

Warszawa, 8 kwietnia 2024 r.

dr hab. Piotr Deuar, prof. IF PAN
Oddział Fizyki Teoretycznej
Instytut Fizyki PAN
Al Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
deuar@ifpan.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr. **Andrea Barresi**
p.t.:

Dynamics of Collective Modes in Superfluid Fermi Gases
w dyscyplinie Nauki Fizyczne,
złożonej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej

1. Ogólny opis

Rozprawa doktorska mgr Andea Barresi dotyczy symulacji numerycznych kilku ważnych zjawisk w dziedzinie kwantowych gazów fermionowych, oraz ich ilościowej i jakościowej analizy. Analiza robiona jest pod kątem potwierdzenia lub doprecyzowania kilku efektów wcześniej przewidzianych przez teorię oraz pod kątem eksploatacji wyników przez grupy eksperymentalne. Analizowane zjawiska obejmują m. in. mechanizm dyssypacji Silaeva, zapełnianie stanów Andreeva w rdzeniach wirów i wynikające z tego tarcie, anihilacja i kolizje wirów ze sobą i z ferronami. Ferrony to defekty występujące w spolaryzowanym układzie. Są to wszystko zagadnienia ważne dla dziedziny i nurtujące wiodące grupy badawcze.

Przedstawiona praca pisemna liczy 161 stron (bez bibliografii, spisu treści i podobnych elementów) i składa się z dziewięciu rozdziałów, z których pierwszych pięć stanowi wstęp i omówienie stanu wiedzy w dziedzinie. Główna część rozprawy doktorskiej zawarta jest w rozdziałach 6-8 które opisują nowatorskie wyniki naukowe uzyskane przez Kandydata. Na końcu rozdział 9, długości trzech stron, zawiera podsumowanie i kilka dość ogólnych sugestii dalszych prac, po czym następuje jeszcze dodatek który opisuje niektóre szczegóły techniczne implementacji modeli symulowanych w rozdziałach 6-8.

Promotorem Kandydata był dr hab. Gabriel Wlazłowski. Praca oparta jest na dwóch publikacjach z 2023 r. w *Physical Review Letters* i *Scientific Reports* wraz z promotorem oraz dwojgiem współpracowników z tej samej grupy badawczej (rozdziały 6-7), a także na nieopublikowanych jeszcze badaniach które stanowiącą mają przyszłą publikację (rozdział 8). W obu opublikowanych pracach Kandydat jest pierwszym autorem.

2. Ocena badań i wyników naukowych

Zacznę od oceny części naukowej, która stanowi opis nowatorskich osiągnięć naukowych Kandydata. Rdzeń naukowy pracy doktorskiej mgr Andea Barresi dotyczy badań numerycznych i następującą po nich analizę kilku kluczowych zjawisk w ultra-zimnych gazach fermionowych:

- Rozdział 6 -- zapełnianie się rdzeni wirów kwantowych pod wpływem akceleracji i temperatury, wynikające z tego siły tarcia, interakcja i anihilacja wirów ze sobą;
- Rozdział 7 -- możliwości wzbudzenia modów amplitudowych (Higgsa) oraz ich późniejsza metastabilność, ewentualne powstawanie sieci tzw. ferronów;
- Rozdział 8 -- interakcje ferronów powstających w spolaryzowanym gazie z wirami.

Ta część pracy napisana jest dobrze i dość starannie. Rozdziały są dość krótkie lecz treściwe.

Jak rozumiem, ogólna koncepcja stojąca za wyborem tematu była aby przyjrzeć się dokładnym symulacjom numerycznym kilku zjawisk znanych już w dziedzinie kwantowych oddziałujących

gazów fermionowych, ale dotychczas głównie w formie teoretycznej i dość wyidealizowanej. Analiza wyników precyzyjnych symulacji pozwoliła na potwierdzenie występowania tych zjawisk, określenie ich szczegółów i ocenę w jakim stopniu mają znaczenie w porównaniu z innymi efektami. Wreszcie, też na ocenę wpływu temperatury na ich właściwości i występowanie. Wpływ ten był dotychczas słabo określony. Równocześnie, autor dążył do zaproponowania realistycznych protokołów eksperymentalnych które pozwoliły by na zbadanie tych samych zjawisk w eksperymentach istniejących lub realistycznych do skonstruowania w nieodległym czasie. Oba cele zostały wykonane dobrze i skutecznie, rozprawa zawiera wiele nowych wyników, kilka pomysłów praktycznych, a dzięki niej wiemy znacznie więcej o tych zjawiskach niż przedtem.

Metoda badawcza zastosowana w pracy opiera się na symulacjach za pomocą *WSLDA toolkit*, który jest owocem wieloletnich badań, rozwoju i ulepszeń przez grupę badawczą w której pracuje Kandydat, oraz współpracowników. Jest to wysoko ceniony zestaw oprogramowania który pozwala na obliczenia na najwyższym światowym poziomie i zastosowany został w bardzo licznych pracach opublikowanych w wysokiej rangi czasopismach fizycznych, w tym wielokrotnie w topowym czasopiśmie *Physical Review Letters*. Poza tym metodologia polega na analizie wyników eksperymentów numerycznych przeprowadzonych za pomocą WSLDA. Ogólnie oceniam zastosowane metody badawcze bardzo wysoko.

Z mojego punktu widzenia, najważniejsze nowe wyniki to:

- Wyraźne wykazanie zapełniania się rdzeni wirów pod wpływem akceleracji, co potwierdza mechanizm Silaeva (Fig. 6.8b) oraz jego istnienie nawet w zerowej temperaturze, przynajmniej warunkach BCS (Fig. 6.8b,f).
- Zaproponowanie metody detekcji ferronów za pomocą ich interakcji z dipolami wirów (zmiana kierunku ruchu lub anihilacja) (sekcje 8.2-8.3).
- Dokładne określenie profilów gęstości wypełnienia wirów przez obsadzenie stanów Andreeva jako funkcja temperatury (Fig. 6.4).
- Zaproponowanie metody termometrii układu poprzez obserwację stopnia wypełnienia wirów.

Zaproponowana metoda detekcji ferronów jest szczególnie warta wzmianki jako oryginalne rozwiązanie. Ferrony nie posiadają dobitnego odzwierciedlenia w całkowitej gęstości układu, przez co nie są bezpośrednio obserwowalne w istniejących eksperymentach. Koncepcja detekcji ferronów zaproponowana w rozprawie jest pomysłowa, oraz wydaje się jak najbardziej realistyczna. Podobnie wypowiem się też o koncepcji termometrii na podstawie pomiaru wypełnienia wirów. Takiego pomysłu brakowało. Spodziewam się eksperymentalnych prób zastosowania obu pomysłów w nieodległym czasie, zapewne już jakiś czas po opublikowaniu pracy (na razie wyniki z rozdziału 8 o detekcji ferronów nie są opublikowane w czasopismach naukowych).

Inne wyniki z pracy warte wspomnienia i użyteczne dla innych badaczy w dziedzinie to

- Sklasyfikowanie stanu ferronowego w spolaryzowanej gazie na dwa reżimy -- małej polaryzacji z odizolowanymi ferronami, oraz wysokiej polaryzacji z gęstwiną ferronowych defektów (Fig. 8.2).
- Ilościowe określenie współczynników tarcia dla dipola wirowego, α , dla niektórych przypadków (Tabela 6.2)
- Zbadanie wpływu temperatury na redukcję wielkości dipola po zderzeniu (Fig. 6.8e-f)
- Potwierdzenie protokołu pozwalającego na wzbudzenie mody Higgsa (Fig 7.2)
- Zbadanie dość szczegółowo mechanizmu rozpadu metastabilnej mody Higgsa i zależność rozpadu od rodzaju zaburzenia (Fig. 7.6)
- Zbadanie i wyjaśnienie kolizji dipolów wirowych z ferronami w dwóch odmiennych zakresach parametrów (Fig. 8.3-8.7). Rozwiązanie graficzne użyte w Fig. 8.3, 8.5 i 8.7 do przedstawienia skomplikowanego zestawu obserwacji jest udane i skuteczne.

Wszystkie te tematy dotyczą kwestii które nurtują badaczy w dziedzinie od pewnego czasu i mają znaczenie dla dalszych badań. Warto jest zaznaczyć, że wyniki opisane w tych rozdziałach wpisują się w główny nurt badań w dziedzinie, omawiany i przedstawiany na wiodących konferencjach

przez najlepsze grupy badawcze na świecie. Nie są to więc, bynajmniej, badania z drugiego obiegu, przyczynkowe, lecz zdecydowanie jest to praca badawcza z pierwszej ligi. Wiodący badacze w dziedzinie czekali i czekają na te wyniki.

Jest to szczególnie ewidentne w przypadku badań dynamiki wirów z rozdziału 6, które opublikowane zostały w 2023 r. jako artykuł w renomowanym czasopiśmie *Physical Review Letters* z Kandydatem jako pierwszym (wiodącym) autorem. Czasopismo to jest uznawane przez środowisko jako wiodące dla całej dziedziny fizyki, a w nim publikowane są najpoważniejsze i najbardziej godne rozgłosu wyniki.

Podsumowując tą część oceny, jest ewidentne, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (właściwie kilku), a cel i wyniki pracy naukowej Kandydata są wysokiej jakości i ważne dla badań naukowych w dziedzinie. Mają też praktyczne zastosowanie, przede wszystkim w rozstrzygnięciu kilku istotnych zagadnień dotyczących wirów i innych defektów oraz zaproponowaniu metod detekcji ferronów i temperatury. Metody badawcze stosowane przez Kandydata oceniam wysoko, a jakość opisu jest dobra, argumentacja stosowana w analizie jest przedstawiona zrozumiale i klarownie. Drobne usterki prezentacji nie wpływają istotnie na ogólną czytelność argumentacji czy wyników.

3. Ocena części wstępnej rozprawy

Cześć wstępna rozprawy, czyli Rozdziały 1-5, stanowi logicznie uporządkowany wstęp do dziedziny. Postępuje on od ogólnych informacji o dziedzinie i jej metodach eksperymentalnych, przez opis historycznego rozwoju zrozumienia nadciekłych gazów fermionowych, potem podstawowe metody teoretyczne, główne zjawiska w zakresie zainteresowania badań Kandydata, wreszcie opis technicznych szczegółów stosowanej metody WSLDA. Strukturę tej części rozprawy oceniam bardzo dobrze. Wprowadza nas logicznie we, w zasadzie, wszystkie istotne kwestie potrzebne do zrozumienia i docenienia późniejszej części naukowej. Dowodzi też, że Kandydat posiada dobrą i głęboką ogólną wiedzę teoretyczną w temacie swoich badań a zarazem - co wcale nie musi być oczywiste - ma ją też logicznie uporządkowaną. W kilku miejscach praca w sposób lekki i intuicyjny wyjaśnia zagadnienia które są wysoce nietrywialne, jak na przykład uwarunkowania wokół założenia kontaktowego potencjału $g\delta(r)$ na str. 42-43 albo proste wyjaśnienie w jakim sensie pary Coopera są a w jakim nie są prawdziwą parą na str 45. Wydaje się też, że struktura tych rozdziałów i sposób opisu jest oryginalny i ułożony własnoręcznie przez Kandydata. Doceniam opis całkiem nie trywialnej maszynerii numerycznej stosowanej w *WSLDA toolkit* który zapełnia Rozdział 5. Druga sprawa zdecydowanie warta docenienia jest brak uciążliwych powtórzeń tych samych kwestii, które nierzadko trapią prace doktorskie. Taki problem tu nie występuje.

Natomiast, niestety szczególnie rozdziały wstępne nr 1-3 cierpią na wielość drobnych usterek i niedbałości. Rozdział 1 popełnia kilka krótkowzrocznych stwierdzeń jakby nie odróżniano zbytnio tematu *BEC-BCS crossover* od dużo szerszej dziedziny ultrazimnych gazów w całości. Później występuje trochę za wiele drobnych usterek i niejasności. Szczegółowy wykaz tych które udało mi się zauważyć znajduje się na końcu recenzji. Usterki te właściwie nie przeszkadzają w rozumieniu niczego istotnego w opisie dla osoby obeznanej w temacie, lecz potrafią być dość uciążliwe, i byłyby nie do akceptowania w artykule w czasopiśmie. Dodałyby niepotrzebnej pracy czytelnikowi spoza dziedziny która chciałaby wszystko dokładnie zrozumieć. Chyba zabrakło ponownego przeczytania całości by je usunąć.

4. Słabe strony rozprawy

Rozprawa posiada kilka słabszych aspektów, głównie w kwestii prezentacji i proporcji, ale też jeśli chodzi o dość skrótowe potraktowanie statystyki wyników.

- Pierwsza sprawa dotyczy znacznej dysproporcji między częścią opisową która nie stanowi opisu oryginalnych badań Kandydata lecz streszczenie przez niego dziedziny (pięć rozdziałów, 106 stron) a częścią opisującą oryginalne badania (trzy rozdziały, 45 stron). Część badawcza jest więc ponad dwukrotnie krótsza. Wyniki tam przedstawione są wysokiej jakości, lecz odnosi się wrażenie, że zostały opisane dość skrótowo, a przypadki przedstawione w wykresach wybrane wyrywkowo -- najmniejsza możliwa ilość by wykazać omawiane efekty. Takie podejście jest nierzadko wskazane w artykule naukowym opublikowanym w czasopiśmie, lecz rozprawa doktorska jest zazwyczaj uznawana za okazję by pokazać więcej, i bardziej wyczerpująco. Jednak nie skorzystano tu z tej możliwości. Wykresy w rozdziałach 6-7 w znacznej mierze odpowiadają jeden do jednego wykresom w opublikowanych artykułach, poza kilkoma schematami i wykresami 6.9, 6.10. Mimo tej krytyki długości wspomnianych rozdziałów, chciałbym jednak zaznaczyć, że doceniam i pozytywnie oceniam przedstawienie osiągnięć Kandydata w formie rozprawy zamiast tzw. "sklejki".
- Druga sprawa dotyczy statystyki. W wynikach widać sporo fluktuacji lecz wydaje się, że brakuje statystyki lub uśrednienia po odmiennych realizacjach w większości z przedstawionych wyników, a wnioski wyprowadzane są często na podstawie symulacji pojedynczej realizacji. W większości wykresów i tabel wyników gdzie takie uśrednianie wydawało by się naturalne (n.p. Fig. 6.3, 6.7, 6.8b,e,f, 6.10, 7.6, 8.4, 8.6, 8.7b czy w Tabeli 8.1) nie ma informacji o liczbie realizacji po której uśredniano. Wnioskuje więc, że wyniki te pochodzą jedynie z pojedynczej realizacji. Powoduje to brak wyraźnej informacji o dokładności wyników. W niektórych przypadkach na wykresach widać szacowanie błędu (Fig. 6.8e,f, 8.6b i Tabele 6.2 i 8.1) ale nie udało mi się dotrzeć do precyzyjnych opisów jak on został określony. Uśrednianie po realizacjach, po przestrzeni lub czasie czy jakoś inaczej? Chciałbym tu dodać, że rozumiem, że uzyskanie systematycznej statystyki po wielu realizacjach w tej tematyce bywa trudne w praktyce, ponieważ niektóre symulacje wymagają ogromnie intensywnych obliczeń i dostępne zasoby mogą nie pozwolić na uruchomienie wielu realizacji. Lecz powinno to być zaznaczone i wyjaśnione, a tam gdzie statystyka jakaś istnieje powinna ona być opisana dokładnie. Nawiasem mówiąc, mamy tu głównie obliczenia w płatach dwuwymiarowych o dość niedużej grubości pod względem liczby punktów, więc nie jest dla mnie oczywiste, że one były aż tak intensywne numerycznie by nie pozwolić na statystykę kilku czy kilkudziesięciu realizacji w najważniejszych wynikach.
- Sprawę usterek redakcyjnych, występujących szczególnie w rozdziałach 1-5, wspomniałem już pod koniec poprzedniej części nr 3.
- Kolejne niedociągnięcie dotyczy atrybucji źródła w wykresach pochodzących z artykułów Kandydata. Doliczyłem się 12 wykresów które są praktycznie identyczne z wykresami z artykułów Kandydata, lecz nie mają w podpisie odwołania do źródła. Fig. 6.3 i 6.4 = Fig. 1 z *PRL*; Fig. 6.8 = Fig. 2 z *PRL*, Fig. 7.2, 7.3, 7.4, 7.6, 7.7 = Fig. 1-5 z *Sci. Rep.*, po kolei. Fig. 7.8 i 7.9 = panele a i b z Fig. 6 w *Sci. Rep.*; Fig. 4.8 = Fig. 4 w suplemencie do *PRL*, a Fig. 6.2b = Fig. 3 w tym suplemencie. Co prawda na początku pracy i rozdziałów 6 i 7 jest napisane, że rozdziały te stanowią rozszerzenie wspomnianych artykułów Kandydata, ale wydaje mi się to niewystarczające.

5. Pytania dla Kandydata

Jest kilka pytań i spraw na które chętnie usłyszałbym odpowiedzi Kandydata podczas obrony, aby głębiej rozpoznać uwarunkowania wyników naukowych przedstawionych w rozprawie a zarazem jego wiedzę o temacie.

- Mało jest powiedziane w pracy na temat dokładności funkcjonałów energii używanych w podejściu DFT, a zarazem i w metodzie WSLDA stosowanej w pracy. Wiadomo, że

funkcjonał wybrany dla oddziałujących układów raczej nie będzie ten najbardziej optymalny ze wszystkich możliwych lecz będzie jedynie dobrym przybliżeniem, tym bardziej gdy pozbedziemy się efektu pamięciowego opisanego w Fig. 3.6. Jak dobrym przybliżeniem jest więc funkcjonal w przypadkach które były badane przez Kandydata? Wykres 3.4 wskazuje, że współczynniki empiryczne A, B, C zostały dobrane mądrze, ale prawdopodobnie nie wszystkie zjawiska dynamiczne ograniczają się do fizyki zależnej od tych trzech współczynników.

- Na str. 31 mamy stwierdzenie że ruch drugiego wiru jest zdeterminowany w pełni przez pole prędkości wytworzone przez pierwszy wir. Skąd to stwierdzenie pochodzi - czy to jest założenie, przybliżenie, czy dokładne? Nie jest oczywiste, że tak powinno być i, że drugi wir jest jedynie pasywny w tej sytuacji.
- W Tabeli 6.1 występuje dyskretyzacja przestrzeni nawet $\Delta l = 0.8\xi$ co wydaje się być bardzo gruboziarniste w porównaniu z długością koherencji ξ . Czy nie powoduje to fałszywych efektów? Albo bardziej konkretnie - czy zbadano mniej więcej wielkość wpływu zmiany grubości sieci na wyniki?
- Efekty temperaturowe zostały uwzględnione w obliczeniach przez wprowadzenie rozkładu Fermi-Diraca do funkcjonału w niektórych miejscach. Chętnie usłyszałbym opinię Kandydata na temat tego czy jest możliwe wprowadzić efekty temperatury bardziej dynamicznie poprzez wprowadzenie szumu do stanu początkowego układu, w podobny sposób jak robi się to dla kondensatów w przybliżeniu pól klasycznych lub ściętego Wignera? Jeśli nie kłóci się to z konstrukcją WSLDA byłby to ciekawy kierunek rozszerzenia metody. Może było już to próbowane i uznane za nieskuteczne?
- W Tabeli 6.2 widać ogromny wpływ pułapki (zmiana współczynnika tarcia o rząd wielkości), ale jest to jedynie dość pobieżnie wspomniane w tekście. Jaki jest powód takiego mocnego efektu? W tym samym temacie tarcia, dane z tabeli wydają się przeczyć stwierdzeniu w tekście u góry str, 118, że "przy braku pułapki α można uznać za stałe względem d_0 ". Ponieważ $0.0016 \pm 0.0001 \neq 0.0028 \pm 0.0001$. Czy coś mi umyka?
- W Fig. 8.2 widzimy, że stan układu jest bardzo czuły na wartość różnicy potencjałów chemicznych. Jaki jest tego powód?
- Dlaczego energie rotacyjne dwóch składników rozchodzą się w Fig. 8.4b jak nie ma wirów?
- Pytanie o statystyki i uśrednianie po zespołach o których mówiłem w części 4. recenzji powyżej. Jak ciężko jest uzyskać statystyki wielu realizacji, oraz jak niedokładność była liczona w tych przypadkach gdzie jest podana (Tabela 8.1, Fig. 8.4, 6.8e&f).

6. Podsumowanie

Rozprawa doktorska Pana magistra Andrea Barresi zawiera ciekawe, nowe, wysokiej jakości i ważne fizycznie wyniki. Fakt, że zostały one opublikowane przez Kandydata jako pierwszy autor, oraz fakt dobrego uporządkowania logicznego wstępnych rozdziałów zgodnie wskazują na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. To pomimo występowaniu różnych mniejszej wagi usterek w rozprawie. Praca zawiera też kilka bardzo bystrych nowatorskich pomysłów, jak n.p. sugestia detekcji ferronów przez rozpad wirów oraz termometrii układu poprzez pomiar wypełnienia wirów. Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa spełnia bez problemu zwyczajowe i ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim. Wnoszę więc o dopuszczenie mgr-a Andrea Barresi do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



dr hab. Piotr Deuar

Drobne usterki techniczne/sprawy które mogłyby być lepiej określone

W wielu miejscach rozprawy znajdują się drobne usterki techniczne albo niedookreślenia które nie wpływają znacząco na jej całkowitą ocenę, lecz stanowią pewne wady. Wiele z nich wydaje się pochodzić z usunięcia/przesunięcia niektórych wykresów i równań pod koniec procesu pisania. Według mnie nie wymagają odpowiedzi ani korekty przed dopuszczeniem do obrony. Lecz gdyby Kandydat miał zamiar opublikować rozprawę na arXiv lub innej formie warto byłoby je wpierw naprawić.

- Pierwszy akapit wstępu (str. 1) wydaje się mieszać pojęcia tematu *BEC-BCS crossover* opisanego w rozprawie z ogółem dziedziny ultrazimnych gazów, której ten temat jest jedynie małą częścią. Wpasowuje się w to też dziwne stwierdzenie na dole str. 1, jakoby kondensacja BEC była zaproponowana przez Londona w 1937 (to byli oczywiście Bose i Einstein około 10 lat wcześniej). Te dziwne stwierdzenia mogą wynikać z trudności językowych, bo po kilkunastu potknięciach reszta opisu jest wolna od tego rodzaju pomyłek.
- Fig. 1.2: eksperyment w JILA był robiony na Rb a nie na Ru. Poza tym w podpisie nie jest wyjaśnione na czym polegają "dowody" kondensacji przedstawione w obrazach eksperymentalnych na wykresie.
- Na str 5, jest drobna pomyłka. Praca Deborah Jin [48] nie uzyskała potwierdzenia *BCS-BEC crossover*, zrobiły to dopiero prace wymienione w następnym akapicie.
- Str 8 po środku. Nie jest prawda, że po emisji fotonu kierunek ruchu (*velocity*) nie zmienia się. Właśnie o to chodzi, że może się zmienić, co pozwala na redukcję jego wartości średniej w zespole atomów. Może tu znowu wystąpiła trudność językowa.
- Str 14: nieusunięte miejsce na jakieś uzupełnienie "[...]"
- Str 15: (1.15) *nie jest* szczytową gęstością, tylko rozkładem gęstości.
- Wskazanie nie istniejącej sekcji 3.8 na str 69 (pewnie chodzi o sekcję 4.5).
- Błędne (trochę naiwne) stwierdzenie na str 23, że kondensacja może tylko powstać jeśli *wszystkie* cząstki są w tym samym stanie. Wystarczy tylko aby makroskopowa liczba cząstek zajmowała jeden stan, może to nawet być mały ułamek wszystkich cząstek.
- W opisie przed (2.8) chodzi raczej o *factors* a nie *terms*.
- Coś jest nie tak w opisie po (2.29). Przykładowo jeśli $\mathbf{K}_1 = \mathbf{K}_2$, (nie umiem uzyskać odpowiedniej czcionki) punkt środkowy wychodzi na $(x_1, 3y_1/2)$ co nie leży w segmencie między dwoma rdzeniami jak twierdzi opis.
- Fig. 2.8 (dolny lewy panel) zawiera dziwną asymetrię pionowo na osi oznaczonej jako przestrzeń, r , w sytuacji gdy układ nie posiada asymetrii. Może pomyłono oznaczenia osi?
- Str 43/44 - niefortunne podwójne użycie funkcji f na oznaczenie dwóch zupełnie innych rzeczy.
- (3.26) zawiera literówkę. Chyba powinno być n a nie N .
- W równaniu (3.37), czemu wzięto mnożniki Lagrange'a tylko "gotyczne" E_i z jednym indeksem i a nie bardziej naturalnie wydające się E_{ij} ? W opisie pod tym pomyłono też *differentiating* z *deriving*.
- Są też niejasności w wyprowadzeniu DFT na stronach 57, gdzie zdublowano symbol E_i który występuje teraz dość nagle jako funkcjonal, a przedtem występował w innej roli jako tylko mnożnik Lagrange'a lub wartość własna Energii.
- Fig. 3.4 jest słabo czytelna (kiepska rozdzielczość), i wydaje się być skopiowana i zredukowana z jakiegoś manuskryptu.
- Na str 66-67 i Fig. 4.1 pojawia się μ^* , jakiś potencjał chemiczny, ale nie mogę znaleźć jego definicji. Czym się różni od pozostałych μ ?
- Tłumaczenie schematu działania mechanizmu Silaeva na str 86-87 nie jest zbyt czytelne. W szczególności pochodzenie wyrażenia $\Delta T_{loc} \propto v_o/c_v$ oraz (4.43) nie są jasne.
- Str 98/Fig. 5.4: nie jest zbyt jasne na jakiej zasadzie uznano, że czasy dłuższe niż $t_{EF} \sim 1000-2000$ nie spełniają już dostatecznie wymagań zachowania energii. W Fig. 5.4 wydaje się, że odchylenia energii w dłuższych czasach są nawet mniejsze niż dla czasów krótszych.

- Str 100 - mamy na przykład "1D system $\rightarrow 2N_x \times 2N_x$ " ale nie jest wyjaśnione co jest zliczane. Raczej nie liczba punktów na sieci o której jest mowa tuż przed, bo jest to układ jednowymiarowy, więc może wielkość sieci być liczba co najwyżej proporcjonalna do N_x .
- Pomyłkowe wskazanie tabeli 6.3 na str 117 (pewnie chodzi o tabelę 6.2).
- Pomyłkowe wskazanie wykresu: 6.5 na str 117 (chyba 6.6).
- Str 118 - stwierdzenie że $\alpha(T/T_c < 0.3)$ jest prawie zero, podczas gdy nie jest.
- Pomyłkowe wskazanie wykresu 6.8d zamiast 6.8e na str 119.
- Podpis Fig. 8.4 myli rozejście się składników z rozejściem się ich energii. Opis tego wykresu w tekście też pozostawia wiele do życzenia. Większościowy komponent nie wykazuje "stałej" utraty energii, lecz co najwyżej *power law* skoro wykres ma skale logarytmiczne.
- Pomyłkowe wskazanie tabeli 8.2 na str 145 (pewnie chodzi o tabelę 8.1).
- Co oznacza σ_L w tabeli 8.1?
- Na str 150 mowa jest o tym, że Fig. 8.7 pokazuje dekompozycję Helmholtza dla dwóch konfiguracji, ale w 8.7b jest co najwyżej jedna konfiguracja. Albo uśrednienie po dwóch? Z powodu zamieszania wokół wykresu trudno jest też zrozumieć opis w tekście na str 150.