

**НАЗИВ ФАКУЛТЕТА: ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ****ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ****-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена**

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију 13.07.2017. године, Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Новом Саду</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. др Драган Машуловић, редовни професор, Природно-математички факултет у Новом Саду, уже научна област дискретна математика, изабран у звање 2009. године, председник</li> <li>2. др Наташа Крејић, редовни професор, Природно-математички факултет у Новом Саду, уже научна област нумеричка математика, изабрана у звање 2004. године, члан</li> <li>3. др Миљко Сатарић, академик, редовни професор, Факултет техничких наука у Новом Саду, уже научна област биофизика, изабран у звање 1995. године, члан</li> <li>4. др Антун Балаж, научни саветник, Институт за физику у Београду, уже научна област физика кондензованог стања, изабран у звање 2015. године, ментор</li> <li>5. др Срђан Шкрбић, ванредни професор, Природно-математички факултет у Новом Саду, уже научна област информациони системи, изабран у звање 2014. године, ментор</li> </ol>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Владимир, Миленко, Лончар</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 28.10.1985. године, Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Природно-математички факултет, Дипломирани информатичар - мастер</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2011., Докторске академске студије – Информатика</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: ----</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: ----</p>
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
<p>Hybrid parallel algorithms for solving nonlinear Schrödinger equation (Хибридни паралелни алгоритми за решавање нелинеарне Шредингерове једначине)</p>

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

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација је написана на укупно 162 стране, на енглеском језику. Садржи 10 поглавља у следећем редоследу:

1. Introduction / Увод
2. Methods for solving nonlinear Schrödinger equation / Методи за решавање нелинеарне Шредингерове једначине
3. Algorithm for shared memory systems / Алгоритам за системе са дељеном меморијом
4. Solving NLSE using GPU accelerators / Решавање НЛШЈ коришћењем GPU акцелератора
5. Hybrid algorithm for heterogeneous computing systems / Хибридни алгоритам за хетерогене рачунарске системе
6. Distributed memory algorithm / Алгоритам за системе са дистрибуираном меморијом
7. Interacting with simulation / Интеракција са симулацијом
8. Performance evaluation and modeling / Евалуација перформанси и моделирање
9. Demonstration of usability of developed programs / Демонстрација употребљивости развијених програма
10. Conclusions and future work / Закључци и будући рад

Поред наведених поглавља, дисертација садржи апстракт на енглеском и српском језику, захвалницу, библиографију са 98 референци, проширени сажетак на српском језику на 14 страна, кратку биографију кандидата на енглеском и српском језику, као и кључну документацијску информацију, такође на енглеском и српском језику. Дисертација садржи укупно 16 табела, 43 слике и 41 листинг.

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

У првом поглављу је дат увод у тезу и објашњен значај проучавања алгоритама за решавање парцијалних диференцијалних једначина, а посебно нелинеарне Шредингерове једначине, као и кратак преглед области науке у којима се она примењује. Такође, побројани су главни научни доприноси тезе и описана је њена структура.

У другом поглављу је дат кратак преглед аналитичких и нумеричких метода за решавање нелинеарне Шредингерове једначине, односно Грос-Питаевски једначине са диполним чланом. Представљена је бездимензина форма ове једначине у три, две и једној просторној димензији, а након тога и семи-имплицитни Кренк-Николсон алгоритам подељеног корака, који представља основу за све друге алгоритме развијене у оквиру тезе.

Треће поглавље, које представља оригиналан научни допринос, даје опис паралелног нумеричког алгоритма за решавање диполне Грос-Питаевски једначине, као и имплементације овог алгоритма за системе са дељеном меморијом, уз коришћење OpenMP парадигме. У четвртном поглављу представљен је одговарајући паралелни алгоритам и његова имплементација за системе са хардверским (графичким) акцелераторима у CUDA окружењу, што такође представља оригиналан научни допринос. Пето поглавље комбинује претходна два алгоритма и описује нови, хибридни алгоритам за решавање нелинеарне Шредингерове једначине са диполним чланом. Хибридни алгоритам је намењен рачунарским системима са вишејезгарним централним процесорима и графичким картицама, и представља оригиналан научни допринос.

У шестом поглављу су описана проширења алгоритама из претходних поглавља која су намењена системима са дистрибуираном меморијом уз коришћење MPI парадигме. Ово укључује следеће алгоритме и њихове имплементације, што такође представља оригиналан научни допринос:

- имплементација која ради само на централним процесорима, заснована на алгоритму за дељену меморију, односно његовој OpenMP паралелизацији из трећег поглавља (OpenMP/MPI),

- имплементација која ради само на графичким процесорима, а заснована је на имплементацији из четвртог поглавља (CUDA/MPI),
- хибридна имплементација заснована на MPI проширењу алгоритма из петог поглавља (Hybrid/MPI).

Седмо поглавље се бави визуелизацијом велике количине података коју генеришу програми развијени у оквиру тезе и описује ефикасан приступ решавању овог проблема коришћењем VisIt софтверског окружења.

Осмо поглавље, које представља оригиналан научни допринос тезе, проучава перформансе и комплексност свих развијених алгоритама и њихових имплементација. У овом поглављу се теоријски моделира убрзање и ефикасност паралелних имплементација, а ови модели се верификују поређењем са детаљним резултатима мерења перформанси свих програма. Посебан допринос овог поглавља је примена генетског алгоритма на оптимизацију параметара хибридних алгоритама, што је неопходно за максимализацију њихових перформанси. Поред могућности да се на овај начин оцене потребни рачунарски ресурси за решавање одговарајућег проблема (нелинеарне Шредингерове једначине у потребној резолуцији), развијена методологија за тестирање и модели су од ширег значаја, јер се могу користити и на другим рачунарским архитектурама, као и за друге врсте хибридних алгоритама.

Девето поглавље демонстрира како се програми развијени у оквиру ове тезе могу користити у истраживању у физици кондензоване материје, односно у области ултрахладних атома, на примеру проучавања формирања квантних вортекса у Бозе-Ајнштајн кондензатима кроз које се креће препрека (ласерски сноп). У овом поглављу се прво верификују развијени програми на примеру за који постоје експериментални резултати, а након тога се испитује зависност критичне брзине препреке за појаву вортекса од јачине дипол-дипол интеракције. Ови резултати представљају зачетак научног доприноса тезе из области физике и на овој теми кандидат планира да ради у будућем периоду.

Десето поглавље сумира резултате остварене у докторској тези и даје преглед будућих правца истраживања.

## 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 часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

1. **V. Lončar**, A. Balaž, A. Bogojević, S. Škrbić, P. Muruganandam, S. K. Adhikari: "CUDA Programs for Solving the Time-dependent Dipolar Gross-Pitaevskii Equation in an Anisotropic Trap" *Computer Physics Communications* **200** (2016) 406-410  
DOI: 10.1016/j.cpc.2015.11.014 (**M21a**)
2. **V. Lončar**, L. E. Young-S., S. Škrbić, P. Muruganandam, S. K. Adhikari, and A. Balaž: "OpenMP, OpenMP/MPI, and CUDA/MPI C programs for solving the time-dependent dipolar Gross-Pitaevskii equation" *Computer Physics Communications* **209** (2016) 190-196  
DOI: 10.1016/j.cpc.2016.07.029 (**M21a**)

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

Основни резултати добијени у овој дисертацији су везани за развој и имплементацију паралелних алгоритама за решавање једне врсте парцијалних диференцијалних једначина, познате као нелинеарна Шредингерова једначина са интегралним конволуционим кернелом:

- представљени су нови паралелни алгоритми за широк спектар модерних рачунарских платформи, од система са дељеном меморијом и специјализованих хардверских акцелератора у облику графичких процесора, до хетерогених рачунарских кластера;
- за системе са дељеном меморијом, развијен је алгоритам и имплементација намењена вишејезгарним централним процесорима коришћењем OpenMP технологије;
- овај алгоритам је проширен тако да ради и у окружењу графичких процесора коришћењем CUDA алата, а такође је развијен и представљен хибридни, хетерогени алгоритам који комбинује OpenMP и CUDA приступе и који је у стању да искористи све расположиве ресурсе једног рачунара;
- развијен је и алгоритам за системе са дистрибуираном меморијом заснован на MPI технологији и претходним алгоритмима за системе са дељеном меморијом;
- максимализација перформанси развијених хибридних имплементација обезбеђена је кроз оптимизацију параметара који одређују расподелу података и рачунског оптерећења коришћењем генетског алгоритма;
- перформансе и комплексност развијених паралелних алгоритама и имплементација су моделиране и детаљно тестиране.

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

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

Кандидат је у целости обавио истраживања предвиђена планом датим у пријави теме докторске дисертације. Материјал приказан у тези је изложен на адекватан начин, веома јасно и разумљиво. Показано је одлично познавање шире области која се бави проблематиком, као и вештина развоја и програмирања комплексних паралелних нумеричких алгоритама за решавање једне значајне класе парцијалних диференцијалних једначина, са широком применом у неколико области науке, а посебно у физици. Показана је и способност моделирања комплексности нумеричких алгоритама, уз експерименталну верификацију модела. Добијени резултати су квалитетно упоређени са резултатима других аутора и изведени су одговарајући, непристрасни закључци.

Комисија констатује да је кандидат адекватно тумачио добијене резултате и да начин приказа резултата у потпуности одговара карактеру спроведеног истраживања.

## **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ 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 у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе:

Дисертација садржи све неопходне елементе. Дат је детаљан предлед релевантних резултата на које се дисертација ослања, а нови резултати су детаљно описани и образложени. Такође је дат списак релевантних референци, који сведоче да је кандидат одлично упознат са облашћу истраживања. Дисертација је прегледна и добро организована.

	<p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци:</p> <p>Дисертација даје оригиналан научни допринос развоју паралелних нумеричких алгоритама за решавање нелинеарне Шредингерове једначине, односно једне важне класе парцијалних диференцијалних једначина. Алгоритми развијени у оквиру тезе су и имплементирани, при чему ови програми омогућавају употребу практично свих модерних рачунарских платформи за нумеричке симулације којим се решавају ове једначине у три, две и једној просторној димензији. Ово укључује рачунарске системе са дељеном меморијом (OpenMP) и графичким акцелераторима (CUDA), системе са дистрибуираном меморијом (OpenMP/MPI, CUDA/MPI), као и хибридне системе, који комбинују све доступне ресурсе.</p> <p>Дисертација такође даје допринос моделирању перформанси и комплексности развијених алгоритама, као и методологији тестирања њихових перформанси.</p>
	<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања:</p> <p>Комисија није уочила никакве недостатке у дисертацији.</p>
X	<p><b>ПРЕДЛОГ:</b> На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:</p>
	<p><b>да се докторска дисертација под називом: Hybrid parallel algorithms for solving nonlinear Schrödinger equation (Хибридни паралелни алгоритми за решавање нелинеарне Шредингерове једначине) прихвати, а кандидату Владимиру Лончару одобри одбрана.</b></p>

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

\_\_\_\_\_ др Драган Машуловић, редовни професор

\_\_\_\_\_ др Наташа Крејић, редовни професор

\_\_\_\_\_ академик Миљко Сатарић, редовни професор

\_\_\_\_\_ др Антун Балаж, научни саветник

\_\_\_\_\_ др Срђан Шкрбић, ванредни професор