

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване на научната и образователна степен
„доктор”

Автор на дисертацията: Ангел Петров Демерджиев, редовен докторант в Групата по физика на плазмата и газовия разряд при Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“

Тема на дисертацията: „Индуктивни разряди във водород при ниско налягане“

Научни ръководители: доц. Д-р Христо Търнев
проф. дфн Антония Шиварова (ФзФ-СУ)

Рецензент: проф дфн Петко Неновски

1. Общо описание на представените материали

Представеният дисертационен труд е в обем от 124 страници, включващ 98 фигури и библиография от 164 заглавия. Дисертационният труд има следната структура: Увод – 5 стр, Първа глава – 47 стр.; Втора глава – 8 стр.; Трета глава – 18 стр; Четвърта глава – 34 стр.; Основни приноси – 1 стр.; Списък на публикациите свързани с дисертацията – в обем 3 стр.; Литература – 7 стр.

Нека се посочи, че дисертантът има публикации във водещи международни списания с висок импакт-фактор (*J. Appl. D: Appl Phys.*, *IEEE Trans Plasma Sci.*, *Rev Sci. Instrum.*(2) – общо 4, публикуван доклад – 1 в поредицата *AIP Conf Proc.*, както и 8 участия (с 4 доклада и 4 постера) в международни конференции. Публикациите му са със сумарен импакт фактор **6.48**.

Авторефератът адекватно отразява съдържанието на дисертацията.

2. Актуалност на дисертационната тематика

Изследванията върху източници на плазма безспорно са водещо направление в областта на физиката на плазмата, плазмените технологии и приложенията им. Актуалността на тази тематиката е многопластова свързана както с физиката на процесите в газовия разряд, така и с възможните им приложения – в плазмените технологии за микроелектрониката, биологични приложения и множество свързани технологии. Съществено приложение на газовите разряди като плазмени източници е използването им за създаване на снопове частици за ускорители в системи за допълнително нагряване, напр. на термоядрена плазма в установки тип токамак (ITER) (ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor).

Темата на дисертацията е от областта на ВЧ разряди и плазмени източници и напълно се вписва в контекста на актуалните проблеми на съвременната физика на плазмата. Конкретно, представените в дисертационния труд изследвания са посветени за създаване и конструиране на високочестотен (ВЧ) матричен плазмен източник.

В подкрепа на казаното е фактът, че изследванията, включени в дисертацията, са подкрепени и финансирани по програми и проекти на Европейската комисия EURATOM, EUROfusion и EFDA-PPPT, както и по плана на Българската асоциация ЕВРОАТОМ-ИЯИЯЕ, подкрепени с финансиране от ФНИ.

Несъмнените научни постижения и приноси в това направление както и осъвременената експериментална база на Групата по Физика на плазмата и газовия разряд при Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“, са сериозна предпоставка за нови, научни и научно-приложни приноси във физиката на ВЧ разряди, технологични постижения и приложенията им, част от които са отразени в представения дисертационен труд.

3. Кратка характеристика на дисертационния труд

В 1-ва глава на дисертацията (озаглавена „Литературен обзор“), която обхваща 47 стр., авторът, А. Демерджиев, стъпка по стъпка разкрива проблематиката и съвременните постижения в областта на високочестотните (ВЧ) разряди, плазмените източници, включително на отрицателни водородни йони за ускорители и установки за термоядрен синтез. Авторът убедително демонстрира солидни познания, се ориентира компетентно в постигнатите досега теоретични и експериментални резултати в тематиката на дисертационния труд.

4. Кратка характеристика на научните приноси

По нататък ще изложат виждането си за научните приноси, които са отразени в 2-ра, 3-та и 4-та глави на дисертацията.

Във 2-ра глава авторът изследва проникването на високочестотно електрично поле в плазма с крайни рамери. Наред с традиционните понятия нормален скин с удари и аномален скин, авторът въвежда и експлоатира ново понятие „геометричен спин“, което предлага нова необичайна трактовка на понятието скин. Под понятието „геометричен спин“ се разбира пространственият мащаб на изменение на електричното поле в плазми обеми, характеризирани се с краен размер (радиус). Боравейки с този мащаб, се открива възможност да се установят (*ad hoc basis*) допустимите (минимални) радиуси на обемите, в които се осъществява ефективен механизъм за поддържане на ВЧ разряди. Приложените в тази глава фигури илюстрират границите на приложимост на трите вида скин в пряка зависимост от честотата и плътността на плазмата, както и връзката между радиуса на индуктивните разряди и проникването в плазмата на полето на ВЧ електромагнитна вълна.

При досегашни изследвания на индуктивните разряди увеличаването на вложената за поддържането на разряда ВЧ мощност се е посочвало като единствена причина за прехода им от капацитивен в индуктивен мод. В трета глава авторът изследва и намира, че (външно) постоянно магнитно поле със зададен магнитуд (действащо като магнитен филтър) и, по конкретно, местоположението му по дължината на разрядната тръба се оказва фактор, който е *причина* в какъв мод ще протича ВЧ индуктивен разряд. С поетапно преместване на магнитния филтър спрямо оста на разряда, са изследвани промените в ключевите характеристики на ВЧ индуктивен разряд и е установен преход от капацитивен в индуктивен мод при внасяне в плазмата при фиксирана по време на експериментите ВЧ мощност. Обоснована е методика на идентифициране на характеристиките и техните времеви изменения.

При проведените експериментални изследвания А. Демерджиев установява интересен феномен: в условия на капацитивен мод се наблюдава формиране на „електронни снопове“, различни от известните снопове електрони, възникващи в пристенните области на ВЧ разряд. Тези електронни снопове се пораждат в(от)

областта на приложеното външно постоянно магнитно поле. Проведените експериментални изследвания са показали наличие на $E \times V$ дрейф на *електроните*. $E \times V$ дрейф на електроните има място при условие, че параметрите при ВЧ разряд: честотите на електромагнитната вълна и на ударите, т.е. ω и v са по ниски циклотронната честота на електроните (ω_{ce}). *Предполагам*, че тук става дума и за електричен ток, тъй като при зададените параметри съответният дрейф на *йоните* не е възможен и (вероятно) не се установява. Времевите изменения на излъчването от отделните елементи на разряда са количествено сравнени и свързани с очакваните промени в пространствените характеристики на същия $E \times V$ дрейф на електроните през различните фази на ВЧ електромагнитна вълна.

Изследванията в 4-та глава изследвания са насочени основно към моделиране на ефективен по отношение на внасяната в него мощност матричен ВЧ плазмен източник, комплектован от множество индуктивни разряди във водород с плоска намотка, разработван като източник на отрицателни водородни йони. Изследван е и решен конструктивно въпросът за ефективно внасяне на ВЧ мощност в източник, комплектован като матрица от разряди. Мярка за *ефективността* на такъв източник е намирането на конструктивни решения, които осигуряват максимален пръстеновиден електрически ток във всяка от разрядните тръби. В дисертационния труд са формулирани следните 2 критерия за избор на конфигурацията на намотката: (а) *постигане на подобие* на внасянето на ВЧ мощност във всеки разряд на матрицата с начина на ефективното внасяне на мощността в единичен индуктивен разряд със собствена плоска намотка, при който се осъществява (почти) перпендикулярно проникване в плазмата на ВЧ магнитно поле и последващо индуциране на пръстеновиден ВЧ ток успоредно на дъното на газоразрядната тръба) и (б) *постигане на еднакви параметри (характеристики) на плазмата* (включително и на пространственото им разпределение), във всички разряди на матрицата. На базата на формулираната за целта електродинамична задача и намерените от автора 3-D решения за различни типове конфигурации е намерена онази конфигурация на плоската намотка, обща за цялата матрица, а именно, „омега“ Ω -конфигурация, при която са удовлетворени посочените два критерия а) и б).

Общата оценка на получените в дисертационния труд теоретични и експериментални резултати е, че те могат да се класифицират като *приложен принос*, а именно, налице са: конкретно решение на тясно формулирана задача от дадена научна област с *непосредствена практическа приложимост* и *оригинални моменти* в избора на метод за изследване и разработване. С проведеното в дисертационния труд 3-D

моделиране е посочена конструкция „омега“ на изучавания ВЧ матричен плазмен източник, комплектуван от индуктивни разряди с плоска намотка, характеризираща се с ефективно внасяне на ВЧ мощност и почти еднаквото ѝ разпределяне в разрядите.

5. Публикации и значимост на резултатите

Публикуваните в 4 реномирани международни списания работи (J. Phys. D: Appl Phys., IEEE Trans Plasma Sci., Rev Sci. Instrum.(2)) сами по себе си говорят за достоверността и високата стойност на резултатите, получени в дисертационния труд.

Заедно с това по-голямата част от резултатите са докладвани на общо 10 международни конференции (15-та и 16-та Conf on Ion Sources; Phenomena in Ionized Gases; Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases, etc.) както и на 2-я Национален конгрес по физически науки.

Макар трудовете на дисертанта да са в съавторство, авторът несъмнено има водещ принос, съчетавайки умения и компетентност и в получаването на теоретичните резултати, и в експерименталната работа. В потвърждение на това е фактът, че в 3 от публикациите си излезли в списания с импакт фактор А. Демерджиев е първи автор: IEEE Trans Plasma Sci.(2014), Rev Sci. Instrum. (2014) и J. Phys. D: Appl Phys. (2015)). Показателно е, че количеството на трудовете включени в дисертацията значително надвишава броя публикации, препоръчителни за получаване на образователната и научна степен „доктор“ (справка: „Препоръчителни изисквания“ на ФсФ).

Има основания да се твърди, че дисертационният труд „Индуктивни разряди във водород при ниско налягане“ представлява нов принос в рамките на международните изследвания (научни, технологични) за решаване на проблемите свързани с създаването на надеждни ВЧ източници на отрицателни водородни йони (BATMAN, SPIDER, DESY-HERA), необходими за допълнително нагряване на плазмата в установки за термоядрен синтез (ITER).

6. Пояснения. Критични бележки

Под термина $\mathbf{E} \times \mathbf{V}$ дрейф (на плазмата) се разбира преместване на плазмата в посока перпендикулярна на електричното \mathbf{E} и постоянното магнитно поле \mathbf{B} без поява на електричен ток. Газоразрядната плазма е с висока честота на удари. Ако възникне $\mathbf{E} \times \mathbf{V}$ дрейф, той може да се прояви като електричен ток (ток на Хол). Затова е необходимо уточняване: $\mathbf{E} \times \mathbf{V}$ дрейф на електрони, без съпътстващ дрейф на йоните, който се

проявява като *електричен ток*, чиито носители са електрони от намиращата се под въздействието на постоянното магнитно поле ***V*** газоразрядна плазма.

Основните теоретични и експериментални резултати, изложени в 2-ра, 3-та и 4-та глави, вече са публикувани. Авторът е пропуснал да посочи (не цитира) къде, т.е. в коя от публикациите си коя част от тези резултати са публикувани.

Критични бележки нямам. Има технически грешки и пропуски, които, като правило, са неизбежни в подобни род трудове.

7. Препоръки

В бъдещата си работа авторът да продължи и задълбочи изследванията и експериментите върху генерирането на електронни токове, възникващи в(от) магнитния филтър. При възможност да прецизира условията на възникването им за допустими нива на налягането на газа, внасяната ВЧ мощност и магнитуда на външното магнитно поле.

8. Заключение

На базата на научните приноси, солидно подплатени с добро познаване на литературата, задълбоченото разбиране на основните проблеми и задачи за решаване по зададената тематика и успешното съвместяване на теоретични и експериментални подходи и методи в работата си, *заключавам*, че представената дисертация „Индуктивни разряди във водород при ниско налягане“ на А. Демерджиев е на високо научно ниво.

Дисертацията определено надвишава изискванията за получаване на съответната научна степен. С пълна убеденост препоръчвам на високоуважаемото Научно жури към Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“ да присъди на автора, Ангел Петров Демерджиев, научната и образователна степен „доктор“.

21 декември 2016 г

Рецензент:

