

## **РЕЦЕНЗИЯ**

**на дисертацията на ДИМИТЪР ТОДОРОВ ТОДОРОВ**

### **РАЗРЯДИ ВЪВ ВОДОРОД КАТО ИЗТОЧНИЦИ НА ОТРИЦАТЕЛНИ ВОДОРОДНИ ЙОНИ**

**за получаване на научна и образователна степен "доктор"**

**от проф. дфзн Стефан Т. Иванов**

Представена е докторска дисертация от 134 стр. с 147 литературни източника и богато илюстрирана с 72 фигури (много от фигурите имат по 4 картини). Дисертацията се състои от 4 глави - една е обзорна и 3 са числено моделиране. Дисертацията е голяма –дължината на реда е 16 cm и в една страница има 33 реда. Авторефератът отговаря на текста на дисертацията и на изискванията към него.

#### **Обща характеристика на дисертацията**

— В дисертацията са създадени числени модели на различни източници на отрицателни йони, които се използва в големи реактори на УТС.

— основните приноси са числени;

— дисертацията е написана много коректно и внимателно - практически няма типографски и правописни грешки и всичко (уравненията, математичните величини, единиците, надписите под текста и т.н.) е направено по стандарт;

— дисертацията се чете с удоволствие и интерес; въпреки многото числени резултати, представени графично, ударението на описанието пада върху физичната интерпретация на резултатите, която е направена последователно, ясно и убедително; в това отношение има много удачни моменти, в които кандидатът се проявява не само като професионален физик, но и като много добър педагог – ще посоча Литературния обзор и увода и изводите към всяка глава.

#### **Обща характеристика на дейността на кандидата**

Той има много сериозно отношение към изследователската работа и използването на компютрите в числените методи. Подробните разговори с него оставиха много добро впечатление – кандидатът разбира отлично и умее да обясни физическата същност на изследваните явления качествено и, там където е необходимо, с привличане на строга класическа математика.

#### **Какво представлява дисертацията**

В дисертацията са създадени числени модели, резултати от които определят основните характеристики на режима на разряд с неамбиполярно постоянно електрично поле и самоиндуцирано магнитно поле (режим на неамбиполярност). Установена е ролята на тези характеристики във формирането на структура на използваните и планираните източници на отрицателни йони BATMAN и SPIDER в международните експериментални

установки на УТС и в матричен елемент на разработвания от Групата по плазма и газов разряд матричен източник на отрицателни йони.

**Първа глава е обзор** на източници на отрицателни йони. Обзорът е написан на много добро научно-педагогическо ниво – пълно, строго, изчерпателно и информативно. Той е написан и да се ползва, а не само за илюстрация на изследванията. В обзора се прави преглед на всички съвременни източници (не само на двукамерни, а и матрични), които работят в режим на неамбиполярност.

В **Глава 2** е представен начина на формиране на режима на неамбиполярност, а именно режим на разряд при ниско, с локализирано внасяне на ВЧ мощност. Формирането е илюстрирано чрез двумерен флуиден модел на двукамерен плазмен източник с конфигурацията ВАТМАН. В главата са представени „теоретични изследвания, разчупващи основите на класическите представи за поддържане на разрядите при ниско налягане“.

Анализът на получените резултати позволява да се направят следните важни извода:

1. Режимът на разряда не е амбиполярен и появата му се налага от това, че отместените позиции на максимумите на електронната концентрация и на температурата и непаралелността на градиентите им превръща амбиполярното електрично поле във вихрово поле.

2. Комбинацията от вихровото неконсервативно поле и полето, свързано с потока на електроните, възстановяват консервативно постоянно електрично поле в разряда.

3. Доказано е, че потока на електроните се формира чрез отместване на позициите на максимумите на електронната концентрация и на плазмения потенциал. Това прави неприложимо Болцмановото разпределение на електронната концентрация.

4. Доказано е че в разряда се появява самоиндуцирано магнитно поле и по такъв начин в режим на неамбиполярност плазмата се явява замагнитена без да е приложено външно магнитно поле.

Резултатите са публикувани в авторитетно международно списание *Phys. Plasmas* (IF 2,142)

**Глава 3** представлява моделиране на процесите на разряд в източник на отрицателни водородни йони с конфигурацията на SPIDER. Целта не е модел на източника SPIDER, а модел за описание на плазмата с такава конфигурация с цел да се разбере механизма за поддържане на разряда, режима му и ролята на неутралите в него. Трудностите в този случай идват от големите размери на източника и високата стойност на ВЧ мощност. Разрядът има същият режим на неамбиполярност. Съществена разлика с модела в предната глава е моделирането на разряд в режим на проток и включването в него на динамиката на неутралите.

Главата е доста обширна (3 пъти по-голяма) и подробна в сравнение с Глава 2 (това не е учудващо – на източниците с конфигурация на SPIDER се възлагат много надежди в успеха на ITER). Дадена е математическа постановка на задачата – пълната система уравнения включва: уравнения за

непрекъснатост и движение на видовете частици в разряда (електроните, йоните  $H^+$ ,  $H_2^+$  и  $H_3^+$ , водородните атоми и водородните молекули., уравненията за баланса на енергията на електроните, на атомите и на молекулите, уравнението на Поасон и закона на Ампер.

Основните резултати могат да бъдат обобщени така:

1. Създаден е 2D-флуиден модел на разряд в проток на водород, поддържан чрез локализирано внасяне на голяма ВЧ мощност в източник с големи размери, като е включен анализа на динамиката на неутралите.

2. Установени са механизмите за поддържане на разряда и е установена ролята на неутралите за формиране на структурата му.

3. Доказана е силната нелокалност в поддържането на разряда и режима му на неамбиполярност.

4. Показано е, че газоразрядната структура се изгражда чрез взаимосвързано поведение на заредени частици и неутрали (това е направено за източник с конфигурацията на SPIDER).

В **Глава 4** е представен модел на индуктивни разряди с плоска намотка и с малък радиус. Малкият радиус на разряда е в основата на концепцията за матричен източник, тъй като осигурява висока концентрация на отрицателните йони (резултатите от моделирането показват концентрация на отрицателните йони  $\sim 10^{17} m^{-3}$ ).

#### **Достойнства на дисертацията**

— нови знания (числени) за разряди във водород в източници за отрицателни йони с конфигурация на използвани или планирани източници в международни установки за УТС за отрицателни йони.

— За първи път за някои от анализирани конфигурации се създава двумерен модел, който показва, че:

- начина на формиране на режима на неамбиполярност;
- че неутралите играят съществена роля във формирането на разряда.

— проведен е числен анализ на източник с малък радиус на разряда, който дава редица резултати за матричен елемент (инициатива на научния колектив от който кандидатът е част).

#### **Публикации**

Качеството и количеството публикации далеч надхвърлят изискванията за една докторска дисертация. По дисертацията са публикувани 4 статии (смятам за статии и доклади на международни конференции, публикувани в авторитетни международни списания), пет доклада в пълен текст: 2 във *Phys. Plasmas.*, 2 в *Rew. Sci. Instrum.*; докладите са *AIP Conf. Proc.* – 3, трудовете на конференцията ESCAMPIG-2014, Germany – 1, трудовете на II национален конгрес по физически науки, София – 1; 5 постери на международни и наши форуми – 3 в Германия, 1 в САЩ и 1 в България.

Импакт фактор 7,5 е много висок за една докторска дисертация. Една от работите е цитирана.

Тук ще приведа договорите, в част от които са изследванията в дисертацията.

**Договор ДО 02-267/18.12.2008**, финансиран от Фонд “Научни изследвания”, програма “Идеи” “Висококачествен плазмен източник на отрицателни водородни йони: нетрадиционна концепция, основаваща се на самосъгласуваността на разряда и обезпечаваща ефективността на работа на източника.”

2011 г.: задача 2.1.1 от плана на българската Асоциация ЕВРОАТОМ/ИЯИЯЕ “Development of volume production – based RF source of negative Hydrogen ions”.

2013 г.: договор финансиран програма EURATOM на 7-ма рамкова програма са по задача 2.1.1 от плана на българската Асоциация ЕВРАТОМ-ИЯИЯЕ с финансиране от Националния Фонд Научни изследвания (ФНИ – МОН).

2013 г.: проект по допълнително нагряване на термоядрена плазма чрез снопове от неутрални частици (Heating and Current Drive – Neutral Beams (HCD-NB)) финансиран по програма EFDA-PPPT (European Fusion Development Agreement – Power Plant Physics and Technology).

2014-2016 г.: изследвания по програма EUROfusion на Хоризонт 2020, част от участието на колектива в проекта за Допълнително нагряване на термоядрена плазма (Heating and Current Drive Project – HCD) и в проекта образование (Education).

2013-2015 г.: Договор (BG051PO001-3.3.06-0057-C0001), Изграждане на съвременна образователна и научноизследователска среда за развитието на докторанти, постдокторанти и млади учени във Физическия факултет на СУ “Св. Климент Охридски“.

На пръв поглед участието на изследванията в различни договори няма принципиално значение за една дисертация. Но в случая те дебело подчертават, че се касае не само за научен интерес, а за такъв, чиито резултати пряко влияят за решаване на един общочовешки проблем, за – на една от най-фундаменталните практични задачи на съвременната физика УТС. Европейският характер на договорите доказва важността на изследванията за решаване на тази задача на човечеството. Големият брой договори и значителните средства подчертават необходимостта и значението от решаването на тази класическа задача.

### **Самостоятелност**

Работите са изпълнени в групата по газов разряд и плазма с ръководител покойната проф. дфзн А. Шиварова (лека ѝ пръст). Работите са колективни – групата има редица договори – европейски, германски и наши. В три от публикациите кандидатът е първи автор. Убеден съм в неговия принос и работата му по изследванията, представени в статиите и докладите. Познавам кандидата и съм свидетел на израстването му като добър специалист. Той се отличава с упорита и настойчива работа, отзивчив е и за него научната истина е пред авторитети и висшестоящи.

### **Забележки**

Имам следните забележки:

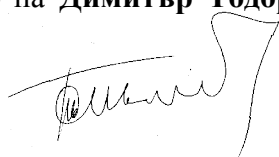
— Честотата и скаларната скорост се бележат с една и съща буква *v*. Това обърква читателите, особено по-нискоквалифицираните. То е недостатък по-скоро на Word, който ползва кандидатът.

— Втората ми забележка се отнася към :Основните приноси на дисертацията“. В принос 6. е казано „Анализирано ...“. Анализът не е принос, той е дейност. Принос е резултатът от него.

### **Заклучение**

Работата прави много хубаво впечатление с последователни, убедителни и ясни интерпретации на получените числени резултати. Направените бележки не намаляват оригиналността и ценността на изследванията. Като цяло смятам, че това е една много добра докторска дисертация и с убеденост смятам, че той не само заслужава научната и образователна степен "доктор", но и далеч надхвърля изискванията за нея. Със същата убеденост препоръчам на уважаемите членове на журито да присъдят научната и образователна степен "доктор" на **Димитър Тодоров Тодоров**.

Рецензент:



/проф. дфзн С. Т. Иванов/