

# РЕЦЕНЗИЯ

на

## Дисертационен труд,

на редовен докторант към катедра Радиофизика и електроника, Фзф, СУ  
Димитър Йорданов Йорданов

с тема:

### ***МАТРИЧЕН ИЗТОЧНИК НА ОТРИЦАТЕЛНИ ВОДОРОДНИ ЙОНИ***

представен за присъждане на:

образователната и научна степен „доктор”

по професионално направление 4.1. Физически науки (Физика на плазмата и газовия  
разряд)

**Рецензент:** доц. д-р Живко Кисъовски, катедра "Радиофизика и електроника",  
Физически Факултет на СУ „Св. Кл. Охридски”

#### ***Представяне на дисертанта:***

Димитър Йорданов завършва висшето си образование през 2011 г. като бакалавър по Физика във Физически факултет на СУ с дипломна работа „Екстракция на снопове от отрицателни водородни йони от тандемен плазмен източник”. Образованието си продължава в магистърската специалност "Физика на плазмата и термоядрен синтез", като защитава през 2012 г. дипломна работа „Експериментално изследване на индуктивен разряд във водород с оглед поддържане на отрицателни водородни йони в разряда” и придобива магистърска степен по Физика на Физически факултета на СУ. След явяване на кандидат-докторантски изпити, от февруари 2013 г. той е зачислен на редовна докторантура по професионално направление 4.1 „Физически науки” (Физика на плазмата и газовия разряд) към катедра "Радиофизика и електроника" с научен ръководител проф. дфн Антония Шиварова и консултант доц. д-р Стилиян Лишев. Срокът на докторантурата на Димитър Йорданов е удължен с една година, в която той представи дисертационния си труд на предзащита в предвидения срок и е отчислен с право на защита.

#### ***Дисертационен труд:***

Дисертационният труд е представен на 158 печатни страници, включително 2 таблици, 102 фигури и са цитирани 148 литературни източника. Оформен е в 6 основни части, като по-важните са: увод (5 стр.), литературен обзор (55 стр.), 4 глави съдържащи както експериментални така и теоретични резултати (85 стр.), основните приноси на дисертацията (1 стр.) и литература. Авторефератът е изготвен според изискванията и съдържа основните резултати на представения труд. Текстът на дисертацията е добре оформен и подреден, лисват съществени граматически грешки и всички фигури са правилно обозначени, използвано е последователно представяне на списъка с литературни източници.

### ***Актуалност на темата:***

Плазмените източници на йони имат широко приложение в съвременните технологии - в микроелектрониката за реактивно йонно ецване, йонната имплантация, модификация на повърхности; в нанотехнологиите за формиране на наночастици; в ракетните и сателитни плазмени двигатели; в мас-спектрометрията и др. Плазмените източници на отрицателни йони има основно значение за системите за допълнително нагряване на термоядрена плазма чрез снопове от високоенергетични неутрални частици получени чрез неутрализация на тези йони.

За конструиране на ефективни източници на отрицателни йони се търсят нови решения и материали, увеличаващи тяхното създаване. Извличането на йонни снопове от плазмата е сложен процес, поради необходимостта от разделяне на йоните от електроните чрез извличащи многоелектродни устройства и изследването му е актуален проблем на съвременната наука.

### ***Анализ на съдържанието на дисертационния труд:***

В **увода** докторантът ни запознава със сложността на проблема за създаване и извличане на отрицателни водородни йони за нуждите на системите за допълнително нагряване на термоядрена плазма. На тази основа е формулирана целта на дисертационния труд – изследвания с оглед на извличането на обемно-създавани отрицателни водородни йони от единичен елемент на матричен плазмен източник. Задачите за изпълнение в дисертацията са общо формулирани, като диагностика на плазмата на единичен елемент на матричен източник, изследване влиянието на електрическата сонда върху параметрите на плазмата и определяне на факторите влияещи върху създаването и екстракцията на отрицателните йони.

В първата част от **литературния обзор** са представени известни от литературата източници на отрицателни водородни йони, използвани в системите за допълнително нагряване на термоядрена плазма и източници, използвани при ускорители на частици. Показани са подробно и теоретичните резултати получени в Групата по физика на плазмата и газовия разряд, които насочват към концепция за подобряване на конструкцията на разгледаните източници. Втората част на обзора е посветена на индуктивните разряди и по-специално върху флуидния модел за описанието в двата им режима (капацитивен и индуктивен). Стегнато са представени, от класически източници, сондовата диагностика и диагностиката по метода на лазерното фотоотделяне, като е разгледан и новоприлагания метод на емисионната оптична спектроскопия с фазово разделяне. Последната част на обзора е върху прилаганите устройства за извличането на отрицателните йони от плазмените източниците и постигнатите параметри. Прегледът на темите показва ерудиция и разбиране на проблемите от докторанта, което се дължи на дългогодишната му работа като дипломант и после като докторант по темата.

Във втора глава на дисертацията са представени експерименталните резултати от сондова диагностика, за профилите на електронната концентрация при три налягания и при повишаване на ВЧ мощността. С помощта и на диагностиката по метода на оптичната емисионна спектроскопия с фазово разделяне е показано наличието на два режима на разряда - капацитивен и индуктивен режим. С помощта на

диагностиката по метода на лазерното фотоотделяне в комбинация със сонда е определена електроотрицателността при тези режими.

Трета глава е посветена на изследване на параметрите на разряд с крайни размери, създаван от индуктивен разряд с плоска намотка и ограничен от диелектрична тръба и извличащото устройство за отрицателни йони. Изследвано е влиянието на позицията на допълнителен магнитен филтър, който може да инициира преход на разряда от капацитивен в индуктивен режим. Прилагането на високо постоянно напрежение на плазмения електрод на извличащото устройство води до промяна на профила на плазмения потенциал, способстващ натрупването на отрицателни йони близо до него.

В четвърта глава на дисертацията теоретично е изследвано влиянието на електричната сонда върху структурата на разряда и точността на измерване на параметрите в него, което е рядко срещана акуратност. Развит е специален 2-D флуиден модел на разряда в капацитивен режим, с наличието на сонда и нейния държач и без тях, който е публикуван в J. App. Physics. Показано е наличието на преразпределение на параметрите на плазмата от наличието на държача и сондата на оста на разряда. Тези преразпределения не оказват съществено влияние на измерванията на параметрите при позицията на сондата. Получените резултати имат добро съвпадение и с експериментално измерените стойности на плазмените параметри, въпреки че в модела не се отчитат загубите на енергия от индуцираните токове от намотката в проводника на сондата.

Извличането на отрицателни водородни йони от изследвания индуктивен разряд (без наличие на магнитен филтър), ограничен от извличащото устройство, е представено в глава 5. Извличащото устройство е сложна триелектродна система, с определена конфигурация, профили на детайлите и разстояния между електродите. В тази система са решени са удачно много технически проблеми като изпомпването на системата, охлаждане на електродите и др. Нейната работа е изследвана по отношение на: напрежението подавано на всеки от електродите, налагянето на неутралния газ, положение на магнитите в него, приложена ВЧ мощност в разряда, дължина на разряда и напрежение на плазмения електрод. Изследването на тази многопараметрична задача изисква много познания, експериментални умения и задълбочен анализ, с които докторантът се е справил отлично. Отново е приложен теоретичен 2-D модел за оптимизиране на параметрите на разряда и извличащата система. Тази глава завършва с експериментални резултати, показващи възможността да се създаде ефективна система на основата на ВЧ индуктивен разряд с допълнително внасяне на постояннотокова мощност за създаване на отрицателни водородни йони пред плазмения електрод и тяхното успешно извличане.

### ***Научни приноси:***

Дисертационният труд представлява едно задълбочено и напълно завършено научно изследване с добре поставени цели и задачи за тяхното постигане, добре планирани и изпълнени експерименти, с моделиране на процесите и задълбочен анализ на получените резултати. Най-ценната част от това изследване е доказаната възможност за конструиране и прилагане на ефективен източник на отрицателни йони, с параметри

покриващи изискванията на установките за допълнително нагриване на термоядрена плазма и с параметри превишаващи известните от литературата данни.

Научните приноси в дисертацията могат да бъдат класифицирани като нови резултати в науката, а именно:

1. Разработен е метод за контрол върху аксиалното разпределение на потенциала на постоянното електрично поле в индуктивен разряд с плоска намотка чрез приложен висок постоянен потенциал на външен електрод.

2. Ефективно създаване на отрицателни водородни йони в комбиниран разряд, обединяваща индуктивен разряд с плоска намотка с постояннотоков разряд, осигуряващ необходимото разпределение на плазмения потенциал пред извличащия електрод.

3. Доказани са двата режима на работа на индуктивен разряд с плоска намотка (индуктивен и капацитивен) чрез комбиниране на експерименти по сондова диагностика и диагностика по метода на емисионната оптична спектроскопия с фазово разделяне.

4. Експериментално е потвърдена възможността за ефективно извличане на обемно създадени отрицателни водородни йони от комбиниран разряд.

#### **Въпроси, препоръки и забележки:**

Дисертационният труд е написан ясно и разбираемо, а получените резултати са коментирани задълбочено. Въпреки това, могат да бъдат направени и няколко забележки, например:

1. В дисертацията се твърди, че дължината на свободен пробег на отрицателните йони е 2-3 см при разнообразните условия на експериментите, без да се обяснява как е получена тази оценка и как тя се променя.

2. В текста има много понятия в кавички, като "вижда", "маркират", "прозорец", "удря", "изглаждане", "повдига" и др., които не поясняват по-добре физичните процесите.

3. В глава 5, не са изяснени всички процеси, които могат да имат принос в създаването на отрицателни йони пред плазмения електрод при висок негов потенциал.

4. Трябва да се аргументира защо за работата на матричния източник, е достатъчно да се изследва и оптимизира работата на единичен елемент.

Отбелязаните бележки не могат да променят отличното впечатление, което дисертацията създава. Представени са огромен брой експериментални и теоретични резултати, като те задълбочено са анализирани. Получените резултати са интересни и поставят различни въпроси, например:

1. Какви са аргументите да приемате функцията на разпределение на електроните по енергии (ФРЕЕ) за Максвелова? Имате ли експериментални данни за вида на ФРЕЕ при капацитивен и индуктивен режим на разряда при ниско налягане? Променя ли се ФРЕЕ при комбиниран разряд с висок потенциал на РЕ?

2. Как определяте съотношението на  $H^+$  /  $H_3^+$  йоните при условията на експериментите и как изчислявате концентрацията на заредените частици от йонния ток на насищане на сондата? Високото съдържание на отрицателни йони

(фиг. 5.13) влияе ли на израза за йонния ток на сондата, съответно на определянето на концентрацията на заредените частици?

3. Спрямо кой опорен електрод са сондовите измервания и измерванията на плазмения потенциал в разряда при отделните експерименти (в 2.2.2, в 3.2.2 и в 5.1.1)?

Представените публикации в дисертацията съответстват на резултатите, описани и обсъждани в дисертационния труд. Публикациите на докторанта, включващи две статии в импактни списания, три доклада на конференции също публикувани в импактно списание (Rev. Sci. Instrum.) и пет доклада на международни научни конференции (публикувани в поредици), надхвърлят препоръчителните изисквания на Физически факултет за присъждане на образователната и научна степен „доктор“.

**Заключение:** Представеният от редовния докторант Димитър Йорданов дисертационен труд съдържа оригинални резултати и има съществени научни приноси. Обемът и качеството на труда отговарят на ЗРАСРБ и на правилниците на СУ и на Физически факултет. Това ми дава основание убедено да препоръчам на научното жури да присъди на докторант Димитър Йорданов образователната и научна степен „доктор“ в професионално направление 4.1. „Физически науки“ (Физика на плазмата и газовия разряд).

София, 17.03.2017 г.

...

Рецензент:.....

/доц. д-р Живко Кисъовски/