

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд на тема „ МОДЕЛИРАНЕ НА ВИСОКОЧЕСТОТНИ ГАЗОВИ РАЗРЯДИ „ за присъждане на научната степен "доктор на науките" („математически науки“), насочена за защита от Технически Университет-София в ТУ-София с автор доц. д-р Христо Цветанов Търнев

Рецензент: Проф. д.ф.н. и д.т.н. Марин Ненчев Ненчев

I. Обща характеристика. Представената дисертация от специалист-физик, има характер на насочена в математичен аспект интер-дисциплинарност – тя застъпва в напълно издържана форма значими математически анализи и методология свързани с физичен и в потенциал – технически аспекти. В този смисъл, тя е особено трудоемко и полезно систематизирано научно изследване от две взаимно-свързани природни науки – математични и физични , обобщавани неслучайно като физико-математическо научно направление. За всеки работещ издържано професионално в тази насока специалист – математик, физик, инженер, връзката между математичното моделиране и анализ и експериментално-приложната физична и техническа дейност е част от високо професионално ниво и източник на значими резултати. В аспект на изложеното, моят прочит и свързано със значимите получени резултати, отбелязани по-долу и представени и приети от световната научна общност, приемам дисертацията като съществено, смислено и полезно систематизирано научно изследване, в частност в математичното моделиране и анализ на сложни физични процеси. Работата е извършена с дълбокото разбиране и интерпретация на математичния и физичен аспект на въпросите, достойно за присъждането на исканата научна степен. Ще отбележа и моето разбиране за различна специфика и съответно различаващи се изисквания към дисертациите за различните научни клонове – природни науки, технически науки, обществени науки и др. Специфика на дисертациите за природните науки е изискването за доказани приноси (макар и скромни, но реални) с научно-фундаментален характер, обогатяващи научното направление и стимулиращи неговото развитие са доказано приети от световната научна общност. Ще отбележа също, като характеристика на научните възможности на доц. Търнев, че наред с постигането на значимите научни резултати, той има активна пълна преподавателска дейност, която комбинация изисква разбираемо, особени усилия и професионални възможности.

Основно в дисертацията се разработват – като водеща тема -развитие на математични методите за моделиране на газовите разряди в променливи електромагнитни полета и също - приложение на моделите за определяне на характеристиките на изучаваните газови разряди и сравнение на теория и експеримент.

Давайки висока обща оценка на резултатите и дисертацията (аргументирано по-долу) и на цялостното представяне на кандидата, както и изразявайки убеждение, че докторантът напълно заслужава по всички стандарти присъждането на исканата научна степен, имам и бележки и препоръки, както и въпроси, които бих желал той да осветли при защитата.

II. Публикационно представяне – значимост и отзив. Дадените резултати отговарят напълно на представата за необходимото високо научно ниво на дисертация за доктор на

науките в областта на природните науки. Те съществено надхвърлят минимално изискваните съгласно регламентите на Техническият Университет-София, от където тя е представена, обсъдена и насочена за защита. Ще отбележа, че тя се изгражда на основата на **научни резултати, представени в 34 публикации, от които 20 в списания с импакт-фактор (в общия актив на кандидата има 95 публикации, от които 39 в списания с ИФ). Публикациите по дисертацията с ИФ са в специализирани международни списания като Phys. Plasma , Plasma sources Sci. Technol., J. Plasma Phys., IEEE Transactions on Plasma Science, Rev. Sci. Instrum., etc.** За посочения по-горе характер на резултатите - математични модели свързани с физични изследвания , говорят заглавия на публикациите , като “Negative hydrogen ion maintenance in small radius discharges: Two-dimensional modelling”, “3D self-consistent modeling of a matrix source of negative hydrogen ions”, “Trivelpiece-Gould mode produced gas-discharges in a diffusion-controlled regime”, “Surface-wave produced discharges in hydrogen: I. Self-consistent model of diffusion controlled discharges” , “A small radius hydrogen discharge: An effective source of volume produced negative ions” , “Matrix of small-radius radio-frequency discharges as a volume-production based source of negative hydrogen ions”, “Mechanisms for sustaining the free-standing plasma beam”. Съществена оценка на значимост и полезност са 58 цитирания по Scopus . Публикациите и цитиранията говорят за необходимия международен отзив за резултатите – прегледани и приети от десетки учени от областта.

III. За личния принос на доц. Търнев в резултатите, който приемам за достатъчен, свидетелстват: системното му тематично участие във всички работи в насока на проблематиката на дисертацията, също в различни колективи, 5-те самостоятелни негови работи по проблемите на дисертацията, одобрението на материала за представяне от доц. Търнев като дисертация от обсъждането на семинар на звеното, а и личните ми впечатления за висока компетентност от дискусии с него по проблематиката на дисертацията. **Не случайно докторантът е Хумболтов Стипендиант** – едногодишна стипендия от най-престижно ниво, което накратко казано, е определена висока характеристика за капацитета и възможностите му като учен.

Самата дисертация е написана в 298 страници в 5 глави с резултати, включва 233 фигури и 4 таблици, заключение , изводи , списъци на авторските публикации и на цитираните чужди.

IV. Без да следвам хронологията на научното движение в дисертацията, ще представя избрани ведещи пунктове от резултатите , даващи облика на цялостната работа с аргументиране на оценка за ниво и значимост.

1. Група модели са посветени на индуктивни разряди в плазмата. Физикално, те са свързани с проблематиката за създаване на отрицателни водородни йони за реакторите за термоядрен синтез, с водещо изследване върху генератори на такива йони. За решението се разработва нова идея за конструирането на източника като матрица от голям брой разряди с малък радиус за разлика от традиционно използваните източници с големи размери, които обаче имат недостатъци като необходимост от внасяне на цезий в разряда, затруднено извличане на обемно създадените водородни йони. Идеята се базира на резултат от представен в дисертацията едномерен флуиден модел за акумулиране на отрицателните йони в приосната област на разряда, където тяхната концентрация достига стойности много по-големи от средните за разряда. По-късно този резултат е потвърден и от двумерни флуидни модели на индуктивни разряди с плоска и цилиндрична намотка. Получени са и

резултати от първото пълно изследване на механизмите на внасяне на мощност в разряди с малък радиус. Показано е, че малкият радиус на разряда влияе силно върху дебелината на скин слоя както в дифузионен режим, така и в режим на свободен пробег. Ниското налягане в източниците на отрицателни йони изисква и различни подходи в моделирането на разряда. При електроните флуидният подход не е валиден и това налага използването на втори основен метод за моделиране в областта на плазмата, а именно кинетичен модел и решаване на уравнението на Болцман. При йоните е необходимо отчитането на инерчния член в уравнението за движение. За избягване на числените трудности при решаването на възникналото нелинейно диференциално уравнение е разработен метод, позволяващ използването на опростен израз за потока на йоните –приближение в две стъпки. Други приноси към усъвършенстване на методите за моделиране са разработването на итерационна процедура за отчитане на влиянието на диелектричните стени на камерата и модифициране на PIC метода при екстракцията на отрицателните йони от разряда. В дисертацията са разгледани и голям брой възможни конфигурации на намотката на матричния източник, като са анализирани положителните и отрицателните страни на всяка от тях по отношение на еднаквост на плазмените параметри и сложност на конструкцията. Приведени експериментални резултати, потвърждават съответните резултатите от моделите, което дава завършен вид на проведения цикъл. В цялостта си той може да бъде оценен като значим научен резултат – в математичен и във физичен аспект като смислено и коректно математично развитие с конкретизирано физично приложение, обогатяващо научната област от дисертацията.

2. Освен във водород е представен и модел на импулсен индуктивен разряд в кислород, целта на който е обясняването на един нов експериментално наблюдаван ефект, а именно възникването на пик на електронната концентрация след края на импулса на мощността. Резултатите от модела показват, че пикът възниква в резултат на бързото разрушаване на отрицателните кислородни йони. Това също в комплекса може да бъде оценено като завършен значим принос на дисертационната работа.

3. Друга насока на работата по индуктивни разряди е изследването на движението на електрон в периодична структура на електромагнитното поле, създадено от матрица от малки намотки, разположени на стената на голяма газоразрядна камера. Като първо ново изследване е безударното нагряването на електроните при движение успоредно на стената на камерата, а не както е обичайно в литературата, перпендикулярно на стената. От анализа за едномерен случай при аргументирани опростяващи предположения е разработен аналитичен кинетичен модел, в резултат на който е установено наличието на резонансни скорости на електроните, при които се наблюдава голямо нарастване на тяхната енергия. Показано е, че за двумерен случай и произволно периодично поле е необходимо да се използва друг метод на моделиране, а именно модел на отделни частици с Монте Карло отчитане на ударите. Разработени са и два метода за идентифициране на скоростите, при които става резонансният трансфер на енергия от полето към частиците. Резултатите също

могат да бъдат оценени като принос към научното познание в областта и стимул за развитието ѝ.

4.Разработен е модел на капацитивен разряд с локализирано външно магнитно поле. Той може да се разглежда и като изследване на преходния капацитивен мод на индуктивен разряд. Разработеният модел е за отделни частици, с необходимо отчитане и на възникващия обемен заряд. Затова моделът е доразвит, като освен Монте Карло ударите е включен PIC (частица в клетка) модул. Моделът дава и експериментално наблюдавано периодично нарастване на енергията на електроните от двете страни на локализираното магнитно поле. Установено е, че основна роля в случая играе възникването на $E \times B$ дрейф на електроните.

5. Разработени са модели на разряди в поле на разпространяваща се електромагнитна вълна. Акцентът тук е върху ролята на радиалната нехомогенност на плазмата и ударите електрони-неутрали за случаите на цилиндричен плазмен стълб във външно магнитно поле, на свободен плазмен стълб и на плазмен пръстен.

Правят много добро впечатление високото академично ниво на представяне и анализи със свободно владение на апарата на висшата математика, а и коректните физичните обсъждания с ясни и разбираеми физични аргументации. Като пример – при обсъждането на моделирането при флуидния модел, на пръв поглед странното охлаждане на плазмата с внасяне на енергия, кратко и съвсем приемливо е свързано с получаването при това внасяне на нови частици без начални или много ниски скорости. В яснотата на обсъжданията, личи добре наличието на необходимата за доктор на науките компетентност съчетана с преподавателския опит за класифицирането на кандидата като високо компетентен и полезен специалист. Безспорно, докторантът е отлично запознат с проблематиката и подходите за анализ, правилно и добре аргументирано подбира необходимия подход за анализ.

V. Бележки (в аспект на критичност) от рецензента за отчитане и въпроси.

Направих обща оценка на представения дисертационен труд като значимо комплексно изследване със стойностни резултати. Както е нормално, към такава мащабна и комплексна работа могат да възникнат и някои критични бележки и въпроси. Това ще бъде направено и по долу. **Изрично искам да отбележа, че даденото там в никой случай не променя определено положителното и подкрепящо мое убеждение за повече от достатъчност на представеното за присъждане на кандидата на исканата степен.**

Критичната ми бележка е свързана с представянето на материала (отбелязвам - не със същността). Някои от заключителните изводи за дисертацията не са информативни а са общи постановки. Читателят трябва да се връща и да търси конкретизацията на приноса в съответната глава. Не е удачно да се каже : т.6 „Разработени са два метода ...“ и „Методите са приложени при...“, а трябва да се каже „От приложението на разработените методи като резултат са получени...“ ; Също т.8 „Изяснена е ролята на радиалната компонента.....“ – да се каже „Изяснено е ,че ролята на

радиалната компонента на плазмата се заключава вКАКВО КОНКРЕТНО...“ ; също т.7. не „ Установен е механизмът на...“, а „Установеният механизъм на възникване ...се заключава в“. Могат да се направят и дребни критични бележки относно представянето, на като се има в предвид отражението на материала в 20 публикации в специализирани списания с ИФ, те едва ли имат същественост.

Въпроси –

- 1.) В метода, представен в Гл.2.4, в изразите за производната на скоростта (2.81) участва максималният потенциал ϕ_{\max} . Не всички йони се създават в точката с максимален потенциал. Как се оправдава заменянето на реалния потенциал при който се създават йоните, с максималния потенциал ?.
- 2.) В Гл.2.1 Г. възникването на Е-мода се свързва с радиалния ток в намотката. В литературата възникването на Е-мода се обяснява още с пад на напрежението между навивките на намотката или намотката се разглежда като един от електродите на кондензаторен разряд. При какви условия е оправдано използването на всеки един от тези три подхода при обяснението на възникването на Е-мода?
- 3.) В Гл.4.1. разглежданията са направени за безкраен матричен източник- Как биха се променили резултатите при реална матрица с крайни размери ?

Препоръка – много добре е, на основата на дисертацията, да се подготви книга, на български език – адаптирано за докторанти, и студенти. Това е вид реална ползност за България.

VI. Оценката на публикационното представяне като повече от отлична и за достатъчния научен принос на кандидата бяха дадени в началото, свързано с Общото обсъждане (т.II и т.III). Подчертах, че значимостта на резултатите от дисертацията е свързана както като научни приноси към направлението на тематиката й и стимулиране на работата на други учени, така и със значимия приложен потенциал за развитие на подходи за генериране на отрицателни водородни йони, от значим интерес при съвременните ядрени изследвания и спектроанализа. Източниците на отрицателни водородни йони намират приложение освен в реакторите за термоядрен синтез, каквато е насочеността на работата по дисертацията, но и в ускорителите на заредени частици. Основното приложение на разрядите в кислород е в плазмените технологии. Разрядите в аргон се изследват не само във връзка с фундаменталните им свойства, но и поради широкото използване на аргона в технологиите като буферен газ.

VII. Лични впечатления на рецензента. Нямам персонални контакти с кандидата. Служебно го познавам, като особено коректен и внимателен човек. От мои въпроси към него от аспекти на дисертацията, имам определено убеждение за висока негова професионална компетентност.

VI. Представеният автореферат коректно отразява получените резултати

VII. Заключение.

Резултатите , по същество и по ниво на представяне за международната научна общност, обогатяват определено научното направление с нови знания по математичното моделиране и физичните свойства на плазмените обекти, както в научно-фундаментална насока, така и с приложния си потенциал и стимулират развитието на направлението. Дисертацията е систематизирано, полезно и значимо по резултати научно изследване, синтез от две

взаимно-свързани природни науки – математични и физични , обобщавани неслучайно като физико-математическо научно направление. В своята цялост, представеният дисертационен труд отговаря напълно на представата за стойностен и достатъчен принос на необходимото високо научно ниво и международна оценка за дисертация за „доктор на науките“ в частност и към научното направление на заявената проблематика. Като определен за рецензент в процедурата по защитата на дисертацията , виждам основа за напълно заслужено присъждане на доц. д-р Христо Цветанов Търнев на претендираната научна степен „доктор на математическите науки“ в исканото направление и определено подкрепям присъждането ѝ на кандидата, за което ще гласувам и аз.

София

19.12.2017 г.

Рецензент :

проф. д.ф.н. и д.т.н. Марин Ненчев