

РЕЦЕНЗИЯ

от проф. д.м.н. Николай К. Витанов

на представената от Иван Георгиев Христов дисертация на тема

ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТАТИЧНИ И ДИНАМИЧНИ РЕЖИМИ В МНОГОСЛОЙНИ ДЖОЗЕФСЪНОВИ КОНТАКТИ

за присъждане на образователната и научна степен доктор,
професионално направление 4.5. Математика, научна специалност 01.01.13
„Математическо моделиране и приложение на математиката“

1. Актуалност и състояние на изследванията, свързани с темата на дисертацията

Представената дисертация е озаглавена „Числено изследване на статични и динамични режими в многослойни Джозефсънови контакти “ и е посветена на теоретично изследване на динамиката на фазовата разлика между вълновите функции на свръхпроводящите части на Джозефсъновите контакти. Като цел на дисертацията е поставено конструирането и изследването на надеждни числени методи за решаване на нелинейните диференциални задачи и на задачата на Щурм-Лиувил за числено изследване на статичните и динамични режими в многослойни контакти с линейна геометрия. Осъществяването на тази цел чрез реализация на конструираните числени методи и алгоритми и чрез числено изследване на влиянието на параметрите на модела върху изследваната динамика позволява да се реализират и други по-конкретни цели като числено изследване на зависимостите магнитно поле – ток, както и явлението current locking. Освен това става възможно и да се изследват и различни аспекти на флуксонната динамика при нулево и ненулево магнитно поле в многослойните контакти.

Изследванията са актуални както от гледна точка на фундаменталната наука, така и от гледна точка на приложенията. От фундаментална гледна точка Джозефсъновите контакти винаги са привличали изследователите с

възможността за изследване на квантите на магнитния поток и възможността за описание на тези кванти с флуксонни решения на съответните моделни уравнения. От гледна точка на приложенията, Джозефсъновите контакти винаги са били интересни с възможността в тях да се натрупват флуксони и по този начин да се събира и обработка информация. Освен това, при движение на флуксоните в контакта би следвало да се появява свръхвисококачествено излъчване и един важен проблем е това слабо излъчване да се усилва. Надеждите за това усилване са свързани с технологията на многослойните Джозефсънови контакти.

Поради гореизложеното считам, че темата на дисертацията е от актуална и интересна област на физиката и приложната математика.

2. Съдържание на дисертацията. Обща методика на извършените изследвания

Предложената дисертация има теоретичен характер и се състои сумарно от 106 страници. Дисертацията включва кратък, но информативен увод, цели на дисертацията, три глави, първата от която излага изследвания математически модел и две глави с резултатите от изследването, посветени съответно на статичните и динамичните режими в динамиката на флуксоните в многослойните Джозефсънови контакти. Дисертацията завършва с описание на основните научни приноси и с библиография от 73 заглавия.

Общата методика на изследванията е основана на разработка на схеми за числено моделиране на уравненията за фазовата динамика в многослойни Джозефсънови контакти и приложение на тези схеми за изследване на различни режими на динамиката в многослойния контакт. При това резултатите от компютърните изчисления се свързват със съответните концепции от областта на физиката.

3. Научни приноси

Тук ще отделя няколко думи за първата глава от дисертацията, представяща модела, чрез който се изследват многослойните Джозефсънови контакти, след което по-обстойно ще разгледам втората и третата глава на дисертацията, където са съсредоточени получените резултати.

В първата глава на дисертацията е представен математическият модел, използван за изследване на многослойните Джозефсънови контакти. Моделът е

едномерен и се състои от петрурбиране уравнения от вид *sine-Gordon* за динамиката на Джозефсъновите фази. В сравнение с класическия вариант на уравнението *sine-Gordon* (добре известно със солитонните си решения) при пертурбираните уравнения се отчита още дисипацията и наличието на външен (а не само на Джозефсънов) ток. Към контакта може да е приложено външно магнитно поле, което се отчита чрез граничните условия. Наложени са и начални условия, които трябва да зададат началното разпределение на Джозефсъновите фази.

В глава втора е изследвана статичната задача - предполага се, че зависимостта от времето в модела отсъства. Въпреки, че този случай е повече от интерес за теорията, отколкото за практиката, чрез него могат да се изследват интересни състояния в многослойните контакти и така да се допринесе за по-добро разбиране на процесите в контакта, което, макар и непряко, подпомага и изследванията по евентуалните практически приложения на многослойните Джозефсънови контакти. По-сложният случай, където динамиката на процесите в Джозефсъновия контакт зависи от времето, се разглежда в трета глава.

При изследването на статичната задача се процедира по следния начин - получава се (числено) едно решение на моделните уравнения и след това се изследва устойчивостта на това решение чрез решаване на възникващата задача на Щурм-Лиувил.

Численото решаване на системата моделни уравнения е осъществено чрез непрекъснатия аналог на метода на Нютон като дискретизацията на пространствената координата се извършва чрез метода на крайните елементи. Интересното е, че методологията е конструирана така, че да могат да се получават решения от зададен отнапред тип с различен брой флуксони в различните слоеве на контакта. Това е съществено преимущество, което може да спести много време на изследователи, които се занимават с решаването на подобни задачи. Анализът на точността на численото решение, показва, че използваната от докторанта методология притежава много добра сходимост.

При представянето на числените резултати докторантът е представил едно възможно решение с 10 флуксона в слоевете на контакта - стр. 49 и е съсредоточил вниманието си върху зависимостта на външния ток от външното магнитно поле, и то върху критичната зависимост, при която контактът преминава от свръхпроводящо състояние в динамично състояние. По-конкретно се изследва какво става в контакта при повишаване на външния ток и изменение на външното магнитно поле. Това изследване е направено числено, като се

следва процедурата, описана на стр. 51 от дисертацията (текстът под фигура 2.4). Отбелязвам, че на всяка стъпка в предложението алгоритъм се решава задачата на Щурм-Лиувил, свързана с устойчивостта на съответното решение на системата моделни уравнения. Ето защо считам за едно добро постижение получените критични зависимости на тока от външното магнитно поле и то както кривите, които са показани на фигура 2.5 (за случая на еднослоен контакт), така и изследванията в трислоен контакт, свързани с явлението current locking (фигури 2.8-2.15). Тук перспективите за продължаване на теоретичните изследвания са очевидни, тъй като увеличаването на броя на слоевете на многослойният Джозефсънов контакт може да доведе до още по-сложна динамика, свързана с превключването на различен брой слоеве от едно състояние в друго. Но според мен, докторантът правилно се е ориентирал да продължи изследванията като включи и времето в моделните уравнения. Приключвайки с оценката на глава 2 от дисертацията отбелязвам и интересният параграф 2.3.2, свързан с редуването на статичните състояния при повишаване на магнитното поле и нулев ток, където се демонстрира как флюксоните навлизат в даден слой на контакта при увеличаване на магнитното поле - фиг. 2.16.

Основната тежест на дисертацията, а предполагам и основната част на енергията на докторанта, е била насочена към получаване на резултатите от глава 3 на дисертацията. Главата започва с описание на използвания числен алгоритъм, като диференчната схема е описана в параграф 3.1.1, а нейната устойчивост се определя от условието (3.1.6) свързващо стъпката във времето, стъпката в пространството и максималната характеристична скорост, която за Джозефсъновия контакт се нарича скорост на Суихарт (и е по-малка от скоростта на светлината във вакуум). Интересът към времевата динамика на процесите в Джозефсънови контакти винаги е бил движен от възможността да се генерира свръхвисококачествено (терахерцово) излъчване с помощта на контакта. За целта обаче е необходимо да се постигне кохерентно движение на флюксоните в контакта, а за да се постигне това, трябва много добре да се разбират сложните пространствено-времеви процеси в многослойните Джозефсънови контакти. Към която цел е насочено и изследването в глава 3 на дисертацията. Резултатите в главата са за два случая - приложено външно магнитно поле и нулево външно магнитно поле. Резултатите при нулево външно магнитно поле са за трислойни, четирислойни и петслойни Джозефсънови контакти и за свързани флюксони, при които се наблюдава доста силно кохерентно поведение - фиг. 3.3 е една илюстрация на движението на

два свързани и на два несвързани флуксона в трислоен контакт. Изследвана е както динамиката на движение на флуксоните, така и волт-амперните характеристики на трислойния контакт. Показано е, че свързаното състояние на флуксоните възниква при достатъчно голямо увеличаване на външния ток. Изследвани са стойности на параметрите, при които съществува свързаното състояние на флуксоните. Изследвани са и свързаните флуксонни състояния и в трислойни и четирислойни контакти. В този случай намирането на свързани флуксонни състояния е затруднено поради по-сложната динамика и повечето параметри, влияещи върху състоянията в Джозефсъновия контакт. Но и в тези случаи е демонстрирано наличие на свързани флуксонни състояния.

Втората част на главата е посветена на изследването на динамиката на Джозефсъновия контакт при налично приложено магнитно поле. Тук надеждите за наличие на високочестотно излъчване са по-големи, тъй като е налице повече енергия, част от която би могла да се трансформира в излъчване. Повече внимание е отделено на изследването на така нареченото in-phase състояние, което е кохерентно състояние на движещите се флуксони, индуцирано от външното магнитно поле. Такова състояние е получено числено за контакти имащи от 3 до 11 слоя (което само по себе си е постижение) още повече, че увеличаването на броя на слоевете води до ограничаване на възможността за получаване на кохерентно състояние на движение на флуксоните (при равни други условия). Устойчивостта на in-phase състоянието е изследвана числено.

В края на главата е представена една демонстрация на използване на разпределени компютърни системи за изследване на динамиката на Джозефсъновите контакти. Един интересен резултат от това изследване е представен на фигура 3.18, където е показано при каква комбинация от стойности на външния ток и външното магнитно поле in-phase състоянието е атрактор за динамиката на джозефсъновия контакт.

4. Критични бележки

Обикновено в рецензиите се излагат и критични бележки, свързани с правописа на дисертацията. В повечето случаи аз не обръщам внимание на правописни грешки, тъй като са неизбежни. Няма да обръщам внимание на такива грешки и в тази рецензия. Нямам никакви съществени критични бележки както към съдържанието на дисертацията, така и към оформлението и. Но за да увелича малко позитивния дух на рецензията, нека все пак отбележа, че като че

ли е по-добре на стр. 59 да се употреби израза „навлизане на статичните флуксони“ вместо „нахлуване на статичните флуксони“. Нека да не приписваме лоши намерения на горките флуксони. Те нямат много възможности за реакция при увеличаване на магнитното поле.

5. Преценка на публикациите по дисертационния труд. Общ и персонален импакт фактор. Забелязани цитирания

Представените изпратени за печат и публикувани работи на докторанта, свързани с дисертацията са 12, като е налице една работа, публикувана в международно списание реферирано от SCOPUS, 8 публикации в сборници на международни конференции, като тези публикации са в реномирани поредици, като например поледици на Springer и American Institute of Physics. Освен това са налице и 3 публикации в сборници, издавани от български издателства.

Разработките, свързани с дисертацията са преминали през значителна по количество апробация, състояща се от представяния напредимно международни мероприятия, в голямата си част международни конференции.

Авторефератът отговаря на съдържанието на дисертацията. Формулите в автореферата са номерирани по интересен начин, но това не ми попречи да направя връзка между текста на автореферата и текста на дисертацията.

Като се отчетат обстоятелствата, при които е работено върху дисертацията, преценявам, че публикационната активност е достатъчна за подкрепа на процедурата по присъждането на образователната и научната степен доктор. Отбелязвам, че докторантът има натрупан съществен опит в областта на използването на възможностите на компютрите за числен анализ на сложни системи.

6. Лични впечатления от докторанта

Нямам лични впечатления от докторанта с изключение на изслушване на представянето на резултати, свързани с дисертацията. Ето защо, настоящата рецензия се основава на това, което прочетох в дисертацията, автореферата и публикациите с участието на докторанта.

7. Заключение

И така, в заключение отбелязвам, че изследванията в рецензираната дисертация на Иван Георгиев Христов са посветени на изследване на различни

режими на процесите в многослойни Джозефсънови контакти. Дисертацията е за образователната и научна степен доктор и за да достигна до крайното си заключение, трябва да отговоря на няколко въпроса:

1. Подготвен ли е кандидатът да решава числено сложни нелинейни задачи, свързани със статични и динамични състояния в сложни системи от съществен приложен интерес? От това, което прочетох, стигам до извода, че кандидатът има солидна подготовка и може да работи по такива задачи.
2. Притежава ли кандидатът теоретични познания в на процесите в многослойни системи със наличие на свръхпроводящи части на системата? От това, което прочетох, стигам до извода, че кандидатът има достатъчно солидни знания в областта на процесите в гореспоменатите системи и би могъл да продължи успешно изследванията си по такива системи.

3. Достатъчни ли са собствените приноси на кандидата за получаването на степента? Като потвърждавам приносите на дисертацията, считам, че собствените приноси на кандидата са достатъчни за получаването на степента.

Законът за развитието на академичния състав е направен така, че членовете на журито трябва да поставят положителна или отрицателна оценка на дисертацията. На основата на гореизложеното поставям положителна оценка на представения ми за рецензиране дисертационен труд и подкрепям без резерви присъждането на образователната и научна степен „Доктор“ на кандидата Иван Георгиев Христов.

София
20 юли 2014 г.

Рецензент:
/проф. д.м.н. Николай Витанов/