

РЕАЛИЗАЦИЈА ПРОЈЕКТА СУПЕРАСТ

АНЂЕЛКА КОВАЧЕВИЋ, ВЛАДИМИР ЗЕКОВИЋ,
ДРАГАНА ИЛИЋ, БОЈАН АРБУТИНА, БОЈАН НОВАКОВИЋ,
ДУШАН ОНИЋ, ДУШАН МАРЧЕТА и ВЛАДИМИР ЂОШОВИЋ

*Катедра за астрономију Математичког факултета Универзитета у
Београду, Студентски трг 16, 11000 Београд, Србија*

E-mail: andjelka@math.rs, vlada@math.rs, dilic@math.rs, arbo@math.rs,
bojan@math.rs, donic@math.rs, dmarceta@math.rs, vladimir_djosovic@math.rs

Резиме: Министарство просвете науке и технолошког развоја Републике Србије доделило је 2019. године Катедри за астрономију средства за реализацију пројекта “Суперрачунарска астрономија (СУПЕРАСТ) - Иновација и развој нових предмета суперрачунарске астрономије у циљу примене научних симулација и метода анализе великих податка у предузетништву”. Пројекат СУПЕРАСТ је први пројекат Катедре за астрономију који је усмерен ка глобалном развоју рачунарских ресурса Катедре и трајао је годину дана. Овде ћемо дати преглед његове реализације.

Кључне речи: рачунарски кластер високих перформанси, пројекти, историја астрономије

1. УВОД

Развој свемирске индустрије, технологије и великих података једна је од фундаменталних европских вредности. Она је уврштена у званичном документу Савета Европе о Заједничкој европској визији за Европу у свемиру који је потписан 2016. године. По њој, до 2030. године Европа би требало да искористи своја свемирска решења за спровођење и јачање европских вредности и безбедности, побољшање знања и подстицање просперитета грађанства. Надаље, *U.S. Department of Labor Bureau of Labor Statistics (BLS)* пројектовао је да ће потреба за оваковом врстом кадра имати раст од 14% до 2026. што је најбржи раст у односу на друга занимања.

Отварање Поглавља 9 у приступним преговорима Србије и ЕУ учврстило је Србију као озбиљног кандидата за улазак у ЕУ, што је од великог значаја како за грађане тако и за привреду. За приступ је неопходно показати да је Србија актер на светском нивоу који може допринети заједничкој Европској

визији о експлоатацији свемирских наука и технологија у друштву и економији.

Развијање образовног профила астроинформатичара и астрофизичара важни су кораци како у развоју ИТ тако и у развоју конкурентности Србије у укључењу Србије у ЕУ што је обухваћено акционим планом Владе.

Имајући у виду претходно, Катедра за астрономију је 2019. године учествовала на јавном конкурсима Министарства просвете науке и технолошког развоја (МПНТР) за пријаву и учешће у пројектима који се финансирају у оквиру програмске активности “Развој високог образовања”. Предмет овог јавног конкурса је финансирање од стране Министарства, пројеката за подршку високошколским установама у развоју нових и иновирању постојећих предмета у оквиру акредитованих студијских програма, који треба да допринесу остварењу програмских циљева Министарства. На овом конкурсима учествовало је 181 пројекат са свих Универзитета у Србији, а министарство је финансирало 44 пројекта. Пројекат Катедре за астрономију оцењен је са 91 поен (од могућих 100 поена) и рангиран као 15. на коначној листи финансираних пројеката. Катедри су додељена средства за реализацију пројекта “Суперрачунарска астрономија (СУПЕРАСТ) - Иновација и развој нових предмета суперрачунарске астрономије у циљу примене научних симулација и метода анализе великих података у предузетништву”.

СУПЕРАСТ је први пројекат Катедре за астрономију усмерен ка глобалном развоју рачунарских ресурса Катедре, а који је трајао годину дана. Циљ пројекта био је развој групе предмета на основним и мастер студијама из области великих података у свемирској технологији за припрему студента за каријере *high-tech* аналитичара великих података у свемирском и финансијском пословању, телекомуникацијама и сателитским праћењима, као и у државним телима која ће настати из интеграције Србије у ЕУ. Овде ћемо дати детаљан приказ његове техничке реализације.

2. ОПИС РЕАЛИЗОВАНИХ АКТИВНОСТИ

Сви чланови Пројекта СУПЕРАСТ активно су учествовали у његовој реализацији, а Комисија за реализацију пројекта радила је у следећем саставу: Анђелка Ковачевић је била руководилац пројекта одговорна за реализацију пројекта и припрему извештаја о пројекту и предавач, Драгана Илић је била координатор за међународну сарадњу и предавач, Бојан Арбутина је био координатор за финансије и предавач, Душан Онић је био аналитичар реализације иновираних и нових уведених предмета и предавач, Душан Марчета је био координатор за сарадњу са техничким факултетима (Машински факултет) и предавач. Посебну улогу имао је Владимир Зековић, извршни ИТ консултант, администратор опреме и предавач, који је осмислио конфигурацију рачунара, руководио преговорима са фирмом “Дијалог” за

набавку кластера, извршио инсталацију и тестирање кластера, као и његову даљу администрацију.



Слика 1: Инсталација кластера СУПЕРАСТ у Рачунарској лабораторији Математичког факултета.

2.1 Тендерске активности

Тендери за набавку суперрачунарске опреме за извођење унапређене наставе, изведени су у две етапе због ритма финансијских транши које су биле предвиђене Уговором. Прва етапа је реализована у децембру 2019. године, а друга етапа је због ритма уплате и COVID-19 пандемије извршена током јула 2020. године. Кластер засад чине 2 нода (Слика 1), дакле практично два сервера, при чему је конфигурација једног сервера дата на следећој листи:

- HPE ProLiant DL380 Gen10 2x Xeon 4210-S 64GB SFF
- 2x Intel Xeon 4210-S Ten-Core Processor 2.20GHz 10MB L-3 Cache Intel C621 Chipset
- 2 x HPE 32GB 2Rx4 PC4-2933Y-R Smart Kit Memory 2 x HPE 240GB SATA RI SFF SC DS SSD
- HPE Smart Array P408i-a SR Gen10/2GB Controller No Optical Drive Integrated video standard
- HPE 1Gb Ethernet 4-Port 331i Adapter

- HP 800W FS Plat Ht Plg Pwr Supply Kit
- HPE iLO with Intelligent Provisioning (standard) 2U form factor

Оба нода имају укупно 40 језгара (80 *hardware threads*), 128GB RAM и 2TB меморије на SSD дисковима. У плану је даља надградња нодова.

2.2 Активности Комисије за реализацију

Проф. др Драгана Илић као координатор за научну сарадњу Математичког факултета је на свечаности поводом Дана Математичког факултета одржаној 23.12.2020, укратко упознала све запослене и госте о почетку реализације СУПЕРАСТ (Слика 2). Међу гостима је био и проф. др Бојан Тубић представник МПНТР и проф. др Радивоје Митровић, декан Машинског факултета Универзитета у Београду.



Слика 2: Дан Математичког факултета (МАТФ) 23.12.2019, Драгана Илић, координатор за науку МАТФ представља СУПЕРАСТ.

Комисија за реализацију пројекта је организовала упознавање јавности са СУПЕРАСТ 18.02. 2020. у оквиру семинара Катедре за астрономију, уз велику помоћ координатора семинара проф. др Бојана Арбутине. Том

приликом је др Владимир Зековић за студенте и колеге одржао предавање *Примена HPC SUPERAST у астрономији*.

Комисија је активно пратила реализацију пројекта путем анонимних анкета студената које су спроведене у другом семестру јер је суперрачунар набављен на крају првог семестра због ритма уплате, а инсталиран до почетка другог семестра. Анкета студената који су били на тренингу на Опсерваторији Рожен спроведена је у фебруару, док анкете за коришћење СУПЕРАСТ су спроведене током семестра.

Резултати анкета су достављани Министарству током семестра. На овај начин Комисија је у потпуности ставила на увид надлежнима ток реализације Пројекта.

Због избијања пандемије, комисија је консултовала Министарство за преусмеравање средстава који су били намењени за студентске тренинге у Бугарској. Захваљујемо се Министарству на одобрењу реалкоације средстава у сврху набавке друге партиције рачунара, имајући у виду да су цене повећане од лета 2019. године када је Пројекат осмишљен. За потребе реалокације средстава, Комисија је направила предлог Анекса Уговора који је послат Министарству.

2.3 Припрема акредитационих докумената за иновирани предмете

Акредитација програма на основним, мастер и докторским академским студијама је предвиђена за реализацију током школске 2021/2022. Основана је Комисија за акредитацију у саставу Бојан Новаковић, Душан Онић и Душан Марчета, која је дала детаљно прегледала стање програма на сва три нивоа студија, упоредила их са тренутним стањем на универзитетима у Европи и дала упуте за реструктурирање сва три нивоа студија.

У оквиру СУПЕРАСТ пројекта тестирани су садржаји предмета предвиђених за иновацију и укључење у акредитацију. Нико од наставника није уочио проблеме у реализацији предвиђених тема. Тако да можемо закључити да теме које смо предвидели на почетку пројекта у оквиру предмета су потпуно релевантне и изводиве.

У оквиру пројекта иновирано је пет предмета на основним студијама и направљени су предлози за три нова предмета на мастер студијама. Комисија је припремила детаљну документацију за сваки предмет понаособ. Свих 8 предмета чине чврсту основу за науку великих података и њену примену, и организовани су према својим циљевима у 4 категорије:

-фундамент научног програмирања:

Основни софтверски алати у астрономији

-фундамент развоја инструмената за високу свемирску технологију:

Астрофизичка посматрања

-развој програмских кодова на суперрачунарима за симулације и обраду великих података:

Обрада астрономских посматрања

Динамика Сунчевог система

Динамика космичке плазме

-развој програмских кодова на суперрачунарима за добијање сложених информација из великих података :

Напредна астростатистика (увођење новог предмета на мастер академски студијама)

Машинско учење у астрономији (увођење новог предмета на мастер академским студијама)

Нумерички алгоритми за програмирање великих података (увођење новог предмета на мастер академским студијама)

2.4 Прављење листе компанија са којима није до сад успостављена сарадња

Проф. др Драгана Илић је учествовала на Конференцији *Future is now 2019*, која се одржала 06.12.2019. године. Тема конференције је корпоративна иновација и ИТ тенденције.

Као последица тог учешћа, направљен је иницијални контакт са приватном компанијом Смартбит из Београда крајем децембра 2019. године. Утврђене су начелне основе за тренинге студената са компанијом Смартбит. Ова активност је била део активности али се наставља и по завршетку пројекта.

2.5 Успостављање активне међународне сарадње

Сарадња и интеграција у оквиру едукације на регионалном и ширем нивоу је не само у склопу активности нашег пројекта већ и део много ширег тренда у европским интеграцијама. Ова активност није лимитирана само на извршење пројекта већ је у дугорочном плану Катедре за астрономију. Наш фокус у оквиру ове активности био је на успостављању едукационе сарадње у региону и то пре свега са Опсерваторијом Рожен са којом већ постоји дугогодишња научна сарадња у виду пројеката академија наука наше две земље и заједничких научних конференција. Надаље постоји дугогодишња едукациона сарадња са Опсерваторијом Ондрејов у Прагу Чешка која није могла бити реализована у оквиру СУПЕРАСТ због пандемије.

3. ОПИС ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА

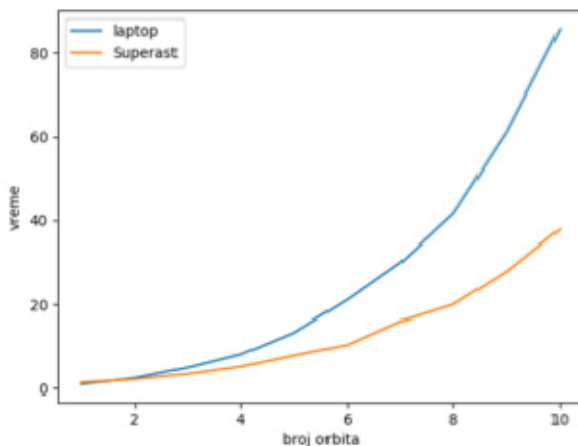
Реализација пројекта је текла упоредо у два правца: 1) обука студената за рад на кластеру и иновирање предмета кроз реализацију наставе на суперрачунару, где су предавачи имали прилике да тестирају концепцију иновираних предмета 2) обука студената на Националној опсерваторији Рожен, Бугарска, од 27. фебруара до 4. марта 2020.

3.1 Обука студената за рад на кластеру и иновирање предмета

У оквиру обуке на суперрачунару радило је 35 студената са свих нивоа студија. Коришћење суперрачунара је имало посебан значај у времену пандемије због могућности приступа и учења на даљину. Суперрачунар је коришћен на предметима са:

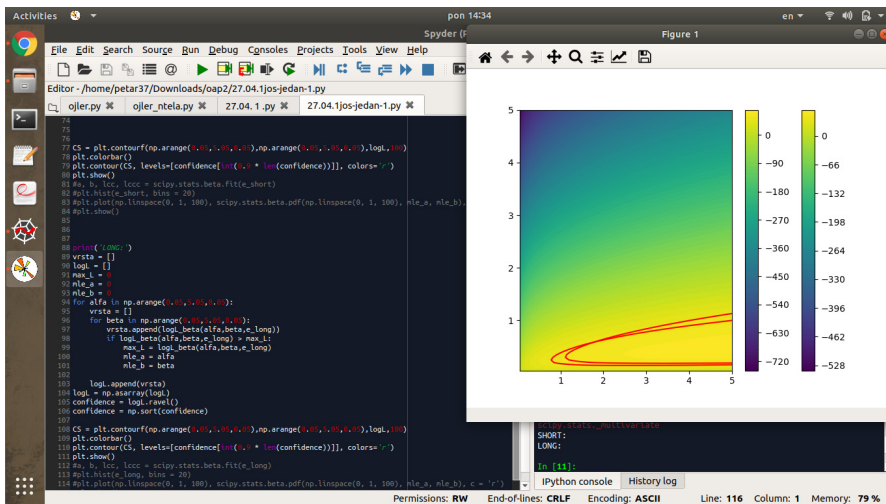
основних студија: Основи механике, Динамика Сунчевог система, Обрада астрономских посматрања 2, Основни софтверски алати у астрономији

докторских студија: Специјалне методе обраде астрономских посматрања, Теорија кретања земљиних вештачких сателита као и на изradi мастер и докторских радова.



Слика 3: Симулација студента Информатике Слободана Јенка кретање Земљиних вештачких сателита. Време извршења кода за различити број орбита на свом лаптопу је дато плавом кривом а на кластеру СУПЕРАСТ жутом кривом.

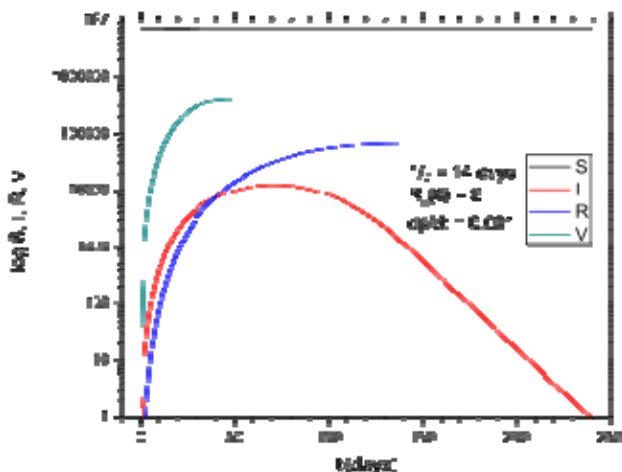
У оквиру предмета Основе механике студенти су радили семинарске радове из динамичке астрономије и како их анализирати помоћу суперрачунара. Сви студенти су, након програмирања алгоритама за решавање својих задатака, извршили паралелизацију ових алгоритама, након чега су упоредили перформансе паралелизованих алгоритама на кластеру СУПЕРАСТ, као и непаралелизованих алгоритама на својим локалним рачунарима. У свим случајевима се показало да паралелизација и употреба СУПЕРАСТ значајно увећавају брзину извршавања програмских кодова. Као пример помињемо рад студента Информатике Слободана Јенка (Слика 3) који је у оквиру Основа механике симулирао кретање Земљиних вештачких сателита и при томе упоредио време извршења кода за различити број орбита на свом лаптопу (плава крива) и на СУПЕРАСТ (жута крива). Види се значајно побољшање у времену извршења кода што је већи број орбита.



Слика 4: Снимак екрана лаптопа студента Петра Јовановића у раду на СУПЕРАСТ. График приказује процену густине статистичке расподеле ексцентрицитета путања егзопланета.

У оквиру предмета Обрада астрономских посматрања 2 све вежбе из астростатистике и писмени део испита су рађени на СУПЕРАСТ. Студенти су извели током семестра статистичке анализе великих података из светских база података за егзопланете, астероиде као и спектре квазара. Чак и они студенти који нису имали већи број програмерских предмета пре почетка курса обучили су се за рад на СУПЕРАСТ и успешно су завршили предвиђене задатке и извештаје. Студенти су решавали проблеме у Python програмском језику са обавезом да направе јupyter notebooks који се могу поставити на веб и у html формату. Такође студенти су радили и статистичке

анализе астрономских података који су дати у формату FITS (Flexible Image Transport System) који садржи мултидимензионе низове (тензоре) података. Конкретни проблеми које су студенти решавали су се односили на протопланетарне дискове који су посматрани око других звезда у нашој Галаксији. Као пример на Слици 4 видимо снимак екрана лаптопа студента Петра Јовановића док је конектован на СУПЕРАСТ са кодом који је извршен на СУПЕРАСТ и са графиком израчунавања процене густине статистичке расподеле ексцентрицитета путања егзопланета.

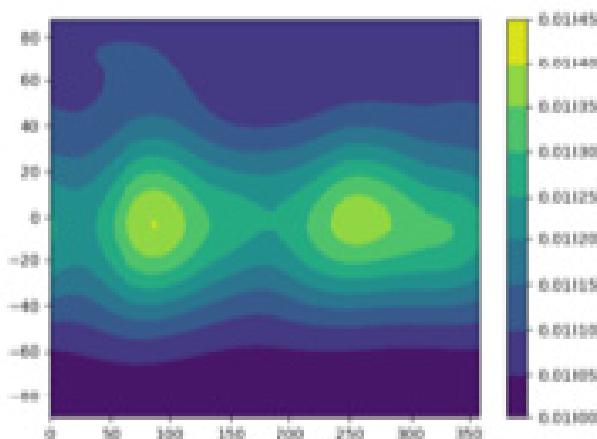


Слика 5: Симулација на СУПЕРАСТ замишљене пандемије на Марсу током 14 дана. Слика је из скрипте проф. др Бојана Арбутине.

У оквиру предмета Основни софтверски алати у астрономију, који слушају студенти прве године студијског програма Астрономија и астрофизика, модул Астрофизика, од програмских језика уче се превасходно *IDL* и *Python*. Ове године, на крају летњег семестра, у оквиру пројекта Супераст, студентима је дат увод у паралелно програмирање и коришћење суперрачунара, односно кластера. У реализацији активности коришћен је програмски језик *Python*. Студентима су представљени модули *MPI* (Message Passing Interface) и *multiprocessing* који се користе за паралелизацију кода. Као самосталну вежбу студенти су урадили симулацију замишљене пандемије на Марсу и анализирали њен ток за различите параметре, коришћењем модификованог *SIR*-модела (Слика 5).

Свим студентима који су похађали курс отворени су налози на кластеру Супераст и добили су прилику да своје кодове извршавају на њему. У случају поменуте самосталне вежбе, постигнуто је да се код, који се на личном рачунару извршава у просеку око један минут, паралелизацијом убрза тако да

је време извршавања на СУПЕРАСТ-у било око 2-3 секунде (у најбољем случају, а у зависности од заузетости процесора). Иако се ради о примеру који је извршив и на личном рачунару у релативно кратком времену, студенти су добили увид у могућности паралелног програмирања и стекли искуство које ће у будућности потенцијално моћи да искористе у професионалном бављењу астрофизиком, која све више иде у правцу коришћења сложених компјутерских симулација, које је без употребе суперрачунара практично немогуће реализовати.



Слика 6: Мапа неправилног потенцијала гравитационог поља рачуната полиедарским моделом за астероид Бену на СУПЕРАСТ.

У оквиру предмета Динамика Сунчевог система унапређење извођења наставе имало је пре свега за циљ повећање обима доступне литературе, као и припрему савремено организованих практичних вежби, предвиђених за реализацију на рачунару. У том циљ припрема новог савременог уџбеника је у завршној фази и исти ће бити на располагању студентима већ током наредне школске године. У завршној фази је и припрема збирке практичних задатака предвиђених за израду на рачунарима, а на тему малих тела Сунчевог система. Тренутно је завршено осам од предвиђених десет задатака. Практични задаци омогућиће студентима да се са проблемима динамике астероида упознају кроз практичне примере. У ту сврху у задацима се пре свега користи програмски језик *Python*, а примери задатака на којима ће студенти радити имају нпр. за циљ идентификацију сударних фамилија астероида употребом *hdbscan* библиотеке, или класификацију резонантног типа кретања коришћењем *Python* библиотеке *fastai2*. Осим тога, припремљен је и један број електронских лекција, посебно погодних за

наставу на даљину. Осим наведених активности везаних за курс Динамике Сунчевог система, један део изведен је и у оквиру курса Планетарне астрономије, који је блиско повезан са курсом ДСС-а, тј. представља његов природни наставак. Како се курс Планетарне астрономије држи у току летњег семестра, када је на располагању студентима био и СУПЕРАСТ рачунар, студенти су упознати са начином коришћења овог рачунара и на њему су извршили симулације за вежбу под насловом 'Модел настанка планетезимала'. У вежби су учествовала три студента пријављена на курс Планетарне астрономије и сви су успешно одрадили задатак.

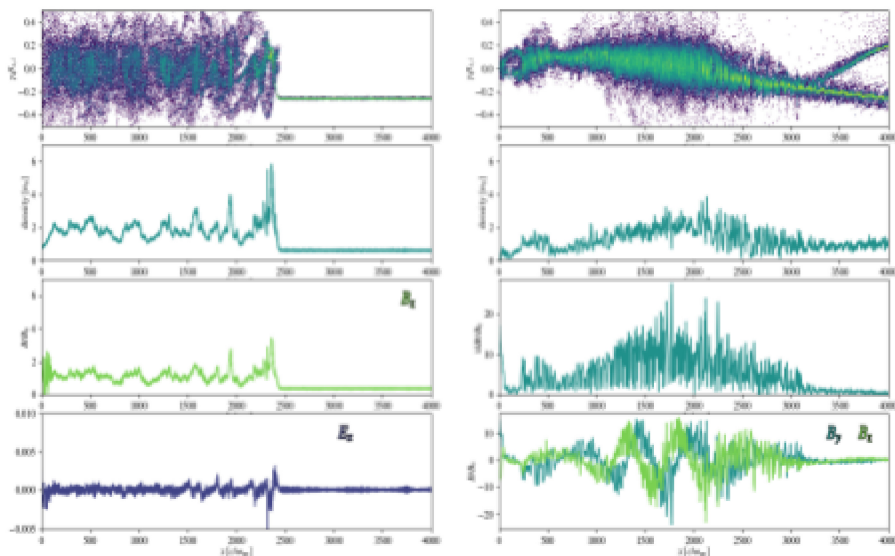
Поред студената основних студија, на темама везаним за динамику планетарних система, радили су и студенти докторских студија.

У оквиру предмета Теорија кретања Земљиних вештачких сателита са докторских студија, докторант и асистент на Катедри Владимир Ђошовић је испитивао на СУПЕРАСТ рачунару различите моделе који описују кретање вештачког сателита око малог тела врло неправилног облика (астероида, Слика 6). Ова тема је у јеку свемирских мисија због многих које су у току или врло скоро спремне за лансирање ка појасу малих тела у Сунчевом систему. Користећи два модела - полиедарски и модел сферних хармоника, анализирао је орбиталну динамику свемирског брода оваквих тела потребно извести веома опсежне прорачуне, паралелизација овог процеса је од суштинског значаја за проучавање динамичког окружења небеских тела као што су астероиди и комете. Владимир Ђошовић тестирао је оба модела гравитационог поља на свом локалном рачунару, као и на рачунару СУПЕРСТ, и упоређујући њихове перформансе, закључио је да употреба рачунара СУПЕРАСТ значајно проширује могућности за анализу веома сложених гравитационих поља (видети Табелу 1).

Табела 1. Упоређење времена извршења симулације за два различита модела гравитационг поља на РС и на СУПЕРАСТ. Табела је преузета из рада Владимира Ђошовића.

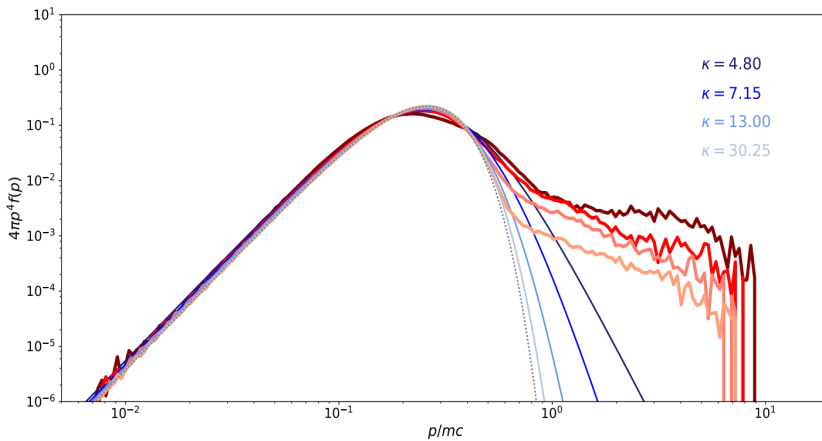
	ПЦ	СУПЕРАСТ	
Полиедарски модел	модел сферних хармоника	полиедарски модел	модел сферних хармоника
257.4 секунде	17.7 секунди	182.0 секунде	10.6 секунди

У оквиру предмета Специјалне методе обраде астрономских података на докторским студијама, докторанткиња Марина Павловић бавила се класификацијом галаксија на основу података из неколико каталога. Пошто се класификација галаксија врши на основу многих параметара и са много пролаза кроз врло опсежне каталоге, употреба рачунара СУПЕРАСТ омогућила је да се тај процес више пута убрза паралелизацијом, као и коришћењем његове велике меморије.

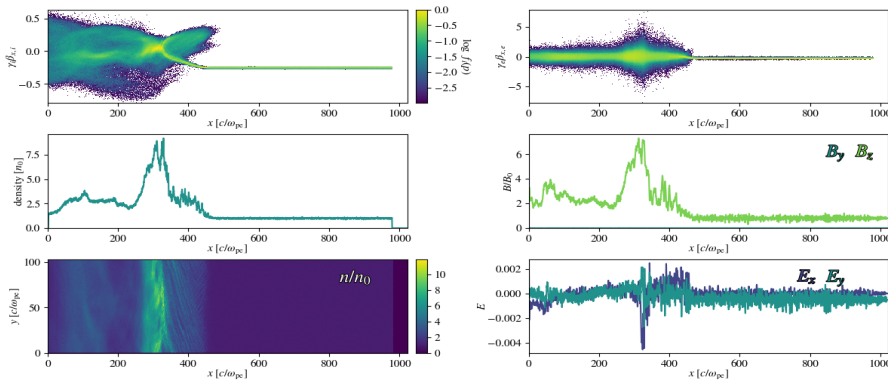


Слика 7: 1D симулација настанка квазинормалног (лева колона) и квазипаралелног (десна колона) ударног таласа у космичкој плазми (са излагања др Владимира Зековића на конференцији).

У време реализације СУПЕРАСТ др Владимир Зековић је завршавао своју докторску дисертацију управо на СУПЕРАСТу. Његов конкретан рад састојао се у реализацији кинетичких *particle-in-cell* (PIC) симулација квазинормалних и квазипаралелних ударних таласа у космичкој плазми, које су неопходне ради разумевања микрофизике (ре)формирања удара и убрзавања честица до ултра-релативистичких енергија космичког зрачења. Истовремено је паралелизован ауторски код писан у *Python* програмском језику, који симулира кретање пробних наелектрисаних честица плазме у аналитичком електромагнетном пољу нестабилности које настају при судару две плазме и доводе до стварања ударног таласа. На Сликама 7-9 у наставку дајемо примере неких од остварених резултата који су изложени на конференцијама (Zeković and Arbutina 2020, Arbutina and Zeković 2020) и публиковани у радовима (Arbutina and Zeković 2021).



Слика 8: Еволуција спектра честица на ударном таласу, од саме ударне површи до области даље иза удара (са постера др Владимира Зековића приказаног на конференцији).



Слика 9: 2D симулација настанка квазинормалног ударног таласа у космичкој плазми (из докторске дисертације Владимира Зековића). Рачунарски капацитет СУПЕРАСТА који садржи 40 језгара и 128GB RAM меморије, омогућио је 2D симулације ударних таласа са великим ширинама симулационог домена (~ 1024 ћелије) и иницијализовање сваке ћелије са већим бројем честица (~ 100) што на крају резултује симулацијом која решава сложену интеракцију укупно и до 109 честица.

3.2 Обука студената на Националној опсерваторији Рожен, Бугарска

Успостављање сарадње са Рожен опсерваторијом у области едукације, а не само науке, важно је из два разлога: Рожен опсерваторија је највећа опсерваторија у југоисточној Европи којом руководи Института за астрономију Бугарске академије наука као и чињенице да Бугарска је активно укључена у свемирске програме Европске свемирске агенције. Свемирски програми захтевају много виши ниво технологије него за потребе војних и медицинских сврха, а Бугарска академије наука је учествовала у развоју око 20 инструмената роботизованих и људских мисија и имала је два астронаута. Обука студента на опсерваторији Рожен је у смеру развоја сарадње пре свега свемирских наука као експлоатације података, техника и запажања, и изведена је у периоду од 27. фебруара до 4. марта 2020 (Слике 10 и 11).



Слика 10: Студенти и учесници пројекта СУПЕРАСТ на извршењу пројектног задатка обуке на највећој опсерваторији у југоисточној Европи, Рожен, Бугарска. С лева на десно су Сара Савић, Николина Милановић, Исидора Јанков, Станислав Милошевић, Теодора Жижак, Јана Марковић и проф. др Драгана Илић са сином Огњеном.

Посматрања су реализована на инструментима који издвајају Опсерваторију Рожен као највећу на Југоистоку Европе, уз менторство 2 учесника овог пројекта и истраживача из Бугарске. У обуци је учествовало 6 студената, свих нивоа студија који су већ похађали курс *Основе астрофизичких техника и посматрања*. Циљ обуке је била потрага за остацима супернових у блиским галаксијама уз помоћ фотометријских посматрања у јако уским филтерима, што је наставак рада Вучетић и др. 2019. Током четири дана обуке извршени су следећи задаци:

1. Обука на главном оптичком телескопу NAO Рожен -RCC пречника огледала од 2м, као и инструментима за фотометријска и спектроскопска запажања.

2. Припрема и извршење астрономских посматрања на 2м RCC телескоп, за галаксије NGC5585 и NGC1569, коришћењем три уска филтера: IF642, H α IF656, SII IF672.

3. Специјализована обрада посматрања података у Python програмском језику.

4. Радионица о коришћењу виртуелних алата за посматрање (VOTable, Vizier, SIMBAD), на примеру јата звезда M34.

Остварена је још једна активност међународне сарадње у оквиру курса Астрофизичка посматрања где се обрађују теме везане за виртуелне опсерваторије и алате. У оквиру пројекта, урађена је први пут радионица на даљину (користећи Webex платформу), која је могла да окупи велики број студената и да обезбеди гостујуће предаваче са професионалних опсерваторија из других земаља.

За потребе наставе одржана је радионица на којој су презентовани алати и туторијали у оквиру портала Astro DataLab, који развија NSF's National Optical Infrared Astronomy Research Laboratory (<https://datalab.noao.edu>).

Радионица је одржана 10 јуна 2020 и на њој је учествовало 20 студената. Предавачи на радионици су били др Драгана Илић, учесник на пројекту СУПЕРАСТ, као и један од администратора и девелопера Astro DataLab портала, Dr Robert Nikutta.

Теме које су обрађене су

1. Виртуелне опсерваторије и велики прегледи неба
2. Презентација АстроЛаб портала
3. Туторијал за селекцију галаксија и звезда из велике количине посматрања
4. Туторијал о детекцији патуљастих галаксија



Слика 11: Студенти током обуке на Рожен опсерваторији у оквиру пројекта СУПЕРАСТ.

4. ЗАКЉУЧЦИ

Имајући у виду претходно речено, може се рећи да је квалитет наставе подигнут не само на Математичком факултету, већ и на Универзитету у Београду у целини. Наиме Универзитет у Београду не поседује значајне рачунарске ресурсе и најјачи ресурс представља *HPC* кластер *PARADOX* при Институту за физику, који се користи искључиво у научне сврхе. Развој савремених научних токова изискује све већу потребу за коришћењем рачунарских симулација и обрадом великих података. Како би студенти могли што раније да се укључе у научни рад, а истовремено унапреде ниво свог образовања, сматрамо да је неопходно обезбедити сличне рачунарске ресурсе на Универзитету у Београду. Осим тога, истичемо да преко 60% студената није имало додир са оваквом технологијом раније, као и то да су сви студенти у анонимној анкети препоручили рад на СУПЕРАСТу, сматрајући да треба наставити даље у том смеру.

Неки од доктораната на Катедри изводе прорачуне на СУПЕРАСТу за своје докторске радове, и том приликом истичемо рад Владимира Зековића на симулацијама ударних таласа у космичкој плазми, рад Станислава Милошевића на симулацијама судара галаксија, као и рад Владимира Ђошовића на изучавању сударних процеса и еволуције фамилије астероида.

Ови резултати ће бити публиковани у водећим светским часописима и приказани на водећим светским конференцијама, док ће поједини резултати

ући и у склоп резултата великог европског пројекта *STARDUST* (попут рада Владимира Ђошовића). Поред тога, докторанти и истраживачи са Астрономске опсерваторије, такође имају приступ овом ресурсу. Публиковање резултата добијених коришћењем ресурса који су обезбеђени кроз овај пројекат, допринеће позицији Универзитета у Београду на Шангајској листи, као и нивоу обуке из обраде великих података. Уместо општег закључка, погледаћемо у блиску будућност где нас ускоро очекује почетак рада *Vera C. Rubin Observatory Legacy Survey of Space and Time* (<https://www.lsst.org/about>) великог синоптичког прегледа јужног неба, који ће 24 часа, седам дана у недељи током десет година вршити посматрања. Чланови Катедре су укључени у рад овог великог светског конзорцијума, тако да очекујемо да СУПЕРАСТ буде употребљен и за мастер и докторске тезе везане за овај пројекат као и за научне радове.

Захвалница

Аутори се захваљују на финансирању овог рада кроз уговор 451-03-9/2021-14/200104 Математичког факултета Универзитета у Београду са Министарством просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Литература

- Arbutina, B., Zeković, V.: 2020, *On the Distribution Function of Particles at Quasi-Parallel Collisionless Shocks*, Book of Abstracts - XII Serbian-Bulgarian Astronomical Conference (XII SBAC) September 25-29, 2020, Sokobanja, Serbia, edited by L. Č. Popović, V. A. Srećković, M. S. Dimitrijević and A. Kovačević
- Zeković V., Arbutina B.: 2020, *Quasi-parallel collisionless shocks: revealing the nature of cosmic particle accelerators*, Book of Abstracts XIX Serbian Astronomical Conference, October 13-17, 2020, Belgrade (virtual), edited by A. Kovačević, J. Kovačević Dojčinović, Dušan Marčeta, Dušan Onić
- Arbutina, B., Zeković, V.: 2021 Non-linear diffusive shock acceleration: A recipe for injection of electrons, *Astroparticle Physics*, **127**, 102546.

REALIZATION OF THE SUPERAST PROJECT

In 2019, the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia awarded the Department of Astronomy funds for the implementation of the project "Supercomputer Astronomy (SUPERAST) - Innovation and development of new curricula of supercomputing astronomy in order to apply scientific simulations and methods of big data analysis in entrepreneurship." The SUPERAST project is the first of its kind at the Department of Astronomy that is aimed at the global development of computing resources of the Department and lasted for a year. Here we will give an overview of its realization.

Key words: high performance computing cluster, projects, history of astronomy