Warszawa, 30.10.2016

Prof. dr hab. Andrzej Szewczyk
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej Oresta Pavlosiuka zatytułowanej: "Electronic properties of rare earth-based half-Heusler compounds"

Jak trafnie zauważyli to zarówno Autor rozprawy, jak i Yoichi Ando, znany na świecie ekspert w dziedzinie izolatorów topologicznych, postęp w fizyce ciała stałego jest bardzo często stymulowany poprzez odkrycie nowej grupy materiałów, wykazujących unikatowe właściwości, przy czym w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat chodzi tu najczęściej o nieznane właściwości kwantowe, intrygujące zarówno ze względów poznawczych, jak i aplikacyjnych. Właśnie taką grupą, która od kilku lat przyciąga uwagę bardzo wielu badaczy zajmujących się fizyką półprzewodników, magnetyzmem, nadprzewodnictwem i układami o silnie skorelowanych elektronach, są tzw. izolatory topologiczne, czyli materiały objętościowe i struktury dwuwymiarowe, które we wnętrzu próbki wykazują właściwości izolujące, a na powierzchniach lub krawędziach mają stany przewodzące o oryginalnych właściwościach. Na przykład są to stany, w których zwrot wektora falowego i spinu elektronu są ze sobą ściśle związane, stany, w których obserwuje się liniową zależność dyspersyjną, taką jak w przypadku relatywistycznego elektronu Diraca, co sprawia, że można wykorzystać do ich opisu teorię Diraca. Oprócz tego stwierdzono m. in., że w sytuacji, gdy w pobliżu powierzchni izolatora topologicznego zostanie umieszczony nadprzewodnik, to elektrony zajmujące powierzchniowe stany Diraca będą miały właściwości cząstek tożsamych ze swoją anytycząstką, a więc tzw. fermionów Majorany, których zbadanie jest wyjątkowo ważnym zagadnieniem badań podstawowych.

W tym kontekście poszukiwanie i dokładne zbadanie materiałów, które mogą wykazywać właściwości izolatorów topologicznych, jest bardzo aktualnym, ważnymi i ambitnym zagadnieniem. Właśnie w ten nurt badań wpisuje się przedstawiona rozprawa pana Pavlosiuka. Wiadomo, że szczególnie interesującą klasę materiałów, zwłaszcza ze względu na ich właściwości magnetyczne oraz możliwość generowania spinowo spolaryzowanych nośników prądu, stanowią stopy Heuslera. W szczególności, jak wykazały rachunki z pierwszych zasad, w ich podgrupie, nazywanej stopami „pół-Heuslera", występuje tzw. odwrócona struktura pasmowa, co sprzyja temu, żeby na powierzchni takich materiałów pojawiły się stany przewodzące. Stąd zsyntetyzowanie i przeprowadzenie dokładnych badań właściwości magnetycznych, transportowych i cieplnych grupy materiałów REMBi z RE=Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Lu i M= Pd, Pt, co postawił sobie za cel pracy pan Pawlusiuk, było bardzo dobrze sformułowanym, atrakcyjnym, aktualnym i ważnym zadaniem. Tezę tę potwierdza m. in. to, że materiały z grupy stopów „pół-Heuslera" wzbudziły też zainteresowanie kilku innych ośrodków, m. in. University of Amsterdam, Beijing National Laboratory for Condensed Mater Physics, University of Maryland, Universite de Sherbrooke (Kanada), University of Tokyo, Iowa State University. Tak więc można powiedzieć, że pan Pavlosiuk wystąpił w „dobrych zawodach". W swojej pracy porównuje on swoje rezultaty z wynikami uzyskiwanymi prawie równolegle w innych ośrodkach. Zarówno treść

przedstawionej rozprawy, jak i opublikowanie uzyskanych rezultatów w 6 pracach zamieszczonych w międzynarodowych czasopismach, przy czym 3 z tych prac są zamieszczone w bardzo dobrych czasopismach: 2 prace w Scientific Reports i jedna w Physical Review B, i pan Pavlosiuk jest ich pierwszym autorem, świadczą o tym, że Doktorant bardzo dobrze wywiązał się z podjętego zadania.

Jeżeli chodzi o stronę redakcyjną, to rozprawa przedstawiona jest w języku angielskim i jest napisana zrozumiale, czyta się ją lekko i z zainteresowaniem, chociaż daje się zauważyć, że język angielski nie jest ojczystym językiem Autora. Autor czasami niewłaściwie stosuje liczbę pojedynczą i mnogą oraz imiesłowy bierne i czynne (np. na str.15 mamy fragment: „Single crystals [...], describing in this thesis ...", w którym powinno być „described"), stosuje też czasem niepoprawne konstrukcje gramatyczne. W kilku miejscach Autor używa też niewłaściwych słów lub zwrotów, np. na str. 40. Autor chciał powiedzieć, że coś jest warte zauważenia, tj. „worth noting", a napisał, że jest to nic nie warte „worth nothing"; z kolei na stronie 46 w wierszu 4. od góry Autor pisze, że jest „multi-band charcter of electronic structure", podczas gdy powinno być chyba „multi-band character of electronic transport" lub „.. of electronic conductivity"; na str. 55 Autor stwierdza, że podał w tabeli „the obtained values of statistical dependency", a chodzi chyba o „the obtained values of correlation coefficient". Pisząc o kilku funkcjach lub zależnościach Autor używa zwrotu "dependencies". Ściśle rzecz biorąc jest to liczba mnoga od słowa "dependency" oznaczającego zależność w sensie "podległości". Sądzę, że w przypadku słowa "dependence" oznaczającego zależność w sensie "funkcji" czy "odwzorowania" poprawna forma liczby mnogiej to "dependences". Autor często pisze też, że coś jest "typical for" lub "characteristic for", a poprawną formą jest "typical of" lub "characteristic of|". W kilku miejscach (np. na str. 31 w wierszu 13. od góry), chcąc stwierdzić, że jakieś pomiary były wykonane od temperatur wysokich do pewnej niskiej temperatury, Autor pisze „up to" np. 0.1 K. Sądzę, że w takich przypadkach należałoby pisać „down to", gdyż zwrot „up to" sugeruje, że chodzi o pomiary od bezwzględnego zera do tejże niskiej temperatury. Są to jednak bardzo drobne usterki, które nie mają wpływu na czytelność całej rozprawy. W pracy można wyróżnić trzy części. Pierwsza z nich - to napisane bardzo starannie i czytelnie rozdziały 1-4 oraz podrozdział 5.1. Druga część, to pozostała część rozdziału 5., i pierwsze podrozdziały rozdziału 6, do 6.2 włącznie. Tę część Autor pisał chyba z pewnym pośpiechem, gdyż jest w niej więcej nieścisłości i nieprecyzyjnych sformułowań, chociaż analiza rezultatów jest bardzo staranna i obszerna. Trzecia część, to krótki podrozdział 6.3, w którym Autor bardzo skrótowo przedstawił wyniki uzyskane dla próbek GdPdBi, TbPdBi i DyPdBi.

Praca skonstruowana jest bardzo logicznie. Szczególnie korzystne jest zamieszczenie rozdziału 2. „Theoretical aspects", w którym Autor bardzo jasno i zwięźle przedstawił koncepcje teoretyczne i modele, które wykorzystał w analizie danych doświadczalnych przedstawionych w dalszych rozdziałach. Jedyną niezręcznością redakcyjną, jaką zauważyłem, jest to, że w sytuacji, gdy Autor porównuje rezultaty pomiarów jakiejś wielkości, np. oporu czy ciepła właściwego, uzyskane dla różnych związków, podaje odniesienie do całego podrozdziału pracy, co sprawia, że czytelnik musi najpierw odszukać ten podrozdział, a następnie wyszukać w nim dane dotyczące pomiaru tejże wielkości. Dużo wygodniejsze dla czytelnika byłoby podanie odniesienia do konkretnego rysunku czy strony.

Przechodząc do uwag szczegółowych, zauważyłem w rozprawie następujące dwa „potknięcia" merytoryczne:

1. Na str. 33 Autor rozważa przewodnictwo w modelu dwukanałowego transportu ładunku i podaje, że przewodnictwo w kanale półprzewodnikowym wyraża się wzorem (5.9). Opisując ten wzór Autor twierdzi, że parametr E_g oznacza wartość przerwy energetycznej pomiędzy pasmem przewodnictwa i pasmem walencyjnym, a samo wyrażenie (5.9) opisuje „proces rozpraszania nośników wzbudzonych termicznie do pasma przewodnictwa poprzez wąską przerwę energetyczną". Niestety mamy tu do czynienia z następującymi pomyłkami i nieścisłościami:
   (1) Jak wiadomo i jak ilustrują to zależności przedstawione na rysunkach 5.10 i 5.11, przewodność właściwa półprzewodnika rośnie wraz ze zwiększaniem temperatury, a wzór (5.9) przewiduje zmniejszanie się przewodności wraz ze zwiększaniem temperatury. Tak więc wzór (5.9) określa nie przewodność, a opór właściwy półprzewodnika i aby opisywał on przewodność, należy w nim zastąpić $-E_g$ przez E_g. Więcej, aby dostać krzywą przedstawioną linią przerywaną na rys. 5.10 należy nie tylko zmienić znak E_g, ale także pomnożyć współczynnik proporcjonalności a podany w tabeli 5.2 przez 10^{-3}.
   (2) Postać wzoru (5.9) sugeruje, że nie opisuje on procesu rozpraszania nośników, a klasyczny proces zwiększania się przewodnictwa samoistnego półprzewodnika poprzez termiczne wzbudzanie nośników do pasma przewodnictwa. Jednak w takim przypadku w argumencie funkcji eksponens powinno występować $E_g/(2k_BT)$, a nie $E_g/(k_BT)$. Oczywiście taka zamiana wiązałaby się ze zmianą wartości przerwy energetycznej podanej w tabeli 5.2. Prosiłbym więc pana Pavlosiuka o wyjaśnienie tej kwestii na obronie. Oczywiście można by sobie wyobrazić, że w przypadku materiałów badanych w rozprawie, aktywacyjny typ zależność przewodnictwa od temperatury związany jest z jakimś innym mechanizmem rozpraszania nośników, ale w takim przypadku prosiłbym o wyjaśnienie, dlaczego parametr E_g miałby być równy przerwie energetycznej. Argumentem przemawiającym za tym, że przyczyną zwiększania się przewodnictwa wraz ze wzrostem temperatury jest generowanie nośników jest to, że we wzorze (6.5), opisującym przewodnictwo związku HoPdBi, Autor umieścił brakujący czynnik 2. Niemniej jednak również we wzorze (6.5) występuje $-E_g$ zamiast E_g.

   Jestem przekonany, że Autor przeprowadził wszystkie obliczenia poprawnie (świadczy o tym chociażby fakt, że krzywe przedstawione na wykresach są poprawne, a nie uzyskałby ich stosując zły wzór) i mamy tu do czynienia jedynie z pomyłką redakcyjną.
2. Na str. 31, opisując ogólne właściwości nadprzewodników, pan Pavlosiuk stwierdza, że „kiedy natężenie pola magnetycznego wzrasta [w domyśle przy ustalonej temperaturze – A.S.] objętość worteksów również wzrasta i w ten sposób nadprzewodnictwo znika". Jest to sformułowanie nieprecyzyjne, zapewne wynikające ze względów językowych, gdyż przy ustalonej temperaturze objętość poszczególnych worteksów pozostaje taka sama, zwiększa się natomiast ich liczba, a więc zwiększa się nie objętość worteksów, a ta część objętości próbki, w której one występują.

Wymienione wyżej uchybienia nie mają jednak wpływu na poprawność wyciągniętych przez Autora ogólnych wniosków.

Pozostałe uwagi odnośnie rozprawy to:

1. Str. 10. Brak jest zgodności jednostek pomiędzy wzorami (2.17), które są wyrażone w jednostkach CGS Gaussa, a wzorami (2.13) i (2.14) – wyrażonymi w jednostkach SI. Poza tym we wzorze (2.17) przyjęto milcząco, że temperatura T jest wyrażona w jednostkach energii (w przeciwnym razie powinno być nie T a k_BT). Oczywiście ma to jedynie kosmetyczne znaczenie i nie ma wpływu na poprawność rozprawy.
2. Istnieją dwa podejścia do rozpraw doktorskich. Część środowiska uważa, że ma to być krótki raport z przeprowadzonych badań, adresowany głównie do dość wąskiego grona specjalistów, a pozostała część jest zdania, że ma to być szersze opracowanie, popularyzujące daną dziedzinę i mogące służyć jako swego rodzaju podręcznik dla studentów czy innych osób, które nie zajmują się na co dzień daną tematyką. W tym kontekście rozdział 3. przedstawionej rozprawy, zatytułowany „Experimantal methods", wpisuje się w pierwsze z wymienionych podejść. Autor informuje jedynie, że skład i jednorodność próbek były badane z wykorzystaniem „FEI scanning microscope equipped with EDAX Genesis XM4 energy-disspersive spectrometer", że namagnesowanie było mierzone metodą DC i AC z wykorzystaniem magnetometrów typu SQUID MPMS-XL i MPMS-5 firmy Quanum Design oraz że badania neutronowe były wykonane w Laboratoire Leon Brillouin na dwu-osiowym dyfraktometrze VIP, pozostawiając rozszyfrowanie ww. skrótów czytelnikowi. Ja osobiście uważam, że taka forma jest właściwa w przypadku publikacji, ale w przypadku rozprawy doktorskiej korzystniejsze byłoby nieco dokładniejsze opisanie tych urządzeń. Jednak ze względu na istnienie dwóch ww. podejść, nie jest to zarzut, a jedynie wyraz moich preferencji. Pewnym niedostatkiem jest jednak to, że Autor nie precyzuje dokładniej, które z opisywanych w rozdziale 3. badań przeprowadził sam, które wykonał we współpracy z innymi osobami, a przeprowadzenie których powierzył innym badaczom. Jednak biorąc pod uwagę to, że w pozycjach [b-g] spisu publikacji pana Pavlosiuka prezentowane są rezultaty rozprawy i że we wszystkich tych pracach pan Pavlosiuk jest pierwszym Autorem, jestem przekonany, że Autor rozprawy był w tych badaniach osobą wiodącą.
3. Str. 25. Autor stwierdza, że wstawka w rysunku 5.3 przedstawia (w dosłownym tłumaczeniu) „słabą zależność namagnesowania DC od pola magnetycznego w T= 1.62 K. Tymczasem można zauważyć, że wspomniane namagnesowanie wyrażone w jednostkach umownych maleje od 0 do ok. -0.8, a następnie wzrasta do ok. -0.4. Nie wydaje mi się to zależnością „słabą" i nie bardzo rozumiem co Autor chciał przekazać czytelnikowi, podkreślając, że jest to zależność słaba.
4. Zgodnie z podanym w treści pracy opisem wykresów przedstawionych na rysunkach 5.10 i 5.11 (str. 35, drugie zdanie paragrafu rozpoczynającego się słowami „Fitting of Eq. 5.8 ...") linie zielone powinny przedstawiać przewodnictwo metaliczne, a linie niebieskie – półprzewodnikowe. Tymczasem w podpisie rysunku 5.10 mamy opis odwrotny, a równocześnie rys. 5.10.a jest zgodny z opisem podanym w tekście, a rys. 5.10.b jest zgodny z podpisem pod rysunkiem. Z kolei podpis pod rys. 5.11 podaje informacje odwrotne niż w tekście, a same wykresy na rys. 5.11 a i b są zgodne z opisem podanym w tekście. Na szczęście oznaczenia poszczególnych krzywych symbolami σ_m i σ_s są poprawne na wszystkich rysunkach.

5. Str. 35. Jako temperaturę, poniżej której przewodnictwo półprzewodnikowe YPtBi jest zaniedbywalne, Autor podaje ok. 50 K w tekście i 60 K w tabeli 5.2. Nie wiem, jaki jest powód lub cel takiej rozbieżności.
6. Nie rozumiem, jaką myśl chciał wyrazić Autor w pierwszym zdaniu ostatniego akapitu na str. 38. Autor pisze, że: „wartości γ i Θ_D otrzymane dla LuPdBi nie są zbyt bliskie wartości podanych w pracy 99 [...], pomimo że zakresy temperatur użyte w dopasowaniach były różne". Czy to ma znaczyć, że gdyby Autor posłużył się takim samym zakresem temperatur jak Autor pracy [99], to rozbieżność uzyskanych wartości byłaby uzasadniona? Poza tym uważam, że temperatura Debye'a wyznaczona jako wynik dopasowania modelu Debye'a do zmierzonej temperaturowej zależności ciepła właściwego jest parametrem jakościowym, a więc uzyskana przez Autora wartość 181 K nie jest znacząco różna od wartości 194.9 K podanej w pracy [99]. Na marginesie warto zauważyć, że podanie przez Autora pracy [99] wartości temperatury Debay'a z dokładnością do dziesiątych części kelwina nie było zbyt sensowne. Nawet wartości podane przez pana Pavlosiuka w tabeli 5.3, z dokładnością do pojedynczych kelwinów należy traktować raczej jako matematyczne parametry zapewniające najlepsze dopasowanie zależności teoretycznej do danych doświadczalnych niż jako dokładne wartości temperatury Debye'a.
7. W podpisie rysunku 5.14 Autor podał, że linia fioletowa przedstawia wkład Schottky'ego, tymczasem chodzi tu o jądrowy wkład Schottky'ego i tak jest on określany w tekście rozprawy. Nazwa „wkład Schottky'ego" bez dodatkowych przydawek stosowana jest na ogół do efektu związanego ze wzbudzeniami jonów do różnych stanów elektronowych.
8. W pierwszym akapicie podrozdziału 5.4.1 Autor tłumaczy asymetrię zmierzonych zależności magnetooporu ze względu na znak pola magnetycznego – geometrią kontaktów elektrycznych i dodaje, że ze względu na asymetrię kontaktów istotny jest wkład efektu Halla do mierzonego magnetooporu. Tłumaczenie to budzi we mnie pewien niedosyt. Daje tu o sobie znać wspomniany przeze mnie w punkcie 2. zbyt ubogi opis stosowanych metod badawczych. Autor nie podał informacji, jaki był kształt próbki, jaka była geometria naniesionych kontaktów, jaka była orientacja próbki monokrystalicznej, tj. w wzdłuż jakiego kierunku krystalograficznego przykładano pole magnetyczne, a wzdłuż jakiego skierowany był prąd, a także czy magnetoopór był mierzony metodą AC (pozwalającą wyeliminować efekty termoelektryczne) czy DC. Brak podobnych informacji występuje również w podrozdziałach: 6.1.4 przy omawianiu zależności oporności właściwej od grubości próbki HoPdBi, 6.2.2 przy omawiniu właściwości magnetycznych ErPdBi i w podrozdziale 6.3 przy omawianiu próbek z Gd, Tb i Dy.
9. Na str. 39 Autor używa pojęcia „residual-resistance ratio" nie definiując go. Tylko na podstawie tego, że Autor odwołuje się do wartości tego parametru podanej w [21], można się domyślić, że chodzi tu o stosunek oporności w 300 K do oporności w 2 K.
10. Str. 44. Analizując izotermiczne zależności oporności Halla od pola, Autor sugeruje, że dla każdej temperatury można wskazać taką wartość pola, przy której następuje zmiana nachylenia zależności ϱ_{xy}(B). Rozumowanie to wydaje mi się mało przekonujące, gdyż zależności przedstawione na rys. 5.20 są nieliniowe w całym zakresie B i próba przybliżenia ich dwoma prostymi o różnych nachyleniach wydaje mi się niezbyt uzasadniona, a wybór pola, przy którym miałaby następować zmiana nachylenia tych

liniowych zależności, wydaje mi się dosyć arbitralny. Przyjmuję też za prawdziwą podaną przez Autora w dalszej części analizy informację, że nie udało się opisać uzyskanych zależności w modelu dwupasmowym, opisanym w podręczniku Ashcrofta i Mermina, ale nie rozumiem stwierdzenia, że było to niemożliwe, gdyż „istniała silna zależność pomiędzy otrzymanymi parametrami".

11. W zaczynającej się na str. 47 analizie oscylacji Szubnikowa – de Haasa w YPtBi Autor stwierdza, że oscylacje oporności podłużnej ϱ_{xx} były mniej widoczne niż oscylacje oporności hallowskiej ϱ_{xy}, a więc dalej będzie analizował ϱ_{xy}, po czym stosuje wzory podane w książce Shoenberga „Magnetic oscillations in metals", uzyskane w modelu Lifszyca–Kosevicha, obowiązujące dla oporności podłużnej - do przypadku oporności hallowskiej ϱ_{xy}. Uważam, że uzasadnienie „bo oscylacje oporności hallowskiej były lepiej widocznie" jest dosyć słabe i oczekiwałby, że Autor przedstawi na obronie dokładniejsze uzasadnienie, dlaczego sądzi, iż można zastosować wzory opisujące amplitudę i fazę fluktuacji $\Delta\varrho_{xx}$ do $\Delta\varrho_{xy}$.
12. Aby wykres Dingle'a zamieszczony na rys. 5.22.c przedstawiał istotnie zależność liniową, w wyrażeniu, z którego obliczany jest logarytm, powinno występować $B^{3/2}$, a nie B. Ta sama uwaga odnosi się do rysunku 5.30.b. Zakładam, że Autor przeprowadził obliczenia poprawnie i jest to tylko błąd redakcyjny.
13. Str. 49. We wzorze na wektor falowy Fermiego pierwiastek powinien być podzielony przez π. Wzór ten stałby się wtedy zgodny z podanym w odnośniku [73] wzorem (123).
14. Moje zastrzeżenia budzi sposób przedstawienia danych w tabeli 5.4. W drugiej kolumnie Autor podaje dopasowane wartości współczynnika $\alpha e^2/(2\pi 2\hbar)$, które są rzędu 10^2, z dokładnością do dziesiątych części, a równocześnie w następnej kolumnie podaje niepewność wyznaczenia tych wartości, która jest rzędu 10, również z dokładnością do dziesiątych części, np. w pierwszym wierszu mamy parametr -153.7 wyznaczony z dokładnością do 21.8. O ile jestem w stanie zrozumieć, że celem podania tak precyzyjnej wartości samego parametru mogło być umożliwienie czytelnikowi odtworzenia wyznaczonej przez Autora zależności teoretycznej, to podanie niepewności z dokładnością do 3 cyfr wydaje się niezbyt sensowne.
15. W bardzo ładnie wykonanej analizie magnetooporu związku LuPdBi (str. 54) pewne wątpliwości co do stosowalności przyjętego modelu może budzić fakt, że uzyskano wartości parametru $\alpha \sim 10^6$, a więc wartości o wiele rzędów wielkości większe niż przewidywana teoretycznie wartość 1/2. Sam Autor zwraca zresztą uwagę czytelnika na ten fakt i podaje jego hipotetyczne uzasadnienie. To samo odnosi się do analizy magnetooporu HoPdBi (podrozdział 6.1.5).
16. W rozdziale 6 Autor przedstawia badania właściwości magnetycznych i cieplnych monokryształów związków, które porządkują się magnetycznie. Podobnie jak w rozdz. 5. brakuje mi tu informacji o tym, wzdłuż jakiego kierunku krystalograficznego przykładane było pole magnetyczne i czy próbki wykazywały jakąś anizotropię magnetyczną.
17. Na str. 65 Autor, analizując temperaturową zależność podatności magnetycznej AC, stwierdza, że powyżej temperatury przejścia z fazy nadprzewodzącej do normalnej antyferromagnetycznej ($T_C \approx 1$ K) rzeczywista składowa podatności pozostaje dalej ujemna i osiąga zero dopiero w T = 1.4 K. Nie jest dla mnie jasne, dlaczego podatność

antyferromagnetyka znajdującego się w fazie normalnej miałaby być ujemna. Interesuje mnie czy Autor ma jakąś hipotezę, która wyjaśniałaby ten fakt doświadczalny.

18. Położenia poziomów Γ_1 i $\Gamma_5^{(2)}$ podane w tekście (str. 68) są odwrotne niż na rys. 6.6.
19. W trzech ostatnich zdaniach podrozdziału 6.1.2 Autor pisze, że brak zależności zwiększania się ciepła właściwego wraz z obniżaniem temperatury od pola wskazuje na to, że jądrowe momenty magnetyczne holmu są „bardzo stabilne". Wydaje mi się, że świadczy to raczej o tym, że pole nadsubtelne na jądrach holmu ma dużo większą wartość niż przykładane przez Autora maksymalne pole 3.2 T.
20. Argumentacja podana na str. 75 pomiędzy wzorami (6.7) i (6.8) odnośnie wyznaczonej wartości momentu magnetycznego jonów Ho jest niejasna i mało przekonująca. Autor twierdzi, że otrzymana z pomiarów magnetycznych wartość 6.9 μ_B, mniejsza od wartości momentu swobodnego jonu, jest wynikiem wpływu pola krystalicznego - i z tym argumentem zgadzam się. Jednak dalej Autor twierdzi, że otrzymał jeszcze mniejszą wartość momentu, 4.4 μ_B, analizując wysokotemperaturową podatność magnetyczną „wyekstrahowaną" z pomiarów oporu, gdyż w materiale występuje pole krystaliczne. Z tym twierdzeniem trudno się zgodzić, bo jest to ciągle to samo pole krystaliczne i ten sam materiał, a więc już raz stwierdzono, że pole krystaliczne obniża wartość momentu magnetycznego do 6.9 μ_B i trudno oczekiwać, że będzie ono wpływać jeszcze na wartość momentu, występującą we wzorze na podatność. Sądzę, że „zrzucenie odpowiedzialności" na temperaturową zależność współczynnika A byłoby tu bardziej uzasadnione.
21. Komentując rys. 6.17 Autor stwierdza, że zmierzona w polu 7 T wartość momentu magnetycznego jonu Er jest mniejsza (7 μ_B) niż swobodnego jonu (9 μ_B) w wyniku działania pola krystalicznego. Wydaje mi się, że gdyby liniowa zależność namagnesowania od pola utrzymywała się w polach wyższych niż stosowane przez Autora, to w polu ~14 T można by osiągnąć wartość teoretyczną dla swobodnego jonu.
22. Na str. 84, w opisie fourierowskiej analizy oscylacji Szubnikowa - de Haasa w ErPdBi występuje pomyłka redakcyjna. Autor pisze, że amplituda maksimum FFT MALEJE przy OBNIŻANIU temperatury, a z rys. 6.21 wynika, że jest odwrotnie.
23. W podrozdziale 6.2, analizując właściwości magnetyczne próbek GdPdBi, TbPdBi i DyPdBi, Autor stwierdza, że zmierzone zależności χ(T) mają kształt "typowy dla przejścia do fazy antyferromagnetycznej". Jest to prawda, ale brakuje tu uzupełniającej informacji o tym wzdłuż jakiego kierunku krystalograficznego dokonano pomiaru i czy w przypadku wysokiej, regularnej, symetrii kryształu kształt ten zależał od kierunku wzdłuż którego mierzono podatność czy nie.
24. Na str. 86 w wierszu 4 jest pomyłka redakcyjna. Wskazano związek z Dy jako ten, w którym pole magnetyczne nie wpływa na anomalię ciepła właściwego, a należało wskazać związek z Tb.
25. W podsumowaniu rozdziału 6, na str. 89 Autor pisze, że związki ErPdBi i HoPdBi wykazują ujemny magnetoopór w temperaturach niskich, a wraz z podwyższanie temperatury magnetoopór zmienia znak i jest dodatni powyżej 150 K. Rysunki 6.11, 6.13, 6.14 i 6.20 oraz analiza przedstawiona w tekście pracy świadczą o tym, że jest odwrotnie, a więc jest to pomyłka.

Konkludując, w swojej rozprawie doktorskiej pan Pavlosiuk podjął bardzo interesujący, aktualny i ważny temat poszukiwania związków wykazujących nietrywialne właściwości topologiczne na powierzchni - w grupie materiałów o tzw. strukturze "poł-Heuslera". O aktualności podjętego problemu świadczy fakt, że grupą tych materiałów zainteresowało się również kilka innych, liczących sie na świecie ośrodków. Autor wytworzył serię ośmiu monokryształów o różnych składach chemicznych, przeprowadził ich dokładną charakteryzację, a następnie zebrał bogaty materiał doświadczalny, tj. wykonał badania ich właściwości cieplnych, magnetycznych i - przede wszystkim - transportowych, tj. oporu, magnetooporu i oporu hallowskiego. Za szczególnie wartościowy rezultat rozprawy uważam wykonanie precyzyjnych pomiarów i dokładnej analizy oscylacji Szubnikowa - de Hassa magnetooporu. Wykonane badania pozwoliły Autorowi na wyciągnięcie wniosku, że na właściwości badanych materiałów ma olbrzymi wpływ stechiometria próbek (z czym wiążą się rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskiwanymi w różnych ośrodkach), a także iż wśród badanych związków kilka wykazuje właściwości (np. niezerową fazę Berriego oscylacji Szubnikowa - de Haasa czy wpływ zjawiska antylokalizacji na magnetoopór) świadczące o ich nietrywialnych właściwościach topologicznych. Szczególnie obiecującym związkiem wydaje się HoPdBi, w którym oprócz intrygujących właściwości transportowych obserwuje się współistnienie uporządkowania antyferromagnetycznego i nadprzewodnictwa. Na podkreślenie zasługuje fakt, że uzyskane przez Doktoranta rezultaty zostały opublikowane w 6 pracach (w pięciu z nich pan Pavlosiuk jest pierwszym autorem), przy czym 3 z tych prac, w których Doktorant jest pierwszym autorem, zostały zamieszczone w bardzo dobrych czasopismach (2 w Scientific Reports i jedna w Physical Review B). Zauważone przeze mnie, wymienione wyżej, usterki, są uchybieniami drobnymi, w większości o charakterze redakcyjnym, i nie wpływają na poprawność wyciąganych przez Autora wniosków.

Uważam, że przedłożona rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie naukowego problemu i spełnia z nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim w art. 13. „Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki", a także w „Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 października 2015 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora". W związku z powyższym z pełnym przekonaniem występuję do Rady Naukowej Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN z wnioskiem o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie pana Oresta Pavlosiuka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

A. Szewczyk

Andrzej Szewczyk