

# РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационният труд  
**„РАЗЯДИ ВЪВ ВОДОРОД КАТО ИЗТОЧНИЦИ НА ОТРИЦАТЕЛНИ ВОДОРОДНИ ЙОНИ“**  
на докторанта **ДИМИТЪР ТОДОРОВ ТОДОРОВ**  
за придобиване на научната и образователна степен „доктор“  
по професионално направление 4.1. Физически науки (Физика на плазмата и газовия разряд)

Рецензент: **СТАНИМИР ТОДОРОВ КОЛЕВ, д-р, доцент в СУ „Св. Кл. Охридски“**

Дисертационният труд съдържа общо 134 страници, разделени в увод, литературен обзор и три глави, представящи изследванията на докторанта. Цитирани са 147 литературни източника. Най-общо работата е в областта на физика на плазмата и е насочена към изясняване на транспорта на частици в разряди при ниско налягане в източници на отрицателни водородни йони за реакторите на термоядрен синтез. Представените резултати са получени чрез числено моделиране на плазмата в различни експериментални установки.

## *Актуалност*

Източниците на отрицателни водородни йони са важен елемент от системите за допълнително нагряване на плазмата в реакторите за термоядрен синтез с голям обем като изграждащият се в момента ITER и за бъдещите реактори въобще. Поради това, според мен, работата е безспорно актуална и от значение за бъдещото развитие на областта.

## *Познаване на проблема*

В литературният обзор с обем 37 страници са разгледани в пълнота и с разбиране най-важната информация в литературата, касаеща изследванията включени в дисертацията. Представени са данни за източниците на отрицателни водородни йони в контекста на реакторите за термоядрен синтез, както и са описани принципите на индуктивните разряди, които се използват в източниците, обект на дисертацията. Обзорът включва и изчерпателен преглед на методите за моделиране на плазма, които са използвани в дисертацията, и подробно описание на реакциите, протичащи във водородна плазма при ниско налягане.

## *Методика на изследването и достоверност на получените резултати*

Изследванията в дисертацията са фокусирани върху транспорта на частици в плазмата при 3 различни конфигурации на източници на отрицателни йони.

В глава 2 са представени изследвания върху отклонение от амбиполярност на преноса на заредени частици към стените. Въпросът е анализиран в дълбочина и са показани общите закономерности, водещи до такъв режим, както и са направени аналогии с подобни концепции в

литературата. Приятно впечатление прави и факта, че е анализиран и ефекта на магнитното поле, създадено от генерирания от плазмата ток, като е показано, че то може да има съществено значение за пространственото разпределение на плазмените параметри.

В глава 3 са представени изследванията свързани с източника SPIDER, разработван в Падуа, Италия и състоящ се от 8 индуктивни разряда с обща камера на разширение. За описание на транспорта на плазма в източника, в модела са направени някои съществени приближения, така че проблемът да се сведе до двумерен модел в цилиндрични координати и аксиална симетрия. В 3.2 е отчетена и динамиката на газа при преминаване през източника в режим на проток. Разработеният модел е задълбочен и резултатите изглеждат напълно достоверни, в рамките на възприетите приближения. Предвид направените опростявания на геометрията на SPIDER в модела, възниква въпросът доколко получените резултати са за SPIDER, а не за BATMAN с единичен индуктивен разряд. Това е поставено и като въпрос по-долу.

Глава 4 е посветена на моделиране на индуктивен разряд с плоска намотка и малък размер на тръбата от порядъка на няколко сантиметра. Тук е добавена и електродинамична част към модела и е изследвано разпределението на отрицателните водородни йони в обема. Изследвана е и зависимостта на резултатите от вида на стените на тръбата – диелектрични или метални.

### *Приноси*

Приносите в дисертацията са формулирани в 6 точки и като цяло представят добре постигнатите резултати. Единствената ми забележка е, че в принос 1 и въобще в дисертацията (стр. 60 например) режим на неамбиполярност се представя като нещо ново, като в принос 1 е записано: „Режимът на неамбиполярност е нова – спрямо общоприетите базисни знания – констатация за режима на газови разряди с локализирано внасяне на високочестотната мощност извън областта с висока електронна концентрация.“ Според мен това е преувеличено и режим на неамбиполярност не е нещо ново – това е всеки един разряд при който приближението за амбиполярност не е валидно, а строго погледнато това приближение е валидно за доста ограничен набор от условия и геометрии. С това не искам да подценя работата. Тя безспорно има съществен принос в анализа на този режим и на ефекти, които в повечето случаи остават пренебрегнати или просто игнорирани в литературата. Характерно е, че в литературата неамбиполярност на потоците обикновено се коментира в контекста на замагнитена плазма, но не и за плазма без външно магнитно поле.

Изследванията са публикувани в 2 статии с импакт фактор , 2 доклада на конференции публикувани в списания с импакт фактор и 5 доклада на конференции, което напълно удовлетворява и дори надвишава изискванията на Физически факултет на СУ за докторска дисертация.

### *Оформление*

Дисертацията е подготвена много добре и има много малък брой правописни грешки или неточности. Фигурите също са подготвени много старателно и са достатъчно ясни.

### *Въпроси*

1. На страница 59 е написано „Приложеното гранично условие за нулева стойност на магнитното поле на стените е в съответствие с нулевата стойност на потенциала на електричното поле там.“ Бихте ли обяснили по-подробно.

2. В глава втора се описва режимът на неамбиполярност в разряда. Бихте ли могли да коментирате какви експерименти биха могли да се осъществят, за да се потвърдят получените от вас резултати за самоиндуциран ток и съответно самоиндуцирано магнитно поле в плазмата?

3. В глава 3.2.3 се изследва и влиянието на самоиндуцираното магнитно поле върху плазмата. Предвид че моделът е на аксиално симетрична цилиндрична геометрия, от уравнение 3.17 следва, че магнитното поле, което вие получавате, има само азимутална компонента. Доколко полученото магнитно поле съответства на магнитното поле в реалната геометрия на SPIDER и как екстраполирате получените от вас резултати и изводи към геометрията на SPIDER с няколко индуктивни разряда и обща камера на разширение?

### *Заключение*

В заключение, представената дисертация е много добре подготвена и съдържа оригинални изследвания публикувани в реномирани международни списания. Поради това, оценявам високо представеният дисертационен труд „Разряди във водород като източници на отрицателни водородни йони“. При убедително представяне на работата на защита, с увереност ще предложа на научното жури да присъди на Димитър Тодоров образователната и научна степен „доктор“.

28.02.2017 г.

Рецензент:

/ доц. д-р Ст. Колев/