

## НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ У БЕОГРАДУ

### Извештај комисије за избор др Марије Митровић Данкулов у звање научни саветник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 7. марта 2023. године именовани смо у комисију за избор др Марије Митровић Данкулов у звање научни саветник.

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, чији су саставни део и прилози из поднетог материјала.

### 1. БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ 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. Завршила их је са просечном оценом 10,00 и јуна 2010. године одбранила магистарски рад под називом “Налажење отежињених подструктура у неким реалним и компјутерски генерисаним мрежама”, урађен под руководством проф. др Босиљке Тадић. Докторат под називом “Структура и динамика техно-социјалних мрежа” одбранила је у марту 2012. године на Физичком факултету у Београду под руководством проф. др Босиљке Тадић.

Од краја 2005. године до марта 2009. године кандидаткиња је била ангажована као истраживач приправник у Лабораторији за примену рачунара у науци Института за физику у Београду. 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. У периоду од априла 2012. године до фебруара 2014. године била је запослена као постдокторски истраживач на Алто универзитету у Финској (Department of Biomedical Engineering and Computational Science, School of Science, Aalto University) у групи проф. др Санта Фортуната. 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 је радила на националном пројекту “Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система” (ОН 171017) као руководилац потпројекта “Моделирање комплексних нелинеарних динамичких система”. Била је учесник пројекта “Artificial Intelligence Theoretical Foundations for Advanced Spatio-Temporal Modelling of Data and Processes” који је финансирао Фонд за науку

Републике Србије. Током периода од 2018. до 2022. године рукоодила је потпројектом “Структура и динамика социо-економских система” у оквиру Националног центра изузетних вредности за изучавање комплексних система.

Марта 2018. године др Митровић Данкулов је постављена за руководиоца Иновационог центра Института., где активно ради на пословима трансфера технологије и заштите интелектуалне својине. У оквиру Иновационог центра руководила је пројектима “B-Lock: The first Physical Access Control System with uncopyable keys” у оквиру програма Сарадња науке и привреде Фонда за иновациону делатност Републике Србије, као и пројектом “Miniaturization of Teslagram® reader for applications in secure tracking” у оквиру програма Трансфер технологија Фонда за иновациону делатност Републике Србије. Била је ангажована као учесник на пројекту “Upscaling Teslagram technology based on variable and complex biological structures for security printing” који је финансиран од стране Иновационог фонда Републике Србије у оквиру Програма сарадње науке и привреде. Тренутно у име тима Института за физику у Београду руководи пројектом “Platform for Remote development of Autonomous Driving algorithms in realistic environment – READ” у оквиру програма Сарадња науке и привреде Фонда за иновациону делатност Републике Србије.

Главна тема истраживања др Митровић Данкулов је примена метода статистичке физике и теорије комплексних мрежа на изучавање колективне динамике различитих комплексних система, а посебно на колективне феномене у социјалним системима. Добитница је Годишње награде за научни рад Института за физику у Београду 2017. године, као и Годишње награде за финансијски допринос Института за физику у Београду 2019. године. У периоду од 2019. до 2021. године била је стипендиста Јапанске фондације ИТО. Има широку научну сарадњу са групама из Словеније, Италије, Индије, Израела и Финске. Била је ментор једне одбрањене докторске дисертације, а тренутно је ментор три докторске дисертације чија израда је у току.

Коаутор је 26 научних радова објављених у међународним часописима, 4 поглавља у монографијама, као и једног патента регистрованог у Републици Србији. Половина њених радова је објављена у изузетним часописима као што су Nature, Nature Communications, Scientific Reports, Royal Society Interface, EPJ Data Science и PLOS One. Према бази Web of Science на дан 27. 2. 2023. године, њени радови су цитирани 613 пута, од чега 541 пута без аутоцитата, а Хиршов индекс је 14.

## **2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ**

Досадашњи научноистраживачки рад др Марије Митровић Данкулов припада области статистичке физике.

Кандидаткиња се бави емпиријском анализом и теоријским моделирањем структуре и динамике комплексних системима, са акцентом на социо-економске 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 градивних елемената система и које се не може предвидети само на основу понашања његових појединачних делова. Један од циљева проучавања комплексних система је да објасни како једноставне интеракције између великог броја компоненти могу да доведу до организованог и адаптивног понашања. Због тога је развој квантитативних метода за изучавање и опис појавног, самоорганизованог понашања један од најзначајнијих задатака. Први приступ у изучавању глобалних колективних особина оваквих система је њихово пресликавање на мреже, графове, чији чворови представљају динамичке јединице, док линкови репрезентују интеракције између њих. Структурне и динамичке особине ових мрежа су врло блиско повезане са динамиком и функцијом система које представљају. Због тога је теорија комплексних мрежа од великог значаја за изучавање комплексних динамичких система. Други приступ је физика комплексних система која користи методе статистичке физике за изучавање комплексне динамике. Упркос различитости комплексних система, полазимо од претпоставке да је њихова динамика заснована на универзалним принципима које можемо да искористимо за описивање разноврсних система, од физике честица до економије. Размена идеја и међусобна примена резултата добијених у веома удаљеним областима доводе до веома важних нових резултата, бољег разумевања динамике и структуре комплексних система, као и појаве комплексности.

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. Поред тога, активна је и у развоју метода за мерење и лабораторијских уређаја. Њен истраживачки рад се може груписати у следеће логичке целине:

- структура и динамика комплексних мрежа,
- структура и динамика колективних емоција у техно-социјалним мрежама,
- квантитативно проучавање знања као колективног феномена,
- структура и динамика социјалних група са дискретном динамиком,
- универзални обрасци и предикција колективног понашања у социјалним системима,
- примена теорије комплексних мрежа на биолошке, социјалне и економске системе,
- примењена физика

У наредним секцијама су приказани главни научни резултати кандидаткиње.

## **2.1. Структура комплексних мрежа**

Структура комплексне мреже уско је повезана са 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, др Митровић Данкулов се бавила развојем метода и алгоритама за налажење заједница, мезоскопских структура, у бинарним и отежињеним комплексним мрежама. Прво је развила метод који користи методе мешовитих модела и

експектационо-максимизационог алгоритма 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.

Испитала је 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 тестиран 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. Касније је исти метод проширила и на мултиплекс мреже. Показала је да већину локалних, мезоскопских и глобалних тополошких карактеристика реалних комплексних мрежа је 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.

Анализирала је утицај различитих сигнала раста на структуру комплексне мреже. Заједно са својом сарадницом, показала је да особине сигнала раста, као што су мултифракталност и перзистентност, утичу на структуру комплексних мрежа које су генерисане моделом мрежа са нодовима који старе. Испитала је спектралне особине хиперболичних комплексних мрежа. Хиперболичне комплексне мреже служе за моделирање кооперативних само-склопљивих наноматеријала са структурама вишег реда. Заједно са сарадницима изучавала је тополошке особине ових графова и како оне зависе од основног градивног елемента описаног кликом, као и афинитета градивних елемената једног према другом. Анализирала је спектралну димензију ових графова и показала да иста зависи од величине градивног елемента и афинитета. Даље, анализа спектра нормализованог Лапласијана показала је да иако су ове мреже хиперболичне, са хиперболичношћу једнаком јединици, њихова структура зависи од величине градивног елемента и њиховог међусобног афинитета.

Најважнији радови у овој теми су:

- Growth signals determine the topology of evolving networks  
A. Vranić and **M. Mitrović Dankulov**  
J. Stat. Mech.: Theory Exp. **2021**, 013405 (2021).
- Spectral properties of hyperbolic nanonetworks with tunable aggregation of simplexes  
**M. Mitrović Dankulov**, B. Tadić, and R. Melnik  
Phys. Rev. E **100**, 012309 (2019).
- Classifying Networks with *dk*-Series

**M. Mitrović Dankulov**, G. Caldarelli, S. Fortunato, and D. Krioukov  
Multiplex and Multilevel Networks, p. 51, Oxford University Press (2018).

- Quantifying Randomness in Real Networks  
C. Orsini, **M. Mitrović Dankulov**, P. Colomer-de-Simon, A. Jamakovic, P. Mahadevan, A. Vahdat, K. E. Bassler, Z. Toroczkai, M. Boguna, 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  
Lect. Notes Comput. Sci. **5102**, 551 (2008).

## 2.2. 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 и алаткама 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 стурктуре 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 су условљавају настанак и опстанак заједнице. Квантитативном анализом временских серија из различитих техно-социјалних система показала је да је динамика овакви системи карактерисани лавинама, чија дистрибуција величина прати степени закон, и дуго-дометним временским корелацијама. Ово указују на то да се овакви системи налазе у само-организованом 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), развила је 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 само-организованог 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,

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. Gligoriјеvić, 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. Gligoriјеvić, **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, p. 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. **2011**, 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  
16th International Conference on Digital Signal Processing, July 5-7, 2009, Santorini, Greece, p. 259, IEEE (2009).

### 2.3. 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 само-организоване критичности, односно да 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. Даље проучавање структуре и динамике модела колективног знања откривени су механизми самоорганизоване критичности у овом процесу. Показано је да су универзална социјална динамика са степеним нехомогеностима у активности корисника и временским размацама између њихових активности примарни механизми који воде ка критичном стању. Расподела експертиза код чланова утиче како на само-организовану динамику у систему тако и на фину структуру комплексних мрежа које се приликом еволуције формира.

Осим у техно-социјалним заједницама, кандидаткиња је истраживала настанак знања у науци, а посебно временску 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.

У оквиру ове теме, започела је са истраживањем колективног поверења у социјалним системима. Заједно са сарадницима адаптирала је модел мерења колективног поверења у социјалним заједницама који је заснован на динамичкој репутацији. Овај модел је коришћен за мерење колективног поверења у Stack Exchange заједницама за дељење информација и знања. Ове заједнице су формиране око одређених тема и настају као последица самоорганизујуће динамике између Stack Exchange корисника. Корисници предлажу теме око којих ће се формирати заједнице, а онда ове заједнице пролазе кроз процес сазревања који се може завршити или успешним лансирањем заједнице или њеним затварањем. Постоји више примера да је прва заједница на неку тему била затворена, да би затим у другом покушају она била лансирана. Фокус истраживања је да се коришћењем модела динамичке репутације и метода теорије комплексних мрежа испитају узроци одрживости ових заједница. Зарад тога направљена је компаративна анализа осам заједница на четири теме, пар успешних и неуспешних заједница за сваку тему, и испитана је рана еволуција ових заједница. Показано је да одрживе заједнице рано формирају јака стабилна језгра чији чланови, у средњем, имају висок ниво поверења остатка заједнице у њих. Додатно, показано је да је локална кохезија мерена кластеринг коефицијентом виша у одрживим заједницама него у оним које су затворене после првих шест месеци постојања. Анализа додатних заједница је показала да почетна величина заједнице нема превелику улогу на њен опстанак, него да колективно поверење између чланова заједнице игра пресудну улогу.

Истраживања су објављена у:

- Sustainability of Stack Exchange Q&A communities: the role of trust  
A. Vranić, A. Tomašević, A. Alorić, **M. Mitrović Dankulov**  
EPJ Data Sci. **12**, 4 (2023).
- Mechanisms of self-organized criticality in social processes of knowledge creation  
B. Tadić, **M. Mitrović Dankulov**, R. Melnik  
Phys. Rev. E. **96**, 032307 (2017).
- 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).

#### 2.4. 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 квалитетно провели слободно време и уживали 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 Пољиног 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. Детаљна анализа еволуције четири различите мреже показала је да се у социјалним групама са дискретном динамиком формирају заједнице корисника које су временски повезани. Учешће већине корисника у динамици група је фокусирано у времену, и као последицу имамо формирање заједница које чине корисници који су у сличним интервалима били активни. Анализа локалних карактеристика бипартитних мрежа догађаја и корисника открила је да ове мреже имају универзалну расподелу степена чворова како у партицији корисника тако и у партицији догађаја. Даље, мреже су некорелисане или слабо корелисане.



Величина догађаја на којима учествује корисник не зависи од броја догађаја на којима је учествовао, док средњи степен корисника на догађајима благо опада са величином догађаја. Ово је очекивано, с обзиром на врло хетерогену расподелу степена корисника и чињеницу да на великим догађајима учествују корисници који имају врло различиту ангажованост у заједницама. Ови резултати су објављени у следећим радовима:

- The Structure and Dynamics of Meetup Social Networks  
J. Smiljanić and **M. Mitrović Dankulov**  
In Scientific Computing: Studies and Applications, Nova Science, p. 33 (2017).
- 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 под универзалношћу се подразумева опажање да широка класа система испољава исто понашање или има исте особине које су независне од микро детаља 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 предвиђање мобилности.

У оквиру ове теме, анализирана је и динамика раста одређених социјалних група. Анализирана је расподела величине група у социјалним системима Meetup и Reddit. Социјалне групе су категорисане по години када су настале у случају оба система, и по месту настанка у случају Meetup-а. Показано је да све расподеле вероватноће величине група нормализованих на просечну величину групе настале у одређеној години, односно групе настале на одређеној локацији, падају на исту криву за одговарајући социјални систем, показујући универзални раст група који не зависи од временских оквира и локације. Добијене расподеле се најбоље апроксимирају лог-нормалном расподелом, међутим, одговарајући параметри се разликују за Meetup и Reddit социјални систем. Да би објаснила универзалне обрасце раста и разлика између система, кандидаткиња је заједно са сарадницама развила модел раста социјалних група заснован на бипартитним

мрежама. Главни параметри модела су вероватноће да корисници прати своје социјалне контакте и вероватноћа креирања нове групе. Симулације овог модела показале су да он може врло једноставно да објасни универзалне обрасце раста, као и да су уочене разлике између система последица утицаја социјалних фактора, односно чињенице да социјални контакти имају већи утицај на то које групе појединци бирају на Reddit-у поређењу са Meetup групама.

Описана истраживања су објављена у следећим радовима:

- Universal growth of social groups: empirical analysis and modeling  
A. Vranić, J. Smiljanić, **M. Mitrović Dankulov**  
*J. Stat. Mech.: Theory Exp.* **2022**, 123402 (2022).
- 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  
Chatterjee, **M. Mitrović**, and S. Fortunato  
*Sci. Rep.* **3**, 1049 (2013).

## 2.6. Примена теорије комплексних мрежа на биолошке, социјалне и економске системе

У радовима који спадају у ову подобласт показано је како се теорија комплексних мрежа, мапирање и анализа тополошких особина, може применити на изучавање структуре и динамике биолошких, социјалних и економских система.

Кандидаткиња је применила методе за изучавање временских серија, теорије комплексних мрежа и метода за груписање података да проучава динамику ширења епидемије ковида у свету првих осам месеци епидемије, пре почетка вакцинације, и првих осам месеци од почетка вакцинације. Временске серије броја оболелих на дневном нивоу за различите земље и регионе су коришћењем корелационе матрице мапирани на комплексну мрежу сличности земаља у фази избијања епидемије и у фази имунизације. Изучавањем спектралних особина две добијене мреже показано је да се ове мреже по питању мезоскопске структуре драстично разликују. Показано је да док неки кластери сличних земаља имају регионални карактер, преостали кластери обухватају земље са различитом географском позицијом, културолошким карактеристикама и нивоом здравствене заштите. Ово нам показује да на ширење епидемија утицај имају како биолошки тако и социјални фактори, као и њихова комплексна интеракција.

Сличан приступ примењен је и на изучавања промене структуре мреже економских актера током економске кризе. Временске серије цена акција компанија које послују у финансијском сектору Сједињених Америчких Држава за период од 2002. до 2017. године искоришћене су да се нађе мрежа сличности између ових компанија за сваку годину. Корелационе матрице које описује сличности између компанија за сваку годину су мапирана на отежињене мреже. За сваку од ових отежињених мрежа нађене су заједнице компанија и показано је да је број заједница у време кризе мањи него у периоду пре и после кризе, док је разлучивост између заједница такође најмања током кризе. Највећа разлучивост

између заједница је нађена за 2004. годину, годину када је дошло до највеће дерегулације, која се сматра једним од битнијих узрока за настанка економске кризе у 2008. години. Резултати овог рада показују да се развој економске криза, пролазак система кроз економску кризу и последице економске кризе могу видети и у структури комплексне мреже сличности између компанија.

Направљен је преглед метода из теорије комплексних мрежа и њихове примене у физици социјалних система, социологији, изучавању путовања и економији. Прегледни рад даје и смернице како знања из ових различитих области могу да се комбинују и примене на изучавање мобилности људи. Каднидаткиња је применила теорију комплексних мрежа 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 Нанжинг. 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 Лапласијана који одговара овој мрежи открива њену нехомогену мезоскопску структуру, модуле. Сваки модул који садржи гене различите функционалне категорије али са истом физичком позицијом у ћелији, једру, цитоплазма или митохондрије. Друга примена теорије комплексних мрежа у биологији показује да метод комплексних мрежа може бити искоришћен као алатка 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 велики утицај на формирање образаца саобраћаја на мрежи. Резултати:

- Evolution of Cohesion between USA Financial Sector Companies before, during, and Post-Economic Crisis: Complex Networks Approach  
V. Stević, M. Rašajski, and **M. Mitrović Dankulov**  
Entropy **24**, 1005 (2022),
- Analysis of Worldwide Time-Series Data Reveals Some Universal Patterns of Evolution of the SARS-CoV-2 Pandemic  
**M. Mitrović Dankulov**, B. Tadić, and R. Melnik,  
Front. Phys. **2022**, 544 (2022),
- Symmetry analysis of economic system before, during, and after economic crisis using graph theory  
V. Stević, M. Rašajski, and **M. Mitrović Dankulov**

In Proceedings of XLIX International Symposium on Operational Research (Sym-Op-Is 2022), September 19-22, 2022, Vrnjačka Banja, Serbia, p. 217 (2022).

- Social networks theory  
**M. Mitrović Dankulov**, M. del Mar Alonso-Almeida, F. Sharmeen, and A. Lukaszewicz  
In Digital Social Networks and Travel Behaviour in Urban Environments, p. 7, Routledge (Taylor&Fransis Group) (2019).
- Network theory approach for data evaluation in the dynamic force spectroscopy of biomolecular interactions  
J. Zivković, **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. Zivković, **M. Mitrović**, and B. Tadić  
Stud. Comput. Intell. **207**, 23, (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, July 5-7, 2009, Santorini, Greece, p. 982, IEEE (2009).

## 2.7. Примењена физика

У оквиру активности у Иновационом центру, кандидаткиња ради на развоју технологија и техника за мерење физичких особина материјала, односно проучавању утицаја третмана плазмом на микро/нано-целулозне филмове. Поред тога, кандидаткиња ради на развоју технологија и техничких решења за лабораторијске уређаје. У оквиру ове области, кандидаткиња је са сарадницима учествовала у развоју лабораторијске мешалице са подесивим механизмом који омогућава континулано подешавање амплитуде орбиталног кретања лабораторијског узорка на мешалици. Најзначајнији радови и патенти:

- Nitrogen plasma surface treatment for improving polar ink adhesion on micro/nanofibrillated cellulose films  
K. Dimić-Mišić, M. Kostić, B. Obradović, A. Kramar, S. Jovanović, D. Stepanenko, **M. Mitrović Dankulov**, S. Lazović, L. S. Johansson, T. Maloney, P. Gane  
Cellulose **26**, 3845 (2019).
- Подесиви механизам лабораторијске мешалице  
Đ. Vuković, S. Lazović, D. Dimitrijević, **M. Mitrović Dankulov**, S. Jovanović, A. Vuković Đukić  
МП 1566, 2018/15457 (2018).

### 3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

#### 3.1. Квалитет научних резултата

##### 3.1.1. Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Марија Митровић Данкулов је у својој досадашњој каријери објавила 26 радова у међународним часописима са ISI листе, 4 поглавља у монографијама и један регистровани патент у Републици Србији. Од тога је 9 радова у M21a категорији (међународни часописи изузетних вредности), 10 у M21 категорији (врхунски међународни часописи), 6 у M22 категорији и 1 у категорији M23. Патент број МП 1566 је признат од стране Завода за интелектуалну својину Републике Србије 2018. године и регистрован на националном нивоу и спада у категорију M92. Одржала је више предавања на научним скуповима, од којих су 3 по позиву.

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, др Марија Митровић Данкулов је објавила 8 радова у часописима са ISI листе, 3 поглавља у књигама и један регистровани патент. Од тога је 2 у M21a категорији (међународни часописи изузетних вредности), 5 у M21 категорији (врхунски међународни часописи), 1 у M22 категорији, 2 поглавља у монографијама категорије M13, једно поглавље у монографији категорије M14, и један регистровани патент на националном нивоу категорије M92. Одржала је више предавања на научним скуповима, од којих је један по позиву.

Списак пет најзначајнијих радова кандидаткиње из изборног периода:

1. B. Tadić, **M. Mitrović Dankulov**, and R. Melnik, Mechanisms of self-organized criticality in social processes of knowledge creation, *Phys. Rev. E* **96**, 032307 (2017), M21, цитиран 24 пута  
DOI: 10.1103/PhysRevE.96.032307
2. **M. Mitrović Dankulov**, B. Tadić, and R. Melnik, Spectral properties of hyperbolic nanonetworks with tunable aggregation of simplexes, *Phys. Rev. E* **100**, 012309 (2019), M21, цитиран 10 пута  
DOI: 10.1103/PhysRevE.100.012309
3. A. Vranić and **M. Mitrović Dankulov**, Growth signals determine the topology of evolving networks, *J. Stat. Mech.: Theory Exp.* **2021**, 013405 (2021), M21, цитиран 1 пут  
DOI: 10.1088/1742-5468/abd30b
4. **M. Mitrović Dankulov**, B. Tadić, and R. Melnik, Analysis of Worldwide Time-Series Data Reveals Some Universal Patterns of Evolution of the SARS-CoV-2 Pandemic, *Front. Phys.* **2022**, 936618 (2022), M21, без цитата  
DOI: 10.3389/fphy.2022.936618
5. V. Stević, M. Rašajski, and **M. Mitrović Dankulov**, Evolution of Cohesion between USA Financial Sector Companies before, during, and Post-Economic Crisis: Complex Networks Approach, *Entropy* **24**, 1005 (2022), M22, без цитата  
DOI: 10.3390/e24071005

У првом раду су анализирани обрасци самоорганизоване критичности у социјалним процесима креирања знања. Кандидаткиња је симулирала процес колективног креирања знања за различите вредности параметра моделом који је раније развила и имплементирала. Конкретно, симулиран је процес настанка колективног знања за различите сигнале раста социјалних система, као и за различите бројеве експертиза по агентима у моделу. Кандидаткиња је анализирала податке добијене из модела и из емпиријских података: расподеле времена интерактивности, броја активности, броја постављених питања и ентропије за емпиријске податке. Мапирала је активности корисника на питањима на бипартитне мреже и анализирала структуру ових мрежа. Из временских серија активности добијених из нумеричких симулација модела и емпиријских података израчунала је спектар снаге и дистрибуцију величина лавина и трајања лавина. У раду је показано да сигнал раста социјалних система и број експертиза по кориснику утичу на структуру мреже формирања колективног поверења. Поред тога, ови параметри утичу и на експоненте скалирања и геометрију лавина, као и на облик мултифракталног спектра. Даље, показано је да ниво активности корисника који међусобно деле знања корелише са флукуацијама брзине иновација, указујући на то да број иновативних комбинација може бити један од главних механизма иза само-организоване критичности. Ранији радови кандидаткиње су указали на постојање самоорганизоване критичности у процесу настанка колективног знања. Овај рад је значајан јер детаљно анализира обрасце самоорганизоване критичности у овом процесу и додатно открива како експоненти којима се описује самоорганизована критичност зависе од параметара као што су сигнал раста система и број експертиза по агенту.

У другом раду кандидаткиње испитане су структурне особине хиперболичких наномрежа. Хиперболичким наномрежама се описују самосклопиви материјали који су настали самоорганизованим комбиновањем нано-честица. Ове наночестице могу да се опишу помоћу кликова, малих потпуно повезаних графова, величине од 2-6. На основу модела хиперболичких мрежа, могу се симулирати мреже које су саграђене од елемента, кликова, одређене величине који се међусобно комбинују на основу параметра афинитета. Афинитет одређује да ли ће кликови делити већи или мањи број чворова и ивица када се комбинују. Мреже генерисане на овакав начин су хиперболичне са параметром хиперболичности једнаким 1 који не зависи од величине клика и афинитета. Кандидаткиња је урадила спектралну анализу мрежа добијених за различите величине кликова и различите вредности афинитета и упоредила њихове структуре. Израчунала је спектралну димензију мрежа генерисаних са кликовима величине од 3-6 за позитивне и негативне вредности афинитета. Показала је да спектрална димензија, чија вредност је у директној вези са типом дифузије не мрежи, зависи од величине градивног клика за позитивне вредности афинитета. Даље, показала је да вредност спектралне димензије не зависи од величине клика за негативне вредности афинитета, односно за мреже у којима кликови имају тенденцију да се повезују преко малог броја чворова и ивица. Кандидаткиња је даље анализирала спектре нормализованог Лапласијана ових мрежа. Ови спектри имају изражене пикове и минимуме, који показују постојање хијерархијске структуре у овим мрежама. Овај рад је значајан јер показује како се структуре

компатибилне са комплексним динамичким особинама могу направити контролисањем повезаности градивних елемената на вишим нивоима.

У трећем раду испитиван је утицај особина сигнала на структуру мрежа које расту. Као модел комплексних мрежа коришћен је модел мрежа са чворовима који старе. Сигнали раста су добијени из реалних система. Поред тога, генерисани су и сигнали раста са жељеним карактеристикама. Кандидаткиња је осмислила читаво истраживање, одабрала модел раста мреже, одабрала сигнале раста и предложила начин упоређивања мрежа. Екстраховала је сигнале раста из реалних система и направила анализу њихових особина, односно проценила Hurst-ов експонент. Даље, адаптирала је модел раста комплексних мрежа са чворовима који старе како би у истом могло да се дода више чворова и више веза у истом тренутку. Резултати су показали да структура комплексних мрежа зависи од особина сигнала њиховог раста. Највећа разлика између структуре мрежа које су генерисане константним сигналом и оних генерисаних сигналом који варира у времену се примећује за сигнале раста који су мултифрактални и имају карактеристичне дуго-дометне корелације. Особине сигнала не утичу на дистрибуцију степена чворова, односно све мреже имају исте дистрибуције степена чворова. Особине сигнала раста су корелисане са степен-степен корелацијама и зависношћу кластеринг коефицијента од степена чвора. Поред симулација и анализе, кандидаткиња је интерпретирала резултате и написала читав рад, и водила кореспонденцију са часописом. Такође, рад је представљен на престижној конференцији Networks 2021, која је основна конференција међународног Друштва за изучавање комплексних мрежа.

У четвртном раду анализирани су обрасци динамике пандемије SARS-CoV-2. Проучавана су два периода пандемије: период избијања пандемије, првих осам месеци, и период имнузације, првих осам месеци од почетка имунизације. Анализирани су временске серије број заражених на дневном нивоу у преко 200 земаља и региона света за наведена два периода. На основу ових временских серија, израчунате су корелационе матрице за ова два периода и те матрице су мапиране на две мреже у којима су чворови земље а везе сличности између њих. Спектралном анализом одређен је број заједница у ове две мреже, а затим су к-минс алгоритмом нађене групе временских серија у оквиру заједница. Резултати су показали да се мреже добијене за два наведена периода драстично разлику, што показује да је почетак имунизације променио динамику епидемије у земљама и регионима на другачије начине. Док неке групе земаља/региона имају регионални карактер, односно земље су груписане по регионима, постоје и кластери које обухватају земље из различитих делова света и са различитим степеном развоја. Земље/региони који се налазе у истим кластерима су слични по циклусима раста и опадања броја заражених, док на мањим временским скалама, до 14 дана, код већине земаља/региона испољавају перзистентне флукуације. Кандидаткиња је прикупила податке и урадила њихову емпиријску анализу, мапирање на мреже, спектралну анализу и груписање временских серија. Учествовала је у интерпретацији резултата и писању рада, и била одговорна за кореспонденцију са часописом.

У петом раду примењена је метода теорије комплексних мрежа на изучавање еволуције мреже економских фирми које послују у сектору финансија у Сједињеним Америчким Државама. Временске серије цена акција ових

компанија за период од 2002. до 2017. године искоришћен је за израчунавање сета корелационих матрица, по једна за сваку годину. Корелационе матрице су затим мапирани на отежињене комплексне мреже а затим је анализирана структура тих мрежа и како се она мења пре, током и после економске кризе 2008. године. Анализирана је мезоскопска структура ових мрежа, број и међусобна повезаност заједница. Показано је да се структура мреже мења услед проласка система кроз економску кризу. Систем у кризи има мање заједница које су јаче међусобно повезане, што је индикатор постојања високог систематског ризика. Са друге стране, опоравак система је праћен повећањем броја заједница које су слабије повезане међусобно, односно везе унутар заједница су јаче. Кандидаткиња је осмислила цело истраживање, односно поставила проблем, предложила методологију и слектовала податке. Анализирала је мезоскопске структуре заједница и израчунала како се њихов број и повезаност мењају током времена. Интерпретирала је резултате и написала рад, и била одговорна за кореспонденцију са часописом. Рад је представљен на конференцији Complex Networks: Theory and Applications 2021.

### **3.1.2. Цитираност научних радова кандидата**

Према подацима о цитираности аутора изведених из базе Web of Science на дан 27. 2. 2023. године, радови чији је кандидаткиња коаутор цитирани су 613 пута, од чега 541 пут без аутоцитата, а Хиршов индекс је 14.

### **3.1.3. Параметри квалитета радова и 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)
- 3 рада у Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment (1 рад ИФ = 2.670, 2 рада ИФ=2.234)
- 3 рада у PLOS One (ИФ= 3.234 за 2 рада и ИФ=3.057 за 1 рад)
- 3 рада у Physical Review E (1 рад ИФ = 2.508, 1 рад ИФ=2.284, 1 рад ИФ=2.296),
- 1 рад у Europhysics Letters (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)
- 2 рада у Entropy (1 рад ИФ = 1.564, 1 рад ИФ=2.738 ),
- 1 рад у Acta Physica Polonica A (ИФ = 0.604),
- 1 рад у Cellulose (ИФ=4.210)
- 1 рад у Frontiers in Physics (ИФ=3.718)
- 1 рад у EPJ Data Science (ИФ=3.630)

Укупан импакт фактор радова кандидаткиње је 124.464, а у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник тај фактор је



23.344. 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, Frontiers in Physics, EPJ Data Science.

Додатни библиометријски показатељи у вези са објављеним радовима кандидаткиње у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник. Она садржи импакт факторе (ИФ) радова, М20 бодове радова по категоризацији научноистраживачких резултата, као и импакт фактор нормализован по импакту цитирајућег чланка (СНИП) (најбоља вредност из периода до две године уназад од објаве рада). У табели су дате укупне вредности, као и вредности свих фактора усредњених по броју чланака и по броју аутора по чланку, за радове објављене у М20 категоријама.

	ИФ	М	СНИП
Укупно	23.344	65	8.654
Усредњено по чланку	2.918	8.125	1.082
Нормирано на број аутора	6.83	19.742	2.623

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

У свом укупном досадашњем раду, у оквиру категорије М20 кандидаткиња је први аутор седам радова, други аутор седам публикација, трећи аутор четири публикације, четврти аутор и седми аутор на по једној публикацији, а последњи аутор на шест публикација. На радовима који су објављени у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања научни сарадник, кандидаткиња је први аутор две публикације, други аутор једне публикације, седми аутор једне публикације и последњи аутор четири публикације. При изради свих ових публикација кандидаткиња је учествовала у конкретной 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 су први аутори студенти докторанди којима је кандидаткиња ментор или коментор 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 техносоцијалним заједницама. Током постдокторског истраживања, 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 истраживања, 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. Руководи темом Структура и динамика социо-економских система у оквиру Националног центра изузетних вредности за изучавање комплексних система. Све ове теме су врло актуелне, и спадају у интердисциплинарну област истраживања комплексни системи. За успешно изучавање динамике и структуре социјалних, а и других комплексних, система неопходно је познавање статистичке физике, напредних статистичких метода, теорије комплексних мрежа, као и напредних нумеричких метода, које укључују 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 Александар Томашевић (социологија), Филозофски факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад, Србија, др Томи Каупинен (рачунарске науке), Хелсинки, Финска, проф. др Силвана Стефани (економија), Бикока Универзитет, Милано, Италија.

Кандидаткиња ја руководилац Иновационог центра Института за физику у Београду, где руководи различитим активностима, од процене и заштите, до управљања интелектуалном својином Института за физику у Београду, развоја технолошких решења, руковођење иновационим пројектима, сарадње са привредом и услугама које Институт за физику у Београду пружа привреди. Као руководилац Иновационог центра сарађује са компанијама Quadra Graphic, Београд, Србија, Vlatacom Institut visokih tehnologija, Београд, Србија, Sirmia d.o.o, Нови Сад, Србија, Тетрагон д.о.о., Чачак, Србија, 60SECONDS LCD, Лондон, Велика Британија.

### ***3.1.5. Награде***

Кандидаткиња је добитница годишње награде за научни допринос Института за физику у Београду за 2017. годину, и годишње награде за финансијски допринос Института за физику у Београду за 2019. годину. Добитница је Стипендије јапанске фондације ИТО за 2019/2020. и 2020/2021. годину.

### ***3.1.6. Елементи применљивости научних резултата***

Истраживања кандидаткиње су претежно у области изучавања социо-економских система. Резултати њених радова имају велики утицај наше разумевање друштва и појава у друштву. Радови у подобласти структура и динамика колективних емоција у техно-социјалним мрежама су допринели нашем бољем разумевању динамике колективних емоција у онлајн заједницама и позитивним и негативним ефектима које емоције могу имати на одрживост ових заједница. На основу неких од радова направљене су препоруке за администраторе онлајн социјалних група које им помажу да своје заједнице заштите о негативних ефеката испољених емоција. Радови из подобласти квантитативно проучавање знања као колективног

феномена нам помажу да боље разумемо настанак знања и иновације у нашем друштву. Модел развијени зарад разумевања образаца мобилности у Обали Слоноваче може да послужи за предикцију образаца мобилности на основу позива а без угрожавања приватности људи. Истраживања у области примене комплексних система на биолошке, социјалне и економске системе пружају нам основ за боље разумевање ових система. Конкретно, истраживања на тему епидемија нам додатно показују да када предвиђамо епидемије морамо узети у обзир биолошке, социјалне и комбинацију ових фактора. Анализа мреже економских актера нам је показала да кроз саму анализу можемо да откријемо да ли је систем у стању високог систематског ризика, као и да боље разумемо утицај предузетих мера.

Радови из области примењене физике на тему третмана целулозних филмова плазмом су показали да поларне боје боље пријањају на целулозне филмове третиране плазмом. Ово је јако битан резултат за употребу ових филмова у штампи.

Резултати кандидаткиње који су већ примењени у привреди се односе на развој подесивог механизма лабораторијске мешалице. Лабораторијска мешалица са овим механизмом је у употреби у Институту за молекуларну генетику и генетски инжењеринг.

Модели и методи за анализу комплексних мрежа које је кандидаткиња развила током свог истраживачког рада су иккоришћени за развој алгоритама за препоруке у апликацији 60seconds, компаније 60SECONDS LCD. У плану је даљи развој ових алгоритама и нових решења за сајтове за електронску продају (e-commerce).

### 3.2. Ангажованост у формирању научних кадрова

Кандидаткиња је била ментор др Јелени Смиљанић у изради дисертације под насловом “Испитивање својстава комплексних мрежа са дискретном динамиком” одбрањене на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2017. године. Главни допринос тезе је у области статистичке физике социјалних система. Кључни научни доприноси описани су у поглављима 2 (Квантитативне методе), 3 (Подаци), 4 (Обрасци учешћа) и 5 (Структура социјалне мреже под утицајем учешћа на догађајима). Поглавља описују резултате представљене у радовима и поглављима:

1. The Structure and Dynamics of Meetup Social Networks  
J. Smiljanić and **M. Mitrović Dankulov**  
In Scientific Computing: Studies and Applications, Nova Science, p. 33 (2017).
2. Associative nature of event participation dynamics: A network theory approach  
J. Smiljanić and **M. Mitrović Dankulov**  
PLoS ONE **12**, e0171565 (2017).
3. 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).

У свим овим радовима кандидаткиња је руководила планирањем и истраживачким радом.

Кандидаткиња је одлуком Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одређена за ментора докторске тезе Ане Вранић под називом “Evolving complex networks: structure and dynamics”. Ментор је на докторским студијама Дарји Цветковић и Николи Ступару, који су уписали докторске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду 2020. односно 2021. године.

Кандидаткиња је била ментор следећих мастер теза:

1. Статистичка физика епидемија: модели на комплексним мрежама,  
Дарја Цветковић  
Физички факултет Универзитета у Београду, одбрањена 2020. године.
2. Обрасци мобилности у Граду Београду: просторно-временска анализа структуре и динамике прије и током COVID-19 пандемије  
Никола Ступар  
Физички факултет Универзитета у Београду, одбрањена 2021. године.
3. Структура и динамика комплексне мреже интеракција корисника на сајту Диг  
Даница Божин  
Физички факултет Универзитета у Београду, одбрањена 2022. године.

Кандидаткиња је као наставник ангажована на акредитованом мастер академском програму “Рачунарство у друштвеним наукама” на Универзитету у Београду, где држи наставу на предмету Рачунарска анализа друштвених мрежа.

Кандидаткиња је као наставник ангажована на акредитованом мастер академском програму “Напредна анализа података” на Универзитету у Београду, где држи наставу на српском и енглеском језику на предметима Увод у анализу временских серија, Анализа друштвених мрежа, Вештачка интелигенција/машинско учење, Визуелизација података, Увод у теорију комплексних мрежа.

Као доказ о менторству у изради докторске тезе приложене су прва страна доктората др Јелене Смиљанић, захвалница и садржај рада. Као доказ о менторству на докторским студијама Ани Вранић приложена је Одлука већа научних области природно-математичких наука Универзитета у Београду. Као доказ о менторству у изради мастер тезе приложене су прве странице мастер теза студената. Као доказ о учествовању у настави приложени су исписи са веб страница мастер програма.

### **3.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења**

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, само један експериментални рад кандидаткиње категорије М21а подлеже нормирању, јер има 11 аутора. Сви остали радови улазе са пуном тежином при обрачуна броја бодова.

Укупан број М бодова које је кандидаткиња остварила након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања је 102.5, а након нормирања тај

број је 98.06. Ова разлика је мала и не утиче на квантитативну процену резултата кандидаткиње.

### **3.4. Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима**

Кандидаткиња је до сада била руководилац 3 пројекта и две пројектне теме. Испред Института за физику у Београду била је или још увек јесте руководилац два пројекта Фонда за иновациону делатност Републике Србије у оквиру програма Сарадња науке и привреде. На једном пројекту је била руководилац у оквиру програма Трансфера технологије Фонда за иновациону делатност Републике Србије. Руководила је потпројектом у оквиру пројекта основних истраживања ОН171017, као и потпројектом у оквиру Националног центра изузетних вредности за изучавање комплексних система.

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник, руководила је следећим потпројектима и пројектима

**Назив:** Моделирање комплексних нелинеарних динамичких система

**Тип пројекта:** потпројекат у оквиру пројекта ОН171017 Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система

**Финансиран од:** Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

**Период:** 2014-2019

**Доказ:** Потврда руководиоца пројекта ОН171017 Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система

**Назив:** Структура и динамика социо-економских система

**Тип пројекта:** потпројекат у оквиру Националног центра изузетних вредности за изучавање комплексних система

**Финансиран од:** Министарство просвете науке и технолошког развоја Републике Србије

**Период:** 2019-2023

**Доказ:** Потврда руководиоца Националног центра изузетних вредности Центар за изучавање комплексних система

**Назив:** B-Lock: The first Physical Access Control System with uncopyable keys

**Тип пројекта:** Сарадња науке и привреде

**Финансиран од:** Фонд за иновациону делатност Републике Србије

**Партнер:** Vlatacom Institut visokih tehnologija, Београд, Србија,

**Период:** 2019-2021

**Доказ:** Испис стране о финансираним пројектима на сајту Фонда за иновациону делатност, копија прве и последње две стране Уговора о конзорцијуму

**Назив:** Platform for Remote development of Autonomous Driving algorithms in realistic environment – READ

**Тип пројекта:** Сарадња науке и привреде

**Финансиран од:** Фонд за иновациону делатност Републике Србије

**Партнер:** Symbia d.o.o, Нови Сад, Србија

**Период:** 2021-2023

**Доказ:** Испис стране о финансираним пројектима на сајту Фонда за иновациону делатност, копија прве и последње две стране Уговора о конзорцијуму

**Назив:** Miniaturization of Teslagram® reader for applications in secure tracking

**Тип пројекта:** програм програм Трансфер технологија

**Финансиран од:** Фонд за иновациону делатност Републике Србије

**Период:** 2021-2022

**Доказ:** Копија прве стране уговора о финансирању

### 3.5. Активност у научним и научно-стручним друштвима

Кандидаткиња је члан и представник Института за физику у Београду у Националном координационом телу за спречавање ширења оружја за масовно уништење.

Кандидаткиња је до сада била рецензент у следећим часописима: *Scientific Reports, PLOS One, Frontiers in Physics, Applied Sciences, Mathematics, Entropy, Nature Human Behavior, Physical Review E, Chaos*. Као доказ у прилогу су захвалнице за реферисање радова у овим часописима.

Кандидаткиња је у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник била члан у следећим научним и програмским комитетима домаћих и међународних конференција:

1. *The 7th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2018)*, од 12. до 13. децембра 2018. године, Камбриџ, Велика Британија
2. *The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2019)*, од 10. до 12. децембра 2019. године, Лисабон, Португал
3. *The 9th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2020)*, од 1. до 3. децембра 2020. године, Мадрид, Шпанија, онлајн
4. *The 10th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2021)*, 30. новембра до 2. децембра 2021. године, Мадрид, Шпанија
5. *The 11th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2021)*, од 8. до 10. новембра 2022. године, Палермо, Италија
6. *Conferences on Complex Systems (CCS2021)*, од 25. до 29. октобра 2021. године, Лион, Француска
7. *The 4th Annual International Conference on Computational Social Science (IC2S2 2018)*, од 12. до 15. јула 2018. године, Еванстон, САД
8. *The 5th Annual International Conference on Computational Social Science (IC2S2 2019)*, од 17. до 20. јула 2019. године, Амстердам, Холандија
9. *The 6th Annual International Conference on Computational Social Science (IC2S2 2020)*, од 17. до 20. јула 2020. године, онлајн

10. *The 7th Annual International Conference on Computational Social Science (IC2S2 2021)*, од 27. до 31. јула 2021 године, Цирих, Швајцарска, онлајн
11. *International Conference on Computing, Electronics and Communications Engineering (iCCECE 2018)*, од 15. до 16. августа 2018. године, Соутланд, Велика Британија
12. *International Conference on Emerging Technologies in Computing (iCETiC 2018)*, од 23. до 24. августа 2018. године, Лондон, Велика Британија
13. *International Conference on Complex Systems (ICCS 2018)*, од 22. до 27. јула 2018. године, Кембриџ, САД
14. *International Conference on Complex Systems (ICCS 2020)*, which will be held од 26. до 31. јула 2020. године, Нашуа, Велика Британија
15. *The 10th Social Informatics conference (SocInfo 2018)*, од 25. до 28. септембра 2018. године, Санкт Петербург, Русија
16. *11th International Conference of the Balkan Physical Union (BPU11)*, од 28. августа до 1. септембра 2022. године, Београд, Србија, координатор секције *Physics of Socioeconomic Systems and Applied Physics*
17. *The Fifth Conference on Information Theory and Complex Systems (TINKOS 2017)*, од 9. до 10. новембра 2017. године, Београд, Србија

Као доказ о чланству у програмским комитетима приложени су позиви за учествовање у програмским комитетима и докази о прихватању позива, као и исписи из књиге апстраката. Као доказ о чланству у Националном координационом телу за спречавање ширења оружја за масовно уништење приложена је одлука Владе Републике Србије.

### **3.6. Утицај научних резултата**

Утицај научних резултата огледа се у подацима о цитираности, наведеним у секцији 3.1.2.

Кандидаткиња је одржала три предавања по позиву, а своје резултате је представила и на пет конференција у земљи и иностранству.

Одржала је и два семинара у групи за Биоинформатику математичког факултета Универзитета у Београду 2019. године и у Лабораторији за дигиталну социометрику Института за филозофију и друштвену теорију 2020. године.

### **3.7. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству**

Кандидаткиња је значајано допринела сваком раду на коме је учествовала. Осам радова у часописима, три поглавља у књигама и један патент у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник су урађени у Институту за физику у Београду. Под руководством кандидаткиње урађена су четити рада у часописима и три поглавља у књизи. На овим радовима је кандидаткиња последњи аутор и за њих је дефинисала проблем, осмислила методе истраживања, учествовала у сакупљању података, њиховој анализи и моделирању, интерпретирала резултате, написала и едитовала рад. У два рада на

којима је први аутор, кандидаткиња је у сарадњи са коауторима осмислила проблем, сакупила и анализирала податке и дала значајан допринос у интерпретацији резултата. На једном раду у часопису кандидаткиња је други аутор. Ту је била покретач истраживања, радила је на сакупљању и чишћењу података, развоју метода за емпиријску анализу података, као и на њиховој емпиријској анализи, развоју одговарајући модела и њиховим нумеричким симулацијама, писању радова. На преосталом раду у часописима кандидаткиња је седми аутор. У овом раду кандидаткиња је заједно са колегама осмислила метод мерења квашења и извршила мерења. На патенту је кандидаткиња наведена као четврти аутор. Приликом припреме патента учествовала је у осмишљавању подесивог механизма лабораторијске мешалице и писању патентне пријаве.

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 моделовање колективних феномена у комплексним системима, је успешно пренела млађим сарадницима у својој подгрупи која је део Лабораторије за примену рачунара у науци Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система. У оквиру Центра је руководилац потпројекта, односно једног правца истраживања.

### **3.8. Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности**

- 1. Marija Mitrović Dankulov and B. Tadić**  
*Spectral Properties Of Hyperbolic Nano-Networks*  
20th Symposium on Condensed Matter Physics (SFKM), October 7-11 2019, Belgrade, Serbia, pp. 60, **M32**
- 2. Marija Mitrović Dankulov**  
*Python and computational social science*  
Pycon Balkan 2019, October 3-5 2019, Belgrade, Serbia, keynote speaker
- 3. M.Mitrović Dankulov and B.Tadić**  
*Spectral Properties of Graphs with Aggregated Simplexes*  
Higher-Order Connectivity and Correlations in Complex Systems, November 25-26 2019, Vienna, Austria, **M34**
- 4. M.Mitrović Dankulov**  
*Kvantifikacija slučajnosti u biološkim kompleksnim mrežama*  
Семинар за биоинформатику, Универзитет у Београду, 8. мај 2019. године, Београд, Србија
- 5. M.Mitrović Dankulov**  
*Socio-fzika: kako fizičari proučavaju kolektivne fenomene u socijalnim sistemima*  
Семинар Лабораторије за дигиталну социометрику, Институт за филозофију и друштвену теорију, 9. новембар 2020. године, Београд, Србија
- 6. M.Mitrović Dankulov**  
Quantifying randomness in real interaction networks and examples in biology



The 2nd Balkans-China mini-symposium on natural products and drug discovery, April 11-13, 2019, Belgrade, Serbia, pp. 48, **M62**

7. A. Vranić and **M. Mitrović Dankulov**  
*Growth signals shape the topology of evolving networks*  
Networks 2021: A Joint Sunbelt and NetSci Conference, July 5-10 2021.,  
online, pp. 283, **M34**
8. **M. Mitrović Dankulov** and J. Smiljanić  
*Structure and dynamics of event-driven social groups*  
The Fifth Conference on Information Theory and Complex Systems TINKOS  
2017, November 9-10 2017, Belgrade, Serbia, pp. 22-23, **M64**
9. **M. Mitrović Dankulov** and B. Tadić  
*Higher-distance connectivity portraits and spectral dimension of human connectomes*  
Higher-Order Topology & Dynamics in Complex Networks Satellite  
Symposium within NetSci2022, 11 and 13 July 2022, online
10. **M. Mitrović Dankulov**  
Collective Knowledge Building in Online Social Networks  
Digital Society Now EMERGE2022, Belgrade, 16-18 December 2022,  
Belgrade, Serbia, pp. 76, **M34**
11. **M. Mitrović Dankulov** and J. Smiljanić  
Associative nature of event-driven social dynamics: a network theory approach  
*The 6th International Conference on Complex Networks and their Applications*  
(*Complex Networks 2017*), November 29 – December 1 2017, Lyon, France, pp.  
30.31, **M34**

Као доказ приложена су позивна писма за учешће на конференцијама, Веб сајтови конференција, изводи из књига апстраката.

#### 4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

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	Нормирани број М бодова
M13	7	2	14	14
M14	4	1	4	4
M21a	10	2	20	15.56
M21	8	5	40	40
M22	5	1	5	5
M32	1.5	1	1.5	1.5
M33	1	1	1	1
M34	0.5	8	4	4
M62	1	1	1	1
M92	12	1	12	12

Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање научни саветник:

Минимални број М бодова	Неопходно	Остварено	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	70	<b>102.5</b>	<b>98.06</b>
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	50	<b>97.5</b>	<b>93.06</b>
M11+M12+M21+M22+M23	35	<b>65</b>	<b>60.56</b>

## 5. ЗАКЉУЧАК

Др Марија Митровић Данкулов у потпуности испуњава све услове за избор у звање научни саветник предвиђене Правилником о стицању истраживачких и научних звања Министарства науке, технолошког развоја и иновација. У досадашњој каријери остварила је оригиналне и веома значајне научне резултате који побољшавају наше разумевање комплексних мрежа. Интердисциплинарна и мултидисциплинарна природа истраживања др Марије Митровић Данкулов је додатан квалитет који препознајемо као изузетно значајан за развој ове релативно нове области и новог приступа проучавању комплексних система на Институту за физику у Београду, које је започела кандидаткиња

Имајући у виду квалитет њеног научноистраживачког рада и достигнути степен истраживачке компетентности, изузетно нам је задовољство да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Марије Митровић Данкулов у звање научни саветник.

Београд, 8. мај 2023. год.

Чланови комисије:



др Антун Балаж  
научни саветник  
Институт за физику у Београду



др Александар Белић  
научни саветник  
Институт за физику у Београду



др Марија Рашајски  
редовни професор  
Електротехничког факултета Универзитета у Београду