

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Лазара Карбунара

Одлуком бр. 949-3 од 03.11.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Лазара Карбунара под насловом

Утицај динамичке поларизације на интеракцију наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима у двофлуидном хидродинамичком моделу

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Лазар Карбунар је магистарске студије завршио на Електротехничком факултету 16.07.2008. године. Кандидат је тему под насловом „Утицај динамичке поларизације на интеракцију наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима у двофлуидном хидродинамичком моделу“ поднео на пријаву Комисији за студије III степена Електротехничког факултета 12.03.2015. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је на 785. седници одржаној 21.04.2015. године, одлуком бр. 949-1, именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: др Милан Тадић (ментор), редовни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, др Јелена Радовановић, ванредни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, др Душко Борка, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча, Универзитет у Београду, и др Милан Поњавић, доцент, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду. Кандидат је докторски испит положио 15.05.2015. пред комисијом за оцену услова и прихватање докторске теме. Извештај Комисије је усвојен на 787. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду одржаној 23.06.2015. године. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације 06.07.2015. године (Одлука бр. 61206-3016/2-15).

Кандидат је 09.10.2015. године предао урађену докторску дисертацију на преглед и оцену. На основу предлога Комисије за студије III степена од 13.10.2015. године, Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на седници одржаној 27.10.2015. године, одлуком бр. 949-3 од 03.11.2015., именovalo Комисију за преглед и оцену докторске

дисертације у саставу: др Милан Тадић, редовни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, др Душко Борка, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча, Универзитет у Београду, др Иван Радовић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча, Универзитет у Београду, др Владимир Арсоски, доцент, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, и др Милан Поњавић, доцент, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научној области „Електротехника и рачунарство“, ужој научној области „Наноелектроника и фотоника“ за коју је Електротехнички факултет у Београду матични.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Лазар Карбунар је рођен 24.08.1979. у Панчеву. Од 1994. живи у Панчеву где је 1998. завршио Гимназију „Урош Предић“. Електротехнички факултет у Београду је уписао 1998., смер Електроника. Дипломирао је 05.11.2003. на теми „Математички модели за опис система у енергетској електроници“, ментор проф. др Предраг Пејовић. На основним студијама је остварио просечну оцену 9.76. Титулу магистра електротехничких наука је стекао 16.07.2008. на истом факултету одбранивши магистарски рад под насловом „Активна емулација отпорности у трофазном исправљачу са високим фактором снаге заснованом на убризгавању струје“, ментор проф. др Предраг Пејовић.

Од 2004. је запослен на Електротехничком факултету Универзитета у Београду у звању асистента приправника. У току радног ангажмана учествовао је у спровођењу наставе на Катедри за електронику извођењем рачунских и лабораторијских вежби на великом броју предмета Катедре. Неки од предмета на којима је био ангажован у улози предметног асистента су: Дигитална обрада сигнала, Основи рачунарске електронике, Основи дигиталне електронике, Практикум из виртуелне инструментације, итд.

Од 2009. до 2015. године је у звању асистента на истом факултету где је обављао послове сарадника у настави и учествовао у извођењу рачунских и лабораторијских вежби. Од 2015. године је у звању вишег лабораторијског инжењера.

У току радног ангажовања учествовао је у неколико пројеката везаних за развој и усавршавање индустријских постројења имплементацијом оригиналних софтверских и хардверских решења. Аутор је неколико техничких решења и електронских модула. У периоду 2011.-2015. био је ангажован на научно-технолошком пројекту Министарства за науку и технологију под називом „Хардверска, софтверска, телекомуникациона и енергетска оптимизација ИПТВ система“.

Коаутор је збирке задатака из Основа дигиталне електронике која се користи као уџбеник за потребе извођења наставе на истоименом предмету Катедре за електронику.

У оквиру научних интересовања бавио се суперпроводним структурама и изучавањем појава у угљеничним наноцевима у оквиру сарадње са Институтом за нуклеарне науке „Винча“, као и развијањем фрејмворка за анализу и валидацију квалитета преноса видео секвенци преко класичне интернет инфраструктуре.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на српском језику на 106 куцаних страна. Дисертација је подељена у шест поглавља, садржи 80 слика и листу од 74 референци.

Поглавља у оквиру дисертације су: 1. Увод, 2. Наноцеви и њихове особине, 3. Каналисање честица, 4. Динамичка поларизација, 5. Нумерички резултати и дискусија, и 6. Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу дат је преглед материје која се даље разрађује а односи се на проблем каналисања наелектрисаних честица у наноцевима. Истакнута је проблематика процеса каналисања у присуству јаке динамичке поларизације која потиче услед прерасподеле валентних електрона на зидовима наноцеви, као и каналисања честица у условима када наноцеви нису идеално праве.

У другом поглављу се износе елементарне информације у вези угљеничних наноцеви. Описује се структура наноцеви са геометријског аспекта, разматрају хемијски аспекти који одређују формирање угљеничних веза. Разматрају се типови наноцеви, као и основне физичке и електричне особине наведених типова и услови под којима се ове особине манифестују. На крају се анализирају методи добијања наноцеви у пракси.

У трећем поглављу су изложене елементарне ставке везане за кретање наелектрисаних честица у области кристала. Разматране су постојеће теорије о каналисању јона помоћу механизма класичне механике обзиром да је брзина јона који се у овом раду анализирају у процесу каналисања довољно велика да квантни ефекти не долазе до изражаја. Примењена је континуална апроксимација за потенцијал који потиче од језгара атома угљеника и усвојен Дојл-Тарнеров потенцијал за нумеричко израчунавање у даљој математичкој анализи каналисања јона у угљеничним наноцевима.

У четвртном поглављу се детаљно разматра утицај валентних електрона наноцеви на кретање јона, односно испитује се карактер и особине јон-електрон интеракције. Анализира се квалитативно и квантитативно интеракција протона са валентним електронима на зиду наноцеви у случају једнофлуидног, двофлуидног и проширеног двофлуидног модела. Дефинишу се физичке величине и изводе изрази који омогућавају прорачун везан за кретање протона унутар наноцеви у случају поменутих модела који описују појаву динамичке поларизације. Анализира се кретање честица унутар закривљених наноцеви, као и последице на претходно израчунате физичке величине у овом случају.

У петом поглављу се износе резултати математичке анализе претходно описаних хидродинамичких модела којима се предвиђа понашање наноцеви приликом каналисања јона (бирамо случај протона). Представљају се физичке величине усвојене у претходном поглављу, нумерички израчунате, за неколико типова наноцеви у разним ситуацијама кретања протона који се каналише. Анализа се спроводи за праве и благо закривљене наноцеви. На крају се анализира кретање протона кроз наноцев (каналисање) и путем Монте Карло програмских симулација предвиђа конкретан утицај угљеничних наноцеви на протонске снопове.

У шестом поглављу су дати закључци везани за претходна теоријска разматрања и запажања произашла из детаљне математичке анализе обрађених модела у процесу каналисања наелектрисаних честица.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Дисертација се бави проблематиком каналисања честица кроз угљеничне наноцеви. Наноцеви се интензивно изучавају последњих неколико деценија као структуре које би се користиле у перспективи за изградњу електронских компоненти. Због својих изванредних геометријских и физичких особина, једнослојне угљеничне наноцеви (ЈСУНи) представљају један од основних градивних елемената у новој и брзо развијајућој области молекуларне

наноелектронике. Добро разумевање електронске структуре је веома важан први корак за дизајн наноелектронских уређаја, хемијских/био сензора, електрокаталитичких и наноплазмонских уређаја. Зато је истраживање интеракције честица у смислу испитивања плазмонских ексцитација у једнослојним наноцевима коришћењем спектроскопије енергијских губитака ("energy loss spectroscopy (ELS)") од велике важности. Величине које карактеришу интеракцију наелектрисаних честица са електронима атома наноцеви су зауставна сила и сила лика. Ове силе представљају динамичке поларизационе силе. Зауставна сила је сила која се директно супротставља кретању наелектрисаних честица и има важну улогу при проучавању енергијских губитака. Она представља дисипативни део динамичке поларизационе силе. Сила лика је сила која настоји да "савије" путању наелектрисане честице ка зиду наноцеви. Показано је да има веома важну улогу при проучавању каналисања протона кроз угљеничне наноцеви и представља конзервативни део динамичке поларизационе силе.

Први предмет истраживања у дисертацији обухвата испитивање утицаја различитих димензионих (2Д) хидродинамичких модела (једнофлуидни, двофлуидни и проширени двофлуидни) на вредности потенцијала лика и зауставне силе при интеракцији наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима.

Други предмет истраживања у дисертацији обухвата утицај динамичке поларизације на интеракцију наелектрисаних честица (протона) са угљеничним наноцевима у режиму каналисања када одзив система описујемо у 2Д двофлуидном и проширеном двофлуидном хидродинамичком моделу. Раније је показано да су ефекти динамичке поларизације валентних електрона угљеникових атома на угаоне и просторне расподеле протона MeV-ских енергија каналисаних кроз праве угљеничне наноцеви веома значајни. Каналисање протона кроз наноцеви је њихово кретање дуж осе наноцеви, или под малим углом у односу на осу. Угаоне расподеле каналисаних протона дају нам информацију о структури и атомским силама унутар наноцеви, док се просторне расподеле каналисаних протона могу искористити за детектовање и лоцирање атома и молекула убачених у наноцеви. У овој докторској дисертацији је испитан утицај ефеката динамичке поларизације валентних електрона при каналисању протона MeV-ских енергија кроз закривљене наноцеви, што до сада није урађено у литератури.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У току израде докторске дисертације, изучавања феномена описаних у дисертацији, кандидат је користио релевантну литературу уско везану за процесе каналисања честица у наноцевима и кристалним структурама. У листи референци је наведено 74 научна рада и стручних књига из области. Наведени су такође и научни радови које је аутор публиковао а који су директно произашли из добијених резултата у оквиру дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру приложене докторске дисертације обухватала је следеће фазе:

- Проучавање постојеће литературе везане за процес каналисања честица у кристалним и угљеничним наноструктурама.
- Проучавање постојеће литературе везане за каналисање честица у наноцевима за различите брзине кретања честица.
- Препознавање недостатака досадашњих анализа каналисања честица кроз наноцеви услед недовољног разматрања MeV-ских опсега енергија каналисаних честица.

- Анализа ефеката каналисања честица на прерасподелу валентних електрона на зиду наноцеви и појави динамичке поларизације за усвојене брзине каналисаних честица у опсегу MeV-ских енергија.
- Проучавање хидродинамичких модела коришћених за опис динамичке поларизације у графенским структурама.
- Проучавање прилагођених хидродинамичких модела за опис динамичке поларизације у наноцевима.
- Извођење израза за потенцијал лика, зауставну силу, силу лика и остале релевантне физичке величине у случају разних типова правих и закривљених угљеничних наноцеви за једнофлуидни, двофлуидни и проширени двофлуидни модел.
- Аналитичко израчунавање зависности потенцијала лика од брзине, утицаја фактора пригушења на потенцијал лика при разним брзинама кретања каналисаних протона.
- Аналитичко израчунавање зависности зауставне силе од брзине кретања каналисаних честица за разне позиције честице унутар наноцеви.
- Аналитичко израчунавање укупног потенцијала унутар наноцеви за случај правих и закривљених наноцеви.
- Симулације кретања (каналисања) протона унутар наноцеви помоћу Монте-Карло метода уз коришћење претходно израчунатих услова који одређују кретање честица у наноцеви.
- Анализе добијених резултата у процесу каналисања на основу израчунатих просторних и угаоних расподела.
- Математички прорачуни као и симулације каналисања су рађени писањем разних програма у оквиру Fortran програмског језика и MatLab програмског пакета.

Наведене фазе и коришћени научни методи довели су до релевантних резултата у побољшању постојећих метода за опис каналисања честица у посматраном опсегу енергија и допринели генерисању нових резултата у оквиру ове дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати добијени током рада на овој докторској дисертацији представљају важан теоријски допринос савременим истраживањима у интеракцији наелектрисаних честица са угљеничним наноструктурама. Ова докторска дисертација је у научном смислу компетентна обзиром да се бави материјом везаном за изучавање угљеничних наноструктура од којих се очекује велики уплив у реализацији електронских компонената у будућности, тако да ће научни допринос планиран у оквиру ове дисертације значајно утицати на даље разумевање поменутих угљеничних наноструктура.

Испитивање просторних и угаоних расподела је веома важно због потенцијалног добијања снопова веома малог попречног пресека. Испитивање каналисања протона кроз закривљене наноцеви је такође веома важно ради што ефикаснијег вођења протонских снопова. У случају MeV-ских енергија снопа протона (за разлику од GeV-ских енергија) претпостављамо да ефекат динамичке поларизације валентних електрона може имати велики утицај на просторне расподеле каналисаних протона у закривљеним наноцевима. Зато је важно да се резултати добију у што тачнијем и прецизнијем моделу.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је детаљно упознат са најсавременијим достигнућима у области истраживања. На основу детаљног увида у дисертацију, може се закључити да је кандидат

успешно савладао теорију и методологију до нивоа да је оспособљен за самостални научноистраживачки рад. Ово је показано и чињеницом да је у области дисертације као први аутор објавио 2 рада у часописима категорије M21. Трећи рад проистекао из ове дисертације је послат у часопис категорије M22 и ту је кандидат такође први аутор. Приликом израде дисертације, кандидат је показао систематичност у раду, као и иницијативу за овладавањем новим научним сазнањима и методама.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Приказан рад у дисертацији је теоријског карактера па су сви доприноси исказани у облику аналитичког извођења одређених израза, имплементације развијене теорије на рачунару, нумеричких прорачуна и анализе добијених резултата. Могу се уочити следећи научни доприноси докторске дисертације кандидата:

- Теоријско израчунавање ефеката динамичке поларизације (потенцијала лика и зауставне силе) за различите типове наноцеви и за различите хидродинамичке моделе.
- Теоријско одређивање утицаја фактора пригушења на потенцијал лика и зауставну силу за различите типове наноцеви и за различите хидродинамичке моделе.
- Теоријско објашњење и израчунавање просторних и угаоних расподела при значајном утицају ефеката динамичке поларизације у случају правих и закривљених наноцеви.
- Анализа утицаја ангуларних модова на промену вредности потенцијала лика за различите типове наноцеви.
- Анализирани су услови каналисања протона у случају да се протони крећу изван наноцеви.
- Карактеризација закривљених наноцеви на основу угаоних расподела када је укључена динамичка поларизација за различите типове наноцеви.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживачки рад кандидата Лазара Карбунара обухвата модерну научну проблематику и доприноси дубљем разумевању интеракције наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима. Циљ дисертације је био да испита и објасни утицај потенцијала лика и зауставне силе при интеракцији наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима, као и да испита каналисање протона кроз закривљене наноцеви ради што ефикаснијег вођења протонских снопова. Након разматрања полазних хипотеза, циљева истраживања и добијених резултата, уочава се да је кандидат успешно савладао проблематику и одговорио на сва важна питања која су се појавила током рада на дисертацији. Развијени теоријски модели представљају значајне научне доприносе истраживању интеракција наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима. У будућим истраживањима треба проширити истраживање и на каналисање кроз дуге наноцеви. У том случају, при рачунању просторних и угаоних расподела треба укључити и енергијске губитке наелектрисаних честица који се јављају при њиховој интеракцији са електронским гасом наноцеви.

4.3. Верификација научних доприноса

У току рада на дисертацији, Лазар Карбунар је објавио 2 рада у међународним часописима са SCI листе. Оба рада су публикована у часописима категорије M21. Трећи рад проистекао из ове дисертације је послат у часопис категорије M22.

M21

1. L. Karbunar, D. Borka, I. Radović, Z. L. Mišković, *Image potential in the interaction of fast ions with carbon nanotubes: A comparison between the one- and two-fluid hydrodynamic models*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 358, Pages 82-87 (2015). (if = 1.266)(ISSN: 0168-583X)(DOI: 10.1016/j.nimb.2015.05.041).

2. L. Karbunar, D. Borka, I. Radović, *Image potential and stopping force in the interaction of fast ions with carbon nanotubes: The extended two-fluid hydrodynamic model*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 366, Pages 83-89 (2016). (if = 1.266)(ISSN: 0168-583X)(DOI: 10.1016/j.nimb.2015.10.033).

Остали радови кандидата:

M22

M. Milic, N. Lazarov, L. Karbunar, *Influence of Ortho-II structural phase on the 60 K plateau formation in $YBa_2Cu_3O_{6+x}$* , PHYSICA C, Vol. 476, pp. 63-67, Jun, 2012. (if = 0.94) (ISSN: 0921-4534)(DOI: 10.1016/j.physc.2012.02.008).

M63

Lazar Karbunar, Milan Prokin, *Power and Cost Efficient IPTV Systems*, Zbornik radova 19. Telekomunikacionog foruma TELFOR 2011, Beograd 22-24 Novembar 2011, ISBN: 978-1-4577-1499-3.

Лазар Карбунар, *Мogućност имплементације NCAP модула паметног сензора на РС рачунару према IEEE 1451.1 стандарду*, Зборник радова 54. конференције за ЕТРАН, Доњи Милановац, 7-10. јуна 2010, ISBN 978-86-80509-65-5.

Лазар Карбунар, Милан Прокин, *Отпорност H.264 видео секвенце на грешке*, Зборник радова 53. конференције за ЕТРАН, Врњачка Бања, 15-18. јуна 2009, ISBN: 978-86-80509-64-8.

Lazar Karbunar, Predrag Pejović, *Current Programming in Three-Phase Diode Bridge Rectifiers that Apply Suboptimal Current Injection*, 14th International Symposium on Power Electronics, Ee 2007, Novi Sad, November 2007, ISBN: 978-86-7892-065.

Лазар Карбунар, Предраг Пејовић, *Утицај таласног облика убризгане струје на укупно хармонијско изобличење улазних струја трофазног исправљача*, Конференција за ЕТРАН, Београд, Јун 2006, том I, стр. 11-14, ISBN 86-80509-58-2.

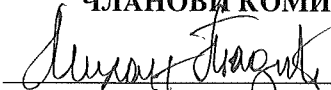
5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Лазара Карбунара, магистра електротехничких наука, садржи савремене и оригиналне научне доприносе. Дисертација се бави испитивањем утицаја различитих дводимензионих (2Д) хидродинамичких модела (једнофлуидни, двофлуидни и двофлуидни проширени) на вредности потенцијала lika и зауставне силе при интеракцији наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима. Испитивани су ефекти зависности динамичке поларизације од брзине наелектрисане честице и од позиције наелектрисане честице у наноцеви. Испитиван је и утицај фактора пригушења на вредност потенцијала lika и зауставне силе. Дато је детаљно извођење 2Д једнофлуидног и двофлуидног хидродинамичког модела са наноцевима и израчунати су тотални потенцијали, просторне и угаоне расподеле за више типова наноцеви. Дисертација се такође бави испитивањем утицаја динамичке поларизације на интеракцију наелектрисаних честица (протона) са угљеничним наноцевима у режиму каналисања када одзив система описујемо помоћу 2Д двофлуидног хидродинамичког модела. Испитиван је утицај ефеката динамичке поларизације валентних електрона при каналисању протона MeV-ских енергија кроз закривљене наноцеви, што до сада није урађено у литератури. Добијени резултати су важни за примену угљеничних наноцеви у наноелектроници, медицини и науци о материјалима као и за добијања снопова веома малог попречног пресека. Сви добијени резултати су објављени у релевантним међународним часописима са SCI листе.


На основу свега претходно изреченог, Комисија за преглед и оцену дисертације констатује да је Лазар Карбунар испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Стога са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да докторску дисертацију под називом *“Утицај динамичке поларизације на интеракцију наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима у двофлуидном хидродинамичком моделу”* прихвати, изложи на увид јавности и упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

Београд, 06.11.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



Др Милан Тадић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет




Др Душко Борка, виши научни сарадник
Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке Винча



Др Владимир Арсоки, доцент
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



Др Иван Радовић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке Винча



Др Милан Поњавић, доцент
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет