

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за избор др Марије Митровић Данкулов у звање виши научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 06. 06. 2017. године именовани смо у комисију за избор др Марије Митровић Данкулов у звање виши научни сарадник.

Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидаткиње и увида у њен рад и публикације, Научном већу Института за физику у Београду подносимо овај извештај, у чијем прилогу се налази списак публикација кандидаткиње.

1. Биографски подаци о кандидаткињи

Марија Митровић Данкулов (девојачко Митровић) је рођена 1981. године у Ћуприји, где је завршила основну школу. Гимназију у Ћуприји је завршила 2000. године након чега је уписала основне студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика. Дипломирала је 2005. године са просечном оценом 9.78. Дипломски рад под називом "Адсорпција и растезање усмерених случајних кретања" урадила је под руководством проф. др Сунчице Елезовић-Хаџић. Након основних студија, 2005. године уписала је магистарске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Физика кондензованог стања материје. Магистарске студије је завршила са просечном оценом 10.00, и јуна 2010. године одбранила магистарски рад под називом "Налажење отежињених подструктура у неким реалним и компјутерски генерисаним мрежама". Рад је урађен под руководством проф. др Босиљке Тадић. Докторат под називом "Структура и динамика техно-социјалних мрежа" одбранила је у марту 2012. године под руководством проф. др Босиљке Тадић. Након завршених докторских студија, у периоду од априла 2012. године до фебруара 2014. године, др Марија Митровић Данкулов је радила као постдокторски истраживач у групи проф. др Санта Фортуната на Аалто Универзитету у Финској.

Од краја 2005. године до марта 2009. године др Митровић Данкулов је била ангажована као истраживач приправник у Лабораторији за примену рачунара у науци Института за физику у Београду на пројекту "Моделирање и симулације сложених физичких система" (ОН141035), чији је руководилац био др Александар Белић. Током овог периода је у оквиру међународне сарадње учествовала у пројектима CX-CMCS (ЕУ Центар изврности за нумеричко моделирање комплексних система), од 2006. до 2009. године, и билатералном српско-словеначком пројекту БИ-РС/08-09-047, током 2008. године. Била је редовни учесник, кроз конференције и кратке научне мисије, COST акција P-10 "Physics of

risk", MP0801 "Physics of Competition and Conflicts", TD1210 "KnowEscape - Analyzing the dynamics of information and knowledge landscapes", а тренутно је представник Србије у менаџмент комитету COST акције TU1305 "Social Networks and Travel Behaviour". Од марта 2009. године до априла 2012. године била је запослена као млади истраживач на Одсеку за теоријску физику Института Јожеф Стефан у Љубљани, Словенија. Током тог периода била је ангажована на европском пројекту FP7 "Cyberemotions - Collective emotions in cyberspace". У периоду од априла 2012. године до фебруара 2014. године била је запослена на Одсеку за биомедицински инжењеринг и компјутерске науке, Школе за науку Аалто Универзитета у Финској. Од марта 2014. године запослена је у Лабораторији за примену рачунара у науци у оквиру Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система Института за физику у Београду, где ради на националном пројекту "Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система" (ОН 171017) као руководиоца потпројекта "Моделирање комплексних нелинеарних динамичких система". Јула 2015. године др Митровић Данкулов је постављена за заменика руководиоца Иновационог центра Института за физику у Београду, где активно ради на пословима трансфера технологије и заштите интелектуалне својине. У оквиру Иновационог центра ангажована је на пројекту "Upscaling Teslagram® technology based on variable and complex biological structures for security printing" који је финансиран од стране Иновационог фонда Србије у оквиру Програма сарадње науке и привреде.

Главна тема истраживања др Митровић Данкулов је примена метода статистичке физике и теорије комплексних мрежа на изучавање колективне динамике различитих комплексних система, са посебним акцентом на колективне феномене у социјалним системима. Коаутор је 22 научне публикације, од којих су 18 објављене у међународним часописима, и једног поглавља у књизи. Половина њених радова је објављена у изузетним часописима као што су *Nature*, *Nature Communications*, *Scientific Reports*, *Royal Society Interface* и *PLOS One*. Добитник је Годишње награде за научни рад Института за физику у Београду 2017. године. Има широку научну сарадњу са групама из Словеније, Италије, Индије, Израела и Финске. Ментор је на докторским студијама студенткињи Јелени Смиљанић чија се одбрана докторске тезе очекује до краја 2017. године на Електротехничком факултету у Београду. Др Митровић Данкулов је члан програмских комитета већег броја водећих међународних конференција из области комплексних система.

2. Преглед научне активности

Научни рад др Марије Митровић Данкулов је у области статистичке физике и физике комплексних система. Она се бави емпиријском анализом и теоријским моделовањем структуре и динамике комплексних система, са акцентом на социјалне системе. Интерагујући биолошки и хемијски системи, неуронске мреже, социјалне интеракције, интернет и World Wide Web су само неки од примера комплексних система који се састоје од великог броја међусобно повезаних динамичких јединица. За ове системе је карактеристично колективно комплексно понашање које настаје као последица интеракција између конституената система и које се не може предвидети само на основу понашања његових појединачних делова. Један од циљева науке о комплексним системима је да објасни како једноставне интеракције између великог броја компоненти могу да резултују у

организовано и адаптивно понашање. Из тих разлога, развој квантитативних метода за изучавање и опис појавног, самоорганизованог понашања, представља један од најзначајнијих задатака ове области науке.

Први приступ у изучавању глобалних колективних особина оваквих система је њихово мапирање на мреже, графове, чији чворови представљају динамичке јединице, док линкови репрезентују интеркције између њих. Структурне и динамичке особине ових мрежа су врло блиско повезане са динамиком и функцијом система које представљају. Из ових разлога, *теорија комплексних мрежа* је од великог значаја за изучавање комплексних динамичких система. Други приступ је *физика комплексних система* која користи методе статистичке физике за изучавање комплексне динамике. Упркос разликама између комплексних система, ова област полази од претпоставке да је њихова динамика заснована на универзалним принципима које можемо да искористимо за описивање различитих проблема, од физике честица па до економије друштва. Пренос резултата и идеја између дијаметрално супротних области доводи до веома важних нових резултата и бољег разумевања динамике и структуре комплексних система и комплексности уопште.

У свом досадашњем истраживачком раду др Митровић Данкулов се бавила развојем квантитативних метода и изучавањем динамике и структуре првенствено техно-социјалних, социјалних и биолошких система, као и развијањем квантитативних метода за изучавање и опис структуре комплексних мрежа. Њен истраживачки рад се може груписати у следеће теме:

- структура и динамика колективних емоција у техно-социјалним мрежама,
- квантитативно проучавање знања као колективног феномена,
- структура комплексних мрежа,
- структура и динамика социјалних група са дискретном динамиком,
- универзални обрасци колективног понашања у социјалним системима,
- примена теорије комплексних мрежа на билошке системе и изучавање динамике саобраћаја.

У наредним секцијама су укратко приказани главни научни резултати кандидаткиње добијени у оквиру ових истраживачких тема.

2.1 Структура и динамика колективних емоција у техно-социјалним мрежама

Као докторанд, др Марија Митровић Данкулов се у оквиру ове теме бавила проучавањем емотивних колективних стања у техно-социјалним мрежама. Њен кључни допринос у овој области је развој квантитативних метода, базираних на методама теорије комплексних мрежа и статистичке физике, за изучавање техно-социјалних система чија су динамика и структура обликоване емоцијама. Мапирањем података из оваквих система на бипартитне мреже и анализом њихове структуре и структуре њихових пројекција показала је да се колективна емотивна стања манифестују кроз формирање заједница, група јако повезаних чланова. Анализа динамике појединачних група указала је на различите механизме који доводе до њиховог формирања: емоције имају главну улогу у формирању заједница када су у питању јако популарне теме, док динамику на непопуларним

темама условљавају појединачна интересовања чланова система. Показала је и да поларитет емоција које преовлађују у систему зависи од његовог типа: у социјалним системима, као што су *MySpace* и *IRC* канали, позитивне емоције имају важну улогу у динамици система, док у системима сличним *BBC Блогу* и *Digg* веб сајту негативне емоције условљавају настанак и опстанак заједнице. Квантитативном анализом временских серија из различитих техно-социјалних система показала је да је динамика оваквих системи карактерисана лавинама, чија дистрибуција величина прати степени закон, и дугодометним временским корелацијама. Ово указује на то да се овакви системи налазе у самоорганизованом критичном стању.

Да би детаљније испитала настанак емотивних колективних стања, као и њихову зависност од структуре мреже и осталих параметара у систему (на пример параметар дисеминације емоција), кандидаткиња је развила два теоријска модела колективне динамике: модел ћелијских аутомата на фиксираној мрежи и модел емотивних агената на мрежи која еволуира. Модел ћелијских аутомата је омогућио да се испита настанак самоорганизованог критичног стања у емотивним техно-социјалним заједницама, као и његова зависност од параметра дисеминације емоција. Еволуција комплексне мреже, настанак емотивних заједница, као и емотивна колективна динамика су испитане симулирањем модела емотивних агената. Ови резултати су представљени у следећим радовима:

- How the online social networks are used: dialogues-based structure of MySpace
M. Šuvakov, **M. Mitrović**, V. Gligorijević, and B. Tadić
J. R. Soc. Interface **10**, 20120819 (2013)
- Co-Evolutionary Mechanisms of Emotional Bursts in Online Social Dynamics and Networks
B. Tadić, V. Gligorijević, **M. Mitrović**, and M. Šuvakov
Entropy **15**, 5084 (2013)
- Statistical Analysis of Emotions and Opinions at Digg Website
P. Pohorecki, J. Sienkiewicz, **M. Mitrović**, G. Paltoglou, and J. A. Holyst
Acta Phys. Pol. A **123**, 604 (2013)
- Dynamics of bloggers' communities: Bipartite networks from empirical data and agent-based modeling
M. Mitrović and B. Tadić
Physica A **391**, 5264 (2012)
- Emergence and structure of cybercommunities
M. Mitrović and B. Tadić
In Springer Handbook of Optimization in Complex Networks Theory and Applications, part 2: "Structure and Dynamics of Complex Networks"
Ed. M. M. Thai and P. Pardalos, Vol. **57**, Part 2, 209, Springer, Berlin (2012)
- Quantitative analysis of bloggers' collective behavior powered by emotions
M. Mitrović, G. Paltoglou, and B. Tadić
J. Stat. Mech.-Theory Exp. P02005 (2011)

- Networks and emotion-driven user communities at popular Blogs
M. Mitrović, G. Paltoglou, and B. Tadić
Eur. Phys. J. B **77**, 597 (2010)
- Bloggers behavior and emergent communities in Blog space
M. Mitrović and B. Tadić
Eur. Phys. J. B **73**, 293 (2010)
- Mixing patterns and communities on bipartite graphs on web-based social interactions
J. Grujić, **M. Mitrović**, and B. Tadić
Proceedings of 16th International Conference on Digital Signal Processing, July 5-7 2009, Santorini, Greece. DSP 2009. New York: IEEE, 1-8, (2009)

2.2 Квантитативно проучавање знања као колективног феномена

Квантитативне методе развијене за изучавање колективних емотивних стања су примењене на изучавање настанка колективног знања у техно-социјалном систему *StackExchange* сајта Математика. У овим системима се социјалне интеракције остварују кроз постављање питања, давање одговора и коментарисање. Знање је у овим питањима кодирано таговима карактеристичним за мапирање знања у математици што омогућава да се на квантитативан начин изучава динамика настанка колективног знања, као и њена зависност од структуре социјалне мреже. Применом метода теорије комплексних мрежа показано је да је и динамика настанка колективног знања карактерисана формирањем заједница у мрежи. Теоријски модел агената, који је за ову прилику развијен, је показао да структура мреже, заједница, као и њихов број зависе од броја и расподеле експертиза у систему. Анализом временских серија је показано да се системи, у којима знање настаје као последица колективног напора, налазе у стању самоорганизоване критичности, односно да се настанак новог знања дешава у таласима чију је величину и трајање немогуће предвидети. Анализом динамике настанка нових тагова и њихових комбинација, као и анализом структуре мреже коју тагови чине, показано је да је иновативност пре свега вођена новим комбинацијама старих знања, и то додавањем нових тагова на већ постојеће тријаде.

Осим у техно-социјалним заједницама, започето је и испитивање настанка знања у науци. Конкретно, испитана је временска зависност дужине чекања на Нобелову награду од времена додељивања награде. Показано је да научници све дуже чекају да буду награђени за њихова значајна открића, као и да ово време расте експоненцијално са временом. Ово се објашњава чињеницом да су знања све комплекснија и да захтевају већи број и већу разноврсност експертиза. Резултати су објављени у:

- Topology of Innovation Spaces in the Knowledge Networks Emerging through Questions-And-Answers
M. Andjelković, B. Tadić, **M. Mitrović Dankulov**, M. Rajković, and R. Melnik
PLoS ONE **11**, e0154655 (2016)

- The Dynamics of Meaningful Social Interactions and the Emergence of Collective Knowledge
M. Mitrović Dankulov, R. Melnik, and B. Tadić
Sci. Rep. **5**, 12197 (2015)
- Growing Time Lag Threatens Nobels
S. Fortunato, A. Chatterjee, M. Mitrović, R. Ku. Pan, P. Della Briotta Parolo, and F. Becattini
Nature **508**, 186 (2014)

2.3 Структура комплексних мрежа

Структура комплексне мреже уско је повезан и зависи од динамике комплексног система репрезентованог том мрежом. Из тих разлога, развој мера, метода и алгоритама за квантитативно описивање структуре комплексних мрежа је од важности у изучавању динамике комплексних система. Као докторанд, кандидаткиња се бавила развојем метода и алгоритама за налажење заједница, мезоскопских структура, у бинарним и отежињеним комплексним мрежама. Прво је развила нови метод заснован на методу мешовитих модела и експектационо-максимизационом алгоритму за налажење отежињених подструктура у усмереним и неусмереним мрежама. Метод базиран на максимизацији генерализоване веродостојности је тестиран на генерисаним отежињеним мрежама и за налажење подструктура у мрежи генских експресија квасца.

Др Митровић Данкулов је испитала зависност тополошких особина комплексне мреже, са једне стране, и спектралних особина матрице повезаности и нормализованог Лапласијана, са друге. Затим је на основу ових резултата развила метод за налажење мезоскопских структура у отежињеним и бинарним мрежама. Ефикасност и тачност метода је тестирана на мрежама добијеним из модела scale-free мрежа са контролисаним бројем заједница и повезаношћу између и унутар њих. Овај метод је затим више пута искоришћен за налажење заједница у различитим техно-социјалним мрежама.

Коришћењем метода *dk*-серије, заједно са колегама, успела је да на конзистентан начин квантификује степен случајности у комплексним мрежама. Показала је да је већину локалних, мезоскопских и глобалних тополошких карактеристика реалних комплексних мрежа могуће репродуковати *dk*-случајним графовима који имају исту средњу повезаност, степену расподелу, степен-степен корелације, средњу вредност и зависност коефицијент груписања од степена чвора као реална мрежа. Ови резултати указују на то да је број значајних и независних тополошких особина у мрежи релативно мали, и да је разумевање њиховог настанка довољно да се разуме еволуција мреже. Најважнији радови у овој теми су:

- Quantifying Randomness in Real Networks
C. Orsini, M. Mitrović Dankulov, P. Colomer-de-Simón, A. Jamakovic, P. Mahadevan, A. Vahdat, K. E. Bassler, Z. Toroczkai, M. Boguñá, G. Caldarelli, S. Fortunato, and D. Krioukov
Nat. Commun. **6**, 8627 (2015)

- Spectral and dynamical properties in classes of sparse networks with mesoscopic inhomogeneities
M. Mitrović and B. Tadić
Phys. Rev. E **80**, 026123 (2009)
- Search of weighted subgraphs on complex networks with maximum likelihood methods
M. Mitrović and B. Tadić
LNCS **5102**, 551 (2008)

2.4 Структура и динамика социјалних група са дискретном динамиком

Под социјалним групама са дискретном динамиком подразумевају се оне социјалне заједнице чија се активност, као и већи део социјалних интеракција, дешава у тачно одређеним тренуцима и на тачно одређеним местима, тј. догађајима. За ове групе је карактеристично да се њихови чланови окупљају и социјализују са тачно одређеним циљем, на пример промоција и дисеминација научних резултата, одлазак у бар или на пешачење. Кандидаткиња је заједно са својим сарадницима квантификовала и описала обрасце учешћа појединачних чланова у заједницама научника који учествују на серијама конференција, као и у *Meetup* групама где се људи окупљају да би провели слободно време и учествовали у одређеној групној активности. Показано је да је активност појединачних чланова врло хетерогена, као и да обрасци учешћа имају врло универзалан карактер: не зависе од величине групе, локације и динамике одржавања догађаја, као ни од тога да ли су разлози окупљања професионални или лични. Хетерогеност и универзалност образаца указује на то да је осећај припадности појединачних чланова заједници искључиво условљена социјалним ефектима. Коришћењем Polya модела урни, показано је да вероватноћа да члан учествује на следећем догађају нелинеарно зависи од односа броја предходних учествовања и не учествовања. Анализа социјалних мрежа је открила да кроз учествовања чланови јачају своје постојеће социјалне везе. Ови резултати су објављени у следећим радовима:

- Associative nature of event participation dynamics: A network theory approach
J. Smiljanić and M. Mitrović Dankulov
PLoS ONE **12**, e0171565 (2017)
- A Theoretical Model for the Associative Nature of Conference Participation
J. Smiljanić, A. Chatterjee, T. Kauppinen, and M. Mitrović Dankulov
PLoS ONE **11**, e0148528 (2016)

2.5 Универзални обрасци колективног понашања у социјалним системима

У статистичкој физици се под универзалношћу подразумева феномен да широка класа система испољава исто понашање или особине, које су независне од микродејала везаних за конкретан систем. Емпиријска анализа великог броја

социјалних система показала је да се они када је у питању испољавање универзалности не разликују много од других комплексних система који се традиционално изучавају у статистичкој физици. Кандидаткиња је, заједно са колегама, анализирала изборне резултате на парламентарним изборима за петнаест земаља и за период од преко три деценије, и показала да успешност кандидата једне странке на парламентарним изборима, мерена у односу на просечан успех његове странке, има универзалну дистрибуцију у земљама које имају иста изборна правила, односно да не зависи од културе, историје или времена догађаја.

Анализирајући податке о обрасцима комуникације и мобилности грађана Обале Слоноваче, показала је да се мобилност унутар и између насељених места може предвидети на основу броја позива између њих и њихове удаљености. Предложени предиктивни модел има исте вредности параметара, независно од просторне скале, за разлику од модела претходно коришћених за предикцију мобилности. Описана истраживања су објављена у следећим радовима:

- Inferring Human Mobility Using Communication Patterns
V. Palchykov, **M. Mitrović**, H. Jo, J. Saramaki, and R. Ku. Pan
Sci. Rep. **4**, 6174 (2014)
- Universality in voting behavior: an empirical analysis
A. Chatterjee, **M. Mitrović**, and S. Fortunato
Sci. Rep. **3**, 1049 (2013)

2.6 Примена теорије комплексних мрежа на биолошке системе и у изучавању динамике саобраћаја

У радовима који спадају у ову тему показано је како се теорија комплексних мрежа, мапирање и анализа тополошких особина, може применити на изучавање генских експресија пивског квасца, веза између појединачних молекула и молекулских комплекса, и динамике саобраћаја на модуларним мрежама и реалној мрежи улица у кинеском граду Нанџинг. Генске експресије се могу искористити за налажење образаца повезаности између гена израчунавањем и филтрирањем, на одговарајући начин, матрице повезаности, и представљањем ове матрице као отежињене мреже. Спектрална анализа нормализованог Лапласијана који одговара овој мрежи открива њену нехомогену мезоскопску структуру, модуле. Сваки модул садржи гене различите функционалне категорије али са истом физичком позицијом у ћелији, једру, цитоплазми или митохондрији.

Друга примена теорије комплексних мрежа у биологији показује да метод комплексних мрежа може бити искоришћен као алат за ефективну селекцију релевантних експерименталних података из мерења јачине веза између појединачних молекула и молекуларних комплекса коришћењем динамичке спектроскопије силе. Тополошки модули нађене у овим мрежама, идентификовани методом спектралне анализе, су сачињени од појединачних сетова мерења под истим условима.

Динамика вођених случајних шетњи на генерисаним и реалним модуларним мрежама се показала као погодан динамички процес за моделирање саобраћаја. Показано је да саобраћај на реалној мрежи Нанжинг града може имати три различита режима у зависности од густине саобраћаја: слободан проток, режим са привременим загушењем, и режим загушеног саобраћаја. Идентификовањем модула на отежињеној динамичкој мрежи саобраћаја показано је да географски одвојени региони имају различите обрасце саобраћаја. Улога модула у формирању различитих режима саобраћаја испитана симулирањем динамике случајних шетњи на генерисаним мрежама са модулима. Показано је да унутрашња структура модула има огроман утицај на формирање образаца саобраћаја на мрежи. Резултати су објављени у следећим радовима:

- Network theory approach for data evaluation in the dynamic force spectroscopy of biomolecular interactions
J. Živković, **M. Mitrović**, L. Janssen, H. A. Heus, B. Tadić, and S. Speller
EPL **89**, 68004 (2010)
- Jamming and correlation patterns in traffic of information on sparse modular networks
B. Tadić and **M. Mitrović**
Eur. Phys. J. B **71**, 631 (2009)
- Correlation patterns in gene expressions along the cell cycle of yeast
J. Živković, **M. Mitrović** and B. Tadić
Studies in computational intelligence, Vol. **207**, 23, Springer (2009)
- Congestion patters of traffic studied on Nnjing city dual graph
H.-L. Zeng, Y.-D. Guo, C.-P. Zhu, **M. Mitrović** and B. Tadić
16th International Conference on Digital Signal Processing, 5-7 July 2009, Santorini, Greece New York : IEEE (2009)

3. Елементи за квалитативну анализу рада

3.1 Квалитет научних резултата

3.1.1 Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Марија Митровић Данкулов је у свом досадашњем раду дала кључни допринос у укупно 22 рада, од којих је 18 објављено у међународним часописима са ISI листе, као и једном поглављу у књизи. Од тога је 7 радова у M21a категорији (међународни часописи изузетних вредности), 5 у M21 категорији (врхунски међународни часописи), 5 у M22 категорији и 1 у категорији M23.

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, др Марија Митровић Данкулов је објавила 12 радова у часописима са ISI листе. Од тога је 6 у M21a категорији (међународни часописи изузетних вредности), 3 у M21 категорији (врхунски међународни часописи), 2 у M22 категорији и 1 у M23 категорији. Одржала је више предавања на научним скуповима, од којих су два по позиву. Поред тога, кандидаткиња је у претходном периоду била и предавач на једној летњој школи.

Као најзначајнијих пет радова кандидаткиње Комисија истиче:

1. Associative nature of event participation dynamics: A network theory approach
J. Smiljanić and **M. Mitrović Dankulov**
PLoS ONE **12**, e0171565 (2017); M21, до сада није цитиран
2. The Dynamics of Meaningful Social Interactions and the Emergence of Collective Knowledge
M. Mitrović Dankulov, R. Melnik, and B. Tadić
Sci. Rep. **5**, 12197 (2015); M21a, цитиран 6 пута
3. Quantifying Randomness in Real Networks
C. Orsini, **M. Mitrović Dankulov**, P. Colomer-de-Simón, A. Jamakovic, P. Mahadevan, A. Vahdat, K. E. Bassler, Z. Toroczkai, M. Boguñá, G. Caldarelli, S. Fortunato, and D. Krioukov
Nat. Commun. **6**, 8627 (2015); M21a, цитиран 7 пута
4. Quantitative analysis of bloggers' collective behavior powered by emotions
M. Mitrović, G. Paltoglou, and B. Tadić
J. Stat. Mech.-Theory Exp. P02005 (2011); M21a, цитиран 18 пута
5. Spectral and dynamical properties in classes of sparse networks with mesoscopic inhomogeneities
M. Mitrović and B. Tadić
Phys. Rev. E **80**, 026123 (2009); M21, цитиран 38 пута

У првом раду детаљно су са аспекта теорије комплексних система и еволуције социјалних мрежа анализирани обрасци учешћа чланова у активностима четири групе *Meetup* веб сајта. Овај сајт служи људима да стварају и воде групе људи који су заинтересовани за неку специфичну групну активност. Meetup група њеним

члановима служи да онлајн организују догађаје на којима се физички срећу. У том смислу је активност ових група различита у односу на чисте онлајн групе јер изискује додатни напор и време. У ранијем раду било је показано да научници имају врло хетерогене обрасце учешћа на серијама конференција. Велики број њих учествује само једном док мали, али ипак не занемарљив, део њих учествује на великом броју активности. Независност ових образаца од величине, типа или локације конференције показује да је динамика учешћа научника на конференцијама вођена механизмима социјалне природе. Анализа образаца учешћа чланова *Meetup* групе у њеним активностима је показала да је ова динамика универзална, односно да дистрибуције броја учешћа имају универзални облик и не зависе од типа и величине групе, као и временске скале динамике дешавања догађаја. Кроз анализу еволуције социјалних мрежа чланова додатно су испитани социјални механизми који прате ову динамику. Конкретно показано је да људи током првих пар учешћа шире своју социјалну мрежу, а да каснија учествовања имају сврху јачања постојећих веза са остатком заједнице. Такође је показано да људи имају тенденцију да прате своју малу подгрупу људи, а не неког члана посебно. Значај овог рада огледа се у чињеници да је ово прва детаљна анализа еволуције социјалне мреже кроз офлајн активности њених чланова. Такође овај рад даје значајан допринос изучавању универзалности колективног понашања људи.

У другом раду су први пут употребљени методи статистичке физике и теорије комплексних мрежа за проучавање феномена колективног настанка знања у социјалним заједницама. Анализом комплексне бипартитне мреже којом се представљају интеркације између делова техно-социјалне мреже истраживана је њихова кластеризација, док спектар снаге временске серије активности корисника показује да су оне карактерисане лавинама, сличним Бракхаузеновом шуму или лавинама у неким физичким системима као што су модели пешчаних лавина. Овај рад је значајан за физику комплексних система, а његови резултати су значајни за примене у социологији и дисциплинама које се баве динамиком настанка знања и динамиком учења у групама. Кандидаткиња је резултате овог рада представила кроз два предавања по позиву, као и на другим предавањима која је одржала на престижним конференцијама у овој области.

Трећи рад представља значајан допринос у области теорије комплексних мрежа. У овом раду је по први пут одређен минималан скуп тополошких особина које одређују структуру реалне комплексне мреже и по први пут је, на конзистентан начин, квантификовано колико се реалне комплексне мреже разликују од случајних мрежа. Пошто се помоћу комплексних мрежа данас описују различити системи, физички, биолошки, технолошки и социјални, теорија комплексних мрежа постаје све важнија за истраживања у овим областима. Због тога је овај рад од великог значаја и за ове области, као и за примењене области које се на њих наслањају. Прва три наведена рада су део научног доприноса за који је кандидаткиња добила награду Института за физику у Београду 2017. године.

Четврти рад припада корпусу радова кандидаткиње који се баве изучавањем динамике и структуре колективних емоција у техно-социјалним заједницама. У овом раду је по први пут анализирана динамика емоција у онлајн заједницама коришћењем метода статистичке физике. Показано је да се емотивна активност може посматрати као временска серија, као и да се особинама ове временске

серије могу квантитативно описати колективна емотивна стања. Ове временске серије имају спектар снаге сличан спектру снаге шума роза обојености, односно карактерисане су дуго-дометним временским корелацијама. Анализа дистрибуције величина лавина за временске серије које одговарају различитим емоцијама открила је да се ови системи налазе у стању самоорганизоване критичности и да негативне емоције имају кључну улогу у динамици система. Модел ћелијских аутомата којим се моделирају емотивне интеракције на фиксираној бипартитној мрежи, предложен и анализиран у овом раду, је омогућио да се детаљно испита улога параметра којим се мери дисеминација емоција између различитих постова. Показано је да вредност овог параметра одређује режим динамике у ком ће се налазити овај динамички систем, односно да ли ће бити у подкритичном, критичном или суперкритичном режиму. Резултати овог рада представљени су на једном позивном предавању и на многим конференцијама на којима је кандидаткиња учествовала. Поред тога, овај рад је и један од значајних резултата EU FP7 пројекта "Cybermotions - collective emotions in cyberspace".

У петом раду је изучавана мезоскопска структура комплексних мрежа, као и њена веза са спектралним особинама матрице повезаности и нормализованог Лапласијана. Показано је да су екстремалне својствене вредности, навјеће својствене вредности матрице повезаности и најмање ненулта својствене вредности нормализованог Лапласијана, у директној вези са постојањем модула, заједница, у мрежи. Анализом спектралних густина ових матрица за компјутерски генерисане мреже са контролисаним бројем модула доказано је постојање процепа у спектру, као и да је ширина и положај овог процепа у директној корелацији са бројем модула у мрежи. Показано је да се својствени вектори који одговарају екстремалним својственим вредностима локализују на модулима. На основу ових сазнања направљен је алгоритам за налажење модуларних структура у неусмереним комплекс-ним мрежама. Овај метод је кандидаткиња интензивно користила у великом броју својих каснијих радова, као и током истраживања у оквиру EU FP7 пројекта "Cybermotions - collective emotions in cyberspace".

3.1.2 Позитивна цитираност научних радова кандидата

Према ISI Web of Science бази радови кандидаткиње су цитирани укупно 238 пута, док је број цитата без аутоцитата 186. Према овој бази њен h-индекс износи 9.

Прилог: подаци о цитираности из базе ISI Web of Science.

3.1.3 Параметри квалитета часописа

Битан елемент за процену квалитета научних резултата је и квалитет часописа у којима су радови објављени, односно њихов импакт фактор - ИФ. У категорији M21a, M21, M22 и M23 кандидаткиња је објавила радове у следећим часописима, где су подвучени они часописи у којима је кандидаткиња објављивала у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

- 1 рад у Nature (ИФ = 42.351),
- 1 рад у Nature Communications (ИФ = 11.470),

- 3 рада у Scientific Reports (ИФ = 5.078 за 1 рад и ИФ = 5.578 за 2 рада),
- 1 рад у Journal of Royal Society Interface (ИФ = 4.907),
- 1 рад у Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment (ИФ = 2.670),
- 3 рада у PLOS One (ИФ= 3.234 за 2 рада и ИФ=3.057 за 1 рад),
- 1 рад у Physical Review E (ИФ = 2.508),
- 1 рад у EPL (ИФ = 2.893),
- 1 рад у Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications (ИФ = 1.676),
- 3 рада у European Physical Journal B (ИФ = 1.568 за 1 рад и ИФ = 1.575 за 2 рада),
- 1 рад у Entropy (ИФ = 1.564),
- 1 рад у Acta Physica Polonica A (ИФ = 0.604).

Укупан импакт фактор радова кандидаткиње је 101.12, а у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања тај фактор је 88.331. Часописи у којима је кандидаткиња објављивала радове су по свом угледу цењени и водећи у областима којима припадају. Посебно се међу њима истичу: *Nature*, *Nature Communications*, *Scientific Reports*, *Journal of Royal Society Interface*, *PLOS One*, *Journal of Statistical Mechanics*, *Physical Review E*.

3.1.4 Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Кандидаткиња је водећи аутор шест радова, други аутор шест публикација, трећи аутор четири публикације и последњи аутор на две публикације.

На радовима који су објављени у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, кандидаткиња је водећи аутор две публикација, други аутор четири рада и последњи аутор на два рада. При изради свих ових публикација кандидаткиња је учествовала у конкретној формулацији проблема, сакупљању и чишћењу података, развоју метода и емпиријској анализи података, конструкцији и нумеричким симулацијама теоријских модела, као и у завршном писању. Радови на којима је кандидаткиња последњи аутор урађени су под њеним руководством. На овим радовима је први аутор студенткиња Јелена Смиљанић којој је кандидаткиња ментор на докторским студијама.

Током израде докторске дисертације на Институту Јожеф Стефан у Љубљани, Словенија, кандидаткиња је у сарадњи са проф. др Босиљком Тадић и др Џорџом Палтоглуом радила на развоју квантитативних метода и изучавању структуре и динамике колективних емотивних стања у техно-социјалним заједницама. Током постдокторског усавршавања, у сарадњи са проф. др Сантом Фортунатом, радила је на више различитих проблема који се тичу социјалне динамике, укључујући ту и универзалне обрасце понашања у социјалним системима. На развоју квантитативних мера и изучавању структуре комплексних мрежа радила је и током докторских студија, постдокторског усавршавања, као и по повратку на Институт за физику у Београду. По повратку на Институт за физику у Београду, кандидаткиња је започела истраживање динамике различитих социјалних група чија су структура и динамика условљене учествовањем чанова групе на догађајима. Све ове теме су врло актуелне и спадају у интердисциплинарну област истраживања комплексних система. За успешно изучавање динамике и структуре

социјалних и других комплексних система неопходно је познавање статистичке физике, напредних статистичких метода, теорије комплексних мрежа, као и напредних нумеричких метода, што укључује и познавање различитих типова микроскопских модела. Поред тога, истраживање динамике социјалних система захтева и знања из других научних области као што су социологија и компјутерске науке. Кандидаткиња је ова знања стекла током докторских студија и постдокторског усавршавања а затим је та знања пренела на Институт за физику у Београду где је успоставила нови истраживачки правац.

Кандидаткиња има активну сарадњу са истраживачима у области физике: проф. др Босиљка Тадић, Љубљана, Словенија, проф. др Санто Фортунато, Блумингтон, САД, др Арнаб Чатерџи, Њу Делхи, Индија и проф. др Зоран Левнајић, Ново Место, Словенија. Поред тога, сарађује и са истраживачима у другим областима науке: др Томи Каупинен (компјутерске науке), Хелсинки, Финска, проф. др Пнина Плаут (архитектура и урбано планирање) и проф. др Силвана Стефани (економија).

3.1.5 Награде

Кандидаткиња је добитница годишње награде за научни рад Института за физику у Београду за 2017. годину.

Прилог: диплома о награди.

3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

Кандидаткиња је тренутно ментор за израду докторске дисертације Јелене Смиљанић на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, чија се одбрана очекује до краја ове године. Поред тога, током 2015. године је била ментор за студентску праксу у Лабораторији за примену рачунара у науци Института за физику у Београду студенту Петру Тадићу са Физичког факултета Универзитета у Београду. Резултати ове праксе представљени су на годишњој конференцији студената Физичког факултета.

Прилог: потврда о менторству руководиоца пројекта, извештај о раду истраживача докторанда.

3.3 Нормирање броја коауторских радова

Сви радови кандидаткиње објављени у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања су базирани на комплексним нумеричким симулацијама. Десет радова, укључујући и један рад М23 категорије објављен као рад са конференције, имају пет и мање коаутора, тако да улазе са пуном тежином у односу на број коаутора. Укупан број бодова који носи ових десет публикација је 75.5. Два рада имају више од пет аутора: рад у часопису *Nature* има шест аутора и број нормираних поена који носи је 8.33; рад у часопису *Nature Communications* има дванаест коатора и број нормираних поена које носи је

4.17. Укупан број поена кандидаткиње на основу М20 публикација пре нормирања износи 95.5, а после нормирања је 88. Нормирани поени чине мање од 10% од укупног броја поена.

3.4 Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидаткиња руководи потпројектом "Моделирање комплексних нелинеарних динамичких система" у оквиру пројекта основних истраживања "Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система" (ОН171017) Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Др Марија Митровић Данкулов је заменик руководиоца Иновационог центра Института за физику у Београду. Такође је и представник Србије у менаџмент комитету COST Акције TU1305 "Social Networks and Travel Behaviour".

Током докторских студија кандидаткиња је била ангажована на EU FP7 пројекту "Cyberemotions - collective emotions in cyberspace". Тренутно је ангажована на пројектним задацима развоја алгоритама за детектовање и разликовање биолошких структура на пројекту "Upscaling Teslagram® technology based on variable and complex biological structures for security printing" финансираног од стране Иновационог фонда Србије у оквиру Програма сарадње науке и привреде.

Прилог: потврда руководиоца пројекта о руковођењу потпројектом, одлука директора Института за физику у Београду о именовању заменика руководиоца Иновационог центра, веб страна COST Акције TU1305 "Social Networks and Travel Behaviour" (<http://www.tu1305.eu/>).

3.5 Активност у научним и научно-стручним друштвима

Кандидаткиња је члан Одсека за физику кондензоване материје и статистичку физику Друштва физичара Србије. Такође је и представник Института у Одбору међууниверзитетског програма за истраживање одрживог развоја Универзитета у Београду.

Уредник је "Special Research topic: Culturomics: Interdisciplinary Path Towards Quantitative Study of Human Culture" групе часописа *Frontiers*.

Рецензент је за часописе *Scientific Reports*, *Journal of Statistical Mechanics*, *PLOS One*, *Applied Network Science*, *Computational Social Networks*, *Frontiers in Physics* и *Quality and Quantity*.

Члан је програмских комитета следећих конференција:

- The 9th International Conference on Social Informatics, 13.-15. септембар 2017. године, Оксфорд, Велика Британија,
- Conference on Complex Systems 2017 (CCS'17), 17.-22. септембар 2017. године, Канкун, Мексико,

- The 6th International Conference on Complex Networks and Their Applications, 29. новембар-1. децембар 2017. године, Лион, Француска.

Била је члан научних и програмских комитета следећих конференција:

- The 2nd International Conference on Complexity, Future Information Systems and Risk - COMPLEXIS 2017, 24.-26. април 2017. године, Порто, Португал,
- The 5th Workshop on Complex Networks and their Applications, 30. новембар-2. децембар 2016. године, Милано, Италија,
- The 8th International Conference on Information Technologies and Information Society, 10. новембар 2016. године, Шмајерске Топлице, Словенија,
- The 2nd Annual International Conference on Computational Social Science (IC2S2 2016), 23.-26. јун 2016. године, Еванстон, САД,
- The 3rd Conference on Sustainable Urban Mobility, 26.-27. мај 2016. године, Волос, Грчка,
- The First Annual International Conference on Computational Social Science (IC2S2 2015), 8.-11. јун 2015. године, Хелсинки, Финска,
- The 7th International Conference on Information Technologies and Information Society, 4.-6. новембар 2015. године, Ново Место, Словенија,
- The 6th International Conference on Information Technologies and Information Society, 5.-7. новембар 2014. године, Шмајерске Топлице, Словенија,
- The 6th Summer Solstice International Conference on Discrete Models of Complex Systems, SUMMERSOLSTICE 2014, 22.-25. јун, 2014, Ljubljana, Slovenia

Кандидаткиња је била један од организатора скупа *The First Annual KnowEscape Conference – KnowEscape2013* у оквиру COST Акције TD1210 "KnowEscape - Analysing the dynamics of information and knowledge landscapes" који је одржан у периоду од 18. до 20. новембра 2013. године, на Аалто Универзитету, Еспо, Финска.

Прилог: писмо о прихватању посебне теме у оквиру часописа *Frontiers*, писма уредништва рецензенту, позиви за чланство у програмским и научним комитетима, веб странице конференција.

3.6 Утицајност научних резултата

Утицај научних резултата кандидаткиње је приказан у секцији 3.1. овог извештаја. Поред тога, пун списак радова и цитата је дат у прилогу, на основу чега се такође

може проценити да су радови кандидаткиње јасно препознати у оквиру области комплексних мрежа

3.7 Конкретан научни допринос кандидата у реализацији резултата у научним центрима и земљи и иностранству

Кандидаткиња је значајно допринела сваком раду на коме је учествовала.

Од дванаест радова у часописима у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, један је комплетно урађен на Институту за физику у Београду под руководством кандидаткиње, пет је урађено у сарадњи са колегама из земље и иностранства, а шест је комплетно реализовано у иностранству (док је кандидаткиња била на постдокторском усавршавању). Кандидаткиња је у овим радовима имала кључни допринос: на по два рада је први и последњи аутор, а на четири рада је потписана као други аутор. Конкретно, кандидаткиња је током израде ових публикација била покретач истраживања, радила је на сакупљању и обради података, развоју метода за емпиријску анализу података, као и на њиховој емпиријској анализи, развоју одговарајућих модела и њиховим нумеричким симулацијама, писању радова и била у комуникацији са уредником часописа при слању радова на објављивање. Радови на којима је кандидаткиња последњи аутор урађени су под њеним руководством.

На Институту за физику у Београду кандидаткиња је зачетник новог правца истраживања у области физике комплексних система, социофизике. Знања и искуства која је стекла на докторским студијама и постдокторском усавршавању, а која се односе на методе и технике за емпиријску анализу и теоријско моделирање колективних феномена у комплексним системима, успешно преноси млађим сарадницима у оквиру своје подгрупе која је део Лабораторије за примену рачунара у науци Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система.

3.8 Уводна предавања на конференцијама и друга предавања

Након претходног избора у звање, кандидаткиња је одржала следећа предавања:

- **M. Mitrović Dankulov**
Quantifying collective behavior in social systems: a statistical physics approach
Winter Workshop on Complex Systems 2017 (WWCS 2017), 6-10 February 2017, Petnica, Serbia (M32)
- **M. Mitrović Dankulov**
How random are complex networks?
Seminar at Department of Theoretical Physics, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia, 9 December 2016
- **M. Mitrović Dankulov**
Complex Networks Theory: An Introduction
Summer School on Topological and Scaling Analysis of Transport and Social Media Data, 13-17 June 2016, Gavle, Sweden

- **M. Mitrović Dankulov** and B. Tadić
Quantitative Study and Modeling of Collective Knowledge Building via Questions and Answers
The 19th National Symposium on Condensed Matter Physics, SFKM2015, 7-11 September 2015, Belgrade, Serbia (M32)

- **M. Mitrović Dankulov** and B. Tadić
The dynamics of collective knowledge building via questions and answers
International Conference on Computational Social Science, 8-11 June 2015, Helsinki, Finland (M34)

- **M. Mitrović Dankulov**
Колико су случајне комплексне мреже?
Предавање у оквиру предмета Семинар из савремене физике на Физичком факултету у Београду; предавање одржано на Институту за физику у Београду 20. марта 2015. године

- **M. Mitrović** and B. Tadić
Agent-Based Modeling and Social Structure in Bloggers' Dynamics
6th Summer Solstice International Conference on Discrete Models of Complex Systems, SUMMERSOLSTICE 2014, 22-25 June 2014, Ljubljana, Slovenia (M34)

- **M. Mitrović** and B. Tadić
Quantitative Study of Innovation and Knowledge Building in Questions\&~Answers System with Math Tags
The Second Annual KnowEscape Conference, KnowEscape2014, 24-26 November 2014, Thessaloniki, Greece (M34)

- **M. Mitrović**
Статистичка физика социјалних система
Предавање у оквиру предмета Семинар из савремене физике на Физичком факултету у Београду, 28. април 2014. године

- **M. Mitrović**, A. Chatterjee, and S. Fortunato
Universal Patterns of Voting Behavior
The First Annual KnowEscape Conference, KnowEscape2013, Helsinki, Finland, 18-20 November 2013 (M34)

- **M. Mitrović** and B. Tadić
Agent-Based Model Of Blogging
European Conference on Complex Systems, Brussels, Belgium, 3-7 September 2012, (M34)

Прилози: позивна писма за учешће на конференцијама, Веб сајтови конференција, изводи из књига апстраката.

4. Елементи за квантитативну анализу рада

Остварени резултати у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова (нормирано)
M21a	10	6	60 (52,5)
M21	8	3	24 (24)
M22	5	2	10 (10)
M23	3	1	3 (1,5)
M32	1,5	2	3 (3)
M34	0,5	9	4,5 (4,5)

Поређење са минималним квантитативним резултатима за избор у звање виши научни сарадник:

М категорије	Услов	Остварено (нормирано)
Укупно	50	104,5 (95,5)
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42	40	100 (91)
M11+M12+M21+M22+M23+M24	30	97 (88)

Према ISI Web of Science бази укупан број цитата радова кандидаткиње је 228, док је број цитата без аутоцитата 186. Према истој бази h–индекс кандидаткиње је 9.

ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду изузетно високу вредност и оригиналност научних радова др Марије Митровић Данкулов, као и њено значајно искуство у међународној сарадњи и педагошком раду, мишљења смо да је кандидаткиња достигла високу истраживачку зрелост и научну компетентност. Посебно истичемо њене радове у престижним часописима као што су *Nature* и *Nature Communications*, што је јасан знак квалитета научног рада кандидаткиње. Интердисциплинанта и мултидисциплинарна природа истраживања др Марије Митровић Данкулов је додатан квалитет који препознајемо као зачетак нове области и новог приступа проучавању комплексних система на Институту за физику у Београду. На основу података из извештаја види се да она задовољава све квантитативне и квалитативне услове за избор у звање виши научни сарадник који су прописани Правилником о поступку, начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Због тога нам је изузетно задовољство да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Марије Митровић Данкулов у звање виши научни сарадник.

У Београду, 12. 06. 2017. године

Чланови комисије:

др Антун Балаж
научни саветник
Институт за физику у Београду

др Александар Белић
научни саветник
Институт за физику у Београду

др Александар Богојевић
научни саветник
Институт за физику у Београду

проф. др Сунчица Елезовић Хацић
редовни професор Физичког факултета
Универзитета у Београду