

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На I седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 24.10.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације **Algebraic topology of complex networks and topological aspects of nonlinear dynamical systems** (*Алгебарска топологија комплексних мрежа и тополошки аспекти нелинеарних динамичких система*) из научне области Статистичка физика, коју је кандидат Мирослав Анђелковић предао Физичком факултету у Београду дана 22. 10. 2018. године. На основу увида у приложени материјал, подносимо Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Мирослав Анђелковић је рођен 27. 05. 1987. у Краљеву. Основну школу завршио је у Трстенику, средњу школу, Математичку гимназију, завршио је у Краљеву. Кандидат је уписао основне студије 2006/2007 године на Физичком факултету, Универзитет у Београду, на смеру Теоријска и експериментална физика. Основне студије завршио је 2010/2011 године, са просечном оценом 8.76. Кандидат је уписао мастер студије 2011/2012 године и завршио са просечном оценом 10.00. Мастер рад под насловом „О утицају преноса информације и топологије мреже агената на модел двоструке континуалне аукције финансијског тржишта“ одбранио је са оценом 10 под менторством др Владимира Миљковића. Докторске студије кандидат је уписао 2013/2014 године на смеру Физика кондензоване материје и статистичка физика, под менторством др Милана Рајковића. Кандидат је одбранио тему доктората пред Колегијумом докторских студија и наслов дисертације је одобрен на седници Наставно-научног већа одржаној 06.02.2017. Године, а за ментора је предложен др Милан Рајковић. Од 2015. године запослен је као истраживач-приправник, а од 2018. године као истраживач-сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“.

1.2. Научна активност

Истраживачки рад кандидата Мирослава Анђелковића спада у оквир физике комплексних система, нелинеарних динамичких система и анализе временских серија и усмерен је ка формулисању и прилагођавању математичког формализма комбинаторне алгебарске топологије карактеризацији комплексних и нелинеарних динамичких система. Досадашњи истраживачки рад кандидата подељен је у више целина: (1) конструкција симплицијалних комплекса из комплексних мрежа и временских серија, (2) испитивање квалитативних и квантитативних особина тако

добијених симплицијалних комплекса, (3) анализа рекурентних нелинеарних динамичких система. Резултати истраживања публиковани су у 7 радова у међународним часописима.

2. Опис докторске дисертације

2.1. Основни подаци

Докторска дисертација кандидата Мирослава Анђелковића **Algebraic topology of complex networks and topological aspects of nonlinear dynamical systems** (*Алгебарска топологија комплексних мрежа и тополошки аспекти нелинеарних динамичких система*) написана је на енглеском језику на 148 страна, не рачунајући насловну страну, захвалнице, и резиме (на енглеском и српском језику). Дисертација се састоји од 6 поглавља и списка литературе од 276 референце. Резултати су илустровани на 76 слика и графика, као и 10 табела.

2.2. Предмет и циљ рада

По својој тематици, докторска дисертација кандидата Мирослава Анђелковића, спада у област статистичке физике, под-област физика комплексних система. Истраживања комплексних система се одвијају у различитим правцима анализе и моделирања, и у последњих неколико година довела су до наглог пораста броја резултата и публикација које су прошириле перспективу погледа на свет око нас. Алата који проистичу из алгебарске топологије, представљени у овој дисертацији, имали су велики утицај као средство за истраживање и откривање, не тако очигледних, особина које раније нису биле познате. Симплицијални комплекси постају важан предмет студија у модерној теоријској физици захваљујући потенцијалу примене концепата из алгебарске топологије у разним областима науке. Досадашња проучавања комплексних система (у физици и математици) представљених преко великог броја елемената који узајамно комуницирају путем упарених односа, у великој мери су базирана на концептима и методама који потичу из теорије графова, односно комплексних мрежа. Анализа комплексних мрежа је довела до бољег увида у неке од особина комплексних система као што су њихова структура и самоорганизација, проучавајући, између осталог, механизме формирања заједница од интерагујућих елемената комплексног система.

У својој дисертацији кандидат се фокусира на анализу структура и подструктура комплексних мрежа и агрегације елемената на вишим тополошком димензијама комплексних мрежа. Такође, представља начине за конструкцију симплицијалних комплекса из комплексних мрежа, података уграђених у метрички простор или из временских серија. Тако добијене симплицијалне комплексе кандидат користи за анализу комплексних система из области физике, социологије и неурологије. Даље, кандидат у дисертацији уводи методе за проучавање нелинеарних динамичких система помоћу повратних (рекурентних) симплицијалних комплекса. На тај начин су изучавани модели детерминистичког хаоса и приказани су обрасци за препознавање различитих режима таквих система, и добијени су алати за испитивање режима непознатих динамичких система.

2.3. Приказ садржаја докторске дисертације са кратким описом резултата

Дисертација је подељена на следећих шест поглавља: **Introduction** (Увод), **Algebraic topology of complex networks** (Алгебарска топологија комплексних мрежа), **Appliciation and results 1** (Примена и резултати 1), **Topological aspects of nonlinear dynamical systems** (Тополошки аспекти нелинеарних динамичких система), **Appliciation and results 2** (Примена и резултати 2), **Conclusion and future perspectives** (Закључак и будуће перспективе).

У **Уводу** су наведене особине комплексних система и мрежа и приказана је неопходност представљања истих симплицијалним комплексима. Приказана је проблематика везана за комплексне системе и нелинеарне динамичке системе и смештање тако задате проблематике у математички оквир комбинаторне алгебарске топологије. Указано је на шири контекст дисертације и примену методологије на анализу система из различитих научних области коришћењем симплицијалних комплекса. Напошетку, дат је посебан осврт на предстојеће резултате приказане у дисертацији и смернице за будућа истраживања.

У поглављу **Алгебарска топологија комплексних мрежа** уведени су основни појмови који дефинишу симплицијалне комплексе, као и њихове тополошке особине (структурни вектори, хомологија, Betti бројеви, комбинаторни лапласијан). Један део овог поглавља посвећен је различитим начинима добијања симплицијалних комплекса из мрежа, временских серија и података који су уграђени у метрички простор.

Поглавље **Примена и резултати 1** је подељено на 5 целина које се тичу резултата објављених у радовима кандидата. Прве две целине овог поглавља дају осврт на анализу система које долазе и социјалних и друштвених наука, анализу пропагације емоција на друштвеној мрежи *MySpace* и креирања колективног знања анализом математичког форума *Mathematics stack exchange*. Трећа целина тиче се анализе загушења у саобраћају пакета информација које се шире по мрежи из модела. Четврта целина даје осврт на анализу фракталности временских серија транспорта наелектрисања и анализу топологије фазног простора у коме се наелектрисања крећу. Последња целина приказује резултате анализе мреже која долази из области социјалне неурологије, а креирана је путем синхронизације мозга за време комуникације путем говора.

Поглавље **Тополошки аспекти нелинеарних динамичких система** даје осврт на нелинеарне динамичке системе, детерминистички хаос, квалитативне и квантитативне особине истих кроз анализу помоћу повратних (рекурентних) симплицијалних комплекса. Уведене су нове методе за проналажење образаца за препознавање различитих режима динамичких система у циљу испитивања непознатих динамичких система.

У поглављу **Примена и резултати 2** приказани су резултати анализе Lorenz-овог и Rössler-овог атрактора и стохастичког сигнала, добијених методама описаним у претходном поглављу и упоређени тако добијени резултати. Приказани су обрасци за препознавање свих режима динамичког система зависно од степена хаотичности у њима.

Последње поглавље, **Закључак и будуће перспективе** посвећено је осврту на разлоге избора тематике и сумирању главних закључака истраживања представљених у дисертацији. На крају су представљени могући правци будућих истраживања.

3. Публикације кандидата

Резултати истраживања који су приказани у докторској дисертацији Мирослава Анђелковића објављени су у радовима:

[1] B. Tadić, **M. Andjelković**, B. Mileva-Boshkoska, Z. Levnajić, *Algebraic topology of multi-brain connectivity networks reveals dissimilarity in functional patterns during spoken communications*, PLoS one 11 (11), e0166787, 2016 (M21)

[2] **M. Andjelković**, B. Tadić, M. Mitrović-Dankulov, M. Rajković, R. Melnik, *Topology of innovation spaces in the knowledge networks emerging through questions-and-answers*, PLoS one 11 (5), e0154655, 2016 (M21)

[3] B. Tadić, **M. Andjelković**, M. Šuvakov, *The influence of architecture of nanoparticle networks on collective charge transport revealed by the fractal time series and topology of phase space manifolds*, Journal of Coupled Systems and Multiscale Dynamics 4 (1), 30-42, 2016

[4] **M. Andjelković**, N. Gupte, B. Tadić, *Hidden geometry of traffic jamming*, Physical Review E 91 (5), 052817, 2015 (M21)

[5] **M. Andjelković**, B. Tadić, S. Maletić, M. Rajković, *Hierarchical sequencing of online social graphs*, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 436, 582-595, 2015 (M21)

Остали радови кандидата:

[6] M. Šuvakov, **M. Andjelković**, B. Tadić, *Hidden geometries in networks arising from cooperative self-assembly*, Scientific reports 8 (1), 1987, 2018 (M21)

[7] B. Tadić, **M. Andjelković**, M. Šuvakov, *Origin of hyperbolicity in brain-to-brain coordination networks*, Frontiers in Physics 6, 7, 2018 (M21)

4. Провера оригиналности докторске дисертације

Провером оригиналности докторске дисертације Мирослава Анђелковића, спроведене 25.10.2018. године од стране Универзитетске библиотеке Мирослав Анђелковић, Београд, на основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитет у Београду, помоћу програма “iThenticate”, утврђено је да дисертација садржи:

(http://valtez.rcub.bg.ac.rs/Files/Pravilnik_o_postupku_provere_originalnosti-dok_disert.pdf)

- 18% поклапања текста са радом [1],
- 14% поклапања текста са радом [2],
- 10% поклапања текста са радом [4],
- 8% поклапања текста са радом [5],
- 1% поклапања текста са радом [7],
- 3% поклапања текста са радовима у којима кандидат није коаутор.

Сви текстови, са којим је вршено поређење, су доступни библиотеци (базе свих часописа са SCI листе, базе докторских дисертација и мастер теза у свету и код нас). Поклапања су нађена са укљученим опцијама: “Quotes Excluded” (изоставља из провере цитирани текст) и “Bibliography Excluded” (изоставља из провере референце). Највећи део поклапања са текстом, у којем кандидат није коаутор, се односи на математичке формуле које се јављају у публикованим радовима кандидата, док је остатак грешка програма (нпр. појединачне речи или мале групе речи као што су “докторска дисертација”, “Београд, 2018”, “др”, “редовни професор”, “факултет” и слично).

Стога сматрамо да је утврђено да је докторска дисертација Мирослава Анђелковића у потпуности оригинална, као и да су у потпуности испоштована академска правила цитирања и навођења, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

ЗАКЉУЧАК

На основу актуелности теме, значаја добијених резултата и начина њихове презентације у докторској дисертацији и досадашњег истраживачког рада и публикација кандидата, сматрамо да докторски рад **Algebraic topology of complex networks and topological aspects of nonlinear dynamical systems** (*Алгебарска топологија комплексних мрежа и тополошки аспекти нелинеарних динамичких система*) кандидата Мирослава Анђелковића даје значајан допринос научној области статистичке физике, и да су задовољени сви законом прописани услови за одобравање јавне одбране дисертације. Стога, Комисија предлаже Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да ову докторску дисертацију прихвати и одобри њену јавну одбрану.

Београд, 27. 12. 2018. године

Чланови комисије:

проф. др Милан Кнежевић

редовни професор Физичког факултета Универзитета у Београду

проф. др Сунчица Елезовић-Хаџић

редовни професор Физичког факултета Универзитета у Београду

проф. др Раде Живаљевић

научни саветник Математичког института САНУ, Универзитет у Београду

др Слободан Малетић

научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“