

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидаткиње Марије Пуач за израду докторске дисертације

Одлуком 5048/09-1 бр. од 22.06.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Марије Пуач за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „**Моделовање пробоја у гасовима Монте Карло техником**“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидаткиње, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидаткињи

1.1. Биографски подаци

Марија Пуач (рођена Савић) је рођена 10.06.1985. године у Параћину, где је завршила основну школу и гимназију. Електротехнички факултет – модул Физичка електроника, смер Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника уписала је 2004. године на Универзитету у Београду и завршила са просечном оценом 8,89. Дипломирала је 28.10.2008. године са темом „Анализа интегрисаних таласовода специфичне геометрије са шупљим језгром“ са оценом 10 под менторством проф. др Петра Матавуља.

Мастер академске студије уписала је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на смеру Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника и завршила их 2009. године са просечном оценом 10. Мастер рад на тему „Монте Карло симулација пробоја у гасовима“ одбранила је 22.12.2009. године под менторством проф. др Зорана Љ. Петровића. Од 2009. године је студент докторских студија на Електротехничком факултету Универзитета у Београду – смер Наноелектроника и фотоника. Своју докторску тезу ради под менторством проф. др Зорана Љ. Петровића у оквиру Лабораторије за гасну електронику Института за физику у Београду.

Марија Пуач је у радном односу од 30.10.2008. године у Институту за физику у Београду у Лабораторији за гасну електронику под руководством и менторством проф. др Зорана Љ. Петровића.

Коаутор је десет научних радова објављених у међународним часописима, као и већег броја радова на научним конференцијама, укључујући уводна предавања.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња Марија Пуач је уписала докторске студије на Електротехничком факултету у Београду школске 2009/2010. године на модулу Наноелектроника и фотоника.

У тренутку пријаве теме кандидаткиња има статус активног студента са уписаном школском 2017/18. годином. У току студирања две године је користила статус мировања због болести.

По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92 став 4 Статута Универзитета у Београду.

У току докторских студија, до подношења захтева за одобрење теме докторске дисертације, Марија Пуач је испунила све обавезе предвиђене Студијским планом и програмом. Положила је следеће испите:

1. Примена плазме у савременим технологијама, електроници и науци о материјалима (оцена 10, ЕСПБ 9)
2. Спектроскопија чврстих материјала (оцена 10, ЕСПБ 9)
3. Транспортни процеси у наноелектроници и фотоници (оцена 10, ЕСПБ 9)
4. Скенирајућа микроскопија у нанонауци и нанотехнологији (оцена 10, ЕСПБ 9)
5. Простирање оптичких таласа у комплексним срединама (оцена 10, ЕСПБ 9)
6. Нелинеарна оптика (оцена 10, ЕСПБ 9)
7. Модерне фотонске компоненте и системи (оцена 10, ЕСПБ 9)
8. Енглески језик (оцена 8, ЕСПБ 6)
9. Научни рад 3 (оцена 10, ЕСПБ 9)
10. Научни рад 4 (оцена 10, ЕСПБ 9)

и одрадила следеће обавезе:

1. Научно стручни рад (ЕСПБ 3)
2. Студијски истраживачки рад I (ЕСПБ 15)
3. Студијски истраживачки рад II (ЕСПБ 15)

остваривши укупно 120 ЕСПБ бодова и просечну оцену 9,80. Кандидаткиња је такође успешно положила испит о подобности теме и кандидата (докторски испит) пред комисијом у саставу:

1. др Петар Матавуљ, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
2. др Драгана Марић, научни саветник, Институт за физику у Београду Универзитета у Београду
3. др Антоније Ђорђевић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду

Јавни усмени испит о подобности теме и кандидата одржан је 02.07.2018. године, при чему је добила оцену „задовољила“.

Објавила је 39 публикација, од чега 10 у часописима са СЦИ листе. У текућем пројектном циклусу као истраживач учествује на два пројекта Министарства за науку: „Фундаментални процеси и примене транспорта честица у неравнотежним плазмама, траповима и наноструктурама“ (број: ОИ171037) и „Примене нискотемпературних плазми у биомедицини, заштити човекове околине и нанотехнологијама“ (број: ИИИ41011). Учествовала је на бројним међународним конференцијама. Резултати који су део тезе презентовани су на неколико уводних предавања. Списак објављених радова дат је у наставку:

- Радови објављени у међународним часописима категорије M21:

1. Zoran Lj Petrović, Dragana Marić, **Marija Savić**, Srđan Marjanović, Saša Dujko, Gordana Malović: *Using swarm models as an exact representation of ionized gases* - Plasma Process Polymers, Vol. 14, 2016, pp. 1600124
ISSN 1612-8850
категирија M21, ИФ 2.846, DOI: 10.1002/ppap.201600124

- Радови објављени у међународним часописима категорије M22:

1. Dragana Marić, **Marija Savić**, Jelena Sivoš, Nikola Škoro, Marija Radmilović-Radjenović, Gordana Malović and Zoran Lj. Petrović: *Gas breakdown and secondary electron yields*: - Eur. Phys. J. D, Vol. 68, 2014, pp. 155
ISSN 1434-6060
категирија M22, ИФ 1.240 DOI: 10.1140/epjd/e2014-50090-x

2. **M. Savić**, M. Radmilović-Radjenović, M. Šuvakov, S. Marjanović, D. Marić and Z. Lj. Petrović: *On Explanation of the Double-Valued Paschen-Like Curve for RF Breakdown in argon* - IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 39, 2011, pp. 2556-2557
ISSN 0093-3813
категирија M22, ИФ 1.174 DOI: 10.1109/TPS.2011.2159244

3. Srđan Marjanović, Milovan Šuvakov, Ana Banković, **Marija Savić**, Gordana Malović, Stephen J. Buckman, and Zoran Lj. Petrović: *Numerical Modeling of Thermalization of Positrons in Gas-Filled Surko Traps* - IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 39, 2011, pp. 2614-2615
ISSN 0093-3813
категирија M22, ИФ 1.174 DOI: 10.1109/TPS.2011.2159129

- Радови објављени у међународним часописима категорије M23:

1. Marija Radmilović-Radjenović, Branislav Radjenović, **Marija Savić**: *Microwave field strength computing for the resonator designs and filters* - Acta Physica Polonica A, Vol 129, 2016, pp. 289-292
ISSN 0587-4246
категирија M23, ИФ 0.469, DOI: 10.12693/AphysPolA.129.289

2. Š. Matejčik, M. Klas, B. Radjenović, M. Durian, **M. Savić** and M. Radmilović-Radjenović: *The Role of the Field Emission Effect in the Breakdown Mechanism of Direct-Current Helium Discharges in Micrometer Gaps* - Contrib. Plasma Phys., Vol. 53, 2013, pp. 573-579
ISSN 0863-1042
категирија M23, ИФ 0.983 DOI: 10.1002/ctpp.201300032

3. M. Radmilović-Radjenović, B. Radjenović and **M. Savić**: *The surface charging effects in three-dimensional simulation of the profiles of plasma-etched nanostructures* - International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, Vol. 24, 2011, pp. 535-544
ISSN 0894-3370
категирија M23, ИФ 0.600 DOI: 10.1002/jnm.798

4. A. Bojarov, M. Radmilović-Radjenović and **M. Savić**: *Influence of the secondary electron emission on the characteristics of radio frequency plasmas* - Hemijska Industrija, Vol. 65, 2011, pp. 1-8

ISSN 0367-598X

категорија M23, ИФ 0.205 DOI: 10.2298/HEMIND100810063B

5. **Marija B. Savić**, Marija Radmilović-Radenović: *Modelovanje proboja u gasovima na niskim pritiscima Monte Karlo tehnikom (Gas discharges modeling by Monte Carlo technique)* - Hemijska Industrija, Vol. 64, 2010, pp. 171-175

ISSN 0367-598X

категорија M23, ИФ 0.137 DOI: 10.2298/HEMIND091221022S

6. Marija Radmilović-Radjenović, Branislav Radjenović, **Marija Savić**: *Breakdown phenomena in water vapor microdischarges* - Acta Physica Polonica A, Vol. 117, 2010, pp. 752-755

ISSN 0587-4246

категорија M23, ИФ 0.467 DOI: 10.12693/APhysPolA.117.752

- Рад у тематском зборнику међународног значаја M14:

1. Zoran Lj Petrović, Jelena Sivoš, **Marija Savić**, Nikola Škoro, Marija Radmilović-Radjenović, Saša Gocić, Dragana Marić: *New phenomenology of gas breakdown in DC and RF fields* - Journal of Physics: Conference Series, Vol. 514, 2014, pp. 012043

ISSN 1742-6588 DOI: 10.1088/1742-6596/514/1/012043

- Саопштење са међународног скупа штампано у целини M33:

1. **Marija Savić**, Dragana Marić, Zoran Lj Petrović: *Monte Carlo simulation of radio-frequency breakdown in air and oxygen* -28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, University of Belgrade, Faculty of Physics, Serbia
Belgrade, Serbia, 29. Aug - 2. Sep, 2016, pp. 312-315.

ISSN 978-86-84539-14-6

2. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Milovan Šuvakov, Zoran Lj Petrović: *Modeling of the radio frequency breakdown Paschen like curves by Monte Carlo technique* - 27th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG 2014), Institute of Physics, Belgrade, 26.-29. Aug. 2014. Serbia, pp. 411-414

ISSN 978-86-7762-600-6

3. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Milovan Šuvakov, Dragana Marić, Zoran Lj Petrović: *Monte Carlo simulation of radio-frequency breakdown in argon* - 20th International Conference on Gas Discharges and their Applications, Orleans, France, 6.-11. Jul 2014, pp. 28511, sciencesconf.org:gd2014:28511

4. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Milovan Šuvakov, Zoran Lj Petrović: *The influence of the surface effects on argon radio-frequency discharge characteristics* - 3rd National Conference on Electronic, Atomic, Molecular and Photonic Physics, University of Belgrade, Faculty of Physics, Serbia, 25. - 25. Aug, 2013, pp. 25-28

ISBN 978-86-84539-10-8

5. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Branislav Radjenović: *Theoretical Predictions of the Microwave Breakdown Field* - 26th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, University of Novi Sad, Zrenjanin, Serbia, 27. - 31. Aug, 2012, pp. 325-328
6. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Dragana Marić, Milovan Šuvakov, Zoran Lj Petrović: *Monte Carlo simulations of RF breakdown* - 26th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, University of Novi Sad, Zrenjanin, Serbia, 27. - 31. Aug, 2012, pp. 329-332
7. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Milovan Šuvakov, Zoran Lj Petrović: *Modeling of breakdown behavior in radio-frequency argon discharges* - International Conference on Advanced Plasma, Slovenian Society for Vacuum Technique, Strunjan, Slovenia, 9. - 13. Sep, 2011, pp. 144-147
8. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Milovan Šuvakov, Zoran Lj Petrović: *The breakdown voltage curves and spatial profiles of ionization rates in argon rf discharges* - 30th International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Queen's University Belfast Belfast, Northern Ireland, UK, 28. Aug - 2. Sep, 2011, pp. C9-149-1 – C9-149-3
9. Marija Radmilović-Radjenović, **Marija Savić**, Milovan Šuvakov, Branislav Radjenović, Stefan Matejček, M. Klas: *The breakdown voltage curves in argon dc and rf discharges from large to small gap sizes* - 18th Symposium on Application of Plasma Processes Workshop on Plasmas as a Planetary Atmosphere Mimics, Comenius University in Bratislava; Society for Plasma Research and Applications, Vratna, Mala Fatra, Slovakia, 15. - 20. Jan, 2011, invited lecture, pp. 70-74.
10. Marija Radmilović-Radjenović, Zoran Lj Petrović, **Marija Savić**, Aleksandar Bojarov: *Interakcija plazme sa površinama* - Naučni skup Physics 2010 BL, Prirodno-matematički fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina, 22. - 24. Sep, 2010. ISSN: 978-99955-21-21-9
11. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović: *Uticaj sekundarne emisije elektrona na vrednost probojnog napona kod pražnjenja u argonu* - Naučni skup Physics 2010 BL, Prirodno-matematički fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina, 22. - 24. Sep, 2010, str. 101-110. ISSN: 978-99955-21-21-9
12. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Zoran Lj Petrović: *The effect of metastable atoms on the secondary electron production in argon* - 25th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Astronomical Observatory of Belgrade, Donji Milanovac, Serbia, 30. Aug - 3. Sep, 2010, No 89, pp. 269-272. ISSN 0373-3742

- Саопштење са међународног скупа штампано у изводу М34:

1. Zoran Petrović, Antonije Djordjević, Jana Petrović, Jelena Sivoš, **Marija Puač**, Gordana Malović, Dragana Marić: *RF Breakdown as a Swarm Experiment* - 82nd IUVESTA Workshop, Osaka University, Japan, Bankoku Shinryokan, Okinawa, Japan, 4. - 7. Dec, 2017, pp. O2
2. Zoran Lj Petrović, Srdjan Marjanović, **Marija Savić**, Saša Dujko, Ilija Simonović, Dragana Marić: *Transport theory as a foundation of nonequilibrium plasma models* - 81st IUVESTA Workshop on Response of Biological Materials to Plasma Treated Medium, 12-16. March 2017, Slovenia, pp. 22-23
3. **Marija Savić**, Dragana Marić, Marija Radmilović-Radjenović, Zoran Lj Petrović: *Monte Carlo simulation of radio-frequency breakdown in oxygen and air* - 69th Annual Gaseous Electronics Conference, American Physical Society, Bochum, Germany, 10. - 14. Oct, 2016, poster ID: BAPS.2016.GEC.MW6.74.
<http://meetings.aps.org/link/BAPS.2016.GEC.MW6.74>
4. Saša Dujko, Gordana Malović, Dragana Marić, Srdjan Marjanović, Zoran Lj Petrović, Marija Radmilović-Radjenović, **Marija Savić**, Ilija Adžić, Antonije Djordjević: *Avalanches of electrons and positrons in Atmospheres of Planets and Satellites of the Solar System: Basic Phenomenology and Application to Gas Breakdown in DC and RF Fields* - National Symposium on Plasma Science and Technology & International Conference on Plasma Science and Technology (PLASMA 2014), Mahatma Gandhi University, 8-11. Dec.2014. India, pp. 18.
5. Zoran Lj Petrović, Saša Dujko, Jasmina Mirić, Danko Bošnjaković, Ana Banković, Srdjan Marjanović, Dragana Marić, Jelena Sivoš, Nikola Škoro, **Marija Savić**, Olivera Šašić, Gordana Malović: *Cross Sections for Scattering of Electrons and Positrons in Modeling of Ionized Gases and Non-Equilibrium Plasmas* - International Symposium on Non-equilibrium Plasma and Complex-System Sciences (IS-NPCS), Osaka University, Icho Kaikan, Osaka, Japan, 26. - 28. Feb, 2014.
6. Zoran Lj Petrović, Jelena Sivoš, **Marija Savić**, Nikola Škoro, Marija Radmilović-Radjenović, Dragana Marić: *New Phenomenology of Gas Breakdown In DC And RF Fields* - 18th International Summer School on Vacuum, Electron and Ion Technologies (VEIT 2013) Sozopol, Bulgaria, 7. - 11. Oct, 2013, PP. 37-38.
7. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Zoran Lj Petrović: *The rf breakdown voltage curves-similarity law* - 66th Annual Gaseous Electronics Conference, American Physical Society, USA, 30. Sep - 4. Oct, 2013, pp. CT1.23
ISSN 0003-0503
8. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Milovan Šuvakov, Zoran Lj Petrović: *First steps in obtaining Monte Carlo model of RF breakdown* - ESCAMPIG XXI, Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear from Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Universidade do Porto, Universidade do Minho and Universidade da Madeira Portugal, 10. - 14. Jul, 2012, pp. T6-296-1 – T6-296-2
9. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Zoran Lj Petrović: *Monte Carlo simulations of breakdown in radio-frequency discharges* - 64th Annual Gaseous Electronics Conference, Bulletin of the American Physical Society, Salt Lake City, Utah, 14. - 18. Nov, 2011, pp. 36-36

10. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Milovan Šuvakov, Zoran Lj Petrović: *Monte Carlo simulation of RF discharges* - 2nd National Conference on Electronic, Atomic, Molecular and Photonic Physics, Institute of Physics, Belgrade, Serbia, 21. - 25. Jun, 2011, pp. 134-134

11. Branislav Radjenović, Marija Radmilović-Radjenović, **Marija Savić**: *Two-dimensional simulations of the microhollow cathode discharges in argon at atmospheric pressures* - VI International Workshop on Microplasmas, Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas CNRS& University of Paris-Sud, Orsay, France, 3. - 6. Apr, 2011, pp. 94-94

12. D. Marić, **M. Savić**, S. Marjanović, N. Škoro, M. Šuvakov, M. Radmilović-Radjenović, G. Malović and Zoran Lj. Petrović: *Plasma breakdown: Experiments and simulation* - 38th EPS Conference on Plasma Physics, European Physical Society & Institute for Magnetic Fusion Research, 27. 06. - 01. 07. 2011. Strasbourg, France, pp. I4.316

13. Zoran Lj Petrović, Jelena Sivoš, **Marija Savić**, Nikola Škoro, Marija Radmilović-Radjenović, Dragana Marić: *New phenomenology in description of Townsend discharges and gas breakdown: from standard size to micro discharges* - The 4th International Conference on Plasma Nanotechnology and Science (IC-PLANTS), Plasma Nanotechnology Research Center, Nagoya University, Gifu, Japan, 10. - 12. Mar, 2011, pp. I-07_1 - I-07_2

14. Marija Radmilović-Radjenović, Zoran Lj Petrović, **Marija Savić**, Milovan Šuvakov: *Modelling of a breakdown phenomena in radio-frequency discharges in micro gaps*, 6th International Workshop on Microplasmas - 6th International Workshop on Microplasmas, CNRS and Université Parys-Sud, Orsay, France, 3. - 6. Apr. 2011, pp. 33

15. Z. Lj. Petrović, M. Radmilović-Radjenović, **M. Savić**, D. Marić, M. Šuvakov, N. Škoro and S. Dujko: *Basic phenomenology and experimental techniques for gas breakdown from DC to RF and from few cm to micrometers* - High Frequency Gas Breakdown Workshop Laboratoire de Physique des Plasmas, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau, France, 4. Oct. 2010 France, pp. 4

16. **Marija Savić**, Marija Radmilović-Radjenović, Zoran Lj Petrović: *Modeling of low pressure breakdown by Monte Carlo technique* - 20th European Conference on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases, European Physical Society, Novi Sad, Serbia, 13. - 17. Jul, 2010, pp P2.58

ISSN 2-914771-63-0

1.3. Оцена подобности кандидаткиње за рад на предложеној теми

На основу научно-истраживачке активности и постигнутих резултата може се закључити да је Марија Пуач подобра кандидаткиња за израду докторске дисертације на тему „Моделовање пробоја у гасовима Монте Карло техником“. Број објављених радова и успешно положен докторски испит, као и претходно наведене активности у области теме докторске дисертације, показују спремност за самосталан рад и посвећеност датој теми, што представља несумњив аргумент да кандидаткиња заслужује одобрење за рад на поменутој теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Последњих деценија, услед великог индустријског развоја, расте занимање за област физике гасних пражњења. Радиофреквенцијско (РФ) гасно пражњење је широко примењено у различитим технолошким процесима као што су плазма нагризање полупроводничких материјала, депоновање танких слојева и побуђивање гасних ласера. Да бисмо оптимизовали плазма технолошке процесе, неопходно је знати услове при којима долази до пробоја у гасу. Самим тим, експериментална мерења и нумеричке симулације напонских пробојних криви (Пашенових криви) у униформном РФ пољу су од великог значаја.

Нумерички модели пражњења при константном напону добро су испитани. Међутим, до сада није развијен задовољавајући нумерички модел који ће детаљно описати тренутак паљења плазме у РФ пољима, што представља и мотив за израду оваквог модела. При изради модела неопходно је изабрати услове за које постоје довољно добри и тестирани улазни подаци, пре свега пресеци за изабрани гас. Као тест гас најчешће се користи аргон управо због поузданих и проверених улазних података. Други разлог је и то да је аргон често основни гас у већини смеша за примене јер својим особинама (хемијска инертност, могућност побуђивања метастабилна, као и непостојање губитака енергије испод 11 eV) олакшава формирање оптималних услова за јонизацију и одржавање плазме без додатне комплексности услед компликоване плазма хемије.

За моделовање пробоја прво треба дефинисати шта је довољан услов да се пробој догоди. Генерално гледано, за самоодрживо пражњење довољан услов јесте да се број новонасталих електрона изједначи са бројем несталих електрона. У механизме настајања можемо сврстати јонизацију (дешава се у гасу) и ефекте на површинама електрода (рефлексију и емисију секундарних електрона са површине електрода – оба механизма зависе од материјала од ког је израђена електрода), док електрони нестају захватом у гасу и на електродама (уколико се не рефлектују). Сви ови процеси могу бити изазвани електронима, али и тешким честицама као што су јони, метастабилни, брзи неутрали итд. Оно што представља изазов при моделовању пробоја у РФ пољима, јесте управо израда довољно доброг модела који верно описује тешке честице. При фреквенцијама реда MHz промена смера поља је довољно брза да тешке честице не могу да је прате, па је њихов основни начин кретања дифузија.

Израда модела пробоја у РФ пољима има неколико циљева. Прво, могу се дефинисати сви процеси који утичу на пробој. Затим, даљим испитивањима може се одредити и колики утицај има сваки од идентификованих процеса. Након израђеног модела лако се може приступити и испитивању физичких основа самог пробоја, пре свега кроз параметарске анализе и дијагностику у Монте Карло симулацији појединих физичких особина. Ово, пак, даје увид у евентуалне могућности примене одређеног пражњења, пре свега у формирању РФ плазми за плазма процесирање диелектричних површина и структура. Даља надоградња

овога рада биће у правцу изучавања пробоја у различитим атмосферама, на пример, у атмосфери Марса или неког сателита, што има могуће примене у астрофизици.

Истраживање у оквиру ове теме базираће се на следећој литератури:

1. Makabe T and Petrović Z Lj: *Plasma Electronics: Applications in Microelectronic Device Fabrication*, 2006, Taylor&Francis Group
2. Phelps A V and Petrovic Z Lj: *Cold-cathode discharges and gas phase production of secondary electrons* - Plasma Sources Sci. Technol. 8, 1999, R21
3. von Engel A: *Ionized gases*, 1965, Oxford at the Clarendon Press
4. Gille W and von Engel: *Starting potentials of high-frequency gas discharges at low pressure*, Proc. Roy. Soc. A, 192, 1948, pp446
5. Gille W and von Engel: *Starting potentials of electrodeless discharges*, Proc. Roy. Soc. A, 197, 1949, pp107
6. MacDonald A D: *Microwave Breakdown in Gases*, 1966, Wiley, New York
7. Lisovskiy V A and Yegorenkov V D: *RF breakdown of low-pressure gas and a novel method for determination of electron-drift velocities in gases* - J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 31, 1998, pp.3349

3. Полазне хипотезе

У изради тезе, полази се од следеће две претпоставке:

- Пробој се може добро описати познавањем процеса у гасу (описаним бинарним сударима наелектрисаних честица и позадинског гаса, који су дефинисани сударним пресеком за дати гас) и процеса који се дешавају на површини електрода (обухватају емисију секундарних електрона са површине и рефлексију).
- Сам пробој настаје у условима минималног просторног наелектрисања. При даљем развоју пражњења и преласку у плазму долази до формирања значајног просторног наелектрисања, али моделовање овога представља услов за опис плазме, а не и самог пражњења.

Самоодржив пробој се постиже када се број новонасталих електрона изједначи са бројем несталих електрона. Самим тим је за опис пробоја неопходно познавање процеса који воде настанку и нестанку електрона. Процеси се могу поделити на две групе према месту где се дешавају. Први су процеси који се дешавају у гасу (на пример, јонизација, електронски захват) и они су описани бинарним сударним процесима између наелектрисане честице и позадинског гаса. Други тип процеса су они који се дешавају на електродама и који директно зависе од материјала од ког су електроде израђене. Познавање свих горе поменутих процеса доводи до могућности одређивања самог тренутка пробоја, тј. паљења плазме.

4. Научне методе истраживања

Техника која је одабрана за проучавање пробоја јесте Монте Карло нумеричка техника реализована у C++ програмском језику. Предност Монте Карло технике јесте лакоћа имплементације и могућност праћења сваке појединачне честице у систему, а самим тим и могућности узорковања различитих величина. Цена која се плаћа избором ове технике јесте дужи време извршавања програма, поготово у случају тешких честица због њиховог великог броја при одређеним пробојним условима. У тим случајевима број тешких честица је неколико редова величина већи од броја електрона, али, са друге стране, њихов допринос броју новонасталих електрона није сразмерно већи. То захтева имплементацију различитих временских корака за електроне и за тешке честице. Истовремено није могуће ни значајно повећавање величине временског корака (какво се користи за круте – *stiff* системе једначина) за тешке честице јер би том приликом корак превазишао полупериод електричног поља, чиме би се изгубило временско раздвајање процеса. Такође, имплементирана је рекалибрација броја честица (и за електроне, и за тешке честице), где ће модел имати унапред задат максималан број честица који ће се пратити ради одржавања добре статистике или спречавања претераног пораста броја честица. Применом рекалибрације ће се увек одржавати употребљив број честица које постоје у систему који се моделује.

Још један нумерички проблем на који смо наишли јесте дуго време „тражења“ услова (притисака и напона) при којима долази до пробоја, да бисмо одредили напонску пробојну криву. Како бисмо превазишли овај проблем, програм намењен одређивању напонске пробојне криве ће бити паралелизован и прилагођен пуштању на мултипроцесорском систему.

5. Очекивани научни допринос

У овом тренутку у литератури не постоји комплетан нумерички модел урађен Монте Карло техником за пробој у гасу у РФ пољу који обухвата електроне, тешке честице и површине електрода. Често се примењују комплексни кодови за моделовање плазме уз прорачун ефекта просторног наелектрисања, познати под именом *Particle in the Cell Monte Carlo* (PIC-MC) модели. Међутим, сви осим једног од ових модела немају Монте Карло сегмент урађен довољно детаљно и тестиран за све физичке процесе и кинетичке феномене да би се могао дати комплетан опис процеса роја честица при пробоју. Експериментални резултати мерења напонских криви пробоја у различитим гасовима који се могу сматрати поузданима тек су од скоро доступни, тако да је могуће и поређење наших симулација са експериментом. Показаћемо да се наш модел добро слаже са експерименталним резултатима за одређене гасове. Коришћењем постојећих сетова пресека, сударе електрона и тешких честица са позадинским гасом ћемо егзактно решити и на тај начин ћемо објаснити процесе који су круцијални приликом пробоја. Такође, моћи ћемо да дефинишемо значај појединачних процеса и одредићемо њихов утицај у различитим условима, односно у различитим деловима напонске пробојне криве. Постојећи феноменолошки описи РФ пробоја користе поједностављене услове пробоја који не одговарају физичкој реалности (како показују наше симулације), а који се, опет, примењују за извлачење неких квантитативних података за физичке процесе, на пример, брзине дрифта електрона. Очекујемо и да ће разумевање физичких основа пробоја довести до ревизије овакве праксе.

Искористићемо досадашња знања из области физике површина и применићемо их у нашем моделу. На тај начин, комплетираћемо модел и моћи ћемо да испитамо утицај различитих материјала од којих су израђене електроде на принос електрона, а самим тим и на

пробој. Такође, за РФ пробој, у литератури не постоји модел који обухвата утицај површине електрода на пробој у РФ пољу.

Са друге стране, комплетан модел РФ пробоја нуди различите примене. Једна од њих јесу прорачуни пробоја у различитим атмосферама планета, на пример, на Марсу. Прорачуни напонских пробојних криви у атмосфери Марса доприноси познавању услова у вишим слојевима атмосфере при којима примена РФ напона може довести до појаве плазме, односно до прекида комуникације. Истраживање се може проширити и на познате сателите, као што је Церес и слични, као и на новооткривене екстрасоларне планете.

На крају, како у лабораторији тече развој уређаја за мерење РФ пробоја, поређење са резултатима симулација ће допринети и финализацији развоја експерименталне технике, али и самог физичког описа РФ пробоја.

Очекивани научни допринос се може приказати следећим ставкама:

- Развиће се рачунарски код који описује пробој у РФ пољима;
- Објасниће се физички механизми који омогућавају настанак плазме у РФ пољима;
- Развиће се рачунарски код који укључује тешке честице и ефекте на површинама електрода;
- Омогућиће се једноставна примена развијеног рачунарског кода на друге системе (атмосфере).

6. План истраживања и структура рада

У првој фази приступиће се прегледу релевантне литературе из области гасних пражњења. Пре свега, полазна тачка ће нам бити пробој при константном напону, који ће служити за разумевање основних процеса у гасу. Затим ће се приступити склапању и писању рачунарског кода усвајајући решења која су развијена и тестирана у групи за Гасну електронику Института за физику. Рачунарски код ће бити у стању да Монте Карло техником прати сваку поједину честицу (било да је реч о електронима, или тешким честицама) које ће се кретати између две напајане електроде.

Затим, у другој фази, приступиће се моделовању самог чина пробоја, тако да се добије самоодрживо пражњење. За почетак, прорачуни ће бити урађени у аргону као позадинском гасу и на фреквенцији од 13,56 MHz. Одредиће се утицај различитих растојања између две електроде на напонску пробојну криву (Пашенову криву). Посебна пажња ће бити посвећена левој грани напонске пробојне криве за коју је у експериментима показано да може имати више од једног пробојног напона за једну вредност притиска, што, сем у изузетним условима, није случај у пражњењима при константном напону. Сва тестирања у овој фази обавиће се само са електронима као честицама које се прате. Додатно, урадиће се анализа пробоја при различитим фреквенцијама, поред поменуте фреквенције од 13,56 MHz.

Следећи корак јесте испитивање ефекта тешких честица на пробој: да ли га има и колики је утицај тих честица у различитим деловима напонске пробојне криве. Потом следи и укључивање површина електрода кроз њихов допринос пробоју преко емисије секундарних електрона и рефлексије.

Након развијања комплетног модела, приступиће се примени модела на друге гасове, као што је кисеоник, а затим ће се посматрати и пробоји у различитим смешама гасова, као што су, на пример, атмосфере Земље и Марса.

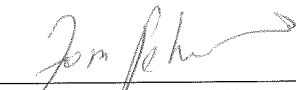
Сви добијени резултати ће бити приказани у тези уз анализу и дискусију за сваки појединачни случај.

7. Закључак и предлог

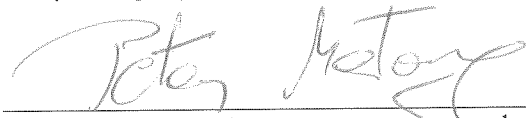
Објављени резултати кандидаткиње из области предложене теме докторске дисертације потврђују значај и актуелност предмета истраживања. Истраживање у области теме одвија се у оквиру пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја: "Фундаментални процеси и примене транспорта честица у неравнотежним плазмама, траповима и наноструктурама" (број: ОН171037) и "Примене нискотемпературних плазми у биомедицини, заштити човекове околине и нанотехнологијама" (број: ИИИ41011). Предложена тема је научно заснована и има могућности практичне примене, те комисија констатује да Марија Пуач, дипл. мастер електротехнике, испуњава све потребне услове да може приступити изради докторске дисертације под називом „**Моделовање пробоја у гасовима Монте Карло техником**“. Тема припада ужој научној области Физичка електроника, подобласт Гасна пражњења. За менторе рада предложени су академик др Зоран Љ. Петровић, научни саветник Института за физику у Београду Универзитета у Београду и др Јован Цветић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

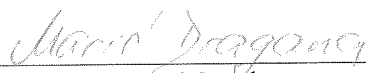
У Београду, 05.07.2018. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


Академик др Зоран Љ. Петровић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за физику у Београду


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


др Петар Матавуљ, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Драгана Марић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за физику у Београду


Академик др Антоније Ђорђевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет