

# НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА

## УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо одлуком Наставно-научног већа Физичког факултета, на седници одржаној 07.04.2021. године, одређени за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Драгутина Јовковића, мастер физичара и студента докторских студија Физичког факултета, под називом „Корелације у сигнаlima типа Баркхаузенoвог шума“ из уже научне области Статистичка физика, коју је предао дана 01.04.2021. године, подносимо следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Основни подаци о кандидату

##### 1.1. Биографски подаци

Драгутин Јовковић је рођен у Чачку, 09.06.1990. године. Основну школу је завршио у Гучи, а затим Гимназију у Чачку. Основне академске студије је завршио на Физичком факултету Универзитета у Београду са просеком 9,13 (2009-2014). На истом факултету завршио је мастер студије 2015. године са просеком 10 одбранивши мастер рад под називом „Анализа критичног понашања неравнотежног Изинговог модела са случајним пољем на нули апсолутне температуре при преласку са тродимензионалних на дводимензионалне системе“ који је урађен под менторством проф. др Ђорђа Спасојевића. Наредне, 2015. године уписао је докторске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Физика кондензоване материје и статистичка физика под менторством др Ђорђа Спасојевића, редовног професора. Од јануара 2016. запослен је као асистент на Катедри за физику Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

##### 1.2. Научна активност

Кандидат се бави нумеричким истраживањем неравнотежне динамике феромагнетних система у оквиру неравнотежне статистичке физике. Од 2018. године био је ангажован на пројекту 171027 „Суперпроводност, магнетизам и флукуационе појаве“ Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. До сада има четири објављена рада у међународним часописима категорије М21 и два рада у процесу рецензије.

#### 2. Опис предатог рада

##### 2.1. Основни подаци

Докторска дисертација кандидата урађена је под менторством др Ђорђа Спасојевића, редовног професора Физичког факултета Универзитета у Београду. Ментор испуњава услове Физичког факултета за руковођење израдом докторске дисертације, јер је у научном звању и аутор је великог броја радова из области неравнотежних модела феромагнетизма који су објављени у врхунским међународним часописима и представљени на међународним и домаћим конференцијама. Дисертација је написана на 66 страна не рачунајући насловну страну, захвалнице, сажетак, садржај, биографију аутора и непоходне изјаве, све у складу са

упутством за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација је подељена у 6 глава и садржи 34 слике, од којих је 1 из литературе, а на осталим су представљени резултати и илустрације које добио кандидат. Дисертација садржи 8 табела, у 4 су приказани резултати познати из литературе, а у 4 властити резултати кандидата. Наведене су 74 референце.

## 2.2. Предмет и циљ рада

Изучавање Баркхаузеновог ефекта привлачи велику пажњу у оквиру физике магнетизма као једне од најизучаванијих области физике чврстог стања. Сам ефекат приметан је код феромагнетних система и испољава се као скоковита промена магнетизације која се дешава када је феромагнетни систем изложен дејству спољног, споро и глатко променљивог магнетног поља. Том приликом индукује се електромоторна сила са стохастичким временским профилима континуалног спектра снаге који имају карактеристике шума. Испитивање Баркхаузеновог ефекта дало је једну од првих потврда Вајсове теорије магнетних домена што је подстакло развој теоријских модела који могу квалитативно да опишу понашање феромагнетика. Један од најзначајнијих је Изингов модел са случајним пољем, који има велики значај у изучавању Баркхаузеновог, али и других ефеката видљивих на хистерезисној петљи. У овој варијанти модела при спорој промени спољног поља систем релаксира у виду спинских лавина које доводе до скокова магнетизације. Описани начин одговора система на спољне пертурбације присутан је и у другим системима који показују постојање „пуцкетајућег“ шума као што су земљотреси, неуронске мреже, сабијање дрвених узорака и порозних материјала, деформације и кидање материјала под притиском, итд.

Сигнали настали лавинским процесима добијени из оваквих система показују постојање временских корелација које се јављају у дистрибуцијама различитих времена чекања, а које су описане степеним законима. Егзактно раздвајање лавина је могуће у симулацијама, али не и у експериментима због постојања екстерног шума који потиче од несавршености инструмената, од околине и других спољних утицаја. Због тога се у обради добијених експерименталних података уводи одговарајући праг детекције чиме се намеће питање како праг детекције утиче на постојеће корелације, али и какав је заједнички утицај прага и постојећег шума.

Већина истраживања Изинговог модела са случајним пољем спроведена су на једнакостраничним кубним решеткама различитих димензионалности. Међутим, експериментални узорци на којима се испитује Баркхаузенов ефекат углавном су неједнакостранични и танки, дакле имају једну димензију знатно краћу од преостале две. Намеће се питање димензионалности оваквих система и да ли је могуће поставити јасну границу која раздваја димензионалне од тродимензионалних система. До сада није испитано како се мења ефективно критично поље, један од критичних параметара, при промени дебљине танких система са квадратном основом, а што може да буде од великог значаја јер је спољно поље параметар који је могуће контролисати. Такође, није познато какав је утицај граничних услова постављених дуж дебљине система на понашање танких система бесконачно велике основе.

Циљеви дисертације се могу поделити у 3 целине:

- испитивање порекла корелација насталих применом прага детекције
- проучавање утицаја екстерног шума на корелације настале постављањем прага детекције
- испитивање промене ефективног критичног поља неједнакостраничних система при смањивању дебљине система уз примену различитих граничних услова дуж дебљине.

### 2.3. Публикације

У докторској дисертацији кандидата Драгутина Јовковића представљени су резултати два рада објављена у часописима М21 категорије:

[1] S. Janičević, D. Jovković, L. Laurson, Dj. Spasojević, “*Threshold-induced correlations in the Random Field Ising model*”, Scientific Reports **8**, 2571 (2018);

[2] S. Mijatović, D. Jovković, S. Janičević, Dj. Spasojević, “*Critical disorder and critical magnetic field of the nonequilibrium athermal random-field Ising model in thin systems*”, Physical Review E **103**, 032147 (2021);

и резултати још једног рада који је на рецензији у часопису Physical Review E:

D. Jovković, S. Janičević, S. Mijatović, L. Laurson, Dj. Spasojević, “*The effects of external noise on threshold induced correlations in ferromagnetic systems*”.

### 2.4. Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Дисертација је подељена у 6 глава. У првој глави дат је кратак преглед познатих резултата и наведена је мотивација истраживања, а у другој описан модел коришћен за добијање сигнала и понашање његових особина које су од интереса. У наредне две главе представљени су оригинални резултати кандидата. У шестој глави су дати су дискусија резултата дисертације и закључак.

У првој глави су дата уводна разматрања о пореклу и актуелностима везаним за изложу проблематику.

Друга глава садржи опис Изинговог модела са случајним пољем, заједно са параметрима и величинама модела од интереса. Затим је дат опис основних особина лавина – њихова величина и трајање. На крају је спроведена идентификација критичних експонената. Акцент је стављен на атермалну и неравнотежну верзију модела.

У трећој глави приложена је теоријска анализа расподела особина подлавина насталих увођењем прага детекције. Уведен је појам времена чекања и одговарајућих подврста времена чекања. На крају су приказани резултати који показују како се критични експонент величине/трајања понаша са порастом прага. Установљено је да се његова вредност не мења у великом опсегу вредности прага, тј. да се формира плато, што се слаже са предвиђањем других модела, нпр., пропагације пукотине кроз нехомогену средину, указујући на општији значај примењеног приступа. Осим тога, дата је потврда изведене теорије скалирања посредством колапса расподела трајања и времена чекања.

У четвртој глави се показује како на корелације, настале постављањем прага детекције, утиче присуство спољног шума, који је приликом анализе додаван на сигнале генерисане у симулацијама. Додавана су два типа спољног шума – униформни бели шум генерисан из униформне расподеле и Гаусов бели шум генерисан из Гаусове расподеле. Утврђено је да присуство шума утиче на појаву платоа тако што смањује висину на којој се плато јавља и да је опадање вредности експонента величине/трајања лавина различито у зависности од примењеног шума. Даље, присуство шума утиче на облик расподела трајања лавина и времена чекања тако што смањује број појављивања догађаја који трају дуго, односно смањује се време одсецања. Тиме се ремети колапс расподела предвиђен скалирањем изведеним у трећој глави. Тај проблем решен је увођењем параметара помака и функција помака. Испоставља се да понашање функција помака такође зависи од врсте примењеног шума.

Пета глава је посвећена теоријским предикцијама понашања ефективног критичног поља код неједнакостраничних система типа  $L \times L \times l$  код којих су прве две димензије (дужина и ширина) једнаке, а трећа димензија (дебљина) знатно мања. Најважније предикције су аналитички израз за ефективно критично поље ових система и за критично поље танких система у термодинамичком лимиту, тј. када је дебљина константна, а димензије основе теже бесконачности. Предложене предикције су проверене колапсирањем кривих магнетизације и сусцептибилности.

Последња глава садржи дискусију о претпоставкама и резултатима рада и закључак.

### 3. Списак публикација

#### Радови у врхунским међународним часописима (категорија M21):

[1] S. Janičević, D. Jovković, L. Laurson, Dj. Spasojević, “*Threshold-induced correlations in the Random Field Ising model*” *Scientific Reports* **8**, 2571 (2018); usaglasiti font

[2] S. Mijatović, D. Jovković, S. Janičević, Dj. Spasojević, “*Critical disorder and critical magnetic field of the nonequilibrium athermal random-field Ising model in thin systems*”, *Physical Review E* **100**, 032113 (2019);

[3] S. Mijatović, D. Jovković, Dj. Spasojević, “*Nonequilibrium athermal random-field Ising model on hexagonal lattices*”, *Physical Review E* **103**, 032147 (2021);

[4] S. Mijatović, D. Jovković, S. Janičević, Dj. Spasojević, “*A tool for identifying the criticality in the disordered systems with metastable dynamics*”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **572**, 125883 (2021)

#### Радови у процесу рецензије (категорија M21):

[5] D. Jovković, S. Janičević, S. Mijatović, L. Laurson, Dj. Spasojević, “*The effects of external noise on threshold induced correlations in ferromagnetic systems*”, *Physical Review E*

[6] S. Radić, S. Janičević, D. Jovković, Dj. Spasojević, “*The effect of finite driving rate on avalanche distributions*”, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*

#### **4. Провера оригиналности докторске дисертације**

Провером оригиналности докторске дисертације Драгутина Јовковића, спроведене 02.04.2021. године од стране Универзитетске библиотеке Светозар Марковић, Београд, на основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду ([http://valtez.rcub.bg.ac.rs/Files/Pravilnik\\_o\\_postupku\\_provere\\_originalnosti-dok\\_disert.pdf](http://valtez.rcub.bg.ac.rs/Files/Pravilnik_o_postupku_provere_originalnosti-dok_disert.pdf)) помоћу програма “iThenticate”, утврђено је да дисертација садржи 1% текста који се јавља у другим текстовима доступним библиотеци (базе свих часописа са SCI листе, базе докторских дисертација и мастер теза у свету и код нас). Поклапања су нађена са укљученим опцијама: “Quotes Excluded” (изоставља из провере цитирани текст) и “Bibliography Excluded” (изоставља из провере референце). Највећи део преклапања се односи на математичке формуле које се јављају у публикованим радовима докторанта, док је остатак грешка програма (нпр. појединачне речи или мале групе речи као што су “докторска дисертација”, “Београд, 2021”, “др”, “редовни професор”, “факултет” и слично).

Стога сматрамо да је утврђено да је докторска дисертација Драгутина Јовковића у потпуности оригинална, као и да су у потпуности испоштована академска правила цитирања и навођења, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

## ЗАКЉУЧАК

На основу изложеног, Комисија закључује да резултати кандидата Драгутина Јовковића, приказани у оквиру ове докторске дисертације представљају значајан и оригинални научни допринос у области статистичке физике. Из области дисертације кандидат има два рада објављена у врхунским међународним часописима. Сходно томе, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидата под насловом:

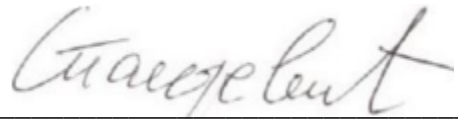
### **„Корелације у сигнаlima типа Баркхаузенoвoг шума“**

и предлаже Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да прихвати и одобри њену јавну одбрану.

У Београду 07.04.2021. године

др Ђорђе Спасојевић

Редовни професор, Физички факултет, Универзитет у Београду



---

др Сања Јанићевић

Асистент са докторатом, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу



---

др Милан Кнежевић

Редовни професор у пензији, Физички факултет, Универзитет у Београду



---