Łódź, dnia 12.08.2022r.

WYDZIAŁ FIZYKI
i INFORMATYKI
STOSOWANEJ
Uniwersytet Łódzki

Prof. dr hab. Jakub Rembieliński

Uniwersytet Łódzki

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

Recenzja pracy doktorskiej magistra Aleksandra Jarmolińskiego *Badania dynamiki fluksonu w zdeformowanym złączu Josephsona*

Przedstawiona do recenzji praca doktorska magistra Aleksandra Jarmolińskiego *Badania dynamiki fluksonu w zdeformowanym złączu Josephsona,* napisana pod kierunkiem profesora Tomasza Dobrowolskiego z Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie, dotyczy zagadnienia wpływu geometrii złącza Josephsona na jego stan kwantowy a przez to na mierzalne parametry złącza. Praca została napisana w oparciu między innymi o cykl artykułów, których mgr Jarmoliński był współautorem:

T. Dobrowolski, A. Jarmoliński, Phys. Rev. E 96, 012214 (2017),

A. Jarmoliński and T. Dobrowolski, Physica B: Condens. Matter 514, 24 (2017),

T. Dobrowolski, A. Jarmoliński, Results Phys. 8, 48 (2018),

T. Dobrowolski, A. Jarmoliński, Phys. Rev. E 101, 052215 (2020).

tel.: +48 42 6355669, fax: +48 42 6355742,
Kierownik Katedry: prof. dr hab. Jakub Rembieliński
ul. Pomorska 149/153, 90-236 Łódź
e-mail: jakub.rembielinski@uni.lodz.pl

Doktorant sięga też do wcześniejszych prac promotora profesora Tomasza Dobrowolskiego. Dysertacja składa się z 11 rozdziałów. We wstępie przedstawiono jej wiodącą ideę i plan. W drugim rozdziale autor podaje podstawowe informacje dotyczące złącza Josephsona , teoretyczne podstawy jego działania wraz z jego kwantowo-mechaniczną interpretacją a także przytacza szereg przykładów zastosowań złącza. W tej części brakuje mi nieco głębszego spojrzenia na redukcję tego złożonego układu kwantowego do efektywnego opisu jego stanu i ewolucji przez dyskutowane równanie Schroedingera, które prowadzi do równań Josephsona dla różnicy faz stanów elektrod złącza oraz relacji między prądem par Coopera a różnicą faz. Jednakże rozdział ten pozwala się dobrze zorientować w teoretycznych i eksperymentalnych kwestiach dotyczących złącza Josephsona.

Ponieważ głównym celem pracy jest analiza dynamiki fluksonów więc w rozdziale trzecim autor przypomina genezę i własności równania sinus-Gordona wraz z warunkiem całkowalności *Gaussa* - Mainardiego – *Codazziego i dyskutuje sposób generowania jego rozwiązań multi – kink (anty-kink) poprzez stosowanie transformacji* auto-Bäcklunda oraz poprzez aplikowanie translacji i inwersji czasoprzestrzennych będących symetriami układu. Przedstawia też opis kanoniczny (lagranżowski) teorii w zmiennych czasoprzestrzennych oraz definiuje odpowiedni prąd i ładunek topologiczny. Rozdział ten jest wstępem do rozważań prowadzonych w następnych partiach pracy.
W rozdziale czwartym, piątym i szóstym przedstawiona jest motywacja i fizczne argumenty prowadzące do deformacji modelu sinus - Gordon opisującej kinki z uwzględnieniem różnych geometrii złącza Josephsona oraz orientacji pola magnetycznego. Rozważane geometrie zostały ograniczone do klasy, dla której jeden z kierunków głównych jest płaski a drugi posiada w ogólności niezerową stałą krzywiznę Gaussa. Autor analizuje dwie sytuacje, gdy krzywizna jest mała (rozdział czwarty) lub duża (rozdział szósty). W rozdziale piątym mgr Jarmoliński wyznacza i szczegółowo omawia charakter pola elektromagnetycznego w warstwach nadprzewodzących i izolatorze złącza Josephsona oraz na granicach warstw. W tym celu, oprócz równań Maxwella stosuje fenomenologiczne równanie Londonów oraz warunki wynikające ze struktury złącza oraz wykorzystuje relacje z kwantowym opisem zachodzących zjawisk poprzez odniesienie do modelu Landaua-Ginzburga i teorii BSC. W otrzymaniu końcowych rezultatów pomaga też argumentacja wykorzystująca efekt Meissnera. Jednym z istotnych wniosków wynikających z raczej złożonych

tel.: +48 42 6355669, fax: +48 42 6355742,
Kierownik Katedry: prof. dr hab. Jakub Rembieliński
ul. Pomorska 149/153, 90-236 Łódź
e-mail: jakub.rembielinski@uni.lodz.pl

rachunków jest fakt słabej zależności dynamiki fluksonów od orientacji pola magnetycznego. Poza tym, w rozdziale szóstym autor pokazuje, że przy realistycznych założeniach dotyczących krzywizny i warunków brzegowych forma uzyskanych równań dynamicznych (dla małych krzywizn r.4.96 oraz dla większych krzywizn r. 6.18), będących deformacjami równania sinus-Gordon określających różnicę faz, jest niezależna od wielkości krzywizny przy założeniu jej stałości . W rozdziale siódmym mgr Jarmoliński wykazał, że złącze Josephsona, zastąpione przez obwód CSJ (Capacitively Shunted Junction) prowadzi do analogicznych w formie równań jeśli uwzględnimy wpływ krzywizny na indukcyjność elektrod złącza. Ten rezultat można traktować jako swego rodzaju klasyczne potwierdzenie wyniku szczegółowej analizy, dokonanej w rozdziałach 4-6, prowadzącej do równań dynamicznych dla różnicy faz. W rozdziale ósmym autor przytacza procedurę redukcji 3+1 wymiarowego modelu sinus –Gordon do przypadku wymiaru 1+1. Jako rezultat otrzymuje deformację równania sinus-Gordon dla tej procedury (r.8.16) , ogólniejszą niż równania (4.96) i (6.18), które otrzymuje się przy założeniu stałej krzywizny. Perturbacyjne rozwiązania dynamicznych równań kinków dla złącz Josephsona z krzywizną, analizowane są w rozdziale dziewiątym, gdzie podano efektywną definicję szeregu perturbacyjnego aproksymującego rozwiązania nieliniowego równania ewolucji. Procedura perturbacyjna została określona tak by nieliniowość determinowała tylko pierwszy wyraz rozwinięcia. Jest to jedna z ważniejszych części pracy gdzie autor podaje konkretne przykłady krzywizny i odpowiadające im rozwiązania perturbacyjne oraz porównuje je z rozwiązaniami numerycznymi uzyskując ich dobrą zgodność szczególnie w zakresie niskich wartości krzywizny. Dyskutuje też korelacje charakterystyk rozwiązań z przyjętą formą krzywizny. Z kolei w rozdziale dziesiątym mgr Jarmoliński bada zależność dynamiki fluksonu od niejednorodności grubości warstwy dielektryka złącza. Pokazuje, że efektywnie lokalne zwiększenie grubości warstwy odpowiada powstawaniu bariery hamującej propagację fluksonów. Zatem odpowiednio uformowana warstwa może stwarzać obszary ich względnej statyczności. Przy innych konfiguracjach możliwa jest transmisja fluksonów przez barierę po przekroczeniu odpowiednich krytycznych wartości prądu. Te własności mogą prowadzić do sygnalizowanych w pracy interesujących praktycznych zastosowań złącza.

tel.: +48 42 6355669, fax: +48 42 6355742,
Kierownik Katedry: prof. dr hab. Jakub Rembieliński
ul. Pomorska 149/153, 90-236 Łódź
e-mail: jakub.rembielinski@uni.lodz.pl

Reasumując, przedstawiona dysertacja, oparta w znacznym stopniu o badania kandydata opublikowane w liczących się czasopismach o wysokim rankingu zawiera szereg nowych wyników dotyczących dynamiki fluksonów w złączu Josephsona w przypadku niezerowej krzywizny warstw nadprzewodzących i dielektryka oraz w zależności od lokalnych zmian grubości dielektryka. Potencjalnie może też prowadzić do konkretnych implementacji eksperymentalnych. W mojej opinii dysertacja magistra Jarmolińskiego w zupełności spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim z dziedziny fizyki.

Jakub Rembieliński

tel.: +48 42 6355669, fax: +48 42 6355742,
Kierownik Katedry: prof. dr hab. Jakub Rembieliński
ul. Pomorska 149/153, 90-236 Łódź
e-mail: jakub.rembielinski@uni.lodz.pl