

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за получаване
на научната и образователна степен *ДОКТОР*

Автор: **Станислав Христов Запрянов**
Тема: **Процеси в устройствата Плазмен фокус и техни
практически приложения**
Научен ръководител: **проф. дфзн Александър Благоев**
Рецензент: доц. д-р Евгения Бенова, СУ “Св. Климент Охридски”

1. Актуалност

Представеният дисертационен труд е посветен на експериментални изследвания на процесите, протичащи в единственото в България устройство за високотемпературна плазма *Плазмен фокус* във Физическия факултет на Софийския университет и възможните му приложения. За актуалността на тези изследвания е показателен фактът, че това устройство е включено в списъка на експерименталните реактори в Европа, които могат да се използват за изследвания по проблемите на управляем термоядрен синтез, свързани с проекта ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Част от проведените от докторанта изследвания са насочени именно към въздействието на високотемпературната плазма върху облицовъчните и конструкционните материали, предвидени за използване в ITER (волфрам, молибден, специални нови видове стомани, виж Fusion Electricity - EFDA roadmap, November 2012).

2. Кратка аналитична характеристика на дисертационния труд

Дисертационният труд е написан на 165 страници, вкл. заглавната и съдържанието и съдържа 101 фигури и 6 таблици. Цитирани са 70 литературни източника. Първите две глави са посветени на явлението пинч и историята на развитие на устройствата, които използват това явление, след което подробно е разгледан принципът на действие на Плазмения фокус и различните конструкции, по които са реализирани такива устройства, общите теоретични закономерности, по които те функционират и различията между видовете конструкции. Тези две глави обхващат 48 страници или почти 1/3 от целия обем

на работата. Като цяло тази обзорна част е систематизирана и аналитична и смятам, че е достатъчно изчерпателна. Тя показва, че докторантът добре познава състоянието на проблемите и използва постигнати до сега резултати от други автори в работата си.

Следващите глави са посветени на Плазмения фокус тип „Мадер” във Физическия факултет на Софийския университет и проведените на него експериментални изследвания от самия докторант. Представен е захранващият блок, конструкцията на разрядната камера, вакуумната система, екраниращите и защитните конструкции на устройството, в изграждането на част от които докторантът е участвал активно. Проведени са предварителни експерименти за установяване на интервалите от напрежения (15–20 kV) и налягания на работния газ (1,3–1,7 mBar), в които се наблюдава режим на устойчива работа на устройството. Измерени са основните характеристики на разряда (плазмения ток, производната му, емисията на меко и твърдо рентгеново лъчение), като за целта са използвани различни магнитни сонди, конструирани от докторанта, сцинтилационен детектор и фотодиоди. Разработена е методика за сондови измервания, позволяваща диагностика на разряда с висока точност. Потвърдена е практически постоянната скорост на движение на токоплазмения слой в аксиалната фаза на развитие на разряда, установена и от други автори. Установена е зависимостта на големината на тази скорост от налягането и напрежението на конкретното устройство Плазмен фокус във Физическия факултет. Резултатите от тези изследвания са публикувани в *Bulg. J. Phys.* **38** (2011) 184–190 и в *Journal of Physics: Conference Series* **516** (2014) 012029.

Въвеждането в действие на устройството Плазмен фокус във Физическия факултет на Софийския университет и установяване на параметри на стабилна работа, както и измерване на основните характеристики на разряда позволява използването му като експериментален реактор за разработване на различни приложения, за които се изискват и различни работни режими.

На първо място, във връзка с изграждане на реактора ITER, е необходимо провеждане на експерименти на съществуващите устройства за определяне на въздействието на високотемпературната плазма върху конструктивните и облицовъчните материали на ITER. Към тези материали има изисквания за безпрецедентно високи топлинни и радиационни натоварвания, които те трябва да издържат, без значително да се разпрашват и повреждат в

относително дълги периоди на въздействие. В никое от съществуващите устройства тип ТОКАМАК не се постигат такива високи мощности на потоци от високотемпературна плазма – неутрони, йони, топлина, високоенергетични фотони. Поради това изпитването на конструктивните и облицовъчните материали трябва да се провежда в експериментални реактори, които могат да осигурят подобни високи мощности на потоците. Устройството Плазмен фокус се оказва едно от малкото, подходящи за подобни изследвания. Докторантът е провел изследвания на въздействието на високотемпературната деутериева плазма, получавана в Плазмения фокус върху различно приготвени образци от волфрам, молибден и аустенитна хром-никелова неръждаема стомана. Това са именно най-перспективните облицовъчни и конструкционни материали, предвидени за използване при изграждането на ITER. В резултат на изследванията е установено, че волфрамот с ориентирани зърна показва удовлетворително поведение, без отделяне на прахови частици и отлюспвания под въздействие на високотемпературната плазма, независимо от настъпващите напуквания. Горещо валцуваната волфрамова ламарина не е подходящ облицовъчен материал, поради малката якост на опън, ниската пластичност и значителната деформация и напукване дори само след един изстрел на Плазмения фокус. При молибдена, който има по-ниска температура на топене от волфрама, се наблюдават по-малко и по-плитки напуквания, по-добри показатели за якост на опън и ударна жилавост, но за сметка на това по повърхността се образуват мехурчета с деутерий и пари на метала. Неръждаемата стомана показва добри показатели за якост на опън и ударна жилавост, но поради по-ниската ѝ температура на топене, тя не е подходяща за облицовъчен материал, а се предвижда да се ползва за изграждане на конструкцията. Резултатите са публикувани във Phys. Scr. **T161** (2014) 014041.

Във връзка с тези изследвания в дисертацията е отбелязано, че разстоянието между пинча и образеца е 6 cm за волфрама и молибдена и 4 cm за неръждаемата стомана. **Моля докторантът да уточни какви са мотивите за избор на тези разстояния и защо те са различни.**

Както е отбелязано в дисертацията, устройството Плазмен фокус е мощен източник на рентгеново лъчение. Наблюдават се два типа рентгеново лъчение: меко, нискоенергетично, с непрекъснат спектър, възникващо в самата гореща и плътна плазма в пинч-фазата и твърдо характеристично, дължащо се

на електронния обстрел на материала на анода. От литературата е известно, че въздействието на рентгеновото лъчение на Плазмения фокус върху биологични обекти е различно от това на рентгеновите тръби и радиоактивните γ -източници при една и съща погълната доза. Ефектът от въздействието на Плазмения фокус се проявява при много по-ниски дози и това вероятно е свързано с много по-високата мощност на дозата при изстрел. Изследванията по въздействие на рентгеновото лъчение, получавано в Плазмения фокус на Физическия факултет са проведени съвместно с колеги от Биологическия факултет на Университета. Изборът на биологични обекти и диагностиката на въздействието върху тях е направено от колегите-биолози. За получаване на повторими и надеждни резултати е от изключително значение да се подбере подходящ режим на работа и диагностика на разряда. Изборът на режим на работа на Плазмения фокус и диагностиката на плазмата са осъществени от докторанта и научния му ръководител. За тази цел са изработени различни анодни крайници и е изследвано получаваното при различните условия рентгеново лъчение. За диагностика на мекото рентгеново лъчение са използвани PIN-диоди, като е направена необходимата модификация на детектора, за твърдото рентгеново лъчение е използван сцинтилационен детектор, а типичните получавани дози са измервани посредством термолуминесцентни дозиметри. Използвани са и зъболекарски фотоплаки като интегриращ детектор, с чиято помощ Плазменият фокус може да се използва за образна диагностика на непрозрачни обекти като руди, многослойни платки, капсуловани електронни вериги и др. Тъй като средните дози извън камерата не показват по-големи стойности от фоновата, очевидно получаваните в пинча рентгенови лъчи практически не проникват през стените ѝ. Това е наложило направата на рентгенов прозорец на камерата (на около 15 cm от областта на пинча), за да могат третираните организми да останат извън нея при атмосферно налягане. Изследвано е въздействието върху дрожди, едноклетъчни водорасли и плесени. Дрождите са подложени на рентгеново облъчване, като погълнатата доза е около 65 mSv. Изследва се оцеляемостта им след облъчването и е установено, че подобна доза не повлиява жизнеността им. Едноклетъчните водорасли са облъчвани в два различни режима, осигуряващи погълнати дози около 11 mSv и 65 mSv. Заедно с това в първия случай дебелината на алуминиевото фолио е 20 μm , а във втория е 100

µm, което да осигури намаляване на рентгенови лъчи с по-голяма дължина на вълната. Установено е силно влияние върху фотосинтетичния апарат. При по-малката доза се наблюдава почти два пъти намаляване на изследваните жизнено показатели спрямо контролната група, докато при по-голямата доза се получава около 20 % повишение на ефективността на електронния транспорт и останалите показатели спрямо контролната група. Предполага се, че причината е неблагоприятното въздействие на по-дълговълновото рентгеново лъчение, както и съществуването на ефект на мобилизация на организмите при определени „оптимални“ условия на облъчване. Резултатите са публикувани в Eur. Phys. J. Appl. Phys. (2012) 58: 11201.

Смятам, че при така проведените експерименти трудно може да се направи категорично заключение. **Въпросът ми към докторанта е: Възможно ли е експериментите да бъдат направени при всяка от избраните дози с двете дебелини на алуминиевото фолио?** Така би могъл да се види ефектът на всяко от условията поотделно.

Плесени от определен вид са подложени на облъчване със серии от къси високоенергетични импулси от характеристично рентгеново лъчение с цел изследване на синтеза на ензима ендоглюканаза, който има значение за биотехнологиите. Погълнатите дози варират в широк интервал (от 5 до 32 000 mSv), като заедно с това има и големи мощности на дозата (десетки mSv за микросекунда). Установява се значително влияние на облъчването върху ензимната активност в интервала от дози от около 200 до 1200 mSv, изразяваща се в увеличение от 18 до 32 %. В същият интервал се наблюдава едновременно намаляване на биомасата в сравнение с контролната серия. За всички останали дози (по-малки или по-големи от посочения интервал) практически не се установява влияние на облъчването и спорите показват силна резистивност. Освен това „оптималният“ интервал от дози зависи от начина на приготвяне на културата. Резултатите от тази работа са публикувани в Biotechnology & Biotechnological Equipment, 28:5, 850-854.

Започнати са изследвания на неутронните потоци, получавани в Плазмения фокус. Създадена е задължителната за такива изследвания защита от неутронното лъчение, която представлява куб със дебелина на стените 5 cm, запълнена с борна киселина и парафин. Парафинът играе ролята на забавител на бързите неутрони, а бавните неутрони се поглъщат от бора. Представени са

експерименти на други автори по използване на устройства Плазмен фокус с близки характеристики на този във Физическия факултет като генератор на неутрони. Разгледани са и други приложения на Плазмения фокус като източник на неутрони и рентгенови лъчи.

Като цяло дисертацията е написана грамотно, но по оформлението ѝ има какво още да се желае. В текста на дисертацията липсва номерацията на заглавията и подзаглавията, посочена в Съдържанието, което затруднява четенето. Би било добре, ако използваните съкращения бяха извадени в отделен списък. Има и технически грешки като изписването на редица величини с прав шрифт вместо в курсив и на много единици в курсив вместо с прави букви, надписи на таблици, които се появяват под самата таблица, вместо над нея и др. Това обаче по никакъв начин не принижва съществените качества на научното съдържание и приносите в тази дисертация.

3. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд

Приносите на дисертанта отнасям към “обогатяване на съществуващи знания” и “получаване и доказване на нови факти”. Тези приноси са:

1. Разработени са магнитни сонди и методика за сондови измервания с висока точност за диагностика на аксиалната фаза на разряда. С тяхна помощ е установено равномерно движение на токовоплазмения слой по време на аксиалната фаза.
2. Изследвано е поведението на материали (волфрам и молибден) за вътрешни облицовки на термоядрен реактор (ITER), както и неръждаема стомана за изграждане на конструкцията на реактора, подложени на силни плазмени и радиационни натоварвания от Плазмения фокус, имитиращи тези в ITER. Описано е специфичното поведение на всеки от материалите в зависимост от начина на приготвянето му и режима на облъчване. Установени са границите на възможните натоварвания и ограниченията в приложимостта на изследваните материали, до които може да се работи без бързото им разрушаване.
3. Проведено е интердисциплинарно изследване на въздействието на импулсното рентгеново лъчение на Плазмения фокус върху живи организми - дрожди, едноклетъчни водорасли и плесени. Получените резултати за едноклетъчните водорасли и плесените показват две много

важни особености – 1) влиянието на импулсното рентгеново лъчение с малка доза, но голяма мощност на дозата (от Плазмения фокус) е много по-силно, отколкото това при непрекъснато облъчване при една и съща висока доза; 2) малките дози с висока мощност на дозите при определени „оптимални“ условия могат да имат стимулиращ ефект върху биологичните показатели (преживяемост, скорост на фотосинтеза, ефективност на ензими). За дрождите е потвърдена радиационната им резистентност. Направени са поредица от експерименти за въздействието на импулсното рентгеново лъчение на Плазмения фокус върху живи организми – дрожди, едноклетъчни водорасли и плесени.

4. Може ли да се оцени в каква степен дисертационният труд е лично дело на докторанта?

Всички работи на докторанта са в съавторство с научния му ръководител, като в работите за биологичното въздействие съавтори са и колегите-биолози. Докторантът активно и самостоятелно е работил в лабораторията, като лично е участвал в изработването и сглобяването на редица части от разрядната камера, защитите, магнитните сонди и др. Познава в детайли самото устройство Плазмен фокус и неговото функциониране.

5. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Основните резултати са отразени в 5 публикации – 4 в международни списания – Physica Scripta (IF = 1,296), Europ. Phys. J. Appl. Phys. (IF = 0.71) Biotechnology & Biotechnological Equipment (IF = 0,38), Journal of Physics: Conference Series (on-line open access списание на IoP, London, което е включено в базата данни на Scopus и Web of Science), както и една публикация в Bulg. J. Phys. Смятам, че дисертантът има достатъчно публикации, надхвърлящи изискванията за получаване на научната и образователна степен доктор.

Нямам информация за цитирания на тези работи от други автори.

6. Автореферат

Авторефератът отговаря на съдържанието на дисертацията и е направен съгласно изискванията.

7. Заключение

В дисертацията са получени съществено нови резултати. Дисертантът се е справил успешно с преодоляване на редица проблеми, възникващи при осъществяване на експериментални изследвания; разработил е магнитни сонди и методика за сондови измервания с висока точност за диагностика на аксиалната фаза на разряда. Провел е изследвания на облицовъчни и конструкционни материали, актуални за проекта ITER, както и интердисциплинарни изследвания за въздействието на рентгеновото излъчване на Плазмения фокус върху биологични обекти като резултатите са публикувани в специализирани международни списания. Това ме убеждава, че представеният дисертационен труд **Процеси в устройствата Плазмен фокус и техни практически приложения** отговаря на изискванията и ми дава основание да препоръчам на почитаемата комисия да оцени заслужено високо упорития и успешен труд на докторант **Станислав Христов Запрянов** като му присъди научната и образователна степен **доктор**.

София, 10.03.2015 г.

Рецензент:



/доц. д-р Евгения Бенова/