

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>		
1. Датум и орган који је именовано комисију: 14.9.2021., Наставно-научно веће Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. Павков-Хрвојевић Милица	Редовни професор	Теоријска физика кондензоване материје, 01.01.2013.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Нови Сад		Председник комисије
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Мали Петар	Доцент	Теоријска физика кондензоване материје, 07.03.2017.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Нови Сад		Ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Николић Божићар	Ванредни професор	Квантна и математичка физика, 24.06.2019.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Физички факултет, Београд		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Радошевић Слободан	Ванредни професор	Теоријска физика кондензоване материје, 01.12.2017.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Нови Сад		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>		
1. Име, име једног родитеља, презиме: Соња (Ласло) Гомбар		
2. Датум рођења, општина, држава: 12.03.1993, Зрењанин, Србија		
3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Природно-математички факултет, мастер студије, мастер физичар		
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2017, доктор физичких наука		
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>		
Дуални приступи у теоријској физици кондензованог стања		

#### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са знаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

Докторска дисертација написана је на српском језику, на 107 страна у А4 формату, и подељена је у три поглавља, након којих долази закључак. Дисертација садржи 265 референци, 3 табеле, 52 слике и 3 прилога.

У уводу је дат преглед основних тема докторске дисертације. Прво поглавље посвећено је проучавању екситонске дисперзије ароматичних угљоводоника. С обзиром на то да су екситони бозонске квазичестице, коришћене су технике развијене за магнетне диелектрике, у којима су бозонске квазичестице магнони. У другом поглављу коришћене су аналогије између система кубита (квантних битова) и спинских ланаца спина  $S=1/2$ . На крају, у трећем поглављу коришћене су аналогије између Френкел-Конторова модела под дејством спољашњих периодичних сила и система озрачених Цозефсонових спојева, таласа густине набоја и колоидних система. Заједнички именилац кроз целу дисертацију су дуални приступи у теоријској физици кондензоване материје, који су засновани на аналогијама које постоје између горе наведених физичких система. Поменуте аналогије коришћене су да би се извршила квалитативна и квантитативна теоријска анализа и поређење са резултатима експеримената у овим областима. У закључку су сумирани главни резултати рада и њихов значај за будући ток истраживања.

#### **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Наслов докторске дисертације је јасно формулисан и у складу је са темом и садржином истраживања спроведених током израде дисертације, о чему је више речено у самом уводу дисертације.

У првом поглављу испитивана је екситонска дисперзија четири ароматична угљоводоника: пицена, хризена, пентацена и тентрацена. Због великог броја аналитичких и нумеричких техника развијених за спинске Хамилтонијане, извршен је прелазак са Паулијевих на спинске операторе. Тако добијен спински Хамилтонијан је бозонизован и одређена је дисперзиона релација. У дисперзији се појавило више слободних параметара, који су одређени на основу експериментално доступних података за одговарајуће угљоводонике. Испитиван је утицај екситон-екситон интеракција на закон дисперзије применом ефективне теорије поља. Показано је да су Френкелови екситони доминантни у наведеним угљоводоникима.

У другом поглављу испитивана је квантна замршеност и кохерентност у моделима спинских ланаца. Испитиван је ХУ модел са различитим анизотропијама и Ђаловински-Морија интеракцијом. Рачунате су конкурентност и релативна ентропија кохерентности у функцији параметара модела. Уочено је обрнуто понашање споменутих величина, где минимума једне величине одговарају максимумима друге. У експериментима са системима кубита се дати параметри мењају, чиме се могу вршити предвиђања квантних корелација у системима кубита.

Треће поглавље приказује примену Френкел-Конторова модела на системе озрачених Цозефсонових спојева, таласа густине набоја и колоидне системе. Дат је опис Френкел-Конторова модела и одговарајућег основног стања, као и бројне генерализације, које се врше у циљу што реалнијег описа споменутих система. На пример, једначине кретања система честица у Френкел-Конторова моделу аналогне су једначинама за фазне разлике у системима озрачених Цозефсонових спојева. Међутим, како фазне разлике нису опсервабиле, употреба механичког модела система честица нам омогућава јасну визуализацију и боље разумевање физике система озрачених Цозефсонових спојева.

#### **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРској ДИСЕРТАЦИЈИ:**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад

објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

1. **S. Gombar**, P. Mali, M. Pantić, M. Pavkov-Hrvojević, S. Radošević, *Dynamics of Frenkel excitons in pentacene*, *Materials*, 11(11), 2219 (2018). **M22**
2. **S. Gombar.**, P. Mali, M. Pantić, M. Pavkov-Hrvojević, S. Radošević, *Correlation between Quantum Entanglement and Quantum Coherence in the Case of XY Spin Chains with the Dzyaloshinskii–Moriya Interaction*. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 131(2), 209-219 (2020). **M23**
3. M. Rutojnjski, P. Mali, S. Radošević, **S. Gombar**, M. Pantić, M. Pavkov-Hrvojević *Exciton dynamics in different aromatic hydrocarbon systems*, *Chinese Physics B*, 29(10), 107103 (2020). **M22**
4. **S. Gombar**, P. Mali, S. Radošević, J. Tekić, M. Pantić, M. Pavkov-Hrvojević, *Influence of anharmonic convex interparticle potential and Shapiro steps in the opposite direction of driving force*, *Physica Scripta*, 96(3), 035211 (2021). **M22**

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:**

У дисертацији је показано да на екситонску дисперзију у 4 различита угљоводоника, пентацен, тентрацен, пицен и хризен, доминантно утичу Френкелови екситони. Интегрални измене одређени у дисертацији нису јединствени и показано је да се може наћи скуп интеграла измене помоћу којих се теоријска екситонска дисперзија може фитовати на експерименталне податке на различитим температурама. Могу се наћи и бољи фитови у односу на оне приказане у дисертацији, али је показано да је већ са њима поклапање теоријске и експерименталне дисперзије довољно добро. Како су у рачунима у обзир узети само Френкелови екситони, на основу тога је показано да су они доминанти, односно да такозвани СТ (charge transfer) екситони имају занемарљив утицај.

Такође, рачунате су различите квантно-информатичке мере и примењиване на ХУ модел са Ђалошински-Морија интеракцијом. Примењено је обрнуто понашање конкурентности и релативне ентропије кохерентности у разматраним облицима модела. Дати закључци су примењиви у системима кубита. Резултати су отворили нове правце истраживања за моделе који нису егзактно решиви, где би се могло уочити шта је од приказаних резултата опште, а шта је специфичност коришћеног модела. Ово је важан аспект, јер дисертација отвара нова питања и омогућава кандидаткињи јасан пут за наставак истраживања.

Трећи део дисертације, везан за Френкел-Конторова модел под дејством спољашњих периодичних сила, показао је да графици зависности највећег Љапуновљевог експонента и критичне силе од примењене ас силе не показују увек рефлексију на целом опсегу примењене ас силе, као што је случај у стандардном Френкел-Конторова моделу. Генерализација међучестичних интеракција показала је да долазимо до занимљиве динамике система честица. Нигде није регистрован хаос јер је коришћен јако пригушен Френкел-Конторова модел са конвексним међучестичним интеракцијама, тако да нигде није прекршено Мидлтоново правило. Такође, детектовани су Шапирови степеници у оба смера кретања честица у случају генерализованог Френкел-Конторова модела са међучестичним потенцијалом облика полинома четвртог степена. Сви добијени резултати могу бити од користи за системе Џозефсонових спојева, таласа густине набоја и колоидне системе, због аналогног система једначина, али треба водити рачуна да су ови резултати релевантни само у случају великог пригушења, што се може постићи у експерименталној поставци. Наставак истраживања је опет потпуно јасан. Исти методи се могу примењивати и на слабо пригушен Френкел-Конторова модел и поредити са различитим експерименталним поставкама у споменутим реалним системима. Наведени резултати су посебно корисни за експерименталне поставке у којима су Џозефсонови спојеви повезани у виду прстена, где је стандардни Френкел-Конторова модел под дејством спољашњих периодичних сила у прошлости показао добро предвиђање резултата експеримената.

На крају, сама дисертација обилује применом различитих аналитичких и нумеричких метода које имају употребну вредност и у разматрању других теоријских система.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Докторска дисертација Дуални приступи у теоријској физици кондензованог стања, кандидаткиње Соње Гомбар, садржи све неопходне делове састава докторске дисертације у оквиру којих су представљени разлози и циљеви истраживања, спроведено је теоријско истраживање и вршена су поређења са експериментима. Кандидаткиња је показала завидан стил писања, успела је да хронолошки и прецизно изложи добијене резултате и да марљиво прочисти дисертацију од штампарских грешака.

Напомена:

Докторска дисертација је прошла проверу оригиналности применом софтвера за детекцију плагијаризма iThenticate, који је показао да „индекс сличности“ (енг. similarity index) износи 3%. Према упутству произвођача софтвера, све вредности испод 15% представљају оригиналан рад истраживања.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

**Докторска дисертација је урађена у складу са образложењем наведеним у пријави теме.**

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

**Докторска дисертација садржи све битне елементе научно-истраживачког рада.** Опширан списак референци садржи сву релевантну литературу, а сама дисертација је добро организована.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

У дисертацији је показано да су у случају различитих ароматичних угљоводоника Френкелови екситони они који имају доминантан утицај. Такође је применом ефективне теорије поља показано да се екситон-екситон интеракције у случају поменутих ароматичких угљоводоника могу занемарити на целом температурском опсегу. Сви резултати поређени су са постојећим експериментима. Показано је како се поједине квантно-информатичке величине односе у случају XY модела са Ђалошински-Морија интеракцијом и различитим облицима анизотропије. Осим тога, испитиван је генерализовани Френкел-Конторова модел под дејством спољашњих периодичних сила у јако пригушеном режиму уз употребе различитих међучестичних интеракција. Направљене су аналогије између разматраних теоријских модела и њима дуалних реалних система. Детекција Шапирових степеника у оба смера кретања честица и различитог понашања амплитудних зависности критичне силе, ширине степеника и Љапуновљевог експонента у случају Френкел-Конторова модела са међучестичном интеракцијом облика полинома четвртог степена могу имати значај за даља експериментална истраживања реалних система.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

**Комисија није утврдила формалне нити суштинске недостатке који би могли утицати на резултате истраживања и закључке рада.** Комисија оцењује да је докторска дисертација написана у складу са постављеним циљевима, да су одабране адекватне методе, да су резултати јасни и применљиви, а дискусија у складу са добијеним резултатима.

<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу наведеног, комисија предлаже:
да се извештај о оцени докторске дисертације <b>Дуални приступи у теоријској физици кондензованог стања</b> прихвати, а кандидаткињи <b>Соњи Гомбар</b> одобри одбрана.

Место и датум:  
Нови Сад,

1. Др Милица Павков-Хрвојевић,  
редовни професор,

\_\_\_\_\_, председник

2. Др Петар Мали, доцент,

\_\_\_\_\_, ментор

3. Др Божидар Николић, ванредни  
професор,

\_\_\_\_\_, члан

4. Др Слободан Радошевић, ванредни  
професор,

\_\_\_\_\_, члан

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.