

РЕЦЕНЗИЯ

от проф. дмн Николай Колев Витанов

на дисертационен труд за присъждане на образователната и научна степен „доктор“

по: област на висше образование Природни науки
професионално направление 4.5 Математика
докторска програма *Математическо моделиране и приложение на математиката*

Автор: *Стефани Апостолова Панайотова*

Тема: Математическо моделиране и компютърни симулации на нелинейни многопараметрични физични задачи

Научен ръководители: проф. дмн Снежана Георгиева Гочева – Илиева
доц. д-р Павлина Христова Атанасова

1. Общо описание на представените материали

Със заповед № РД-Д1-658 от 01.04.2022.г. на Ректора на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“ (ПУ) съм определен за член на научното жури за осигуряване на процедура за защита на дисертационен труд на тема „Математическо моделиране и компютърни симулации на нелинейни многопараметрични физични задачи“ за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ в област на висше образование Природни науки, професионално направление 4.5 Математика, докторска програма Математическо моделиране и приложение на математиката. Автор на дисертационния труд е *Стефани Апостолова Панайотова* – докторантка в редовна форма на обучение към катедра Математически анализ с научни ръководители проф. дмн Снежана Георгиева Гочева – Илиева и доц. д-р Павлина Христова Атанасова от ПУ „Паисий Хилендарски“.

Представеният от *Стефани Апостолова Панайотова* комплект материали на хартиен носител е в съответствие с Чл.36 (1) от Правилника за развитие на академичния състав на ПУ, включва следните документи:

- молба до Ректора на ПУ за разкриване на процедурата за защита на дисертационен труд;

- автобиография в европейски формат;
- протокол от катедрения съвет, свързан с докладване на готовността за откриване на процедурата и с предварително обсъждане на дисертационния труд;
- дисертационен труд;
- автореферат;
- списък на научните публикации по темата на дисертацията;
- копия на научните публикации;
- списък на забелязани цитирания;
- декларация за оригиналност и достоверност на приложените документи;
- справка за спазване на специфичните изисквания на съответния факултет (само за докторантите зачислени до 04.05.2018 г.);
- две служебни бележки и сертификат за участие в курс по Теория на апроксимациите и приложения

Докторантът е приложил 8 публикации.

Бележки и коментар по документите: Всички необходими документи са налични.

2. Кратки биографични данни за докторанта

Стефани Апостолова Панайотова е завършила Факултета по математика и информатика на ПУ „Паисий Хилендарски“ с магистърска дипломна работа на тема „Числени методи за решаване на нелинейни операторни уравнения“ и бакалавърска дипломна работа на тема „Потребителски софтуер за изследване на Джозефсънови контакти“. Така, в процеса на обучението си Стефани Панайотова е придобила необходимия опит за успешно обучение в докторантска програма, още повече, че темата на дисертацията и е свързана с области от науката, които тя добре познава още от студентските си години.

Стефани Панайотова има значителен преподавателски опит както със студенти, така и с ученици. Тя е водила семинарни занятия със студенти по дисциплините: Софтуерни системи, Изчислителна математика и Компютърни числени методи. Има опит с работа с ученици като преподавател в средно училище. Изследователският и опит е по линията на участие в Националната програма „Млади учени и постдокторанти“. Стефани Панайотова има достатъчен брой публикации и е натрупала достатъчен опит в областта на представяне на научните си резултати чрез участие на национални и международни конференции. Има опит с работа в научни колективи в страната и чужбина.

3. Актуалност на тематиката и целесъобразност на поставените цели и задачи

Дисертацията е посветена на няколко проблема от областта на математическото моделиране чрез компютърни симулации, свързани с нелинейни многопараметрични за-

дачи, възникващи в областта на физиката. Математическото моделиране чрез компютърни симулации е силно актуално от научно-приложна гледна точка. Актуалността на това моделиране нараства и от гледна точка на фундаменталната наука.

Конкретните проблеми, разгледани в дисертацията са са три проблема, свързани с физиката на джозефсъновите контакти. Два от проблемите са свързани с числено изследване на магнитната динамика, свързана с дълги контакти, а при третия проблем имаме и аналитично изследване в допълнение към числените симулации. Аналитичните решения са за двойното уравнение синус – Гордън. Физиката на джозефсъновите контакти винаги е била актуална поради нелинейните процеси в тази система, а аналитичните решения на нелинейни диференциални уравнения са област, в която работят много голям брой учени по света и в която непрекъснато се публикуват голям брой нови резултати.

4. Познаване на проблема

От представения литературен обзор и стила на написването на дисертацията е видно, че докторантката познава добре състоянието на проблема. Историческият обзор е достатъчно подробен, каквото е и описанието на съвременното състояние на изследванията по проблема.

5. Методика на изследването

Избраната методика на изследване е описана в глава 1 на дисертацията. Методиката е основана на числено решаване на диференциални уравнения и включва и методология за получаване на аналитични решения на моделната двойно уравнение синус-Гордън, което е от интерес за проблемите, разглеждани в дисертацията. Избраната методология позволява постигането на поставената в дисертацията цел и е подходяща за получаване на адекватен отговор на решаваните в дисертационния труд задачи.

6. Характеристика и оценка на дисертационния труд

Дисертацията се състои от увод, 4 глави, заключение, резюме на получените резултати, описание на научните и научно-приложните приноси, публикации по темата на дисертационния труд и библиография.

Уводът съдържа исторически обзор на 50-годишните изследвания в областта на физиката на джозефсъновските контакти и съдържа отговор на въпроса: защо е необходимо интензивно използване на числени методи и симулации при анализ на процесите в

джозефсънови контакти – защото изключително високата чувствителност на свръхтока към електромагнитното поле, която води до неговата висока чувствителност към флуктуациите на електромагнитното поле и значителен брой от наблюдаваните свойства на връзките не могат да бъдат обяснени без отчитане на тези флуктуации. А флуктуациите могат да изучават теоретично най-добре на основата на числен анализ на съответните модели.

В увода са изброени целите и задачите на дисертационния труд. Поставената основна цел е : изследването и получаването на нова фундаментална информация за електродинамичните процеси в джозефсънови структури, и системи в свръхпроводящата спинтроника. Посочени са и 4 задачи на дисертационния труд. Тук изброявам задачите, за да проверя изпълнението им. Задачите са

1. Числен анализ на : изследване за твърдост на многопараметрична нелинейна система обикновени диференциални уравнения с начални условия, описваща магнитната прецесия в джозефсънов контакт под влияние на външен ток; анализ на магнитното обръщане, проявяващо се при различни стойности на физичните параметри; изчисляване на времето за проявление в състояние на магнитно обръщане; изследване върху стабилизацията в магнитно обръщане.
2. Разработване на комплекс от програмни модули, които да са имплементирани в потребителски софтуер за компютърна симулация на нелинейни многопараметрични физични диференциални задачи.
3. Прилагане на числени методи от явен и неявен вид за решаване на на физическите модели описвани с нелинейни диференциални уравнения.
4. Изследване на дълги джозефсънови контакти, моделирани с двойно синус-Гордън уравнение: получаване на явни аналитични решения за разпределението на магнитния поток ϕ , при нулев външен ток; анализ на приложимостта на аналитичните решения при различни стойности на параметрите; получаване на фазови портрети и проследяване на тяхната промяна при изменение на физичните параметри.

В първа глава на дисертацията са обсъдени накратко математическите методи, използвани в дисертационния труд. Основният параграф тук е третият, който е посветен на някои числени методи за решаване на системи обикновени диференциални уравнения от първи ред, като по-специално е описан класът методи на Рунге – Кута.

В глава 2 са изследвани три проблема, свързани с електромагнитната динамика на Джозефсъновите контакти. В първите две параграфа са представени модели съответно на магнитния поток в дълг контакт и на динамиката на магнитния момент за наномагнит в близост до джозефсънов контакт. В основата на численото изследване на модели-

те са двойното уравнение синус-Гордън от стр. 26 на дисертацията (за първата задача) и уравнение (19) (за втората задача). Демонстрират се разработени модули от софтуер за числен анализ на моделните уравнения. В дадения параграф е наблегнато на софтуера и няма обсъждане на получените със софтуера резултати от численото изследване на моделните уравнения.

В третия параграф на главата е представен моделът (20) за динамиката на магнитните моменти по пространствените координати на джозефсънов контакт, който се състои от три нелинейни обикновени диференциални уравнения. След описанието на софтуерните модули (Позоваването на (2) на стр. 40 вероятно е препратка към статията [P2] от списъка с публикации на кандидатката). Програмната реализация е направена чрез подходяща GUI, което дава възможност за бърза промяна на параметрите и лесен анализ на големи области от параметри, свързани със задачата. Сравняването на резултатите с резултатите от предишни изследвания показва, че разработеният софтуер се справя добре с численото изследване на моделната система от уравнения.

Като цяло, в главата е наблегнато на разработения софтуер и на това, че софтуерът води до правилни резултати от численото изследване. Получените числени резултати не са коментирани в голяма дълбочина.

Анализ на получени числени резултати е налице в следващата глава 3 на дисертацията, която е посветена на изследването на магнитната прецесия в джозефсонов контакт тип СФС (свърхпроводник-ферромагнит-свърхпроводник) под влияние на външен ток. Моделът на задачата се дава от многопараметричната система обикновени диференциални уравнения (21) с гранични условия (22). Численото изследване са прави в средата на *Wolfram Mathematica* като за решаване на задачата са разработени специфични програмни модули. Използват се два вида числени методи, всеки от които има област на приложимост по отношение на параметрите на задачата, в смисъл, че в областта си на приложимост съответният метод дава по-добри резултати от другия метод. Параметърът, който е водещ за определянето на това, кой метод ще се използва е параметърът G - параметър на взаимодействие на фазовите разлики от моделната система (21). Показано е, че при $G > 50$ явните числени методи за решаване на моделната система уравнения престават да бъдат ефективни (системата уравнения става „твърда“ за изследване с такива методи) и вместо това е необходимо да се използват неявни методи като методът на Гаус-Лежандър. Този резултат е важен от гледна точка на числените изследвания на магнитната електродинамика на дълъг джозефсънов контакт. Демонстрирано е, че неявният числен метод работи за големи стойности на G и с него е изследвано поведението на магнитния момент, като е наблюдаван ефекта на махалото на Капица. Във втория параграф на главата се описват резултати от численото изследване на обръщането на магнитния момент от токов импулс в контакта. Тези изследвания са ин-

тересни, тъй като дават информация относно възможностите за управление на магнитните моменти чрез промяна на свръхпроводящия ток в джозефсъновия контакт. Показано е, че реализацията на обръщане на магнитния момент се характеризира с определена периодичност по отношение на величината на въртенето на спин-орбитата, параметърът на затихване на Хилберт и съотношението на енергията на Джозефсон към магнитната енергия. Тези резултати изпълват дисертацията със съдържание от гледна точка на потенциални приложения във физиката. В последния параграф на главата е проведено числено изследване на зависимостта на времето за проявление на магнитно обръщане от параметри на моделните уравнения. Основните изводи от описаните изследвания са, че състоянието на системата може да се наруши чрез инжектиране на външен ток, след което магнитният момент се стабилизира в едно от стабилните си състояния. В допълнение е възможно да се контролират магнитните свойства на бариерата в наноструктурите на Джозефсън чрез свръхпроводящ ток, а от своя страна чрез магнитния момент на бариерата може да се влияе на тока на Джозефсън.

Последната глава 4 е посветена на получаване на точни решения на уравнението (17), което е свързано с моделното двойно синус-Гордън уравнение за разпределението на магнитния поток в дълъг джозефсънов контакт при наличие на гранични условия на Нойман. Получени са решения, изразяващи се чрез елиптични функции на Якоби и са изчислени съответните разпределение на магнитния поток. Специален параграф е посветен на изследване на областите от параметри, в които получените решения са валидни. Това е положителна страна на дисертационния труд. Изследвани са и фазовите портрети на решения на моделното уравнение (17). Те носят допълнителна информация за електромагнитната динамика на дългия джозефсънов контакт, тъй като имат връзка със стойностите на амплитудите на първата и втората хармонични в реда на Фурие и енергията на системата.

7. Приноси и значимост на разработката за науката и практиката

Отбелязвам, че четирите задачи, поставени за изпълнение в дисертационния труд, са изпълнени. По изпълнението на основната цел отбелязвам, че е налице изследване и получаването на нова научна информация за електродинамичните процеси в джозефсънови структури, и системи в свръхпроводящата спинтроника.

По отношение на заявените приноси, констатирам следното.

По принос 1: Числен анализ на магнитния поток в дълъг джозефсънов контакт направено посредством метода на Лагранж за нелинейна гранична диференциална задача – численият анализ е направен, приносът е налице.

По принос 2: С помощта на явни и неявни числени методи за нелинейни многопараметрични начални диференциални задачи са решени и изследвани основни проблеми от физиката на джозефсъновите контакти, в това число: динамиката на магнитния момент за наномагнит в близост до джозефсънов контакт; динамиката на магнитните моменти по пространствените координати на джозефсънов контакт; магнитната прецесия в джозефсънов контакт под влияние на външен ток – налице е числено изследване на посочените проблеми, получени са интересни резултати. Смятам, че е налице принос.

По принос 3: За численото моделиране и компютърните симулации е разработен авторски комплекс от програмни модули за числена симулация с широк диапазон на физични параметри, с алгоритми за решаване на твърди начални диференциални задачи; за търсене на ефекта на магнитното обръщане (ефектът се наблюдава, когато само z-компонентът на магнитния момент се променя от 1 на - 1); време за поява на магнитното обръщане - Програмните модули са налични е показано, че работят. Смятам, че приносът е налице.

По принос 4: Получени са явни аналитични решения на стационарното двойно синус-Гордън уравнение, моделиращо разпределението на магнитния поток при нулев външен ток в клас дълги джозефсонови контакти. Изведени са условията за получаване на конкретно аналитично решение. Изследвано е поведението на решенията и са получени фазови портрети на граничната задача (след понижаване на степента) при различни стойности на физичните параметри – решенията са получени и изследвани. Смятам, че е налице принос.

От гледна точка на класификацията на постиженията в доктората, смятам, че те попадат в категорията получаване и доказване на нови факти; получаване на потвърдителни факти от гледна точка на научната част на приносите и в категорията създаване на нови (софтуерни) технологии за изследване по отношение на разработените модули за изследване на системите моделни диференциални уравнения, свързани с физичните задачи в дисертацията.

8. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Към дисертационния труд са представени 8 публикации. От тях 5 са статии и 3 са публикации, свързани с доклади на научни конференции. 5 от публикациите са в чуждестранни издания и 3 са в български издания. 1 от публикациите е в списание с ISI Impact Factor (което беше доста престижно в старите времена и е запазило от престижа си и се-

га), а две от статиите са в издания с SJR. 2 от публикациите са на български език, а останалите са на английски език. 1 от публикациите е самостоятелна, 1 публикация е с 1 съавтор, 1 публикация е с двама съавтори, 5 от публикациите са с трима и повече съавтори съавтори. Не са забелязани цитирания на публикациите. Резултатите от дисертацията са използвани при работата по поне 3 международни проекта и по поне два национални проекта. Смятам, че личното участие на докторантката в публикациите е значително, тъй като тя е основният разработчик на софтуерните модули, използвани при анализа на изследваните физични задачи.

9. Лично участие на докторанта(ката)

Както и по въпроса за участието в публикациите, смятам, че личното участие на докторантката в проведеното дисертационно изследване е значително, тъй като тя е основният разработчик на използваните за численото изследване софтуерни модули. Тъй като дисертацията е в голяма степен фокусирана върху численото изследване, смятам, че личното участие на докторантката в получените резултати и приносите е достатъчно, за да се разгледа възможността за присъждането на настоящата ж.образователна и научна степен.

10. Автореферат

Авторефератът отразява основните резултати, постигнати в дисертацията. Смятам, че авторефератът е с добро качество и е изготвен по правилата.

11. Критични забележки и препоръки

Никога не броя печатните грешки, когато рецензирам дисертационен труд за каквато и да е докторска степен. Дисертацията е написана с добър стил и е разбираема. Препоръката ми е разработените софтуерни модули да се използват в максимална степен за получаване на допълнителни резултати както в областта на физиката на джозефсъновите контакти, така и при други задачи за в бъдеще.

12. Лични впечатления

Нямам лични впечатления от докторантката. С много голяма вероятност ще я видя за първи път на самата защита на дисертационния труд.

13. Препоръки за бъдещо използване на дисертационните приноси и резултати

Препоръката тук е ако е възможно, резултатите да намерят технологично приложение, за което докторантката би могла да е консултант.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисертационният труд съдържа *научни, научно-приложни и приложни резултати, които представляват оригинален принос в науката* и отговарят на всички изисквания на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на ЗРАСРБ и съответния Правилник на ПУ „Паисий Хилендарски“.

Дисертационният труд показва, че докторантката Стефани Апостолова Панайотова притежава задълбочени теоретични знания и професионални умения по научна специалност 4.5 Математика (Математическо моделиране и приложение на математиката) като демонстрира качества и умения за самостоятелно провеждане на научно изследване.

Поради гореизложеното, убедено давам своята *положителна оценка* за проведеното изследване, представено от рецензираните по-горе дисертационен труд, автореферат, постигнати резултати и приноси, и *предлагам на почитаемото научно жури да присъди образователната и научна степен „доктор“* на Стефани Апостолова Панайотова в област на висше образование: природни науки професионално направление 4.5. Математика, докторска програма Математическо моделиране и приложение на математиката

07.05. 2022 г.

Рецензент:

(подпис)

проф. дмн Николай К. Витанов