

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА

У БЕОГРАДУ

Пошто смо на IX седници Наставно-научног већа Физичког факултета одржаној 28. јуна 2023. године одређени за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације „МАГНЕТОПЛАЗМЕНИ КОМПРЕСОР КАО ИЗВОР ПЛАЗМЕНОГ МЛАЗА ЗА ПОТРЕБЕ МОДИФИКАЦИЈЕ ПОВРШИНА МАТЕРИЈАЛА" из научне области Физика јонизованог гаса и плазме, након прегледа предате докторске дисертације подносимо следећи

РЕФЕРЕАТ

1. Основни подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Нора Тркља Боца, рођена је 10. августа 1989. године у Суботици, Република Србија, где је завршила основну школу, као ђак генерације, музичку основну школу – одсек клавир и природно-математички смер гимназије „Светозар Марковић". Основне академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика, уписала је 2008. године и завршила 2012. године са просечном оценом 9.37. Мастер академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика, завршила је септембра 2013. године са просечном оценом 10,00, одбранивши мастер рад на тему „Спектроскопска мерења просторно-временске расподеле електронске концентрације у МПК“, под менторством проф. др Ивана Дојчиновића.

Од школске 2013/2014. године ангажована је на Физичком факултету за извођење експерименталних и рачунских вежби из више предмета.

Као активан члан Друштва физичара Србије од 2013. године узима учешће у великом броју активности Друштва: састављање и преглед задатака на такмичењу ученика основних и средњих школа, организација семинара популаризације физике, обуке наставника, организација стручних усавршавања.

1.2. Научна активност

Научно-истраживачки рад кандидата Норе Тркља Боца се одвија у Лабораторији за физику јонизованог гаса и плазме Физичког факултета Универзитета у Београду под менторством проф. др Милорада Кураице. У току експерименталног рада остварена је

одлична научна сарадња са Машинским факултетом Универзитета у Београду и Институту за нуклеарне науке „Винча“.

Од октобра 2013. године уписана је на докторске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер: Физика јонизованог гаса и плазме (ментор: проф. др Милорад Кураица). Звање истраживач приправник стакла је у мају 2014. године, као запослена на пројекту основних истраживања "Дијагностика и оптимизација извора плазме значајних за примену" (ев. бр. 171034), чији је носилац био Универзитет у Београду, руководилац проф. др Милорад Кураица, редовни професор Физичког факултета. Тренутно је запослена на Физичком факултету као истраживач сарадник (ев. бр. Пројекта 451-03-68/2022-14/200162).

У току студија учествовала је у две школе: IPP Summer University for Plasma Physics and Fusion Research, Max Planck Institute for Plasma Physics, Greiswald (Немачка 2013) и Asian Socendai Winter School, National Institute for Fusion Science, Toki, Gifu (Јапан 2013).

Тема докторске дисертације под називом: *Магнетоплазмени компресор као извор плазменог млаза за потребе модификације површина материјала*, одбрањена је 15. 06. 2022. године на Физичком факултету Универзитета у Београду.

Кандидат је до сада публиковао 9 научних радова, од тога 6 у водећим међународним часописима.

2. Опис предатог рада

2.1. Основни подаци

Докторска дисертација кандидата Норе Тркља Боца, мастера физике, под називом „МАГНЕТОПЛАЗМЕНИ КОМПРЕСОР КАО ИЗВОР ПЛАЗМЕНОГ МЛАЗА ЗА ПОТРЕБЕ МОДИФИКАЦИЈЕ ПОВРШИНА МАТЕРИЈАЛА” написана је у потпуности под менторством редовног професора Физичког Факултета Универзитета у Београду, проф. др Милорада Кураице. Проф. др Милорад Кураица у потпуности задовољава услове да руководи овом дисертацијом. Тема докторске дисертације под називом „МАГНЕТОПЛАЗМЕНИ КОМПРЕСОР КАО ИЗВОР ПЛАЗМЕНОГ МЛАЗА ЗА ПОТРЕБЕ МОДИФИКАЦИЈЕ ПОВРШИНА МАТЕРИЈАЛА”, прихваћена је на Колегијуму докторских студија Физичког факултета одржаног 15.06.2022. године на Физичком факултету Универзитета у Београду. На X седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржане дана 22.06.2022. године усвојен је Извештај Комисије за оцену испуњености услова и

оправданост предложене теме за израду докторске дисертације и именован ментор за израду исте: проф. др Милорад Кураица.

Веће научних области природно-математичких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 13.12.2022. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Норе Тркља Боца.

На IX седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржане дана 28.06.2023. године, одређени су чланови Комисије за припрему реферата на основу прегледа и оцене докторске дисертације.

Дисертација се састоји из 123 стране (без насловне стране, захвалнице, сажетка на српском и енглеском језику, садржаја, прилога, ауторове биографије и изјава) и написана је на српском језику. Дисертација је подељена у 8 поглавља. У тексту се налази 128 слика. У библиографији је наведено 118 референци.

2.2. Предмет и циљ докторског рада

Магнетоплазмени компресор (МПК) је експериментална поставка у којој се реализују експерименти који спадају у актуелну област физике плазме, јер омогућавају изучавање високотемпературне плазме у великом распону параметара који зависе од подесивих експерименталних услова. Такође, третман различитих материјала плазмом формираном у МПК од интереса је за физику чврстог стања. Наука о материјалима се свакодневно развија и испитивање карактеристика материјала и могућност добијања нових, отпорнијих слојева са побољшаним особинама увек је тема од научног интереса. Досадашњи експерименти су показали да се компресиони млазеви плазме, генерисани у квази-стационарним убрзавачима плазме, могу ефикасно користити за модификовање и побољшање својстава површине материјала.

Циљ тезе је оптимизација рада МПК за потребе третмана и модификације различитих материјала од интереса за науку и индустрију. Први корак у раду био је одређивање расподеле енергије дуж тока плазме и реализован је калориметријском методом. За потребе рада конструисана је посебна експериментална поставка која је имплементирана у постојећу комору.

У оквиру тезе, плазмом формираном у МПК третирали су различити материјали, а затим су се проучавале морфолошке, физичке и хемијске промене у оквиру њихових површинских слојева.

Три типа индустријског челика (100Cr6, 16MnCr5, 42CrMo4) третирали су плазмом у МПК и постигнуто је значајно повећање тврдоће узорака, преко 50 % за сваки узорак.

Испитивана је и хрпавост узорака и закључено је да сви узорци постају глатки на периферији, након више од пет третмана плазмом. Структурне студије танког површинског слоја челичних узорака изведене су помоћу дијагностике рендгенским (x) зрацима, која омогућава истраживање присуства промене фаза на третираном узорку. У површинском слоју третираних узорака челик типа 100Cr6 уочено је присуство γ -фаза гвожђа у великом проценту, а тек у траговима у осталим третираним узорцима. γ -фаза гвожђа се формира на температурама преко 900 °C, на основу чега се закључује да се површина узорака током интеракције са плазмом загрева на температуру вишу од поменуте. Третмани челика рађени су са циљем директне индустријске примене. Такође, добијени резултати су од интереса за истраживања челика од значаја за широку индустријску примену. Испитане су промене на два типа челика (100Cr6, 16MnCr5) у случају када се пре интеракције са плазмом на површину депонује танак слој титан-нитрида дебљине 800 nm. Значајан резултат овог дела рада је био још веће повећање тврдоће челика, у региону у коме је дошло до мешања растопљеног материјала, преко 100 % у случају узорака типа TiN /100Cr6 и око 70% у случају узорака типа TiN /16MnCr5.

Проучавање специфичних и сложених мета, као што су вишеслојни танки филмови депоновани на жељеној подлози, данас је изузетно пожељно због испитивања карактеристика нових врста слојева на познатим материјалима. Титанови слојеви имају широку примену – у микроелектроници, ваздухопловној индустрији и биомедицини. Добијени резултати третмана узорака који се састоје од силицијумске подлоге и танких алтернирајућих слојева (5 или 10) алуминијум - титана и никл – титана (дебљина сваког појединачног слоја износи 20 nm) са плазмом у МПК од интереса су за истраживања понашања ових система под великим, краткотрајним термалним оптерећењима, као и због могућег унапређења карактеристика слојевитих структура.

МПК се може користити као лабораторијски симулатор реалних догађаја краткотрајних изливања плазме унутар фузионих реактора, која постоје услед незаобилазних нестабилности фузионе плазме. У оваквим експериментима од интереса је проучавати понашање различитих материјала, кандидата за уградњу у делове реактора који су директно изложени контакту са плазмом. Од изузетног научног значаја су испитивања везана за понашање легура волфрама и елемената који би побољшали његове карактеристике. У изложеном раду проучене су последице интеракције компресионог високоенергетског тока плазме у МПК и чистог волфрама, као и волфрама са депонованим слојем титана (дебљине 800 nm). Неопходно је имати резултате оваквих истраживања на великом распону енергија и у случају различитих врста слојева на волфраму, како би се остварио најбољи могући одабир материјала за изградњу зидова фузионих реактора.

Саставни део експерименталне поставке чини и систем за спектроскопску дијагностику. Приликом третмана узорка плазмом, спектроскопски је праћен слој плазме уз мету који представља мешавину долазаћег тока плазме, плазме рефлектоване од мете и плазме формиране након аблације површине. Ова плазма садржи и одређену количину материјала спатерованог са третиране мете. Снимљени спектри коришћени су у циљу одређивања параметара плазме: електронске концентрације и температуре, као и за идентификацију присуства спатерованог материјала мете у плазми.

У току израде дисертације у Лабораторији је направљена и нова вакуумска комора већих димензија у којој се планира поставка магнетоплазменог компресора оригиналне конструкције са транспарентном и анодом и катодом (МПК типа 200). У сарадњи са Лабораторијом за високе напоне Електротехничког факултета Универзитета у Београду, у току је конструкција новог извора за напајање кондензаторске батерије, који ће обезбедити велике струје пражњења (преко 300 kA) и дуже време живота квазистационарног тока плазме (преко 1 ms).

2.3 Публикације везане за тему

Резултати докторске дисертације су објављени у два рада који нису за исту сврху коришћени у другим дисертацијама:

1. „Study of the energy distribution within plasma flow generated by magnetoplasma accelerator“

N. Trklja, P. S. Iskrenović, Ž.Z. Mišković, I.B.Krstić, B.M. Obradović, R.M. Mitrović, M.M. Kuraica and J. Purić

Journal of Instrumentation, Volume 14 (2019) ISSN 1748-0221 IF 1.415 (2020) (<https://doi.org/10.1088/1748-0221/14/09/C09041>)

2. „Effects of high thermal loads produced by interaction of accelerated plasma with steel surfaces (100Cr6, 16MnCr5, 42CrMo4)“

N. Trklja Bosa, Ž. Z. Mišković, R. M. Mitrović, B. M. Obradović, M. M. Kuraica

Surface and Coatings Technology, Volume 416 (2021) <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127157>

2.4 Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Докторска дисертација кандидата Норе Тркља Боца се састоји од осам поглавља.

У првом поглављу су дати основни појмови неопходни за разумевање принципа рада магнетоплазменог компресора. Почевши од хидродинамичког описивања процеса у плазми, микроскопске слике убрзавања плазме, двокомпонентног и поједностављеног, једнокомпонентног модела плазме, описан је ток плазме у аксијално симетричном танком каналу. У случају велике вредности магнетног Рејнолдсовог броја (што је испуњено у случају плазме проучаване у раду), једнокомпонентни модел је адекватан за опис плазме, а равномеран проток плазме се може добро апроксимирати моделом танке цеви. Генерално, могу постојати два екстремна лимита тока. Први лимит је везан за случај када се процес убрзања одвија на начин да густина плазме опада, а брзина тежи ка максимуму и то је чист убрзавајући режим. Други гранични случај је чист компресиони режим, тј. случај када брзина тежи нули, док густина тежи максималној вредности. У режиму убрзања добијају се велике брзине плазме (неколико стотина километара у секунди), док се у компресионом режиму добијају велике вредности густине честица. Оба режима рада су детаљно описана. У оквиру првог поглавља изложен је и кратак историјат развоја уређаја типа МПК, почевши од 60-их година прошлог века до данас. Такође, описане су основе рада МПК.

Друго поглавље представља опис спектроскопских метода коришћених при изради дисертације. Дат је теоријски увод на тему термодинамичке равнотеже, зрачење плазме, ширење и померање спектралних линија. Описан је метод одређивања електронске температуре на основу релативних интензитета спектралних линија. Такође, описане су коришћене методе за спектроскопско мерење електронске концентрације (примена водоникове $H\beta$ линије и хелијумове дозвољене и забрањене компоненте).

Треће поглавље чини опис експерименталне поставке и метода мерења. Детаљно је описана основна експериментална поставка, затим експериментална поставка коришћена приликом анализе расподеле енергије плазменог млаза дуж осе пражњења. За потребе рада конструисана је посебна експериментална поставка која је имплементирана у постојећу комору. Такође, описана је и експериментална поставка у случају испитивања интеракције плазме формиране у МПК и различитих материјала.

Четврто поглавље детаљно објашњава методе за дијагностификовање промена на површини материјала третираних плазмом формираном у МПК. Дат је кратак теоријски увод и описани су принципи рада уређаја за оптичку микроскопију, скенирајућу електронску микроскопију (SEM). Описан је начин рада микроскопа атомских сила (AFM), уређаја за

мерење тврдоће и храпавости, као и уређаја у коме се структурне студије танког површинског слоја узорака врше помоћу дијагностике рендгенским (x) зрацима.

У петом поглављу описан је процес интеракције плазме формиране у МПК и материјала. Такође, дати су разлози зашто су одабрани третирани материјали (челик 100Cr6, челик 16MnCr5, челик 42CrMo4, волфрам, танки слојеви на силицијуму, челику и волфраму) од интереса за индустрију и науку. У овом поглављу указано је и на појаву нестабилности услед притиска тока плазме на растоп који је реда величине неколико атмосфера и објашњене су нестабилности од интереса за експеримент анализиран у изложеном раду.

Шесто поглавље је посвећено резултатима мерења. Расподеле енергије дуж тока плазме реализована је калориметријском методом. За потребе рада конструисана је посебна експериментална поставка која је имплементирана у постојећу комору. Изложени резултати односе се на три различита радна гаса: водоник, мешавина хелијума и водоника и аргон. Као оптимални радни гас за даља истраживања у оквиру тезе, везана за третман материјала плазмом формираном у МПК, одабран је хелијум са 5 % водоника. За оптималну позицију одабрана је она при којој се на третирану мету депонује густина енергије око 10 J/cm^2 , осим у случају третмана волфрамових узорака када је депонована густина енергије износила 20 J/cm^2 . У оквиру рада, плазмом формираном у МПК третирани су различити материјали, а затим су се проучавале морфолошке, физичке и хемијске промене у оквиру њихових површинских слојева.

Најзначајнији резултат третмана три типа индустријског челика (100Cr6, 16MnCr5, 42CrMo4) плазмом значајно повећање тврдоће узорака. Тврдоћа челика 100Cr6 повећана је за 75 %, челика 16MnCr5 за 53 %, док је тврдоћа челика 42CrMo4 повећана за чак 87 %. Праћена је храпавост узорака и закључено је да више од пет третмана плазмом доводи до формирања глатког периферног слоја на узорцима. Анализом узорака помоћу дифракције x - зрака, на дифрактограму је уочено је присуство γ -фазе гвожђа (у великом проценту у третираном узорку челик 100Cr6, а тек у траговима у узорцима челик 16MnCr5 и челик 42CrMo4). γ - фаза гвожђа се формира на температурама преко $912 \text{ }^\circ\text{C}$, на основу чега се закључује да се површина третираних узорака током интеракције са плазмом загрева на температуру вишу од поменуте. Два типа челика (100Cr6, 16MnCr5) у случају када се пре интеракције са плазмом на површину депонује танак слој титан-нитрида дебљине 800 nm, такође су третирана плазмом у МПК. Значајан резултат овог дела рада је још значајније повећање тврдоће челика, у региону у коме је дошло до мешања растопљеног материјала. У случају третмана мете од челика типа TiN /100Cr6, тврдоћа је повећана за 113 %, док је у случају челика типа TiN /16MnCr5 повећање тврдоће износи око 70 %.

Плазмом у МПК третирају се и узорци који се састоје од силицијумске подлоге и танких алтернирајућих слојева (5 или 10) алуминијум - титана и никл – титана (дебљина сваког појединачног слоја износи 20 nm). Централни регион третиране површине садржи кратере дијаметра 5-10 μm и мозаичну структуру јасно дефинисаних граница са карактеристичном димензијом 1-2 μm , чија оријентација одговара оријентацији силиконског субстрата. Периферни регион третиране површине садржи периодичне структуре које су глатке, хомогене и синусоидалног облика, при чему таласа дужина периодичних структура износи око 10 μm .

Узорци волфрама и волфрама на који је депонован слој титана третирају се плазмом формираном у МПК. Након третмана узорка од волфрама плазмом у МПК, на узорку су јасно видљиве пукотине и оштећења. На третираним узорцима W+Ti јављају се две зоне - формације са већом концентрацијом титана и региони са мањом концентрацијом, у којима је већински присутан волфрам. Генерално, закључак је да постојећа густина енергије није довољна да растопи цео титанијумски премаз на волфрамовом супстрату и ефикасно га помеша у растопљеном стању.

У седмом поглављу дат је закључак рада, док осмо поглавље представља списак коришћене литературе.

3. Списак публикација

Публикације везане за тему:

1. „Study of the energy distribution within plasma flow generated by magnetoplasma accelerator“

N. Trklja, P. S. Iskrenović, Ž.Z. Mišković, I.B.Krstić, B.M. Obradović, R.M. Mitrović, M.M. Kuraica and J. Purić

Journal of Instrumentation, Volume 14 (2019) ISSN 1748-0221 IF 1.415 (2020) (<https://doi.org/10.1088/1748-0221/14/09/C09041>)

2. „Effects of high thermal loads produced by interaction of accelerated plasma with steel surfaces (100Cr6, 16MnCr5, 42CrMo4)“

N. Trklja Bosa, Ž. Z. Mišković, R. M. Mitrović, B. M. Obradović, M. M. Kuraica

Surface and Coatings Technology, Volume 416 (2021) <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127157>

Публикације које нису везане за тему:

1. „Stark spectral line broadening modeling by machine learning algorithms“ I. Tapalaga, I. Traparić, **N. Trklja Bosa**, J. Purić, I. P. Dojčinović. Neural Computing and Applications 34(7):1-10, (2022)

(<https://doi.org/10.1007/s00521-021-06763-4>)

2. „Investigation of Stark line broadening within spectral series of potassium and copper isoelectronic sequences" I.P. Dojčinović, **N. Trklja**, I. Tapalaga and J.Purić. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (2019) (<https://doi.org/10.1093/mnras/stz2367>)
3. „Stark Widths Regularities Within: ns-np, np-ns, np-nd, nd-np and nd-nf Spectral Series of Potassium Isoelectronic Sequence" **N. Trklja**, I.P. Dojčinović, I. Tapalaga and J. Purić. Atoms 7(4), 99 (2019); (<https://doi.org/10.3390/atoms7040099>)
4. „Stark width regularities within spectral series of the lithium isoelectronic sequence" I. Tapalaga, **N. Trklja**, Ivan P. Dojčinović, and Jagoš Purić. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 474, no. 4 (2018) 5479-5484. (<https://doi.org/10.1093/mnras/stx3114>)
5. „Stark widths regularities within spectral series of sodium isoelectronic sequence." **N. Trklja**, I. Tapalaga, I.P. Dojčinović, and J. Purić. New Astronomy 59 (2018): 54-59. (<https://doi.org/10.1016/j.newast.2017.09.006>)
6. „The Current Status of the Magnetoplasma Compressor Device in Belgrade – Study of Plasma Facing Materials Important for Fusion Reactors" **Nora Trklja**. INDECS 13, no. 1 (2015) (<https://doi.org/10.7906/indecs.13.1.16>)
7. „Gender imbalance in the number of PhD physicists and in key decision-making positions in the Republic of Serbia." M. Stojanović, M. Pavkov-Hrvojević, M. Božić, D. Knežević, M. Davidović, **N. Trklja**, A. Žekić, T. Marković-Topalović, and T. Jovanović. In AIP Conference Proceedings, vol. 2109, no. 1, p. 050033. AIP Publishing, 2019. (<https://doi.org/10.1063/1.5110107>)

Конференције везане за тему:

1. „Treatment of Steel Surfaces by Plasma Flow Generated in Magnetoplasma Compressor." **N. Trklja Boca**, Ž. Mišković, B. Obradović, R. Mitrović and M. Kuraica. 30th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases: SPIG 2020, Šabac, Contributed Papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures, p. 125. Publ. Astron. Obs. Belgrade No. 99.
2. „Study of the energy distribution within plasma flow generated by magnetoplasma accelerator." **N. Trklja**, P. S. Iskrenović, Ž. Z. Mišković, I. B. Krstić, B. M. Obradović, R. M. Mitrović, M. M. Kuraica, and J. Purić. ECPD Conference, Lisbon 2019, JINST 14 C09041
3. "Modification of aluminium-titanium and nickel-titanium thin layers by plasma flow action." **Trklja, N.**, B. Salatic, I. Krstic, B. Obradovic, and M. Kuraica. Proc. of 45th EPS Conference on Plasma Physics 2 - 6 July 2018. Prague, Czech Republic .
4. „Modification of nickel-titanium thin layers by plasma flow action. " **N. Trklja**, I. Krstić, B. M. Obradović, M. M. Kuraica, and J. Purić . In 29 Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases: SPIG 2018 Contributed Papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical

Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures, p. 122. Institut za nuklearne nauke VINČA, 2018.

Конференције које нису везане за тему:

1. „Stark Broadening of Spectral Lines Within Copper Like Emitters.“ **N. Trklja Boca**, I. P. Dojčinović, I. Tapalaga and J. Purić. 30th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases: SPIG 2020, Šabac Contributed Papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures, p. 201. Publ. Astron. Obs. Belgrade No. 99
2. „Stark Line Broadening Within Spectral Series of Potassium Isoelectronic Sequence." I. P. Dojčinović, **N. Trklja Boca**, I. Tapalaga and J. Purić. 30th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases: SPIG 2020, Šabac Contributed Papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures, p. 168. Publ. Astron. Obs. Belgrade No. 99
3. „Investigation of Stark line broadening within sodium isoelectronic sequence. " **N. Trklja**, I.P. Dojčinović, I. Tapalaga, and J. Purić. In 29 Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases: SPIG 2018 Contributed Papers & Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures, Progress Reports and Workshop Lectures, p. 182. Institut za nuklearne nauke VINČA, 2018.

Students talk: 1. „Effects of high thermal loads produces by interaction of accelerated plasma with materials“ **N. Trklja**. V International Summer School on the Physics of Plasma Surface Interactions (V. Kurnaev Summer School), July 05 – 09, 2021, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow.

2. „Investigation of high thermal loads produces by interaction of accelerated plasma with materials“ **N. Trklja Boca**. The XIII Belarusian-Serbian symposium "Physics and diagnostics of laboratory and astrophysical plasmas“, 13-17 December 2021, Minsk, Belarus

4. Закључак

На основу изложеног може се закључити да је кандидат НОРА ТРКЉА БОЦА у докторској дисертацији под називом „МАГНЕТОПЛАЗМЕНИ КОМПРЕСОР КАО ИЗВОР ПЛАЗМЕНОГ МЛАЗА ЗА ПОТРЕБЕ МОДИФИКАЦИЈЕ ПОВРШИНА МАТЕРИЈАЛА” (наслов на енглеском језику: “MAGNETOPLASMA COMPRESSOR AS A SOURCE OF PLASMA FOR MATERIAL TREATMENTS PURPOSE”) остварио оригиналне научне резултате и дао значајан допринос у области Физика јонизованог гаса и плазме. Резултати тезе

су публиковани у међународним часописима и комисија на основу тога сматра да су задовољени сви услови за њену одбрану и

ПРЕДЛАЖЕ

Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да се одобри јавна одбрана.

У Београду

Чланови комисије

др Милорад Кураица
Редовни професор
Универзитет у Београду - Физички факултет

др Братислав Обрадовић
Редовни професор
Универзитет у Београду - Физички факултет

др Миљивоје Ивковић
Научни саветник
Универзитет у Београду - Институт за физику