

**Авторска справка за приносния характер на трудовете на
гл. ас. д-р Снежана Димитрова Йорданова, представен за участие в конкурс
за доцент по
направление 4.1. Физически науки /Оптика, спектроскопия,
физика на плазмата/
към Физически факултет на СУ "Св. Климент Охридски"**

В конкурса за доцент (обявен в Държавен вестник, брой 50 от 15.06.2018 г) участвам с общо 22 научни публикации. В авторската справка, публикациите са цитирани съгласно номерацията, в документ "б/списък на публикациите, представени за участие в конкурса".

Научната ми работа е в областта на физиката на плазмата и газовите разряди. Тя е насочена основно към спектрална диагностика на различни плазмени източници по отношение на:

- създаване и поддържане на разряда (вълноводен разряд; индуктивен разряд в тандемен плазмен източник; единичен елемент от матричен източник; източник на индуктивно свързана плазма във външно магнитно поле, коаксиален газоразряден източник);
- режима на работа на разряда (непрекъснат или импулсен; Е- или Н-мод на индуктивен разряд)
- работния газ (атомен – Ar; молекулен – H₂; газова смес – Ar:He; H₂:Ar);
- работното налягане (ниско–десетки mTorr; средно–няколко Torr; високо– атмосферно).

Методите на спектралната диагностика предоставят възможност за безконтактна диагностика по излъчването на плазмата, но от друга страна те са индиректни и често изискват сложно моделиране. За осъществяване на спектралните измервания са създадени отделни модули за регистриране на профили и интензивности на спектрални линии. Моделирането на кинетичния баланс на атомите по възбудени състояния е направено на софтуерна платформа за развойна дейност – Mathematica. Всички експерименти (с изключение на този на източник на индуктивно свързана плазма във външно магнитно поле), в които съм участвала са проведени на апаратура, правена или намираща се в България.

1. Диагностика на разряди в газова смес Ar:He

1.1. Микровълнов разряд на повърхнинна вълна

Разрядите, създавани от разпространяваща се повърхнинна вълна, са известни още като вълноводни разряди, тъй като в тези разряди електромагнитната вълна създава плазмата, а създадената плазма поддържа разпространението на вълната. Тези разряди осигуряват гъвкави условия на работа и се разглеждат като обещаващ източник за плазмените технологии. При тях, в процеса на самоорганизация на разряда при промяна на налягането и/или мощността на полето, създаващо и поддържащо разряда, възникват два вида неустойчивости: страти

(проявяващи се във видимо разделяне на плазмения стълб по дължината му на редуващи се тъмни и светли ивици) и нишки (контракция на плазмата в ярко светещи токови шнулове). Приложният аспект на тези източници предполага избягване на условия, водещи до неустойчивости в разряда, докато научният, в допълнение, предполага и изучаване на параметрите на плазмата в нейното устойчиво и неустойчиво състояние.

В работа [1] са представени експериментални резултати за еволюцията на микровълнов разряд на повърхнинна вълна с промяна на налягането. В проведеното изследване е регистриран профилът на аргонна линия с модул (интерферометър на Фабри-Перо (ИФП), поместен в спектрограф ИСП-51) с висока разделителна способност. В резултат от отделяне на приноса на Доплеровото и Щарковото разширение са получени съответно газовата температура и електронната концентрация.

В работа [2] е предложен първият по рода си метод на "пресечните точки" за едновременното определяне на два плазмени параметъра (електронна температура (T_e) и електронна концентрация (n_e)) в разряд в смес Ar-He. Методът се състои в сравнение на експериментално измерени отношения на интензивности на спектрални линии с резултати от числени симулации. Целта на симулациите е да се получат заселеностите на възбудените състояния (14 на Ar и 16 на He) посредством ударно-радиационен модел, включващ 30 балансни уравнения. Фиксирани входни параметри в моделирането са налягането, газовата температура (експериментално определена в [1]) и радиуса на плазмения стълб. В резултат от вариране на другите два входни параметъра – електронна концентрация и електронна температура – отношението на интензивностите на спектралните линии се представя като мрежа от двупараметрични криви в равнината (T_e, n_e). При подбора на две отношения на интензивности на спектрални линии, чувствителни по отношение на вариране на (T_e, n_e), се получават множество пресечни точки. Пресечната точка на кривите, стойностите на отношенията на които съответстват на експериментално измерените, определя едновременно плазмените параметри електронна концентрация и електронна температура.

2. Диагностика на разряди в Ar

2.1. Индуктивен разряд в тандемен плазмен източник

Дейността ми по тази тематика е основно в контекста на източници на отрицателни водородни йони като първоначалните изследвания бяха проведени в газ аргон. Резултатите от тези изследвания са валидни, както за индуктивните разряди по принцип, така и за тандемните източници, срещащи се и в индустриални приложения. Тандемният източник представлява източник на плазма, състоящ се от две камери – по-малка, в която се създава плазмата и по-голяма, в която плазмата навлиза вследствие на дифузия. Тази първоначална конструкция на източника за създаване на отрицателни водородни йони предполага оптимизиране на процеса на обемно създаване на йоните, а именно в първата камера се осигурява висока електронна температура за оптимално производство на вибрационно възбудени молекули, а във втората ниска електронна температура необходима за дисоциативното прилепване на електрон към вибрационно възбудена молекула. За по-ефективно намаляване на електронната температура

обикновено се добавя и магнитен филтър между двете камери. Тези източници работят при ниско налягане (от порядъка на mTorr).

В работа [3] е приложен спектралният метод на "пресечните точки", разработен в работа [2], за едновременното определяне на електронната концентрация и електронната температура в изследвания източник в Ar. В ударно-радиационния модел са включени допълнителни процеси, които преобразуват системата от 14 балансни уравнения от линейни в нелинейни. Газовата температура, входен параметър в моделирането, е експериментално получена от Доплеровото разширение на две аргонови линии. Режимът на работа на разряда (H-мод) е установен в работа [4], чрез съпоставка на експериментално регистриран спектър с теоретично симулиран с помощта на ударно-радиационен модел в условията на проведения експеримент.

2.2. Източник на индуктивно свързана плазма във външно магнитно поле

Плазмените източници, основаващи се на високочестотен (ВЧ) индуктивен разряд в присъствие на слабо магнитно поле, са сред най-обещаващите източници за целите на съвременните плазмени технологии. Този вид разряди се характеризира с пръстен с нулево магнитно поле, създавано от три външни намотки. Основно преимущество на тези източници е поддържането при ниски налягания на газа (под 0.5 mTorr) на висока електронна концентрация в областта на пръстена с нулево магнитно поле.

С оглед на газоразрядните условия – ниско налягане на газа и висока електронна концентрация – разработеният в работа [3] ударно-радиационен модел, който е в основата на приложената оптично-емисионна диагностика, е доразвит [5] с отчитане на налягането освен на неутралите и на електроните и йоните. Получените резултати за електронната температура и електронната концентрация от разработения метод (индиректен, включващ моделиране) са сравнени с тези, определени (от колеги от Рурския университет) по метода на Томсоновото разсейване (метод за директно определяне на плазмените параметри), при едни и същи газоразрядни условия. Много доброто съгласуване на експерименталните резултати, получени по двата метода, е в подкрепа на тяхната достоверност и доказателство за валидността на разработения ударно-радиационен модел, част от оптично-емисионната диагностика.

Основен резултат от експеримента е установения съществен принос на електронното налягане в общото налягане при изследваните газоразрядни условия (ниско налягане на газа и висока електронна концентрация).

2.3. Микровълнов разряд на повърхнинна вълна

В работи [6] и [7] е приложен методът на „пресечните точки“ за определяне на плазмените параметри електронна концентрация и електронна температура на разряди на повърхнинна вълна, работещи съответно при ниско и атмосферно налягане.

3. Диагностика на разряди в H_2

3.1. Индуктивен разряд в тандемен плазмен източник

В работи [8-10] са представени експериментални изследвания – чрез оптична емисионна спектроскопия – на активната част и на областта на плазмено разширение на тандемен плазмен източник с индуктивен разряд при ниско налягане във водород. Получени са резултати за молекулната температура, концентрацията на водородните атоми и степента на дисоциация на плазмата при промяна на газоразрядните условия. Молекулната температура е получена в резултат от анализа на ивица Fulcher- α в H_2 [8]. За определяне на концентрацията на водородните атоми, а от там и на степента на дисоциация, е развит методът на актинометрията [9] чрез добавка на газ аргон. За провеждане на тази диагностика са използвани четири актинометрични двойки, като една от тях е предложена за бързо определяне на степента на дисоциация на плазмата.

3.2. Единичен елемент от матричен източник

На базата на теоретични и експериментални изследвания в групата по "Физика на плазмата и газовия разряд" е разработена концепция за създаване на матричен източник за обемно създаване на отрицателни водородни йони с екстракция на йоните от всеки разряд по отделно. Тандемният плазмен източник, от предишните изследвания, е модифициран в единичен елемент от матричния източник чрез въвеждането на екстрахиращо устройство на прехода между двете камери. В допълнение, като конструктивно по-подходяща, цилиндричната намотка е заменена с плоска.

В работи [11, 12] е развит и приложен метод за диагностика на плазмата по Доплеровото разширение на линията H_{α} , въз основата на нова експериментална постановка. За обработване на експерименталните данни е разработен модел, отчитащ както фината структура на Балмеровата линия, така и детайли от кинетиката на плазмата. В резултат от напасването на модела към регистрираните при различни газоразрядни условия профили на линии са отделени две групи атоми: термични и бързи с енергии от порядъка на $2 \div 10$ eV. Определени са важни характеристики като температура на термичните атоми, енергия на бързите атоми, отношение на концентрациите на тези две групи от атоми, както и относителното заселване на компонентите от фината структура на водородното състояние с главно квантово число $n = 3$.

Важен акцент при провеждането на експериментите е разработването на изцяло нова интерферометрична постановка. Очакваните температури в подобен тип водородни разряди от порядъка на 1000 K и свързаното с тях Доплерово разширение, наложи избор на разстояние между огледалата на ИФП от 0.6 mm, осигуряващо свободна спектрална област от около 3.5 \AA . Използаната в [1, 3] апаратура (ИФП, поместен в спектрограф ИСП-51) се оказва неприложима поради малката разходимост на лъчите в монохроматора. По тази причина е окомплектована и тествана изцяло нова система [11], използвана впоследствие успешно в редица следващи изследвания.

Получените чрез споменатите методи температури (молекулна и атомна) са използвани като входни параметри в развития за диагностични цели ударно-радиационен модел на водородна плазма [13]. Моделът включва 14 нелинейни балансни уравнения. Тринадесет от тях отчитат 14 кинетични процеса, определящи концентрациите на атомите в основно състояние ($n = 1$), на атомите в първите девет възбудени състояния ($n = 2-10$), както и концентрациите на

трите вида положителни йони (H^+ , H_2^+ и H_3^+). Четиринадесетото уравнение е за запазване на броя на частиците. В резултат от съпоставката на експериментално измерените и моделираните отношения на интензивностите на Балмеровите линии H_α и H_β са определени също така и концентрацията на електроните, електронната температура и степента на дисоциация. За разлика от метода на актинометрията [9], чрез който също могат да бъдат определени концентрацията на водородните атоми и степента на дисоциация на плазмата, подходът от работа [13] позволява да се намери и електронната температура, докато при актинометрията тя е необходим входен параметър.

В работа [14] са представени първоначални резултати за прехода на разряда от капацитивен (Е-мод) към индуктивен (Н-мод) режим на работа. По-късно [15] са изучени част от характеристиките на плазмата (температура на термичните атоми, енергия на бързите атоми, относителна концентрация на термичните спрямо бързите и др.) в двата режима на работа чрез анализ на експериментално получения профил на линията H_α .

3.3. Експериментално изследване на формирането на хибридна структура на разряд в единичен елемент от матричен източник

За първи път в работа [16] експериментално е изследвана хибридната структура на компактен ВЧ източник на отрицателни водородни йони. Хибридната структура се формира в резултат от внасянето на постоянноотокова мощност в областта на плазмено разширение. Поради приложените високи ВЧ мощности, необходими за получаването на отрицателни водородни йони, единственият начин за експерименталното определяне на плазмените параметри е чрез неинвазивна техника. В работа [16] са представени резултати за температурата на атомите, получени освен от регистрирания профил на линията H_α и от този на линията H_β . С използване на експерименталните интензивности на Балмеровите линии (H_α и H_β), атомна и газова температура и доразвития ударно-радиационен модел от [13] (уравнението за запазване на броя на частиците е заменено със закона за запазване на парциалното налягане) са получени плазмените параметри електронна температура, електронна концентрация, концентрация на водородните йони H^+ , H_2^+ и H_3^+ , концентрация на водородните атоми в основно и възбудени състояния (до $n = 10$), както и степента на дисоциация. Резултатите в [16] са за Н-мод режим на работа на разряда, докато тези в [13] са за Е-мод.

3.4. Коаксиален газоразряден източник

Изследваният коаксиален постоянноотоков газоразряден източник е разработен за създаване и изследване на метални хидриди, изучаването на които е от значение за астрономията. Особено важно е установяването, както на механизма за получаване на тези молекули, така и на подходящите газоразрядни условия.

В работа [17] в допълнение към анализа на профила на линията H_α , от който са получени плазмените характеристики (температура на термичните водородни атоми, енергия на бързите атоми и относителна концентрация на термичните спрямо бързите атоми) е направена съпоставка между профила на линията, регистриран във ВЧ разряд, и този в постоянноотоков

разряд. Установено е, че за двата разряда централната част (дължаща се на излъчването от термичните атоми) на профила е със сравнима ширина. Разлика, обаче, се наблюдава във формата на профилите, от които се определя енергията на бързите атоми. Докато във ВЧ разряд [11, 12], той е почти правоъгълен, съответстващ на излъчване от предимно моноенергетични атоми, то в постояннотоков разряд [17], пиедесталът е с камбановидна форма, свидетелстваща за наличието на релаксация по скорости в групата от бързи атоми. В работата се представя и експериментално доказателство на хипотезата за формиране на металните хидриди върху катодната повърхност.

В работа [18] в постояннотоковия коаксиален разряд е наблюдаван фон под интерференчните максимуми, който се дължи на свръхбързи атоми (с енергии от порядъка на десетки eV). За коректното отделяне на приноса на тези атоми е използван втори експериментален модул, включващ монохроматор. В резултат от анализа на профила на линията H_{α} е определена температурата на термичните атоми, енергията на бързите атоми, енергията на свръхбързите атоми, както и относителните концентрации на едни атоми спрямо други.

В работа [19] е представено експериментално изследване на характеристиките на неутралните частици в непрекъснат и импулсен постояннотоков газоразряден източник за създаване на метални хидриди. По този начин възможностите на оптичната диагностика на водородни разряди [11,12,18] е разширена и по отношение на времето ѝ приложение. В допълнение, резултатите показват, че тази техника позволява проследяването на времевата зависимост на някои елементарни процеси в плазмата.

4. Апаратура

Работата по осъвременяване и допълване на наличната апаратура е неизменна част от решаването на всяка една от експерименталните задачи. Нейното описание съпътства всяка от публикациите. В работи [3, 8, 11, 16] е описано изграждането на нови експериментални модули за провеждане на оптична емисионна спектроскопия, които в последващите ги работи са надградени. В публикация [20] е описано разработването и тестването на CCD-модул, подходящ за надграждане на традиционен спектрограф ИСП-51. Наличната апаратура, както разработена, така и закупена се използва освен за научна работа и за обучение на студенти, дипломанти и докторанти.

5. Обучение

Преподавателската ми дейност е свързана с разработване на няколко авторски курса, измежду които "Компютърно моделиране" (бак. програма "Фотоника и лазерна физика"), "Радиометрия и фотометрия" (бак. и маг. програма по "Оптометрия"), "Колориметрия" (бак. и маг. програма по "Оптометрия") и др. С оглед подпомагане на обучението по „Геометрична оптика“ (лекции, семинарни и практически упражнения) на студенти в специалност „Оптометрия“ са разработени записки към курса* .

Разработени са успешно и серия от тематични семинари, последвани непосредствено от практикуми с ученици, обучаващи се в основен и среден етап на образование (VII клас и по-горни). Част от тази дейност предстои да бъде публикувана в международно списание [21].

* С. Йорданова и А. Пашов, **Геометрична оптика** (записки, задачи и практически упражнения към курса по Геометрична оптика)

6. Обществена дейност

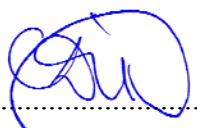
Участвам активно в Деня на отворените врати на ФзФ (лекции, демонстрации); организирам посещения в училища за изнасяне на тематични лекции и провеждане на практически занимания; организирам посещения на ученици във ФзФ за участие в тематични лекции и практически занимания; участвам в кампаниите за профилактика на детското зрение в частта, свързана с установяване на цветния зрителен статус. Към момента една публикация [22], касаеща последната дейност, е подадена и приета за печат в реномирано национално списание.

Таблица 1. Сравнителна таблица с препоръчителни изисквания на ФзФ.

Препоръчителни критерии на ФзФ	Кандидат
Научна степен "доктор"	Да
Преподавателски опит еквивалентен на най-малко 2 години пълна учебна натовареност в СУ	6 години пълна учебна натовареност във ФзФ на СУ
Научно ръководство на успешно защитили дипломанти и/или консултиране на успешно защитили докторанти	1 магистър
Най-малко 20 публикации	22
- 12 в реномирани списания	12,7
- в 6, от които водеща роля	8,2
Най-малко 30 независими цитирания	142
h-индекс поне 5	5
Ръководство и/или участие в международни и/или национални проекти	Ръководство на 2 проекта към ФНИ на СУ; Участие в 2 проект към ФНИ на СУ; Участие в 4 проекта към ФНИ към МОН; Участие в 2 проекта към Оперативна програма "Наука и образование за интелигентен растеж"; Участие в 4 проекта по програма EURATOM.

11.09.2018 г.

гр. София

.....

 /гл. ас. д-р Сн. Йорданова/