

Institut saglasan
04.06.2014
M. Korobov

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

Предмет: Извештај Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ане Симовић.

Одлуком Наставно-научног већа Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу, број 520/V-1, одржаног дана 28.05.2014. године, одређени смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

**„ИСПИТИВАЊЕ ПРЕНΟΣНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ВИШЕМОДНИХ
ОПТИЧКИХ ВЛАКАНА СА W ИНДЕКСОМ ПРЕЛАМАЊА”**

кандидата Ане Симовић, истраживача-сарадника на Природно-математичком факултету у Крагујевцу. Након прегледа докторске дисертације, а у складу са Статутом Факултета, чл. 51, и Статутом Универзитета, чл. 48, подносимо Наставно-научном већу Природно-математичког факултета следећи

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО: 04.06.2014.

Орг. јед.	Број	ПРИЛОГ	ВРЕДНОС
02	560/7	-	-

ИЗВЕШТАЈ

Докторска дисертација кандидата Ане Симовић изложена је на 148 страна, а у оквиру текста приказано је 72 слике, 4 табеле и 203 једначине. Укупно је цитирано 72 литературске јединице.

Поднети рад се састоји из два дела. Први део је општи, без оригиналног научног доприноса кандидата, даје преглед стања у овој области и има монографски карактер. Други део представља рад кандидата на задатој теми.

Преглед садржаја урађене дисертације

Први део се састоји из три главе, које описују појмове неопходне за разумевање рада и методологије.

Прва глава посвећена је основама теорије простирања светлости. У овој глави је објашњена таласно-честична природа светлости и дати су основни закони геометријске оптике. У другој глави је описана структура оптичког влакна, начин простирања светлости кроз оптичко влакно и типови оптичких влакана. У овој глави су дате и дефиниције основних појава и параметара везаних за оптичка влакна.

Трећа глава се бави испитивањем простирања светлости кроз оптичко влакно са W индексом преламања применом електромагнетног приступа. Приказане су основне једначине

неопходне за анализу диелектричних таласовода у оквиру таласне теорије за цилиндрично оптичко влакно са W индексом преламања. Коришћењем електромагнетног приступа, приказан је начин добијања једначина за израчунавање лонгитудиналних и трансверзалних компонената поља у влакну са W индексом преламања. Показан је и начин добијања карактеристичне једначине код влакна са W индексом преламања.

Други део, за разлику од првог дела, представља оригинални научни рад аутора. Резултати у другом делу су представљени у оквиру четврте, пете главе и закључка.

Тема ове дисертације је испитивање преносних карактеристика вишемодних оптичких влакана са W индексом преламања применом једначине протока снаге. За разлику од влакана са језгром и једним омотачем, W влакно поседује језгро и два омотача. Оваква структура W влакна обезбеђује бољу везаност вођених модова у језгру, чиме се смањује модална дисперзија и повећава пропусни опсег влакна у поређењу са одговарајућим влакном са једним омотачем. У четвртој глави описано је моделовање простирања светлости кроз W влакно помоћу временски-независне једначине протока снаге. По први пут је добијено нумеричко решење временски-независне једначине протока снаге у случају влакна са W индексом преламања користећи експлицитни метод коначних разлика. Анализирано је вишемодно оптичко влакно са W индексом преламања које је теоријски испитивано у ранијим радовима других аутора. Одређене су дужине влакана на којима се постиже стационарна расподела модова за различите ширине и дубине унутрашњег омотача и различите вредности коефицијената спрезања. У нумеричким прорачунима коришћене су две улазне ексцитације, θ_p и θ_q . Показано је да у случају θ_q ексцитације, снага у цурећим модовима остаје на већим дужинама у случају веће ширине унутрашњег омотача ($\delta = 0.5$), у односу на мању ширину унутрашњег омотача ($\delta = 0.2$). Показано је како се губици цурећих модова смањују са порастом ширине унутрашњег омотача. За мању ширину унутрашњег омотача, дужине z_s на којима се успоставља стационарна расподела модова су мање у поређењу са већом ширином унутрашњег омотача. Добијено је да се с повећањем дубине унутрашњег омотача, губици цурећих модова смањују. У случају θ_q ексцитације, с повећањем дубине унутрашњег омотача, снага у цурећим модовима остаје вођена на већим дужинама у поређењу са θ_p ексцитацијом. Показано је да с порастом дубине унутрашњег омотача, дужина z_s на којој се постиже стационарна расподела модова расте за све вредности коефицијента спрезања D и ширине унутрашњег омотача δ . Дужина влакна z_s , која је потребна за постизање стационарне расподеле модова, опада с повећањем јачине спрезања модова за све испитане ширине и дубине унутрашњег омотача.

У четворој глави, такође, користећи временски-независну једначину протока снаге, испитан је утицај ширине улазне угаоне расподеле снаге светлосног снопа на равнотежну и стационарну расподелу модова, при промени ширине и дубине унутрашњег омотача, и коефицијента спрезања за влакно са W индексом преламања. У нумеричким прорачунима коришћен је улазни снап светлости који има Гаусову расподелу са пуним ширинама на половини максимума 1° и 3° . Показано је да за шире улазне угаоне расподеле снаге светлости равнотежна и стационарна расподела модова се успостављају на краћим дужинама влакна, L_c и z_s , респективно, за све вредности ширине и дубине унутрашњег омотача и коефицијенте спрезања. Показано је да с порастом ширине и дубине унутрашњег омотача, дужине влакна L_c и z_s се повећавају. Показано је да услед јачег спрезања модова, узрокованог већим унутрашњим пертурбационим ефектима у влакну, прерасподела енергије између вођених модова је бржа, па су дужине L_c и z_s мање за обе ширине улазног снопа светлости. Приказано је и да губици услед спрезања модова расту с повећањем коефицијента спрезања. Закључено је да су дужине на којима се успоставља равнотежна и стационарна расподела модова у W влакну одређене структурним параметрима влакна, јачином спрезања модова и ширином улазне угаоне расподеле снаге светлости.

У петој глави, користећи временски-зависну једначину протока снаге испитан је утицај ширине и дубине унутрашњег омотача W влакна на пропусни опсег влакна и губитке који настају услед спрезања модова за различите вредности коефицијента спрезања и улазне ексцитације. По први пут добијено је нумеричко решење временски-зависне једначине протока снаге користећи експлицитни метод коначних разлика код влакна са W индексом преламања. На мањим дужинама влакна, пропусни опсег опада пропорционално дужини влакна. На већим дужинама влакна, након успостављања равнотежне расподеле модова, опадање пропусног опсега са дужином пропорционално је са $1/z^2$. Показано је да се пропусни опсег влакна повећава када се дубина и ширина унутрашњег омотача смањује. Смањењем ширине и дубине унутрашњег омотача, губици цурећих модова се повећавају, услед чега се смањује њихов број, па се смањује и модална дисперзија и повећава пропусни опсег влакна.

Показано је да се пропусни опсег W влакна повећава с порастом јачине спрезања модова. У случају θ_p ексцитације, пропусни опсег влакна је већи у поређењу са θ_q ексцитацијом. У случају θ_p ексцитације, утицај ширине и дубине унутрашњег омотача је слабији на мањим дужинама влакна. С порастом дужине влакна, број цурећих модова расте услед спрезања модова, па се утицај ширине и дубине унутрашњег омотача јавља тек на већим дужинама влакна. Показано је да у случају θ_p ексцитације, утицај ширине и дубине

унутрашњег омотача на пропусни опсег влакна је израженији у случају јачег спрезања модова. Закључено је да се пропусни опсег влакна може побољшати смањујући ширину и дубину унутрашњег омотача, појачавајући спрезање модова и побуђујући само вођене модове.

Добијена је такође и зависност пропусног опсега и губитака који настају услед спрезања модова за различите ширине и дубине унутрашњег омотача и коефицијенте спрезања, при θ_p и θ_q ексцитацији. Повећање спрезања модова утиче на пораст ових губитака. Показано је да смањење ширине и дубине унутрашњег омотача доводи до мањег повећања губитака него при порасту јачине спрезања. Избор θ_p или θ_q ексцитације такође утиче на проналажење оптималног односа између пропусног опсега и губитака који настају услед спрезања модова. При θ_p ексцитацији пропусни опсег влакна је већи, а губици који настају услед спрезања модова су мањи. При θ_q ексцитацији, побуђивањем свих цурећих модова који имају велике губитке, укупни губици се значајно повећавају у поређењу са θ_p ексцитацијом, где се побуђују само вођени модови.

Испитан је и утицај угла и ширине улазног снопа светлости на пропусни опсег и губитке који настају услед спрезања модова код оптичког влакна са W индексом преламања. У нумеричким прорачунима коришћен је улазни снап светлости који има Гаусову расподелу са пуним ширинама на половини максимума 1° и 3° . Показано је да с повећањем угла и ширине улазног снопа светлости пропусни опсег влакна опада на мањим дужинама влакна, што је последица веће модалне дисперзије у случају ширег улазног снопа светлости у поређењу са ужим снопом. У случају већег угла и ширине улазног снопа светлости долази до побуђивања виших модова, који повећавају модалну дисперзију и смањују пропусни опсег влакна. На већим дужинама влакна због јачег спрезања модова долази до смањења модалне дисперзије, па је утицај угла и ширине улазног снопа светлости на пропусни опсег W влакна занемарљив. Показано је да са смањењем ширине и дубине унутрашњег омотача за све анализирание углове и ширине улазног снопа губици цурећих модова се повећавају, услед чега се модална дисперзија смањује, повећавајући пропусни опсег влакна.

Испитивана је зависност пропусног опсега и губитака који настају услед спрезања модова при промени ширине и угла упадног снопа светлости за различите вредности ширине и дубине унутрашњег омотача и коефицијента спрезања. Показано је да су пропусни опсег и губици услед спрезања модова већи у случају мање ширине улазног снопа светлости. С порастом угла улазног снопа светлости долази до значајнијег смањења губитака, док пропусни опсег опада спорије са повећањем ширине унутрашњег омотача. На крају закључено је да се пропусни опсег W влакна може побољшати смањујући ширину и дубину

унутрашњег омотача, појачавајући спрезање модова, и користећи централну улазну расподелу снаге светлости мале ширине. Смањењем ширине и дубине унутрашњег омотача, и вредности угла улазног снопа светлости, пораст губитака је мањи него при повећању јачине спрезања модова.

Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Предмет ове докторске дисертације је теоријско испитивање преносних карактеристика вишемодних оптичких влакна са W индексом преламања применом једначине протока снаге. Анализирано је вишемодно оптичко влакно са W индексом преламања које је теоријски испитивано у ранијим радовима других аутора. По први пут су временски-зависна и временски-независна једначина протока снаге решене експлицитним методом коначних разлика, за чије решавање су написана два рачуарска програма од стране кандидата и сарадника у програмском језику Fortran 90. Применом временски-независне једначине протока снаге, поред утицаја ширине унутрашњег омотача и коефицијента спрезања који су и раније теоријски испитивани, по први пут је теоријски испитан утицај дубине унутрашњег омотача, као и утицај угла и ширине улазног снопа светлости на дужине на којима се успостављају равнотежна и стационарна расподела модова код влакна са W индексом преламања. Применом временски-зависне једначине протока снаге, поред утицаја ширине унутрашњег омотача и коефицијента спрезања који су и раније испитивани, по први пут је испитан утицај дубине унутрашњег омотача, као и утицај угла и ширине улазног снопа светлости на фреквентни одзив, пропусни опсег и губитке код влакна са W индексом преламања. Добијени резултати показују да се променом ширине и дубине унутрашњег омотача, променом коефицијента спрезања модова, као и избором одговарајућег угла и ширине улазног снопа светлости, пропусни опсег може мењати у интервалу од 20-250 MHz·km, при чему су губици услед спрезања модова у интервалу од 0.3-25 dB/km за анализирано стаклено влакно са W индексом преламања. Пропусни опсег стаклених вишемодних оптичких влакана са једним омотачем, која се данас користе у пракси, је у интервалу од 5-50 MHz·km. Може се закључити да се уз одговарајући избор структурних параметара анализираниог стакленог W влакна и карактеристика улазног снопа светлости може добити већи пропусни опсег у поређењу са стакленим оптичким влакном са једним омотачем.

Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Имајући увид у актуелно стање у изучавању оптичких влакана са W индексом преламања, Комисија закључује да докторска дисертација кандидата Ане Симовић садржи оригиналне научне резултате који нису били предмет ниједног до сада објављеног истраживања у овој области.

Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Кандидат Ана Симовић бави се научним радом у области оптичке физике, о чему сведоче објављени радови: 1 рад у часопису категорије M21; 5 радова у часописима категорије M22; 1 рад у часопису категорије M23.

Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Предати рукопис „Испитивање преносних карактеристика вишемодних оптичких влакана са W индексом преламања” кандидата Ане Симовић у потпуности и по обиму и по квалитету испуњава првобитно постављене захтеве приликом пријављивања теме докторске дисертације.

Научни резултати докторске дисертације

Комисија истиче да је из области докторске дисертације кандидат Ана Симовић публиковала **четири** рада у часописима са листе цитираних часописа (SCI/ISI).

1. S. Savović, A. Simović, A. Djordjević, “Explicit finite difference solution of the power flow equation in W -type optical fibers,” Optics and Laser Technology, Vol. 44, No. 6, 1786-1790 (2012).
DOI: [10.1016/j.optlastec.2012.01.018](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2012.01.018) (ISSN: 0030-3992)
[Импакт фактор: 1.365; 36/80; 2012; Subject Category: OPTICS] [M22]
2. A. Simović, A. Djordjević, S. Savović, "Influence of depth of intermediate layer on optical power distribution in W -type optical fibers," Applied Optics, Vol. 51, No. 20, 4896-4901 (2012).
DOI: [10.1364/AO.51.004896](https://doi.org/10.1364/AO.51.004896) (ISSN: 1559-128X)
[Импакт фактор: 1.689; 29/80; 2012; Subject Category: OPTICS] [M22]
3. S. Savović, A. Simović, A. Djordjević, “Influence of width of launch beam distribution on equilibrium mode distribution in W -type glass optical fibers,” Optics and Laser Technology, Vol. 48, 565-569 (2013).
DOI: [10.1016/j.optlastec.2012.11.033](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2012.11.033) (ISSN: 0030-3992)
[Импакт фактор: 1.365; 36/80; 2012; Subject Category: OPTICS] [M22]

4. **A. Simović, S. Savović, B. Drljača, A. Djordjevich**, "Influence of intermediate layer on transmission characteristics of W-type optical fibers," *Optics and Laser Technology*, Vol. 57, 209-215 (2014).
DOI: [10.1016/j.oplastec.2013.10.024](https://doi.org/10.1016/j.oplastec.2013.10.024) (ISSN: 0030-3992)
[Импакт фактор: 1.365; 36/80; 2012; Subject Category: OPTICS] [M22]

Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати добијени у овој дисертацији могу наћи примену у актуелном проучавању испитивања преносних карактеристика оптичких влакна са W индексом преламања. Добијени резултати се могу применити при избору оптималног профила индекса преламања узимајући у обзир однос пропусног опсега и губитака.

Начин презентирања резултата научној јавности

Резултати до којих је кандидат дошао представљени су научној јавности кроз четири публикована рада у часописима који се налазе на SCI/ISI листи, категорије M22.

После детаљног прегледа докторске дисертације, као и на основу свега што је констатовано и написано у овом извештају, Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК

Комисија сматра да приложени текст докторске дисертације кандидата Ане Симовић „Испитивање преносних карактеристика вишемодних оптичких влакана са W индексом преламања” у потпуности испуњава циљеве постављене у теми коју је прихватило Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Крагујевцу. Комисија истиче да је поднети текст самосталан рад кандидата и да постоје нови и оригинални резултати. На основу анализе научних радова Ане Симовић може се закључити да је она испољила запажену научну активност, као и смисао за анализу и решавање научних проблема из области оптичке физике. Систематски приступ и свестрана анализа указују да је кандидат овладао научном облашћу под коју потпада тема докторске дисертације и да поседује одговарајућу специфичну стручност и оспособљеност. Ова дисертација представља значајан допринос физици, и по квалитету, обиму и оствареним резултатима задовољава законске и друге специфичне услове одређене за израду докторске дисертације.

На основу горе изнетих резултата и података о раду „Испитивање преносних карактеристика вишемодних оптичких влакана са W индексом преламања ” кандидата Ане Симић, Комисија са задовољством предлаже Научно-наставном већу Природно-математичког факултета у Крагујевцу да прихвати понуђени текст као докторску дисертацију, те да омогући њену јавну одбрану у складу са Законом и нормативним актима Природно-математичког факултета у Крагујевцу и Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу и Београду,

02.06.2014. год.

Чланови Комисије:

др Дејан Пантелић, научни саветник,

Институт за физику,

Београд

Ужа научна област: Оптика



др Светислав Савовић, редовни професор (ментор)

Природно-математички факултет,

Универзитет у Крагујевцу

Ужа научна област: Субатомска физика

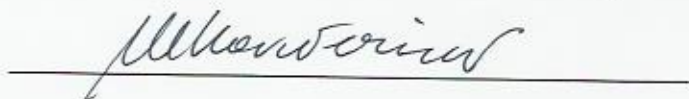


др Милан Ковачевић, ванредни професор,

Природно-математички факултет,

Универзитет у Крагујевцу

Ужа научна област: Атомска, молекулска и оптичка физика

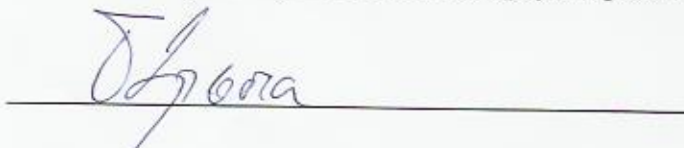


др Бранко Дрљача, доцент

Природно-математички факултет

Косовска Митровица, Универзитет у Приштини

ужа научна област: Теоријска физика



ПРИЛОГ: Листа објављених радова кандидата

Радови из области докторске дисертације:

1. S. Savović, A. **Simović**, A. Djordjevich, "Explicit finite difference solution of the power flow equation in W-type optical fibers," Optics and Laser Technology Vol. 44, No. 6, 1786-1790 (2012).

DOI: [10.1016/j.optlastec.2012.01.018](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2012.01.018) (ISSN: 0030-3992)

[Импакт фактор: 1.365; 36/80; 2012; Subject Category: OPTICS] [M22]

2. A. **Simović**, A. Djordjevich, S. Savović, "Influence of depth of intermediate layer on optical power distribution in W-type optical fibers," Applied Optics, Vol. 51, No. 20, 4896-4901 (2012).

DOI: [10.1364/AO.51.004896](https://doi.org/10.1364/AO.51.004896) (ISSN: 1559-128X)

[Импакт фактор: 1.689; 29/80; 2012; Subject Category: OPTICS] [M22]

3. S. Savović, A. **Simović**, A. Djordjevich, "Influence of width of launch beam distribution on equilibrium mode distribution in W-type glass optical fibers," Optics and Laser Technology, Vol. 48, 565-569 (2013).

DOI: [10.1016/j.optlastec.2012.11.033](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2012.11.033) (ISSN: 0030-3992)

[Импакт фактор: 1.365; 36/80; 2012; Subject Category: OPTICS] [M22]

4. A. **Simović**, S. Savović, B. Drljača, A. Djordjevich, "Influence of intermediate layer on transmission characteristics of W-type optical fibers," Optics and Laser Technology, Vol. 57, 209-215 (2014).

DOI: [10.1016/j.optlastec.2013.10.024](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2013.10.024) (ISSN: 0030-3992)

[Импакт фактор: 1.365; 36/80; 2012; Subject Category: OPTICS] [M22]

Остали радови кандидата

1. S. Savović, A. Djordjevich, B. Drljača, A. **Simović**, "Equilibrium mode distribution and steady state distribution in step index glass optical fibers," Acta Physica Polonica A, Vol. 116, No. 4, 655-657 (2009).

DOI: [10.1364/AO.50.004170](https://doi.org/10.1364/AO.50.004170) (ISSN: 0587-4246)

[Импакт фактор: 0.433; 60/71; 2009; Subject Category: Physics (Multidisciplinary)] [M23]

2. A. Djordjevich, S. Savović, P. W. Tse, B. Drljača, A. **Simović**, "Mode coupling in strained and unstrained step-index glass optical fibers," Applied Optics, Vol. 49, No. 27, 5076-5080 (2010).

DOI: [10.1364/AO.49.005076](https://doi.org/10.1364/AO.49.005076) (ISSN: 0003-6935)

[Импакт фактор: 1.707; 23/78; 2010; Subject Category: OPTICS] [M21]

3. S. Savović, A. Djordjevich, A. **Simovic**, B. Drljača, "Equilibrium mode distribution and steady-state distribution in 100-400 μm core step-index silica optical fibers," Applied Optics, Vol. 50, No. 21, 4170-4173 (2011).

DOI: [10.1364/AO.50.004170](https://doi.org/10.1364/AO.50.004170) (ISSN: 1559-128X)

[Импакт фактор: 1.748; 27/79; 2011; Subject Category: OPTICS] [M22]