

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Krzysztofa Pomorskiego *Physical description of unconventional Josephson junction*

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Krzysztofa Pomorskiego, przygotowana pod opieką profesora Juliana Ławrynowicza, dotyczy teorii nadprzewodnictwa. 259-stronicowy tekst jest podzielony na 10 rozdziałów i opatrzony trzema dodatkami. Tematyka rozprawy jest zgodna z dorobkiem doktoranta, na który składa się między innymi jeden artykuł opublikowany w czasopiśmie z listy filadelfijskiej *Physica Status Solidi B*, pod tytułem *Possible existence of field-induced Josephson junction*.

Tytułowe niekonwencjonalne złącza Josephsona autor definiuje na stronie 14 rozprawy jako układ powstający pod wpływem nałożenia na nadprzewodnik paska zwykłego metalu, w tym ferromagnetyka. Efekt bliskości na złączu metal normalny - nadprzewodnik oraz zewnętrzne pole magnetyczne znoszą lokalnie stan nadprzewodnictwa i dzielą nadprzewodnik na dwie części ze słabym sprzężeniem parametru porządku, w którym może zachodzić zjawisko Josephsona. Oryginalna część pracy dotyczy opisu numerycznego tak zdefiniowanych układów z wykorzystaniem równań Ginzburga-Landaua (GL) oraz Bogoliubowa-de Gennes'a (BdG). Z równań GL autor wylicza parametr porządku, który wykorzystuje w równaniach BdG dla wyliczenia lokalnej gęstości stanów. W pracy podane są propozycje wykorzystania złącz niekonwencjonalnych.

Rozdział 1 zatytułowany jest "Wstęp do fizyki nadprzewodnictwa i nadciekłości". Podobnie autor nazywa sekcję 1.1 rozprawy. Autor przytacza szereg znanych faktów na temat nadprzewodnictwa i nadciekłości. W tekście autor odwołuje się do nadciekłości helu oraz do kondensacji Bosego-Einsteina w kontekście par Coopera. Przywoływane są temperatury krytyczne, nadprzewodnictwo trypletowe, efekty termodynamiczne itp. Fakty podawane są w sposób nieuporządkowany, w którym nie potrafię znaleźć myśli przewodniej, ani jasnego związku z zasadniczą częścią rozprawy. Na stronie 3 czytamy, że w pewnych warunkach energia kinetyczna nośników dąży do zerowej prędkości. W połowie tej strony autor pisze o odkryciu zjawiska usuwania pola magnetycznego z nadprzewodnika, a dopiero pod jej koniec pojawia się hasło „efekt Meissnera”. Źródła rysunków 1.1, 1.2, 1.5, 1.10 nie są podane. Rysunki 1.7 oraz 1.10 ilustrują struktury krystaliczne, których autor nie omawia i nie wykorzystuje w żaden sposób w dyskusji.

W rozdziale 2 autor podaje motywację dla prowadzenia badań nad indukowanymi złączami Josephsona jako odpowiednikami tranzystorów polowych z bardzo niską dyssypacją energii. Rysunek 2.1 podaje informację na temat rozwoju przepustowości cyfrowej łączy elektronicznych. Źródło rysunku nie jest podane, w podpisie rysunku autor wyjaśnia skróty, które nie są używane ani na rysunku ani w pracy. Rysunek 2.1 ma znaczenie marginalne dla pracy, ale rysunek 2.2 powinien mieć znaczenie kluczowe. Podana ma być na nim eksperymentalna realizacja niekonwencjonalnego złącza Josephsona. Autor podaje, że autorem rysunku jest dr Louis Gomez, lecz bez wskazania dokumentu źródłowego. Cytowanie do dokumentu autorstwa Louisa Gomeza pojawia się dopiero na stronie 37 (patent). Autor nie omawia szczegółów struktury badanej w doświadczeniu. Podana jako część rysunku 2.1 tabela z parametrami struktury nigdzie nie jest omówiona w pracy.

Rozdział 3 opisuje złącze Josephsona. Autor wyprowadza wzór na oscylacje prądu w funkcji napięcia między dwoma nadprzewodnikami tworzącymi złącze. Autor pisze od strony 24 o "lewym" i "prawym" układzie bez wyjaśnienia ani ilustracji. Na stronie 25 autor postuluje formę parametrów porządku, nie tłumacząc interpretacji n_L oraz n_R jako gęstości par Coopera, bez czego dalszy tekst jest nieczytelny. Zamiast niezbędnych wyjaśnień autor wkleja rysunki 3.1 (schemat z Wikipedii) oraz 3.2 (gęstość stanów z przerwą energetyczną na złączu), które nie są w żaden sposób wykorzystane w tekście. Podobnie rysunek 3.4 (brak źródła) pokazujący charakterystyki prądowo-napięciowe złącz tłumionych nie jest omawiany w tekście. Autor pisze na początku sekcji 3.3, jak "przedyskutowano wyżej" na złączu normalnego metalu oraz nadprzewodnika pojawia się odbicie Andreeva. W tekście wcześniejszym odbicia Andreeva autor nie omawiał. Następnie zamiast dyskusji efektu autor wkleja rysunki z prac innych autorów w kontekście teorii BdG: 3.11, 3.12 i 3.13. Rysunki nie są omawiane w tekście. Schemat 3.12 prawdopodobnie w materiale źródłowym ilustruje amplitudy odbić paczki falowej BdG. Źródło rysunku 3.12 nie jest jednak podane, a sam rysunek nie wspomaga żadnej dyskusji w rozprawie doktorskiej. W podobny sposób – nie do przyjęcia nawet dla pracy seminaryjnej - przygotowana jest duża część rozprawy.

W rozdziale 4 zatytułowanym "Unconventional Josephson junction" autor zaczyna omawiać wyniki oryginalne. Rozdział jest znacznie lepiej przygotowany niż poprzednie. Materiał pochodzi z opublikowanego wcześniej artykułu pt. *Towards The Determination of Properties of the Unconventional Josephson Junction Made by Putting Non-Superconducting Strip on the Top of Superconducting Strip*, *Electronic Journal of Theoretical Physics* 7, No. 23 (2010) 85–121. Pierwszym autorem artykułu jest doktorant, drugim dr Przemysław Prokopow. Materiał przeniesiony jest z artykułu bez redakcji. Autor pisze nawet o rozdziale jako "this paper" (strona 38). Praca oryginalna cytowana jest jako pozycja [51] oraz [74]. Po raz pierwszy artykuł, z którego pochodzi materiał rozdziału 4 cytowany jest dopiero w rozdziale 5.

Rozprawę doktorską może wg przepisów z 2011 roku stanowić monotematyczny zbiór artykułów z czasopism z uwzględnionych na listach ministerialnych. Przy wyborze takiej formy rozprawy należy podać oświadczenia współautorów o ich wkładzie w przygotowanie każdego z artykułów. Autor wybrał jako formę rozprawy „maszynopis książki” (termin z Ustawy o stopniach i tytule), co jest naturalne ze względu na to, iż tylko jeden z artykułów doktoranta ukazał się w czasopiśmie z listy filadelfijskiej (PSS B). Maszynopis książki powinien zawierać materiał oryginalny i przygotowany samodzielnie. Taka jest również treść oświadczenia autora ze strony 259. Ponieważ materiał rozdziału 4 pochodzi z opublikowanego wcześniej artykułu dwóch autorów – mam w tej sytuacji wątpliwości jak autor rozumie określenia „materiał oryginalny” oraz „przygotowany samodzielnie”.

Artykuł oryginalny [51,74] użyty w rozdziale 4 omawia tytułowy problem rozprawy w skondensowanej formie, która nie jest właściwa dla książki. W artykule autor porusza problem różnych konfiguracji magnetyzacji nakładki ferromagnetycznej, efekty odbicia Andreeva, wiry Abrikosowa, prądy nadprzewodzące, SQUID zbudowany ze złącz niekonwencjonalnych, efekty pola mikrofalowego itp. Wyniki numeryczne dotyczą prądów, energii swobodnej oraz parametru porządku jako funkcji położenia. Rozdział ten odpowiednio rozszerzony i opatrzony przemyślanym i klarownym wstępem oraz komentarzem, włącznie z artykułem z *Physica Status Solidi* mógłby stanowić podstawę rozprawy doktorskiej podanej w formie książki. Opis podejścia numerycznego, wstęp i motywacja w rozprawie powinny zostać przygotowane w sposób wyczerpujący. Używany w rozdziale opis układów w formie diagramów / tabel wymaga bliższego wyjaśnienia.

Materiał z rozdziału 5 pochodzi z publikacji w *Physica Status Solidi* (autorzy: K. Pomorski, P. Prokopow) i jest przytoczony bez żadnej redakcji, co budzi zastrzeżenia jak wyżej.

Rozdziały 6, 7 i 8 dotyczą rozwiązań równań Ginzburga-Landaua w wersji zależnej od czasu, prawie niezależnej od czasu, wirów oraz możliwych do wykorzystania konfiguracji złączy. W każdym z tych rozdziałów autor używa sformułowania "this paper". Materiał rozdziału 8 pochodzi w większości z artykułu K. Pomorskiego i P. Prokopowa z wydawanego przez Uniwersytet Łódzki periodyka [*International Journal of Microelectronics and Computer Science*, Vol. 4, No. 3, 2013], który podaje rozwiązania numeryczne dla parametru porządku. Do rozprawy przeniesione zostały spekulacje z artykułu np. na temat zachowania wirów, wydajności absorpcji promieniowania elektromagnetycznego, zanieczyszczeń itp., które nie są poparte wynikami autora.

W rozdziale 9 autor podaje propozycję zastosowania sprzężonych złączy Josephsona do zapisu i przetwarzania informacji kwantowej w formie, którą autor nazywa qu-ditem oraz qu-tritem, i które autor przygotowuje do zgłoszenia patentowego.

Rozdział 10 podany jest jako dyskusja wyników oraz przegląd perspektyw.

O staranności przygotowania rozprawy odpowiednio świadczy stan bibliografii. Artykuł [1] (Onnesa o odkryciu zaniku oporu rtęci) nie jest cytowany w tekście. Odnośnik do artykułu Josephsona [15] podany jest z błędnym rokiem (1961 zamiast 1962) i bez numeru strony. Artykuł autora rozprawy z udziałem dr Przemysława Prokopowa *Numerical solutions of nearly time independent Ginzburg-Landau equations for various superconducting structures* z *Bulletin de la Societe des Sciences et des Lettres de Łódź* podany jest jako referencja numer [73], [79], [88] i [89]. Na stronie 141 cytowany jest jako praca [87] doktorat Berdiyorova, podczas gdy na liście literatury jest to pozycja [86].

Na stronie 165 pojawia się rysunek 9.8. Rysunek jest umieszczony bez wzmianki w tekście i z odwołaniem do źródła w formie znaku zapytania w kwadratowym nawiasie. Takie błędy świadczą o tym, że praca została wysłana do recenzji bez żadnej korekty.

Łączenie różnych materiałów bez redakcji ma swoje konsekwencje dla olbrzymiej objętości rozprawy (259 stron). Na kolejnych stronach znajdujemy powtórzone obszernie fragmenty tekstu. Poniżej podaję przykłady:

Tekst ze strony 94 zaczynający się od "Studying superconducting structures is important both for fundamental and applied sciences. There are many levels of description of the superconducting or the superfluid phase as by the use of phenomenological or microscopic models." Jest powtórzony począwszy od strony 112.

Tekst ze strony 78 zaczynający się od "When deriving the Ginzburg-Landau equations we look for the case of functional derivative of the free energy functional F set to the zero with respect to the physical fields upon which it depends. Then we obtain the following class of equations" jest powtórzony na stronach 94 oraz 113.

Powtórzenia dotyczą również ilustracji: patrz np. Rysunek 1.6 oraz prawy panel rysunku 8.6 są prawie identyczne.

Mam zastrzeżenia do opisu podejścia numerycznego. Proste złożenie kilku artykułów, z których każdy omawia pobieżnie metodę powoduje, że w żadnym miejscu opis rachunku nie jest tak wyczerpujący jak w rozprawie doktorskiej w formie manuskryptu książki być powinien.

W dodatku B, na stronie 238 i 239 autor przedstawia metodę numeryczną rozwiązywania nieliniowego równania różniczkowego drugiego rzędu z zastosowaniem do równań GL i BdG, w szczególności. Metoda oparta jest na podejściu różnic skończonych. Na stronie 238 autor podaje, że zakłada wartość rozwiązania w środku nadprzewodnika, a następnie z nich wylicza rozwiązania w punktach sąsiednich. W ten sposób autor dochodzi do końca nadprzewodnika i sprawdza czy uzyskał spełnienie warunku brzegowego na kontakcie nadprzewodnik / próżnia. Jeśli nie, przyjmuje inne wartości w środku nadprzewodnika. Autor sugeruje, że zmienia wartość poszukiwanej funkcji w środku pudła aż uzyska wymagane warunki brzegowe na kontakcie. Autor nie podaje jak ta zmiana jest dokonywana. Nie jest dla mnie jasne, jak korzystając ze wzoru B.53 autor wylicza wartość 'c' nawet przy wysokiej symetrii układu. Autor z wartości rozwiązania w punkcie generuje rozkład dwu i trójwymiarowy, który dodatkowo spełnia warunki brzegowe zależne od konfiguracji układu. Redukując równanie do postaci Laplace'a np. na potencjał elektrostatyczny, z podanej metody wynika, że istnieje jednoznaczne przyporządkowanie wartości potencjału w środku układu do rozkładu potencjału w całym obszarze całkowania. Proszę o wskazanie, który wynik z pracy został uzyskany tą metodą. Autor omawia również konfiguracje bez wysokiej symetrii. Praca, której centralnym źródłem wyników jest rozwiązanie numeryczne równań Ginzburga-Landaua powinna zawierać opis metody pozwalający czytelnikowi na powtórzenie obliczeń. Autor zapewne stosuje dyskretyzację równań i uzyskuje problem algebraiczny. Jakie są szczegóły dyskretyzacji (gęstość siatki, wybór rozmiaru pudła obliczeniowego) i forma algebraiczna implementowanych warunków brzegowych dla parametru porządku i potencjału wektorowego?

W rozdziałach 4 i 5 szukałem bez powodzenia opisu warunków brzegowych dla potencjału wektorowego, w kontekście pola magnetycznego generowanego od prądów w próbce oraz pola zewnętrznego wprowadzanego przez ferromagnetyk (np. rysunek 4.6).

Równania Ginzburga-Landaua, BdG dla tego typu problemów są niezwykle trudne do uzbieżnienia. Na temat strategii prowadzenia rachunków do samouzgodnienia autor podaje wielokrotnie wyłącznie ogólnikowe komentarze o metodzie relaksacji (strona 96: „The initial guess should be not too far from the solution.”). Zamiast opisu autor podaje diagram jako rysunek 6.2 „Schematic illustration of generalized relaxation method”, który powołuje się na weryfikację przez intuicję i inne, trudne do zalgorytmizowania zabiegi. Strategia prowadzenia uzgodnienia równań wymaga dokładnego omówienia i zasługuje na nie. Uwagi podobne można postawić do pozostałych części pracy, gdzie wykorzystywane są rachunki numeryczne. W szczególności, tam gdzie autor omawia rozwiązywanie równań zależnych od czasu nie znalazłem informacji o zastosowanym schemacie całkowania po czasie / wykonywania kroków czasowych. Adekwatność modelu numerycznego do opisu próbek doświadczalnych nie jest uzasadniona. Zarzutem, który należy tutaj ponieść jest również brak odniesienia do aktualnego stanu wiedzy i technik obliczeniowych stosowanych do problemów omawianych w pracy. Literatura na ten temat jest bardzo obszerna.

Autor podał wiele ogólnych informacji na temat metod teoretycznych i numerycznych w pracy i dodatkach. Nie jest dla mnie jasne, jak autor te informacje wykorzystuje w rachunkach prowadzonych samodzielnie. Na przykład, na stronie 43 jako wzór (4.8) podane jest wyrażenie na zmianę fazy w układzie nadprzewodnik-metal normalny – nadprzewodnik przy odbiciu Andreeva. Autor rozważa możliwość przerzucania spinów w stanach związanych Andreeva gdy pole magnetyczne w warstwie normalnej nie jest jednorodne. Autor odsyła czytelnika do rysunku 4.15 jako przedstawiającego schematyczny opis zjawiska. Rysunek 4.15 przedstawia 2 prostokąty z wyszczególnieniem, który odpowiada nadprzewodnikowi, a który metalowi normalnemu, bez związku z tekstem. Jak autor wykorzystuje informacje z wzoru (4.8) nie jest dla mnie jasne. Autor wspomina o zjawiskach typu *spin-*

flip wielokrotnie, oraz odwołuje się do prądów spinowych. W pracy nie znalazłem jednak ilościowych wyników dla zjawisk spinowych.

Praca zawiera zapożyczenia z tekstów innych autorów podawane bez cytowania. Dla przykładu, w sekcji 1.2 wstępu autor odwołuje się do modeli nadprzewodnictwa. Część 1.2.2. dotyczy formalizmu Ginzburga-Landaua. Tekst od pierwszego zdania zwraca uwagę wyższą niż gdzie indziej jakością języka angielskiego: "Second order phase transitions occur when a new state of reduced symmetry develops continuously from the disordered (high temperature) phase. The ordered phase has a lower symmetry than the less ordered system". Pierwsze zdanie jest wraz z interpunkcją (nawiasy) przeniesione z notatek z wykładu prof. Michaela Crossa z Caltechu <http://www.cmp.caltech.edu/~mcc/BNU/index.html> (notatki do wykładu "London theory of superconductivity"). Drugie zdanie w oryginale brzmi "The ordered phase has a lower symmetry than the Hamiltonian—the phenomenon of spontaneously broken symmetry". Autor rozprawy zmienił koniec drugiego zdania, tak że utraciło ono sens (... than the less ordered system"). Następnie autor wstawia zdanie na temat złamanej symetrii, po czym kopiuje zdanie prof. Crossa "To describe the ordered state we introduce a macroscopic order parameter that describes the character and strength of the broken symmetry." Zdania z tekstu Crossa podane są w rozprawie bez nawiasu i bez cytowania. Autor podobnie swobodnie korzysta z rysunków przygotowanych przez innych autorów, nie zawsze ze wskazaniem źródeł. Rysunek 8.1 w szczególności dla wiru Abrikosowa w opisie Ginzburga-Landaua - - podany bez cytowania - znam z rozprawy doktorskiej Golibjona Berdiyora pt. *Vortex Structure and Critical Parameters in Superconducting Thin Films with Arrays of Pinning Centers* (strona 19), przygotowanej pod opieką prof. Francois Peetersa, Uniwersytet Antwerp 2007.

Problematyka pracy nie jest bardzo nowa, ale fizyka poruszanych zagadnień jest bardzo bogata, a autor porusza wielu ważnych i interesujących zagadnień. Rozprawa powstała jednak jako kompilacja wielu źródeł, zawiera błędy edytorskie i językowe. Przystępność tekstu jest niska. Dorobek publikacyjny doktoranta jest niewielki, więc jakość rozprawy powinna mieć decydujące znaczenie dla powodzenia przewodu doktorskiego.

Rozporządzenie MNiSW z 22.09.2011 pozwala zawrzeć w recenzji zalecenia poprawy pracy (Art. 6.6). Korzystam z tego przepisu. Zalecenie brzmi: rozprawę należy gruntownie przeredagować. Od teoretyka aspirującego do stopnia doktora nauk fizycznych należy wymagać samodzielnego przygotowania jasnego i przystępnego tekstu, wyczerpującego, lecz zajmującego nie więcej informacji niż konieczne. Tekst rozprawy powinien zawierać dający się prześledzić ciąg myśli. Po usunięciu powtórzeń i zbędnych ilustracji, praca może i powinna być co najmniej o połowę krótsza. Dyskusje spekulatywne, w szczególności na temat perspektyw zastosowań nie popartych wynikami autora oraz fragmenty teorii, które nie mają związku z prezentowanymi wynikami można usunąć z zyskiem dla czytelności rozprawy. W poprawionej rozprawie oczekuję dokładnego i przystępnego opisu stosowanych modeli numerycznych, dyskusji ich stosowalności, oraz wyjaśnienia związku z pracami obliczeniowymi prowadzonymi wcześniej. Zgodnie z przepisami, recenzję poprawionej rozprawy dostarczę w ciągu miesiąca.

Bartłomiej Stefan