

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за избор др Игора Франовића у звање виши научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 24. 04. 2018. године именовани смо у комисију за избор др Игора Франовића у звање виши научни сарадник по убрзаном поступку.

Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидата и увида у његов рад и публикације, Научном већу Института за физику у Београду подносимо овај извештај.

1. Биографски подаци о кандидату

Др Игор Франовић је рођен 25. фебруара 1979. године у Београду. Завршио је Пету београдску гимназију 1997. године, након чега је уписао основне студије на Физичком факултету у Београду, смер теоријска и експериментална физика. Дипломирао је 2002. године с просечном оценом 9.43, одбранивши дипломски рад под називом *Анализа Јан-Телер-овог ефекта на примеру прелазног метал-комплекса $[Cr(NH_3)_6]^{3+}$* под руководством проф. др Драгољуба Белића. Магистарске студије на Физичком факултету у Београду, смер теоријска физика кондензованог стања, завршио је с просечном оценом 10,00, а магистарску тезу под насловом *Перколациони фазни прелази на просторно-временским фракталним структурама у ex-vivo и in-vitro неуронским културама* одбранио је 2011. године под менторством доц. др Владимира Миљковића. Докторат под насловом *Collective dynamics and self-organisation of stochastic neuronal systems influenced by synaptic time delay* одбранио је 2013. године на Физичком факултету у Београду. Радом на тези је руководио проф. др Никола Бурић, а у оквиру тезе су анализиране аналогije у процесу самоорганизације колективне активности између система спрегнутих аутономних осцилатора и система куплованих ексциtabilних јединица, при чему је применом методе средњег поља развијен ефективни модел макроскопске динамике популације ексциtabilних јединица изложених шуму и кашњењу у интеракцијама.

Од 2004. до 2006. године, Игор Франовић је на матичном факултету, као стипендиста Министарства науке и заштите животне средине, учествовао на пројекту *Фазни прелази и нелинеарне појаве у биолошким и неорганским материјалима*, којим је руководио проф. др Сава Милошевић. Од јануара 2008. године до јануара 2011. године био је запослен као истраживач-приправник на Физичком факултету у Београду у оквиру пројекта *Фазни прелази и карактеризација неорганских и органских система*, којим је руководио проф. др Мићо Митровић. Од јануара 2011. године био је запослен на Физичком факултету

у Београду као истраживач-приправник, а затим и као истраживач-сарадник (од фебруара 2012. до марта 2014. године) у оквиру пројекта ОН171015 Министарства просвете и науке Републике Србије под називом *Фазни прелази и карактеризација неорганских и органских система*, којим руководи проф. др Сунчица Елезовић-Хацић. Од марта 2014. године ради у Лабораторији за примену рачунара у науци у оквиру Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система Института за физику у Београду, где је ангажован на националном пројекту ОН171017, *Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система*, као руководилац потпројекта *Самоорганизација у спрегнутим ексциtabilним системима*. Такође, др Франовић руководи истраживањем на теми *Емергентна динамика на комплексним мрежама: стохастички ефекти, кашњење у интеракцијама, адаптивност* у оквиру Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система.

Истраживачки рад др Франовића обухвата области теорије нелинеарне динамике, стохастичких процеса и теорије комплексних мрежа, а као водеће теме истраживања се издвајају самоорганизација у системима спрегнутих ексциtabilних јединица, развој методе средњег поља за анализу стабилности и бифуркација система стохастичких диференцијалних једначина с кашњењем, као и коефекти топологије, шума и кашњења у интеракцијама на динамику структурних и функционалних неуронских мрежа.

Његов досадашњи рад укључује 29 радова у међународним часописима, као и 2 поглавља у монографијама. Од 29 радова, 19 је објављено у часописима изузетних вредности категорије M21a, као што су *Physical Review Letters*, *Scientific Reports*, *Chaos*, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* и *Physical Review E*. Др Франовић је добитник награде за најбољег младог истраживача Физичког факултета у Београду за 2013. годину. Има развијену међународну научну сарадњу с истраживачким групама из Русије, Немачке и Словеније. Ментор је на докторским студијама Иве Бачић, за чију тезу се очекује да буде завршена 2019. године. Руководилац је билатералног пројекта сарадње између Републике Србије и Савезне Републике Немачке *Emergent Dynamics in Systems of Coupled Excitable Units*. Такође, др Франовић је Associate Editor у врхунском међународном часопису *Chaos, Solitons & Fractals*.

2. Преглед научне активности

Истраживачки рад др Франовића обухвата области теорије нелинеарне динамике, стохастичких процеса и теорије комплексних мрежа. Др Игор Франовић се бави теоријском анализом самоорганизације и генеричких форми емергентног понашања у комплексним системима, чија је локална динамика представљена моделима спрегнутих осцилатора или ексциtabilних јединица. У свом раду користи концепте и методе из неколико различитих области физике, укључујући теорију нелинеарне динамике, статистичку физику и теорију комплексних мрежа, док се као главна мотивација и потенцијалне области примене добијених резултата истичу дескрипција, предвиђање и контрола колективног понашања неуронских мрежа и других биолошких система.

У ширем контексту, проучавање емергентних феномена заснованих на синхронизацији великог броја елемената, као главном принципу самоорганизације који даје квалитативно нове форме понашања које није могуће предвидети или извести из особина локалне динамике, представља парадигму за карактеризацију макроскопске динамике бројних реалних система, од физике, хемије и биологије, преко инжењерства и технологије до социологије и економије. При том, класа ексцитабилних система, чије је карактеристично понашање одређено тиме што им се параметри налазе у близини бифуркације која преводи систем из стационарног стања у осцилаторни режим, је у фокусу савремених истраживања како због теоријског значаја, тако и због могућности практичне примене, пре свега у биофизици. Комплексности колективног понашања система спрегнутих ексцитабилних јединица доприносе особине локалне динамике, која типично подразумева вишеструке временске скале, значајан утицај шума и кашњења у интеракцијама, као и организација по схеми модуларних комплексних мрежа, како на структурном, тако и на функционалном нивоу. Проучавање емергентне динамике на оваквим системима већ је довело до настанка значајних нових теоријских концепата, као што су методе анализе различитих форми пропегативних и локализованих патерна активности, технике анализе стабилности и бифуркација система стохастичких диференцијалних једначина са и без кашњења, као и установљење појма адаптивних мрежа.

У досадашњем раду, др Франовић се бавио развојем квантитативних метода анализе генеричких форми емергентног понашања у системима спрегнутих ексцитабилних или осцилаторних јединица, као и развојем нових аналитичких метода за анализу стабилности и бифуркација макроскопске динамике стохастичких система с кашњењем у интеракцијама. Рад др Франовића се може поделити у следеће тематске области:

- самоорганизација у системима спрегнутих ексцитабилних јединица под утицајем шума и кашњења у интеракцијама,
- проблем активације у системима спрегнутих ексцитабилних јединица с вишеструким изворима шума,
- развој методе средњег поља за анализу стабилности и бифуркација система стохастичких диференцијалних једначина са и без кашњења,
- мултистабилност и споре стохастичке флукуације средње активности на комплексним неуронским мрежама,
- динамика мотива неурона са шумом и кашњењем у интеракцијама,
- патерни пропегације синхронизоване активности у мезоскопским неуронским мрежама,
- примена теорије нелинеарне динамике у интердисциплинарним истраживањима,
- неуређене конфигурације кинетичког Изинговог модела на комплексним мрежама.

У овој секцији ћемо укратко дати преглед најважнијих резултата кандидата у оквиру ових тема.

2.1 Самоорганизација у системима спрегнутих ексциtabilних јединица под утицајем шума и кашњења у интеракцијама

Циљ истраживања у оквиру ове теме, коју је др Франовић покренуо као докторанд, састоји се у испитивању и продубљивању аналогије између колективног понашања интерагујућих фазних осцилатора и популација састављених од ексциtabilних елемената, који су типични за неуронске и друге биолошке системе. Главни допринос др Франовића у овој области састоји се у томе што је експлицитно показано да системи ексциtabilних јединица, представљених парадигматским Fitzhugh-Nagumo моделом, могу да испоље комплексне феномене самоорганизације, засноване на синхронизацији локалних активности. У том контексту, уочен је феномен спонтане кластер-синхронизације на хомогеној популацији, који настаје једино услед садејства ексциtabilности јединица, шума и кашњења у интеракцијама. Утврђено је да се механизам кластерована заснива на конкуренцији две карактеристичне временске скале, где једна одговара осцилаторној моди изазваној шумом, а друга моди вођеној кашњењем. Поред асимптотски стабилних дво- и тро-кластер партиција, уочена су и тро-кластер стања динамичког карактера. Утврђено је да стабилност дво-кластер стања важи и у термодинамичком лимесу. Детаљном анализом, др Франовић је показао да је кластероване резонантни феномен у односу на кашњење у интеракцијама, који опстаје и у случају комплексних топологија повезаности неурона (scale-free мреже), као и при неуниформним вредностима локалних параметара. Утврђено је да глобална бифуркација ефективног модела добијеног применом методе средњег поља (mean-field method) указује на области параметара система у којима се може очекивати појава кластерована. Наведени резултати приказани су у следећим радовима:

- *Spontaneous Formation of Synchronization Clusters in Homogenous Neuronal Ensembles Induced by Noise and Interaction Delays*
I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, and N. Burić,
Phys. Rev. Lett. **108**, 094101 (2012)
- *Cluster Synchronization of Spiking Induced by Noise and Interaction Delays in Homogenous Neuronal Ensembles*
I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, and N. Burić,
Chaos **22**, 033147 (2012)

2.2 Проблем активације у системима спрегнутих ексциtabilних јединица с вишеструким изворима шума

У оквиру ове теме, др Франовић се бавио анализом threshold понашања и статистичких карактеристика процеса активације у системима једне и две ексциtabilне јединице, као и популације ексциtabilних јединица под утицајем интринзичног и екстерног шума. По први пут су размотрени ефекти интермедијерних интензитета шума који леже изван области применљивости теорије великих флукуација. Као најважнији резултат, др Франовић је показао да постоје универзалне статистичке особине процеса активације за сва три посматрана система, а да је универзалност квалитативно одређена стохастичком бифуркацијом која одговара прелазу из стохастички стабилне фиксне тачке у стохастички стабилан гранични циклус. Постојање стохастичке бифуркације

доказано је применом ефективних модела стохастичке динамике система, заснованих на методи кумуланата допуњеној гаусијанском closure хипотезом.

Поред тога, важан резултат представља увођење релевантних граничних услова за проблеме активације у екситабилним системима: у случају једне јединице, одређени су гранични услови који омогућавају директну генерализацију на системе од две јединице, док су у случају популације размотрене три различите формулације догађаја активације, које карактеришу различите аспекте threshold понашања и улогу кохеренције активности појединачних јединица у процесу активације. Описани резултати представљени су у следећим радовима:

- *Activation Process in Excitable Systems with Multiple Noise Sources: One and Two Interacting Units*
I. Franović, K. Todorović, M. Perc, N. Vasović, and N. Burić,
Phys. Rev. E **92**, 062911 (2015)
- *Activation Process in Excitable Systems with Multiple Noise Sources: Large Number of Units*
I. Franović, M. Perc, K. Todorović, S. Kostić, and N. Burić,
Phys. Rev. E **92**, 062912 (2015)

2.3 Развој методе средњег поља за анализу стабилности и бифуркација система стохастичких диференцијалних једначина са и без кашњења

У оквиру ове теме, фокус истраживања је на развоју и примени методе средњег поља при анализи стохастичке стабилности и стохастичких бифуркација макроскопске динамике неуронских популација. Најважнији резултати др Франовића у овој области се односе на (а) прецизну формулацију релевантних апроксимација на којима се заснива примена методе средњег поља у макроскопским системима стохастичких екситабилних јединица с кашњењем у интеракцијама; (б) развој ефективних модела колективне динамике у случају популација екситабилних јединица; (в) извођење редукованог модела глобалне динамике популације стохастичких неуронских мапа.

Приликом примене методе средњег поља, од изузетног је значаја питање да ли су апроксимације иза овог метода универзалног карактера, или је потребно да се прилагођавају конкретној класи система која се проучава. У истраживању др Франовића експлицитно је показано да апроксимације немају универзалну форму, већ морају да буду прилагођене конкретној класи система којој припада посматрани модел. У случају спрегнутих екситабилних система, дефинисане су две релевантне апроксимације, назване *гаусијанска апроксимација* и *апроксимација о квази-независности*. При том, испоставља се да формулација прве апроксимације мора да узме у обзир релаксациони карактер осцилација типичан за екситабилне јединице, док је нарушење друге апроксимације могуће предвидети на самоусаглашен начин анализом динамике коју приказује модел добијен применом методе средњег поља.

Поред тога, др Франовић је демонстрирао да ефективни модели засновани на методи средњег поља могу да на квалитативно исправан начин опишу стабилност егзактног система, сценарије за појаву и супресију колективне моде, као и мултистабилне режиме егзактног система, примењујући их на примерима

интерагујућих популација ексцитабилних јединица, као и популацијама стохастичких неуронских мапа. Поред квалитативног поклапања, у смислу генеричких форми бифуркација и одговарајућих области параметара појединих емергентних режима, утврђено је да ефективни модели са задовољавајућом тачношћу предвиђају: (а) статистичке карактеристике релевантних временских серија егзактног система, (б) одговор популације на спољашње стимулације мале амплитуде, задат кривама фазног одговора, као и одговор на пертурбације коначне амплитуде. Наведени резултати представљени су у следећим радовима:

- *Persistence and Failure of Mean-field Approximations Adapted to a Class of Systems of Delay-coupled Excitable Units*
I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, and N. Burić,
Phys. Rev. E **89**, 022926 (2014)
- *Mean-field Dynamics of a Population of Stochastic Map Neurons*
I. Franović, O. V. Maslennikov, I. Bačić, and V. I. Nekorkin,
Phys. Rev. E **96**, 012226 (2017)
- *Mean-field Approximation of Two Coupled Populations of Excitable Units*
I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, and N. Burić,
Phys. Rev. E **87**, 012922 (2013)
- *Stability, Bifurcations, and Dynamics of Global Variables of a System of Bursting Neurons*
I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, and N. Burić, Chaos **21**, 033109 (2011)

2.4 Мултистабилност и споре стохастичке флукуације средње активности на модуларним неуронским мрежама

У оквиру ове области, др Франовић се бави анализом проблема макроскопске варијабилности, која представља емергентну форму колективног понашања на неуронским мрежама. Наиме, познато је да се активност неурона може описати као двоструки стохастички процес, који се с једне стране манифестује као микроскопска варијабилност у временским серијама појединачних неурона, и с друге стране, као макроскопска варијабилност, која се опажа на дугим временским скалама, и укључује споре стохастичке флукуације средње фреквенције емитовања импулса. Споре флукуације настају услед спонтаног алтернирања између епизода повишене активности неурона и епизода релативног мировања. Таква алтернирајућа (switching) динамика између различитих колективних стања је од посебног значаја за пирамидалне неуроне у неокортексу, и сматра се да представља динамичку парадигму за реализацију различитих форми учења и меморије. Циљ истраживања је да се утврде услови који омогућавају појаву switching динамике, при чему је акценат стављен на садејство различитих типова шума, кашњења у интеракцијама и хетерогености топологије интеракција мреже. Између осталог, разматран је и случај кластерованих мрежа неурона, које су нарочито заступљене у кортексу.

Главни резултат досадашњег истраживања представља развој ефективног модел колективне активности кластероване мреже rate неурона, који омогућава да се процене различити доприноси ефективном макроскопском шуму, као и да се

одреде области параметара где је могуће очекивати switching динамику. Од посебног значаја за могуће апликације је чињеница да се механизми switching динамике у случајним и модуларним неуронским мрежама квалитативно разликују, при чему је показано да кластеровање доприноси мултистабилности мреже, чинећи switching феномен робуснијим. Наведени резултати објављени су у следећим радовима:

- *Clustering Promotes Switching Dynamics in Networks of Noisy Neurons*
I. Franović and V. Klinshov, Chaos **28**, 023111 (2018)
- *Slow Rate Fluctuations in a Network of Noisy Neurons with Coupling Delay*
I. Franović and V. Klinshov, EPL **116**, 48002 (2016)
- *Mean-field Dynamics of a Random Neural Network with Noise*
V. Klinshov and I. Franović, Phys. Rev. E **92**, 062813 (2015)

2.5 Динамика мотива неурона са шумом и кашњењем у интеракцијама

Акцент истраживања у овој области је на анализи динамичких режима и феномена стохастичке фазне синхронизације на типичним бинарним или тернарним мотивима неурона. Од посебног значаја су управо триплети, који чине основне јединице грађе комплексних неуронских мрежа. Циљ истраживања се састоји у систематском одређивању односа између структурних мотива, задатих анатомском повезаношћу неуронске мреже, и функционалних мотива, који одражавају актуелну динамику јединица или њихово стање синхронизованости. Др Франовић се бавио моделима који укључују две парадигматске форме локалне динамике неурона: *bursting* динамику задату Рулковљевим мапама и ексциtabilну динамику представљену Fitzhugh-Nagumo моделом.

У случају *bursting* неурона, главни резултат представља одређивање механизма настанка *burst* синхронизације и патерна активности карактеристичних за поједине мотиве применом теорије сингуларне пертурбације (анализа у фазној равни). Важан допринос представља и дефинисање два типа функционалних мотива, при чему су идентификовани управо они функционални мотиви који највише доприносе успостављању *burst* синхронизације између јединица.

У случају ексциtabilне локалне динамике, анализирани су стохастичка стабилност, као и стања синхронизације различитих осцилаторних мода у систему од две спрегнуте јединице у присуству два независна извора шума (интринзични шум у јонским каналима и спољашњи синаптички шум), као и два типа кашњења у интеракцијама. Посматрани систем је значајан у светлу испитивања односа особине ексциtabilности и вишеструких карактеристичних временских скала. Питање коефекта шума и кашњења у модификовању ексциtabilног понашања у дуговременском лимесу третирано је применом методе статистичке линеаризације, при чему је показано да карактер шума (интринзични или екстерни) примарно утиче на прилагођавање фреквенција између јединица, као и на резултат компетиције између осцилаторних мода вођених шумом или кашњењем.

Описани резултати представљени су у следећим радовима:

- *Stability, Coherent Spiking and Synchronization in Noisy Excitable Systems with Coupling and Internal Delays*
I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, and N. Burić,
Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat. **19**, 3202 (2014)
- *The Effects of Synaptic Time Delay on Motifs of Chemically Coupled Rulkov Model Neurons*
I. Franović and V. Lj. Miljković,
Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat. **16**, 623 (2011)
- *Functional Motifs: a Novel Perspective on Burst Synchronization and Regularization of Neurons Coupled Via Delayed Inhibitory Synapses*
I. Franović and V. Lj. Miljković, Chaos Soliton. Fract. **44**, 122 (2011)
- *Phase Plane Approach to Cooperative Rhythms in Neuron Motifs with Delayed Inhibitory Synapses*
I. Franović and V. Lj. Miljković, EPL **92**, 68007 (2011)
- *Possibilities of Introducing Different Functional Circuits on Top of a Structural Neuron Triplet: Where Do the Gains Lie?*
I. Franović and V. Lj. Miljković, Chaos Soliton. Fract. **45**, 527 (2012)
- *Power Law Behavior Related to Mutual Synchronization of Chemically Coupled Map Neurons*
I. Franović and V. Lj. Miljković, Eur. Phys. J. B **76**, 613 (2010)

2.6 Патерни пропагације синхронизоване активности у мезоскопским неуронским мрежама

Истраживањем у оквиру ове теме др Франовић се бавио током магистарских студија на Физичком факултету у Београду. Основна идеја се састојала у томе да се процес пропагације патерна транзијентне синхронизоване активности у мезоскопским неуронским система представи моделом перколације на разуђеним мрежама насталим одстрањивањем веза с дводимензионалне решетке с интеракцијама најближих суседа, или с интеракцијама најближих и наредних најближих суседа. Транзијентна синхронизација, као основни мод локалне динамике чворова мреже, моделована је увођењем претпоставке о функционалним ансамблима неурона, чија се примарна активност састоји у емитовању пакета приближно синхронизованих акционих потенцијала (импулса).

Показано је да настанак просторно-временских патерна активности, тзв. *synfire* ланаца, представља критичну појаву, која зависи од вероватноће повезаности између неуронских популација на чворовима мреже. Применом методе скалирања на коначним системима, одређена је зависност критичне вероватноће од параметара локалне динамике и јачине интеракција, а анализирано је и како на фракталне особине перколационог кластера утиче топологије интеракција. Као најважнији резултат, утврђено је како класе универзалности посматраних фазних прелаза зависе од карактеристика динамике неуронских популација на чворовима

мреже, при чему се добијени резултати поклапају с подацима из релевантних експерименталних истраживања.

Наведени резултати приказани су у радовима:

- *Percolation Transition at Growing Spatiotemporal Fractal Patterns in Models of Mesoscopic Neural Networks*
I. Franović and V. Lj. Miljković, Phys. Rev. E **79**, 061923 (2009).
- *Fractal Properties of Percolation Clusters in Euclidian Neural Networks*
I. Franović and V. Lj. Miljković, Chaos Soliton. Fract. **39**, 1418 (2009).

2.7 Примена теорије нелинеарне динамике у интердисциплинарним истраживањима

У оквиру ове теме, др Франовић се бави применом теорије нелинеарне динамике на моделовање комплексног понашања сеизмичких раседа, геолошких структура одговорних за настанак земљотреса. Конкретно, третиране су три групе проблема, укључујући (а) анализу осетљивости парадигматских модела раседа на спољашње пертурбације, (б) настанак колективне моде у сложеним раседима под утицајем шума и кашњења у интеракцијама и (в) механизам настанка апериодичних временских серија на једноставним (монокомпонентним) раседима.

Током анализе групе проблема (а), користећи методу кривих фазног одговора (*phase response curves*) првог и другог реда, експлицитно је демонстриран низ нетривијалних ефеката, укључујући: нарушење принципа суперпозиције при деловању сукцесивних пертурбација услед јаке нелинеарности модела, сложену зависност промене фазе сеизмичког циклуса од параметара и комплексности раседа, као и постојање дуговременског ефекта пертурбација, како у случају монокомпонентних, тако и у случају сложених раседа.

Поводом круга питања (б), детаљно су испитани коефекти сеизмичког шума и кашњења у интеракцијама на појаву колективне моде у два класа модела комплексних раседа. За оба сценарија, развијен је *mean-field* модел који на квалитативно исправан начин описује колективну динамику раседа, чиме је показано да се метод средњег поља може успешно примењивати и у случају система чији елементи имају дисконтинуалну и *stiff* динамику. Бифуркационом анализом ефективних модела утврђено је постојање области параметера који подржавају бистабилну динамику, којој у егзактним системима одговарају комплексне апериодичне осцилације чија статистика квалитативно задовољава релевантне сеизмичке законе скалирања, као што је Гутенберг-Рихтеров (Gutenberg-Richter) закон.

У оквиру целине (в), показано да сасвим једноставан модел монокомпонентног раседа, представљеног канонским Burredge-Кнорoff моделом, може да генерише комплексне форме понашања захваљујући меморијском ефекту, уведеном у типични модел трења између масивног блока и контактне површине раседа. На основу спроведене бифуркационе анализе, показано је да се прелазак у хаос одвија према Ruelle-Takens-Newhouse сценарију.

Наведени резултати представљени су у следећим радовима:

- *Phase Response Curves for Models of Earthquake Fault Dynamics*
I. Franović, S. Kostić, M. Perc, V. Klinshov, V. I. Nekorkin, and J. Kurths,
Chaos **26**, 063105 (2016)
- *Triggered Dynamics in a Model of Different Fault Creep Regimes*
S. Kostić, **I. Franović**, M. Perc, N. Vasović, and K. Todorović,
Sci. Rep. **4**, 5401 (2014),
- *Dynamics of Fault Motion in a Stochastic Spring-slider Model with Varying Neighboring Interactions and Time-delayed Coupling*
S. Kostić, N. Vasović, **I. Franović**, K. Todorović, V. Klinshov, and V. I. Nekorkin, Nonlinear Dyn. **87**, 2563 (2017)
- *Friction Memory Effect in Complex Dynamics of Earthquake Model*
S. Kostić, **I. Franović**, K. Todorović, and N. Vasović,
Nonlinear Dyn. **73**, 1933 (2013)
- *Earthquake Nucleation in a Stochastic Fault Model of Globally Coupled Units with Interaction Delays*
N. Vasović, S. Kostić, **I. Franović**, and K. Todorović,
Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat. **38**, 117 (2016)
- *Nonlinear Dynamics Behind the Seismic Cycle: One-dimensional Phenomenological Modeling*
S. Kostić, N. Vasović, K. Todorović, and **I. Franović**,
Chaos Soliton. Fract. **106**, 310 (2018)
- *Complex Dynamics of Spring-Block Earthquake Model Under Periodic Parameter Perturbations*
S. Kostić, N. Vasović, **I. Franović**, and K. Todorović,
J. Comput. Nonlin. Dyn. **9**, 031019 (2014)
- *Dynamics of Landslide Model with Time Delay and Periodic Parameter Perturbations*
S. Kostić, N. Vasović, **I. Franović**, D. Jevremović, D. Mitrović, and K. Todorović, Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat. **19**, 3346 (2014)
- *Dynamics of Simple Earthquake Model with Time Delay and Variation of Friction Strength*
S. Kostić, N. Vasović, **I. Franović**, and K. Todorović
Nonlinear Proc. Geoph. **20**, 857 (2013)

2.8 Неуређене конфигурације кинетичког Изинговог модела на комплексним мрежама

У оквиру ове теме, др Франовић се бави проблемом процеса уређивања и структуром неуређених конфигурација кинетичког Изинговог (Glauber-овог) модела на нултој температури, задатој на комплексним мрежама. Разматрани су различити примери комплексних мрежа укључујући случај Watts-Strogatz-ових мрежа добијених преповезивањем регуларне дводимензионалне решетке, као и парадигматских хетерогених двослојних мрежа (two-layer networks) с мултиплекс или случајном структуром веза између слојева. Као главни резултат, показано је да у small-world режиму систем не постиже уређеност у термодинамичком лимесу, већ завршава у метастабилним активним конфигурацијама састављеним из два домена, који одговарају кластерованом стању на почетној решетки. За интермедијерне вероватноће преповезивања, додатно се појављују неуређене конфигурације с малим, изолованим капљицама спинова супротне оријентације. У случају двослојних мрежа, показано је да карактер коначног стања квалитативно зависи од структуре интеракција између слојева. Описани резултати представљени су у раду:

- *Disordered Configurations of the Glauber Model in Two-dimensional Networks* Ваћић, **I. Franović**, and M. Perc, EPL **120**, 68001 (2017)

3. Елементи за квалитативну анализу рада

3.1 Квалитет научних резултата

3.1.1 Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Игор Франовић је у свом досадашњем раду дао кључни допринос у истраживању на укупно 29 радова објављених у међународним часописима с ISI листе, као и 2 поглавља у књизи, од којих је једно објављено у истакнутој монографији међународног значаја. Од 29 радова, 19 је објављено у часописима M21a категорије (међународни часописи изузетних вредности), 7 у часописима категорије M21 (врхунски међународни часописи), док је 3 објављено у часописима категорије M22.

У периоду након доношења одлуке Научног већа Института за физику о предлогу за стицање претходног научног звања, др Франовић је објавио 15 радова у часописима с ISI листе. Од тога је 11 радова објављено у часописима категорије M21a (међународни часописи изузетних вредности), док је 4 објављено у часописима категорије M21 (врхунски међународни часописи). Такође, др Франовић је у том периоду одржао више предавања на међународним скуповима, од којих су два била предавања по позиву.

Као пет најзначајнијих радова др Франовића, Комисија издваја:

1. *Clustering Promotes Switching Dynamics in Networks of Noisy Neurons*
I. Franović and V. Klinshov
Chaos **28**, 023111 (2018), M21a, цитиран 0 пута;
2. *Mean-field dynamics of a population of stochastic map neurons*
I. Franović, O.V. Maslennikov, I. Ваčić, and V. I. Nekorkin,
Phys. Rev. E **96**, 012226 (2017), M21, цитиран 0 пута;
3. *Activation Process in Excitable Systems with Multiple Noise Sources: One and Two Interacting Units*
I. Franović, K. Todorović, M. Perc, N. Vasović, and N. Burić
Phys. Rev. E **92**, 062911 (2015), M21a, цитиран 13 пута;
4. *Activation Process in Excitable Systems with Multiple Noise Sources: Large Number of Units*
I. Franović, M. Perc, K. Todorović, S. Kostić, and N. Burić
Phys. Rev. E **92**, 062912 (2015), M21a, цитиран 14 пута;
5. *Spontaneous Formation of Synchronization Clusters in Homogenous Neuronal Ensembles Induced by Noise and Interaction Delays*
I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, and N. Burić
Phys. Rev. Lett. **108**, 094101 (2012), M21a, цитиран 17 пута.

У првом раду, детаљно је испитан емергентни феномен макроскопске варијабилности на модуларним неуронским мрежама. Макроскопска варијабилност се опажа на временским скалама много дужим од карактеристичног времена локалне динамике неурона, а манифестује се кроз појаву спорих стохастичких флукуација средње фреквенције емитовања импулса мреже. Споре флукуације последица су кохерентних спонтаних прелазака неурона између тзв. *up*-стања повећане активности неурона и тзв. *down*-стања релативног мировања неурона. Оваква колективна алтернирајућа (*switching*) динамика представља динамичку парадигму за одређене процесе учења и меморије. У раду су утврђени услови за појаву *switching* динамике, с акцентом на садејство различитих типова шума и хетерогености у топологији мреже. Применом методе средњег поља, по први пут је развијен ефективни модел колективне динамике за модуларну (кластеровану) неуронску мрежу, при чему је њена колективна динамика приказана преко спрегнутих стохастичких *mean-field* система другог реда који одражавају активности појединачних кластера. Бифуркационом анализом ефективних модела у термодинамичком лимесу утврђене су разлике у генеричким механизмима *switching* динамике код некластерованих и кластерованих мрежа. У првом случају, механизам је аналоган стохастичкој честици у *double-well* потенцијалу. У другом случају, показано је да кластеровање непосредно подстиче мултистабилност колективне динамике, што значајно утиче на повећање робусности *switching* феномена.

У другом раду, по први пут је добијен ефективни модел колективне динамике ансамбла куплованих стохастичких неуронских мапа. Значај неуронских мапа лежи у томе што на нумерички ефикасан начин могу да репродукују све релевантне форме динамике неурона, пружајући основу за разумевање колективног понашања типичних функционалних модула у неуронским системима, као што су кортикалне колоне и микроколоне. У теоријском смислу, развој ефективног модела ансамбла куплованих стохастичких дискретних система је нарочито важан, пошто је примена стандардних техника заснованих на Фокер-Планковом формализму немогућа. У конкретном случају, ефективни модел макроскопске динамике је добијен применом методе средњег поља, засноване на теорији кумуланата допуњеној гаусијанском *closure* хипотезом. Модел је искоришћен за анализу емергентних режима, као и одговора популације на спољашњу стимулацију. Утврђено је да ефективни модел на квалитативно исправан начин може да опише стабилност и бифуркације егзактног система, као и све генеричке форме макроскопског понашања, укључујући макроскопску екситабилност, *subthreshold* осцилације, периодични или хаотични *spiking* режим, као и хаотичну *bursting* динамику. Од посебног значаја је чињеница да је по први пут експлицитно уведен појам макроскопске екситабилности, према којем је под одређеним условима популацију екситабилних јединица могуће третирати као макроскопски екситабилни елемент, који на одговарајућу стимулацију може да одговори емисијом једног импулса или серије повезаних импулса. Користећи ефективни модел, утврђене су области параметара у којима се појављују различите форме макроскопске екситабилности.

Поред квалитативног поклапања између домена параметара који одговарају појединим режима егзактног система и ефективног модела, експлицитно је показано да ефективни модел може са задовољавајућом тачношћу да предвиди квантитативне карактеристике временских серија егзактног система, као што су

средњи *interspike* или *interburst* интервали. Такође је утврђено да ефективни модел с изузетно високом тачношћу може да репродукује криве фазног одговора егзактног система, које описују типичан одговор популације на малу пертурбацију. Испоставило се да осим одговора на малу пертурбацију, ефективни модел може да предвиди и одговор популације на стимулацију коначне амплитуде и трајања чак и при интермедијерним интензитетима шума.

Трећи и четврти рад третирају комплементарне теме (објављени су као *sequel* у Phys. Rev. E), и односе се на проблем *threshold* динамике и процеса активације у системима од једне или две купловане ексциtabilне јединице, као и популације ексциtabilних јединица под утицајем спољашњег и унутрашњег шума. Добијени резултати важе у области интермедијерних интензитета шума, где није могуће применити класичну теорију великих флукуација. За сва три посматрана система, показано је да се нумерички добијене највероватније трајекторије активације поклапају са трајекторијама генерисаним ефективним системом хамилтонијанских једначина. У случају једне ексциtabilне јединице, важан резултат представља увођење релевантних граничних услова за проблем активације, који омогућавају директну генерализацију на системе од две ексциtabilне јединице. У случају популације, применом одговарајућег *mean-field* модела је први пут експлицитно показана особина макроскопске ексциtabilности. Поред тога, уведене су три различите формулације догађаја активације за глобалне варијабле ансамбла јединица, при чему свака од формулација карактерише различите аспекте *threshold* понашања и улоге кохеренције активности појединачних јединица у догађају активације. За системе од једне и две јединице, као и популацију ексциtabilних елемената, демонстрирано је да постоје универзалне статистичке особине процеса активације, описане средњим временом до првог импулса и одговарајућим коефицијентом варијације. У том контексту, најважнији резултат поменути два рада представља чињеница да универзалност потиче од стохастичке бифуркације која одговара прелазу из стохастички стабилне фиксне тачке у стохастички стабилан гранични циклус.

У петом раду је показано да системи спрегнутих ексциtabilних јединица, представљени парадигматским Фицхју-Нагумо (Fitzhugh-Nagumo) моделом, могу да испоље емергентни феномен спонтане кластер-синхронизације. До овакве форме само-организовања, засноване на синхронизацији локалних активности, долази услед садејства ексциtabilне динамике типа II, одређене двема карактеристичним временским скалама, шума и кашњења у интеракцијама. Експлицитно је показано да се ефекат кластеровања заснива на конкуренцији две осцилаторне моде, од којих једна одговара осцилацијама индукованим шумом, док друга мода настаје као последица кашњења у интеракцијама. На локалном нивоу, механизам кластеровања је објашњен успостављањем аналогије између стохастичке динамике ексциtabilних јединица и честица у *double-well* потенцијалу. Уочено је да постоје два типа кластеровања, укључујући асимптотски стабилне дво- и тро-кластер конфигурације, као и динамичке тро-кластер конфигурације. Демонстрирано је да кластеровање има карактер резонантног феномена у односу на кашњење у интеракцијама, одржавајући се у случају хетерогености топологије мреже, као и хетерогености локалних параметара система. Утвршено је да глобална бифуркација ефективног модела добијеног на основу методе средњег поља (*mean-field method*) може да предвиди појаву кластеровања у појединим областима параметара система.

3.1.2 Позитивна цитираност научних радова кандидата

Према бази *ISI Web of Science*, радови др Франовића укупно су цитирани 134 пута, док је број цитата без аутоцитата 82. Према бази *Scopus*, укупан број цитата је 146, док је број цитата без аутоцитата 91. Према подацима из обе базе, Хиршов индекс радова др Франовића је 8.

3.1.3 Параметри квалитета часописа

Као битан елемент за процену квалитета научних радова служи и импакт-фактор часописа у којима су радови објављени. Др Франовић је објављивао радове у часописима категорија М21а, М21 и М22, при чему су подвучени импакт фактори часописа у којима су публиковани радови након одлуке Научног већа Института за физику о предлогу за стицање претходног научног звања:

- 1 рад у *Physical Review Letters* (ИФ 7.943)
- 1 рад у *Scientific Reports* (ИФ 5.578)
- 2 рада у часопису *Nonlinear Dynamics* (ИФ 3.464 за 1 рад и ИФ 3.009 за 1 рад)
- 4 рада у часопису *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations* (ИФ 2.866 за 3 рада и ИФ 2.806 за 1 рад)
- 7 радова у часопису *Physical Review E* (ИФ 2.366 за 1 рад, ИФ 2.326 за 5 радова и ИФ 2.508 за један рад)
- 4 рада у часопису *Chaos* (ИФ 2.283 за 2 рада, 2.188 за 1 рад и 2.081 за 1 рад)
- 3 рада у часопису *Europhysics Letters* (ИФ 2.893 за 1 рад и ИФ 2.095 за 2 рада)
- 4 рада у часопису *Chaos, solitons & fractals* (ИФ 3.315 за 2 рада, ИФ 1.611 за 1 рад и ИФ 1.268 за 1 рад)
- 1 рад у часопису *Nonlinear Processes in Geophysics* (ИФ 1.692)
- 1 рад у часопису *European Physical Journal B* (ИФ 1.575)
- 1 рад у часопису *Journal of Computational Nonlinear Dynamics* (ИФ 1.530)

Укупан импакт фактор радова др Франовића износи 78.126, а у периоду након одлуке Научног већа Института за физику у Београду о предлогу за стицање претходног научног звања радова сумарни импакт фактор је 38.881. Часописи у којима објављује др Франовић су цењени по свом угледу и водећи у његовим областима рада. Међу поменутиим часописима посебно се истичу *Physical Review Letters*, *Scientific Reports*, *Nonlinear Dynamics*, *Physical Review E*, *Chaos* и *Europhysics Letters*.

Додатни библиометријски показатељи према Упутству о начину писања извештаја о изборима у звања које је усвојио Матични научни одбор за физику приказани су у следећој табели:

	ИФ	М	СНИП
Укупно	38.881	134.99	15.822
Усредњено по чланку	2.592	8.999	1.055
Усредњено по аутору	10.342	41.167	4.099

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

Од 29 објављених радова, др Франовић је први аутор на 19 радова, други наведени аутор на 4 рада, трећи аутор на 5 радова, и последњи аутор на једној публикацији. На радовима који су објављени у периоду након одлуке Научног већа Института за физику о предлогу за стицање претходног научног звања, др Франовић је први аутор на 7 публикација, други наведени аутор на 3 рада, трећи наведени аутор на 4 рада и последњи аутор на једној публикацији.

При изради поменутих публикација, др Франовић је учествовао у осмишљавању и формулацији проблема, конструкцији релевантних нумеричких симулација и прикупљању података, развоју теоријских метода за анализу добијених резултата, као и писању радова.

Током магистарских студија на Физичком факултету у Београду, др Франовић се првенствено бавио развојем теоријских и квантитативних метода за анализу односа структурних и функционалних неуронских мотива, као и применом теорије сингуларне пертурбације на анализу феномена стохастичке фазне синхронизације у системима *bursting* неурона. Током докторских студија, у сарадњи са проф. др Николом Бурићем с Института за физику у Београду, др Франовић је започео истраживање у области емергентне динамике на системима ексцитабилних јединица под утицајем шума и кашњења у интеракцијама. У том контексту, започет је развој нове методе за анализу стабилности и (стохастичких) бифуркација система стохастичких диференцијалних једначина, као и система стохастичких диференцијалних једначина с кашњењем. Након завршеног доктората, др Франовић је почео да се бави проблемом активације и *threshold* динамике у системима спрегнутих ексцитабилних јединица, указујући на значај адекватне формулације граничних услова, као и универзалност статистичких карактеристика процеса активације у системима ексцитабилних јединица под утицајем интринзичног и екстерног шума коначног (интермедијерног интензитета). Показано је да универзалне карактеристике потичу од стохастичке бифуркације која преводи систем из стохастички стабилне фиксне тачке у осцилаторни режим. Поред ове теме, у сарадњи с колегама из Русије, др Франовић је покренуо истраживање усмерено ка анализи емергентног феномена макроскопске варијабилности на модуларним неуронским мрежама, при чему је по први пут развијен ефективни модел колективне динамике модуларне мреже, којим је могуће анализирати мултистабилност мреже и *switching* динамику између одговарајућих колективних стања.

Др Франовић руководи билатералним пројектом сарадње Републике Србије и Савезне Републике Немачке под називом *Emergent Dynamics in Systems of Coupled Excitable Units*. Такође, у оквиру националног пројекта ОН171017, *Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система*, руководилац је потпројекта *Самоорганизација у спрегнутим ексцитабилним системима*.

Др Франовић има широку научну сарадњу с колегама из иностранства, укључујући групу професора Владимира Некоркина с Института примењене физике Руске академије наука у Нижњем Новгороду, групу Матијаса Волфрума с

Вајерштрас института у Берлину, као и проф. Матјажа Перца с Универзитета у Марибору и проф. Јиргена Куртса с Универзитета Хумболт у Берлину.

3.1.5 Награде

Др Игор Франовић је добитник награде за најбољег младог истраживача Физичког факултета у Београду за 2013. годину.

3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

Др Игор Франовић је тренутно руководилац рада на докторској дисертацији Иве Бачић у Центру изузетних вредности за изучавање комплексних система Института за физику у Београду. Завршетак рада на тој тези очекује се током 2019. године.

Поред тога, др Франовић је током школске 2015/2016. године водио пројекат студентске праксе *Комплексност и динамика самоорганизације у популацијама стохастичких ексцитабилних јединица*, на коме је учествовало пет студената завршних година Физичког факултета у Београду.

3.3 Нормирање броја коауторских радова

Сви радови др Игора Франовића објављени након одлуке Научног већа Института за физику у Београду о предлогу за стицање претходног научног звања укључују резултате комплексних нумеричких симулација. Од тога, тринаест радова има пет или мање коаутора, тако да улазе пуном тежином на број коаутора. Три рада има имају више од пет коаутора, при чему радови објављени у часописима *Nonlinear Dynamics* (2017), *Chaos* (2016) и *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations* (2014) имају по шест коаутора, тако да носе по 8.33 нормираних поена. Укупан број поена др Франовића према М20 публикацијама у релевантном периоду пре нормирања износи 152, а након нормирања 146.99. Број поена одузет нормирањем чини мање од 10% од укупног броја поена на основу М20 публикација.

3.4 Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Др Игор Франовић руководи билатералним пројектом сарадње Републике Србије и Савезне Републике Немачке под називом „*Emergent Dynamics in Systems of Coupled Excitable Units*“.

У оквиру националног пројекта ОН171017, *Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система*, др Франовић је руководилац потпројекта *Самоорганизација у спрегнутим ексцитабилним системима*. Поред тога, др Франовић руководи истраживањем на теми *Емергентна динамика на комплексним мрежама: стохастички ефекти, кашњење у интеракцијама, адаптивност у Центру изузетних вредности за изучавање комплексних система*.

У периоду од 2015. до 2016. године, др Франовић је учествовао на пројекту билатералне сарадње између Републике Србије и Републике Португала *Noise and measurement errors in multi-parti quantum security protocols*.

3.5 Активност у научним и научно-стручним друштвима

Др Игор Франовић је Associate Editor у међународном часопису из области нелинеарне динамике *Chaos, Solitons & Fractals* који издаје Elsevier.

Рецензент је за часописе *Scientific Reports, Chaos, Europhysics Letters, Physics Letters A, European Physical Journal B, Neural Networks, Nonlinear Processes in Geophysics*.

Поред тога, члан је Одсека за квантну и математичку физику Друштва физичара Србије.

Био је организатор и копредседавајући радионице *Nikola Burić Memorial Workshop*, одржане децембра 2016. године.

3.6 Утицајност научних резултата

Утицај научних резултата кандидаткиње је приказан у секцији 3.1. овог извештаја. Поред тога, пун списак радова и цитата је дат у прилогу, на основу чега се такође може проценити да су радови кандидата јасно препознати у оквиру области нелинеарне динамике.

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

Др Игор Франовић је значајно допринео сваком раду у чијој припреми је учествовао. Од 15 радова објављених у периоду након одлуке Научног већа Института за физику у Београду о предлогу за стицање претходног научног звања, сви радови су урађени у сарадњи с колегама из земље и иностранства. Др Франовић је у овим радовима имао кључни допринос: на 7 радова је први аутор, а на 3 рада је наведен као други аутор. Током израде ових публикација, он је осмислио тему истраживања, и радио је на развоју одговарајућих нумеричких симулација, прикупљању и анализи релевантних података, развоју теоријских модела, метода и техника анализа проблема, писању радова, а такође је био у комуникацији с уредником часописа при слању рада за објављивање.

На Институту за физику у Београду, др Франовић је увео нове методе у проучавање емергентних феномена у системима под утицајем шума и кашњења у интеракцијама. Знања и искуства које је стекао у теоријском моделовању, аналитичким методама и техникама анализе динамике комплексних система успешно преноси млађим сарадницима у Лабораторији за примену рачунара у науци у оквиру Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система.

3.8 Уводна предавања на конференцијама и друга предавања

Након претходног избора у звање, др Франовић је одржао следећа предавања по позиву:

- **Igor Franović**, Kristina Todorović, Nebojša Vasović and N. Burić
Mean Field Dynamics of Networks of Delay-coupled Noisy Excitable Units
International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2015), Minisymposium “Dynamical Networks with Complex Links“
22–28 September 2015, Rhodes, Greece
AIP Conf. Proc. 1738, 210004 (2016), DOI: 10.1063/1.4951987, American Institute of Physics
M31
- **I. Franović** and V.V. Klinshov
Mean-field analysis of stability and slow rate fluctuations in a network of noisy neurons with coupling delay
Topical problems of Nonlinear Wave Physics (NWP-2017), 22–28 July, 2017
Moscow, St Petersburg, Russia
M32

Поред тога, одржао је и следећа предавања на међународним конференцијама:

- **Igor Franović**, Kristina Todorović, Nebojša Vasović and Nikola Burić
Mean-field treatment of collective motion in systems of delay-coupled stochastic excitable units
XXXIV Dynamics Days Europe, 8-12 September 2014, Bayreuth, Germany,
M34
- **Igor Franović**, Kristina Todorović, Nebojša Vasović and Nikola Burić
Mean-field Dynamics of Systems of Delay-coupled Noisy Excitable Units,
The 19th Symposium on Condensed Matter Physics – SFKM 2015,
7-11 September 2015, Belgrade, Serbia
M34
- **Igor Franović**, Matjaž Perc and Kristina Todorović
Activation process in systems of excitable units with multiple noise sources
XXXVI Dynamics Days Europe,
6 June -10 June 2016, Corfu, Greece
M34
- **I. Franović**
Switching dynamics in networks of stochastic rate-based neurons
Analysis and Modeling of Complex Oscillatory Systems (AMCOS),
19–23 March, 2018
Barcelona, Spain
M34

У оквиру међународне сарадње, др Франовић је одржао следећа предавања на иностраним универзитетима и институтима:

- **Igor Franović**
Mean-field Treatment of Collective Dynamics in Systems of Delay-coupled Excitable Units
Универзитет Хумболт, Факултет математике и природних наука, Одељење за статистичку физику, нелинеарну динамику и стохастичке процесе, 12. фебруар 2015, Берлин, Немачка
- **Igor Franović**
Statistical Physics of Neural Systems with Noise and Delay
Институт за примењену физику Руске академије наука у Нижњем Новгороду, 13. август 2015, Нижњи Новгород, Русија
- **Igor Franović**
Mean-field Analysis of Activation Process in Assemblies of Coupled Noisy Excitable Units
Seminar in Nonlinear Dynamics, Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics, 11. мај 2016, Берлин, Немачка
- **Igor Franović**
Analysis of Activation Process in Coupled Noisy Excitable Systems
Универзитет Хумболт, Факултет математике и природних наука, Одељење за статистичку физику, нелинеарну динамику и стохастичке процесе, 13.5.2016, Берлин, Немачка
- **Igor Franović**
Mean-field Approach for Analysis of Collective Dynamics and Activation Processes in Coupled Noisy Excitable Systems
Институт за примењену физику Руске академије наука у Нижњем Новгороду, 9.6.2016, Нижњи Новгород, Русија
- **I. Franović**
Bistability, rate oscillations and slow rate fluctuations in networks of noisy neurons with coupling delay
Oberseminar Nonlinear Dynamics, Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics, 27th June 2017

4. Елементи за квантитативну анализу рада

Остварени резултати у периоду након одлуке Научног већа Института за физику о предлогу за стицање претходног научног звања дати су у табели. Према бази ISI Web of Science, радови др Франовића укупно су цитирани 134 пута, док је број цитата без аутоцитата 82. Према бази Scopus, укупан број цитата је 146, док је број цитата без аутоцитата 91. Према подацима из обе базе, Хиршов индекс радова др Франовића је 8.

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M13	7	1	7	7
M21a	10	10	100	94.99
M21	8	5	40	40
M31	3.5	1	3.5	3.5
M32	1.5	1	1.5	1.5
M33	1	5	5	5
M34	0.5	6	3	3

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

Минималан број М бодова		Услов - 150% минималног броја бодова*	Остварено (нормирано)
Укупно	50	75	154.99
M10+M20+M31+M32+M33 +M41+M42	40	60	152.49
M11+M12+M21+M22+M23	30	45	134.99

*Минималан број М бодова за убрзано покретања поступка за избор у звање виши научни сарадник је 150% од броја бодова у стандардном поступку.

ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду изузетно високу вредност и оригиналност научних радова др Игора Франовића, као и његово значајно искуство у међународној сарадњи и педагошком раду, мишљења смо да је кандидат достигао високу истраживачку зрелост и научну компетентност. Посебно истичемо његове бројне радове у престижним часописима, као и чињеницу да је изабран за уредника часописа *Chaos, Solitons & Fractals* који издаје Elsevier, што је јасан знак квалитета научног рада кандидата.

Др Игор Франовић је претходно изабран у звање научни сарадник 17. децембра 2014. године, односно пре 3 године и 4 месеца (у тренутку подношења извештаја). Од тада је остварио изузетне научне резултате, што се може видети по томе да је објавио чак 15 радова у часописима са ISI листе. Од тога је 11 радова објављено у часописима категорије М21а (међународни часописи изузетних вредности), док је 4 објављено у часописима категорије М21 (врхунски међународни часописи). Такође, др Франовић је у том периоду одржао више предавања на међународним скуповима, од којих су два била предавања по позиву. Према бази *ISI Web of Science*, радови др Франовића укупно су цитирани 134 пута, док је број цитата без аутоцитата 82. Према бази *Scopus*, укупан број цитата је 146, док је број цитата без аутоцитата 91. Према подацима с обе базе, Хиршов индекс радова др Франовића је 8. Укупан импакт фактор радова др Игора Франовића износи 78.126, а у периоду након одлуке Научног већа Института за физику о предлогу за стицање претходног научног звања радова укупан импакт фактор је 38.881. Часописи у којима објављује др Франовић су цењени по свом угледу и водећи у његовим областима рада. Међу поменутиим часописима посебно се истичу *Physical Review Letters*, *Scientific Reports*, *Nonlinear Dynamics*, *Physical Review E*, *Chaos* и *Europhysics Letters*.

На Институту за физику у Београду др Франовић је увео нове методе у проучавање емергентних феномена у системима под утицајем шума и кашњења у интеракцијама. Знања и искуства које је стекао у теоријском моделирању, аналитичким методама и техникама анализе динамике комплексних система успешно преноси млађим сарадницима у Лабораторији за примену рачунара у науци у оквиру Центра изузетних вредности за изучавање комплексних система.

Комисија констатује да је кандидат у тренутно научно звање научни сарадник изабран пре више од три године, као и да далеко превазилази све предвиђене квантитативне и квалитативне услове предвиђене у складу са Законом о научноистраживачкој делатности и Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача МПНТР за убрзано напредовање у звање виши научни сарадник (150% броја бодова неопходних у редовном поступку, члан 34 Правилника).

Због тога нам је изузетно задовољство да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Игора Франовића у звање виши научни сарадник по убрзаном поступку.

У Београду, 25. 04. 2018. године

Чланови комисије:

др Антун Балаж
научни саветник
Институт за физику у Београду

др Александар Белић
научни саветник
Институт за физику у Београду

проф. др Милан Кнежевић
редовни професор Физичког факултета
Универзитета у Београду