

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на VI седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 22. марта 2023. године одређени за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације „**Evolving Complex Networks: Structure and Dynamics**“ (на српском језику: „**Растуће комплексне мреже: структура и динамика**“) из научне области физика кондензоване материје и статистичка физика, коју је кандидаткиња Ана Вранић, мастер физичар, предала Физичком факултету Универзитета у Београду 17. марта 2023. године, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидаткињи

1.1. Биографски подаци

Ана Вранић је рођена 23. новембра 1993. године у Чачку, где је завршила основну школу и Гимназију, обе са Вуковом дипломом. Након тога је уписала основне академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика, где је дипломирала 2016. године са просечном оценом 9,24. Исте године уписује мастер академске студије на Физичком факултету, смер Теоријска и експериментална физика и завршава их 2017. године са просечном оценом 10,00. Мастер рад „Термодинамика и транспорт електрона у Хабардовом моделу на троугаоној решетки“ урадила је под менторством др Дарка Танасковића у оквиру Лабораторије за примену рачунара у науци Института за физику у Београду. У току летњег семестра Ана је посетила Институт Јожеф Стефан у Љубљани у склопу израде мастер рада, при чему је била и стипендиста СЕЕРУС програма. Наредне године је добила награду „Проф. др Љубомир Ћирковић“ за најбољи мастер рад одбрањен на Физичком факултету Универзитета у Београду.

Новембра 2017. године је уписала докторске академске студије на Физичком факултету из уже научне области физика кондензоване материје и статистичка физика. Научноистраживачки рад наставља на темама из статистичке физике комплексних система под менторством др Марије Митровић Данкулов, у оквиру Лабораторије за примену рачунара у науци, Центар изузетних вредности за изучавање комплексних система Института за физику у Београду. Од априла 2018. године је запослена на Институту за физику у Београду као истраживач приправник и ангажована на пројекту основних истраживања „Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система“ (ОН171017) Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, којим је руководио др Антун Балаж. Од септембра 2020. године је ангажована и на пројекту „Artificial Intelligence Theoretical Foundations for Advanced Spatio-Temporal Modelling of Data and Processes“ (ATLAS) Фонда за науку Републике Србије. На Колегијуму докторских студија Физичког факултета Универзитета у Београду одржаном 14. априла 2021. године одбранила је тему докторске дисертације под насловом „Evolving Complex Networks: Structure And Dynamics“ (на српском језику: „Растуће комплексне мреже: структура и динамика“), а за ментора је одређена др Марија Митровић Данкулов, виши научни сарадник. Након одбране теме докторске дисертације изабрана је у звање истраживач сарадник.

Из теме доктората, Ана је објавила један рад категорије М21а, два рада категорије М21 и седам саопштења са међународних скупова у изводу категорије М34. Поред тога, на темама које нису везане за тему доктората објавила је један М21 рад. Ана Вранић је била полазник школа за студенте докторских студија „Spring Collage of Complex Systems“ у International Centre for Theoretical Physics (ICTP) у Трсту (Италија), као и Complexity72h у IMT School for Advanced Studies, у Луки (Италија).

1.2. Научна активност

Научноистраживачки рад Ане Вранић је у области статистичке физике комплексних система и теорије комплексних мрежа, као и у области јако корелисаних система.

За време докторских студија, под руководством др Марије Митровић Данкулов, Ана Вранић се бавила физиком комплексних система и изучавањем колективних феномена у многочестичним системима. Методи статистичке физике, као и методи комплексних мрежа се успешно могу применити на социо-економске системе, што је довело до развоја области социо-физике. Током докторских студија, Ана Вранић је анализира структуру и раст социјалних мрежа у различитим онлајн и офлајн заједницама.

У стандардним моделима који описују еволуцију комплексних мрежа, подразумева се да мрежа расте линеарно. Међутим, раст реалних заједница није константан у времену, па се као једно од важних питања намеће како променљивост броја нових чланова који се придружују систему може да промени структуру комплексне мреже. Број нових чланова се може представити сигналом. Модел раста комплексних мрежа, који као параметре узима степен и старост чвора, прилагођен је како би се анализирао утицај особина сигнала раста на структуру моделираних мрежа. За разлику од Поасоновог сигнала у коме налазимо краткодометне корелације, код сигнала раста реалних заједница се појављују и дугодометне корелације, мултифракталност, али и трендови који су типични за активност људи. У свом научном раду, Ана Вранић је показала да постоји критичан регион параметара модела где се јављају значајне разлике у повезаности међу чворовима када се упореде мреже које су генерисане користећи константан сигнал раста и оне код којих је сигнал раста преузет из реалних података. Мреже које су расле под утицајем временски зависне побуде су кластерисане и корелисане, за разлику од мрежа генерисаних додавањем константног броја чворова. Такође, на структуру мреже већи утицај имају сигнали са дугодометним корелацијама и мултифракталним особинама. Добијени резултати указују на то да у моделима раста комплексних мрежа сигнал раста представља важан параметар који би требало узети у обзир приликом моделирања комплексних социјалних система.

Поред тога, Ана Вранић се бавила и анализом раста социјалних заједница. Применом емпиријске анализе и теоријског моделирања објаснила је динамику раста социјалних група и сегрегацију појединаца у социјалном систему, са нагласком на универзалне обрасце који настају приликом овог раста. Емпиријска анализа је показала да величина социјалних група у два социјална система, Meetup и Reddit, насталих у истој години и рескалираних на средњу величину група насталих у тој години, прати лог-нормалну расподелу са истим параметрима, чија је вредност независна од године настанка групе. Групе у оквиру Meetup система настале на географским локацијама Лондон и Њујорк имају исту расподелу, независно од локације и времена настанка. Детаљна анализа је показала да Гибратов закон, често коришћен да се објасни лог-нормална крива у подацима, не може да објасни раст ових социјалних група јер релативни раст зависи од величине групе. Стога, кандидаткиња је дизајнирала модел раста социјалних група заснован на растућим бипартитним мрежама. У овим мрежама постоје две групе чворова, корисници и групе, док линкови представљају чланство корисника у некој групи. Параметри модела су вероватноћа за оснивање нове групе и вероватноћа да се корисник прикључи групи у којој су већ присутни његови пријатељи. Детаљна анализа је показала да овакав модел може верно да репродукује вероватноће расподела рескалиране величине група за оба система. Даље, кандидаткиња је показала да социјални контакти имају већи утицај при избору група код Reddit корисника него што је то случај код Meetup корисника.

Ана Вранић је током докторских студија изучавала и динамику колективног поверења, као и утицај овог поверења и структуре еволутивне мреже на одрживост социјалних заједница. Анализира је четири пара социјалних заједница Stack Exchange мреже, њихову еволуцију као и како структура социјалне мреже и колективно поверење утичу на њихову одрживост. Сваки пар заједница чине две заједнице на исту тему; једна која је угашена после шест месеци и једна заједница која је и данас активна. Испитиване заједнице су окупљене око постављања питања и давања одговора на

одговарајућу тему, у којима се корисници окупљају да размене своје знање. Теме испитиваних заједница су астрономија, књижевност, економија и физика. Свака од ових заједница је у првом покушају формирања доживела неуспех, да би у другом покушају била успешна. Кандидаткиња је анализирао рану еволуцију мреже социјалних интеракција између чланова заједнице и показала да одрживе заједнице имају већу локалну кохезију и стабилнија језгра која су боље повезана са периферијом мреже. Користећи модел динамичке репутације, колегиница Вранић је показала да код одрживих заједница језгро чине чланови који имају већу просечну репутацију, односно чланови заједнице су их посматрали са вишим степеном поверења него што је то био случај у заједницама које су се угасиле.

Током мастер студија, под менторством др Дарка Танасковића, Ана Вранић се бавила изучавањем јако корелираних система. Динамичка теорија средњег поља (Dynamical Mean-Field Theory, DMFT) је метод помоћу кога се могу описати јако корелирани системи и заснива се на решавању модела нечистоће, при чему се нелокалне електронске корелације занемарују. Међутим, увек се поставља питање колико су нелокалне корелације важне за опис јако корелираних система. Кандидаткиња је анализирао Хабардов модел на троугаоној решетки коришћењем DMFT метода. Израчунала је проводне, термодинамичке и транспортне особине електрона, а резултати су потом упоређени са резултатима Lanczos метода на коначној температури, који укључује нелокалне корелације. На вишим температурама нелокалне корелације постају занемарљиве и разлике између DMFT и Lanczos резултата су занемарљиве, док на нижим температурама разлике постоје, али су мале. Иако се троугаона решетка одликује магнетном фрустрацијом решетки и сопствена енергија је више локализована, слични закључци се добијају и у случају квадратне решетки. Са друге стране, у раду је показано да допринос вертекс корекција у оптичкој проводности опстаје чак и на високим температурама за оба типа решетки.

Ана Вранић је учествовала у две међународне школе:

1. Spring Collage of Complex Systems, 19 February – 16. March 2018, International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy;
2. Complexity72h, 17 – 21 June 2019, IMT School for Advanced Studies Lucca, Italy.

Од септембра 2020. до августа 2022. године је била ангажована на пројекту „Artificial Intelligence Theoretical Foundations for Advanced Spatio-Temporal Modelling of Data and Processes“ (ATLAS) Фонда за науку Републике Србије.

2. Опис предатога рада

2.1. Основни подаци

Дисертација је урађена под руководством др Марије Митровић Данкулов, вишег научног сарадника, запослене на Институту за физику у Београду. Менторка испуњава услове Физичког факултета и Универзитета у Београду за руковођење изразом докторске дисертације јер је у научном звању и аутор је великог броја радова из области физике кондензованог стања и статистичке физике који су објављени у врхунским међународним часописима и представљени на међународним и домаћим конференцијама.

Дисертација је написана на енглеском језику на 97 страна, не рачунајући насловну страну, захвалнице, сажетак, садржај, биографију аутора и изјаве. У тексту се налази 6 табела и 56 слика, а у библиографији је наведено 138 референци. Теза је подељена у 6 поглавља и садржи 4 додатка.

2.2. Предмет и циљ рада

Предложена докторска дисертација припада области статистичке физике комплексних система, а системи којима се бави су социјални комплексни системи.

Статистичка физика комплексних система је значајно допринела разумевању настанка, еволуције, структуре и динамике комплексних система, како оних који су традиционално предмет проучавања физике, тако и оних који се обично проучавају у другим областима науке, као што су социологија и биологија. Физика је својим методама и приступом допринела да се ови системи квантитативно опишу и да се боље разумеју механизми који су у основи њихове еволуције. Комплексни системи се састоје од великог броја интерагујућих елемената и испољавају колективно понашање. Иако инхерентно различити по типу, функцијама и начину настанка, ови системи често испољавају универзалне особине. Управо ова чињеница указује да је поједностављени опис оваквих система могућ. Методи и приступ статистичке физике омогућавају да се открије мали скуп значајних механизма који су у основи раста комплексних система и који одређују њихову структуру и динамику.

Један од најзначајнијих доприноса статистичке физике овој области је што је пружила методе и парадигме који су довели до сазнања да су структура интеракција између елемената система и његова динамика нераскидиво повезани. У комбинацији са теоријом комплексних мрежа, која нам даје алате за квантитативни опис структуре мреже интеракција, статистичка физика нам је дала кључне увиде у механизме повезаности структуре и динамике комплексних система. Истраживање динамике комплексних мрежа је битно за разумевање главних механизма који доводе до појаве структура које срећемо у реалним системима. Једна од основних особина социјалних система је да се стално мењају, односно да комплексна мрежа којом се описују интеракције у систему расте и еволуира, без достизања равнотеже. Разумевање механизма који воде овај раст, као и како тај раст утиче на динамику комплексних система, представља један од циљева физике комплексних система, односно физике социјалних система.

Предмет ове докторске дисертације је анализа структуре и динамике растућих комплексних мрежа које представљају реалне система. Основни циљ је да се разумеју фактори који имају утицај на раст ових мрежа, универзалне обрасце овог раста, као и како еволуција структуре растућих комплексних мрежа утиче на одрживост социјалних заједница. При анализи и моделирању се користе методе развијене у оквиру теорије комплексних мрежа и статистичке физике. За ово истраживање је кључна примена рачунарских симулација, која омогућава испитивање сложених система коришћењем модела који могу да узму у обзир већи број релевантних параметара, док је аналитичко решење често познато само у специјалним случајевима. Циљеви тезе су:

1. квантификовање и боље разумевање утицаја особина сигнала раста социјалних мрежа на њихове тополошке особине;
2. идентификовање и проучавање механизма који воде раст социјалних група и одговорни су за универзалне обрасце сегментације социјалних система;
3. идентификовање особина социјалних мрежа које су одговорне за одрживост социјалних заједница.

Различити модели комплексних мрежа, предложени у претходне две деценије, су показали да су неопходни саставни делови сваког модела који жели да опише реалне системе правила повезивања и раст комплексне мреже. Резултати истраживања су показали да правила повезивања имају значајан утицај на структуру генерисаних мрежа. За раст се увек претпостављало да је константан и мало пажње је посвећено овом питању. Ипак, емпиријска анализа реалних система и њихово нумеричко моделирање је показало да начин раста социјалних система има велики утицај на њихову динамику и структуру. Кандидаткиња је адаптирала модел растућих комплексних мрежа са чворовима који старе да би омогућила додавање више од једног чвора и више од једног линка у једном временском кораку. Кандидаткиња је затим описала и квантификовала својства различитих реалних и нумерички генерисаних сигнала раста комплексне мреже. Нагласак је стављен на утицај сигнала раста на структуру генерисаних комплексних мрежа. За разлику од ранијих модела који комбинују константан раст мреже и специфичну вероватноћу повезивања, у раду кандидаткиње је по први пут показано да изузетно важан утицај на структуру комплексних мрежа имају особине сигнала раста. Кандидаткиња је показала да нелинеарни раст има највећи утицај на мреже са scale-

free структуром. Статистичка анализа различитих социјалних, технолошких и биолошких система је показала да мреже којима се представљају ови системи имају scale-free структуру, корелисане су и кластерисане. Резултати кандидаткиње показују да су мреже чији је раст пратио сигнал раста добијен из реалних система корелисане и кластерисане, за разлику од мрежа које су генерисане користећи константни сигнал раста. Тако је, по први пут, на систематски начин показано да је при моделирању реалних система неопходно анализирати и саму побуду система, јер реални сигнали са дугодометним корелацијама, трендовима и циклусима у различитој мери утичу на топологију генерисаних мрежа.

У сврху реализације другог циља, кандидаткиња је анализирала дистрибуције расподеле вероватноће величина социјалних група у два различита социјална система, Meetup и Reddit. Показала је да дистрибуције вероватноћа прате лог-нормалну криву. Груписањем група у истом систему по годинама настанка и рескалирањем њихових величина на средњу величину групе, показала је да све криве за групе из истог система имају исте параметре, што нам указује на то да раст група прати универзалне законитости. Да би открила ове законитости, кандидаткиња је развила модел раста социјалних група базиран на растућим бипартитним мрежама и нашла параметре раста за два поменута система. Резултати су показали да се раст социјалних група у оба система може описати истим моделом, при чему је показала да социјални контакти имају већи утицај у случају Reddit система него у случају Meetup-а.

У оквиру трећег циља, кандидаткиња је анализирала рану еволуцију социјалних мрежа четири пара заједница мреже Stack Exchange. Ова мрежа садржи заједнице у којима корисници постављају питања и одговоре на неку одређену тему. Сваки пар изучаваних заједница садржи једну заједницу која је затворена после шест месеци и једну заједницу која је још увек активна, а које су на исту тему. Теме изучаваних заједница су астрономија, физика, књижевност и економија. Кандидаткиња је анализирала и упоредила еволуцију структуре мрежа интеракције ових заједница и показала да одрживе заједнице имају већу локалну кохезију, односно већи локални кластеринг коефицијент, као и стабилнија и боље повезана језгра. Кандидаткиња је адаптирала модел динамичке репутације да би анализирала динамику репутације сваког корисника. Анализа динамичке репутације је открила да рана језгра одрживих заједница чине корисници са просечно већом репутацијом него што је то случај са језгрима угашених заједница. Овде је кандидаткиња показала да је структура мреже интеракција у раним фазама живота социјалне заједнице добар индикатор за њихову одрживост у каснијим фазама.

Резултати ове тезе значајно доприносе разумевању структуре и динамике растућих социјалних мрежа. Кандидаткиња је показала да особине сигнала раста имају значајан утицај на структуру мреже као и динамику раста социјалних и комплексних система, и стога се морају узети у обзир приликом моделирања. Овај принцип је применила у моделирању раста социјалних група и показала да овај раст у различитим системима прати универзалне обрасце и да се може моделирати на исти начин. На крају, показала је да је одрживост социјалне заједнице уско повезана са структуром мреже интеракција у раној фази њеног развоја.

2.3. Публикације чији су резултати приказани у дисертацији

У овој докторској дисертацији су представљени резултати три рада, и то једног рада објављеног у часопису категорије M21a и два рада објављена у часописима категорије M21. Резултати су такође представљени на седам међународних конференција, као саопштења категорије M34.

Радови објављени у међународним часописима изузетних вредности (M21a):

1. **A. Vranić**, A. Tomašević, A. Alorić, and M. Mitrović Dankulov, Sustainability of Stack Exchange Q&A communities: the role of trust, EPJ Data Sci. **12**, 4 (2023). DOI: doi.org/10.1140/epjds/s13688-023-00381-x; ISSN: 2193-1127; **IF(2021) = 3.630**

Радови објављени у међународним часописима изузетних вредности (M21):

1. **A. Vranić** and M. Mitrović Dankulov
Growth signals determine the topology of evolving networks,
J. Stat. Mech.: Theory Exp. **2021**, 013405 (2021).
DOI: 10.1088/1742-5468/abd30b; ISSN: 1742-5468; **IF(2021) = 2.234**
2. **A. Vranić**, J. Smiljanić, and M. Mitrović Dankulov,
Universal growth of social groups: empirical analysis and modeling,
J. Stat. Mech.: Theory Exp. **2022**, 123402 (2022).
DOI: 10.1088/1742-5468/aca0e9; ISSN: 1742-5468; **IF(2021) = 2.234**

Саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M34):

1. **A. Vranić**, J. Smiljanić, and M. Mitrović Dankulov,
Universal growth of social groups,
11th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2022), 8-10 November 2022, Palermo, Italy.
2. **A. Vranić**, A. Tomašević, A. Alorić, and M. Mitrović Dankulov,
The role of trust in sustainability of knowledge-sharing social groups: the case of Stack Exchange Q&A communities,
11th International Conference of the Balkan Physical Union (BPU11), 28 August – 1 September 2022, Belgrade, Serbia, p. 212.
3. **A. Vranić**, J. Smiljanić, and M. Mitrović Dankulov,
Universal patterns of social group growth: a statistical physics approach,
11th International Conference of the Balkan Physical Union (BPU11), 28 August – 1 September 2022, Belgrade, Serbia, p. 215.
4. **A. Vranić** and M. Mitrović Dankulov,
Topology of evolving networks: the role of growth signals,
11th International Conference of the Balkan Physical Union (BPU11), 28 August – 1 September 2022, Belgrade, Serbia, p. 218.
5. A. Alorić, M. Mitrović Dankulov, A. Tomasević, and **A. Vranić**,
Sustainability of Stack Exchange Q-A communities: the role of social cohesion and trust,
7th International Conference on Computational Social Science IC2S2, 27-31 July 2021, online
6. **A. Vranić** and M. Mitrović Dankulov,
Growth signals shape the topology of evolving networks,
Networks 2021: A Joint Sunbelt and NetSci Conference, 5-10 July 2021, online, p. 283.
7. **A. Vranić** and M. Mitrović Dankulov,
The role of driving signal in the evolution of social networks,
8th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2019), 10-12 December 2019, Lisboa, Portugal, pp. 356-358.

2.4. Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Ова докторска дисертација је подељена у шест поглавља.

У првом поглављу дат је увод у проблематику која је разматрана у дисертацији и укратко су описани најважнији концепти који се користе у оквиру теорије комплексних мрежа. Ово поглавље даје кратак преглед репрезентације комплексних мрежа, затим њихове типове, као и најважније примене овог концепта. Поред тога, даје и кратак преглед најважнијих резултата из области статистичке физике комплексних мрежа.

Поглавље 2 даје детаљан опис методологије која је коришћења у изради овог рада и постизању његових циљева. Описане су најбитније мере којима се квантификује структура комплексних мрежа, затим методи налажења мезоскопских структура у њима, укључујући и блок-стохастички модел за налажење структуре заједница-периферија. Дат је детаљан опис различитих облика расподела вероватноће, као и начин процене вредности њихових параметара на основу емпиријских података. Описани су основни модели растућих комплексних мрежа, као и модел растуће мреже са

чворовима који старе. Дата је детаљна анализа и фазни дијаграм мрежа генерисаних овим моделом за различите врсте параметара. Описан је метод фракталне анализе временских серија који је коришћен за квантификовање особина сигнала раста. На крају је описан општи облик модела динамичке репутације који је коришћен за анализу динамике репутације корисника.

У поглављу 3 се проучава утицај особина сигнала раста на структуру генерисаних комплексних мрежа. Прво су анализирани сигнали раста добијени из реалних система, њихових рандомизованих верзија, као и нумерички генерисаног Поасоновог сигнала и монофракталних сигнала. Процењен је Hurst-ов експонент, као и мултифракталност сигнала. Приказан је адаптиран модел комплексних мрежа са чворовима који старе. Коришћењем временски зависних сигнала генерисане су мреже за различите вредности параметара модела и упоређена је њихова структура, коришћењем D-мере, са структуром мрежа које су генерисане помоћу константног сигнала раста. Квантификована је зависност разлике у структури од својстава сигнала и за различите вредности параметара модела. Показано је да се највећа разлика опажа за мултифракталне сигнале раста и за мреже које имају scale-free структуру.

У четвртном поглављу проучавају се обрасци раста социјалних група за два социјална система, Meetup и Reddit. Прво су анализиране расподеле вероватноће рескалираних величина група и показано је да ове вероватноће имају облик лог-нормалне криве. Одређени су параметри лог-нормалних кривих и показано је да обрасци раста имају универзални облик. Анализом зависности раста од величине група је показано да се раст не може објаснити Гибратовим законом пропорционалног раста. Због тога је направљен модел раста социјалних група заснован на бипартитним растућим мрежама. Одређени су параметри модела за сваки од система на основу реалних података. Показано је да раст група у оба система може да се објасни овим моделом, као и разлике које се виде расподелама вероватноће величине група.

Поглавље 5 представља резултате дисертације који се односе на изучавање односа између еволуције структуре мреже у раној фази и одрживости заједница у оквиру Stack Exchange мреже. Прво су описане заједнице које су проучаване, подаци, као и процеси настанка и гашења заједница. Затим је описан начин мапирања података на мреже и анализа њихове еволуције. Анализирана је еволуција кластеринг коефицијента, као и величина и повезаност језгра. Приказана је анализа динамичке репутације појединаца, еволуције средње вредности репутације у целом систему и у језгру. Показано је да одрживе мреже имају израженију локалну кохезију, стабилнија језгра и чланове који имају вишу динамичку репутацију у раним фазама развоја заједнице у поређењу са угашеним заједницама.

У поглављу 6 дат је преглед добијених резултата и сумирани су главни закључци. Дисертација садржи и четири додатка, који дају детаље поређења угашених и активних заједница, затим поступак одређивања параметара модела, избор интервала за који се посматра мрежа, као и робусност алгорита за налажење структуре језгро-периферија.

3. Списак публикација кандидаткиње

Радови објављени у међународним часописима изузетних вредности (M21a):

1. **A. Vranić**, A. Tomašević, A. Alorić, and M. Mitrović Dankulov, Sustainability of Stack Exchange Q&A communities: the role of trust, EPJ Data Sci. **12**, 4 (2023). DOI: doi.org/10.1140/epjds/s13688-023-00381-x; ISSN: 2193-1127; **IF(2021) = 3.630**

Радови објављени у међународним часописима изузетних вредности (M21):

1. **A. Vranić** and M. Mitrović Dankulov Growth signals determine the topology of evolving networks J. Stat. Mech.: Theory Exp. **2021**, 013405 (2021). DOI: 10.1088/1742-5468/abd30b; ISSN: 1742-5468; **IF(2021) = 2.234**

2. **A. Vranić**, J. Smiljanić, and M. Mitrović Dankulov,
Universal growth of social groups: empirical analysis and modeling,
J. Stat. Mech.: Theory Exp. **2022**, 123402 (2022).
DOI: 10.1088/1742-5468/aca0e9; ISSN: 1742-5468; **IF(2021) = 2.234**
3. **A. Vranić**, J. Vučićević, J. Kokalj, J. Skolimowski, R. Žitko, J. Mravlje, and D. Tanasković,
Charge Transport in the Hubbard Model at High Temperatures: Triangular Versus Square Lattice,
Phys. Rev. B **102**, 115142 (2020).
DOI: 10.1103/PhysRevB.102.115142; ISSN: 2469-9950; **IF(2020) = 4.036**

Саопштења са међународног скупа штампана у изводу (**M34**):

1. **A. Vranić**, J. Smiljanić, and M. Mitrović Dankulov,
Universal growth of social groups,
11th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2022), 8-10 November 2022, Palermo, Italy.
2. **A. Vranić**, A. Tomašević, A. Alorić, and M. Mitrović Dankulov,
The role of trust in sustainability of knowledge-sharing social groups: the case of Stack Exchange Q&A communities,
11th International Conference of the Balkan Physical Union (BPU11), 28 August – 1 September 2022, Belgrade, Serbia, p. 212.
3. **A. Vranić**, J. Smiljanić, and M. Mitrović Dankulov,
Universal patterns of social group growth: a statistical physics approach,
11th International Conference of the Balkan Physical Union (BPU11), 28 August – 1 September 2022, Belgrade, Serbia, p. 215.
4. **A. Vranić** and M. Mitrović Dankulov,
Topology of evolving networks: the role of growth signals,
11th International Conference of the Balkan Physical Union (BPU11), 28 August – 1 September 2022, Belgrade, Serbia, p. 218.
5. A. Alorić, M. Mitrović Dankulov, A. Tomasević, and **A. Vranić**,
Sustainability of Stack Exchange Q-A communities: the role of social cohesion and trust,
7th International Conference on Computational Social Science IC2S2, 27-31 July 2021, online
6. **A. Vranić** and M. Mitrović Dankulov,
Growth signals shape the topology of evolving networks,
Networks 2021: A Joint Sunbelt and NetSci Conference, 5-10 July 2021, online, p. 283.
7. **A. Vranić** and M. Mitrović Dankulov,
The role of driving signal in the evolution of social networks,
8th International Conference on Complex Networks and their Applications (Complex Networks 2019), 10-12 December 2019, Lisboa, Portugal, pp. 356-358.

4. Провера оригиналности докторске дисертације

У складу са Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, извршена је провера оригиналности докторске дисертације „**Evolving Complex Networks: Structure and Dynamics**“ (наслов на српском језику: „**Растуће комплексне мреже: структура и динамика**“) из научне области физика кондензованог стања и статистичка физика, чији је аутор Ана Вранић. На основу налаза у извештају из програма iThenticate, као и на основу оцене тог извештаја коју је дала менторка др Марија Митровић Данкулов (извештај из програма и оцена извештаја се налазе у прилогу), констатујемо да је утврђено подударање текста од 3%.

На основу оцене извештаја коју је дала менторка, а у складу са чланом 8, став 2 Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, констатујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

5. Закључак

На основу изложеног, Комисија закључује да резултати кандидаткиње Ане Вранић приказани у оквиру ове докторске дисертације представљају изузетно оригиналан и значајан научни допринос у области физике кондензованог стања и статистичке физике. Из области дисертације кандидаткиња има три објављена рада у међународним часописима, при чему је један категорије M21a и два рада категорије M21. Сходно томе, комисија предлаже Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да одобри јавну одбрану докторске дисертације под називом:

„Evolving Complex Networks: Structure and Dynamics“

(„Растуће комплексне мреже: структура и динамика“)

У Београду, 27. априла 2023. године

др Антун Балаж
научни саветник
Институт за физику у Београду

проф. др Сунчица Елезовић-Хацић
редовни професор Физичког факултета

доц. др Светислав Мијатовић
доцент Физичког факултета