pozostały dorobek naukowy stwierdzam, że spełnia on wymogi ustawowe stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego określone w ustawie „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 z późniejszymi zmianami. Wnioskuje o dopuszczenie dr. O Pavlosiuka do dalszej części postępowania kwalifikacyjnego celem nadania mu tytułu doktora habilitowanego.