

Warszawa 12.08.2021 r.

Prof. dr hab. Mariusz Gajda

Instytut Fizyki PAN

Aleja Lotników 32/46

02-668 Warszawa

Recenzja rozprawy zatytułowanej
„Dynamics of binary quantum mixtures”
przedstawionej przez mgr. Piotra Grochowskiego
jako wypełnienie części wymogów procedury doktorskiej

Mgr Piotr Grochowski, w celu wypełnienia części warunków określonych w procedurze doktorskiej, przedstawił dzieło zatytułowane „Dynamics of binary quantum mixtures”. Jest ono napisane w języku angielskim. Główna część liczy 237 stron oraz 531 pozycji bibliograficznych zajmujących 39 stron.

Na pierwszy rzut oka można odnieść wrażenie, że rozprawa doktorska mgr. P. Grochowskiego ma formę „maszynopisu książki”, zgodnie z terminologią ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595. Art.13 p.2, która mówi:

„2. Rozprawa doktorska może mieć formę maszynopisu książki, książki wydanej lub spójnego tematycznie zbioru rozdziałów w książkach wydanych, spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopiśmie naukowych, określonych przez ministra właściwego do spraw nauki na podstawie przepisów dotyczących finansowania nauki, jeżeli odpowiada warunkom określonym w ust. 1”

Przez określenie maszynopisu książki rozumiem również pracę przeglądową autorstwa kandydata. Jednak dokładniejsza lektura rozprawy sugeruje, że rozprawa ma formę (Art.13 p.2)

„...spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopiśmie naukowych, określonych przez ministra właściwego do spraw nauki”.

Kandydat mówi o tym wyraźnie we wszystkich preambułach do rozdziałów od 4. do 11., w których przedstawione są główne osiągnięcia autora. Mgr Piotr Grochowski pisze w każdej z preambuł, cytując:

„Large parts of the Chapter are word for word quotations from ...”

- i tu następuje podanie źródła. Dokładniejsza analiza potwierdza, iż w przeważającej części autor dosłownie zacytował wymienione opracowanie naukowe dokonując nieistotnych pod względem merytorycznym drobnych modyfikacji, w tym np. inaczej sformatował dany tekst źródłowy.

Wobec takich faktów nie mogę potraktować rozprawy jako „maszynopisu książki”, której autorem jest mgr Piotr Grochowski, gdyż nie przedstawił on oryginalnego, własnego opracowania wyników prac zbiorowych lecz zacytował te prace w znacznej części dosłownie.

W mojej ocenie, przedstawiona rozprawa ma formę dzieł zebranych pod redakcją mgr P. Grochowskiego. Doszedłem do wniosku, że spełnia ona wymogi ustawy, jeśli potraktuję ją jako cykl prac zbiorowych. poprzedzonych obszernym wstępem. W takim przypadku ustawa mówi:

„Art. 13. 4. Rozprawę doktorską może także stanowić samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej, jeżeli wykazuje ona indywidualny wkład kandydata przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy, odpowiadający warunkom określonym w ust. 1.”

Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. (Dz. U. z 30 stycznia 2018 r. Poz. 261) określa szczegółowo w jaki sposób należy wyodrębnić indywidualny wkład kandydata. W paragrafie 5, ust. 2 stwierdza się między innymi:

„W przypadku gdy rozprawę doktorską stanowi samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej, kandydat przedkłada promotorom, o których mowa w paragrafie 2 ust. 1 i ust. 2 pkt 1 i 2, wraz z dokumentami, o których mowa w ust. 1, oświadczenia wszystkich jej współautorów określające indywidualny wkład każdego z nich w jej powstanie. ...”

Autor dostarczył takie oświadczenia oraz opisał szczegółowo swoją rolę w każdym z dzieł zbiorowych.

Ustawa także szczegółowo określa, jakie prace mogą wchodzić do rozprawy doktorskiej mającej formę spójnego tematycznie cyklu prac zbiorowych. Niestety, nie wszystkie prace, niemal w całości przytoczone w rozdziałach 4-11, mogą wchodzić do rozprawy doktorskiej mgr. P. Grochowskiego.

Na stronie xi części poprzedzającej wstęp do rozprawy autor przedstawił listę swych publikacji, w tym wyróżnił osiem publikacji, na których opiera się jego

rozprawa doktorska. Kandydat zamieścił też listę pięciu innych publikacji w celu ukazania swego dorobku naukowego. Inaczej niż w opracowaniach przedstawiających osiągnięcie będące podstawą do nadania stopnia doktora habilitowanego, w przypadku rozpraw doktorskich dorobek naukowy nie stanowiący rozprawy nie podlega ocenie przez recenzenta.

Mgr P. Grochowski pisze w preambule do rozdziału 4., iż praca nr 1 (numeracja zgodna z listą publikacji na stronie xi) była podstawą do uzyskania przez niego tytułu licencjata i z tego powodu nie wchodzi do rozprawy. Autor, w mojej opinii słusznie, wykluczył pracę nr 1 z cyklu stanowiącego rozprawę.

Stwierdzam również, że w momencie złożenia rozprawy, prace 7 i 8 nie były ani opublikowane ani przyjęte do druku. Jak autor twierdzi, zostały one wysłane do druku i są obecnie recenzowane. Ustawa stanowi, że prace zbiorowe stanowiące rozprawę muszą być opublikowane lub przyjęte do druku. Mimo, iż prace 7 i 8 stanowią spójną tematycznie kontynuację prac wcześniejszych, nie mogą one wejść do rozprawy doktorskiej i nie podlegają ocenie.

Nie podlega również ocenie praca nr. 6. Dotyczy ona dynamiki oddziałującego jednowymiarowego gazu bozonów rozprężającego się z mniejszego do większego pudła kwantowego, tworząc przy tym tzw. dywan kwantowy. Tytułem rozprawy jest „Dynamika dwuskładnikowych mieszanin kwantowych” a praca nr 6, dotycząca pojedynczego składnika, nie może więc być zaliczona do spójnego tematycznie cyklu stanowiącego rozprawę.

Z żalem muszę stwierdzić, że praca: P. T. Grochowski, T. Karpiuk, M. Brewczyk, and K. Rzażewski, Fermionic quantum carpets: From canals and ridges to solitonlike structures, Phys. Rev. Research 2, 013119 (2020), mimo że została, opublikowana w czasopiśmie wydawanym przez niezwykle renomowane wydawnictwo: American Physical Society, nie znajduje się w wykazie ogłoszonym w załączniku do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 9 lutego 2021 r. Nie ma tego czasopisma również we wcześniejszym komunikacie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 18 grudnia roku 2019 w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych. Zgodnie z Art. 13 p.2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku wyżej wymieniona praca nie może zostać zaliczona do cyklu publikacji stanowiących rozprawę doktorską. Niestety prawo nie nadąza tutaj za życiem.

Natomiast rozdziały od 1. do 3., są niewątpliwie częścią rozprawy doktorskiej. Wypełniają one warunek określony w Art. 13 pkt 1, który mówi, że rozprawa doktorska powinna

„...wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej ...”. Rzeczywiście taki jest cel rozdziałów 1-3.

Ta niewątpliwie długa ocena formalnej zgodności rozprawy z obowiązującymi przepisami, jest konieczna, gdyż forma zaprezentowania tez doktorskich przez kandydata może mylnie, moim zdaniem, sugerować, że rozprawa jest „maszynopisem książki”.

Podsumowując, w myśl przepisów ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595., i przeprowadzonej przeze mnie analizy przedstawionego do recenzji opracowania, uznaję, że ocenie recenzenta podlega jedynie spójny tematycznie cykl prac nr 2, 4 i 5 (według numeracji ze strony xi), oraz rozdziały 1-3. Jak już wspomniałem rozprawa doktorska opatrzona jest streszczeniem w języku angielskim oraz w języku polskim a mgr Piotr Grochowski opisał swój wkład w wyżej wymienione prace oraz przedstawił oświadczenia współautorów o ich wkładzie w prace zbiorowe. Inne przedstawione prace zbiorowe nie są przedmiotem niniejszej oceny chociaż są wartościowymi osiągnięciami naukowymi kandydata rozszerzającymi cykl prac stanowiących rozprawę.

W szczególności ocenie podlegają następujące, opublikowane prace zbiorowe stanowiące spójny tematycznie cykl zatytułowany „Dynamics of binary quantum mixtures”:

[2] P. T. Grochowski, T. Karpiuk, M. Brewczyk, and K. Rzążewski, Unified description of dynamics of a repulsive two-component Fermi gas, Phys. Rev. Lett. 119, 215303 (2017).

[4] T. Karpiuk, P. T. Grochowski, M. Brewczyk, and K. Rzążewski, Collective oscillations of a two-component Fermi gas on the repulsive branch, SciPost Phys. 8, 66 (2020).

[5] P. T. Grochowski, T. Karpiuk, M. Brewczyk, and K. Rzążewski, Breathing mode of a Bose-Einstein condensate immersed in a Fermi sea, Phys. Rev. Lett. 125, 103401 (2020).

Przyjęta interpretacja pozwala mi na wykonanie recenzji bez konieczności stawiania wniosku dotyczącego uzupełnienia lub poprawy rozprawy doktorskiej, zgodnie z uprawnieniami jakie daje recenzentowi rozporządzenie MNiSW z dnia 19 stycznia 2018 r. Dz.U. dnia 30 stycznia 2018 poz. 261.

Ocena merytoryczna rozprawy.

Cykl prac stanowiących rozprawę doktorską jest poprzedzony szerokim omówieniem tła historycznego oraz aktualnego stanu wiedzy badanych zagadnień. Ten wstęp jest przedstawiony w 3. rozdziałach zajmujących 73 strony. Zawarty jest w nim obszerny opis pokazujący rozwój koncepcji ferromagnetyzmu na przestrzeni lat ze, szczególnym uwzględnieniem idei Stonera. Jest to świetne wprowadzenie do zagadnień magnetyzmu wędrownego - „itinerant magnetism”. W dalszej części wstępu mgr P. Grochowski przedstawił przegląd idei chłodzenia atomów prowadzących do wytworzenia zdegenerowanych gazów kwantowych oraz omówił specyfikę układów atomowych (zachowana magnetyzacja) w kontekście przejawów ferromagnetyzmu. Mnie najbardziej podobał się jakościowy opis własności mieszaniny dwóch gazów fermionowych w oparciu o widmo wzbudzenia polaronu fermionowego..

Rozdział drugi stanowi bardzo wyczerpujące omówienie metod teoretycznych stosowanych w badaniach ultrazimnych gazów kwantowych. Kandydat szeroko omówił postać funkcjonału energii poświęcając sporo miejsca kwantowym poprawkom wychodzącym poza standardowy, uproszczony opis. Główny nacisk położył na opis mieszanin fermionowych i bozonowo-fermionowych.

W rozdziale trzecim kandydat przedstawił formalizm opisu dynamiki mieszanin kwantowych gazów. Szczególne miejsca zajmują dwa podejścia – zależna od czasu metoda Hartree-Focka oraz opis hydrodynamiczny. O ile pierwsza metoda stosowana jest dla stosunkowo małych układów, to drugie podejście nie jest czułe na liczbę atomów. Wymaga jednak przyjęcia założeń, że gaz jest w reżimie hydrodynamicznym. Autor przedstawił również metody oparte o sieci tensorowe, szczególnie użyteczne w ścisłym opisie jednowymiarowych układów.

Trzy pierwsze rozdziały rozprawy wykazują wielką dojrzałość naukową mgr. P. Grochowskiego oraz jego bardzo dobrą znajomość metod teoretycznych stosowanych do opisu ultrazimnych układów, nie tylko w stanie równowagi, ale również w sytuacjach dynamicznych.

Rozdział piąty to obszerny cytat z pracy opublikowanej w Phys. Rev. Lett 119, 215303 (2017) zatytułowanej „Unified description of dynamics of a repulsive two-component Fermi gas”, której autorami są P.T. Grochowski, T. Karpiuk, M. Brewczyk i K. Rzążewski.

Praca ta poświęcona jest opisowi eksperymentu przeprowadzonego we Florencji przez G. Roatiego i jego zespół. W pracy podano teoretyczny opis dynamiki układu składającego się z dwóch składników fermionowych (różniących się orientacją spinu) oddzielonych początkowo barierą potencjału. Składniki są więc ułożone w dwóch rozłącznych obszarach wydłużonej, osiowo symetrycznej pułapki harmoniczej. Po

wyłączeniu bariery oba składniki oscylują. W pracy wyznaczono częstość drgań odległości środków masy obu składników – spinowego modu dipolowego.

Zastosowano dwa rodzaje opisu teoretycznego – metody Hartree-Focka oraz opisu hydrodynamicznego, który poprzez odwrotną transformację Madelunga został sprowadzony do układu dwóch nieliniowych równań Schrödingera na dwie pseudo-funkcje falowe. Obliczenia metodą orbitali Hartree-Focka przeprowadził prof. Tomasz Karpiuk dla stosunkowo małych układów 48 i 420 atomów, natomiast mgr Piotr Grochowski wykonywał rachunki, drugą metodą dla 10000 atomów. Obie metody okazały się być zgodne ze sobą. Obydwie pokazały, że w granicy słabego odpychania między obu chmurami składniki mieszają się oscylując z częstością, która dla słabego odpychania jest równą częstości pułapki, a następnie maleje wraz ze wzrostem siły odpychania. Silnie tłumiona jest też amplituda tych oscylacji. Najważniejszym w moim odczuciu wynikiem jest pokazanie, że powyżej krytycznej wartości odpychania pojawia się gwałtowna zmiana zachowania układu mająca charakter niestabilności Stonera. Chmury pozostają rozseparowane, pojawiają się dwie wyraźne domeny ferromagnetyczne. Każdy składnik zajmuje obszar połowy pułapki i oscyluje z jej podwojoną częstością. Otrzymany wynik zgadza się z obserwacjami doświadczalnymi. Chcąc uzyskać nie tylko zgodność jakościową, ale również ilościową, autorzy musieli uwzględnić poprawki wyższego rzędu do oddziaływania między dwoma chmurami fermionowymi. Poprawki te są często zaniebywane gdyż nie są istotne dla słabo oddziałujących gazów, ale w przypadku silniejszych oddziaływań, jak te badane w pracy, okazały się być ważne. Uwzględnienie tych wyrazów zmienia funkcjonal energii i postać równań dynamicznych. Autorzy pokazali, że uwzględnienie wyrazów wyższego rzędu pozwala na uzyskanie doskonałej zgodności z doświadczeniem.

Tę pracę kandydata uważam za najcenniejszą w przedstawionej do oceny rozprawie. Sformułowano w niej teoretyczne podstawy opisu dynamiki dwuskładnikowego gazu fermionowego w przybliżeniu pola średniego. Pokazano konieczność uwzględnienia poprawek do energii oddziaływania wychodzących poza standardowy opis. Zastosowano dwie różne metody. Obie dały bardzo dobrą zgodność z doświadczeniem, chociaż obliczenia metodą hydrodynamiczną zostały wykonane dla sferycznie symetrycznej pułapki. Pokazano, że w sytuacji kiedy w układzie nie ma możliwości powstania dimerów (niestabilności związanej z tworzeniem się par) oraz kiedy odpychanie między składnikami jest odpowiednio duże, to powstają domeny ferromagnetyczne zgodnie z teorią Stonera.

Praca opiera się na dwóch filarach – mgr P. Grochowski był odpowiedzialny za jeden z nich. Wykonał obliczenia oparte na opisie hydrodynamicznym i odwrotnej transformacji Madelunga, które lubią być niestabilne. Opanowanie tego problemu jest zawiłym zadaniem, z którym doskonale poradził sobie kandydat. Zastanawiam się dlaczego na wykresie 5.1.d) nie przedstawiono wyników obliczeń tą metodą w

szerokim zakresie oddziaływań między $k_{Fa} = 1$ oraz $k_{Fa} = 2$. Wydają się, że brakuje tam punktów na wykresie. A jest to najciekawszy obszar przejściowy, w którym autorzy pokazali jedynie wyniki dla małej liczby atomów.

Kolejna załączona praca, T. Karpiuk, P. T. Grochowski, M. Brewczyk, and K. Rzążewski, *Collective oscillations of a two-component Fermi gas on the repulsive branch*, *SciPost Phys.* 8, 66 (2020) jest kontynuacją badań przedstawionych w rozdziale 5. Tutaj autorzy postanowili zbadać częstości drgań trzech modów układu - radialnego modu monopolowego, radialnego modu oddychającego, oraz radialnego modu kwadrupolowego. Te przypadki różnią się sposobem pobudzenia układu: radialne ściskanie, jednoczesne ściskanie tylko w dwóch kierunkach, oraz naprzemienne ściskanie w dwóch kierunkach. Autorzy zastosowali te same metody opisu i analogiczny podział pracy jak w poprzednim artykule. Analizując transformatę Fouriera „efektywnej” grubości układu, pokazali jak częstości drgań zachowują się wraz ze wzrostem siły odpychania między atomami różnych rodzajów. Niestabilność Stonera przejawia się we wszystkich badanych przypadkach skokiem częstości drgań. Pokazano, że obserwowane częstości są uniwersalne, nie zależą od sposobu pobudzenia, jedynie amplitudy drgań zmieniają się. W tym przypadku odniosłem wrażenie, że bardziej owocna okazała się zależna od czasu metoda Hartree-Focka. Na jej rezultatach opiera się podstawowy wykres, 6.3. Celem rachunków hydrodynamicznych przeprowadzonych przez kandydata, było niezależne wyznaczenie częstości drgań i sprawdzenie kiedy można stosować opis hydrodynamiczny. Zakłada on bowiem lokalną równowagę w przestrzeni pędów. W przypadku, kiedy chmury atomowe słabo się „przekrywają” ich oddziaływanie jest słabe i opis hydrodynamiczny nie musi być poprawny. Rezultaty metody hydrodynamicznej zostały szeroko omówione w jednej z sekcji pracy. Szkoda, że nie pokazano ilościowych wyników opisu hydrodynamicznego.

Pierwszym autorem omawianej pracy był prof. T. Karpiuk. Rola mgr. P. Grochowskiego była istotna, ale praca w większej części opiera się na rezultatach zależnej od czasu metody Hartree-Focka. Niewątpliwie nie umniejsza to zasług kandydata, który, jak wynika z oświadczeń współautorów, oprócz wykonania obliczeń metodą hydrodynamiczną aktywnie uczestniczył w dyskusjach, analizie wyników i pełnił wiodącą rolę w przygotowaniu manuskryptu.

Kolejną pracą włączoną do rozprawy jest publikacja tego samego zespołu autorów poświęcona dynamice mieszaniny bozonowo-fermionowej: P. T. Grochowski, T. Karpiuk, M. Brewczyk, and K. Rzążewski, *Breathing mode of a Bose-Einstein condensate immersed in a Fermi sea*, *Phys. Rev. Lett.* 125, 103401 (2020).

Jest ona tematycznie blisko związana z poprzednimi pracami. Autorzy postanowili sobie ambitne zadanie ilościowego opisu wyników eksperymentu zespołu

R. Grimma z Uniwersytetu w Innsbrucku. W tym eksperymencie przygotowano chmurę bozonowego izotopu atomów potasu zanurzonego w chmurze fermionowego izotopu atomów litu. Oba składniki były uwięzione w pułapkach optycznych o wydłużonej, osiowo-symetrycznej geometrii. Składnik bozonowy został pobudzony do drgań poprzez cykliczne zmiany siły odpychania między obu komponentami. W omawianej pracy wiernie odtworzono warunki eksperymentu. Uwzględniono niezerową temperaturę gazu bozonowego. Zastosowano metodę pól klasycznych do opisu stanu termicznego potasu. Przygotowano stan temperaturowy bozonów a następnie ewoluowano numerycznie sprzężone równania opisujące oba składniki aby doprowadzić fermiony do stanu równowagi termicznej.

Atomy fermionowe opisane były w ramach modelu hydrodynamicznego, który po zastosowaniu odwrotnej transformaty Madelunga prowadzi do nieliniowego równania typu równania Schrödingera. W ten sposób opis tego złożonego układu został sprowadzony do sprzężonego układu dwóch nieliniowych równań a la równania Schrödingera. Rachunki numeryczne wykonał prof. Tomasz Karpiuk. Autorzy przywiązali dużą wagę do poprawnego opisu oddziaływania między bozonami i fermionami. Uwzględnili poprawkę do oddziaływania bozon-bozon pochodzącą od Lee, Huang i Yanga oraz poprawki do oddziaływania bozon-fermion. Należy docenić wysiłek mgr. Piotra Grochowskiego, który wyznaczył poprawki do energii tego oddziaływania metodą LOCV (lowest order constrained variational method). W rachunkach numerycznych uwzględniono poprawkę LOCV lub też alternatywy wkład do energii wyznaczony przez Viverita i Giorginiego w drugim rzędzie rachunku zaburzeń. Okazało się, że różne opisy są za sobą zgodne. Wyniki obliczeń są podsumowane na wykresie 6.1. Zgodność przedstawionego opisu teoretycznego z wynikami doświadczalnymi jest znakomita.

Jest to niewątpliwie wyróżniająca praca w dorobku mgr. Piotra Grochowskiego. Oceniam ją bardzo wysoko i ponownie nie mam żadnych krytycznych uwag. Mimo, że kandydat nie był wykonawcą głównych obliczeń numerycznych, to on zainicjował badania, wyznaczył poprawkę do energii metodą LOCV i był główną osobą analizującą otrzymane wyniki. Taka rola charakteryzuje doświadczonego naukowca.

Rozprawa doktorska mgr. Piotra Grochowskiego dotyczy niezwykle ważkich i aktualnych problemów fizyki ultrazimnych gazów kwantowych. Podjął się on, wspólnie ze współautorami, bardzo trudnego wyzwania opisu dynamiki mieszanin fermionowo-fermionowych i fermionowo-bozonowych. Opis zdegenerowanych fermionów jest znacznie trudniejszy niż opis kwantowego gazu bozonowego. Mgr P. Grochowski przedstawił nowatorskie podejście do teoretycznego opisu takich

układów. Prace przedstawione w rozprawie są bezpośrednio związane z aktualnymi eksperymentami czołowych grup. Uzyskane wyniki, pokazujące zgodność z wynikami pomiarów, są najlepszym dowodem wysokiej jakości zastosowanych modeli teoretycznych i przeprowadzonych obliczeń. Na szczególne uznanie zasługuje pokazanie niestabilności Stonera w układzie dwóch oddziałujących gazów fermionowych. Praca mgr. Piotra Grochowskiego jest niewątpliwie ważnym wkładem w zrozumienie magnetyzmu wędrownego. Autorzy kontynuowali te badania w kolejnych pracach gdzie uwzględnili dodatkowo możliwość tworzenia dimerów. Ponieważ prace te są stosunkowo nowe i nie zostały jeszcze przyjęte do druku nie mogą wchodzić w skład rozprawy,.

Wszystkie prace składające się na rozprawę są zespołowe. Wykonane przez ten sam zgrany zespół autorów, prof. prof. T. Karpiuka, M. Brewczyka i K. Rzążewskiego, do którego z powodzeniem dołączył mgr Piotr Grochowski. Okazał się być ważnym członkiem tego zespołu, w dwóch pracach wykonał rachunki metodą hydrodynamiczną stosując odwrotną transformację Madelunga. W obu pracach opublikowanych w *Physical Review Letters* był pierwszym autorem, jedynie w pracy opublikowanej w *SciPost Physics* był na drugim miejscu. Kandydat brał aktywny udział w dyskusjach oraz był wiodącą osobą, która przygotowała manuskrypty prac. Umiejętność napisania prac naukowych opublikowanych w tak prestiżowych czasopismach świadczy o wielkiej dojrzałości naukowej kandydata oraz doskonałej znajomości problemów z szeroko rozumianej tematyki rozprawy. Imponująca jest również liczba publikacji cytowanych przez kandydata. Świetna znajomość języka angielskiego oraz niezwykła „lekkość pióra” jaką posiada mgr P. Grochowski sprawia, że artykuły napisane przez niego czyta się z przyjemnością. Doskonała jest też edycja pracy, choć nie bez pewnej satysfakcji stwierdzam, że udało mi się znaleźć jeden błąd we wzorze 3.44.

Nie mam żadnych uwag krytycznych. Kilka pytań dotyczących szczegółów technicznych zawarłem w głównym tekście tej recenzji i są one podyktowane ciekawością naukową.

Mgr Piotr Grochowski przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i pokazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Nie mam najmniejszych wątpliwości, że przedstawiony przez mgr. Piotra Grochowskiego spójny zbiór prac spełnia z nawiązką wymogi ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie mgr. Piotra Grochowskiego do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Rozprawę mgr. Piotra Grochowskiego uważam za wyróżniającą. Opublikowanie pracy w czasopismach o najwyższej randze naukowej jest wielkim

wyzwaniem nawet dla dojrzałych uczonych o dużej renomie międzynarodowej. Przejście przez gęste sito recenzentów Physical Review Letters jest sukcesem. Piotr Grochowski przedstawił w swojej rozprawie aż dwie takie prace, których jest pierwszym autorem, Publikacja w SciPost Physics jest również znacząca. To młode czasopismo zdobyło sobie w szybkim czasie duże uznanie. Zaproponowany w ocenianych pracach formalizm opisu teoretycznego mieszanin zawierających składnik fermionowy, pokazanie niestabilności Stonera i bardzo dobra zgodność uzyskanych wyników z doświadczeniem świadczą, że jest to rozprawa wyróżniająca i dlatego stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy.

M. Gojda