

РЕЦЕНЗИЯ

**на дисертационен труд за придобиване на образователната и научната степен
„Доктор“**

**по професионално направление: 4.1. Физически науки, научна специалност: Физика
на плазмата и газовия разряд**

Автор на дисертационния труд: Пламена Атанасова Маринова

**Тема на дисертационния труд: Моделиране и експериментално изследване на
неравновесна плазма**

**Рецензент: д-р Красимир Ангелов Темелков, професор в Институт по физика на
твърдото тяло „Акад. Георги Наджакв“, БАН**

В представената дисертацията са дадени резултатите от теоретичното и експериментално изследване на повърхнинновълнов разряд в аргон при атмосферно налягане, както и някои възможности за приложение.

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение.

През последните години се наблюдава значителен интерес към различните плазмени източници, което включва разработването на нови и изследването и оптимизирането на съществуващите плазмени източници, както и разширяването на областта на приложение. Създаването и изучаването на нискотемпературни плазмени източници при атмосферно налягане позволяват реализирането на редица интердисциплинарни приложения в биологията, медицината, екологията, материалознанието и селското стопанство, които включват директно третиране на живи биологични обекти, тъкани и течности. Това са изключително бързо развиващи области, както в научно, така и в научно-приложно отношение. Смятам, че предложенят дисертационен труд с целта и задачите, които си поставя, както и с проведените изследвания, получените резултати и научните му достижения, има принос в споменатите актуални области.

2. Познава ли дисертантът състоянието на проблема и оценява ли творчески литературния материал.

Авторът е цитирал в дисертацията 92 литературни източника, включващи статии в реномирани научни списания, както и дисертации и монографии на водещи специалисти в областта на дисертацията. В представения литературен обзор са разгледани повърхнинновълновия разряд, компютърното моделиране на този тип неравновесна плазма, типовете теоретични модели, придружени с конкретни примери, и редица приложения на неравновесната плазма в биомедицината, екологията, материалознанието и селското стопанство. Според мен докторантът е овладял на високо ниво проучения материал и демонстрира добро познание върху повърхнинновълновия разряд и неговото теоретично изучаване чрез числено моделиране.

3. Избраната методика на изследване може ли да даде отговор на поставените цел и задачи на дисертационния труд.

За постигане на целта и решаване на задачите, които си поставя докторантът, е използван комбиниран подход, включващ числено моделиране чрез самосъгласуван кинетично-електродинамичен модел на повърхнинновълнов разряд в аргон при атмосферно налягане и експериментално изследване на този плазмен източник чрез емисионна спектроскопия, използвайки съвременна апаратура.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Дисертационният труд се състои от Увод, Литературен обзор, три глави и Заключение и две приложения. Дисертацията е изложена на 145 страници и съдържа 101 фигури и 3 таблици.

В Увода на дисертацията е обоснована актуалността на изследванията на нискотемпературна плазма и са разгледани основните понятия във физиката на плазмата и газовия разряд, някои основни плазмени параметри, различните видове плазма. В края на увода докторантът представя целите и задачите на дисертационния труд.

В Литературния обзор е разгледан повърхнинновълновия разряд и редица интердисциплинарни приложения на неравновесната плазма в биомедицината, екологията, материалознанието, нанофизиката и селското стопанство, както и споменатите теоретични модели.

В трета глава, която приемам за приносна, е посветена на самосъгласуван модел на повърхнинновълнов разряд при атмосферно налягане и включва електродинамична част, кинетична част и самосъгласувана връзка между двете части. Електродинамичната част се основава на уравненията на Максвел, решени в цилиндрични координати за плазма, диелектрик и вакуум, изведеното локално дисперсионно уравнение и уравнението за баланс на енергията на вълната. В кинетичната част са разгледани кинетиките на тежките частици и на електроните в аргонова плазма. Кинетиката на електроните включва решаване на стационарното уравнение на Болцман, получаване на Функцията на Разпределение на Електроните по Енергии (ФРЕЕ) и решаване на уравненията за баланс на електроните и баланс на енергията на електроните, като от последното се получава средната мощност за създаване на електрон-йонна двойка в разряда, която е съгласуваща връзка между електродинамичната и кинетичната части на модела. Кинетиката на тежките частици е система от балансни уравнения за възбудените аргонови атоми, атомните и молекулните аргонови йони, от които се определят концентрациите на съответните частици при зададени електронна концентрация, средна енергия на електроните и ФРЕЕ. Трета глава завършва със съгласуване на кинетичната и електродинамичната части на модела и описание на алгоритъма на моделиране.

В четвърта глава са представени резултатите от самосъгласувания кинетично-електродинамичен модел. ФРЕЕ е определена за различни концентрации на електроните, радиуси на плазмата и честоти на вълната. Пресметнати са скоростните константи за директна и стъпална йонизация и директно и стъпално възбуждане. Честотата на удари електрони-неутрали с предаване на импулс е получена като функция на електронната концентрация за различни честоти на вълната и плазмени радиуси. Заселеностите на възбудените аргонови нива и концентрациите на аргоновите атомни и молекулни йони са изчислени като функция на електронната концентрация за различни честоти на вълната и плазмени радиуси. Изследвано е влиянието на зависимостта на честотата на удари електрони-неутрали с предаване на импулс от електронната концентрация върху резултатите от модела, а именно върху вълновите и плазмените характеристики. Изследван е също така ефектът на заобикалящата среда върху вълновите и плазмените параметри на разряда, като е установено съществено влияние на диелектричната проникваемост и дебелината на заобикалящата среда върху получените резултати.

В пета глава са описани експерименталните изследвания на взаимодействието на микровълнов плазмен факел с течности при различни газоразрядни условия, а именно газов поток, вълнова мощност и параметри на тръбата (размери и диелектрична проницаемост). Изследван е ефектът на дестилирана вода върху дължината на плазмения факел при изменение на вълновата мощност, газовия поток и плазмения радиус. Експериментално е определена ротационната температура при вариране дебелината на разрядната тръба, газовия поток и вълновата мощност. Експериментално е получен аксиалния профил на температурата на възбуждане. Показано е също така, че при взаимодействие с водна повърхност, освен дължината на плазмения факел, се променят и ротационната температура и температурата на възбуждане. Изследван е ефектът на плазмено третиране върху концентрация на H_2O_2 в дестилирана вода и върху рН и проводимостта на дестилирана и питейна вода. Приложено е плазмено третиране върху моделни води, замърсени с различни неорганични и органични замърсители. Демонстриран е стерилизационен ефект на плазменото третиране на микроорганизми в различни среди. Изследвана е ролята на различни активни компоненти на плазмата (аргонов поток, ултравиолетово лъчение, вълнов поток и плазма) за бактерицидния ефект.

В Заключението са обобщени основните изводи, след което са представени основните приноси на дисертационния труд.

5. В какво се заключават научните или научно-приложните приноси на дисертационния труд:

Дисертационният труд съдържа безспорни научни и научно-приложни приноси, които бих ги обобщил, както следва:

1) Допълнен е и е подобрен съществуващ самосъгласуван кинетично-електродинамичен модел на повърхнинновълнов разряд в аргон при атмосферно налягане, с който се определят вълновите и плазмените параметри на изследвания разряд при различни разрядни условия, отчитайки изменението на честота на удари електрони-неутрали с предаване на импулс при изменение на електронната концентрация по дължината на плазмения стълб.

2) За първи път експериментално е определено изменението на характеристиките на микровълнов плазмен факел при взаимодействието му с течности при различни разрядни условия.

3) Определено е влиянието на плазмено третиране върху характеристиките (концентрация на H_2O_2 , рН и проводимост) на дестилирана и питейна вода, както и на моделни води, замърсени с различни неорганични и органични замърсители.

4) Установен е силен бактерициден ефект на плазменото третиране върху микроорганизми в различни среди, като е показано, че действието на активните компоненти на плазмата е комбинирано.

6. До каква степен приносите в дисертационния труд са личен принос на дисертанта?

Статиите и докладите са в съавторство, като докторантът е водещ автор в пет от публикациите и в шестнадесет от докладите. Считаю, че личният принос на докторанта е достатъчен.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой; характер на изданията (международни, национални, ведомствени, служебни бюлетини), в които са отпечатани. Какво е отражението им в науката – използване и цитиране от други автори, в други лаборатории?

Резултатите по дисертационния труд са публикувани в 11 статии според представения от докторанта списък, както следва: три публикации в Journal of Physics D: Applied Physics с импакт фактор 2.829, т. е. общият импакт фактор е 8.487, една статия в Journal of Physics: Conference Series с SJR, една публикация в International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research, реферирана в Scopus, и шест статии, публикувани в пълен текст в сборници на научни форуми. Резултатите също така са представени с устни и постерни доклади на 19 международни научни форуми, от които 12 са в чужбина. Трябва да отбележа, че третата статия в Journal of Physics D: Applied Physics (a3) не е окончателно публикувана, а е в процес на редактиране. Публикацията в International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research (b2) не е отразена в дисертацията. Участието на докторанта във втората статия в Journal of Physics D: Applied Physics (a2) и отразяването на тази публикация в дисертацията се нуждаят от коментар.

Въпреки направените забележки, считам, че броят на публикуваните работи удовлетворява изискванията за получаване на образователната и научна степен „доктор“. Забелязаните 8 цитирания на научните трудове показват, че резултатите, представени от докторанта, имат високо признание в научните среди.

Искам да подчертая значимостта на наблюдаваните ефекти при третиране с повърхнинновълновия плазмен факел за практиката, което предполага и реализиране на икономически ефект в близко бъдеще.

8. Препоръки за бъдещо използване на научните и научно-приложните приноси.

Смятам, че представените в дисертацията резултати могат да бъдат използвани и развити от Пламена Маринова за теоретично и експериментално изследване на микровълнови разряди при различни разрядни условия и при изучаване влиянието на плазменото третиране върху различни обекти.

9. Авторефератът изготвен ли е съгласно изискванията, правилно ли отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд?

Авторефератът е изготвен съгласно изискванията и правилно отразява основните резултати, заключения и приноси на дисертационния труд.

10. Въпроси и критични бележки, по които рецензентът счита, че докторантът следва да вземе отношение.

Основната забележка е към оформлението на дисертационния труд. Считам за неуместно формулирането на целите и задачите преди Литературния обзор. Описанието на експерименталните методи за определяне на плазмените параметри на повърхнинновълновия разряд и изобщо на газовите разряди заедно със съответната литература трябва да е представено в Литературния обзор.

Като цяло дисертационният труд затруднява значително читателя с оформлението на някои фигури, отсъствие на систематичност при вариране на разрядните параметри, което е обяснимо за експериментите, но не и за моделирането.

Резултатите на Фиг. 4.1, Фиг. 4.2 и 4.3 са при честота 1 GHz, т. е. няма вариране на честотата, както е описано в текста. Фиг. 4.2 не дава информация как радиусът на

плазмата влияе на ФРЕЕ, тъй като е при максималната изследвана плътност на електроните. Резултатите на Фиг. 4.3 противоречат на тези от Фиг. 4.1 по отношение на зависимостта на ФРЕЕ от електронната концентрация, освен ако няма техническа грешка.

Защо е изследвана теоретично системата плазма–вода–вакуум и как тази система може да се реализира експериментално?

Освен спектралните линии на аргоновия атом, са регистрирани и спектрални линии на атомите на кислород и водород, които също могат да бъдат използвани за определянето на температурата на възбуждане чрез използвания от докторанта метод.

Сравнението, предложено от докторанта, на електронната температура, изчислена в модела (Фиг. 4.19), с експериментално определената температура на възбуждане (Фиг. 5.16) показва различни стойности на двете температури и различна дължина на плазмения факел, което е приемливо. Защо подобно сравнение не е направено за изчислената газова температура и експериментално определената ротационна температура? Нуждае се от коментар и факта, че изчислената от модела или фиксираната като входен параметър за модела газова температура не е представена в дисертацията.

Как е реализирано третирането на изследваните микроорганизми само с ултравиолетовото лъчение на плазмата?

11. Заключение с ясно становище да се даде или не научната степен.

Представеният дисертационен труд е посветен на теоретичното и експериментално изследване на повърхнинновълнов разряд в аргон при атмосферно налягане, като експериментално са изследвани и някои ефекти на плазменото третиране, определящи възможността за приложение. Поставените цели и задачи са ясно формулирани и изпълнени. На тази основа считам, че дисертацията има приноси към науката и практиката. Оценката ми на дисертационния труд „Моделиране и експериментално изследване на неравновесна плазма“ е положителна и подкрепям присъждането на образователната и научната степен „доктор“ на Пламена Атанасова Маринова.

30.03.2020 г.

Подпис:

гр. София

/ проф. д-р Красимир Ангелов Темелков /