

ПРИМЉЕНО: 30. 10. 2023			
Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
0801	160211		

Назив НИО који подноси захтев: Институт за физику у Београду

РЕЗИМЕ ИЗВЕШТАЈА О КАНДИДАТУ ЗА СТИЦАЊЕ НАУЧНОГ ЗВАЊА

I Општи подаци о кандидату

Име и презиме: Игор Франовић

Година рођења: 1979.

ЈМБГ: 2502979710235

Назив институције у којој је кандидат стално запослен:

Институт за физику у Београду

Дипломирао: 2002. године, Физички факултет, Универзитет у Београду

Магистрирао: 2011. године, Физички факултет, Универзитет у Београду

Докторирао: 2013. године, Физички факултет, Универзитет у Београду

Постојеће научно звање: виши научни сарадник

Научно звање које се тражи: научни саветник

Област науке у којој се тражи звање: природно-математичке науке

Грана науке у којој се тражи звање: физика

Научна дисциплина у којој се тражи звање: нелинеарна динамика

Назив матичног одбора којем се захтев упућује: Матични одбор за физику

II Датум избора у научно звање:

Научни сарадник: 17. 12. 2014. године

Виши научни сарадник: 27. 05. 2019. године

III Научно-истраживачки резултати (Прилог 1 и 2 Правилника):

1. Радови објављени у научним часописима међународног значаја; научна критика; уређивање часописа (M20):

	број	вредност	укупно (норм.)
M21a =	10	10	100 (90.25)
M21 =	4	8	32 (32)
M22 =	2	5	10 (10)
M28b =	3	2.5	7.5 (7.5)
M29b =	3	1.5	4.5 (4.5)

2. Зборници са међународних научних скупова (M30):

	број	вредност	укупно (норм.)
M31 =	1	3.5	3.5 (3.5)
M32 =	10	1.5	15 (15)
M33 =	1	1	1 (1)
M34 =	2	0.5	1 (1)

IV Квалитативна оцена научног доприноса (Прилог 1 Правилника):

4.1. Квалитет научних резултата

4.1.1. Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Франовић је у свом досадашњем раду дао кључни допринос у укупно 46 радова категорије M20, као и једном поглављу у монографији. Од тога је 32 рада објављено у часописима категорије M21a, 9 у часописима категорији M21 и 5 у категорији M22, а поглавље у монографији је каласификовано у категорију M14.

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, др Франовић је објавио 16 радова у часописима категорије M20. Од тога је 10 објављено у часописима категорије M21a, 4 у категорији M21, а 2 у категорији M22. Одржао је више предавања на научним скуповима, од којих је 11 по позиву, категорија M31 и M32.

Као пет најзначајнијих радова кандидата из изборног периода издвајају се:

1. **I. Franović**, S. R. Eydam, N. Semenova, and A. Zakharova,
Unbalanced Clustering and Solitary States in Coupled Excitable Systems,
Chaos **32**, 011104 (2022).
M21a, цитиран 11 пута (Scopus)
DOI: 10.1063/5.0077022
2. **I. Franović**, O. E. Omel'chenko, and M. Wolfrum,
Bumps, Chimera States, and Turing Patterns in Systems of Coupled Active Rotators,
Phys. Rev. E **104**, L052201 (2021).
M21, цитиран 6 пута (Scopus)
DOI: 10.1103/PhysRevE.104.L052201
3. **I. Franović**, S. Yanchuk, S. R. Eydam, I. Bačić, and M. Wolfrum,
Dynamics of a Stochastic Excitable System with Slowly Adapting Feedback,
Chaos **30**, 083109 (2020).
M21a, цитиран 20 пута (Scopus)
DOI: 10.1063/1.5145176
4. V. Klinshov and **I. Franović**,
Two Scenarios for the Onset and Suppression of Collective Oscillations in Heterogeneous Populations of Active Rotators,
Phys. Rev. E **100**, 062211 (2019).
M21, цитиран 11 пута (Scopus)
DOI: 10.1103/PhysRevE.100.062211
5. **I. Franović**, O. E. Omel'chenko, and M. Wolfrum,
Phase-sensitive Excitability of a Limit Cycle, *Chaos* **28**, 071105 (2018).
M21a, цитиран 16 пута (Scopus)
DOI: 10.1063/1.5045179

У првом раду, кандидат је проучавао (а) механизми настанка стања спонтаног нарушења синхронизације, као и њихове потенцијалне везе на путу десинхронизације од потпуно синхронизоване до асинхроне динамике; (б) настанак и начини карактеризације нових патерна парцијалне синхронизације, специфичних само за системе спрегнутих ексциtabilних јединица. Патерни парцијалне синхронизације у просторно дистрибуираним системима, укључујући химере и солитарна стања, подразумевају спонтано нарушење симетрије, у смислу да у системима идентичних јединица са симетричним интеракцијама неке јединице манифестују другачије средње фреквенције осциловања, тј. постају некохерентне (*frequency unlocked*) у односу на већину кохерентних (*frequency locked*) јединица. Међутим, интуиција развијена на основу система спрегнутих осцилатора не може да се пренесе у системе ексциtabilних јединица, које манифестују осцилације само под утицајем спољашње стимулације, између осталог и зато што колективни феномени у њима типично подразумевају значајан утицај одбојних, а не само привлачних интеракција. На примеру модела спрегнутих Фицхју-Нагумо (*FitzHugh-Nagumo*) јединица с ексциtabilном локалном динамиком у близини сингуларне Хопфове бифуркације и мешовитим привлачним и одбојним нелокалним интеракцијама, објашњени су механизми настанка небалансираних двокластер стања и њихова веза са солитарним стањима. Док кластеровање подразумева спонтану поделу система на две или више група при чему јединице у оквиру исте групе имају идентичну динамику, солитарна стања подразумевају да се мала група јединица, распоређених случајно у простору, одвоји средњом фреквенцијом осциловања од кластера кохерентних јединица. Користећи две комплементарне редукционе методе, тзв. метод експонената евопарације (*evaporation exponents*) и метод увођења тест осцилатора (*probe oscillators*), извршена је класификација и објашњене су бифуркације које, приликом доминације одбојних над привлачним интеракцијама, доводе до настанка небалансираних двокластер стања (стања са значајном асиметријом величина кластера) у глобално повезаним мрежама. Утврђено је да постоји шест типова небалансираних кластер стања, при чему је откривен нови тип кластер стања заснован на алтернирајућој (*leap-frogging*) динамици кластера с изменом редоследа емитовања импулса између кластера. Такође је утврђено да постоје два типа солитарних стања, с тим што доминантан тип у потпуности наслеђује особине, као што су област параметара постојања, однос средњих фреквенција и орбите солитарних и типичних јединица, од одговарајућих небалансираних двокластер стања. С друге стране, мањински тип солитарних стања нема коресподентна двокластер стања, а самоорганизација ових стања заснована на алтернирајућем емитовању импулса типичних и солитарних јединица. На крају, демонстрирано је да солитарна стања нису отпорна на присуство шума, пошто чак и мали шум изазива прелаз (*biased switching*) ка тзв. *patched* патернима. Овај феномен објашњен је као манифестација тзв. ефекта стохастичке преференције атрактора (*noise-induced preference of attractors*), где атрактори с малом базом атракције (у овом случају солитарна стања) постају неопсервабилни у присуству шума.

У другом раду, кандидат је показао да класичне парадигме настанка патерна кохеренције-некохеренције (*coherence-incoherence patterns*), уочене код система спрегнутих интринзичних осцилатора, не важе у случају система спрегнутих ексциtabilних јединица. Још од открића химера стања (2004. год.), патерни

коегзистенције кохеренције-некохеренције у системима спрехнутих осцилатора сматрани су изолованим од остатка велике класе патерна у нелинеарним системима. С једне стране, генерички механизми настанка патерна кохеренције-некохеренције остали су неповезани с класичним механизмима настанка патерна. С друге стране, сматрано је да патерни кохеренције-некохеренције нису глобални атрактори система, тј. да су увек коегзистентни са униформним комплетно кохерентним стањем, и да су као последица, асимптотски стабилни једино у термодинамичком лимесу, тако да доживљавају колапс на униформно комплетно кохерентно стање у системима коначне величине. У овом раду, показано је да ова два класична става не важе за патерне кохеренције-некохеренције у спрегнутим ексциtabilним системима. Наиме, на примеру тзв. *bump* стања, типичних за неуронске системе и који се од химера разликују по томе што је кохерентан домен стационаран, демонстрирано је да патерни кохеренције-некохеренције генерички могу да настану на суперкритичан начин од Тјурингових патерна, тако да не постоји бистабилност с униформним комплетно кохерентним стањем, као и да такав механизам патерн формирања не зависи од величине система. Увођењем модела ланца спрегнутих активних ротатора с нелокалним атрактивним интеракцијама и глобалном репулзијом, по први пут је показано да патерни кохеренције-некохеренције могу да настану путем класичне парадигме локалне активације и дугодометне инхибиције коју је увео Тјуринг (1952) а актуелизовали Гирер и Мајнхарт (1972). Конкретно, испоставља се да суперкритични механизам настанка *bump* стања укључује два корака, од којих је први Тјурингова бифуркација од униформног комплетно кохерентног стања до просторно модулисаног комплетно кохерентног стања, док се други корак састоји у просторно локализованој хомоклиничној бифуркацији у којој само једна јединица доживљава *unlocking* од кохерентне групе јединица. Овакав основни тип патерна затим добија просторно-временску комплексност секундарним бифуркацијама (интермитенција или распад турса), које доводе до преласка у ниско-димензиони и екстензивни хаос. Додатно је показано да је прилагођавањем јачина нелокалне атракције и глобалне репулзије могуће добити и друге механизме патерн формирања, од којих неки одговарају и раније утврђеним субкритичним прелазима од кохерентног стања ка патернима кохеренције-некохеренције.

У трећем раду, кандидат је извршио екстензију теорије сингуларних пертурбација на стохастичке *multiscale* системе са шумом на брзој карактеристичној временској скали. Конкретно, увео је модел стохастичког ексциtabilног система са спором адаптацијом која утиче на ексциtabilност јединице. Модел је развијен тако да укључује главне парадигме неуронске динамике, као што су ексциtabilност, шум и адаптивност. С теоријске тачке, главни допринос рада састоји се у увођењу нове редукционе методе стохастичког усредњавања (*stochastic averaging*), заснованог на комбиновању Фокер-Планковог формализма и сингуларне теорије пертурбација. Решавање *layer* проблема путем Фокер-Планкове једначине омогућило је конструкцију бифуркационог дијаграма спорог (редукованог) подсистема *path-following* техником. Бифуркациона анализа у сингуларном лимесу је показала постојање три карактеристична динамичка режима: шумом индуковано опаљивање (*spiking*), шумом пертурбовани *spiking*, као и домен бистабилности, који у случају малог, али коначног раздвајања временских скала одговара стохастичком *bursting*-у. Показано је да се механизам стохастичког *bursting*-а, као нове форме емергентног понашања, заснива на шумом индукованој *switching* динамици између два коегзистентна метастабилна стања

(квазистационарно стање и осцилаторна мода). Такође, у случају коначног раздвајања временских скала, демонстрирано је да се променом јачине повратне спреге може појачавати или слабити ефекат резонанце кохеренције у режиму шумом индукованог опаљивања, што представља нову методу контроле ефекта резонанце кохеренције, принципијелно другачије од класичне Пирагасове технике. Додатно, показано је и да је могуће контролисати статистичке особине стохастичког *bursting*-а, као што је релативан однос трајања епизода опаљивања и квази-стационарних периода.

У четвртом раду кандидат је анализирао макроскопску динамику популације с квалитативном хетерогеношћу локалне динамике, у смислу да се популација састоји од активних ротатора с ексцитабилном или осцилаторном интринзичном динамиком. Овакав сценарио се суштински разликује од класичног Курамотовог модела у којем се јединице одликују само квантитативном хетерогеношћу, тако да се популација састоји од осцилатора с различитим локалним фреквенцијама. Хетерогеност (диверзитет) је фундаментална карактеристика бројних биолошких система, нпр. неуронских популација, а у конкретном случају је реализована тако што су локални бифуркациони параметри активних ротатора дистрибуирани према унапред задатој дистрибуцији вероватноће. Анализа режима макроскопске динамике, укључујући локалну структуру стања и одговарајуће области стабилности, обављена је екстензијом От-Антонсеновог (*Ott-Antonsen*) редукционог метода, који одговара термодинамичком лимесу, на популације с динамичком хетерогеношћу јединица. Као бифуркациони параметри разматране су карактеристике дистрибуције локалних фреквенција ротатора (средња вредност и ширина дистрибуције). Конкретно, откривено је да постоје три режима макроскопске динамике, и то: (1) глобално хомогено стање мировања, где се сви ротатори налазе у ексцитабилном стању; (2) глобално осцилаторно стање, где су локалне осцилације ротатора парцијално синхронизоване; (3) хетерогено макроскопски стационарно стање, где се неке јединице налазе у ексцитабилном, а друге у осцилаторном режиму, при чему су њихове локалне активности несинхронизоване. Хетерогено стационарно стање је од фундаменталног значаја за неуронске системе јер показује особину макроскопске ексцитабилности. Детаљна бифуркациона анализа показала је да су области стабилности појединих стања задата сложеним бифуркационим сценаријом, организованим око три бифуркације кодимензије два (Богданов-Такенс бифуркација, *cusp* бифуркација, *fold*-хомоклинична бифуркација). Такође, показано је да постоје области параметара у којима систем манифестује бистабилност између два макроскопска стационарна стања, или глобалног стационарног и осцилаторног стања. Откривена су два генеричка механизма настанка колективне моде (класичан курамотовски и преко SNIPER бифуркације), као и два сценарија (глатки/суперкритични и хистеретични/субкритични) преласка из хомогеног у хетерогено стационарно стање с повећањем диверзитета.

У петом раду кандидат је извршио генерализацију појма ексцитабилности на системе у којима са стабилним периодичним осцилацијама, чија локална динамика има *limit cycle* атрактор. Класичан појам ексцитабилности повезан је са системима који имају линеарно стабилно стационарно стање (еквибријум), али манифестују нелинеарно *threshold-like* понашање, тако да пертурбација довољно велике амплитуде може да изазове ексцитацију, као нелинеаран одговор система у форми *spike*-а. Према класичној теорији нелинеарне динамике, ексцитабилност

настаје услед тога што се систем налази у близини бифуркације од стационарног стања ка режиму периодичних осцилација. У овом раду је пак показано и да системи у режиму релаксационих осцилација могу да испоље ексцитабилно понашање, које је неуниформног карактера дуж периодичне орбите, а састоји се у нелинеарном threshold-like одовору система на спољашњу пертурбацију одређене амплитуде и правца. Због неуниформности дуж периодичне орбите, феномен је назван phase-sensitive excitability периодичне орбите. Користећи елементе теорије сингуларних пертурбација, показано је да је threshold динамика задата структуром максималног канарда, која је повезана с нестабилном фиксном тачком. Дакле, у поређењу с класичним појмом ексцитабилности, систем се не налази у близини бифуркације, али се налази у близини канард прелаза. Такође, сама ексцитација, на супрот класичној ексцитабилности, је инхибиторног типа, у смислу да пертурбација изазива девијацију с периодичне орбите у форми мале (subthreshold) осцилације која прати структуру максималног канарда. Као и у случају класичне ексцитабилности, системи с phase-sensitive excitability манифестују нелинеаран одговор на шум у форми инверзне стохастичке резонанце, тако да постоји преферентни ниво шума на коме је фреквенција стохастички пертурбованих осцилација минимална. Објашњено је да ефекат инверзне стохастичке резонанце настаје као резултат конкуренције растуће ефикасности ексцитације и деградације нелинеарног одговора система с повећањем интензитета шума.

4.1.2. Цитираност научних радова кандидата

Према подацима о цитираности аутора преузетим из базе Scopus 26. 9. 2023. године, радови чији је др Франовић коаутор досад су цитирани 480 пута, док је број цитата без аутоцитата 339, уз Хиршов индекс 14.

4.1.3. 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. Др Франовић је објављивао радове у часописима категорија M21a, M21 и M22, 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:

- 7 радова у часопису Chaos, Solitons & Fractals (ИФ 9.922 за два рада, ИФ 5.944 за један рад, ИФ 3.315 за два рада, ИФ 1.611 за један рад и ИФ 1.268 за један рад)
- 11 радова у часопису Chaos (ИФ 3.741 за четири рада, ИФ 3.642 за два рада, ИФ 2.643 за један рад, ИФ 2.283 за два рада, 2.188 за један рад и 2.081 за један рад)
- 10 радова у часопису Physical Review E (ИФ 2.707 за један рад, ИФ 2.353 за два рада, ИФ 2.366 за један рад, ИФ 2.326 за 5 радова и ИФ 2.508 за један рад)
- 1 рад у часопису Physical Review Letters (ИФ 7.943)
- 1 рад у часопису Scientific Reports (ИФ 5.578)

- 2 рада у часопису *Nonlinear Dynamics* (ИФ 3.464 за један рад и ИФ 3.009 за други рад)
- 4 рада у часопису *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations* (ИФ 2.866 за три рада и ИФ 2.806 за један рад)
- 4 рада у часопису *EPL* (ИФ 1.957 за један рад, ИФ 2.893 за један рад и ИФ 2.095 за два рада)
- 2 рада у часопису *European Physical Journal Special Topics* (ИФ 1.947 за два рада)
- 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 142.069, а фактор утицаја радова у периоду након одлуке Научног већа Института за физику о предлогу за стицање претходног научног звања радова је 63.943. Часописи у којима објављује др Франовић су цењени по свом угледу и водећи у његовим областима рада. Међу поменутиим часописима посебно се истичу *Chaos, Chaos, Solitons & Fractals*, *Physical Review Letters*, *Scientific Reports*, *Nonlinear Dynamics*, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations*, *Physical Review E*, *EPL*.

Додатни библиометријски показатељи у вези са објављеним радовима кандидата у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник приказани су у следећој табели:

	ИФ	М	СНИП
Укупно	63.943	132.25	20.37
Усредњено по чланку	3.996	8.265	1.273
Нормирано на број аутора	16.979	41.1	5.726

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

Од 46 објављених радова, др Франовић је први аутор 25 радова, други наведени аутор 7 радова, трећи аутор 6 радова, пети и девети аутор по једног рада, а последњи је аутор 5 публикација. На радовима који су објављени у периоду након одлуке Научног већа Института за физику у Београду о предлогу за стицање звања виши научни сарадник, др Франовић је први аутор 6 публикација, други наведени аутор 3 рада, трећи наведени аутор једног рада, пети и девети аутор по једног рада, као и последњи аутор 4 публикације. При изради поменутих радова, 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 и уређивању радова.

Током магистарских студија на Физичком факултету у Београду, др Франовић се бавио развојем теоријских и квантитативних метода за карактеризацију пропагативних патерна транзијентне синхронизације у неуронским популацијама,

анализом 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 др Николом Бурићем са 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 *mean-field* 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 покренуо истраживања у неколико различитих праваца, одржавајући активну научну сарадњу с више страних истраживача и истраживачких група. Из перспективе развоја аналитичких метода, посветио се генерализацији редукционих приступа на системе с динамиком на вишеструким временским скалама. У том смислу, допринео је развоју нове аналитичке методе за опис колективне динамике система засноване на комбиновању класичног От-Антонсеновог приступа и теорије сингуларних пертурбација. Такође, осмислио је методу за анализу динамике стохастичких система с брзо-спором структуром у којој се комбинује Фокер-Планков формализам за третирање стохастичке брзе динамике с елементима класичне теорије сингуларних пертурбација. Један од значајних праваца истраживања односи се и на екстензију појма ексцитабилности, с једне стране на системе с *limit cycle* атрактором, формулишући појам *phase-sensitive excitability*, а с друге стране на генерализацију појма ексцитабилности на спрегнуте системе.

Др Франовић је покренуо и нови правац истраживања усмерен на разумевање механизма настанка патерна парцијалне синхронизације (*coherence-incoherence patterns*) у спрегнутим ексцитабилним системима, као и објашњењу разлика у односу на класичне механизме познате у системима спрегнутих осцилатора. У том контексту, др Франовић је открио нову класу тзв. *patched* патерна специфичних само за спрегнуте ексцитабилне системе; повезао механизам настанка *bump* стања са класичним Тјуринговим патернима у системима с нелокалном атракцијом и глобалном репулзијом; објаснио генеричке механизме настанка солитарних стања и каскадне активности (*avalanches*) у спрегнутим ексцитабилним системима. Као трећа значајна област недавних истраживања, издваја се истраживање улоге адаптивности, како на нивоу јачине веза, тако и на нивоу промена карактеристика локалне динамике јединица, на емергентну алтернирајућу (*switching*) динамику и одржавање система у околини критичности у спрегнутим ексцитабилним системима, или хетерогеним системима састављеним од ексцитабилних јединица и интринзичних осцилатора.

Др Франовић има широку научну сарадњу с колегама из иностранства из области нелинеарне динамике, статистичке физике и неуронауке, укључујући: групу др Луиса Канга из Рикен института из Токија, Јапан; групу професора Владимира Некоркина из Института примењене физике Руске академије наука у Нижњем Новгороду; групу др Матијаса Волфрума из Вајерштрас института у Берлину, Немачка; др Олеха Омељченка са Универзитета у Потсдаму, Немачка; др Рика Бернера са Хумболт универзитета у Берлину, Немачка; проф. др Филипа Хефела са Универзитета у Сарбрикену, Немачка; проф. др Ану Захарову са Техничког универзитета у Берлину, Немачка; др Надежду Семјонову с Фемто-СТ института,

Француска; групу др. Саада Цафарија са Амиркабир универзитета у Техерану, Иран; као и проф. др Матјажа Перца са Универзитета у Марибору и проф. др Јиргена Куртса са Института за климатологију у Потсдаму.

4.1.5. Награде

Др Франовић је добитник награде за најбољег младог истраживача Физичког факултета Универзитета у Београду за 2013. годину, као и добитник Годишње награде за научни допринос Института за физику у Београду за 2020. годину. Такође, кандидат је 2012. године добио DAAD стипендију за студијски боравак у СР Немачкој.

4.1.6. Елементи применљивости научних резултата

Истраживања др Франовића се односе на самоорганизацију и генеричке форме емергентне динамике у система спрегнутих ексциtabilних јединица или осцилатора, а као главна мотивација и потенцијалне области примене добијених резултата се истичу карактеризација, предвиђање и контрола колективног понашања неуронских и других биолошких система. Неки од кључних појмова у истраживању др Франовића, као што су ексциtabilност, шум и адаптивност, представљају главне особине неуронских система. Ексциtabilност има и шири значај у светлу чињенице да се може сматрати основним елементом физике живота (*physics of life*), пошто представља водећу парадигму локалне динамике не само нервног, него и срчаног ткива, бета-ћелија панкреаса задужених за секрецију инсулина, као и неких генских мрежа. Поред тога, спрегнутим ексциtabilним системима могуће је описати бројне друге системе, како природне тако и артифицијелне, од хемијских реакција до ласера и модела климе. За разумевање неуронских система, од фундаменталног значаја је неколико корпуса проблема које др Франовић проучава, укључујући критичне прелазе ка синхронизацији, али и феномени парцијалне синхронизације (химере, *bump* и солитарна стања) на путу од кохеренције ка некохеренцији. Док настанак колективне моде може да се повеже с настанком колективних ритмова у кортексу, познато је да *bump* стања играју значајну улогу у формирању краткорочне меморије, репрезентацији визуелних стимулуса и усмеравању положаја главе. Такође, др Франовић се бави и механизмима настанка самолокализованих ексцитација и пропагативних патерна транзијентне синхронизације, које у контексту неуронауке одговарају тзв. неуронским лавинама (*neuronal avalanches*), честом типу спонтане активности неуронских популација. Поред аналогича с нормалним, физиолошки пожељним (хомеостатским) стањима неуронских популација, истраживања др Франовића могу да пруже и значајан увид у механизме настанка патолошких стања, тј. неуролошких обољења која на нивоу динамике неурона као заједничку одлику имају изразито висок степен синхронизоване активности (епилепсија, Алцхајмерова и Паркинсонова болест, тремор). У том случају, пожељно је пронаћи методе контроле за изазивање прелаза десинхронизације ка хомеостатској асинхроној активности. Истраживања др Франовића у том контексту указују на значајну улогу адаптивности, како у форми синаптичке пластичности, тако и у форми метаболичке адаптације локалне динамике неурона. Проучавање механизма адаптације, као и њихове интеракције са шумом, представља основ за развијање метода контроле патолошких стања у

неуронских система путем супресије ексесивно синхронизованих стања и индуковања прелаза ка асинхроним стањима.

4.2. Ангажованост у формирању научних кадрова

Др Франовић је био ментор докторске дисертације др Иве Бачић под називом “Self-organization in coupled excitable systems: interplay between multiple timescale dynamics and noise”, која је одбрањена 2020. године на Физичком факултету Универзитета у Београду. Истраживања у оквиру тезе припадају областима нелинеарне динамике и стохастичких процеса, а као главни научни доприноси издвајају се екстензија појма екситабилности на динамику спрегнутих система; развој редукционих приступа за стохастичке системе с динамиком на вишеструким временским скалама; анализа коефекта адаптивности и шума на појаву и потенцијалне методе контроле алтернирајуће (switching) динамике између метастабилних стања и резонантних феномена. Наведени научни доприноси описани су у поглављима: 2. The excitability of coupled systems, 3. Switching dynamics induced by the interplay of adaptivity and noise, 4. Resonant phenomena in coupled systems with local dynamics near the bifurcation threshold. Поглавља описују резултате представљене у следећим радовима:

- **I. Franović**, S. Yanchuk, S. R. Eydam, I. Bačić, and M. Wolfrum, Dynamics of a Stochastic Excitable System with Slowly Adapting Feedback, *Chaos* **30**, 083109 (2020).
- I. Bačić and **I. Franović**, Two Paradigmatic Scenarios for Inverse Stochastic Resonance, *Chaos* **30**, 033123 (2020);
- I. Bačić, V. Klinshov, V. I. Nekorkin, M. Perc, and **I. Franović**, Inverse Stochastic Resonance in a System of Excitable Active Rotators with Adaptive Coupling, *EPL* **124**, 40004 (2018).
- I. Bačić, S. Yanchuk, M. Wolfrum, and **I. Franović**, Noise-induced Switching in Two Adaptively Coupled Excitable Systems, *Eur. Phys. J. - Spec. Top.* **227**, 1077-1090 (2018).
- **I. Franović**, O. V. Maslennikov, I. Bačić, and V. I. Nekorkin, Mean-field Dynamics of a Population of Stochastic Map Neurons, *Phys. Rev. E* **96**, 012226 (2017).

Такође, од септембра 2023. године, др Франовић је ментор на докторским студијама Зорану Рајчевићу. Поред менторстава у Србији, кандидат је био члан комисије на одбрани докторске тезе др Себастијана Ејдама на Техничком универзитету у Берлину 2019. године.

Кандидат је ангажован као наставник на предмету Физика неуређених система у оквиру уже научне области Физика кондензоване материје и статистичка физика на докторским студијама Физичког факултета Универзитета у Београду.

4.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Радови кандидата укључују теоријски и нумерички приступ, па се узимају са пуном тежином уколико имају до пет коаутора. У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, један прегледни рад кандидата категорије M21a подлеже нормирању, јер има 24 коаутора, као и још један рад категорије M21a који има шест коаутора. Сви остали радови улазе са пуном тежином при обрачуна броја бодова.

Укупан број М бодова које је кандидат остварио након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања је 174.5, а након нормирања тај број је 164.75. Ова разлика је мала и не утиче на квантитативну процену резултата кандидата.

4.4. Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Др Франовић је до сада био руководиоца једног пројекта и две потпројектне теме. У периоду од 2017-2018. године руководио је билатералним пројектом између Републике Србије и СР Немачке под називом “Emergent Dynamics in Systems of Coupled Excitable Units”. Такође, руководио је потпројектом у оквиру пројекта основних истраживања, као и потпројектом у оквиру Националног центра изузетних вредности Центар за изучавање комплексних система.

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник, руководио је следећим потпројектима:

Назив: Самоорганизација у спрегнутим ексцитабилним системима

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: 2016-2019.

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

Назив: Емергентна динамика на комплексним мрежама: стохастички ефекти, кашњење у интеракцијама, адаптивност

Тип пројекта: тема 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 за изучавање комплексних система

4.5. Активност у научним и научно-стручним друштвима

Др Франовић је у периоду пре и након избора у звање виши научни сарадник учествовао, а и тренутно учествује у уређивању неколико међународних научних часописа. У периоду од 2017. до 2020. године, др Франовић је био Associate Editor

у часопису Chaos, Solitons & Fractals категорије M21a. Тренутно је Associate Editor у часописима Journal of Applied Nonlinear Dynamics (категија M23) и Frontiers in Network Physiology (додељивање ИФ се очекује следеће године). Такође, др Франовић је Guest Editor у часопису Chaos (категија M21a) на фокус издању Regime switching in coupled nonlinear systems: sources, prediction, and control, као и у часопису Entropy (категија M22) на специјалном издању Synchronization in Complex Networks of Nonlinear Dynamical Systems. Као доказ, приложена је релевантна комуникација с часописима као и исписи са сајта часописа.

Поред тога, у периоду након избора у претходно звање био је члан Научног комитета и координатор секције 9 Theoretical, Mathematical and Computational Physics конференције BPU11 11th International Conference of the Balkan Physical Union, одржане од 28.8.-1.9.2022. године. Такође је био уредник секције PoS Proceedings-a BPU11.

Кандидат је до сада био рецензент у преко 20 међународних часописа, укључујући: Scientific Reports, PLOS ONE, Nonlinear Dynamics, Chaos, Chaos, Solitons & Fractals, International Journal of Bifurcation and Chaos, EPL, SIAM Journal on Applied Dynamical Systems, Physics Letters A, European Physical Journal B, Neural Networks, Neurocomputing, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, Journal of Statistical Physics, Frontiers in Computational Neuroscience, Radiofizika, Nonlinear Processes in Geophysics, Applied Mathematics and Computation, International Journal of Electronics and Communications, Theory in Biosciences, Journal of Difference Equations and Applications, IEEE Transactions on Cybernetics, Environmental Earth Sciences, Wave Motion. Као доказ су приложени примери релевантне комуникације с часописима.

Др Франовић је члан научно-стручног друштва International Physics and Control Society (IPACS).

4.6. Утицај научних резултата

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

Др Франовић је одржао 11 предавања по позиву:

1. 4th International Conference on Integrable Systems and Nonlinear Dynamics (ISND-2023) у Јарослављу, Русија (и online), септембра 2023. године;
2. Dynamics Days Europe 2023 (DD23) у Напуљу, Италија, септембра 2023. године;
3. Dynamics Days US 2023, online, јануара 2023. године;
4. SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems (DS21), online, маја 2021. године;
5. International Symposium Topical problems of Nonlinear Wave Physics (NWP-2021) у Нижњем Новгороду, Русија (и online), септембра 2021. године;
6. Symposium of SFB 910: Dynamical patterns in complex networks, online, октобра 2021. године;
7. The 1st Online Conference on Nonlinear Dynamics and Complexity (NSC 2020), online, новембра 2020. године;

8. The 20th Symposium on Condensed Matter Physics (SFKM 2019) у Београду, октобра 2019. године;
9. The 7th Conference on Information Theory and Complex Systems (TINKOS 2019) у Београду, октобра 2019. године;
10. 9th International Conference on Physics and Control (PhysCon 2019) у Инополису, Русија, септембра 2019. године;
11. Dynamics of Coupled Oscillator Systems, Weierstrass Institute (WIAS), Берлин, Немачка, новембра 2018. године.

Такође, др Франовић је своје резултате представио и на 3 конференције у иностранству:

1. Sixth Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA 2022), Калињинград, Русија (и online), септембра 2022. године;
2. Solvay Workshop on Nonlinear phenomena and complex systems in memory of Grégoire Nicolis (online) јуна 2021. године;
3. Second Online Conference on Nonlinear Dynamics and Complexity (NDC2021) октобра 2021. године.

Поред тога, одржао је и 3 предавања по позиву на институтима у иностранству: на Техничком универзитету у Берлину, Немачка (online), јуна 2020. године; Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) новембра 2019. године; Институт за физику и астрономију Универзитета у Потсдаму, Немачка, новембра 2018. године, као и семинар на Институту за физику у Београду августа 2021. године.

4.7. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Др Франовић је суштински допринео сваком раду на коме је учествовао. Шеснаест радова у часописима у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања виши научни сарадник су у погледу ангажовања кандидата урађени на Институту за физику у Београду. Од ових радова, кандидат је кореспондирајући аутор за 11 радова, а први аутор 6 радова. Међу радовима на којима је кореспондирајући аутор налазе се и 4 рада који су ушли у корпус докторске тезе др Иве Бачић, чијом је изработком руководио др Франовић. За три од та четири рада др Франовић је последњи аутор. Такође, у једном од радова са страним колегама, др Франовић је последњи и кореспондирајући аутор, а очекује се да тај рад буде у саставу докторске тезе Макса Контрераса, која ће бити одбрањена у Немачкој. У свим радовима где је кореспондирајући аутор, кандидат је био покретач истраживања, суштински је утицао на дефинисање проблема и формулисање математичког модела, а значајно је допринео математичкој и нумеричкој анализи модела, као и интерпретацији резултата. Такође је дао суштински допринос у писању изворне верзије рада и каснијој ревизији. У једном прегледном раду, који даје осврт и перспективу на тему адаптивних мрежа, др Франовић је девети од 24 коаутора, при чему је допринео писањем свог поглавља и едитовањем коначне верзије рада. У пет радова у којима је други, трећи или четврти аутор, др Франовић је допринео математичкој и нумеричкој анализи модела, као и едитовању рада.

На Институту за физику у Београду, др Франовић је зачетник новог правца истраживања у области физике комплексних система, усмереног на истраживање емергентне динамике у системима спрегнутих ексцитабилних јединица и осцилатора. 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 проучавање комплексних система.

4.8. Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности

1. **I. Franović,**
Emergence of collective oscillations in assemblies of stochastic active elements with coupling delay,
9th International Conference on Physics and Control (PhysCon 2019), Innopolis, Russia,
September 8-11, 2019, Conference Proceedings, pp. 90-96, M31
2. **I. Franović,**
Patched patterns and emergence of chaotic interfaces: a new paradigm in coupled excitable systems,
4th International Conference on Integrable Systems and Nonlinear Dynamics (ISND-2023), Yaroslavl, Russia (and online), September 25-29, 2023, M32
3. **I. Franović,**
Switching Dynamics in Excitable Systems with Adaptation,
Dynamics Days Europe (DDE23), Naples, Italy, September 3-8, 2023, M32
4. **I. Franović,**
Patched patterns and emergence of chaotic interfaces: a new paradigm in coupled excitable systems,
Dynamics Days US 2023 (online), January 9-11, 2023, M32
5. **I. Franović,**
Switching Dynamics in Systems of Stochastic Excitable Units with Adaptive Couplings,
SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems (DS21) (online), May 23-27, 2021, M32
6. **I. Franović,**
Bumps, chimera states, and Turing patterns in systems of coupled active rotators,
International Symposium Topical problems of Nonlinear Wave Physics (NWP-2021), Nizhny Novgorod, Russia (and online), September 19-22, 2021, M32
7. **I. Franović,**
Unbalanced clustering and solitary states in coupled excitable systems,
Symposium of SFB 910: "Dynamical patterns in complex networks" (online), October 29, 2021, M32

8. **I. Franović,**
Dynamics of a Stochastic Excitable System with a Slowly Adapting Feedback,
The 1st Online Conference on Nonlinear Dynamics and Complexity
(NSC2020), (online), November 23-25, 2020, M32

9. **I. Franović,**
Macroscopic dynamics in heterogeneous assemblies of excitable and oscillatory
units,
The 7th Conference on Information Theory and Complex Systems (TINKOS
2019), Belgrade, Serbia, October 15-16, 2019, M32

10. **I. Franović,**
Macroscopic Variability in Modular Neural Networks,
The 20th Symposium on Condensed Matter Physics (SFKM 2019), Belgrade,
Serbia, October 7-11, 2019, M32

11. **I. Franović,**
Switching dynamics in two adaptively coupled excitable systems,
Workshop Dynamics of Coupled Oscillator Systems, Weierstrass Institute
(WIAS), Berlin, Germany, November 19 - 21, 2018, M32

12. **I. Franović,**
Solitary states in arrays of excitable FitzHugh-Nagumo units
Sixth Scientific School "Dynamics of Complex Networks and their
Applications" (DCNA'2022), Kaliningrad, Russia (and online), September 14 -
16, 2022, pp. 89-92
DOI: 10.1109/DCNA56428.2022.9923122, M33

13. **I. Franović,**
Emergent Dynamics in Populations of Active Rotators with Diversity,
Solvay Workshop on "Nonlinear phenomena and complex systems" in memory
of Grégoire Nicolis (online), June 14-16, 2021, M34

14. **I. Franović,**
Unbalanced clustering and solitary states in coupled excitable systems,
Second Online Conference on Nonlinear Dynamics and Complexity NDC2021
(online), October 4-6, 2021, M34

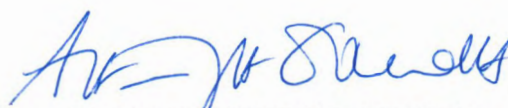
Као доказ приложена су позивна писма за учешће на конференцијама, веб сајтови конференција, изводи из књига апстраката.

V Оцена комисије о научном доприносу кандидата, са образложењем:

Др Игор Франовић 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 остварио је оригиналне и веома значајне научне резултате који побољшавају наше разумевање самоорганизације и генеричких форми понашања комплексних система. Посебно истичемо да у свом раду интегрише и развија концепте и методе из неколико различитих области физике, укључујући теорију нелинеарне динамике, статистичку физику и теорију комплексних мрежа, што је од великог значаја за повезивање ових области.

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

Београд, 30. октобар 2023. године



ПРЕДСЕДНИК КОМИСИЈЕ
др Антун Балаж
научни саветник
Институт за физику у Београду

МИНИМАЛНИ КВАНТИТАТИВНИ ЗАХТЕВИ ЗА СТИЦАЊЕ ПОЈЕДИНАЧНИХ НАУЧНИХ ЗВАЊА

За природно-математичке и медицинске струке

Диференцијални услов	Потребно је да кандидат има најмање N поена, који треба да припадају следећим категоријама:		
		Неопходно N	Остварено (нормирано*)
Научни саветник	Укупно	70	174.5 (164.75)
	$M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90 \geq$	50	161.5 (151.75)
	$M11+M12+M21+M22+M23 \geq$	35	142 (132.25)

*Нормирање је извршено у складу са Правилником о стицању истраживачких и научних звања.