

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Марка Цвејића за израду докторске дисертације

Одлуком 5002/08-2 бр. од 5.11.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Марка Цвејића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **"Просторна и временски разложена спектроскопска дијагностика ласерски индуковане плазме на чврстој мети у ваздуху на атмосферском притиску"**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Марко Цвејић рођен је у Пожаревцу 09.08.1982. године. Пожаревачку гимназију завршио је 2001. године. У августу 2007. године, дипломирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру за Физичку електронику – одсек за Оптиелектронику и ласерску технику. Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, модул Наноелектроника и фотоника, уписао је 2008. године.

Током основних студија учествовао је на пројекту израде Теслиног трансформатора и изложби о Николи Тесли поводом 150 година рођења у Галерији САНУ (2006). Од децембра 2007. до августа 2008. одслужио је цивилни војни рок на Електротехничком факултету. Од новембра 2008. до јуна 2009. године био је запослен на Физичком факултету Универзитета у Београду на експерименту тињавог пражњења са микро шупљином, у лабораторији академика Николе Коњевића. Тренутно је запослен у Институту за физику (од јула 2009. године) у Лабораторији за спектроскопију плазме и физику ласера где је ангажован на експериментима тињавог пражњења на атмосферском притиску и експерименту спектроскопије ласерски индуковане плазме. Од јула 2009 до децембра 2010. године био је ангажован на пројекту 141032 „Нискотемпературне плазме и гасна пражњења: Радијативна својства и интеракција са површинама“, које је финансирало Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије. Тренутно је ангажован на пројектима: (1) из области основних истраживања ОН171014 под насловом „Спектроскопска дијагностика нискотемпературне плазме и гасних пражњења: облици спектралних линија и интеракција са површинама“; (2) из области технолошког развоја ТР 37019 „Електродинамика атмосфере у урбаним срединама Србије“. Оба пројекта финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Учешће на билатерлним пројектима и посете иностраним лабораторијама:

- мај 2010 и октобар 2011, посета лабораторији ЛПЗ (Laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques, LP3 UMR 6182 CNRS - Université Aix-Marseille II Campus de Luminy, Marseille), учешће на пројекту „Measurements of Stark broadening parameters in laser-produced plasmas” финансираном од стране LaserLab-Europe (<http://www.laserlab-europe.net/>), бр. пројеката CNRS-LP3 001575 и CNRS-LP3 001720

- билатерални пројекат сарадње са Француском „Павле Савић“ број 680-00-132/2012-09/03, под називом „Measurements of Stark broadening parameters in laser produced plasma”-
„Истраживање параметара Штарковог ширења спектралних линија неопходних за анализу материјала помоћу спектроскопије ласерски индукованог пробоја“

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У току докторских студија до подношења захтева за одобрење теме дисертације, Марко Цвејић је испунио све обавезе предвиђене Студијским планом и програмом и изборним подручијем студија (Научно-стручни рад, Студијски истраживачки рад I и II) и положио следеће испите:

1. Спектроскопија чврстих материјала (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)
2. Нелинеарна оптика (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)
3. Нумеричка анализа (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)
4. Простирање оптичких таласа у комплексним срединама (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)
5. Обрада слике (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)
6. Немачки језик (оцена 10 – 6 ЕСПБ бодова)
7. Примена плазме у савременим технологијама електроници и науци о материјалима (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)
8. Скенирајућа микроскопија у нанонауци и нанотехнологији (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)
9. Комплексни феномени у физици плазме (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)
10. Оптиелектронске мерне методе (оцена 10 – 9 ЕСПБ бодова)

Резултати научне активности Марка Цвејића приказани су у следећим радовима, објављеним у водећим међународним часописима и на конференцијама

M21 Радови у врхунским међународним часописима

1. M. Cirisan, M. Cvejić, M.R. Gavrilović, S. Jovićeвић, N. Konjeвић, J. Hermann; Stark broadening measurments of Al II lines ina a laser-induced plasma (2014) Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 133, pp. 652-662
DOI: 10.1016/j.jqsrt.2013.10.002
2. M. Cvejić, M.R. Gavrilović, S. Jovićeвић, N. Konjeвић,; Stark broadening of Mg I and Mg II spectral lines and Debye shielding effect in laser induced plasma (2013) Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy, 85, pp. 20-33.
DOI: 10.1016/j.sab.2013.03.011
3. Dj. Spasojeвић, M. Cvejić, N.M. Šišović, N. Konjeвић,; Spectroscopic diagnostics of microhollow gas discharge in hydrogen (2012) Journal of Applied Physics, 111 (9), art. no. 096103, .
DOI: 10.1063/1.4718570

4. M. Cvejić, Dj. Spasojević, N.M. Šišović, N. Konjević, ; A contribution to spectroscopic diagnostics and cathode sheath modeling of micro-hollow gas discharge in argon (2011) Journal of Applied Physics, 110 (3), art. no. 033305, DOI: 10.1063/1.3615962
5. M. Tausanovic, S. Markovic, S. Marjanovic, J. Cvetic, M. Cvejic,; Dynamics of a lightning channel corona sheath using a generalized traveling-current-source return stroke model-theory and calculations (2010) IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 52 (3), art. no. 5460969, pp. 646-656.
DOI: 10.1109/TEMC.2010.2044886
6. Dj. Spasojević, M. Cvejić, N.M. Šišović, N. Konjević,; Simultaneous plasma and electric field diagnostics of microdischarge from hydrogen Balmer line shape (2010) Applied Physics Letters, 96 (24), art. no. 241501, .
DOI: 10.1063/1.3449129

M33 Радови саопштени на скупу међународног значаја штампана у целини

1. M. Ćirišan, M. Cvejić, J. Hermann, S. Jovićević, N. Konjević,; Study of the optical thickness of laser-induced plasma for improved calibration-free LIBS analysis, Publ. University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics, Contributed Paper, SPIG 2012, p147
2. M. Cvejić, M. Gavrilović, S. Jovićević,; Procedure for processing spectral images and self-absorption correction Publ. University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics, Contributed Paper, SPIG 2012, p151
3. M. Gavrilović, M. Cvejić, S. Jovićević, N. Konjević,; Characterization of laser-induced plasma by optical emission spectroscopy, Publ. University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics, Contributed Paper, SPIG 2012, p171
4. M. Cvejić, S. Jovićević, N. Konjević,; Spectroscopic characterization of atmospheric pressure glow discharge, Publ. University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of Physics, Contributed Paper, SPIG 2012, p289
5. Marko Cvejić, Sonja Jovićević, Emilien Mothe, Laurent Mercadier, Nikola Konjević, Jörg Hermann,; Electron density diagnostics of laser induced plasma in helium Publ. Astron. Obs. Belgrade No. 89 (2010), 189-192, Contributed Paper SPIG 2010-08-25

M34 Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у изводу

1. M. Cvejić, M. Ćirišan, M.R. Gavrilović, S. Jovićević, N. Konjević, J. Hermann,; Stark broadening parameters of Al II line 704.9 nm measured in laser-induced plasma, EMSLIBS 2013 Euro Mediterranean Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Bari, Italy, Book of Abstracts, p129
2. M. R. Gavrilović, M. Cvejić, S. Jovićević, N. Konjević; Stark broadening of Pb II lines in laser induced plasma, EMSLIBS 2013 Euro Mediterranean Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Bari, Italy, Book of Abstracts, p.137
3. M. Vinić, M. Cvejić, M. Ivković,; Spatial and temporal characterization of combined laser induced plasma and spark technique, EMSLIBS 2013 Euro Mediterranean Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Bari, Italy, Book of Abstracts, p.151
4. M. Cvejić, M. Gavrilović, S. Jovićević, M. Ivković, N. Konjević,; Li I 460.3 nm line with forbidden component for LIBS electron number density diagnostics, EMSLIBS 2011 Euro Mediterranean Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Izmir, Turkey, Book of Abstracts, p.128
5. E. Mothe, M. Cvejić, S. Jovićević, L. Mercadier, S. Beldjilali, N. Konjević, J. Hermann ; Time- and space-resolved laser plasma diagnostics for Stark broadening measurements in laser plasma, LIBS 2010 Laser Induced Breakdown Spectroscopy Memphis, Tennessee, USA, Book of Abstracts, p084
6. Emilien Mothe, M. Cvejić, S. Jovićević, , N. Konjević, L. Mercadier, S. Beldjilali, J. Hermann ; Mesures d'élargissement Stark dans un plasma produit par ablation laser PamoJSM-2010 29 juin-2 juillet 2010, Campus Université Paris-Sud 11 – Orsay, Book of Abstracts

M61 Предавања по позиву на скупу националног значаја штампана у целини

1. M. Cvejić, M.R. Gavrilović, S. Jovićević, N. Konjević,; Diagnostics of laser induced plasma by optical emission spectroscopy, CEAMP2013, 3rd National Conference of Electronic, Atomic, Molecular and Photonic Physics, Contributed papers & abstracts of invited lectures and progress reports, Publ. University of Belgrade, Faculty of Physics, p. 11

M63 Радови саопштени на скупу националног значаја штампани у целини

1. М. Цвејић, М. Р. Гавриловић, С. Јовићевић, Н. Коњевић: Дијагностика ласерски произведене плазме помоћу оптичке емисионе спектроскопије, Друштво физичара Србије, Цара Душана 13, Београд, XII Конгрес физичара Србије, мај 2013, Зборник радова стр. 363-366

Награде

- Награда за најбољи постер „Li I 460.3 nm line with forbidden component for LIBS electron number density diagnostics“ презентованог на EMSLIBS 2011 Euro Mediterranean Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Izmir, Turkey

У оквиру теме којом се бави докторска дисертација до сада су урађена два рада која су објављена у водећим међународним часописима (M21 радови ставке 1 и 2). Рад у вези спектралне линије литијума са забрањеном компонентом је у припреми.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат је у досадашњем раду показао велико интересовање за област оптичке емисионе спектроскопије плазме. Упознао се са изворима гасних пражњења (тињаво пражњење са микро шупљином, тињаво пражњење на атмосферском притиску) и другим изворима плазме. У оквиру докторске дисертације радио је на извору плазме индуковане ласерским зрачењем. Сви ови извори плазме служе за проучавање облика спектралних линија. На основу облика спектралних линија урађена је дијагностика плазме, у смислу одређивања основних параметара плазме, електронске концентрације и електронске температуре.

Резултати досадашњег истраживачког рада Марка Цвејића и остварена искуства, указују да ће предложена докторска дисертација бити успешно реализована.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене докторске дисертације је просторна и временска расподела основних параметара ласерски индуковане плазме на чврстој мети у ваздуху на атмосферском притиску, пре свега електронске температуре и електронске концентрације, мерењем облика спектралних линија методом оптичке емисионе спектроскопије. Циљ истраживања је повећање тачности одређивања основних параметара ласерски индуковане плазме утврђивањем експерименталног поступка мерења облика спектралних линија елемената присутних у плазми, као и процеса обраде добијених експерименталних података. Поред тога, циљ је и проширење базе података за параметре Штарковог ширења новим експерименталним подацима за спектралне линије од интереса за одређивање електронске концентрације као и процена могућности коришћења спектралних линија са забрањеном компонентом за независно одређивање електронске концентрације.

Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) - спектроскопија ласерски индуковане плазме је релативно нова техника за анализу материјала, чији је развој условљен технолошким напретком на пољу ласера, спектрометара и детектора. Техника омогућава мулти-елементарну анализу у реалном времену свих врста материјала без захтева за припремом узорка, што је чини погодном техником за многе примене, као што је контрола квалитета, заштита човекове околине, рециклирање материјала и анализа у недоступним срединама. Иако је постигнут значајан напредак у поузданости и прецизности LIBS мерења

различитих типова материјала, квантитативна мерења и даље су веома тешка за већину материјала.

Разумевање физичких процеса и њихова повезаност у ласерски индукованој плазми је од суштинског значаја за аналитичке примене. Највећи део информација из LIBS-а добија се мерењем зрачења плазме. Емисиони спектар је дискретан и састоји се од атомских, јонских и молекулских линија елемената присутних у плазми. Анализом облика ових спектралних линија може се извршити анализа и дијагностика плазме. Тешкоће у примени спектроскопске дијагностике у LIBS плазми потичу од нехомогености плазме, временске промене облика плазме, која је праћена променом параметара плазме и емисијом материјала насталог услед процеса аблације у плазменом облаку. Ту се такође може уврстити и утицај матричних ефеката на зрачење плазме и транспорт зрачења што може довести до самоапсорције линија током еволуције и гашења плазме. Због присуства самоапсорције потребно је извршити мерење и корекцију интензитета спектралних линија. То је кључно за дијагностику плазме као и за аналитичке примене.

Концентрација електрона (Ne) и њена просторна расподела представља један од најзначајнијих параметара потребних за тестирања модела плазме, који имају широку примену у предвиђању параметара плазме при различитим применама. Најчешће коришћена техника за мерење Ne заснива се на проучавању облика спектралних линија коришћењем оптичке емисионе спектроскопије. Експериментални подаци за облике линија даље се користе заједно са теоријским прорачунима за одређивање Ne. Најосетљивији облици линија припадају атомским линијама водоника које имају изражен линеарни Штарков ефекат. Нажалост, водоник није увек присутан у плазми и понекад се и избегава, па су стога потребне спектралне линије не-водоничних елемената за дијагностику плазме. Ове линије имају мање Штаркове ширине (квадратни Штарков ефекат) па спектроскопска опрема мора имати већу резолуцију, али са друге стране, те линије су доступне у свим регионима емисионог спектра. Не-водоничне линије мање интерагују са околним линијама што је велика предност у поређењу са широким водоничним линијама. Нажалост, теорија Штарковог ширења не-водоничних линија није темељно тестирана и нису доступни поуздани теоријски подаци, нарочито за теже елементе који су често потребни за LIBS примене. Стога, главни циљ истраживања ове докторске дисертације јесте високо прецизно мерење Штаркових параметара не-водоничних линија под типичним LIBS условима. Ти подаци су кључни и за тестирање теорија и бројне примене на пољу LIBS-а. За одређивање параметара Штарковог ширења потребна је независна дијагностика концентрације електрона у плазми. Дијагностика ће бити вршена коришћењем експерименталних Штаркових параметара стандардних линија који морају бити претходно добро тестирани у већем броју експеримената и теоријских прорачуна. Као предлог за независну методу одређивања електронске концентрације биће разматрана атомска линија литијума са забрањеном компонентом у условима када у емисионом спектру плазме не постоје водоничне линије.

Лабораторија за спектроскопију плазме и физику ласера Института за физику је место где се истраживање различитих извора плазме и њихова дијагностика а посебно коришћење и унапређење теорије Штарковог ширења врши дуже од 40 година и позната је по овој специјалности. У прилог тој чињеници говоре бројне публикације (више од 100), 7 критичких прегледних радова експеримената на ову тему. И даље постоји значајна активност на том пољу, видети одабране референце испод. Како је Штарков ефекат доминантни механизам ширења спектралних линија у јако јонизованим ласерски произведеним плазмама, Штаркови параметри морају бити познати за прецизну анализу LIBS спектра. У том смислу, један од циљева ове докторске дисертације је мерење параметара Штарковог ширења различитих спектралних линија које су од посебног интереса за LIBS анализу различитих материјала.

Осврт на релевантне библиографске изворе и остварене резултате на које се надовезују предвиђена истраживања у предложеној дисертацији:

- [1] D.A. Cremers, L.J. Radziemsky, Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, John Wiley & Sons Ltd, (2006)
- [2] D.W. Hahn, N. Omenetto, Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), Part I: Review of Basic Diagnostics and Plasma-Particle Interactions: Still-Challenging Issues Within the Analytical Plasma Community, Appl. Spectroscopy, 64, 335A-366A, (2010)
- [3] D.W. Hahn, N. Omenetto, Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), Part I: Review of Instrumental and Methodological Approaches to Material Analysis and Applications to Different Fields, Appl. Spectroscopy, 66, 347-419, (2012)
- [4] Francisco J. Fortes, Javier Moros, Patricia Lucena, Luisa M. Cabalín, and J. Javier Laserna, Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Anal. Chem., 85, pp 640–669, (2013)
- [5] J. A. Aguilera, C. Aragon, Characterization of a laser-induced plasma by spatially resolved spectroscopy of neutral atom and ion emissions: Comparison of local and spatially integrated measurements, Spectrochim. Acta Part B 59 1861– 1876, (2004)
- [6] N. Konjević, M. Ivković and S. Jovičević, Spectroscopic diagnostics of laser-induced plasmas, Spectrochim. Acta Part B 65, 593–602, (2010)
- [7] N. Konjević, Plasma broadening and shifting of non-hydrogenic spectral lines: present status and applications, Phys. Rep. 316, 339–401, (1999)
- [8] N. Konjević, A. Lesage, J.R. Fuhr, W.L. Wiese, Experimental Stark widths and shifts for spectral lines of neutral and ionized atoms (a critical review of selected data for period 1989 through 2000), J. Phys. Chem. Ref. Data 31, 819–927, (2002)
- [9] M. Ivković, M.A. Gonzalez, S. Jovičević, M.A. Gigoso, N. Konjević, A simple line shape technique for electron number density diagnostics of helium and helium-seeded plasmas, Spectrochim. Acta Part B 65, 234–240, (2010)

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе у предложеној теми докторске дисертације ће бити:

- (1) Утврђивање критеријума за поуздану дијагностику ласерски индуковане плазме.
- (2) Експериментална провера и корекције самоапсорпције спектралних линија
- (3) Могућност одређивања електронске концентрације у ласерски индукованој плазми коришћењем спектралне линије Li I 460.3 nm са забрањеном компонентом
- (4) Тестирање других спектралних линија атома или јона, погодних за дијагностику плазме
- (5) Применљивост ласерски индуковане плазме као извора за проучавање параметара Штарковог ширења.

4. Научне методе истраживања

Методологија истраживања у оквиру предложене докторске дисертације ће обухватити следеће фазе:

- (1) Примена методе оптичке емисионе спектроскопије за мерења временски и просторно разложеног емисионог зрачења плазме у циљу бољег схватања процеса у ласерски индукованој плазми.
- (2) Коришћење брзе фотографије за анализу брзине простирања ласерске плазме и њене хомогености.

- (3) Развијање компјутерског програма за обраду спектра емисионог зрачења плазме који укључује корекцију експериментално добијених спектра на присуство самоапсорције и Абелову инверзију ради добијања стварне расподеле спектралне емисивности.
- (4) Одређивање екситационе температуре методом Болцманове праве.
- (6) Одређивање електронске концентрације мерењем Штаркових полуширина атомских и јонских спектралних линија елемената присутних у плазми.
- (5) Упоредивање експерименталних профила спектралних линија са генерисаним теоријским профилима
- (6) Одређивање електронске концентрације мерењем Штаркових полуширина неутралних атомских и јонских спектралних линија елемената присутних у плазми.
- спектралних линија.
- (7) Упоредивање мерених Штаркових полуширина спектралних линија са теоријским резултатима и резултатима из литературе.

5. Очекивани научни допринос

Основни допринос ове докторске дисертације је проучавање могућности методе емисионе спектроскопије за дијагностику ласерски индуковане плазме а тиме и разумевање физичких процеса у плазми и њихову међусобну повезаност. У оквиру предложене докторске дисертације очекују се следећи резултати:

- (1) Утврђивање експерименталног поступака потребног за мерења облика спектралних линија у ласерски индукованој плазми, као и процеса обраде добијених експерименталних података
- (2) Проширење базе података са новим експерименталним подацима за параметре Штарковог ширења за линије Mg I, Mg II, Al II, Li I, потребних за одређивање електронске концентрације у плазми.
- (3) Значај корекције Debye-евог екранирања за полуширине спектралних линија.
- (4) Процена добрих и лоших особина ласерски индуковане плазме као извора плазме за проучавање параметара Штарковог ширења
- (5) Процена услова под којима се линија Li I 460.3 nm може користити за одређивање електронске концентрације у ласерски индукованој плазми.

6. План истраживања и структура рада

Процес истраживања обухвата следеће фазе:

- (1) Преглед литературе о спектроскопији ласерски индуковане плазме;
- (2) Упознавање и обука у раду са спектрометром, ласером, брзом камером;
- (3) Поставка експеримента;
- (4) Снимање временске и просторне еволуције ласерски индуковане плазме техником брзе фотографије;
- (5) Снимање спектралних емисионих линија елемената присутних у ласерски индукованој плазми емисионом спектроскопијом;
- (6) Анализа резултата;
- (7) Упоредивање експерименталних резултата са теоријом и резултатима из литературе;
- (8) Приказ резултата у научним часописима;
- (9) Приказ резултата у докторској дисертацији.

7. Закључак и предлог

Предложена тема докторске дисертације је из домена истраживања која се одвијају у оквиру научноистраживачких пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, на којима је Марко Цвејић ангажован: „Спектроскопска дијагностика нискотемпературне плазме и гасних пражњења: Облици спектралних линија и интеракција са површинама.“ (бр. ОИ 171014), „Електродинамика атмосфере у урбаним срединама Србије“ (бр. ТР 37019) и „Истраживање параметара Штарковог ширења спектралних линија неопходних за анализу материјала помоћу спектроскопије ласерски индукованог пробоја“ (бр. 680-00-132/2012-09/03). Имајући у виду наведени рад и значај резултата које је остварио Марко Цвејић, предлажемо Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да одобри израду докторске дисертације под називом

"ПРОСТОРНА И ВРЕМЕНСКИ РАЗЛОЖЕНА СПЕКТРОСКОПСКА ДИЈАГНОСТИКА ЛАСЕРСКИ ИНДУКОВАНЕ ПЛАЗМЕ НА ЧВРСТОЈ МЕТИ У ВАЗДУХУ НА АТМОСФЕРСКОМ ПРИТИСКУ".

коју је Електротехничком факултету пријавио Марко Цвејић, дипломирани инжењер електротехнике. Тема припада изборном подручју Наноелектронике и фотоники. За ментора рада је предложен др Јован Цветић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Јован Цветић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Соња Јовићевић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за физику

др Милан Тадић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет