

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Немања Лучића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5054/11-1 од 17.11.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Немања Лучића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Пропагација светлости у детерминистичким апериодичним низовима таласовода” (енг. "Light propagation in deterministic aperiodic waveguide arrays"¹).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Немања Лучић је рођен 16.02.1983. године у Прибоју. 2002 године завршава Шесту београдску гимназију и исте године уписује Електротехнички факултет у Београду. Дипломира 2008. године на одсеку за Физичку електронику, смеру за Наноелектронику, оптоелектронику и ласерску технику. 2010. године завршава мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, одсек за Сигнале и системе. Докторске студује уписује 2011. године на модулу за Наноелектронику и фотонику.

Од 2011. године Немања Лучић је запослен у Институту за физику у Београду, у Центру за фотонику. Ангажован је на националном пројекту „Генерисање и карактеризација нанофотонских структура у биомедицини и информатици” (ИИИ45016).

У току 2011. и 2012. године Немања Лучић је био ангажован као истраживач на експериментима из области квантне оптике који проучавају интеракцију резонантног ласерског зрачења са атомима рубидијума (топле паре). Испитивани су феномени електромагнетски индуковане транспаренције и апсорпције, споре светлости и складиштења светлости у медијуму.

Од 2013. године кандидат ради на експериментима који проучавају комплексне оптичке зраке, њихову интеракцију са фотонским решеткама, као и пропагацију светлости кроз детерминистичке апериодичне фотонске решетке.

У периоду 2013. - 2014. године је био ангажован на српско-немачком (DAAD) пројекту „Пропагација и локализација светлости у комплексним фотонским решеткама”. У оквиру пројекта, провео је три месеца у групи за Нелинеарну фотонику, Института за

¹ Дисертација ће бити писана на енглеском језику

примењену физику, Универзитета у Минстеру. Бавио се проблемима генерације и карактеризације дводимензионих апериодичних фотонских решетки у нелинеарном медијуму.

Одлуком Научног већа Института за физику у Београду од 16.04.2013. године, Немања Лучић је изабран у звање истраживач сарадник.

Члан је Оптичког друштва Србије и Удружења инжењера електротехнике Србије.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У току докторских студија, до подношења Захтева за одобрење теме дисертације, Немања Лучић је испунио све обавезе предвиђене Студијским програмом и изборним подручјем студија (Научно-стручни рад, Студијски истраживачки рад I и II), и положио следеће испите:

1. Савремени мерни системи (оцена 9 – 9 ЕСПБ),
2. Оптичелектронске мерне методе (оцена 10 – 9 ЕСПБ),
3. Електричне и оптичке карактеристике материјала у наноелектроници и фотоници (оцена 10 – 9 ЕСПБ),
4. Квантна оптика (оцена 10 – 9 ЕСПБ),
5. Фотонске комуникације (оцена 10 – 9 ЕСПБ),
6. Модерне фотонске компоненте и системи (оцена 10 – 9 ЕСПБ),
7. Пројектовање интегрисаних кола (оцена 10 – 9 ЕСПБ),
8. Увод у научни рад (оцена 10 – 9 ЕСПБ),
9. Фотонски кристали и оптички метаматеријали (оцена 10 – 9 ЕСПБ),
10. Транспортни процеси у наноелектроници и фотоници (оцена 9 – 9 ЕСПБ).

Кандидат је 18.12.2015. године, пред комисијом у саставу: 1. др Слободан Петричевић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, 2. др Дејан Тимотијевић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт за физику, 3. др Бранко Колунџија, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, одбранио предложену тему докторске дисертације (добао оцену **задовољно**).

Резултати научне активности Немање Лучића објављени су у следећим радовима:

1. N. M. Lučić, D. M. Jović Savić, A. Piper, D. Ž. Grujić, J. M. Vasiljević, D. V. Pantelić, B. M. Jelenković, and D. V. Timotijević, *Light propagation in quasiperiodic Fibonacci waveguide arrays*, J. Opt. Soc. Am. B, Vol 32, No7, 2015, pp. 1515-1513 – **M22** (doi: 10.1364/JOSAB.32.001510, **IF = 1.970**),
2. S. N. Nikolić, M. Radonjić, N. M. Lučić, A. J. Krmpot, and B. M. Jelenković, *Transient development of Zeeman electromagnetically induced transparency during propagation of Raman-Ramsey pulses through Rb buffer gas cell*, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., Vol 48, 2015, 045501 (11pp) – **M21** (doi:10.1088/0953-4075/48/4/045501, **IF = 1.975**),
3. S. N. Nikolić, M. Radonjić, N. M. Lučić, A. J. Krmpot, and B. M. Jelenković, *Optical Ramsey fringes observed during temporal evolution of Zeeman coherences in Rb buffer gas cell*, Phys. Scr., Vol T162, 2014, 014038 (4pp) – **M22** (doi:10.1088/0031-8949/2014/T162/014038, **IF = 1.126**),
4. N. M. Lučić, B. M. Bokić, D. Ž. Grujić, D. V. Pantelić, B. M. Jelenković, A. Piper, D. M. Jović, and D. V. Timotijević, *Defect-guided Airy beams in optically induced waveguide*

- arrays, Phys. Rev. A, Vol 88, 2013, 063815 (4pp) – **M21** (doi: 10.1103/PhysRevA.88.063815, **IF = 3.042**),
5. S. N. Nikolić, A. J. Krmpot, N. M. Lučić, B. V. Zlatković, M. Radonjić, and B. M. Jelenković, *Effects of laser beam diameter on electromagnetically induced transparency due to Zeeman coherences in Rb vapor*, Phys. Scr., Vol T157, 2013, 014019 (4pp) – **M22** (doi:10.1088/0031-8949/2013/T157/014019, **IF = 1.204**),
 6. S. N. Nikolić, M. Radonjić, A. J. Krmpot, N. M. Lučić, B. V. Zlatković, and B. M. Jelenković, *Effects of laser beam profile on Zeeman electromagnetically induced transparency in Rb buffer gas cell*, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., Vol 46, 2013, 075501 (10pp) – **M21** (doi:10.1088/0953-4075/46/7/075501, **IF = 2.031**),
 7. S. N. Nikolić, V. Đokić, N. M. Lučić, A. J. Krmpot, S. M. Ćuk, M. Radonjić and B. M. Jelenković, *The connection between electromagnetically induced transparency in the Zeeman configuration and slow light in hot rubidium vapor*, Phys. Scr., Vol T149, 2012, 014009 (3pp) – **M22** (doi:10.1088/0031-8949/2012/T149/014009, **IF = 1.204**),

и на конференцијама:

1. S. N. Nikolić, M. Radonjić, N. M. Lučić, A. J. Krmpot, and B. M. Jelenković, *Propagation of Raman-Ramsey pulses through Rb buffer gas cell under condition of Zeeman Electromagnetically Induced Transparency*, Book of Abstracts of Nanoscale Quantum Optics, Kick-off Workshop, Belgrade, Serbia, 9th – 10th April 2015. pp. 67 – **M34** (ISBN: 978-86-82441-42-7),
2. F. Diebel, M. Boguslawski, N. M. Lučić, D. M. Jović Savić, and C. Denz, *Design and fabrication of two-dimensional deterministic aperiodic photonic lattices by optical induction*, Proceedings of SPIE 9374, Advanced Fabrication Technologies for Micro/Nano Optics and Photonics VIII, 93740T, San Francisco, CA, 7th – 12th February 2015., pp. 28 – **M33** (ISBN: 978-16-28414-64-6),
3. N. M. Lučić, B. M. Bokić, D. Ž. Grujić, D. V. Pantelić, B. M. Jelenković, A. Piper, D. M. Jović, and D. V. Timotijević, *Airy beam propagation along one dimensional optically induced photonic lattice with defect*, OASIS-5, Conference and Exhibition on Optics and Electro-Optics, Tel Aviv, Israel, 2nd - 3rd March 2015, pp. 74 – **M34**,
4. N. M. Lučić, B. M. Bokić, D. Ž. Grujić, D. V. Pantelić, B. M. Jelenković, A. Piper, D. M. Jović, and D. V. Timotijević, *Guiding of Airy Beams with Optically Induced Waveguide Arrays in the Nonlinear Crystal*, Proceedings of ICTON 2014, 16th International Conference on Transparent Optical Networks, Graz, Austria, July 6th - 10th, 2014, 1612 (3pp) – **M33**,
5. M. Radonjić, Z. Grujić, M. Lekić, S. Nikolić, A. Krmpot, N. Lučić, B. Zlatković, I. Radojičić, D. Arsenović and B. M. Jelenković, *Influence of Ramsey interference in space and time domains on electromagnetically induced coherent resonances*, Book of Abstracts of PHOTONICA'13, IV International School and Conference on Photonics, Belgrade, Serbia, 26th - 30th August, 2013, pp. 60 – **M34** (ISBN: 978-86-82441-36-6),
6. N. Lučić, B. Bokić, D. Grujić, D. Pantelić, B. Jelenković, D. Vasiljević, D. Timotijević, A. Piper, and D. Jović, *Defect controlled Airy beam acceleration in optically induced waveguide arrays*, Book of Abstracts of PHOTONICA'13, IV International School and Conference on Photonics, Belgrade, Serbia, 26th- 30th August, 2013, pp. 70 – **M34** (ISBN: 978-86-82441-36-6),

7. S. N. Nikolić, M. Radonjić, N. M. Lučić, A. J. Krmpot, B. V. Zlatković, and B. M. Jelenković, *Effects of a repeated atom-laser interaction on temporal build-up of dark state and slow light in Rb buffer gas cell*, Book of Abstracts of PHOTONICA'13, IV International School and Conference on Photonics, Belgrade, Serbia, 26th- 30th August, 2013, pp. 124 – M34 (ISBN: 978-86-82441-36-6),
8. S. N. Nikolić, A. J. Krmpot, N. M. Lučić, B. V. Zlatković, M. Radonjić and B. M. Jelenković, *Electromagnetically induced transparency due to Zeeman coherence in buffer-gas cell – effects of laser beam radial profile and intensity*, ICOM 2012 – The 3rd International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices, Beograd, Srbija, 03rd – 06th September, 2012, pp.136 – M34 (ISBN: 978-86-7306-116-0).

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег научно-истраживачког рада, објављених научних резултата и успешно реализованих обавеза према плану и програму докторских студија, Комисија закључује да је кандидат Немања Лучић квалификован за израду докторске дисертације на предложеној тему.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене дисертације је простирање светлости кроз детерминистичке апериодичне низове таласовода (фотонске решетке), међусобно спрегнуте еванесцентним пољем. При простирању светлости кроз периодичне фотонске решетке долази до линеарног ширења расподеле интензитета у равни ортогоналној на правац пропагације светлости (дискретна дифракција), док се код неуређених решетки ова ширина не мења (Андерсонова локализација). Детерминистичке апериодичне фотонске решетке су по својој природи прелазна форма између периодичних и неуређених структура, па у зависности од типа, могу да утичу на експанзију зрака и као периодичне и као неуређене. Додатно, биће разматран утицај периодичне решетки са дефектом на иницијално „недифрагујући“ Ејри (Airy) светлосни сноп.

Циљ истраживања је одредити да ли и у којој мери, неки типови детерминистичких апериодичних решетки (нпр. Фибоначи фотонска решетка) потискују дифракцију, као и да ли у оваквим структурама постоје услови за Андерсонову локализацију. Уколико је могуће постићи локализацију, потребно је одредити тачне услове под којима се иста остварује. Поред тога, биће испитивано да ли, и у којој мери, присуство дефекта у регуларној решетки утиче на профил и параболичну путању Ејри снопа.

Проблем пропагације светлости кроз периодичне и неуређене фотонске структуре (дискретна дифракција и Андерсонова локализација), као и теорија детерминистичких апериодичних кристала, темељно је обрађен у литератури. Међутим, број радова на тему детерминистичких апериодичних фотонских структура значајно расте тек последњих неколико година. Преглед постигнутих резултата, као и потенцијални правци за будућа истраживања се могу наћи у следећим радовима:

1. D. N. Christodoulides, F. Lederer, Y. Silberberg, *Discretizing light behaviour in linear and nonlinear waveguide lattices*, Nature, Vol 424, 2003, 817-823,

2. M. Segev, Y. Silberberg, D. N. Christodoulides, *Anderson localization of Light*, Nature Photonics Vol 7, 2013, pp.197-204,
3. E. Maciá, *The role of aperiodic order in science and technology*, Rep. Prog. Phys., Vol 69, 2006, pp. 397-441,
4. M. Kohmoto, B. Sutherland, K. Iguchi, *Localization in Optics: Quasiperiodic Media*, Phys. Rev. Lett. Vol 58, No 23, 1987, pp. 2436-2438,
5. Y. Lahini, R. Pugatch, F. Pozzi, M. Sorel, R. Morandotti, N Davidson, Y. Silberberg, *Observation of a Localization Transition in Quasiperiodic Photonic Lattices*, Phys. Rev. Lett. Vol 103, 2009, 013901 (4pp.),
6. L. Dal Negro, S. V. Boriskina, *Deterministic aperiodic nanostructures for photonics and plasmonics applications*, Laser & Photon. Rev., Vol 6, No 2, 2012, pp. 178-218 ,
7. Z. V. Vardeny, A. Nahata, A. Agrawal, *Optic of photonic quasicrystals*, Nature Photon. Vol 7, 2013, pp. 177-187.

Генерација и пропација Ејријевог зрака у хомогеним срединама, како линеарним тако и нелинеарним, третирана је у низу радова. Као репрезентативни се издвајају радови:

1. G. A. Siviloglou, J. Broky, A. Dogariu and D. N. Christodoulides, *Observation of Accelerating Airy Beams*, Phys. Rev. Lett. Vol 99, 2007, 213901 (4pp.),
2. Ido Kaminer, Mordechai Segev and Demetrios N. Christodoulides, *Self-Accelerating Self-Trapped Optical Beams*, Phys. Rev. Lett., Vol 106, 2011, 213903 (4pp.),
3. Tal Ellenbogen, Noa Voloach-Bloch, Ayelet Ganany-Padowicz and Ady Arie, *Nonlinear generation and manipulation of Airy beams*, Nature Photon., Vol 7, 2009, pp. 395-398.

С друге стране, пропација Ејријевог зрака у фотонским решеткама је за сада отворено питање.

3. Полазне хипотезе

1. Једнодимензиони и дводимензиони низови таласовода, чије је спрежање модулисано по Фибоначи секвенци (Фибоначи решетка), потискују дифракцију при пропацији светлости дуж таласовода.
2. У једнодимензионој Фибоначи решетки постоје услови за трансверзалну Андерсонову локализацију светлости.
3. Присуство неуређености у једнодимензионој Фибоначи решетки умањује ниво потискивања дифракције светлости.
4. Дефект у периодичној фотонској решетки утиче на профил и трансверзалну акцелерацију (иницијално параболична путања) Ејри зрака.

4. Научне методе истраживања

Методе које ће бити коришћене у овом истраживању се могу поделити у две категорије – нумеричке и експерименталне.

Нумеричке методе подразумевају симулацију пропације гаусовског зрака кроз структуру од интереса. У ту сврху може се користити метод пропације зрака са коначним разликама (*Finite-Difference Beam Propagation Method*). Овај метод је погодан јер скаларна параксијална једначина довољно добро описује жељени систем који се одликује малим контрастима индекса преламања, дужином структуре реда величине неколико центиметара и ширином појединачног таласовода од неколико микрометара.

Експериментални метод подразумева два корака – генерисање структуре на бази низа таласовода са одговарајућим карактеристикама и снимање пропагације светлости кроз генерисани низ.

Таласоводи ће бити реализовани у фоторефрактивном материјалу.

Генерисање једнодимензионог низа таласовода биће вршено у литијум-ниобату допираном гвожђем, методом директног ласерског уписивања. У ту сврху биће коришћен систем који се састоји од програмабилног двоосног позиционера (корак 50 nm) и ласера таласне дужине 473 nm. Ова таласна дужина је погодна због добре апсорпције у литијум-ниобату.

За побуду структуре ће бити коришћен зелени (532 nm) или црвени (633 nm) ласер. Ове таласне дужине су предложене због мале апсорпције у литијум-ниобату. Ласерски зраци ће пре побуде структуре бити додатно обликовани да би се добила гаусовска расподела интензитета.

Поред гаусовског, за побуду ће бити коришћен и једнодимензиони Ејријев зрак који ће бити генерисан коришћењем просторног модулятора светлости у фазном режиму. Биће коришћен зелени ласер (532 nm) због оптималног одзива модулятора на овој таласној дужини.

Генерисање дводимензионог низа таласовода биће вршено у стронцијум-баријум-ниобату допираном церијумом. Метод подразумева примену недифрагујућих Беселових зрака, при примењеном трансверзалном електричном пољу величине приближно 2000 V/cm. Генерисање зрака, као и њихово позиционирање биће постигнуто коришћењем просторног модулятора светлости у фазном режиму. Због оптималних својстава, користи се ласер таласне дужине 532 nm.

За побуду структуре биће коришћен исти ласер који се користи за генерацију структуре. Побудни сноп ће бити гаусовски.

У оба случаја детекција ће бити вршена снимањем излазне стране структуре CCD камером са објективом максималног доступног увећања.

5. Очекивани научни допринос

1. Утврђивање могућности управљања дифракцијом у Фибоначи фотонској решетки.
2. Утврђивање да ли постоје услови за Андерсонову локализацију у Фибоначи решетки.
3. Потенцијално отварање новог приступа у дизајну оптичких интегрисаних кола.
4. Утврђивање могућности управљања правцем пропагације Ејријевог зрака у фотонској решетки

6. План истраживања и структура рада

У првој фази кандидат треба да се упозна са литературом из области релевантних за дисертацију. То подразумева упознавање са основном литературом из области фотонских кристала, као и кристала и квазикристала у физици чврстог стања. Даље, потребно је темељно упознавање литературе из области дискретних оптичких структура, као и Андерсонове локализације у оптичким системима. На крају, потребно је проучити радове из области недифрагујућих оптичких снопова.

Наредна фаза подразумева израду одговарајуће једнодимензионе фотонске решетке. Потребно је оптимизовати постојећи систем за директно ласерско уписивање што подразумева подешавање система за фокусирање зрака за уписивање и писање програма који контролише кретање двоосног позиционера. Након тога је потребно одредити оптималну

брзину уписивања таласовода, од које директно зависи постигнути контраст индекса преламања. Структуре уписане у литијум-ниобат се бришу када се исти изложи температури већој од 220 °C у трајању од најмање 40 min. Та особина је веома корисна из разлога што се исти кристал може након тога користити за уписивање нове фотонске решетке. За ту сврху ће бити израђена одговарајућа комора за контролисано загревање.

Следећа фаза је постављање експеримента за снимање пропагације зрака кроз реализовану структуру. Зрак који излази из одабраног ласера ће се комбинацијом одговарајућих сочива, Фуријеових филтера и поларизатора модификовати да би се добио линеарно поларизовани гаусовски зрак. На основу измерених параметара добијеног зрака биће постављен систем сочива за фокусирање. Пречник фокуса треба да буде сличан ширини једног таласовода. Снимаће се излазна страна структуре CCD камером са макро објективом. Биће написан програм за анализу добијених снимака.

Након завршетка фазе припреме експерименталне поставке, кренуло би се са проучавањем конкретних структура. У литијум-ниобат ће бити уписан низ идентичних таласовода. Низ растојања међу суседним таласоводима састојаће се од две вредности, распоређене на такав начин да чине Фибоначијеву бинарну реч. Однос између ове две вредности је математички златни пресек. Разматраће се како различите улазне позиције утичу на дифракцију. Биће вршено поређење са одговарајућим периодичним решеткама.

Следећа фаза би се односила на испитивање утицаја „нивоа апериодичности“ као и присуства неуређености на дифракцију у Фибоначи решетки. Овај поступак би се могао применити и на неке друге детерминистичке апериодичне структуре.

Наредни корак би био генерисање једнодимензионог Ејријевог зрака. У ту сврху би био коришћен просторни модулатор светлости уз одговарајуће Фуријеово сочиво и два поларизатора. Овај зрак би се користио за побуду периодичне решетке са дефектом у околини дефекта. Генерација решетке и снимање пропагације би били реализовани као у претходном експерименту.

По завршетку експеримената са једнодимензионим структурама, прешло би се на испитивање дводимензионих структура. Ту би био постављен експеримент који подразумева методу фоторефрактивне индукције таласовода у стронцијум-баријум-ниобату Беселовим зрацима. Најпре би био постављен оптички систем за генерисање Беселових зрака за индукцију, као и гаусовских за побуду индуковане структуре, који подразумева коришћење система сочива и огледала, Фуријеове филтере и просторни модулатор светлости.

Упоредо са постављањем експеримента биће реализован софтвер за симулацију пропагације зрака. У ту сврху ће бити коришћен програмски пакет *MatLab* или неки од програмских језика погодних за нумеричко решавање једначина (C, C++ или *Fortran*). За сваку структуру ће бити поређени резултати добијени експериментом и симулацијама.

7. Закључак и предлог

Кандидат Немања Лучић је пријавио докторску дисертацију под називом:

„Пропагација светлости у детерминистичким апериодичним низовима таласовода“

(енг. **Light propagation in deterministic aperiodic waveguide arrays**)

у складу са Правилником о докторским студијама на Електротехничком факултету Универзитета у Београду и поднео сва предвиђена документа. На основу поднетих материјала Комисија закључује да кандидат дипл. инж. – мастер Немања Лучић испуњава формалне и суштинске услове за приступање изради докторске дисертације. У предлогу дисертације јасно и прегледно су наведени научни проблеми које дисертација треба да разреши, као и њени очекивани научни доприноси. На основу образложења предмета и циља

истраживања, полазних хипотеза и методологије истраживања, као и очекиваних научних доприноса и плана истраживања, закључујемо да је предложена тема научно актуелна у области Физичке електронике (ужа област фотоника и наноелектроника) и за менторе предлажемо др Дејана Гвоздића, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду, и др Јасну Црњански, доцента на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Имајући у виду да је истраживање кандидата вршено у оквиру научноистраживачког пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије „Генерисање и карактеризација нанофотонских структура у биомедицини и информатици“ (ИИИИ45016), као и међународног DAAD пројекта „Пропагација и локализација светлости у комплексним фотонским решеткама,“ дисертација ће бити писана на енглеском језику.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Немањи Лучићу одобри израду докторске дисертације под насловом „Пропагација светлости у детерминистичким апериодичним низовима таласовода“ (енг. Light propagation in deterministic aperiodic waveguide arrays).

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

У Београду, 20.01.2016.



др Дејан Гвоздић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јасна Црњански, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Слободан Петричевић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Дејан Тимотијевић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за физику



др Бранко Колунџија, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет