

სსიპ საქართველოს ევგენი ხარაძის ეროვნული ასტროფიზიკური ობსერვატორია

სამეცნიერო-კვლევითი პროგრამა

2024-2028 წწ



2023 წ.

სარჩევი

შესავალი	3
I. ცვალეზადი ვარსკვლავებისა და სხვა ტრანზიტების კვლევა	6
II. გალაქტიკათა აქტიურ გულების კვლევა მაღალ ენერგიებზე	15
III. GW-ების ოპტიკური შესატყვისების ძიება GRANDMA კოლაბორაციის ფარგლებში	29
IV. შერჩეული აქტიური გალაქტიკების შესწავლა მონიტორინგის მეშვეობით	35
V. ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი გალაქტიკების ფიზიკური მახასიათებლების შესწავლა	40
VI. სტრუქტურის ზრდის შესწავლა გალაქტიკების სამწერტილოვანი ფუნქციით	47
VII. სხვადასხვა სპექტრული ჯგუფების ვარსკვლავებში პერიოდული პროცესების და ტრანზიტული მოვლენების ძიება და შესწავლა ფოტომეტრიული და სპექტროსკოპიული მეთოდებით	53
VIII. დედამიწასთან მოახლოებადი საშიში ასტეროიდების შესწავლა აბასთუმნის ობსერვატორიაში	63
IX. მზის ატმოსფერო/წიაღის მაგნიტოსეიმოლოგია და კოსმოსური ამინდი	70
X. მზის და კოსმოსური ამინდის პროცესების მოდელირება და დაკვირვებები	82
XI. ქრომოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესწავლა	90
XII. პულსარებში და სხვა კომპაქტურ ობიექტებში მიმდინარე მაგნიტო-ცენტრიდანული ეფექტებით გამოწვეული მაგნიტოსფერული გაცხელება და წყვილების წარმოქმნა.	97
XIII. არასტანდარტული კოსმოლოგიური მოდელების ტესტირება გრავიტაციული ტალღების, პირველადი მაგნიტური ველების, ფარული ენერგიისა და ნეიტრინოების ფიზიკის შესწავლით	103
XIV. ტურბულენტობისა და კოჰერენტული სტრუქტურების/ნაკადების ფორმირება ასტროფიზიკურ ბრტყელ და დისკურ წანაცვლებით დინებებში	109
XV. ასტროფიზიკურ ბრტყელ და დისკურ წანაცვლებით დინებების დინამიკა - არაიდეალური მაგნეტოჰიდროდინამიკური ეფექტები	117
XVI. პროგრამის ბიუჯეტი	126

შესავალი

სსიპ საქართველოს ევგენი ხარაძის ეროვნული ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში (აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია) მიმდინარეობს მეცნიერული კვლევები ასტრონომიის, ასტროფიზიკის, კოსმოლოგიის, ატმოსფეროს ფიზიკისა და მომიჯნავე დარგებში. 1932 წელს დაარსებული აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია საქართველოში ერთ-ერთი უძველესი სამეცნიერო დაწესებულებაა, ფართო მიმართულების კვლევების მდიდარი ტრადიციითა და მრავალი აღმოჩენით.

2019 წლის ნოემბერში მთავრობის #451 დადგენილებით, ობსერვატორიამ აღიდგინა დამოუკიდებლობა და დაფუძნდა როგორც საჯარო სამართლის იურიდიული პირი (სსიპ), დაიწყო და მიმდინარეობს რეორგანიზაციის პროცესი რომლის ფარგლებშიც:

- ✓ შეიქმნა (აღდგენილ იქნა) ობსერვატორიის სამეცნიერო საბჭო;
- ✓ შეიქმნა სამეცნიერო განყოფილებები და დეპარტამენტები;
- ✓ სამეცნიერო პერსონალი შერჩევა მოხდა ღია კონკურსის წესით (ჩატარდა 2 კონკურსი - 2020 და 2022 წლებში);
- ✓ თბილისში გაიხსნა და შესაბამისად აღიჭურვა ობსერვატორიის ქალაქის ოფისი;
- ✓ რეაბილიტაცია ჩაუტარდა ობსერვატორიის რამდენიმე შენობას;
- ✓ მთა ყანობილზე აღდგენილია ობსერვატორიის ბიბლიოთეკა;
- ✓ მოეწყო ობსერვატორიის ე.წ. მინის ბიბლიოთეკის საცავი, შექმნილია სპეციალური სკანერები არსებული დაკვირვებითი მასალის გაციფროვნებისთვის;
- ✓ დასრულების ფაზაშია ობსერვატორიის (მთა ყანობილზე) ე.წ. „ციფრული მუზეუმის“ პროექტი, რომელსაც ახორციელებს იტალიური კომპანია ITT, მუნიციპალური განვითარების ფონდის მხარდაჭერით. პროექტის მომზადებაში აქტიურად არიან ჩართულნი ობსერვატორიის თანამშრომლები.
- ✓ მსოფლიო ბანკის, მუნიციპალური განვითარების ფონდის, მეცნიერებისა და განათლების სამინისტროს ძალისხმევით შექმნილ იქნა ახალი, თანამედროვე, ავსტრიული წარმოების 1.5 მეტრიანი ტელესკოპი და იტალიაში დამზადებული გუმბათი, რომელთა ინსტალაცია და ტესტირება განხორციელდება 2024 წლის ბოლომდე.
- ✓ ობსერვატორიამ აღიდგინა საერთაშორისო ასტრონომიული კავშირის (IAU) წევრის სტატუსი (2022 წ.)
- ✓ 2023 წელს საქართველო/ობსერვატორია გახდა ავტორიტეტული სამეცნიერო გამოცემის Astronomy and Astrophysics-ს სპონსორი ქვეყანა, დამკვირვებლის სტატუსით, რაც ქართველ მეცნიერებს შესაძლებლობას აძლევს გამოაქვეყნონ სტატიები ამ ჟურნალში, თანხის გადახდის გარეშე.
- ✓ ყოველწლიურად გამოიცემა ასტრონომიული კალენდარი

დღევანდელი მდგომარეობით, ობსერვატორიის სტრუქტურა შედგება

სამი სამეცნიერო განყოფილების:

- ✓ გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების განყოფილება;
- ✓ მზისა და მზის სისტემის განყოფილება;
- ✓ თეორიული ასტროფიზიკისა და კოსმოლოგიის განყოფილება.

და ოთხი დეპარტამენტისგან:

- ✓ ადმინისტრაციული დეპარტამენტი;
- ✓ სამეურნეო და ინფრასტრუქტურული უზრუნველყოფის დეპარტამენტი;
- ✓ სამეცნიერო ინფრასტრუქტურის ტექნიკური უზრუნველყოფის და განვითარების დეპარტამენტი;
- ✓ მეცნიერების პოპულარიზაციის დეპარტამენტი;

ობსერვატორიაში ტრადიციულად მნიშვნელოვან მიმართულებას წარმოადგენს საგანმანათლებლო საქმიანობა და მეცნიერების პოპულარიზაცია. 2020 წლის შემდეგ ობსერვატორიამ გააფორმა თანამშრომლობის მემორანდუმები ქვეყნის 6 უნივერსიტეტთან და აბასთუმნის საშუალო სკოლასთან. ობსერვატორიის მონაწილეობით სამცხე-ჯავახეთის უნივერსიტეტში ამოქმედდა ქართულ-ინგლისური სადოქტორო პროგრამა. ობსერვატორიის კვლევით საქმიანობაში აქტიურად მონაწილეობენ დოქტორანტები და მაგისტრანტები. ობსერვატორიის თანამშრომლები ჩართულნი არიან ივ.ჯავახიშვილის სახელობის, ილიას, სამცხე-ჯავახეთის სახელმწიფო უნივერსიტეტების სასწავლო პროცესში.

მეცნიერების პოპულარიზაციის დეპარტამენტის თანამშრომლების მიერ მომზადდა ასტრონომია-ასტროფიზიკის სასწავლო პროგრამები სკოლის მოსწავლეებისთვის და პრაქტიკული კურსი სტუდენტებისთვის. ობსერვატორიის თბილისის ოფისში რეგულარულად (კვირაში ერთხელ) ტარდება სამეცნიერო-პოპულარული გაკვეთილები მოსწავლეებისათვის. გაუმჯობესდა საექსკურსიო ინფრასტრუქტურა, მთა ყანობილზე მთელი წლის განმავლობაში ტარდება ექსკურსიები. ობსერვატორიის თანამშრომლები ატარებენ საჯარო ლექციებს სკოლებსა და სხვა დაწესებულებებში მთელი საქართველოს მასშტაბით.

მიმდინარე წელს ობსერვატორიაში სრულდება 5 წლიანი სამეცნიერო-კვლევითი პროგრამა (2019-2023 წწ), რომელშიც მონაწილეობს სამეცნიერო პერსონალის ორმოცამდე თანამშრომელი და დამხმარე სამეცნიერო-ტექნიკური პერსონალი. პროექტის ფარგლებში (2023 წლის 3 კვარტლის მდგომარეობით):

- ✓ 2019 – 2023 წლებში ობსერვატორიის თანამშრომლების მიერ გამოქვეყნდა 258 სამეცნიერო სტატია რომლებიც ციტირებული იყო 1896-ჯერ (თვითციტირების გარეშე) და შესაბამისი H-index = 25 (ასტრონომიული მონაცემთა სისტემის Astrophysics Data System (ADS)-ის მიხედვით);
- ✓ დაფინანსდა 29, როგორც შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის, ასევე უცხოური საგრანტო პროექტი;
- ✓ დაცული იქნა 12 სადოქტორო დისერტაცია

- ✓ ობსერვატორიის თანამშრომლებმა მონაწილეობა მიიღეს (მათ შორის ონლაინ რეჟიმში) 60 საერთაშორისო კონფერენციასა და ვორკშოპში.
- ✓ ობსერვატორია მონაწილეობს რამდენიმე საერთაშორისო პროექტსა და კოლაბორაციაში (GRANDMA, ISON, GAIA, SCOSTEP (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics), WEBT, და სხვ.)

წარმოდგენილი ახალი 5 წლიანი სამეცნიერო-კვლევითი პროგრამა (2024-2028) წარმოადგენს ობსერვატორიის 2019-2023 წლების პროგრამის ბუნებრივ გაგრძელებას, შედგება 15 ქვეპროგრამისაგან. პროგრამის მიზანია საქართველოში ასტრონომიული კვლევებისა და საერთაშორისო თანამშრომლობის შემდგომი განვითარება და გაფართოება.

პროგრამას განახორციელებს ობსერვატორიის საშტატო განრიგით განსაზღვრული სამეცნიერო პერსონალი (38 თანამშრომელი) და დამხმარე პერსონალი (მათ შორის 10 ახალგაზრდა მკვლევარი - დოქტორანტები და მაგისტრები). პროგრამის განხორციელებაში ასევე ჩართულნი იქნებიან უცხოელი მაღალი კვალიფიკაციის მეცნიერები.

კვლევების მიმართულებებია: ვარსკვლავთ და გარეგანაქტიკური ასტრონომია, მზის ფიზიკა, მზე-დედამიწის კავშირები, დედამიწის ატმოსფეროს ფიზიკა, დედამიწასთან მოახლოებადი ასტეროიდები, თეორიული ასტროფიზიკა, კოსმოლოგია. სამუშაოები წარმოებს დაკვირვებითი, ექსპერიმენტული და თეორიული მეთოდების გამოყენებით, კვლევებისთვის გამოყენებული იქნება ობსერვატორიაში არსებული ტელესკოპები და ხელსაწყოები, ასევე თანამგზავრული და მიწისზედა დაკვირვებების მონაცემთა ბაზები.

პროგრამის ფარგლებში გათვალისწინებულია არსებული ინსტრუმენტების გაუმჯობესება და ახალი ტექნიკის შექმნა.

ობსერვატორიის სრულყოფილი ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია ტელესკოპებისა და ინსტრუმენტების, ასევე მთა ყანობილზე განთავსებული ობსერვატორიის ინფრასტრუქტურის გამართული მუშაობა, რაც საჭიროებს შესაბამის დაფინანსებას.

გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების განყოფილება

I. ცვალებადი ვარსკვლავები და მათი აღსასრული ფეთქებადი ტრანზიენტების სახით
(ხელმძღვანელი ნ. ყოჩიაშვილი)

1.1. კვლევის მიმართულება: დამზერითი და თეორიული ასტრონომია/ასტროფიზიკა.

1.2. სტრუქტურული ერთეული: გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	ნინო ყოჩიაშვილი	უფროსი მეცნ. თან.	PhD	პროექტის ხელმძღვანელი, ყანობილი
2	რეზო ნაცვლიშვილი	მეცნ. თან.	PhD	დაკვირვებები, მონაწილეობა ყველა სახის კვლევებში და სტატიების/პრეზენტაციების მომზადებაში (ყანობილი)
3	სოფია ბერაძე	ასისტენტ მკვლევარი	MSc	დაკვირვებები, პირველადი დამუშავება, მონაწილეობა მასიური ვარსკვლავების კვლევაში (ყანობილი)
4	ედუარდ ჯანიაშვილი	ასისტენტ მკვლევარი	MSc	დაკვირვებები, მონაწილეობა ასტროსეისმოლოგიურ კვლევებში (ყანობილი)
5	თამარ ურუშაძე	ლაბორანტი	MSc	დაკვირვებების პირველადი დამუშავება, მონაწილეობა ასტროსეისმოლოგიურ კვლევებში (ყანობილი)

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	სამუშაო ოთახი	3	ყანობილი
2	სამუშაო ადგილი	5	ყანობილი
3	კომპიუტერი	5	ყანობილი
4	1.5 მ ტელესკოპი	1	დამეში 4 საათი, წელიწადში 50-60 დამე.

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1.	მძლავრი კომპიუტერი	7000	1	7000	მონაცემების დამუშავების, მოდელური გამოთვლებისა და სხვა სამუშაოებისთვის. შესაძენია პირველ წელს.
2.	კომპიუტერის ეკრანი	1500	1	1500	ეკრანი დაგჭირდება იგივე მიზნით, რაც კომპიუტერი შესაძენია მეორე წელს.
3	გარე მეხსიერება 2TB მაინც	400	1	400	შესაძენია მეორე წელს.
3.	საოფისე და საკანცელარიო საქონელი	100	2	200	ყოველდღიური სამუშაოებისთვის.
			სულ:	9100	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

წელიწადში ორი მივლინება მაინც საზღვარგარეთ კონფერენციებზე დასასწრებად და ტრენინგისთვის.

მიზანი: კონფერენციებზე დასწრება; მოხსენებ(ებ)ის წარდგენა.

ხარჯები: ა) გზის ხარჯები; ბ) სასტუმრო; გ) დღიური ხარჯები; დ) ვიზის ხარჯები; ე) დაზღვევა.

1.6 პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
1	შესყიდვა (> 500 ლ)	7000	1 500				8 500
2	შესყიდვა (< 500 ლ)		400		100	100	600
3	მივლინება ქვეყნის გარეთ		3 000	4 000	4 000	3 000	14 000
4	სულ	7000	4900	4000	4100	3100	23100

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

შესავალი

• ვარსკვლავთ ევოლუცია ასტრონომიის მრავლისმომცველი და მნიშვნელოვანი საკითხია. დაბალმასიანი ვარსკვლავები თავიანთ საწვავს ძალიან ნელა გამოლევენ და მილიარდობით წლის მანძილზე არსებობენ, რაც მათ იდეალურ კანდიდატებათ წარმოაჩენს მათ ირგვლივ არსებულ პლანეტებზე სიცოცხლის შესანარჩუნებლად. მასიური ვარსკვლავები კი ძალიან აქტიურად ცხოვრობენ და რამდენიმე მილიონი წლის შემდეგ აღესრულებიან. სწრაფად მიმდინარე წვის პროცესების გამო არსებული მაღალი ტემპერატურა იწვევს ვარსკვლავის წიაღის არასტაბილურ

ქცევას. ამიტომ, მასიური ვარსკვლავების უმრავლესობა რეგულარული ან არარეგულარული ცვალებადებია და მძლავრ ამოფრქვევებს ავლენს. 8 მზის მასაზე უფრო მასიური ვარსკვლავი სიცოცხლეს ამთავრებს ზეახლის მძლავრი აფეთქებით, რასაც მთელი რიგი გამოვლინებები ახლავს, რომლებიც დამოკიდებულია ვარსკვლავის შედგენილობაზე, ბრუნვაზე, მაგნიტურ ველზე და წინაპარი ვარსკვლავის მთელ რიგ სხვა თვისებებზე.

- ბევრი პროცესი ვარსკვლავთა ევოლუციაში ჯერ კიდევ სუსტად არის შესწავლილი, განსაკუთრებით მათი სიცოცხლის დასაწყისში და ბოლოს, რთული ფიზიკის გამო. მეორეს მხრივ, ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი ვარსკვლავები, ჩვენს გალაქტიკაში, არის შედარებით კაშკაშა ობიექტები და იოლად შეიძლება დაკვირვება ისეთი მცირე ზომის დაკვირვებითი საშუალებებით, როგორც გვაქვს აბასთუმნის ობსერვატორიაში. ეს პროექტი ემყარება აბასთუმანში ცვალებადი ვარსკვლავების კვლევის ხანგრძლივ გამოცდილებას და მისი მნიშვნელოვანი დრო დაეთმობა მასიური ვარსკვლავების ევოლუციის შესწავლას მათი დაბადებიდან, მათი სიცოცხლის განმავლობაში, ამ ვარსკვლავების ფეთქებადი აღსასრულის დაკვირვების ჩათვლით.

თემის მნიშვნელობა

მნიშვნელოვანი თემა შემდეგი გარემოებების გამო:

- სიცოცხლის დასაწყისში ახალგაზრდა ვარსკვლავური ობიექტები (YSOs) გვაწვდიან მნიშვნელოვან ინფორმაციას ვარსკვლავთფორმირების დაწყების პროცესისა და იმ რეგიონების შესახებ, სადაც ეს პროცესები მიმდინარეობს. მასიური ვარსკვლავების შესწავლა და მათი აღსასრული მძლავრი აფეთქებებით, თანამედროვე ასტრონომიის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პრობლემაა. ჩვენს პროექტში შევისწავლით საინტერესო ობიექტებს მასიური (ცალკეული და ორჯერადი) ვარსკვლავების ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე, როგორცაა Be ვარსკვლავები, ბრწყინვალე ლურჯი ცვალებადები (LBVs), ვოლფ-რაიე (WR) ვარსკვლავები და კომპაქტური ორჯერადები, რომლებიც უშუალო კავშირშია გრავიტაციული ასტრონომიის საკითხებთან. ვარსკვლავების წიაღის შესახებ დამატებითი ინფორმაციის მიღება შესაძლებელია ასტროსეისმოლოგიის საშუალებით. ასტრონომიის კიდევ ერთი ძალიან მნიშვნელოვანი საკითხია ისეთი ფეთქებადი ტრანზიენტების შესწავლა, როგორცაა ზეახლები და გამა-ჩქაფები, რომლებიც მასიური ვარსკვლავის აღსასრულთან არის დაკავშირებული. LSST/VRO (Large Synoptic Survey Telescope/Vera Rubin Observatory) მიმოხილვის დაწყების შემდეგ, მომდევნო თვეებში, მათი ძალიან დიდი რაოდენობა გამოვლინდება ყოველდღიურად და მკვლევარები განიცდიან ყველა ამ ობიექტის შემდგომი მონიტორინგისთვის საჭირო დამზერითი საშუალებების ნაკლებობას.

- პროექტი ითვალისწინებს როგორც თეორიულ/მოდელურ/სტატისტიკურ გამოთვლებსა და კვლევებს, ასევე დაკვირვებებს. ეს უკანასკნელი ნაწილობრივ შესრულდება აბასთუმნის ობსერვატორიაში, იმ დაკვირვებებთან ერთად, რომელსაც ჩვენი კოლაბორატორები შეასრულებენ, რათა მივიღოთ ისეთი მონაცემები მოვლენების უწყვეტი გადაფარვისთვის, რომელთა მიღებაც შეუძლებელია აბასთუმანში, მაგ. სპექტროსკოპია. მეორეს მხრივ, აბასთუმნის ობსერვატორიას შეუძლია მიიღოს მონაცემები სწრაფ ტრანზიენტებზე, რომლებიც მეტად მოთხოვნადია ისეთი საერთაშორისო კოლაბორაციებისთვის, როგორცაა მაგალითად GRANDMA და ასევე ამ პროექტის მონაწილე უცხოელი კოლეგებისთვის. ამიტომ ამ პროექტში ჩართულია უმაღლესი კვალიფიკაციის მქონე და ჩვენი დიდი ხნის კოლაბორატორი ორი ასტრონომი, რომლებიც მონაწილეობას მიიღებენ პროექტის შესრულებაში.

აქტუალობა

1. მასიური ვარსკვლავების და ვარსკვლავური ევოლუციის დარგმა მნიშვნელოვანი პროგრესი განიცადა ბოლო ათწლეულებში, ახალი დაკვირვებებისა და მძლავრი გამოთვლითი საშუალებების წყალობით, რამაც შესაძლებელი გახადა ვარსკვლავური ევოლუციის მოდელირება 3D-ში. თუმცა, ბევრი სხვა მნიშვნელოვანი კითხვა რჩება შესასწავლად. პროექტის პირველ წელს შეირჩევა და

საცდელი დაკვირვებები ჩატარდება რამდენიმე მასიურ საინტერესო ვარსკვლავზე, მ.შ. მასიურ და კომპაქტური ორჯერადების შემცველ ობიექტებზე (ამ შერჩეულ ობიექტებზე დაკვირვებები გაგრძელდება დანარჩენი ოთხი წლის მანძილზე), რაც კავშირშია ისეთ მნიშვნელოვან საკითხებთან, როგორცაა მასიური ვარსკვლავების ევოლუცია, მასიური ორჯერადების ევოლუციის ბოლო ეტაპები - კავშირი GW და GRB წყაროების ოპტიკურ შესატყვისებთან - კილოახლებთან და ზეახლებთან. ჩვენ ასევე შევარჩევთ რამდენიმე შესაფერის ორჯერად სისტემას ასტროსისმოლოგიური დაკვირვებების შესასრულებლად, რაც შედარებით ახალი მეთოდია ვარსკვლავების წიაღის შესასწავლად.

2. და ბოლოს, აბასთუმანში, ჩვენი ახალი ტელესკოპის საშუალებით, ჩვენ შეგვეძლება მნიშვნელოვანი წვლილი შევიტანოთ ჩვენი კოლაბორატორების სამუშაოებში ისეთ გარდამავალ ობიექტებთან დაკავშირებით, როგორცაა გამა-ჩქაფები (რომლებიც ასევე დაკავშირებულია მასიურ ვარსკვლავებთან). ჩვენ ასევე შეგვეძლება ვითანამშრომლოთ ისეთ თემებზე, როგორცაა ეგზოპლანეტების აღმოჩენა (რომელიც საჭიროებს მთელს მსოფლიოში არსებულ დამზერით საშუალებებს) და აქტიური გალაქტიკური ბირთვები (AGNs). ამ თემებში ჩართვა საშუალებას მოგვცემს, მონაწილეობა მივიღოთ ყველაზე თანამედროვე ასტრონომიულ კვლევებში.

მიზანი

1. შევუნარჩუნოთ აბასთუმნის ობსერვატორიას მულტი-პროფილური ასტრონომიული ინსტიტუტის ტრადიციები - გავაგრძელოთ ცვალებადი ვარსკვლავებისა და სხვა ტრანზიენტების დაკვირვებები და კვლევები.

2. გამოვიკვლიოთ და გამოვაქვეყნოთ კვლევის შედეგები მასიურ ვარსკვლავებთან დაკავშირებული ისეთი საკითხების შესახებ, როგორცაა მაგალითად ევოლუციური კავშირი LBV და WR ვარსკვლავებს შორის, მასიური ვარსკვლავების შესაძლო კავშირი გროვებთან; „იზოლირებული“ ადრეული სპექტრული ტიპის მასიური ვარსკვლავები; Be ვარსკვლავების ფენომენი - კავშირი და გადასვლა B და Be მდგომარეობებს შორის, დეკრეციული დისკების წარმოშობა-დისიპაციის საკითხები, დისკის და ანთებების კავშირი Be ვარსკვლავებში. ამ თვალსაზრისით უმნიშვნელოვანესია, შევასრულოთ აღწერილი საკითხების მოდელირება მიღებული მონაცემების გამოყენებით, რათა ავხსნათ ვარსკვლავთა ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპები.

3. ვარსკვლავთ, და ვარსკვლავების ირგვლივ პლანეტარული სისტემების წარმოშობის საკითხები ახლა აქტიური კვლევის საგანია. ჩვენ გავაგრძელებთ წითელი ჯუჯა ვარსკვლავების კვლევას, მ. შ. შერჩეული მცირე მასის ახალგაზრდა ვარსკვლავების დაკვირვებას და კვლევას, რაც მჭიდროდ უკავშირდება ჩვენს მიერ შენიშნულ ანთებების თავისებურებას და უკვე შემუშავებულ ანთების შესაძლო მექანიზმს (იხ. მაგ. Natsvlishvili & Kochiashvili, 2008, 2010).

სიახლე

ტრადიციულად, აბასთუმნის ობსერვატორიაში ჩამოდიოდნენ და დამზერით მასალას ლეზულობდნენ სხვადასხვა ქვეყნების მკვლევარები. ჩვენ, ერთის მხრივ, აღვადგენთ ამ ტრადიციას და მეორეს მხრივ, იმედი გვაქვს, რომ უცხოელ კოლეგებთან თანამშრომლობა გვას გაგვიხსნის მსოფლიოს დიდი ტელესკოპების გამოყენებისკენ. უცხოელებთან ერთად შევეცდებით, მივიღოთ დაკვირვების დრო ისეთ ტელესკოპებზე, რომლებზეც ქართველ ასტრონომებს არ გვაქვს წვდომა. პროექტი კავშირშია ასტრონომიის ისეთ უახლეს დარგებთან, როგორცაა ასტროსისმოლოგია, ეგზოპლანეტები, კომპაქტური ორჯერადები, რომლებიც თავის მხრივ მჭიდრო კავშირშია გრავიტაციულ ასტრონომიასთან.

კავშირი წინა პროექტთან

1. აბასთუმნის ობსერვატორიაში ცვალებადი ვარსკვლავების დაკვირვებები დაარსებისთანავე დაიწყო და დღემდე გრძელდება. ყანობილზე მიღებული მონაცემები სანდო, მაღალი ხარისხის და ბევრ შემთხვევაში უნიკალური იყო. მაგ. LBV ვარსკვლავი, P Cyg: გასული საუკუნის 80-იან წლებამდე პრაქტიკულად არ არსებობს ამ ვარსკვლავის სტანდარტული ფოტომეტრია, გარდა აბასთუმანში ხარაძე-მაღალაშვილის მიერ ჩატარებული დაკვირვებებისა (იხ. მაგ.: Kochiashvili, et al., 2017). ამ მონაცემების გადასინჯვისა და ანალიზის შედეგად დავადგინეთ, რომ ვარსკვლავმა შესაძლოა განიცადოს შემდგომი დიდი ამოფრქვევა ან ზეახლადაც კი აფეთქდეს უახლოეს 1-1.5 საუკუნის განმავლობაში (Kochiashvili, et al., 2015). ამ პროექტში გავაგრძელებთ LBV ვარსკვლავებთან და ზოგადად მასიურ ვარსკვლავებთან დაკავშირებული საკითხების კვლევას.
2. აბასთუმნის ობსერვატორიაში 1970-იანი წლებიდან ათწლეულების მანძილზე მიმდინარეობდა ორიონის ნისლეულისა და პლეადების არეში არსებული წითელი ჯუჯა ვარსკვლავების დაკვირვებები და კვლევა (Natsvlishvili, 1990, 1982a, 1982b; Mirzoian & Natsvlishvili, 1987). რ. ნაცვლიშვილის მიერ დაზუსტდა მათი საერთო რაოდენობა ამ არეებში, შედგენილია კატალოგი (Natsvlishvili, 1990, 1991, Natsvlishvili, et al., 2016). შემუშავებულია ანთების შესაძლო მექანიზმი (Natsvlishvili & Kochiashvili, 2008, 2010). გაგრძელდება დაკვირვებები და კვლევები ამ მიმართულებით.
3. ყანობილზე ვაკვირდებოდით სხვადასხვა ტიპის საინტერესო ცვალებადებსა (Kochiashvili & Kochiashvili, 2008;) და ორჯერადებს (იხ. მაგ.: Kochiashvili et al., 2020), მ.შ. Cyg X-1-ს (იხ. მაგ.: Karitskaya, et al., 2001). ტრადიცია გაგრძელდება.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

1. Karitskaya E.A., Voloshina I.B., Goranskij V.P., Grankin K.N., Djaniashvili E.B., Ezhkova O.V., Kochiashvili N.T., Kumsiashvili M.I., Kusakin A.V., Lyutyi V.M., Mel'nikov S.Yu., Metlova N.V. Coordinated Observations of Cyg X-1 (V 1357 Cyg) from 1994-1998 in the Commonwealth of Independent States. ARep. v 45, p. 350-360, 2001.
2. Kochiashvili, I; Kochiashvili, N. Is EM cep a Binary System or a Short-Period Cepheid? RoAJ, v. 18, Suppl. p. 61-65, 2008.
3. Kochiashvili, Nino; Beradze, Sopia; Kochiashvili, Ia; Natsvlishvili, Rezo; Vardosanidze, Manana. The Next Possible Outburst of P Cygni. The Lives and Death-Throes of Massive Stars, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Volume 329, p. 415K, 2017.
4. Kochiashvili, N.; Beradze, S.; Kochiashvili, I.; Natsvlishvili, R.; Vardosanidze, M., New Photometric Observations of P Cygni. Wolf-Rayet Stars: Proceedings of an International Workshop held in Potsdam, Germany, 1-5 June 2015. Edited by Wolf-Rainer Hamann, Andreas Sander, Helge Todt. Universitätsverlag Potsdam, 360K, 2015.
5. Kochiashvili, N.; Kochiashvili, I.; Natsvlishvili, R.; Beradze, S.; Vardosanidze, M, Massive Binary System RY Sct – New Solution of Light Curve, Ap., Volume 63, Issue 2, p.243-251, 2020.
6. Michaelis, Amir M.; Kashi, Amit; Kochiashvili, Nino. Periodicity in the light curve of P Cygni- Indication for a binary companion? NewA., v. 65, 29M, 2018.
7. Mirzoian, L.V.; Natsvlishvili, R.Sh. Remarkable combinations of stellar flares. Astrofizika, Vol. 27, p. 605-608, 1987.
8. Natsvlishvili, R.; Kochiashvili, N. Flare Processes in Different Type Stars. RoAJ, v. 18, Suppl. p. 79-85, 2008.

9. Natsvlshvili, Rezo; Kochiashvili, Ia; Kochiashvili, Nino. New flare stars and flares of the known ones in Orion, IBVS, No 6187, 2016.
10. Natsvlshvili Rezo, Kochiashvili Nino. On a Mechanism of Stars' Flares. Proceedings of the Conference "Evolution of Cosmic Objects through their Physical Activity" dedicated to Victor Ambartsumian's 100th anniversary, p. 77-82, 2010.
11. Natsvlshvili, R.Sh. A Catalog of Flare Stars in Orion Nebula Region. Afz, Vol. 34, Issue 1, p. 107, 1991
12. Natsvlshvili, R.Sh. Catalog of Flare Stars in Orion Nebula Region. IAU Symposium 137, Flare stars in Star Clusters, Associations and the Solar Vicinity, eds L.V.Mirzoyan et al. p.101-104, 1990.
13. R.Sh.Natsvlshvili. Flare Stars in Orion. Commission 27 of IAU, IBVS No.2062, 1982a.
14. R.Sh.Natsvlshvili. Flare Stars in Orion. Commission 27 of IAU, IBVS No.2231, 1982b.

2.3. სამუშაოს მოცულობა

ამოცანები:

1. მასიური ვარსკვლავების კვლევა;
2. ასტეროსეისმოლოგია;
3. ახალგაზრდა ვარსკვლავიერი ობიექტების, ე.წ. YSOs და მცირე მასიანი ვარსკვლავების კვლევა;
4. სხვადასხვა ტიპის ტრანზიენტების კვლევა.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. მასიური ვარსკვლავების კვლევა;

ამოცანის მიზანი: ხანმოკლე ევოლუციურ ეტაპზე მყოფი ვარსკვლავების, LBV, WR, Be ვარსკვლავების კვლევა.

სამუშაოს აღწერა: 2024 წელს შეირჩევა რამდენიმე ობიექტი ჩვენს მიერ შედგენილი სიიდან, რომლებიც ზუსტ შესაბამისობაში იქნება ახალი ტელესკოპის პრაქტიკულ შესაძლებლობებთან და ჩვენს მიზნებთან. დაკვირვებები ჩატარდება 2025-2028 წლებში. შესაძლოა, წამოიჭრას დამატებითი საკითხები. მაგალითად, დასაკვირვებელი ობიექტების შერჩევისას დაგვრჩა შთაბეჭდილება, რომ ერთი მხრივ O და B სპექტრული კლასის მასიური ვარსკვლავები თითქოს სივრცულად „გაურბიან“ სხვა მსგავს ობიექტებს, მაგრამ მეორეს მხრივ, ზოგიერთი მათგანი (მაგ. P Cyg) შესაძლოა მახლობელი ვარსკვლავთ გროვას უკავშირდებოდეს. ამ საკითხის ზედაპირული მოსინჯვისას მახლობელი ვარსკვლავების საკუთარი მოძრაობების საინტერესო თავისებურებები გამოიკვეთა. შევეცდებით ზოგიერთ მსგავს საკითხში გარკვევას.

მოსალოდნელი შედეგი: ა) ველით, რომ პროექტის ფარგლებში მინიმუმ ერთი Be ვარსკვლავის დეკრეციული დისკის და ანთებების მოდელირების საშუალება მოგვეცემა; ბ) ცნობილია, რომ ფერის მაჩვენებლის ცვლილება კავშირშია LBV-ების ე.წ. დიდ ამოფრქვევებთან/ცრუ ზეახლის მოვლენასთან. ვფიქრობთ დეტალების დადგენას და ზოგადი სურათის შესახებ წარმოდგენების დაზუსტებას.

შესრულების პერიოდი: 2024 წელს შეირჩევა დასაკვირვებელი ობიექტები და ჩატარდება საცდელი დაკვირვებები. 2025-2028 წლებში ჩატარდება შერჩეული ობიექტების დაკვირვებები. ვვარაუდობთ, რომ (ზოგადად, ჯამში, ყველა ამოცანის შესასრულებლად) დაგვჭირდება წელიწადში 50-60 დამე, 4 საათი ღამეში.

საანგარიშო მასალა: დაკვირვებითი მონაცემები, სტატიები და მოხსენებები.

ამოცანა 2. ასტეროსეისმოლოგია (ეს ამოცანა ცალკეც გამოყავით ორჯერადი ბნელეზადებისთვის, თუმცა მასიური ვარსკვლავები ზოგადად, და განსაკუთრებით Be ვარსკვლავები დიდი ალბათობით, უნდა პულსირებდეს).

ამოცანის მიზანი: სამიეზო სამუშაოების ჩატარება ორჯერად ბნელეზად სისტემებში პულსაციების აღმოჩენის მიზნით.

სამუშაოს აღწერა: კვლევისთვის გამოვიყენებთ კოსმოსური ტელესკოპების TESS, Kepler, K2 და ე.წ. მიკულსკის არქივის (MAST) სხვა მისიათა მონაცემებს; შევასრულებთ დაკვირვებებს აბასთუმნის ობსერვატორიაში.

მოსალოდნელი შედეგი: იმედი გვაქვს, რომ მოვახერხებთ პულსაციების აღმოჩენას მინიმუმ ერთ ორჯერად ბნელეზადში.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წლები.

საანგარიშო მასალა: სამეცნიერო სტატია და მოხსენება/პოსტერი.

ამოცანა 3. ახალგაზრდა ვარსკვლავიერი ობიექტების, ე.წ. YSOs და მცირე მასიანი ვარსკვლავების კვლევა

ამოცანის მიზანი: ა) მთავარი მიზანია ანთების მექანიზმის დადგენა და ანთების მოდელირება; ბ) ასევე ვარსკვლავთწარმოშობის არეებში სტატისტიკური კვლევების ჩატარება ახალგაზრდა ობიექტების რაოდენობის/მასის შესაფასებლად; გ) ანთებადი ვარსკვლავების ანთების ციკლორობის საკითხის კვლევა.

სამუშაოს აღწერა: ჩატარდება დაკვირვებები შერჩეულ წითელ ჯუჯებზე, გადაისინჯება ვარსკვლავთწარმოშობის არეების (მინიმუმ ორიონისა და პლეადების) საარქივო მასალები. ჩატარდება ანთებადი ვარსკვლავების ცნობილი ანთების სტატისტიკური ანალიზი ანთებათა ციკლორობის საკითხში გასარკვევად.

მოსალოდნელი შედეგი: დაზუსტდება ჩვენს მიერ შემუშავებული ანთების მექანიზმის დეტალები; დაზუსტდება ახალგაზრდა, მცირემასიანი ვარსკვლავების რაოდენობა ვარსკვლავთწარმოშობის არეებში, დაზუსტდება ანთებათა ციკლორობის საკითხი.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ.

საანგარიშო მასალა: სამეცნიერო სტატიები და მოხსენებები/პოსტერები.

ამოცანა 4. სხვადასხვა ტიპის ტრანზიენტების კვლევა

ამოცანის მიზანი: ამ ამოცანის მთავარი მიზანია, მუდმივად ვიყოთ ჩართული აქტუალური ობიექტების და მოვლენების დაკვირვებასა და კვლევაში.

სამუშაოს აღწერა: ჩვენს უცხოელ კოლეგებთან ერთად აქტიურად დავაკვირდებით გამა-ჩქაფებს-GRBs, რაც ჩვენი საერთო ინტერესის საგანს შეადგენს. დავგჭირდება ტელესკოპის დაკვირვების დრო, ღამეში 4 საათი, წელიწადში მინიმუმ 15 ღამე შესაბამისი შეტყობინების შემთხვევაში. დამატებით, მოვსინჯავთ ჩვენთვის საინტერესო გზოპლანეტების და AGN-ების დაკვირვებას 1.5 მ-იანი ახალი ტელესკოპის გამოყენებით. ასევე, დავგჭირდება დაკვირვება, როცა გვექნება მიმდინარე საინტერესო ტრანზიენტი/მოვლენა.

მოსალოდნელი შედეგი: ველით, რომ დავაკვირდებით ძალიან საინტერესო, უნიკალურ მოვლენებს.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ.

საანგარიშო მასალა: სტატია დამოხსენებები/პოსტერები.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

ვიმუშავებთ, რომ პროექტის ფარგლებში მივიღოთ შემდეგი შედეგები:

1. მინიმუმ ერთი Be ვარსკვლავის დეკრეციული დისკის და ანთებების მოდელირება;
2. დაზუსტდება ფერის მაჩვენებლის ცვლილების კავშირში LBV-ების ე.წ. დიდ ამოფრქვევებთან/ცრუ ზეახლის მოვლენასთან. ასევე ამ ცვლილების ტრენდების შესაძლო ქცევები;
3. პულსაციების გაზომვა მინიმუმ ერთ ორჯერად ვარსკვლავთ სისტემაში;
4. ჩვენი მკვლევარების მიერ შემუშავებული Be ვარსკვლავის ანთებების მოდელის გაუმჯობესება;
5. დაზუსტდება ახალგაზრდა ვარსკვლავების რაოდენობა ვარსკვლავთწარმოშობის არეებში;
6. დაზუსტდება ანთებათა ციკლოზობის საკითხი ანთებად წითელ ჯუჯა ვარსკვლავებში;
7. ისეთი პეკულარული მოვლენების დაკვირვება, როგორებიცაა სწრაფი ტრანზიენტები.

სამეცნიერო შედეგები გამოქვეყნდება: მინიმუმ ერთი სტატია თითოეულ წელს (ჯამში მინიმუმ 5), მაღალი იმპაქტის მქონე სამეცნიერო ჟურნალებში და მომზადდება მინიმუმ ორი მოხსენება წელიწადში სამეცნიერო კონფერენციებსა თუ სემინარებზე წარსადგენად. სტატიებში განხილული იქნება როგორც დაკვირვების შედეგები, ასევე თეორიული და სტატისტიკური კვლევების შედეგად მიღებული დასკვნები.

2.6. დამატებითი ინფორმაცია. პროექტის განხორციელებაში უშუალო მონაწილეობას მიიღებენ უცხოელი მეცნიერები ქრისტინა თონე (ჩეხეთი) და ანტონიო დე უგარტე პოსტიგო(საფრანგეთი), რომლებიც ყოველწლიურად, პროექტის განხორციელების განმავლობაში, ხელშეკრულების საფუძველზე, ერთი თვის განმავლობაში იმუშავებენ ობსერვატორიაში, მთა ყანობილზე:

✓ **ქრისტინა თონე - Christina Thöne, PhD (2008), HETH (*High-Energy Transients and their Hosts*)** ჯგუფის დამფუძნებელი ანდალუზიის ასტროფიზიკის ინსტიტუტში (IAA-CSIC, ესპანეთი), რომელიც სამწუხაროდ დაიხურა 2021 წლის დეკემბერში. ახლა იგი ჩეხეთის მეცნიერებათა აკადემიის სისტემაში მუშაობს. მისი ძირითადი საკვლევი თემაა მასიური ვარსკვლავების შესწავლა მათი სიცოცხლის ბოლო ეტაპებზე და მათი აფეთქებები სხვადასხვა ტიპის ზეახლების ან გამა-ჩქაფების სახით, რათა დადგინდეს წინამორბედი/წინაპარი ვარსკვლავები ან სისტემები. ამ მიზნით ის ასევე სწავლობს მათ მასპინძელ გალაქტიკებს, მათ სიმრავლესა და კინემატიკას და ხელმძღვანელობს საერთაშორისო კოლაბორაციას, რომელიც ტრანზიენტების მასპინძელ გალაქტიკებს იკვლევს 3D-ში. ქრისტინას აქვს დიდი გამოცდილება სხვადასხვა ტელესკოპებით და ინსტრუმენტებით მიღებული ვიზუალური (VIS) და ინფრაწითელი (IR) მონაცემების დამუშავებასა და გამოყენებაში, ეს ეხება როგორც ფოტომეტრულ და სპექტროსკოპულ მონაცემებს, ასევე სივრცითი გარჩევის სპექტროსკოპიას. იგი ჩართული იყო ინსტრუმენტული პროექტების მართვაში VIS-IR რეჟიმში და მიღებული აქვს პროექტის მართვის სერტიფიკატი GWU-სგან. ქრისტინა იყო გრანადაში ორი დოქტორანტის მთავარი ხელმძღვანელი და პრადის ჩარლზის უნივერსიტეტის მაგისტრატურის სტუდენტის თანახელმძღვანელი. ქრისტინა არის სულ 590, მათგან 130 რეფერირებული პუბლიკაციის თანაავტორი რომელთაგან 13-ის პირველი ავტორია (13967 ციტირება, h-ინდექსი 52, ნორმ. მითითებები: 512). იგი თავმჯდომარეობდა 5 საერთაშორისო

კონფერენციას და სემინარს და გააკეთა 27 მოწვეული მოხსენება კონფერენციებსა და ინსტიტუციურ სემინარებზე.

✓ ანტონიო დე უგარტე პოსტიგო - Antonio de Ugarte Postigo, PhD (2007), CNRS (ARTEMIS)-ის სამეცნიერო დირექტორი. ანტონიო არის HETH ჯგუფის თანადამფუძნებელი ქრისტიანასთან ერთად და 2021 წლის დეკემბრიდან მუდმივი პერსონალი ვოტ დ'აზურის ობსერვატორიაში, ნიცაში, საფრანგეთი. იგი არის ასტრონომიული ტრანზიენტების სპეციალისტი ყველა ტალღის სიგრძეზე, განსაკუთრებული ინტერესით გამა-ჩქაფებისადმი. ის ახლა ხელმძღვანელობს GRBSpec-ს, გამა-ჩქაფების სპექტროსკოპიის მთავარ რესურსს. ანტონიომ თავისი კარიერის ნაწილი მიუძღვნა ტრანზიენტების შესასწავლად საჭირო ასტრონომიული ინსტრუმენტების განვითარებას. ანტონიო არის ევროპის სამხრეთის ობსერვატორიის VLT-ს, ანუ ESO-ს ძალიან დიდი ტელესკოპის, X-shooter სპექტროგრაფის მესერის პასუხისმგებელი პირი, პარანალზე, სადაც ის ასევე მუშაობდა, როგორც ESO-ს სტიპენდიანტი (ESO fellow).

იგი იყო OCTOCAM/ SCORPIO ინსტრუმენტის ხელმძღვანელი, რომელიც ამჟამად მზადდება 8,1 Gemini South ტელესკოპისთვის ჩილეში და ახლა ხელმძღვანელობს GATOS ინსტრუმენტს 10,4 მ კანარის დიდი ტელესკოპისთვის (Gran Telescopio Canarias), ლა პალმაში (ესპანეთი). ის ასევე მუშაობდა რობოტულ ტელესკოპებზე, მათ განლაგებაზე, ინსტრუმენტირებაზე, ექსპლუატაციასა და მონაცემთა ანალიზზე. ანტონიო ამჟამად, რამდენიმე აბსტრუქტულ მკვლევართან ერთად, არის პროექტ GRANDMA-ს მონაწილე. ის არის 1127 პუბლიკაციის თანაავტორი, მათგან 212 რეფერირებულ ჟურნალებში გამოქვეყნდა. საერთო ჯამში, ამ პუბლიკაციებმა მიიღო 17400-ზე მეტი ციტირება (h-index: 59, ნორმ. მითითებები: 634.2).

II. გალაქტიკათა აქტიური გულების კვლევა მაღალ ენერგიებზე
(ხელმძღვანელი ბიძინა კაპანაძე)

1.1. კვლევის მიმართულება: გარეგალაქტიკური ასტრონომია/გალაქტიკათა აქტიური გულები

1.2. სტრუქტურული ერთეული: გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	ბიძინა კაპანაძე	უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი	ასტროფიზიკის დოქტორი	ხელმძღვანელი, ყანობილი
2	სერგო კაპანაძე	მეცნიერ-თანამშრომელი	ასტროფიზიკის დოქტორი	მკვლევარი, თბილისი
3	ალექსანდრე ღურჭუმელია	მეცნიერ-თანამშრომელი	ფიზიკის დოქტორი	მკვლევარი, თბილისი

შენიშვნა: მოიაზრება ახალგაზრდა მკვლევარის დამატება კვლევით თემაში (თეორიული მიმართულებით), რომლის ძირითადი სამუშაო ადგილი იქნება თბილისის ოფისი.

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შერმთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	დესქტოფი	4	
2	ლექტოპი	4	
3	ტელესკოპი	1	მოიაზრება ახალი, შექმენა-ინსტალაციის პროცესში მყოფი ტელესკოპის ჩართვა პროექტში. კვლევითი ამოცანების საჭიროებიდან გამომდინარე, სასურველი იქნება მთელი წლის განმავლობაში. კონკრეტული ობიექტისათვის, ეს უნდა მოხდეს მისი ხილვადობის პერიოდში, რენტგენული კოსმოსური ტელეკოპებით წარმოებული დაკვირვებებისადმი (დაახლოებით) ერთდროულად.
4	საოფისე ინვენტარი (მაგიდა, სკამები)	5	
5	ინტერნეტ-კავშირი	2	

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
			სულ:		

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

მონაწილეობა მაღალი დონის სამეცნიერო კონფერენციაში ევროპაში თითოეულ წელს; ტიპური ხარჯები – 4000 ლარი (მგზავრობა, სასტუმრო, სარეგისტრაციო გადასახადი, დღიური ხარჯები).

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (შტატის თანამშრომლების ხელფასების გარეშე)

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
2	შესყიდვა (> 500 ლ)						
3	შესყიდვა (< 500 ლ)						
4	მივლინება ქვეყნის გარეთ		4000		4000	4000	12000
6	სულ		4000		4000	4000	12000

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

აქტიურ გალაქტიკათა გულები წარმოადგენენ ექსტრემალურ გარეგალაქტიკურ ობიექტებს, რომლებშიც დაფიქსირებულია სამყაროს ყველაზე მაღალენერგიული პროცესები. მაგალითად, ბლაზარების (ლაცერტიდები და ბრტყელსპექტრიანი რადიოკვაზარები; წარმოადგენენ ელიფსურ გალაქტიკათა აქტიურ გულებს) კვლევა მაღალ (ულტრაიისფერ–რენტგენულ–გამა) ენერგიებზე მეტად აქტუალურია შემდეგი პრობლემების გამო [K2023a]: (1) სიკაშკაშისა და სპექტრული მახასიათებლების ექსტრემალური ცვალებადობა წუთებიდან წლებამდე დროით მასშტაბებში (ნაკლებად შესწავლილი სტატისტიკური თვისებებით) - გამოწვეულია ექსტრემალურად მძლავრი არასტაბილური პროცესების მიერ, რომელთა წარმომავლობა და ბუნება სადავოა; (2) გამოსხივების პროცესები, რომელთა წყალობითაც ბლაზარები წარმოადგენენ სამყაროს ერთერთ ყველაზე კაშკაშა ობიექტებს რენტგენულ–გამა დიაპაზონში; ენერგიის სპექტრული განაწილება (SED) განვრცობილია სიხშირეთა 17–19 რიგზე (რადიო–ტევ სიხშირეებზე) და ფართოდაა მიღებული, რომ იგი წარმოადგენს დაახლოებით დამკვირვებლისაკენ მიმართული ჯეტის არასიტბურ გამოსხივებას; მისი მაღალენერგიული კომპონენტის (კევ–ტევ) წარმოშობა სადავოა: თვითკომპტონიზაცია (SSC), გარე–კომპტონური (EC) და ადრონული მოდელები; (3) არსებობენ სხვადასხვა უცნობი დეტალები SED–ის შედარებით დაბალსიხშირულ (რადიო–კილოელექტრონვოლტი) კომპონენტთან დაკავშირებით. მაგალითად, რომელი პროცესები აჩქარებენ დამუხტულ ნაწილაკებს ულტრა–რელატივისტურ ენერგიებამდე, რომ შესაძლებელი გახდეს სინქროტრონული გამოსხივების (განსაკუთრებით, რენტგენულის) გენერაცია? (4) მწირადაა შესწავლილი ჯეტის გამოსხივების ზონის ფიზიკური თვისებები (ზომები, ნაწილაკების განაწილება ენერგიების მიხედვით, მაგნეტიზაცია და ა.შ.). მათი გადაჭრა მნიშვნელოვანია შემდეგი დარგებისათვის: გარეგალაქტიკური ასტრონომია; მაღალი ენერგიებისა და რელატივისტური ასტროფიზიკა; ასტრონაწილაკების, კოსმოსური სხვების, ჯეტების, შავი ხვრელების ფიზიკა.

მიმდინარე 5–წლიანი პროექტის (2018–2023) ფარგლებში განვახორციელეთ შერჩეულ გალაქტიკათა აქტიურ გულების მაღალენერგიული სიკაშკაშისა და სპექტრული მახასიათებლების სხვადასხვა დროით მასშტაბებში ცვალებადობის კვლევა, რისთვისაც გამოვიყენეთ სხვადასხვა კოსმოსური ასტრო–ინსტრუმენტის მეშვეობით მიღებული დიდი რაოდენობით დაკვირვებითი მასალა: Swift-XRT (0.3–10 კევ დაპაზონი), Swift-BAT (15–150 კევ), MAXI (2–20 კევ), NuSTAR (3–79 კევ), Fermi-LAT (0.1–300 გევ). კვლევაში ასევე ჩავრთეთ ჩერენკოვის ტიპის ტელესკოპებით (FACT, VERITAS, MAGIC, ...) მიღებული მასალა, მოვახდინეთ ექსპერიმენტული შედეგების სტატისტიკური კვლევა და

თეორიული ინტერპრეტაცია. იმავე მიზნით ჩავატარეთ Swift-UVOT (1700-6500Å) და სხვა ტელესკოპებით მიღებული რადიო-ულტრაიისფერი მასალის ანალიზი, მოვახდინეთ ამ დიაპაზონებში არსებულ და მაღალენერგიულ ცვალებადობებს შორის კორელაციის არსებობის ძიება. შედეგად, გამოქვეყნებული იქნა პუბლიკაციები წამყვან გამოცემებსა (ApJ, ApJS, MNRAS, ...) და მრავალრიცხოვანი ასტრო-ტელეგრამები; მივიღეთ დიდი რაოდენობით ოპტიკურ-რენტგენული დაკვირვებითი მასალა "სვიფტის" Target-of-Opportunity (TOO) ტიპის დაკვირვებების მეშვეობით (220-ზე მეტი დაკმაყოფილებული მოთხოვნა). გამოვლინდა საკვლევ ობიექტთა მაღალენერგიული გამოსხივების ცვალებადობის უმეტესწილად-არარეგულარული ხასიათი სხვადასხვა დროით მასშტაბებში – რამდენიმე წუთიდან რამდენიმე თვემდე ხანგრძლივობით; "shock-in-jet"-ჰიპოთეზის დომინაცია (რომელიც მოიცავს ნაწილაკთა აჩქარებას ფერმის პირველი/მეორე ტიპის მექანიზმების მეშვეობით); გამოსხივების "საბაზისო" ნაკადის ხანგრძლივი (რამდენიმე წლიდან ათწლეულის რიგის დროითი მასშტაბებით) ვარიაციის ნიშნები; ჯეტის შემადგენლობაში გამოიკვეთა ადრონული კომპონენტის დამახასიათებელი ნიშან-თვისებები (დომინანტ ლეპტონურ მდგენელთან ერთად). ყოველივე ზემოთხსენებული ბადებს მაღალ ენერგიებზე შემდგომი ინტენსიური კვლევების აუცილებლობას, რომ გავაკეთოთ სტატისტიკურად წონადი დასკვნები მოცემული ობიექტების "წიაღში" მიმდინარე არასტაციონარული პროცესების ფიზიკური ბუნების შესახებ. მით უმეტეს, ჩვენი კვლევები კონკრეტული ობიექტისათვის ჩატარდა მხოლოდ გარკვეული პერიოდის ფარგლებში და ამჟამად გაგვაჩნია დიდი და მზარდი რაოდენობით დამუშავებული ექსპერიმენტული მასალა, რომელიც საჭიროებს საბოლოო ანალიზსა და ინტერპრეტაციას. მით უმეტეს, ამჟამად ხელი მიგვიწვდება სპექტრის ტერაელექტრონ-დიაპაზონში მოპოვებული "ნედლი" დაკვირვებითი მასალის მდიდარ არქივზე, რომელიც ინახება ვიურცბურგის (გერმანია) უნივერსიტეტში და ხდება მისი ადგილზე დამუშავება პროექტის ხელმძღვანელის მიერ ერთთვიანი მივლინებების განმავლობაში (მონაცემთა განკარგვის წესის თანახმად, ასევე იქაური მძლავრი კომპიუტერებისა და პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით; ფუნდამენტური კვლევების საგრანტო პროექტის FR-21-307 ფარგლებში).

გარდა ამისა, შესაძლებელია დამატებითი კვლევის ჩატარება ჩვენს მიერ გამოქვეყნებული მასალის საფუძველზე, ახლადგანვითარებული სტატისტიკური მეთოდების, თეორიული ინტერპრეტაციისა და ჩვენს მიერ დაგეგმილი ინოვაციების გამოყენებით. მაგალითად, იშვიათი გამონაკლისის გარდა (იხ. [K2020], [K2023]), ჯერ-ჯერობით არ მოგვიხდენია სპექტრული პარამეტრების მნიშვნელობათა კუმულაციური განაწილებების აგება, რომლის მეშვეობითაც შევძლებთ ერთმანეთს შევადაროთ მოცემული პარამეტრის მიერ სხვადასხვა პერიოდში გამოვლენილი თვისებები, რაც საშუალებას მოგვცემს დავამტკიცოთ რეალური განსხვავების არსებობა ორ სხვადასხვა განაწილებას შორის. რენტგენული სპექტრული სიმრუდის შემთხვევაში, სხვადასხვა პერიოდის შესაბამის განაწილებებს განსხვავების დადგენა საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ დასკვნები ნაწილაკთა ამაჩქარებელი მექანიზმების შესახებ (იხ. ქვემოთ). გარდა ამისა, დაგეგმილია შევამოწმოთ, უჩვენებდნენ თუ არა მრავალსიხშირული გამოსხივების ნაკადთა მნიშვნელობები ლოგნორმალურ განაწილებას, რომელიც წარმოადგენს ცენტრალური შავ ხრელთან დაკავშირებულ აკრეციულ დისკში არსებული ცვალებადობის "ანასახს" ბლაზარის ჯეტზე [S2016]. სიმულაციებმა ასევე უჩვენეს, რომ გარდა ფერმის პირველი რიგის პროცესისა, ბლაზარის ჯეტში რელატივისტური მაგნიტური "გადაერთების" შედეგად შესაძლოა დაფიქსირდეს ენერგიის ხარისხოვანი სპექტრული განაწილება [SS2014] და დაგეგმილია ამ ჰიპოთეზის შემოწმება საკვლევ ობიექტებისათვის.

პროექტის ფარგლებში განხორციელდება სიღრმისეული კვლევა მაღალ ენერგიებზე 50-ზე მეტი აქტიურ გალაქტიკათა გულისათვის, გამოიკვეთება სხვადასხვა დროით მასშტაბში სიკაშკაშის/სპექტრული ცვალებადობის მახასიათებლები და მოხდება ექსპერიმენტული შედეგების თეორიული ინტერპრეტაცია.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

- [Abdo2010] Abdo, A. A. et al. 2010, ApJ, 722, 520, iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/722/1/520
- [Aharonian2009] Aharonian, F. et al. 2009, A&A, 503, 749, adsabs.harvard.edu/abs/2009A%26A...502..749A
- [Böttcher2013] Böttcher, M. et al., 2013, ApJ, 768, 54, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013ApJ...768...54B>
- [Finke2008] Finke, J., et al. 2008, ApJ, 686, 181, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2008ApJ...686..181F>
- [Finke2016] Finke, J., 2016, ApJ, 830, 94, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2016ApJ...830...94F>
- [K2016] Kapanadze, B. et al. 2016, ApJ, 831, 102, iopscience.iop.org/article/10.3847/0004-637X/831/1/102
- [Kapanadze2018a] Kapanadze, B. et al. 2018a, MNRAS, 473, 2542, adsabs.harvard.edu/abs/2018MNRAS.473.2542K
- [K2018b] Kapanadze, B. et al. 2018b, ApJ, 854, 66, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2018ApJ...854...66K>
- [K2020] Kapanadze, B.; Gurcumelia, A., Dorner, D.; Vercellone, S.; Romano, P. et al., The Astrophysical Journal Supplement Series, 2020, Vol. 247, Iss. 1, id. 27, <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4365/ab6322>
- [K2023a] Kapanadze B., Universe, 2023, 9, 344, <https://doi.org/10.3390/universe9070344>
- [K2023b] Kapanadze B., Gurcumelia A., Aller M. The Astrophysical Journal Supplement Series, 2023, 268, 20, <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ace69f>
- [Marscher2014] Marscher, A., 2014, ApJ, 780, 87, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2014ApJ...780...87M>
- [R2019] Rieger, F. 2019, Galaxies, 7, 28, <https://doi.org/10.3390/galaxies7010028>
- [Saito2013] Saito S. et al., 2013, ApJ, 766, L11, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013ApJ...766L..11S>
- [S2016] Sinha, A., et al., 2016, A&A, 591, 83, www.aanda.org/articles/aa/pdf/2016/07/aa28152-16.pdf
- [SMM2004] Sokolov, A. et al. 2004, ApJ, 613, 725, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2004ApJ...613..725S>
- [SS2014] Sironi, L., & Spitkovsky, A. 2014, ApJ, 783, L21, iopscience.iop.org/article/10.1088/2041-8205/783/1/L21
- [TB2019] Torres-Alba, N., & Bosch-Ramon, V. 2019, A&A, 623, 91

2.3. სამუშაოს მოცულობა

ამოცანა 1. საკვლევ ობიექტთა მაღალენერგიული სიკაშკაშის მონიტორინგი: უკავშირდება პრობლემა 1-ს (იხ. პროექტის ნაწილი 2.1) და შედეგები საჭიროა ყველა მომდევნო ამოცანისათვის. გალაქტიკათა აქტიური გულების ცვალებადობა უმეტეს წილად ატარებს არაპროგნოზირებად ხასიათს და ყოველი ანთება ერთმანეთისაგან განსხვავდება ამპლიტუდით, ხანგრძლივობით, სიკაშკაშის ზრდის სიჩქარით და ა. შ. კონკრეტულ კოსმოსურ მისიას ჰყავს თავისი სამეცნიერო გუნდი, რომელიც კონტროლს უწევს "სამიზნე" ობიექტების ექსტრემალურ მდგომარეობებს. Swift-ის მიერ ხდება იმ ბლაზართა აქტიური მონიტორინგი, რომელთა გამოსხივებამ 20 მეგ – 300 ევ (ანუ Fermi-ის დაკვირვების დიაპაზონში) გადააჭარბა 10^{-6} ფოტონი/სმ²/წმ ნიშნულს, ხოლო დანარჩენი ობიექტები გაცილებით ნაკლები ინტენსივობით დაიკვირვება (იხ. <http://www.swift.psu.edu/monitoring/>). მაგრამ ამ შემთხვევაშიც კი ყურადღება მახვილდება ბლაზართა კაშკაშა მდგომარეობებზე და ხშირად ხშირად ყურადღების მიღმა რჩება შუალედური მდგომარეობები, რაც გარკვეულ პრობლემებს ქმნის ცვალებადობისა და სხვადასხვა ფიზიკური პარამეტრების მიღების თვალსაზრისით. სწორედ ამ ხარვეზის აღმოფხვრას ემსახურება მოცემული

ამოცანა, რომ მოხდეს საკვლევ ობიექტთა რაც შეიძლება ინტენსიური მონიტორინგი სიკაშკაშის ყველა შესაძლო მდგომარეობაში. ამ მიზნით, Swift-ისდა სხვა კოსმოსური რენტგენული ტელესკოპების სამეცნიერო გუნდებს ჩვენს მიერ წარედგინება მოცემულ ობიექტზე დაკვირვებების მოთხოვნა "Target of Opportunity" ეგიდით.

ამოცანა 2. დაკვირვებითი მასალის დამუშავება და რენტგენული-გამა სპექტრული ანალიზის ჩატარება: უკავშირდება პრობლემა1-ს და შედეგები საჭიროა ყველა დანარჩენი ამოცანისათვის. დედამიწის ატმოსფეროს მიერ მისი სრული შთანთქმის გამო, რენტგენული გამოსხივების დაკვირვება შესაძლებელია მხოლოდ ხელოვნურ თანამგზავრებზე დამონტაჟებული ინსტრუმენტების მეშვეობით. ამჟამად მოქმედებს რამდენიმე რენტგენული კოსმოსური მისია (Swift, Chandra, XMM-Newton, Suzaku, NuStar, ...), xolo 1995-2011 წლებში ფუნქციონირებდა Rossi X-Ray Timing Explorer (RXTE), რომლის მიერ ბლაზართათვის მიღებულია დიდი რაოდენობით დაკვირვებული მასალა. გარდა ამისა, მომდევნო წლებში უნდა მოხდეს კიდევ რამდენიმე რენტგენული თანამგზავრის გაშვებაც (მაგალითად, ATHENA), რაც კიდევ უფრო გააფართოებს რენტგენული ასტრონომიის "ასპარეზს". გვაქვს თანამშრომლობა ჩერენკოვის ტიპის ტელესკოპების CTA-ს კონსორციუმისა და პროექტ ASTRI-ს ასევე მოქმედი ტელესკოპები (MAGIC, FACT, VERITAS, ...) წევრებთან, რომელთა წყალობითაც ხელი მიგვიწვდება სპექტრის ტერაელექტრონვოლტ დიაპაზონში წარმოებულ დაკვირვებებთან. ულტრაიისფერი დაკვირვებითი მასალის მოპოვება ხდება თანამგზავრ "სვიფთზე" არსებული UVOT-ტელესკოპის მეშვეობით (რაშიც პირადად შეტანილი გვაქვს მნიშვნელოვანი წვლილი TOO-დაკვირვებების მეშვეობით).

ამოცანა 3. რენტგენული და გამა-გამოსხივების ნაკადისა და სპექტრული ცვალებადობის კვლევა: უკავშირდება პრობლემა1-ს და შედეგები საჭიროა ყველა შემდეგი ამოცანისათვის. გალაქტიკათა აქტიური გულების მაღალენერგიული გამოსხივების (რენტგენული და გამა-გამოსხივება) ცვალებადობის შესწავლა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რადგან, ფართოდ გავრცელებული მოსაზრებების თანახმად, სპექტრის ეს ნაწილი წარმოიქმნება რელატივისტური ჯეტის და/ან აკრეციული დისკის ყველაზე შიდა ნაწილებში. გამოსხივების გენერაციის სინქროტრონული და კომპტონის უკუგაბნევის მექანიზმები მოითხოვენ ძალიან მაღალენერგიული ნაწილაკების არსებობას და მათი აჩქარება ამგვარ ენერგიამდე ჯერ კიდევ დავის საგანია. ყველაზე გავცელებული ჰიპოთეზის თანახმად, ელექტრონთა აჩქარება ხდება ჯეტში მოძრავი რელატივისტური დარტყმითი ტალღების მიერ ფერმის პირველი რიგის მექანიზმის მეშვეობით. საბოლოო ჯამში, აჩქარებული ელექტრონი, დააღწევს რა თავს დარტყმით ტალღას, პირველ რიგში უნდა ასხივებდეს გამა და რენტგენულ სიხშირეებზე, თუმცა იგი რენტგენული ფოტონების გენერაციისათვის საკმარის ენერგიას ძალიან სწრაფად ამოწურავს და შემდგომ გააგრძელებს გამოსხივებას დაბალ სიხშირეებზე. ამიტომ, ბლაზარების გაღალენერგიული გამოსხივების შესწავლა გვადლევეს მეტად ძვირფას ინფორმაციას იმის შესახებ თუ რა ფიზიკური პირობები მყარდება ჯეტის შენადგენელ ნივთიერებაში რელატივისტური დარტყმითი ტალღების გავლის შედეგად. გარდა ამისა, ტალღის ურთიერთქმედებას ჯეტში არსებულ არაერთგვაროვნებებთან შეუძლია გამოიწვიოს ხანმოკლე ანთებები და ერთ დღეღამეზე ნაკლები ხანგრძლივობის ფლუქტუაციები (მიკროცვალებადობები). ასეთი მოვლენებია აღმოჩენა კი ჩვენ საშუალებას გვაძლევს შევზღუდოთ ჯეტის (ან აკრეციული დისკის) იმ არეების ზომები, სადაც ფორმირდება ცვალებადი გამოსხივება, $R < ct_{var}$ დამოკიდებულების მეშვეობით (δ წარმოადგენს ჯეტის შესაბამის დოპლერის მამრავლს). ვინაიდან ბლაზართა ყველაზე შიდა ნაწილების სტრუქტურული კომპონენტების გარჩევა შეუძლებელია პირდაპირი დაკვირვებებით, გამოსხივების ნაკადის ცვალებადობის კვლევა მძლავრი საშუალებაა მათი ყველაზე შიდა ნაწილების (რომლებიც წარმოადგენენ სამყაროს ერთერთ ყველაზე ექსტრემალურ "ადგილებს") შესწავლის

თვალსაზრისით. ქვე-ამოცანა 1. ხანგრძლივი რენტგენული ანთებების კვლევა. ჯერჯერობით ნაკლებადაა შესწავლილი ბლანზართა გამოსხივების ნაკადის ხანგრძლივი (თვეები-წლების რიგის) ცვალებადობები მაღალ ენერგიებზე და არ ჩატარებულა სისტემატური შესწავლა ხანმოკლე ცვალებადობების ხანგრძლივ ანთებებთან კორელაციის არსებობის დასადგენად, გარდა ჩვენს მიერ გასულ წლებში წარმოებული კვლევების (იხ. [K2016], [K2018a], [K2018b] და ა. შ.). ეს მეტად მნიშვნელოვანია იმ ჰიპოთეზურ მექანიზმებს შორის რეალურად არსებულის შერჩევის თვალსაზრისით. შედარებით უკეთ გამოკვლეული ობიექტების (Mrk 421, Mrk 501 და ა.შ) შემთხვევაშიც კი ეს კვლევები ჩატარდა საკმაოდ შეზრუდული დროითი ინტერვალისათვის და მათში ყურადღება ძირითადად გამახვილებული იყო ბლანზართა ანთებებით ეპოქებზე, მაშინ როდესაც შუალედური და დაბალი ნაკადების შესაბამისი ეპოქები ნაკლებად იყო შესწავლილი. გარდა ამისა, მათში აქცენტი ძირითადად გადატანილი იყო სპექტრის სხვადასხვა უბანში არსებულ ცვალებადობებს შორის კორელაციების ძიებაზე, ცვალებადობის მახასიათებელი პარამეტრები (მაგ. სიკაშკაშის ცვალებადობის ამპლიტუდა და ხანგრძლივობა, მინიმალური და მაქსიმალური სიკაშკაშეები და ა.შ) კი დეტალურად კი არ იქნა გამოკვლეული, ხოლო ის კვლევები, სადაც ყურადღება გამახვილებული იყო მხოლოდ გამოსხივების ცვალებადობის შესწავლაზე, ისინი კონკრეტული ბლანზარებისთვის ჩატარებული იქნა სპექტრის სხვადასხვა ინტერვალში და ვერ ხერხდება თითოეული მათგანის შემთხვევაში მიღებული ცვალებადობის მახასიათებელი პარამეტრების ერთმანეთთან დაკავშირება. ეს კი საშუალებას არ გვაძლევს შევექმნათ გრძელი და დეტალური „ისტორია“ ბლანზართა მაღალენერგიული გამოსხივების ცვალებადობის შესახებ. ჩვენი კვლევის შემთხვევაში კი, მოცემული მიმართულებით განხორციელდა მნიშვნელოვანი პროგრესი გასული ხუთი წლის განმავლობაში და იგეგმება კიდევ უფრო სიღრმისეული შესწავლა მომდევო პერიოდის განმავლობაში.

ქვე-ამოცანა 2. ხანმოკლე რენტგენული ანთებებისა და მიკროცვალებადობების კვლევა. როგორც წესი, ცვალებადობის ამპლიტუდა იზრდება მაღალი სიხშირეების მიმართულებით ანუ მათი აღმოჩენა უფრო ადვილად შეგვიძლია რენტგენულ და გამა დიაპაზონებში, ვიდრე რადიო-ულტრაიისფერში და მათი ხანგრძლივობებიც კლებულობს გამოსხივების სიხშირის ზრდასთან ერთად. შესაბამისად, სწრაფ რენტგენულ ანთებებთან და მიკროცვალებადობებთან დაკავშირებული არაერთგვაროვნებების ზომები უფრო მცირე იქნება, ვიდრე გრძელტალღოვანი ცვალებადობების გამომწვევი არაერთგვაროვნებებისა და, ამრიგად, ხანმოკლე რენტგენული ცვალებადობების შესწავლა საშუალებას გვაძლევს ჯეტის ფაქიზი სტრუქტურის შესწავლის საშუალებას.

ამოცანა 4. მრავალსიხშირულ კორელაციის კვლევა: უკავშირდება პრობლემებს 2-3 და მისი შედეგები საჭიროა შემდეგი ამოცანისათვის. ბლანზარების ფიზიკის კვლევის თვალსაზრისით უადრესად მნიშვნელოვანია სპექტრის სხვადასხვა უბანში გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ნაკადების ცვალებადობებს შორის კორელაციის შესწავლა, რაც საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ, თუ გამოსხივების გენერირების ორ სხვადასხვა სავარაუდო მექანიზმს – ლეპტონური და ადრონული – შორის რომელია უფრო მნიშვნელოვანი. პირველი მოდელის მიხედვით, მაღალენერგიული გამოსხივების გენერაცია ხდება ძირითადად ჯეტის შემადგენელი ნივთიერების ელექტრონულ-პოზიტრონული კომპონენტის მეშვეობით, ხოლო ადრონული მექანიზმის მიხედვით კი გადამწყვეტ როლს ასრულებს პროტონულ – ელექტრონული კომპონენტი. პირველ შემთხვევაში მოსალოდნელია სპექტრის სხვადასხვა უბანში გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ნაკადების ცვალებადობებს შორის კორელაცია, ხოლო მეორე მექანიზმის შემთხვევაში კი კორელაცია არ უნდა დაიკვირვებოდეს. ამ მიმართულებით მიმდინარეობს კვლევები, თუმცა

საკითხის პრობლემის ამოწურვამდე ჯერ კიდევ ბევრი კვლევებია ჩასატარებელი (რაც შეიძლება დიდი რაოდენობით ობიექტების მიმართ, რათა გამოკვეთილი იქნას სტატისტიკური სურათი). გარდა რენტგენული და გამა დაკვირვებებისა, მრავალსიხშირული გამოსხივების ცვალებადობებს შორის კორელაციის არსებობის შესასწავლად ვიყენებთ შედარებით გრძელტალღოვანი დიაპაზონებისათვის არსებულ შედეგებსაც: ამჟამად, Swift–ზე არსებული UVOT ტელესკოპის მეშვეობით მიღებულია დიდი რაოდენობით დაკვირვებითი მასალა ულტრაიისფერი და ოპტიკური ოპტიკური უბნების სხვადასხვა "ფერებში". გარდა ამისა, ხელმისაწვდომია SMARTS, CATALINA, Steward Observatory, REM ტელესკოპების მეშვეობით მიღებული მასალა. როგორც ავლნიშნეთ, ოპტიკურ დიაპაზონში დაკვირვებითი მასალის მიღება კი ასევე შესაძლებელია აბასთუმნის ობსერვატორიის დაგეგმილი ტელესკოპის მეშვეობით.

ამოცანა 5. ექსპერიმენტული შედეგების ინტერპრეტაცია: უკავშირდება პრობლემებს 2–4 და აუცილებელია მაღალი დონის სტატიების მომზადებისათვის. მაღალი დონის კვლევის ჩატარებისათვის მიზნით, საჭიროა SED-მოდელირების განხორციელება, რაც საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ აქტიური გულის გამოსხივების ზონების აღმწერი ფიზიკური პარამეტრების მნიშვნელობები (ზომები, ფორმა, მოძრაობის სიჩქარე და ორიენტაცია დამკვირვებლის მიმართ, ნივთიერების სიმკვრივე, ლეპტონურ–ადრონული შემადგენლობა, მაგნიტური ველის სიმძლავრე და გეომეტრია), ასევე საჭიროა დავადგინოთ ნაწილაკთა ენერგიების მიხედვით განაწილების ფუნქციონალურ სახე, სხვადასხვა სპექტრული პარამეტრის მნიშვნელობები, ავადგინოთ მათ განაწილებები და განვხორციელოთ სტატისტიკური კვლევა ბლაზართა ჯეტებში არსებული ფიზიკური პირობების, აჩქარების მექანიზმების, ტურბულენტობის სიმძლავრისა და სპექტრის, არაერთგვაროვნებების ტიპური სივრცული მასშტაბების შესახებ, შემოვსაზღვროთ ნაწილკთა აჩქარებისა და "გაცივების" დროითი მასშტაბები; მოვახდინოთ დაკვირვებული სიკაშკაშის მრუდების შედარება მოდელირების შედეგად მიღებულ მრუდებთან (რომლებიც ემყარებიან სიკაშკაშის ცვალებადობის სხვადასხვა შესაძლო ფიზიკურ მექანიზმს; იხ. ამოცანა 3).

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

შენიშვნა: საჭიროა ყველა ამოცანის შესაბამისი კვლევების პარალელურ რეჟიმში განხორციელება მთლიანი საპროექტო პერიოდის განმავლობაში – კვლევის მიზნებიდან გამომდინარე და მაღალი დონის სტატიების მოსამზადებლად.

ამოცანა 1. „საკვლევ ობიექტთა მაღალენერგიული სიკაშკაშის მონიტორინგი“

ამოცანის მიზანი: მივიღოთ ახალი დაკვირვებითი მასალა და გამოვავლინოთ საკვლევ ობიექტთა მაღალენერგიული ანთებები.

სამუშაოს აღწერა: მოხდება TOO–დაკვირვებების ორგანიზება თანამგზავრ Swift-ის ინსტრუმენტების მეშვეობით, რაც საშუალებას მოგვცემს. განხორციელებთ ყველა საკვლევ ობიექტისათვის მთლიანი საპროექტო პერიოდის განმავლობაში. თითოეული ობიექტის მონიტორინგს, Swift-ის მიერ მათი "ხილვადობის" პირობებში ვაწარმოებთ მათი სიკაშკაშის მდგომარეობის განურჩევლად – საჭიროა ობიექტის ხანგრძლივი ცვალებადობის შესასწავლად. თუ ამ პერიოდის დადგომისას არ გვაქვს ინფორმაცია ობიექტის ანთების შესახებ (მოწოდებული FACT და MAGIC გუნდის მიერ, ან სხვა მკვლევართა ასტრო–ტელეგრამების მეშვეობით, რომლებიც მყისიერად მოდის მეილზე), ვითხოვთ მის დაკვირვებას 4–დღიანი ინტერვალებით. ყოველი დაკვირვებით მიღებული მასალა დასრულებიდან რამდენიმე საათის განმავლობაში განთავსდება ვებ–გვერდზე <https://swift.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/sdc/ql>, რომელსაც ოპერატიულად დავამუშავებთ და

თუ გამოვლინდა სიკაშკაშის ზრდის ტენდენცია ან ანთება, წარვადგენთ მორიგ TOO–მოთხოვნას, რომ მოხდეს დაკვირვებების ორგანიზება 1–2–დღიანი ინტერვალებით; ვაქვეყნებთ შესაბამისი ინფორმაციისა და ინტენსიური მრავალსიხშირული დაკვირვებების რეკომენდაციის შემცველ ასტრო–ტელეგრამას. TOO–განაცხადების წარდგენა MAXI–ისა და NuSTAR–ის დაკვირვებებზე მოხდება მაშინ, როდესაც Swift–XRT–ს დაკვირვებების მეშვეობით ვაფიქსირებთ სინქროტრონული პიკის მდებარეობას ხისტ რენტგენულ უბანში ($E_p > 2$ keV); Fermi: ექსტრემალურად მძლავრი რენტგენული/გამა ანთება; FACT, OVRO და ახასთუმნის ობსერვატორიის დაგეგმილი ტელესკოპი – როდესაც საკვლევის ობიექტები განიცდიან რენტგენულ ანთებას. თუ ჩვენი TOO–დაკვირვებების პერიოდში ტერაელექტრონვოლტ დიაპაზონში აღმოუჩენელი ლაცერტდიდები უჩვენებენ რენტგენულ ანთებას და მცირე სპექტრულ სიმრუდეს ($b \sim 0.3$ ან ნაკლები), ჩვენ ვაგზავნით მოთხოვნებს FACT/MAGIC/VERITAS/HAWC ტელესკოპების მეშვეობით ინტენსიური დაკვირვებებზე, ვინაიდან ამ შემთხვევაში დიდია ობიექტის მიერ გამოსხივებული ტერაელექტრონვოლტ ფოტონების აღმოჩენის ალბათობა. განსაკუთრებული ყურადღება მიექცევა იმ ობიექტებს, რომლებიც ნაკლებად არიან დაკვირვებული Swift–ის მიერ და მათმა ნაკადმა გასული წლების განმავლობაში გადააჭარბა 0.5 ანათვალი/წამს (ასეთი ობიექტების რიცხვი რამდენიმე ათეულია). იმის გამო, რომ კვაზარები და სეიფერტის გალაქტიკები სტატისტიკურად გაცილებით მკრთალები არიან ბლაზარებთან შედარებით სპექტრის რენტგენულ და გამა უბნებში, ყურადღებას გავამახვილებთ მხოლოდ შედარებით კაშკაშა ობიექტებზე.

მოსალოდნელი შედეგი: TOO–დაკვირვებების შედეგად გამოვლენილი იქნება ბლაზართა ათეულობით მაღალენერგიული ანთება; მიღებული იქნება დიდი რაოდენობით დაკვირვებითი მასალა ელექტრომაგნიტური სპექტრის რენტგენულ, გამა, ულტრაიისფერ და ოპტიკურ დიაპაზონებში; მოხდება ატეულობით ასტროტელეგრამის გამოქვეყნება (www.astronomerstelegram.org/), რომელშიც აღწერილი იქნება ობიექტის სტატუსი და გაკეთდება რეკომენდაცია სპექტრის სხვადასხვა უბანში ინტენსიური დაკვირვებების წარმოების შესახებ; მომზადდება სტატიები მაღალრეიტინგული გამოცემებისათვის და საკონფერენციო მასალებისათვის, პრეზენტაციები მაღალი დონის საერთაშორისო კონფერენციებისა და ადგილობრივი მოხსენებებისათვის.

შესრულების პერიოდი: 2024–2028.

საანგარიშო მასალა: ასტროტელეგრამები.

ამოცანა 2. „მასალის დამუშავება და რენტგენული–გამა სპექტრული ანალიზის ჩატარება“

ამოცანის მიზანი: კვლევისათვის საჭირო ექსპერიმენტული შედეგების მიღება.

სამუშაოს აღწერა: ხდება მასალის მოძიება HEASARC–დან და ფერმის მონაცემთა არქივიდან; Swift–XRT, Swift–UVOT, NuSTAR, RXTE–PCA მასალის დამუშავებისათვის ვიყენებთ HEASOFT–ს და ტელესკოპის გუნდის მიერ რეკომენდებულ ყველა აუცილებელ პროცედურას, მონაცემთა გაფილტვრას და ინსტრუმენტული ეფექტების გამორიხვას; ვაგებთ სიკაშკაშის მრუდებს სხვადასხვა დროითი ბიჯებით და ვქმნით შესაბამის ცხრილებს (დაკვირვების მომენტი, გამოსხივების ნაკადი, ცდომილება); ვატარებთ რენტგენულ სპექტრულ ანალიზს XSPEC–ით, თანამგზავრის უახლესი საკალიბრაციო ბაზის გამოყენებითა და ყველა რეკომენდებული პროცედურის გავლით (დეტალები: [K2020], ნაწილი 2). ჩვენს მიზანს წამოადგენს სპექტრულ პარამეტრთა მნიშვნელობების, ფოტონთა და ნაწილაკთა ენერგიების მიხედვით განაწილების ფუნქციონალურ სახის (ხარისხოვანი, ლოგპარაბოლური) მიღება; ვადგენთ ფოტონთა წარმოშობას (სინქროტრონული, კომპტონის უკუ–გაბნევის, ადრონული მექანიზმების მეშვეობით). Fermi–LAT დაკვირვებებისათვის გამოიყენება პაკეტი ScienceTools, რომლითაც ვღებულობთ სპექტრული ინფორმაციას გამოსხივების ნაკადის მნიშვნელობასთან ერთად (დეტალები: [K2020], ნაწილი 2), ხოლო XMM–Newton–ისათვის

გამოიყენება პაკეტი Science Analysis System (SAS). რადიო-ოპტიკური, Swift-BAT, RXTE-ASM, MAXI ინსტრუმენტებით და ჩერენკოვის ტელესკოპებით მიღებული, მაღალ დონეზე დამუშავებული მონაცემები შესაძლებელია ჩამოიტვირთოს შესაბამისი ვებ-გვერდებიდან (გარდა FACT-ისულისა, რომელიც დამუშავდება მათ მომპოვებელ ინსტიტუტში; ტუორლასა და OVRO ობსერვატორიების შედეგები მოგვეწოდება ჩვენი მოთხოვნის საფუძველზე). როგორც უკვე ავღნიშნეთ, მნიშვნელოვანია აბასთუმნის ობსერვატორიის დაგეგმილი ტელესკოპით მიღებული შედეგების ჩართვა მოცემულ კვლევაში და შესაბამისი "ნედლი" მასალის დამუშავება მოხდება IRAF პაკეტის გამოყენებით.

მოსალოდნელი შედეგი: სხვადასხვა დროითი ბიჯით აგებული მრავალსიხშირული სიკაშკაშის მრუდები; რენტგენულ-გამა სპექტრული ინფორმაცია.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028

საანგარიშო მასალა: გამოქვეყნებული/დასაბეჭდად მიღებული/წარდგენილი სტატიები, ასტროტელეგრაფები, მივლინების/კონფერენციებში მონაწილეობის ანგარიშები და პრეზენტაციები.

ამოცანა 3. „რენტგენული და გამა-გამოსხივების ნაკადისა და სპექტრული ცვალებადობის კვლევა“

ამოცანის მიზანი: გამოვავლინოთ საკვლევ ობიექტთა მაღალენერგიული ცვალებადობა და განვსაზღვროთ მათი მახასიათებლები.

სამუშაოს აღწერა: (ა) ხანგრძლივი (თვეების რიგის დროითი მასშტაბები) და ხანმოკლე (რამდენიმე დღე – კვირები) ანთებების, დღე-ღამური (24 საათის განმავლობაში მომხდარი) ცვალებადობის გამოვლენა 3σ სანდოობის დონეზე χ^2 -სტატისტიკისა და სხვადასხვა დროითი ბიჯით აგებული სიკაშკაშის მრუდების გამოყენებით; მონაცემთა ხარისხი: ობიექტის დაფიქსირება $\geq 3\sigma$ სანდოობის დონეზე; მრავალ-ორბიტიანი Swift-XRT დაკვირვების "დაქუცმაცების" და თითოეული ორბიტისათვის დამუშავება-ანალიზის ჩატარების ჩვენეული მეთოდი საშუალებას გვაძლევს ავიცილოთ ცრუ-ცვალებადობის დაფიქსირება; ჩვენს მიზანს წარმოადგენს გამოვთვალოთ სიკაშკაშის ცვალებადობის ფარდობითი ამპლიტუდა F_{var} , ცვალებადობის (სიკაშკაშის ზრდის და/ან კლების) დროითი მასშტაბი (t_{var} , რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია გამოსხივების ზონის l სივრცული მასშტაბის შეფასება: $l \leq ct_{var}$). t_{var} -ის განსაზღვრა ხდება სიკაშკაშის გაორმაგების/განახევრების დროითი მასშტაბის [S2013]), ან ანთების პროფილის განმსაზღვრელი ფორმულის (იხ. [A2010]) გამოყენებით, სადაც T_r და T_d შესაბამისად წარმოადგენენ სიკაშკაშის ზრდისა და კლების დროით მასშტაბებს (ჩვენეული სიახლე: ამ დროითი მასშტაბების რეალურობის შემოწმება მონტე-კარლოს სიმულაციების გამოყენებით). მოხდება პერიოდული ცვალებადობის ძიება – აიხსნება ცენტრალური ორჯერადი შავი ხვრელის და მასთან დაკავშირებული ჯეტის პრეცესიის არსებობით (როდესაც პერიოდი შეადგენს რამდენიმე წელს), ან ჯეტის ჰელიკალური სტრუქტურით (უფრო ხანმოკლე პერიოდი); მეთოდები: სიმულაციებზე დამყარებული ლომბ-სქარგლის პერიოდოგრამა (LSP) და Weighted Wavelet Z-transform (WWZ); ხანგრძლივი ანთებების შემთხვევაში შევისწავლით ცვალებადობის ხასიათს (პერიოდული თუ ირეგულარული) და შემდეგ თითოეული ანთებისათვის ვადგენთ მის დროით მასშტაბს (ან პერიოდს), გამოსხივების ნაკადის მინიმალურ და მაქსიმალურ მნიშვნელობებს, ამპლიტუდას, ნაკადის ცვალებადობის ჯერადობას, სიკაშკაშის გაორმაგებისა და განახევრების უსწრაფეს დროით მასშტაბებს, ნაკადის ცვალებადობის ჯერადობას (მაქსიმალური და მინიმალური ნაკადების ფარდობა), სპექტრული პარამეტრების (ხისტი და რბილი რენტგენული ნაკადები, ფოტონთა სპექტრული ინდექსი,

სიხისტის მაჩვენებელი, SED-is მაქსიმუმის მდებარეობა) ცვალებადობას მოცემული ანთების მსვლელობისას. ასევე მნიშვნელოვანია ანთების ევოლუციის კვლევა ფარდობების სიხისტის მაჩვენებელი-გამოსხივების ნაკადი ან ფოტონთა ინდექსი – ნაკადი "სიბრტყეებში", რაც შესაძლებელს გახდის ერთმანეთს შევადაროთ მოცემული ანთების მსვლელობისას არსებულ ნაწილაკთა (ელექტრონები) აჩქარებისა და მათი შემდგომი „გაცივების“, ასევე ნაკადის ცვალებადობის დროითი მასშტაბების თანაფარდობა იმის მიხედვით თუ ამ "სიბრტყეებში" დაიკვირვება ანთების ევოლუცია საათის ისრის მოძრაობის (CW–"მარყუჭი") ან საპირისპირო (CCW–"მარყუჭი") მიმართულებით. გარდა ამისა, ჩვენ გამოვიყენებთ power-spectral-density (PSD) მეთოდს ცვალებადობის დროითი მასშტაბის დასადგენად, [A2018]–ისეულ "რეცეპტს" უმცირესი დროითი მასშტაბის გამოსათვლელად და "Light-travel"–მეთოდს ჯეტის არაერთგვაროვნებებისა და "ბურთების" ზომების შესაფასებლად; (ბ) რენტგენული სპექტრული პარამეტრების (ფოტონ–ინდექსი, სიმრუდე, სინქროტრონული პიკის მდებარეობა) ცვალებადობის შესწავლა სხვადასხვა დროით მასშტაბებში - გამოიკვეთება მისი გამომწვევი ძირითადი ფიზიკური ფაქტორი (ტურბულენტობის სპექტრის, ელექტრონთა საშუალო ენერჯის, მაგნიტური ველის სიმძლავრის, ბიმინგის ცვალებადობა) სინქროტრონული პიკის სიმაღლესა და მდებარეობას შორის დამოკიდებულებით $S_p \propto E_p^\alpha$ იმის მიხედვით, თუ როგორი მნიშვნელობა ექნება α -პარამეტრს (შესაბამისად, 0.6, 1, 1.5, 2); ანთების ევოლუციის შესწავლა სიბრტყეზე სიხისტის მაჩვენებელი – სიკაშკაშე, რაც გვაძლევს ნაწილაკთა აჩქარების, სინქროტრონული "გაცივებისა" და სიკაშკაშის ცვალებადობის დროით მასშტაბებს შორის ურთიერთდამოკიდებულების შეფასებებს (დეტალური ინფორმაცია და "რეცეპტი": [K2016], ნაწილი 5.4); (გ) ნაწილაკთა აჩქარების ყველაზე ალბათური ფიზიკური მექანიზმების გამოკვეთა, რისთვისაც ვაგებთ სპექტრული პარამეტრების მნიშვნელობათა განაწილებებს და ვემბთ მათ შორის კორელაციას, რაც ასევე მნიშვნელოვანია ჯეტის ლეპტონურ–ადრონული შემადგენლობის, სპექტრული ცვალებადობის გამომწვევი დომინანტი მექანიზმის დასადგენად (დეტალები: [K2020], ნაწილი 4.3). ვიყენებთ: ფერმის მეორე რიგის აჩქარებას, როდესაც დაიკვირვება დაბალი სპექტრული სიმრუდე, $E_p - b$ ანტი–კორელაცია და რადიო–უტრაიისფერი სიკაშკაშის კლება რენტგენული ანთებისას; ფერმის პირველი რიგის აჩქარება - შედარებით დიდი სპექტრული სიმრუდე და $a - b$ კორელაცია (a : ლოგპარაბოლური ფოტონ–ინდექსი); რელატივისტური მაგნიტური "გადაერთება", როდესაც მოცემული რენტგენული ანთებისას უპირატესად დაიკვირვება ხისტი ხარისხოვანი სპექტრები ([K2020], ნაწილი 4.3).

მოსალოდნელი შედეგი: გამოვლინდება დიდი რაოდენობით ხანგრძლივი და ხანმოკლე ანთებები, დღედამეზე ხანმოკლე სიკაშკაშის/დროში ცვალებადობები, მოხდება მათი მახასიათებლების შესწავლა (პერიოდულობა/ირეგულარულობა, დროითი მასშტაბები, ამპლიტუდები, ანთებათა "პროფილები"; გამოვლინდება სიკაშკაშის გაორმაგების მინიმალური დროითი მასშტაბები (იმლევინ განმოსხივებელი არის ზომების შეფასების საშუალებას, [S2013]), ბლაზართა სპექტრული თვისებები და მათი ევოლუცია ანთებათა მსვლელობისას (რომელიც მნიშვნელოვანია ანთების "წარმომავლობის" დასადგენად).

შესრულების პერიოდი: 2024-2028

საანგარიშო მასალა: გამოქვეყნებული/დასაბეჭდად მიღებული/წარდგენილი სტატიები, ასტროტელეგრაფები, მივილინების/კონფერენციებში მონაწილეობის ანგარიშები და პრეზენტაციები.

ამოცანა 4. „მრავალსიხშირულ კორელაციის კვლევა“

ამოცანის მიზანი: საკვლევი ობიექტების მიერ სპექტრის სხვადასხვა დიაპაზონში ნაჩვენებ ცვალებადობებს შორის კორელაციების არსებობის დადგენა.

სამუშაოს აღწერა: მრავალსიხშირულ ცვალებადობათა ურთიერთკორელაციას ვეძებთ 99% სანდოობის დონეზე, ორი სხვადასხვა სპექტრული დიაპაზონიდან აღებული "თანადროული" გამოსხივების ნაკადების მეშვეობით აგებული "გაბნევის სიბრტყეების" გამოყენებით და კორელაციის კოეფიციენტების გამოთვლის გზით). [Max2014]-ში არსებული "რეცეპტი" ვაგებთ LCCF-ფუნქციას და ვიყენებთ მას მრავალსიხშირულ ცვალებადობათა შორის არსებული დროში წანაცვლების გამოსათვლელად (მნიშვნელოვანია ჯეტის ფიზიკური პარამეტრების შემოსაზღვრისათვის). შედეგად, ვარგისი იქნება ერთ-ზონიანი SSC-მოდელი, როდესაც სახეზეა კორელაციაში მყოფი მრავალსიხშირული ცვალებადობა. წინააღმდეგ შემთხვევაში შევარჩევთ მრავალზონიან-SSC, გარე-კომპტონულ და ადრონულ მოდელებს (SED-მოდელირების გზით; იხ. შემდეგი ამოცანა).

მოსალოდნელი შედეგი: დასკვნები საკვლევი ობიექტების მიერ სპექტრის სხვადასხვა დიაპაზონში ნაჩვენებ ცვალებადობებს შორის კორელაციების არსებობის შესახებ.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028

საანგარიშო მასალა: გამოქვეყნებული/დასაბეჭდად მიღებული/წარდგენილი სტატიები, ასტროტელეგრაფები, მივლინების/კონფერენციებში მონაწილეობის ანგარიშები და პრეზენტაციები.

ამოცანა 5. „ექსპერიმენტული შედეგების ინტერპრეტაცია“

ამოცანის მიზანი: მაღალ ენერგიებზე გამოსხივებისა და სიკაშკაშის/სპექტრული ცვალებადობის გამომწვევი მექანიზმების გამოკვლევა; "გამოსხივების ზონის" მახასიათებელი ფიზიკური პარამეტრების მნიშვნელობათა მიღება.

სამუშაოს აღწერა: (ა) მაღალენერგიული ანთებების თეორიული კვლევა: (i) "shock-in-jet" მოდელის მიხედვით, როდესაც დაიკვირვება ხანგრძლივი ანთება და მასთან დაკავშირებული მეორადი, შედარებით მცირე-ამპლიტუდიანი ანთებები და დღე-ღამური ცვალებადობები [SMM04]; პირველ რიგში, მოვახდენთ ჯეტში დარტყმითი ტალღის გავრცელებით გამოწვეული ხანგრძლივი ცვალებადობის მოდელირებას (ჯეტისა და ტალღის მახასიათებელი ფიზიკური პარამეტრების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის) და მოვახდენთ "მორგებას" დაკვირვებულ სიკაშკაშის მრუდზე. უფრო ხანმოკლე ცვალებადობების მოდელირებას მოვახდენთ ტალღის ფრონტისა და ჯეტის არაერთგვაროვნებას შორის ურთიერთქმედების სახით. არაერთგვაროვნების აღწერისათვის გამოვიყენებთ ტურბულენტობის სხვადასხვა სპექტრს (კოლმოგოროვის, კრაიხნანის, "ხისტ-სფეროვანი"). ჯეტში ძლიერი ტურბულენტობის არსებობის დამადასტურებელი გარემოებაა ისეთი რენტგენული სპექტრების დაფიქსირება, რომლებიც ხასიათდებიან შედარებით დაბალი სიმრუდით (სიმრუდის პარამეტრი $b \sim 0.3$ და უფრო მცირე), ასევე სიკაშკაშის ძლიერი ფლუქტუაციის აღმოჩენა ერთ საათზე ნაკლებ დროით მასშტაბებში [K2018b]; (ii) "დაჯახებადი პლაზმური სფეროების" მოდელი, როდესაც ობიექტი არ განიცდის ხანგრძლივ ანთებას და ამგვარ სიტუაციაში ფიქსირდება ხანმოკლე ცვალებადობები, ან ობიექტი უჩვენებს ორპიკიან ხანმოკლე ანთებას – სფეროების შეჯახების შედეგად ჯეტში ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით ორი დარტყმითი ტალღის გავრცელებს გამო; საუკეთესო "მორგების" შესაბამის ჯეტისა და ტალღის მახასიათებელ პარამეტრების მნიშვნელობებს გამოვიყენებთ ინტერპრეტაციისათვის (ისევე, როგორც (i) შემთხვევაში); (iii) ჯეტისა და გალაქტიკური ვარსკვლავის ურთიერთქმედება, რომელმაც Femi-LAT დაკვირვებებში შეიძლება თავი იჩინოს "რბილი"-გამა-ექსცესის სახით 2 გეე-ზე დაბალ ენერგიებზე

[K2020]. ვაგებთ SED-ს და და ვახდენთ მის მოდელირებას SSC-"სცენარის" მიხედვით ([TB2019]-ში არსებული რეცეპტის გამოყენებით) და ვაფასებთ ურთიერთქმედებისას ჯეტში წარმოქმნილი მაღალენერგიული პლაზმის "სფეროს" ფიზიკური პარამეტრების შეფასებას; (iv) დისკურ არასტაბილურობების გავლენა ჯეტზე: მრავალსიხშირული გამოსხივების ნაკადების ლოგ-ნორმალური განაწილების ძიება: ჰისტოგრამების აგება და მათზე სხვადასხვა ფუნქციის "მორგება" ([R2019]-ის მიხედვით, მასში არსებული ინტერპრეტაციის გამოყენებით); (v) სეიფერტის გალაქტიკების და კვაზარებისათვის იმ ნაწილისათვის, რომლებიც არ შედიან ბლაზართა შემადგენლობაში, სიკაშკაშის ცვალებადობის ძირითადი ჰიპოთეზა უკავშირდება მათი აკრეციული დისკების იმ ნაწილებში მიმდინარე არასტაბილურ პროცესებს, რომლებზე ყველაზე ახლოს არიან ჰიპოთეტურ ცენტრალურ შავ ხვრელთან და ცვალებადობის მახასიათებელი პარამეტრების მემუვობით შესაძლებელია დასკვნების გაკეთება მოცემული კლასების ობიექტთა შავი ხვრელების მასებისა და ამ უკანასკნელებზე მასების აკრეციის სიჩქარის შესახებ. **(ბ)** SED-მოდელირება: SED-ის აგება ხდება $\log v - \log v F_\nu$, სახით, რისთვისაც გამოიყენება თანადროული, მრავალსიხშირული გამოხივების ნაკადები და ნაწილაკთა ენერგიების განაწილების ის ფუნქციონალური ფორმა, რომელი ამაჩქარებელი მექანიზმის დომინაცია გამოიკვეთება მოცემული რენტგენული ანთების დროს (ამოცანა 5გ). ხდება ერთ-ზონიანი SSC მოდელის გამოყენება, როდესაც სახეზეა ურთიერთკორელაციაში მყოფი მრავალსიხშირული ცვალებადობა ([F2008]-ს მიხედვით); მრავალზონიანი SSC ([Marcher2014]), EC ([Finke2016]) და ადრონული ([Böttcher2013]) მოდელები, როდესაც არ დაიკვირვება კორელაცია; ჩვენს მიერ შემოტანილი ინოვაციები: გამოსხივების ზონის სხვადასხვა გეომეტრიის გამოყენება; ნაწილაკთა ლოგპარაბოლური "ინექცია" (როდესაც ობიექტი უჩვენებს სპექტრულ სიმრუდეს); SED-ზე სხვადასხვა მოდელის მეშვეობით გამოთვლილი გამოსხივებების კომბინაციის მორგება. მრავალსიხშირული კორელაციის არსებობის შემთხვევაში, ჩვენ შევარჩევთ ანთების ეპოქის შესაბამის რომელიმე SED-ს და მოვახდენთ მასზე ერთზონიანი SSC სცენარის მიხედვით მიღებული მოდელირებული SED-ის "მორგებას". თუ მოცემული ანთების დროს სპექტრები საზოგადოდ უჩვენებენ გამრუდებას, გამოვიყენებთ აჩქარებულ ნაწილაკთა ლოგარითმულ-პარაბოლურ განაწილებას ენერგიების მიხედვით ("ნაწილაკთა ლოგარითმულ-პარაბოლური ინექცია გამოსხივების), წინააღმდეგ შემთხვევაში კი გამოვიყენებთ ხარისხოვან განაწილებას ("ხარისხოვანი ინექცია"). დარტყმითი ტალღის შესაბამისი დოპლერის δ მამრავლის, მაგნიტური ველის B სიმძლავრის, ელექტრონთა მინიმალური და მაქსიმალური ენერგიების (შესაბამისად, γ_{min} და γ_{max}), მოცულობის ერთეულში არსებულ ელექტრონთა n რაოდენობის (რომლებიც ასხივებენ სპექტრის მოცემულ უბანში) სხვადასხვა მნიშვნელობების გამოყენების შედეგად საბოლოო ჯამში შევარჩევთ ისეთ მოდელირებულ SED-ს, რომლის დაბალენერგიული და მაღალენერგიული ნაწილები ოპტიმალურად "მოერგებიან" დაკვირვებული SED-ის სინქროტრონულ და IC ნაწილებს. ამის შემდგომ, ანალოგიურ პროცედურას ჩავატარებთ ანთების პროცესში ჩატარებული სხვა დაკვირვებების შესაბამისი SED-ებისთვისაც. ამ მეთოდის გამოყენებით ჩვენ შევძლებთ თვალი გავადევნოთ n , δ , γ_{min} , γ_{max} , B პარამეტრთა მნიშვნელობების ევოლუციას ანთების პროცესში. თუ ხანგრძლივ ანთებაზე "ზედდებულია" ხანმოკლე ანთება, ზემოთხსენებული პროცედურისათვის გამოვიყენებთ მხოლოდ ამ უკანასკნელის წინარე და შემდგომ დაკვირვებებს, ხოლო იგივე კვლევას მოცემული ხანმოკლე ანთებისათვის ცალკე განვახორციელებთ. მაგრამ თუ ხანმოკლე ანთება დაფიქსირდა ობიექტის სიკაშკაშის მინიმუმის მდგომარეობაში, მაშინ მის მოდელირებას მოვახდენთ ჯეტის "ფუძეში" სხვადასხვა სიჩქარით შესული ორი "გარსის" შეჯახების სცენარის საფუძველზე.

მოსალოდნელი შედეგი: ჩვენს მიერ დაგეგმილი SED-მოდელირება საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ აქტიური გულის გამოსხივების ზონების აღმწერი ფიზიკური პარამეტრების მნიშვნელობები (ზომები, ფორმა, მოძრაობის სიჩქარე და ორიენტაცია დამკვირვებლის მიმართ, ნივთიერების სიმკვრივე, ლეპტონურ-ადრონული შემადგენლობა, მაგნიტური ველის სიმძლავრე და გეომეტრია), ასევე დავადგენთ ნაწილაკთა ენერგიების მიხედვით განაწილების ფუნქციონალურ

სახეს, სხვადასხვა სპექტრული პარამეტრის მნიშვნელობებს, ავაგებთ მათ განაწილებებს და გავაკეთებთ სტატისტიკური ხასიათის დასკვნებს ბლაზართა ჯეტებში არსებული ფიზიკური პირობების, აჩქარების მექანიზმების, ტურბულენტობის სიმძლავრისა და სპექტრის, არაერთგვაროვნებების ტიპური სივრცული მასშტაბების შესახებ, შემოვსაზღვრავთ ნაწილკთა აჩქარებისა და "გაცივების" დროით მასშტაბებს. დადგინდება დაბალენერგიული "სამიზნე" ფოტონების წარმოშობა და ენერჯის დიაპაზონები; ჯეტის ნაწილაკური შემადგენლობა (ლეპტონური და ადრონული "წილები", ენერჯის დიაპაზონები და მისი განაწილების ფუნქციონალური სახე), გამოსხივების ზონის ფიზიკური მახასიათებლები (სიჩქარე და სივრცული მასშტაბები, მატერიის სიმკვრივე, მაგნიტური ველი, დაშორება ცენტრალურ შავი ხვრელიდან, ორიენტაცია დამკვირვებლის მიმართ); ; (გ) ნაწილაკთა აჩქარების ყველაზე ალბათური ფიზიკური მექანიზმების გამოკვეთა, რისთვისაც ვიყენებთ: ფერმის მეორე რიგის აჩქარებას, როდესაც დაიკვირვება დაბალი სპექტრული სიმრუდე, $E_p - b$ ანტი-კორელაცია და რადიო-უტრაიისფერი სიკაშკაშის კლება რენტგენული ანთებისას; ფერმის პირველი რიგის აჩქარება - შედარებით დიდი სპექტრული სიმრუდე და $a - b$ კორელაცია (a : ლოგპარაბოლური ფოტონ-ინდექსი); რელატივისტური მაგნიტური "გადაერთება", როდესაც მოცემული რენტგენული ანთებისას უპირატესად დაიკვირვება ხისტი ხარისხოვანი სპექტრები [K2020].

შესრულების პერიოდი: 2024-2028

საანგარიშო მასალა: გამოქვეყნებული/დასაბეჭდად მიღებული/წარდგენილი სტატიები, ასტროტელეგრამები, მივილინების/კონფერენციებში მონაწილეობის ანგარიშები და პრეზენტაციები.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

მოსალოდნელი შედეგები თითოეული წლის განმავლობაში:

- ორი სტატიის სტატიის მომზადება და წარდგენა იმპაქტ-ფაქტორიან საერთაშორისო ასტრონომიულ გამოცემებში.
- 10-ზე მეტი ტელეგრამის გამოქვეყნება.
- მონაწილეობა მინიმუმ ერთი მაღალი დონის საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაში.

როგორც წესი, ჩვენს ექსპერიმენტული კვლევის შესაბამისი დიდი მოცულობის ცხრილებიდან სტატიაში შედის მხოლოდ ამონარიდი, ხოლო სრულად ქვეყნდება მხოლოდ ონლაინ-კატალოგის სახით პორტალზე VizieR (სტრასბურგის მონაცემთა ბაზა; იხ. <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>). ამგვარი კატალოგები საშუალებას მისცემს სხვადასხვა სფეროს მკვლევარებს (როგორც საქართველოში, ისე საერთაშორისო მასშტაბით; იხ. ქვემოთ), რომ გამოიყენოთ ჩვენი ექსპერიმენტული შედეგები მათ კვლევებში, თვით პუბლიკაციაში არსებულ ანალიზურ შედეგებთან და თეორიულ ინტერპრეტაციასთან ერთად.

საპროექტო კვლევის შედეგები იქნება ინტერდისციპლინარული და მნიშვნელოვანი რამდენიმე სამეცნიერო მიმართულებისათვის: (1) გარეგანაქტიური ასტრონომია – სამომავლოდ, ბლაზარების გარდა, ვგეგმავთ ანალოგიური კვლევის განხორციელებას გალაქტიკათა აქტიური გულეების სხვა ქვე-კლასებისთვისაც, რომ მივიღოთ მაღალენერგიული პროცესების სიღრმისეული და განზოგადებული სურათი; (2) ადრონული მექანიზმის "კვალის" გამოვლენა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კოსმოსური სხივების ფიზიკისათვის - ბლაზარის ჯეტში იარსებებს ულტრა-რელატივისტურ პროტონთა "პოპულაცია", რომელიც შეიძლება აღმოჩნდეს დედამიწის ატმოსფეროში შემომავალი ძალიან მაღალენერგიული კოსმოსური სხივების წყარო. ჩვენი კვლევა ნათელს გახდის, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია ექსტრემალური აქტიური გულეებისათვის, ეს

კომპონენტი მაღალენერგიულ ანთებების დროს, რომ მოხდეს მეტი კონცენტრაცია ამ ობიექტთა მიმართ Pier Auger Observatory, HAWC და სხვა კოსმოსური სხივების ობსერვატორიების მიერ; (3) რადგანაც ცენტრალურ "ძრავად" ფართოდაა მიღებული 10^8 - $10^9 M_{\odot}$ მასის შავი ხვრელები, დაგეგმილი კვლევის შედეგები მნიშვნელოვანი იქნება ზემასიურ შავ ხვრელებთან დაკავშირებული თემატიკისათვის. მაგალითად, ჯეტების კოლიმაციისა და აჩქარების ერთერთი ყველაზე სავარაუდო მექანიზმს წარმოადგენს ბლენფორდ-ზნაიევის პროცესი, რის გამოც ჯეტების ენერგია დაკავშირებული იქნება შავი ხვრელის ფიზიკურ თვისებებთან; (4) მაღალი ენერგიებისა და რელატივისტური ასტროფიზიკა – რელატივისტური ჯეტებისა და აკრეციული დისკების თვისებები, მათში მიმდინარე არასტაციონარული პროცესები და მათ მიერ გამოწვეული ტურბულენტობების, დარტყმითი ტალღებისა და ფერმის აჩქარების პროცესების მახასიათებლები; ენერგიის გენერაციის პროცესები მაღალენერგიულ პლაზმაში; სინქროტრონული, კომპტონის უკუ-გაბნევისა და ადრონული პროცესების თვისებები.

2.6. დამატებითი ინფორმაცია

კვლევის თემატიკასთან დაკავშირებული, მაღალ-იმპაქტიან გამოცემებში წარდგენილი სტატიების რეფერირება (პროექტის ხელმძღვანელი)

გამოცემა Galaxies სარედაქციო კოლეგიის წევრობა (პროექტის ხელმძღვანელი)

III. გრავიტაციული ტალღების (GW) ოპტიკური შესატყვისების ძიება GRANDMA კოლაბორაციის ფარგლებში
(ხელმძღვანელი - ნ. ყოჩიაშვილი და რ.ინასარიძე)

1.1. კვლევის მიმართულება: დამზერითი ასტრონომია/ასტროფიზიკა, გრავიტაციული ასტრონომია.

1.2. სტრუქტურული ერთეული: მზისა და მზის სისტემის განყოფილება; გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების განყოფილება.

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	ნინო ყოჩიაშვილი	უფრ. მეცნ. თან.	PhD	პროექტის ხელმძღვანელი, ყანობილი
2	რაგული ინასარიძე	უფრ. მეცნ. თან.	PhD	პროექტის ხელმძღვანელი, ყანობილი
3	რეზო ნაცვლიშვილი	მეცნ. თან.	PhD	დაკვირვებები, ყანობილი
4	ვოვა აივაზიანი	მეცნ. თან.	MSc	დაკვირვებები, ყანობილი
5	სოფია ბერაძე	ასისტენტ მკვლევარი	MSc	მონაცემთა პირველადი დამუშავება, ყანობილი

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	სამუშაო ოთახი	4	ყანობილი
2	სამუშაო ადგილი	5	ყანობილი
3	კომპიუტერი	5	ყანობილი
4	პრინტერი	1	ყანობილი
5	70 სმ მენისკური ტელესკოპი	1	2024-2028, მთელი წელი, შეტყობინების (ალერტის) დროს, ღამეში 4 საათი
6	1.5 მ ტელესკოპი, 2024 (2025) წლიდან, მას შემდეგ, როცა შესაძლებელი იქნება დაკვირვება.	1	2024/2025-2028, მთელი წელი, შეტყობინების (ალერტის) დროს, ღამეში 4 საათი

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1	კომპიუტერის ეკრანი.	1500	1	1500	გვჭირდება დაკვირვების და მონაცემების დამუშავების დროს შეტყობინების (ალერტის) არეში ობიექტის გაიგივებისა და ფოტომეტრიის ჩატარების დროს; ასევე სხვა სამუშაოებისთვის. შესაძენია პროექტის პირველ წელს.
2	პრინტერი	400	1	400	შესაძენია პროექტის პირველ წელს.
3	საკანცელარიო საქონელი	100	5	500	ყოველდღიური სამუშაოებისთვის
			სულ:	2400	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

წელიწადში ერთი მივლინება საზღვარგარეთ კონფერენციებზე/GRANDMA-ს სემინარებზე დასასწრებად.

მიზანი: კონფერენციებზე დასწრება; მოხსენებების წარდგენა.

ხარჯები: ა) გზის ხარჯები; ბ) სასტუმრო; გ) დღიური ხარჯები; დ) ვიზის ხარჯები; ე) დაზღვევა.

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი)

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
2	შესყიდვა (> 500 ლ)	1500					1500
3	შესყიდვა (< 500 ლ)	500	100	100	100	100	900
4	მივლინება ქვეყნის გარეთ	2000	2000	2000	2900	2900	11800
5	სულ	4000	2100	2100	3000	3000	14200

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

თემის მნიშვნელობა. პროექტი ეხება ასტროფიზიკის ყველაზე ახალ მიმართულებას და აქტუალურ საკითხს - გრავიტაციული ტალღების წყაროებს და მათი ოპტიკური შესატყვისების დაკვირვებას. დაკვირვებები და კვლევა ჩატარდება ევგენი ხარაძის საქართველოს ეროვნულ ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში (შემდგომი აბასთუმნის ობსერვატორია), 70 სმ მენისკური და 1.5 მ ტელესკოპით, საერთაშორისო GRANDMA (Global Rapid Advanced Network Devoted to the Multi-Messenger Addicts-გლობალური სწრაფი განახლებული ქსელი მულტი-მესენჯერული კვლევების მოყვარულთათვის) კოლაბორაციის ფარგლებში.

GRANDMA აქტიურად ჩაერთო LIGO/Virgo-ს, ანუ ახლა უკვე LIGO/Virgo/KAGRA-სმეოთხე, O4 სეზონის დაკვირვებებსა და კვლევებში, რომელიც დაიწყო 2023 წლის 25 მაისიდან. O4 სეზონში მსოფლიოს ასტრონომების ყურადღება იქნება მიმართული ისეთი პრობლემის გადაჭრისკენ, როგორცაა ე.წ. „მასის ხარვეზი“, ანუ არის მოლოდინი, რომ ფაქტიურად დაკვირვებებით დადგინდება შავი ხვრელების მასის რეალურად არსებული ქვედა ზღვარი და ნეიტრონული

ვარსკვლავების მასის ზედა ზღვარი. დამატებით, ჩვენი თემის ინტერესის საგანია ზოგადად მასიური ორჯერადების ევოლუცია და კავშირი კოლოახლებთან (KN) და ზეახლებთან (SN).

აქტუალობა. პროექტის ფარგლებში დაგეგმილია, რომ აბასთუმნის ობსერვატორიის მეცნიერები მონაწილეობას მიიღებენ უახლეს სამეცნიერო კვლევებში, რაც გრავიტაციული ტალღების წყაროთა და სხვა ტრანზიენტების ელექტრომაგნიტური/ოპტიკური შესატყვისების ძიებას გულისხმობს და მოსალოდნელია ახალი KN-ების აღმოჩენა. საჭიროების შემთხვევაში დავაკვირდებით (ოპტიკურ დიაპაზონში) ზეახლებს (SN), GRB-ების თანმდევ გამოსხივებას (Aivazyan, et. al, 2022; Kann, et al., 2023).

O4 სეზონისთვის არსებული დედამიწისეული ხელსაწყოები კვლავ იყენებს GW სპექტრს $\sim 10\text{Hz}$ -დან $\sim 10\text{ kHz}$ -მდე, რასაც ვარსკვლავიერი მასის მქონე კომპაქტური ობიექტები შეესაბამება (Bailes, et.al, 2021). O4-ში მოგვიწევს მზად ვიყოთ, რომ: ა) სწრაფად ვიპოვოთ GW-ების შესაბამისი კანდიდატები, ბ) მოგვიწევს მათი მასიური მონიტორინგი, რათა გამოვრიცხოთ ცრუ სამიზნეები.

მიზანი. მთავარი მიზანი იქნება, რაც შეიძლება ბევრი „ალერტის“ დაკვირვება ყოველწლიურად აბასთუმანში, GRANDMA ქსელის სხვა ტელესკოპებთან ერთად; GRANDMA-ს ყველა აქტივობაში მონაწილეობა სემინარებისა და ყოველკვირეული დისტანციური შეხვედრების ჩათვლით; ასევე დაკვირვების შედეგების ანალიზისას გამოვლენილი საინტერესო საკითხების კვლევა და მონაწილეობა სტატიების მომზადებაში.

მიზნის მისაღწევად გამოვიყენებთ ობსერვატორიის 70 სმ და 1.5 მ ტელესკოპებს. O4 სეზონი დაიწყო 2023 წლის 24 მაისს და გაგრძელდება 18 თვე, რასაც მოჰყვება O5 სეზონი, რომელიც გაგრძელდება 2029 წლამდე მაინც. უკვე პრაქტიკაში, დაკვირვებებით დადგინდა, რომ 70 სმ მენისკური ტელესკოპი გამოსადეგი იქნება ორივე დაკვირვებითი სეზონისთვის, BNS-ების ყველა შემთხვევისთვის და NSBH-ების უმრავლეს შემთხვევაში. კერძოდ, მოწმენდილ ამინდში, ერთ-წუთიანი ექსპოზიციით რამდენიმე ათეული კადრის მიღებითა და ერთმანეთზე დადებით (stacking) მენისკური ტელესკოპის ზღვრული შედგენადობა R ფილტრში არის 21-23 mag (და ცოტა მეტიც), რაც ნიშნავს, რომ ტელესკოპი სრულად შეესაბამება O4/O5 სეზონის მოთხოვნებს. ველით, რომ 1.5 მ ახალი ტელესკოპით კიდევ უფრო მკრთალი ობიექტების დაკვირვებას შევძლებთ.

სიახლე. 2015 წლის 14 სექტემბერს გრავიტაციული ტალღების აღმოჩენით (იხ. მაგ.: Abbott, B. P.; et al. 2016, 2017, 2020) დაიწყო ახლი ერა მულტი-მესენჯერულ ასტრონომიაში, როდესაც უკვე არსებულ მესენჯერებს, ფოტონებს, ნეიტრონებს და კოსმოსურ სხივებს დაემატა კიდევ ერთი - გრავიტაციული ტალღები. ახლა შესაძლებელია, უშუალოდ დაკვირვებებით შევისწავლოთ კომპაქტური ორჯერადი ვარსკვლავთ წყვილების ევოლუციის სულ ბოლო ეტაპი, როდესაც ხდება ორი კომპაქტური ობიექტის შერწყმა. ახლა შესაძლებელია, დაკვირვებებისა და მოდელირების კომბინაციით შევისწავლოთ იმ ნივთიერების თვისებები, რომელიც ორმაგი ნეიტრონული ვარსკვლავის, ან ნეიტრონული ვარსკვლავი-შავი ხვრელის შერწყმისას გამოიტყორცნება. გრავიტაციული ტალღების აღმოჩენისთვის 2017 წელს ნობელის პრემია გადაეცა სამ მეცნიერს: კიფ თორნს (Kip Thorne), ბარი ბარიშსა (Barry Barish) და რაინერ ვეისს (Rainer Weiss).

დღეისათვის შესრულდა LIGO/Virgo კოლაბორაციის სამ დამზერით სეზონთან (O1, O2, O3) დაკავშირებული დაკვირვებები და კვლევები. პირველი დამზერითი სეზონი, O1, მოიცავს დროის პერიოდს 2015 წლის 12 სექტემბრიდან 2016 წლის 19 იანვრამდე; O2 – 2016 წლის 30 ნოემბრიდან 2017 წლის 25 აგვისტომდე; O3 კი ორ ეტაპად ჩატარდა: O3a, ანუ 2019 წლის 1 აპრილი - 30 სექტემბერი და O3b – 2019 წლის 1 ნოემბერი, 2020 წლის 27 მარტი. ერთი თვის მანძილზე, 2019 წლის ოქტომბერში, დაკვირვებები არ მიმდინარეობდა ინსტრუმენტის განახლებისა და შეკეთების გამო, ამასთან, O3 სეზონი შეწყდა 2020 წლის მარტის ბოლოს, დაგეგმილზე ერთი თვით ადრე, კორონა-19 პანდემიის გამო (Antier, et al., 2020b). O4 დაიწყო 2023 წლის 24 მაისს.

კავშირი წინა პროექტთან. 2019 წლის აპრილიდან აბასთუმნის ობსერვატორია, 70 სმ მენისკური ტელესკოპით და ასტრონომთა ჯგუფით, მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნების მეცნიერებსა და დღეისათვის უკვე 30 სხვა ტელესკოპთან ერთად, ჩართულია საერთაშორისო კოლაბორაცია GRANDMA-ში. ჩვენ ერთად ვმონაწილეობდით LIGO/Virgo კოლაბორაციის მესამე დაკვირვებით სეზონში, O3-ში, რომელიც 11 აქტიურ თვეს მოიცავდა. ამ დროში GRANDMA-ს ტელესკოპებით გადაიფარა ცის 9000 კვადრატული გრადუსი. კოლაბორაციამ აჩვენა ადამიანური რესურსების ორგანიზებისა და სხვადასხვა ტიპის ტელესკოპების მართვის მაღალი ეფექტურობა (Antier, S. Et al., 2020a და 2020b; Agayeva, et.al., 2021; Aivazyan, et. al, 2022). აბასთუმნის ობსერვატორიის თანამშრომლები ვმონაწილეობდით 2019 წლის აგვისტოში გრანადაში ჩატარებულ სემინარში და მომდევნო სემინარს ჩვენ თვითონ ვუმასპინძლეთ თბილისში, 2020 წლის თებერვალში. შემდეგ კიდევ ორი სემინარი ჩატარდა - ნიცასა და პარიზში ჩვენი მონაწილეობით.

აბასთუმნის ობსერვატორიაში მისი დაარსებიდან მიმდინარეობს ორჯერადი ვარსკვლავების, მ.შ. კომპაქტური ორჯერადების შემცველი სისტემების დაკვირვებები და კვლევა. აბასთუმნის ობსერვატორიის მკვლევარები, მ.ქუმსიაშვილის ხელმძღვანელობით, მონაწილეობდნენ Cyg X-1-ს დაკვირვებებში (Karitskaya, et al., 2001). 2012 წლიდან, რ. ინასარიძე, ცნობილი მეცნიერების თხოვნით, ჩაერთო GRB-ების დაკვირვებებში. მან ჩაატარა ასევე ორჯერადი შავი ორმოს, V 404 Cyg-ის დაკვირვებები. შესაბამისად, იგი არის ჟურნალ Nature-ში და NatAs-ში გამოქვეყნებული სტატიების თანავტორი (იხ.: Kimura, M., et al., 2016; Zhang, B.-B., et al., 2018). ეს სტატიები შეეხება V404 Cyg-ს და GRB 160625B-ს.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

1. Abbott, B. P.; et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. Phys. Rev. Lett. 116, 061102 – Published 11 February, 2016. R.
2. Abbott, B. P.; et al., GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral, 2017, Phys.Rev. Lett. 119 161101.
3. Abbott et al. GW190814: Gravitational Waves from the Coalescence of a 23 Solar Mass Black Hole with a 2.6 Solar Mass Compact Object. ApJL, v 896, Issue 2, 20pp., Published June, 2020.
4. Agayeva, et.al., 2021, Grandma: A Network to Coordinate Them All, RMxAC, 53, 198.
5. Aivazyan, et. al, 2022, GRANDMA Observations of ZTF/Fink Transients during Summer 2021, MNRAS, Volume 515, Issue 4, pp.6007-6022.
6. Antier, S. Et al., 2020a. The first six months of the Advanced LIGO's and Advanced Virgo's third observing run with GRANDMA. MNRAS, Volume 492, Issue 4, pp.3904-3927, Published March, 2020.
7. Antier, S. Et al., 2020b. GRANDMA observations of advanced LIGO's and advanced Virgo's third observational campaign. MNRAS, Volume 497, Issue 4, pp.5518-5539, Published October, 2020.
8. Bailes, M., et.al, Gravitational-wave physics and astronomy in the 2020s and 2030s. 2021, NatRP, 3, 344.
9. <https://gitlab.in2p3.fr/icare>
10. Kann, D.A., et al. GRANDMA and HXMT Observations of GRB 221009A -- the Standard-Luminosity Afterglow of a Hyper-Luminous Gamma-Ray Burst. ApJ Letters, Volume 948, Issue 2, id.L12, 34 pp. 2023.
11. Karitskaya E.A., Voloshina I.B., Goranskij V.P., Grankin K.N., Djaniashvili E.B., Ezhkova O.V., Kochiashvili N.T., Kumsiashvili M.I., Kusakin A.V., Lyutyi V.M., Mel'nikov S.Yu., Metlova N.V. Coordinated Observations of Cyg X-1 (V 1357 Cyg) from 1994-1998 in the Commonwealth of Independent States. ARep. v 45, p. 350-360, 2001.

12. Kimura, Mariko; Isogai, Keisuke; Kato, Taichi; ... **Inasaridze, Raguli Ya.**, et al, Repetitive patterns in rapid optical variations in the nearby black-hole binary V404 Cygni, Nature, Volume 529, Issue 7584, pp. 54-58, 2016.

13. Zhang, B.-B.; Zhang, B.; Castro-Tirado, A. J. ... **Inasaridze, R. Ya.** et al. Transition from fireball to Poynting flux-dominated outflow in the three-episode GRB 160625B, Nature Astronomy, Volume 2, p. 69-75, 01/2018.

2.3. სამუშაოს მოცულობა

1. სწრაფ შეტყობინებებზე/“ალერტებზე“ დაუყოვნებელი რეაგირება და ოპტიკურ დიაპაზონში გამონასახების მიღება;
2. მონაწილეობა GRANDMA-ს აქტივობებში.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. სწრაფ შეტყობინებებზე/“ალერტებზე“ დაუყოვნებელი რეაგირება და ოპტიკურ დიაპაზონში გამონასახების მიღება;

ამოცანის მიზანი: ამოცანის მიზანია, ჩვენი 70 სმ მენისკური ტელესკოპისა და ასევე 1.5მ ტელესკოპის საშუალებით, ცის იმ უბანში, სადაც მოსალოდნელია დაფიქსირდეს წყაროს ოპტიკური გამოსხივება, ჩავატაროთ ფოტომეტრული დაკვირვებები და მივიღოთ შესაბამისი შედეგადობა.

სამუშაოს აღწერა: ჩატარდება დაკვირვებები ნებისმიერ შეტყობინებაზე, რომლის მდებარეობა ცაზე ხელმისაწვდომი იქნება აბსოლუტურიდან და როცა მთაზე გვექნება შესაბამისი ამინდი. 70 სმ მენისკური ტელესკოპის გამართულ მდგომარეობასა და დაკვირვებებს უზრუნველყოფს რ. ინასარიძე. დაკვირვებების დამუშავებას და GRANDMA-ს პორტალზე განთავსებას უზრუნველყოფს ნ. ყოჩიაშვილი.

მოსალოდნელი შედეგი: მივიღებთ დაკვირვების მასალას. დამუშავების შემდეგ ვხედავთ, ჩანს თუ არა თანმდევი გამოსხივება.

შესრულების პერიოდი: დაკვირვება უნდა ჩატარდეს დაუყოვნებლივ, იმავე საღამოს, როცა მოვლენა დაფიქსირდა. დამეში მინიმუმ სამი/ოთხი საათის მანძილზე. დაკვირვების შედეგები უნდა აიტვირთოს ბაზაში 24 საათის განმავლობაში. ხანდახან საჭიროა თანმდევი გამოსხივების მონიტორინგი ერთი, ორი კვირის, ან მეტი დროის განმავლობაში. დაკვირვებები შესრულდება 2024-2028 წლებში.

საანგარიშო მასალა: სტატია/სტატიები.

ამოცანა 2. მონაწილეობა GRANDMA-ს აქტივობებში.

ამოცანის მიზანი: GRANDMA-ს წესების მიხედვით, როცა გრავიტაციული ინტერფერომეტრები მუშაობს და მოსალოდნელია შეტყობინებების მიღება, ორგანიზდება მუდმივი მორიგეობა, რათა გვექონდეს უწყვეტი ინფორმაცია, GRANDMA-ს რომელი ტელესკოპები მონაწილეობენ დაკვირვებებში და რა შედეგები მიიღება. ტარდება ყოველკვირეული დისტანციური თათბირები.

სამუშაოს აღწერა: მორიგეობა მთელი სეზონის მანძილზე დაყოფილია ერთკვირიან, დღეღამეში 6 საათიან შუალედებად. აბსოლუტური ობსერვატორიის ჯგუფი ყოველთვის მონაწილეობს GRANDMA-ს მორიგეობებში და ყოველკვირეულ თათბირში.

მოსალოდნელი შედეგი: მორიგეობა უზრუნველყოფს GRANDMA-ს რაც შეიძლება მეტი რაოდენობის ტელესკოპების ჩართულობას დაკვირვებებში.

შესრულების პერიოდი: მორიგეობები ტარდება LIGO/VIRGO/KAGRA-ს დამზერითი სეზონის მანძილზე, ასევე დამატებით GRANDMA-ს სპეციალური დაკვირვებების დროს.

საანგარიშო მასალა: GRANDMA-ს მონაცემთა ბაზაში ატვირთული დაკვირვებები.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

სამეცნიერო შედეგები გამოქვეყნება სამეცნიერო ჟურნალებში - მინიმუმ ერთი სტატია თითოეულ წელს (ჯამში მინიმუმ 5) მაღალი იმპაქტის მქონე სამეცნიერო ჟურნალებში და მომზადდება წელიწადში მინიმუმ ორი მოხსენება სამეცნიერო კონფერენციებსა და სემინარებზე წარსადგენად. სტატიებში განხილული იქნება კოლაბორაციის ფარგლებში მიღებული და პლუს ყველანაირი ხელმისაწვდომი დედამიწისეული და კოსმოსური დაკვირვებების დამუშავების შედეგები და შესაბამისად მიღებული კონკრეტული ტრანზიენტების მოდელები.

IV. შერჩეული აქტიური გალაქტიკების შესწავლა მონიტორინგის მეშვეობით
(ხელმძღვანელი ო. კურტანიძე)

1.1. კვლევის მიმართულება: *გარეგალაქტიკური ატრონომია, მაღალი ენერგიების ასტროფიზიკა*

1.2. სტრუქტურული ერთეული: *გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების განყოფილება*

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	ო. კურტანიძე	მეცნიერ თანამშრომელი	მაგისტრი	ხელმძღვანელი, აბასთუმანი
2	ლ. სიგუა	მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი	დოქტორი	თანახელმძღვანელი, აბასთუმანი
3	მ. ნიკოლაშვილი	მეცნიერ თანამშრომელი	მაგისტრი	მკვლევარი, აბასთუმანი
4	რ. ივანიძე	ასისტენტ მკვლევარი	მაგისტრი	მკვლევარი/დამკვირვებელი, აბასთუმანი

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	70- სმ მენისკური ტელესკოპი	1	3/4 დრო წლის განმავლობაში
2	40-სმ ასტროგრაფი	1	1/2 დრო წლის განმავლობაში

ბ) შესაძენი:

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1	დესკტოპ კომპიუტერი	15 000	1	15 000	
2	ნოუტბუქი	12 000	1	12 000	
			სულ:	27 000	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

- სამ საერთაშორისო კონფერენციაში მონაწილეობა - 10 800 ლარი
- ჰაიდელბერგის ობსერვატორიაში და მაქს პლანკის რადიოასტრონომიულ ინსტიტუტში ექვსი მოკლევადიანი მივლინება (ფრენა-300 ევრო, დღიური-65x12=780 ევრო - სულ 1 080x6=6 480 ევრო) – 19 440 ლარი

1.5. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
1	შესყიდვა (> 500 ლ)	15 000	4 900	-	-	-	19 900
2	შესყიდვა (< 500 ლ)	-	-	-	-	-	-
3	მივლინება ქვეყნის გარეთ			10 080	10 080	10 080	30 240
	სულ	1 5000	4 900	10 080	10 080	10080	50-140 27 000

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

მე-20 საუკუნის მეორე ნახევარში, რადიოასტრონომიის მკვებთმა განვითარებამ ხელი შეუწყო ანომალური გარეგალაქტიკური წყაროების გამოვლენასა (McLeod J., et al., 1968; Schmitt J., 1965) და მათი გამოსხივების ფიზიკურ ბუნების დადგენას. დღეისათვის საყოველთაოდაა მიღებულია რომ აქტიური გალაქტიკების გულები წარმოადგენენ ზემასიური შავი ხვრელების წარმოშობისა და განვითარების გარემოს. ამ წყაროების რელატივისტურ ჯეტებში და აკრეციული დისკებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები კი განსაზღვრავენ რადიო-თევ გამოსხივების თვისებებს (Abdo A., et al., 2010; Marscher A., et al., 2008). მათი ირეგულარულად ცვალებადი გამოსხივების შესწავლისათვის საჭიროა ერთდროული/კვაზიერთდროული მრავალზოლოვანო სისტემატური დაკვირვებების ჩატარება დროის სხვადასხვა ინტერვალებში, რაც ჩვენს მიერ ხორციელდება მუხტკავშირიანი მიმღებებით აღჭურვილი მცირე ზომის ტელესკოპებით. ცვალებადობის დროითი პარამეტრები განსაზღვრავენ გამომსხივებელი არეების ზომებს და სივრცულ განაწილებას (Wagner S., et al/. 1995), ხოლო სპექტრში ენერგიის განაწილება მიუთითებს მიმდინარე ფიზიკური პროცესების თვისებებზე. მსგავსი წყაროების გამოვლენის და შემდგომში შესწავლის ეფექტურობა დამოკიდებულია სპექტრის იმ ზოლზე, რომელშიც ისინი უპირატესად ასხივებენ. ამიტომ, დღეისათვის არსებობს ამ წყაროების რადიო, ოპტიკური, რენტგენული, გამა და თევ კატალოგები. თევ წყაროების დაკვირვებასა და გამოვლენას მხოლოდ 30 წლიანი ისტორია გააჩნია და შესაბამისად პირველი კაშკაშა წყაროები Mrk 421 და Mrk 501 გამოვლენილი იქნა გასული საუკუნის 90-იანი წლების დასაწყისში. უკანასკნელი ათი წლის განმავლობასი 80-მდე მსგავსი წყაროა გამოვლენილი (WHIPPLE, VERITAS, HESS, MAGIC), მაშინ როდესაც ახლო გამა უბანში FERMI/Lat - ის მიერ გამოვლენილია 3000-მდე წყარო, რასაც ხელი შეუწყო აგრეთვე მაღალ მგრძნობიარობამ. მიუხედავად იმისა რომ გამოსხივების დომინირებადი მექანიზმებია სიქროტრონული და კომპტონის გაბნევა ერთი ან განსხვავებული კლასის წყაროებისათვის გამოსხივების სპექტრის განაწილების ახსნა, დღესაც დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული.

დღეისათვის ამ წყაროების კვლევის ყველაზე მძლავრი მეთოდი არის გამოსხივების მთელი სპექტრის შესწავლა რადიო, ოპტიკური, რენტგენული, გამა და თევ ტელესკოპებით. მათი სწრაფი ცვალებადობის გამო აღნიშნული დაკვირვებები უნდა ჩატარდეს ერთდროულად, უკიდურეს შემთხვევაში კვაზიერთდროულად, რაც დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული დედამიწაზე განლაგებული ტელესკოპებისათვის (რადიო, ოპტიკური და თევ), ხშირი უამინდობის გამო (Vercellone S., et al., 2019; Gaur H., et al., 2019; Britzen S., et al., 2019; Raiteri C., et al., 2019, 2017).

პროექტი წარმოადგენს მსოფლიოში აქტიური გალაქტიკების კვლევის უმნიშვნელოვანესი ეტაპის შემადგენელს ნაწილს, რომელიც ხორციელდება წამყვან საერთაშორისო ინსტიტუტებთან, დედამიწისა და კოსმოსურ ობსერვატორიებთან ფართო თანამშრომლობის ფარგლებში. მათ გააჩნიათ შესაძლებლობა არსებული დამზერითი საშუალებებით მოიცვან გამოსხივების სპექტრის

მთელი ნაწილი - რადიო, ოპტიკური, ინფრაწითელი, რენტგენული, ახლო გამა და თევ, რაც თეორიული კვლევების განუყოფელ საფუძველს წარმოადგენს. ამ გზით, დღეისათვის შესწავლია რამდენიმე ათეული წყარო და დადგინდა მათ რელატივისტურ ჯეტებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები. ოპტიკური დაკვირვებები, რომელიც დაგეგმილია პროექტის ფარგლებში, საშუალებას მოგვცემს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მოპოვებული მასალის საფუძველზე შესწავლილ იქნას ამ ზემასიური და უკაშკაშესი წყაროების ბუნება. შედეგები გამოიყენება მრავალ სამეცნიერო დაწესებულებასა და ობსერვატორიებში.

ჩვენი მიზანია ჩავატაროთ აქტიური გარეგალაქტიკური წყაროების სისტემატური დაკვირვებები სპექტრის ოპტიკურ უბანში, მონაწილეობა მივიღოთ ერთროულ და კვაზიერთდოულ საერთაშორისო დაკვირვებებში, რომლის საფუძველზე განსაზღვრული იქნება ამ წყაროების აგებულება და მიმდინარე ფიზიკური პროცესების ბუნება. ოპტიკური დაკვირვებები ჩატარდება ძირითადად ობსერვატორიის 70-სმ მენისკურ ტელესკოპზე და 40-სმ ორმაგ ასტროგრაფზე. დედამიწაზე განლაგებულ რადიო (ORWO, Effelsberg და სხვა), ოპტიკურ (WEBT/GASP), თევ (VERITAS, HESS და სხვა) და კოსმოსურ (SWIFT, Fermi/LAT და სხვა) ტელესკოპებზე ჩატარდება რადიო, რენტგენული გამა და ტევ დაკვირვებები. აგებული იქნება ბრწყინვალეების ცვალებადობის მრუდები სპექტრის სხვადასხვა ზოლში (Weaver Z., et al., 2020; Acciari V., et al., 2020; Abeysekara A., et al., 2020; Pandey A., et al., 2020). ჩატარდება კორელაციული/კროსკორელაციული ანალიზი და დადგინდება, როგორც ცვალებადობის გამომწვევი ფაქტორები, ასევე გამომსხივებელ არეებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ამ წყაროების შესწავლა დამოკიდებულია მრავალი ტელესკოპის ერთდროულ/კვაზიერთდროულ დაკვირვებების საფუძველზე მიღებული მასალის სტატისტიკურ ანალიზზე, რომლის ჩატარება დღეისათვისაც კი ურთულეს ამოცანას წარმოადგენს. ამიტომ დღემდე შესწავლილა მხოლოდ 30-მდე ყველაზე ცნობილი და შედარებით კაშკაშა წყარო (Mrk 421 და 501, 3C 454.3, BL Lacertae, 3C 379, 3C 273, 1ES 1959+65 და სხვა). ამ წყაროების ირეგულარული ცვალებადობიდან გამომდინარე აუცილებელია მათი კვლევა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. მიღებული შედეგები გამოიყენება მრავალ ობსერვატორიებში და სამეცნიერო ინსტიტუტებში. ამის ნათელი მაგალითია სტატიები, რომლებიც გამოქვეყნებულია ამ ინსტიტუტებისა და ობსერვატორიის თანამშრომელთა თანაავტორობით (Acciari V., et al., 2020; Abeysekara A., et al., 2020; Ahnen M., et al., 2018, 2017; Raiteri C., et al., 2017; Balokovic M., et al., 2016).

პროექტი წარმოადგენს 2020-2023 წლის პროექტის გაგრძელებას, რომლის ფარგლებში გამოქვეყნებულია თოთხმეტი სტატია წამყვან მაღალი იმპაქტ ფაქტორის მქონე საერთაშორისო ჟურნალებში (ერთი სტატია NATURE-ში), ხოლო დასაბეჭდათ გადაცემულია სამი სტატია;

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

- Raiteri, C. M., Villata, M., Carosati D., Benitez E., Kurtanidze, S. O., et al., (2021), *Monthly Not. of the Royal Astro. Soc., Vol.501, issue 1, pp.1100-1115*
- Fan, J. H., Kurtanidze, S. O., Liu, Y., Kurtanidze, O. M., Nikolashvili, M. G., and et al., (2021), *The Astrophysical Journal Suppl. Ser., Vol.253, issue 1, p.10*
- Acciari, V. A., Ansoldi, S., Antonelli, L. A., et al., (2020), *The Astrophys. Journal Supp. Ser., Vol.248, issue 2, pp.29*
- Weaver, Z. R., Williamson, K. E., Jorstad, S. G., et al., (2020), *The Astrophysical Journal, Vol.900, issue 2, p.137*
- Abeysekara, A. U., Benbow, W., Bird, R., et al., , (2020), *The Astrophysical Journal, Vol.890, issue 2, p.97*

Pandey, Ashwani, Gupta, Alok C., Kurtanidze, Sofia O., et al., (2020), *The Astrophysical Journal*, Vol.890, issue 1, pp.72

Vercellone, S., Romano, P., Piano, G., et al., (2019), *Astronomy and Astrophysics*, Vol.621, issue p.A82

Gaur, Haritma, Gupta, Alok C., et al., (2019), *Monthly Notices of the Royal Astron. Society*, Vol.484, issue 4, p.5633

Britzen, S., Fendt, C., Böttcher, M., et al., (2019), *Astronomy and Astrophysics*, Vol.630, issue p.A103

Raiteri, C. M., Villata, M., et al., (2019), *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, Vol.489, issue 2, pp.1837-1849

Ahnen, M. L., Ansoldi, S., Antonelli, L. A., et al., (2017), *Astronomy and Astrophysics*, Vol.603, issue p.A31

Raiteri, C. M., Villata, M., Acosta-Pulido, J. A., ..., Kurtanidze O. M. ... et. al., (2017), *Nature*, Vol.552, issue 7685, p.374-377

Baloković, M., Paneque, D., Madejski, G., et al., (2016), *The Astrophysical Journal*, Vol.819, issue 2, p.156

Abdo A.A., Ackermann, M., ..., Kurtanidze O.M., Sigua L.A., et al., (2010), *Nature* Vol. 463, p.919

Marscher A., Jorstad S., ..., Kurtanidze O.M., Nikolashvili M.G., et al., (2008), *Nature*, Vol. 452, p.966

Wagner S. & Witzel A. (1995), *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* Vol.33, p.163

MacLeod J. M. & Andrew B. H. et. al., (1968), *Nature* Vol. 223, p. 598

Schmitt J.L. (1965), *Nature* Vol. 218, p.663

2.3. სამუშაოს მოცულობა

ყოველწლიურად ჩატარდება ოცამდე წყაროს სისტემატური ოპტიკური დაკვირვებები. მოხდება მიღებული მასალის პირველადი და ძირითადი დამუშავება. აგებული იქნება წყაროების სიკაშკაშის მრუდები და განსაზღვრული იქნება მათი ცვალებადობის სტატისტიკური პარამეტრები. შესწავლილი იქნება გამოსხივების სპექტრის სხვადასხვა ზოლებს შორის კავშირი. მიღებული მასალა საფუძვლად დაედება ამ წყაროებში მიმდინარე ასტროფიზიკური პროცესების შესწავლას.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

პროექტით გათვალისწინებული აქტიური გალაქტიკების კვლევა მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

1. დაკვირვებების ჩატარება;
2. მიღებული მასალის დამუშავება;
3. სიკაშკაში ცვალებადობის მრუდების აგება;
4. სპექტრის ზოლებს შორის კავშირის დადგენა;
5. მონაცემების სტატისტიკური ანალიზი;
6. ცვალებადობისა და გამოსხივების მოდელების შემუშავება თანამშრომლობის საფუძველზე (ჰაიდელბერგის ობსერვატორია, მაქს პლანკის რადიასტრონომიული ინსტიტუტი, ბოსტონის უნივერსიტეტი და სხვა).

შესრულების პერიოდი: ყოველწლიურად 2024-2028 წწ.

წელიწადში გამოქვეყნდება ორი სტატია.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

პროექტის საფუძველზე შეიქმნება მონაცემთა ბაზა, განსაზღვრული იქნება იქნება წყაროების ერთგვაროვანი სიკაშკაშის მრუდები და გამოსხივების ენერჯის განაწილება მშვიდ და აქტიურ მდგომარეობაში.

შედეგები გამოქვეყნდება 10 სტატიის სახით მაღალი იმპაქტ-ფაქტორის ($IF > 4$) მქონე ჟურნალებში.
გამოყენებული იქნება სხვადასხვა ობსერვატორიისა და ასტროფიზიკური ინსტიტუტის მკვლევართა მიერ.
დაცული იქნება ერთი "აკადემიური დოქტორის ხარისხი".

V. ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი გალაქტიკების ფიზიკური მახასიათებლების შესწავლა
(ხელმძღვანელი რ. ჭილაძე)

1.1. კვლევის მიმართულება: გალაქტიკური ასტრონომია

1.2. სტრუქტურული ერთეული: გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	რევაზ ჭილაძე	უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი	ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი	პროექტის ხელმძღვანელი, დაკვირვებები, მონაცემთა დამუშავება და სტატისტიკური ანალიზი; (თბილისი, ყანობილი)
2	გივი ქიმერიძე	მეცნიერ თანამშრომელი	მაგისტრი	დაკვირვებები, მონაცემთა დამუშავება; (ყანობილი)
3	რომან ივანიძე	ასისტენტ მკვლევარი	მაგისტრი	დაკვირვებები, მონაცემთა დამუშავება. (ყანობილი)

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	150 - სანტიმეტრიანი ტელესკოპი	1	უმთავრო პერიოდი, ღამეში 3 საათი მაინც
2	70 - სანტიმეტრიანი მენისკური ტელესკოპი	1	უმთავრო პერიოდი, ღამეში 3 საათი მაინც

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი(ლარი)	შენიშვნა
1	კომპიუტერი მონიტორით	1500	2	3000	
2	უწყვეტი კვების წყარო	100	2	200	
3	პრინტერი	800	1	800	
სულ:				4000	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ. პროექტის დასასრულს იგეგმება ერთი მივლინება ქვეყნის გარეთ, რათა უცხოელი კოლეგები უფრო დეტალურად გაეცნენ ჩვენს მიერ მიღებულ შედეგებს, მივლინება შეიძლება განხორციელდეს; აზიის, ევროპის ან ამერიკის ქვეყნებში, სადაც ხშირად იმართება საერთაშორისო კონფერენციები და მათგან მოგვდის მოწვევები, მივლინების ხარჯების ზუსტი განსაზღვრა წინასწარ ძნელია (საშუალოდ ერთი მივლინების ხარჯები ევროპის ქვეყნებში იქნება დაახლოებით 5000 ლარის ფარგლებში).

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
2	შესყიდვა (> 500 ლ) კომპიუტერი მონიტორით (ორი) პრინტერი	3000 800	-	-	-	-	3800
3	შესაძენი საქონელი (< 500 ლ) უწყვეტი კვების წყარო(ორი)	200	-	-	-	-	200
4	მივლინება ქვეყნის გარეთ	-	-	-	-	5000	5000
5	მივლინება ქვეყნის შიგნით	-	-	-	-	-	-
6	სულ						9000

2.1.შესავალი და მიმოხილვა

სამყაროს აგებულების შესწავლისათვის, დღეისათვის ერთ-ერთი აქტუალური და პრიორიტეტული საკითხია გარეგალაქტიკური ობიექტების ფიზიკური მახასიათებლების ცოდნა, პროექტის მიზანია აღნიშნული საკითხების სიღრმისეული კვლევა, რაც შეიძლება მაღალი სიზუსტით.

როდესაც ჰაბლმა პირველმა მოახდინა გალაქტიკების კლასიფიკაცია, მან საფუძვლად დაუდო გალაქტიკების ხილული ფორმები, ამ კლასიფიკაციაში განიხილება სამი ძირითადი ჯგუფი:

ა)ელიფსური გალაქტიკები -E ; ბ)სპირალური გალაქტიკები -S და გ) ირეგულარული გალაქტიკები -I.

E - ტიპის გალაქტიკები თავიანთი სტრუქტურით, ვარსკვლავიერი შემადგენლობით და მათში შემავალი ობიექტების მოძრაობით გამოირჩევიან, ასეთი გალაქტიკები შედგებიან მეორე ტიპის მოსახლეობისაგან ე.ი. ძირითადად წითელი და ყვითელი გიგანტებისა და ჯუჯებისაგან.აგრეთვე ნაწილობრივ დაბალი ნათობის თეთრი ვარსკვლავებისაგან. მათში ჯერ-ჯერობით არაა აღმოჩენილი მაღალი ნათობის თეთრი და ცისფერი ზეგიგანტები, ასევე მტვეროვანი ღრუბლები და სხვა[1].

ელიფსური გალაქტიკების სპექტრში შეინიშნება ხაზების გაგანიერება, რაც უნდა მიუთითებდეს, რომ მათში ვარსკვლავები ყველა მიმართულებით მაღალი სიჩქარით გადაადგილდებიან, საჭიროა აღნიშნული სიჩქარეების შეფასება და მისი ანალიზი[1].

S - ტიპის გალაქტიკებში ვხედავთ ცენტრალური ბირთვიდან გამომავალ შტოებს, სადაც ორ ან რამდენიმე ძირითად სპირალურ შტოსთან ერთად მოჩანს, ამ შტოებიდან განტოტვილი ცალკეული მძლავრი ვარსკვლავიერი ღრუბლების მეორადი შტოები, მათი სისქე რამდენიმე ასეული პარსეკის რიგისაა. თუ ასეთი გალაქტიკა „გვერდიდან“ მოჩანს მაშინ მას დისკოს ფორმა აქვს და შუაში მთელ სიგრძეზე ბნელი მშთანმთქმელი მატერიის მკვეთრად გამოსახული ზოლი გასდევს.

ასეთი ტიპის გალაქტიკებში გვხვდება ისეთებიც რომლებშიც ორი შტოდან ერთი უფრო განვითარებულია და თითქოს დარღვეულია სპირალური სტრუქტურა, სპირალური შტოები, როგორც წესი, შეიცავენ მოსახლეობის პირველი ტიპის წარმომადგენლებს. მათში უხვად გვხვდება ადრეული სპექტრული ტიპის ცხელი გიგანტები და ზეგიგანტები, ნათელი გაზოვანი ნისლეულები, ბნელი მტროვან-გაზოვანი ღრუბლები, შეინიშნება სხვა ჯერ-ჯერობით უცნობი ობიექტები, რომელიც კვლევის წყაროა[2].

I - ტიპის გალაქტიკებში არ შეიმჩნევა არავითარი სიმეტრია ან ფორმა, ისე როგორც წინა ორ შემთხვევაში, ამიტომ ასეთები ცალკე განიხილება და მათ უწოდებენ არაწესიერ ან ირეგულარულ გალაქტიკებს, რომლებიც ნაკლებად შესწავლილია და რომლთა კვლევაც ბევრ საინტერესო კითხვას გასცემს პასუხს[3].

აღნიშნული მიმართულებით ასტრონომიაში უამრავი ფიზიკური მახასიათებელია დღესაც დასაზუსტებელი, მაგალითად: გარეგალაქტიკურ ობიექტებს შორის ზუსტი მანძილები; ჰაბლისეული კლასიფიკაციის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები; გალაქტიკების სპექტრებში წითელი ჩანაცვლების ზუსტი მნიშვნელობა; ჰაბლის მუდმივის ზუსტი მნიშვნელობა - თანამედროვე დამზერილი მასალის ანალიზის საფუძველზე; სამყაროს აჩქარებული გაფართოება და მისი ახსნა; გალაქტიკათა გროვების ხილული და სივრცული განაწილება. გალაქტიკათა ზოგადი მახასიათებლები: მასა, რადიუსი, ბრწყინვალება, სპექტრული კლასი და მანძილები. პეკულარული გალაქტიკებისა და აქტიურგულებისანი გალაქტიკების აქტივობის გამოვლენა და სხვა.

სიახლე: პირვლად იქნება ჩატარებული შერჩეულ ობიექტებზე სრულფასოვანი კვლევა, მრავალფეროვანი UVRI ფოტომეტრით, სპექტროფოტომეტრით და თანამედროვე CCD-ს გამოყენებით, რომელიც:

ა) გასცემს პასუხს კითხვაზე: ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი გალაქტიკების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების მსგავსებასა და განსხვავებაზე, რომელთა ანალიზის საფუძველზე გვექნება კიდევ ერთი ახალი მყარი არგუმენტი სამყაროს ევოლუციის შესახებ;

ბ) მოგვცემს რიალური სურათის წარმოდგენის საშუალებას, თუ როგორია შერჩეული გალაქტიკური ობიექტების ხილული და სივრცული განაწილება;

გ) დაგვეხმარება განვსაზღვროთ მაღალი სიზუსტით: შერჩეულ გალაქტიკათა აქტივობის გამოვლენა; ცვალებადი გამოსხივების სიკაშკაშის მრუდების ორკომპონენტისანი სტრუქტურა; ოპტიკური, რადიო და რენტგენული ცვალებადობის კორელაცია; მოვახდინოთ გალაქტიკების ბირთვების უწყვეტი და ხაზოვანი სპექტრების ანალიზი.

ჩვენს პირობებში, აღნიშნული საკითხის სრულფასოვანი შესწავლისათვის დღეისათვის არსებობს:

ერთის მხრივ, თანამედროვე ტექნიკური საშუალებები ტელესკოპები: ახალი 150 სანტიმეტრისანი დიამეტრის, რეფლექტორი, რომლის საშუალებით შეიძლება მრავალფეროვანი UVRI ფოტომეტრია, თანამედროვე CCD-ს გამოყენებით და მათთან კავშირში მყოფი მიმღები ხელსაწყოები, ასევე 70 სანტიმეტრისანი მენისკური ტელესკოპი და აზერბაიჯანის 200 სანტიმეტრისანი რეფლექტორი(მათთან დადებული მემორანდუმის საფუძველზე), რომლებიც იძლევიან იმის საშუალებას, რომ უფრო ღრმად ჩავწვდეთ სამყაროს საიდუმლოებებს.

მეორეს მხრივ, ორ ათეულ წელზე მეტია, საქართველოს ე.ხარაძის ეროვნულ ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში მიმდინარეობს გარეგალაქტიკურ ობიექტების კვლევა, მსგავს ობიექტებზე გამოქვეყნებულია ასობით სამეცნიერო შრომა და მათზე არის ათასობით ციტირება უცხოელი ავტორების მიერ(ქვემოთ მოცემულია ზოგიერთი მათგანი[4-13]).

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

1. DEJONGHE1, H. , S. DE RIJCKE1, W. W. ZEILINGER2, G. K. T. HAU31.The Dynamics of Dwarf Elliptical Galaxies,2022.

2. Denis L., The Andromeda Galaxy and its Star Formation History, Department of Physics and Astronomy, University of Calgary, 2021.

3. **Lothringer, J.** Atmosphere Models of Brown Dwarfs Irradiated by White Dwarfs: Analogues for Hot and Ultra-Hot Jupiters *The Astrophysical Journal* **905(2)**. 2020.

4. Acciari, V.A., Ansoldi, S.A., **Chigladze, R.A.**, ... Investigation of the correlation patterns and the Compton dominance variability of Mrk 421 in 2017/ **Publication:** Astronomy & Astrophysics, Volume 655, id.A89, 36 pp. **Pub Date:** November 2021.

<https://ui.adsabs.harvard.edu/search/p=0&q=chigladze%2Cr&sort=date%20desc%2C%20bibcode%20desc>

5. Abe, H.; Abe, S.; Acciari, V. A. **Chigladze, R.A.**, ... Multi-messenger characterization of Mrk 501 during historically low X-ray and γ -ray activity **Publication:** eprint arXiv:2210.02547, **Pub Date:** October 2022.

<https://ui.adsabs.harvard.edu/search/p=0&q=chigladze%2Cr&sort=date%20desc%2C%20bibcode%20desc>

6. Jorstad, S. G., Marscher, A. P.; **Kimeridze, G.** ... Rapid quasi-periodic oscillations in the relativistic jet of BL Lacertae. **Publication:** Nature, Volume 609, Issue 7926, p.265-268. **Pub Date:** September 2022. DOI: [10.1038/s41586-022-05038-9](https://doi.org/10.1038/s41586-022-05038-9).

7. Abe, H.; Abe, S.; Acciari, V. A.; Agudo, I.; **Kimeridze, G.** ... Multi-messenger characterization of Mrk 501 during historically low X-ray and γ -ray activity

8. Ackermann, M.; **Kimeridze, G.**; Multi-wavelength Observations of Blazar AO 0235+164 in the 2008-2009 Flaring State. *The Astrophysical Journal*, Volume 751, Issue 2, article id. 159, 20 pp. (2012).

9. **Hayashida, M.; Kimeridze, G.** The Structure and Emission Model of the Relativistic Jet in the Quasar 3C 279 Inferred from Radio to High-energy γ -Ray Observations in 2008-2010. *The Astrophysical Journal*, Volume 754, Issue 2, article id. 114, 22 pp. (2012).

10. Gupta, A.; **Kimeridze, G.** ... Multiwavelength intraday variability of the BL Lacertae S5 0716+714. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 425, Issue 2, pp. 1357-1370. (2012).

11. Jorstad, Svetlana G. **Kimeridze, G.** [A Tight Connection between Gamma-Ray Outbursts and Parsec-scale Jet Activity in the Quasar 3C 454.3](#). *The Astrophysical Journal*, Volume 773, Issue 2, article id. 147, 27 pp. (2013).

12. Kiehlmann, S.; **Kimeridze, G.** ... Analyzing polarization swings in 3C 279. *The Innermost Regions of Relativistic Jets and Their Magnetic Fields*, Granada, Spain, Edited by José L. Gómez; EPJ Web of Conferences, Volume 61, id.06003. (2013).

13. Raiteri, C. M.; **Kimeridze, G.** The awakening of BL Lacertae: observations by Fermi, Swift and the GASP-WEBT. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 436, Issue 2, p.1530-1545. (2013).

და სხვა (ჯგუფის წევრებისაგან ბოლო 10 წლის განმავლობაში გამოქვეყნებულია 50 - მდე სამეცნიერო შრომა მაღალრეიტინგულ სამეცნიერო ჟურნალებში, რომელზედაც არის 2000-მდე ციტირება).

2.3. სამუშაოს მოცულობა

წარმოდგენილ პროექტის ფარგლებში შეიწავლება ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი შერჩეული გარაგალაქტიკური ობიექტების ფიზიკური მახასიათებლები, მათ შორის კავშირები და განსხვავებები.

აღნიშნული შესწავლა მოხდება მრავალფეროვანი ფოტომეტრიის გამოყენებით(დასახელებული ტელესკოპებითა და აზერბაიჯანის შემახის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის 200 სანტიმეტრიანი ტელესკოპის დახმარებით, მათთან გაფორმებული მემორანდუმის საფუძველზე).

პროექტის მიზანია, იმ მსგავსებების და განსხვავებების წარმოჩენა გალაქტიკების ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე, რომლებიც აქვთ შერჩეულ ობიექტებს. ყოველივე ეს დაგვეხმარება გალაქტიკების განვითარების ევოლუციის ციკლის შესწავლაში.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანა

წარმოდგენილი პროექტი შედგება ერთი ამოცანისაგან: ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი შერჩეული გალაქტიკების ფიზიკური მახასიათებლების განსაზღვრა მაღალი სიზუსტით: NGC 185(E3); Cetus dwarf (E4) ; NGC 147(E5) ; Andromeda Galaxy(Sb); NGC 4258(Sb); NGC 4736(Sb); M33(Sc); NGC5194(Sc); Leo A(Irr); და Phoenix dwarf(Irr).

აღნიშნული სამუშაოს შესრულება ჩვენს პირობებში რიალურია: ა) დასახელებული ტელესკოპებისა და თანამედროვე CCD მატრიცის გამოყენება უზრუნველყოფს, მრავალფეროვანი ფოტომეტრიისა და სპექტროფოტომეტრიის ჩატარებას გამოსაკვლევ ციურ ობიექტებზე.

ბ) პროექტში მონაწილეთა ჯგუფს აქვთ ათეულობით წლების განმავლობაში დაგროვილი უდიდესი გამოცდილება მსგავსი ციური სხეულების შესწავლისა, კერძოდ უკანასკნელი 10 წლის განმავლობაში მაღალრეიტინგულ სამეცნიერო ჟურნალებში გამოქვეყნებული აქვთ ორმოცდაათამდე სამეცნიერო შრომა, რომელზედაც არის ორიათასამდე ციტირება.გარდა ამისა საქართველოს რუსთაველის ეროვნულმა სამეცნიერო ფონდმა რამდენჯერმე დააფინანსა აღნიშნული მიმართულებით წარდგენილი მსგავსი სამეცნიერო პროექტები.

აღნიშნული პროექტის ხანგრძლივობა 5 წელია, ამ პერიოდის განმავლობაში დამზერილი მასალის ანალიზის საფუძველზე საბოლოოდ მოხდება შერჩეულ გალაქტიკათა აქტივობის გამოვლენა, შეისწავლება ცვლადი გამოსხივების სიკაშკაშის მრუდების ორკომპონენტური სტრუქტურა, ოპტიკური, რადიო და რენტგენული ცვალებადობის კორელაცია.გალაქტიკების ბირთვების უწყვეტი და ხაზოვანი სპექტრების ანალიზი.

აღნიშნულ თემასთან დაკავშირებით ვგეგმავთ, მინიმუმ 4 სამეცნიერო შრომის გამოქვეყნებას, მაღალრეიტინგულ სამეცნიერო ჟურნალებში და ერთხელ მაინც მივიღებთ მონაწილეობას

ამოცანა 1. ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი შერჩეული გალაქტიკების ფიზიკური მახასიათებლების განსაზღვრა მაღალი სიზუსტით: NGC 185(E3); Cetus dwarf (E4) ; NGC 147(E5) ; Andromeda Galaxy(Sb); NGC 4258(Sb); NGC 4736(Sb); M33(Sc); NGC5194(Sc); Leo A(Irr); და Phoenix dwarf(Irr).

ამოცანის მიზანი: დასახელებული ტელესკოპებითა და მათზე მორგებული თანამედროვე CCD მატრიცებით შერჩეული ობიექტების მრავალფეროვანი ფოტომეტრია და სპექტროფოტომეტრია.

სამუშაოს აღწერა: პროექტის მიზანია, იმ მსგავსებების და განსხვავებების წარმოჩენა გალაქტიკების ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე, რომლებიც აქვთ შერჩეულ გარეგალაქტიკურ ობიექტებს. ყოველივე ეს დაგვეხმარება გალაქტიკების განვითარების ევოლუციის ციკლის შესწავლაში.

მოსალოდნელი შედეგი: პროექტით გათვალისწინებული დამზერილი მასალის ანალიზის საფუძველზე მოხდება შერჩეულ გალაქტიკათა აქტივობის გამოვლენა, შეისწავლება ცვლადი გამოსხივების სიკაშკაშის მრუდების ორკომპონენტური სტრუქტურა, ოპტიკური, რადიო და რენტგენული ცვალებადობის კორელაცია, გალაქტიკების ბირთვების უწყვეტი და ხაზოვანი სპექტრების ანალიზი.

შერჩეული გალაქტიკების მრავალფეროვანი ფოტომეტრიისა და სპექტროფოტომეტრიის მონაცემების ანალიზი გასცემს პასუხს კითხვაზე, თუ რა მსგავსება და განსხვავებაა ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი გალაქტიკების ფიზიკურ და ქიმიური მახასიათებლებს შორის, რომელთა ანალიზის საფუძველზე გვექნება კიდევ ერთი ახალი მყარი არგუმენტი და ნათელი წარმოდგენა სამყაროს ევოლუციის შესახებ;

დამზერელი მასალის ანალიზის საფუძველზე, გვექნება შერჩეული გალაქტიკური გროვების ხილული და სივრცული განაწილების რეალური სურათი;

საანგარიშო მასალა: აღნიშნულ თემასთან დაკავშირებით ვგეგმავთ, მინიმუმ 4 სამეცნიერო შრომის გამოქვეყნებას, მაღალრეიტინგულ სამეცნიერო ჟურნალებში და ერთხელ მაინც მივიღებთ მონაწილეობას საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაში.

შესრულების პერიოდი: აღნიშნული პროექტის ხანგრძლივობაა 5 წელი.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

პირვლად იქნება შერჩეულ ობიექტებზე ჩატარებული სრულფასოვანი კვლევა, მრავალფეროვანი UBVRI ფოტომეტრიითა და სპექტროფოტომეტრიით, რომელის საფუძველზე გვექნება პასუხი:

ა) ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე მყოფი გალაქტიკების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების მსგავსებასა და განსხვავებაზე, რომელთა ანალიზის საფუძველზე გვექნება კიდევ ერთი ახალი მყარი არგუმენტი სამყაროს ევოლუციის შესახებ;

ბ) თუ როგორია შერჩეული გალაქტიკური ობიექტების ხილული და სივრცული განაწილების რეალური სურათი;

გ) გვეცოდინება შერჩეულ გალაქტიკათა აქტივობის სიხშირე და სიდიდე; ცვალებადი გამოსხივების სიკაშკაშის მრუდების ორკომპონენტური სტრუქტურა; ოპტიკური, რადიო და რენტგენული ცვალებადობის კორელაცია; ასევე გალაქტიკების ბირთვების უწყვეტი და ხაზოვანი სპექტრების ანალიზის შედეგები.

აღნიშნულ თემასთან დაკავშირებით ვგეგმავთ, მინიმუმ 4 სამეცნიერო შრომის გამოქვეყნებას, მაღალრეიტინგულ სამეცნიერო ჟურნალებში და ერთხელ მაინც მივიღებთ მონაწილეობას საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაში.

2.6. დამატებითი ინფორმაცია

I. - ამოცანების ჩამონათვალი პერიოდებისა და შესრულებების მითითებით :

	ამოცანის დასახელება	ამოცანის შესრულების სავარაუდო პერიოდი (2024-2028 წლები)	ძირითადი შემსრულებლები
1	შერჩეულ გალაქტიკებზე დაკვირვებები - სინათლის თანამედროვე მულტიკავშირის მიმღებით.	I - ეტაპები	რ.ჭილაძე, გ.ქიმერიძე რ.ივანიძე
2	შერჩეულ გალაქტიკებზე დაკვირვებები - სინათლის თანამედროვე მულტიკავშირის მიმღებით.	II - ეტაპები	რ.ჭილაძე, გ.ქიმერიძე რ.ივანიძე

3	შერჩეულ გალაქტიკებზე დაკვირვებები - სინათლის თანამედროვე მუხტაკვირირიანი მიმღებით.	III - ეტაპი	რ.ჭილაძე,გ.ქიმერიძე რ.ივანიძე
4	შერჩეულ გალაქტიკებზე დაკვირვებები - სინათლის თანამედროვე მუხტაკვირირიანი მიმღებით.	IV - ეტაპი	რ.ჭილაძე,გ.ქიმერიძე რ.ივანიძე
5	შერჩეულ გალაქტიკებზე დაკვირვებები - სინათლის თანამედროვე მუხტაკვირირიანი მიმღებით.	V- ეტაპი	რ.ჭილაძე,გ.ქიმერიძე რ.ივანიძე

II. პროექტის საანგარიშო პერიოდში ჩატარებული სამუშაოს მოსალოდნელი შუალედური შედეგები / თვლადი ინდიკატორები ეტაპების მიხედვით

	I ეტაპი	II ეტაპი	III ეტაპი	IV ეტაპი	V ეტაპი
	შუალედური შედეგები (თვლადი ინდიკატორების ჩამონათვალი)	შუალედური შედეგები (თვლადი ინდიკატორების ჩამონათვალი)	შუალედური შედეგები (თვლადი ინდიკატორების ჩამონათვალი)	შუალედური შედეგები (თვლადი ინდიკატორების ჩამონათვალი)	შუალედური შედეგები (თვლადი ინდიკატორების ჩამონათვალი)
1	ჩამოთვლილი ობიექტების CCD მონაცემები	ჩამოთვლილი ობიექტების CCD მონაცემები	ჩამოთვლილი ობიექტების CCD მონაცემები	ჩამოთვლილი ობიექტების CCD მონაცემები	ჩამოთვლილი ობიექტების CCD მონაცემები
2	მრავალტალღოვანი ფოტომეტრული მონაცემები	მრავალტალღოვანი ფოტომეტრული მონაცემები	მრავალტალღოვანი ფოტომეტრული მონაცემები	მრავალტალღოვანი ფოტომეტრული მონაცემები	მრავალტალღოვანი ფოტომეტრული მონაცემები
3		ერთი პუბლიკაცია მაღალი იმპაქტ. ფაქტორის ჟურნალში	ერთი პუბლიკაცია მაღალი იმპაქტ. ფაქტორის ჟურნალში	ერთი პუბლიკაცია მაღალი იმპაქტ. ფაქტორის ჟურნალში	ერთი პუბლიკაცია მაღალი იმპაქტ. ფაქტორის ჟურნალში
4					კონფერენციის პრეზენტაცია
5		შერჩეულ გვანდელ გარეგალაქტიკურ ობიექტთა ფიზიკური მახასიათებლები	შერჩეულ გვანდელ გარეგალაქტიკურ ობიექტთა ფიზიკური მახასიათებლები	შერჩეულ ადრეულ გარეგალაქტიკურ ობიექტთა ფიზიკური მახასიათებლები	შერჩეულ ადრეულ გარეგალაქტიკურ ობიექტთა ფიზიკური მახასიათებლები

შენიშვნა: პროექტის განხორციელებისას, იგეგმება ორი მაგისტრანტის დროებით ჩართვა, დამზერილი მასალის მღების პროცესში, იმ ფორმით, როგორც ამას პროექტის რეგულაციები ითვალისწინებს.

VI. სტრუქტურის ზრდის შესწავლა გალაქტიკების სამწერტილოვანი ფუნქციით
(ხელმძღვანელი ლ. სამუშია)

1.1. კვლევის მიმართულება: გარეგალაქტიკური ასტრონომია, სამყაროს მსხვილმაშტაბოვანი სტრუქტურა, გრავიტაციის თეორია

1.2. სტრუქტურული ერთეული: გალაქტიკებისა და ვარსკვლავების განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	ლადო სამუშია	მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი	PhD	ხელმძღვანელი
2	ალექსანდრე თევზაძე	მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი	PhD	თეორიული კვლევა, რიცხვითი თვლები

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
	კომპიუტერული ტექნიკა		

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
	პერსონალური კომპიუტერი	10 000	1	10 000	
			სულ:	10 000	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ -

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი)

№		1 წელი	2 წელი	3 წელი	4 წელი	5 წელი	ჯამი
1	შესყიდვა (> 500 ლ)	10 000					10 000
2	შესყიდვა (< 500 ლ)						
3	მივლინება ქვეყნის გარეთ						
4	სულ	10 000					10 000

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

გალაქტიკების სივრცული განაწილების განაწილების სტატისტიკური თვისებების ახსნა თანამედროვე დაკვირვებადი კოსმოლოგიის ერთერთი მთავარი მიზანია. მრავალი საერთაშორისო ექსპერიმენტის მონაცემი უკვე საჯაროდაა ხელმისაწვდომი [1,2], ხოლო ბევრი ექსპერიმენტის მიერ

შეგროვებული მონაცემები უახლოეს რამდენიმე წელიწადში გახდება ხელმისაწვდომი [3,4]. ამ მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავება საშუალებას გვაძლევს შევზღუდოთ ფარული ენერჯის და ფარული მატერიის თვისებები სხვადასხვა კოსმოლოგიურ ეპოქაში [5,6].

ჩვენი პროექტის მიზანია ამ მონაცემებში სამწერტილოვანი კორელაციური ფუნქციის გაზომვა და მისი თეორიული მოდელირება. სამწერტილოვანი კორელაციური ფუნქცია აღწერს გალაქტიკების ტრიპლეტის კონფიგურაციის ალბათობას. როგორც Planck-ის ბოლო მონაცემებმა გვაჩვენა, ადრეულ სამყაროში სამწერტილოვანი სამწერტილოვანი ფუნქციას ძალიან მცირე ამპლიტუდა აქვს. არაწრფივი გრავიტაციული ევოლუციის შედეგად ეს სიგნალი ძლიერდება და გვიანდელ სამყაროში მნიშვნელოვან ამპლიტუდას აღწევს. რადგან სიგნალის გენერაციის ძირითადი წყარო გრავიტაციული არასტაბილურობაა (ხოლო საწყისი პირობები ცნობილია), შესაძლებელია ამ სიგნალის გამოყენებით გრავიტაციის თვისებების დადგენა. სიგნალის გენერაციის მეორე მნიშვნელოვანი წყაროა გალაქტიკების წარმოქმნის არაწრფივი პროცესი. შესაბამისად, სიგნალის გაანალიზებით ასევე შესაძლებელია გალაქტიკების წარმოქმნის პროცესის აღმწერი თეორიული მოდელების ექსპერიმენტზე გადამოწმება.

მიუხედავად კონცეპტუალური სიმარტივისა, სამწერტილოვანი ფუნქციების დათვლა და სტატისტიკური ანალიზი საკმაოდ რთულია. ცნობილია რომ სტანდარტული შემოფოტების თეორია ამ პროცესის მოდელირებისთვის არ გამოდგება. კორელაციური ფუნქციის გაზომვის მეთოდები შედარებით ახალია [7,8]. ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში, ამ ტიპის გაზომვები გამაყენებულ იქნა მონაცემებში ბარიონული ოსცილაციების სიგნალის გასაზომად [9] და გრავიტაციული სივრცული გამრუდებების სიმძლავრის დასადგენად [10]. ორივე ანალიზის შედეგი საკმაოდ რეზონანსული იყო და ექსპერიმენტულ კოსმოლოგიაში დიდი ინტერესი გამოიწვია. მათი მეშვეობით მოხერხდა მანამდე არსებული გაზომვების სიზუსტის 30 პროცენტით გაუმჯობესება. თეორიულად ნაჩვენებია რომ სამწერტილოვანი ფუნქციის მეშვეობით შესაძლებელია კოსმოლოგიურ პარამეტრებზე შეზღუდვების მნიშვნელოვნად გაუმჯობესება [11] თუმცა ზუსტი მეთოდოლოგია ამ ანალიზის ჩასატარებლად ჯერ დამუშავებული არ არის. ძირითად სირთულეს წარმოადგენს არაწრფივი პროცესების და გალაქტიკური ფონის გავლენის მოდელირება [12]. დღეისათვის ასევე უცნობია თუ რა გავლენას ახდენს ექსპერიმენტული უზუსტობები (მაგალითად ზედმეტად კაშკაშა ვარსკვლავების გავლენა მათ გარშემო მდებარე ბნელ გალაქტიკებზე, ან ატმოსფერული პირობების ცვლილება) ამ ტიპის გაზომვებზე.

სწორი მეთოდების აღმოჩენა დიდ გავლენას მოახდენს ე.წ. “ზუსტ კოსმოლოგიაზე”, რომლის მიზანია ფარული ენერჯის და მატერიის თვისებების მაღალი სიზუსტით გაზომვა. პროექტის შედეგები გამოყენებული იქნება ფარული ენერჯის სხვადასხვა მოდელებზე შეზღუდვის დასადგენად. პროექტი უაღრესად აქტუალურია, ვინაიდან იმ ტიპის მონაცემები, რომლებიც ამ გაზომვების გაკეთების საშუალებას გვაძლევს, სწორედ ახლა გახდა ხელმისაწვდომი [13].

პროექტი ბოლო სამი წლის განმავლობაში ჩვენი ჯგუფის მიერ შესრულებული სამუშაოს ლოგიკური გაგრძელებაა. პროექტის ხელმძღვანელი ჩართულია საერთაშორისო კოლაბორაციებში რომლებიც ამ მომენტში მონაცემებს აგროვებენ და იცნობს ამ მონაცემების რიცხვითი ანალიზის თავისებურებებს. ჩვენმა ჯგუფმა ბოლო წლებში შეიმუშავა სამწერტილოვანი ფუნქციების გაზომვის სწრაფი რიცხვითი მეთოდები. ჩვენი ბოლო პუბლიკაცია სწორედ ამ თემას ეხება [14].

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

[1] D. J. Eisenstein, D. H. Weinberg, E. Agol, *et al.*, SDSS-III: Massive Spectroscopic Surveys of the Distant Universe, the Milky Way, and Extra-Solar Planetary Systems, *Astronomical Journal* **142** (2011) 72

- [2] Ahn, C.P. and 237 colleagues 2014. The Tenth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-III Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 211.
- [3] Eisenstein, D., DESI Collaboration 2015. The Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI): Science from the DESI Survey. *American Astronomical Society Meeting Abstracts* #225.
- [4] DESI Collaboration and 264 colleagues 2023. The Early Data Release of the Dark Energy Spectroscopic Instrument. arXiv e-prints. doi:10.48550/arXiv.2306.06308
- [5] H. Gil-Marín, L. Verde, J. Noreña, A. J. Cuesta, L. Samushia, W. J. Percival, C. Wagner, M. Manera, D. P. Schneider, The power spectrum and bispectrum of SDSS DR11 BOSS galaxies - II. Cosmological interpretation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **452** (2015) 1914–192
- [6] S. Alam, F. D. Albareti, C. Allende Prieto, F. Anders, S. F. Anderson, T. Anderton, B. H. Andrews, E. Armengaud, É. Aubourg, S. Bailey, et al., The Eleventh and Twelfth Data Releases of the Sloan Digital Sky Survey: Final Data from SDSS-III, *Astrophysical Journal Supplement* **219** (2015) 12
- [7] Philcox, O.H.E., Slepian, Z., Hou, J., Warner, C., Cahn, R.N., Eisenstein, D.J. 2022. ENCORE: an $O(N_g^2)$ estimator for galaxy N -point correlation functions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 509, 2457–2481
- [8] McBride, C.K. and 7 colleagues 2011. Three-point Correlation Functions of SDSS Galaxies: Constraining Galaxy-mass Bias. *The Astrophysical Journal* 739.
- [9] Pearson, D.W., Samushia, L. 2018. A Detection of the Baryon Acoustic Oscillation features in the SDSS BOSS DR12 Galaxy Bispectrum. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 478, 4500–4512
- [10] Gil-Marín, H. and 7 colleagues 2017. The clustering of galaxies in the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: RSD measurement from the power spectrum and bispectrum of the DR12 BOSS galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 465, 1757–1788
- [11] Samushia, L., Slepian, Z., Villaescusa-Navarro, F. 2021. Information content of higher order galaxy correlation functions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 505, 628–641
- [12] Alkhanishvili, D. and 6 colleagues 2022. The reach of next-to-leading-order perturbation theory for the matter bispectrum. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 512, 4961–4981.
- [13] Moon, J. and 67 colleagues 2023. First detection of the BAO signal from early DESI data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 525, 5406–5422.
- [14] Khomeriki, G., Samushia, L. 2023. Mixing Bispectrum Multipoles Under Geometric Distortions. arXiv e-prints. doi:10.48550/arXiv.2307.1649

2.3. სამუშაოს მოცულობა

ჩვენი პროექტი ოთხი ამოცანისგან შედგება:

1. სამწერტილოვანი ფუნქციის გაზომვებზე დაკვირვებითი “ფანჯრის” ეფექტის დათვლა
2. სიმულაციების მეშვეობით მცირე მანძილებზე ფუნქციის მოდელირება
3. ბარიონული ოსცილაციის სიგნალის განცალკევება
4. DESI-ექსპერიმენტის მიერ შეგროვებული მონაცემების ანალიზი.

მეოთხე პუნქტი ჩვენი პროექტის მთავარი მიზანია, პირველი სამი პუნქტი კი აუცილებელია ამ ამოცანის წარმატებით განხორციელებისათვის.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. სამწერტილოვანი ფუნქციის გაზომვებზე დაკვირვებითი “ფანჯრის” ეფექტის დათვლა

ამოცანის მიზანი: კოსმოლოგიური მონაცემები დაკვირვებებს ყოველთვის კოსმოსური სივრცის შეზღუდულ არეალში აგროვებენ. დიდი ხანია ცნობილია რომ ამ “ფანჯრის” ეფექტს გავლენა აქვს დიდი მასშტაბებზე კორელაციური ფუნქციის გაზომვაზე, კერძოდ ხდება ამ ფუნქციების ამპლიტუდის ხელოვნური გაზრდა. დღეისათვის უცნობია ამ პრობლემის გადაჭრის პრაქტიკული გზა. პრექტიკული მეთოდის შემუშავების გარეშე შეუძლებელი იქნება დიდ მასშტაბებზე სამწერტილოვანი ფუნქციის ამპლიტუდის სამეცნიერო ანალიზში გამოყენება.

ამოცანის მიზანია შემუშავდეს მეთოდოლოგია (და შესაბამისი კომპიუტერული კოდი) გაზომილი სამწერტილოვანი ფუნქციის “ფანჯრის” ეფექტისგან გასაწმენდად.

სამუშაოს აღწერა: არსებობს ფანჯრის ეფექტის მოშორების ორი კონცეპტუალური შესაძლებლობა, ერთია ამ ეფექტების სიმულირება და მათი ზედდადება თეორიულ დათვლებზე რათა თეორიას და დაკვირვებას ერთი და იგივე ეფექტი ჰქონდეს. ეს მეთოდმა უნდა იმუშაოს ნებისმიერი მოდელისთვის, თუმცა ეფექტის სიმულირება შეიძლება რთული აღმოჩნდეს. მეორე მეთოდია გაზომვების გაწმენდა ეფექტისგან რათა შესაძლებელი იყოს მათი თეორიასთან პირდაპირი შედარება. ეს მეთოდი ყოველთვის ვერ იმუშავებს რადგან ფანჯრის ეფექტი ყოველთვის ცალსახა არაა (მათემატიკურად შეუძლებელია ცალსახა უკუგარდაქმნის პოვნა). ჩვენ გამოვიყენებთ პირველი მეთოდს. ფანჯრის ეფექტის სიმულირებისათვის საჭირო მრავალგანზომილებიანი ინტეგრალების დათვლა მოხდება რიცხვითად პარალელური პროგრამირების მეთოდის გამოყენებით. დავითვლით რა ამ ეფექტს რამდენიმე კონკრეტულ შემთხვევაში, ჩვენ შევეცდებით შევიმუშავოთ სწრაფი ემპირიული ფორმულა რომლის მეშვეობითაც მოხდება ფანჯრის მიერ სხვადასხვა სიხშირეების არევის მიახლოებითი დათვლა. მეთოდი შემოწმდება კონტროლირებად სიმულაციებზე და მოხდება მისი დახვეწა საჭირო სიზუსტის მიღწევამდე.

მოსალოდნელი შედეგი: ამოცანის შესრულებისას ჩვენ გვექნება შემუშავებული ემპირიული მეთოდოლოგია (და შესაბამისი კომპიუტერული კოდები) რომელიც საშუალებას მოგვცემს თეორიულად ნაწინასწარმეტყველები სამწერტილოვანი ფუნქცია გარდავქმნათ დაკვირვებად ფუნქციაში რომლის პირდაპირ შედარება შესაძლებელი იქნება ექსპერიმენტთან.

შესრულების პერიოდი: 2024 წელი

საანგარიშო მასალა: 1 სამეცნიერო სტატია.

ამოცანა 2. სიმულაციების მეშვეობით მცირე მანძილებზე ფუნქციის მოდელირება

ამოცანის მიზანი: მცირე მასშტაბებზე სამწერტილოვანი კორელაციური ფუნქციის თეორიული დათვლა საკმაოდ რთულია. შეშფოთების თეორია, რომელიც თეორიული კოსმოლოგიის ძირითად მეთოდს წარმოადგენს, მცირე მასშტაბებზე არ მუშაობს. ბოლოდროინდელი ნაშრომებიდან ცხადია რომ როგორც ეილერის ასევე ლაგრანჟის სივრცეში შესრულებული დათვლები არაზუსტია 100-ზე ნაკლებ მეგაპარსეკ მანძილებზე.

ამოცანის მიზანია შემუშავებულ იქნას მცირემაშტაბებზე სამწერტილოვანი ფუნქციის დათვლის სიმულაციებზე დაფუძნებული მეთოდი რომელიც ერთ პროცენტზე უკეთესი სიზუსტით იმუშავებს.

სამუშაოს აღწერა: ჩვენ გამოვიყენებთ საჯაროდ ხელმისაწვდომ AbacusSummit სიმულაციებს რომლებიც ჰარვარდის კვლევითი ჯგუფის მიერ არის შექმნილი. AbacusSummit შეიცავს სიმულირებული გალაქტიკების სივრცულ განაწილებას 8 კუბური გიგაპარსეკის ზომის კუბში. სიმულაციები შესრულებულია როგორც სტანდარტულ ასევე ალტერნატიულ კოსმოლოგიურ მოდელებში. ჩვენ გავზომავთ სამწერტილოვან ფუნქციას ამ კუბებში და მოვახდენთ გაზომვების ინტერპოლაციას სხვადასხვა მეთოდის გამოყენებით რათა გავარკვიოთ თუ როგორ იცვლება მათი ამპლიტუდა კოსმოლოგიური პარამეტრების ცვლილებასთან ერთად. ამ კვლევის საფუძველზე ჩვენ შევადგენთ ემულატორს რომელიც საშუალებას მოგვცემს თეორიულად დავთვალოთ კორელაციური ფუნქციის ამპლიტუდა სხვადასხვა მოდელებში.

მოსალოდნელი შედეგი: ამოცანის შესრულებისას ჩვენ გვექნება სწრაფი ემულატორი რომლის საშუალებითაც მოხდება სამწერტილოვანი ფუნქციის ამპლიტუდის თეორიული დათვლა სხვადასხვა კოსმოლოგიურ მოდელებში

შესრულების პერიოდი: 2025 წელი

საანგარიშო მასალა: 1 სამეცნიერო სტატია.

ამოცანა 3. ბარიონული ოსცილაციის სიგნალის განცალკევება

ამოცანის მიზანი: ბარიონული ოსცილაციის სიგნალი ერთერთი ყველაზე კარგად შესწავლილი კოსმოლოგიური გაზომვაა. თეორიული მოლოდინია რომ ეს სიგნალი თავს სამწერტილოვან ფუნქციაშიც იჩენს როგორც ლოკალური მაქსიმუმი დაახლოებით 150 მეგაპარსეკ მანძილზე. იმისათვის რომ მოხდეს მაქსიმუმის მდგომარეობის ზუსტი გაზომვა, აუცილებელია ამ სიგნალის ფონისაგან იზოლირება. არსებობს ბევრი ალტერნატიული მეთოდი ამ სიგნალის განცალკევების ორწერტილოვან ფუნქციაში. როგორ უნდა მოხდეს ეს განცალკევება სამწერტილოვან ფუნქციაში დღეისათვის უცნობია.

ამოცანის მიზანია შემუშავებულ იქნას მეთოდოლოგია (და შესაბამისი კომპიუტერული კოდი) გაზომილი სამწერტილოვანი ფუნქციიდან ბარიონული ოსცილაციების იზოლაციისთვის.

სამუშაოს აღწერა: ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ჩვენ რამდენიმე პარალელურ მეთოდს გამოვიყენებთ. პირველი რიგში ჩვენ დავითვლით სიგნალის თეორიულად მოსალოდნელ ფორმას როგორც პირველი რიგის შემფოთების თეორიაში ასევე ე.წ. Geo-FT მოდელებში. პარალელურად ჩვენ გავზომავთ სიგნალს საჯაროდ ხელმისაწვდომ GLAM სიმულაციებში სადაც ბარიონული სიგნალი ხელოვნურადაა განცალკევებული. ორი მეთოდის შედარების შედეგად ჩვენ მოვახდენთ თეორიული მოდელების ფენომენოლოგიურ მოდიფიკაციას მანამ სანამ ბარიონული სიგნალის განცალკევების სიზუსტი საჭირო სიზუსტეს არ მიაღწევს. მიღებული შედეგები გადამოწმდება AbacusSummit სიმულაციებზე, რომელთა ბარიონული სიგნალი წინასწარ ცნობილია.

მოსალოდნელი შედეგი: ამოცანის შესრულებისას ჩვენ გვექნება სიმულაციებზე გადამოწმებული მეთოდი გაზომილი სამგანზომილებიანი ფუნქციიდან ბარიონული სიგნალის იზოლაციის.

შესრულების პერიოდი: 2026 წელი

საანგარიშო მასალა: 1 სამეცნიერო სტატია.

ამოცანა 4. DESI-ექსპერიმენტის მიერ შეგროვებული მონაცემების ანალიზი.

ამოცანის მიზანი: 2025 წლის ბოლოს DESI ექსპერიმენტი საჯაროდ გამოაქვეყნებს მათ მიერ შეგროვებულ გალაქტიკების მონაცემებს. ეს იქნება მაგ დროისთვის ყველაზე ზუსტი მონაცემები.

ბოლო ამოცანის მიზანია ჩვენს მიერ წინა სამ ამოცანაში შემუშავებული მეთოდები და კომპიუტერული კოდები გამოვიყენოთ ამ მონაცემების გასაანალიზებლად.

სამუშაოს აღწერა: ჩვენ გავზომავთ სამწერტილოვან ფუნქციას DESI მონაცემებში. პირველი ამოცანის შედეგის გამოყენებით ჩვენ გავწმენდთ მონაცემებს “ფანჯრის” ეფექტისგან. მეორე ამოცანის შედეგი იქნება გამოყენებული გაზომვის მოდელირებისათვის. მესამე ამოცანის შედეგი კი გამოყენებულ იქნება მონაცემებში ბარიონული ოსცილაციის სიგნალის საპოვნელად.

მოსალოდნელი შედეგი: ამოცანის შესრულების შედეგად ჩვენ დიდი სიზუსტით გავზომავთ რამდენიმე მნიშვნელოვან კოსმოლოგიურ პარამეტრს. ერთერთი ასეთი პარამეტრი იქნება ბარიონული ოსცილაციების მასშტაბი. გარდა ამისა ჩვენ გავზომავთ სტრუქტურის ზრდის ტემპს (სამწერტილოვანი ფუნქციის კვადრუპოლის ამპლიტუდის მეშვეობით) და მეორე რიგის მიკერძოების კოეფიციენტებს.

შესრულების პერიოდი: 2027-2028 წლები

საანგარიშო მასალა: 1 სამეცნიერო სტატია.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

მეოთხე ამოცანის შესრულებისას მიღებული გაზომვები წარმოადგენს ჩვენი პროექტის მთავარ შედეგს. ბარიონული ოსცილაციების მასშტაბი ერთერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი კოსმოლოგიური პარამეტრია. დღემდე მათი დაკვირვებებში გაზომვა მხოლოდ ორწერტილოვან ფუნქციაში მომხდარა. ასევე მნიშვნელოვანი პარამეტრია სამყაროს სტრუქტურის ზრდის ტემპი. ამ რიცხვის გამოყენება შეიძლება გრავიტაციის ალტერნატიული თეორიების შესაზღუდად. ჩვენს მიერ განხორციელებული გაზომვები გამოყენებული იქნება კოსმოლოგ თეორეტიკოსების მიერ კოსმოლოგიის ალტერნატიული მოდელების გადასამოწმებლად. მეთოდები ასევე გამოყენებული იქნება Euclid ექსპერიმენტის (2029 წელი) და Roman ექსპერიმენტის (2030 წელი) მონაცემთა დასამუშავებლად.

2.6. დამატებითი ინფორმაცია. ჩვენი პროექტის მთავარი მიზანი მეოთხე ამოცანის შესრულებაა. პირველი სამი ამოცანა თეორიული სახისაა და ჩვენ ვვარაუდობთ რომ მათ შესრულებას სამი წელი დასჭირდება. მეოთხე ამოცანა ითვალისწინებს რთული სახის დაკვირვებებზე მუშაობას. მის წარმატებით დასასრულებლად ჩვენ მოგვიწევს მონაცემთა შეგროვების დეტალების გაცნობა. ასევე DESI კომპიუტერული კოდების შესწავლა და დაკვირვებებთან დაკავშირებული სისტემატიური შეცდომების შესწავლა. რადგან გაზომვები გამოყენებული იქნება ჩვენი კოლეგების მიერ კოსმოლოგიურ მოდელებთან დაკავშირებით დასკვნების გამოტანის პროცესში, მნიშვნელოვანია ამ შედეგების ყურადღებით გადამოწმება არსებული სიმულაციებზე. სწორედ ამიტომ, ჩვენ ვვარაუდობთ რომ ბოლო ამოცანის შესრულებას დასჭირდება უფრო მეტი დრო ვიდრე პირველ სამს (სავარაუდოდ ორი წელი).

VII. სხვადასხვა სპექტრული ჯგუფის ვარსკვლავებში პერიოდული პროცესების და ტრანზიტული მოვლენების ძიება და შესწავლა დაკვირვებითი მეთოდებით
(ხელმძღვანელი თ. კვერნაძე)

- 1.1. კვლევის მიმართულება: ვარსკვლავთ ასტროფიზიკა
- 1.2. სტრუქტურული ერთეული: გალაქტიკების და ვარსკვლავების განყოფილება
- 1.3. პროექტის შემსრულებლები:

	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	თეიმურაზ კვერნაძე	დეპარტამენტის უფროსი	აკად. დოქტორი	პროექტის ხელმძღვანელი; მთა ყანობილი.
2	ქეთევან ჩარგვიშვილი	მონაცემთა დამუშავების უფროსი სპეციალისტი	აკად. დოქტორი	დაკვირვებითი სპექტრული მასალის დამუშავება, ვარსკვლავთ სპექტრებში პეკულარობის შეფასება; თბილისი.
3	ოთარ კვარაცხელია	უფროსი მკვლევარი	ფიზ. მათ. მეცნიერებათა დოქტორი	დაკვირვებითი ფოტომეტრული და პოლარიმეტრული მასალის დამუშავება, დაკვირვებებში მონაწილეობა; მთა ყანობილი.
4	გიორგი ქურხული	საგანმანათლებლო პროგრამების სპეციალისტი	ფიზ. მათ. მეცნიერებათა მაგისტრი	პოლარიმეტრული, ფოტომეტრული და სპექტროსკოპიული დაკვირვებების მეთოდის და ხელსაწყოების შემუშავება, დაკვირვებითი მასალის ანალიზი; თბილისი და მთა ყანობილი.

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	36 სმ-იანი შმიტ-კასეგრენის ტელესკოპი SCT-14	1	365 დღე, სრული დატვირთვა
2	1.5 მ-იანი ახალი ტელესკოპი ASA-15	1	იანვარი-დეკემბერი, თვეში 15 ღამე სრულად, დანარჩენი 15 ღამე - 2 საათი
3	პერსონალური კომპიუტერი	4	
4	CCD კამერა	2	
5	შუქფილტრების ნაკრები	3	
6	სპექტროგრაფი	1	
7	პოლარიმეტრი	1	2024 წლის განმავლობაში მოხდება ობსერვატორიაში არსებული ძველი პოლარიმეტრის მოდიფიკაცია და განახლება

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1	ნოუტბუქი - 1 ც.	3 000	1	3 000	
2	კომპიუტერის აქსესუარები და საკანცელარიო ნივთები: კომპიუტერის მყარი დისკი 1 TB SSD, კომპიუტერის მყარი დისკი 2 TB, უწყვეტი კვების წყარო.	2 000	1	2 000	
			სულ:	5 000	

1.5 მივლინება ქვეყნის გარეთ

ერთი ადამიანის მივლინება ქვეყნის გარეთ სამეცნიერო თემასთან დაკავშირებულ საერთაშორისო კონფერენციებში მონაწილეობის მისაღებად - მე-2, მე-4 და მე-5 წლები. კონფერენციების განმავლობაში შედგება შეხვედრები სხვადასხვა ქვეყნებში ამ დარგში მომუშავე წამყვან მეცნიერებთან, მოხდება ჩვენი ჯგუფის მიერ მიღებული შედეგების წარდგენა და მათ გარშემო დისკუსია, დაიგეგმება ერთობლივი კვლევები.

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
2	შესყიდვა (> 500 ლ)			3000			3 000
3	შესყიდვა (< 500 ლ)	2000					2 000
4	მივლინება ქვეყნის გარეთ		5 000		5 000	5 000	15 000
6	სულ	2 000	5 000	3 000	5 000	5 000	20 000

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

ვარსკვლავების დიდ ნაწილს ახასიათებს ხილული სიკაშკაშის სხვადასხვა სიდიდის ცვალებადობა, რომელთა პერიოდები მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე მათი ევოლუციური ცვლილებების დროითი მასშტაბები. სიკაშკაშის ასეთი ცვალებადობა გამოწვეულია როგორც გარეშე ფაქტორებით, ასევე - ვარსკვლავებს შიგნით მიმდინარე ფიზიკური პროცესებით. გარეშე ფაქტორებია ე.წ. ტრანზიტული მოვლენები. ერთ-ერთი მათგანია, მაგალითად, ვარსკვლავთ ორმაგ ან ჯერად სისტემებში, კომპონენტების მიერ ერთმანეთის დაბნელება მხედველობის სხივის გასწვრივ მათი ორბიტების შესაბამისი ორიენტაციის დროს ანუ ბნელბადი ცვალებადი ვარსკვლავების შემთხვევა. ანალოგიური მოვლენაა, როდესაც ვარსკვლავის დაბნელება ხდება ეგზოპლანეტის მიერ. შიდა ფაქტორებიდან ყველაზე გავრცელებულია ვარსკვლავების ზომის და ფორმის პერიოდული ცვლილებები ანუ ე.წ. ვარსკვლავთ პულსაციები.

პულსაციების შესწავლას დაკვირვებითი მეთოდებით უდიდესი მნიშვნელობა აქვს სხვადასხვა ტიპის ვარსკვლავების შიდა აგებულების, მათში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების და სხვა ფიზიკური პარამეტრების (მასა, დიამეტრი, ბრუნვის სიჩქარე, მაგნიტური ველის სიდიდე) გამოსავლენად, რადგან ეს უკანასკნელი უშუალოდ განაპირობებენ ვარსკვლავის ხილული

სიკაშკაშის და სხივური სიჩქარეების პერიოდულ ცვლილებებს და ცვლილებების სიხშირულ სპექტრს.

ვარსკვლავთა ხილული სიკაშკაშის პულსაციური ცვლილებების შესაწავლას ხანგრძლივი ისტორია აქვს, თუმცა ამ მიმართულების განვითარებას განსაკუთრებული ბიძგი მისცა ბოლო ათწლეულში რამდენიმე კოსმოსური ტელესკოპის გაშვებამ - NASA Kepler/K2, MOST, CoRoT, Gaia, NASA TESS, BRITe, CHEOPS. ასევე იგეგმება ახალი მისიები, მაგალითად ევროპული PLATO (Bowman, D.M. 2020; Brown, A.G.A. et al. 2018; Guzik, J.A. and Roth, M. 2021; Moya, A. et al. 2018;).

ამ მიმართებით განსაკუთრებულ როლს თამაშობს კოსმოსური ტელესკოპი NASA TESS, რომლის ფოტომეტრიული სიზუსტე 0.1%-ს აღწევს და უაღრესად მდიდარ მასალას იძლევა ვარსკვლავთ ცვალებადობის გამოსავლენად და შესასწავლად.

ვარსკვლავებში პულსაციების გამომწვევი მექანიზმების გათვალისწინებით გამოარჩევენ 2 მოდას: 1) p მოდა ანუ წნეებითი მოდა, როდესაც წნევა არის ვარსკვლავის დაკარგული წონასწორობის ძირითადი აღმდგენი ფაქტორი. p მოდა ბერითი ტალღებია და ამ დროს გაზის ნაკადების გადაადგილებები ძირითადად ვერტიკალურია; 2) g მოდა ანუ გრავიტაციული მოდა, როდესაც წონასწორობის ძირითადი აღმდგენი ფაქტორი ამომგდები ძალაა და გაზის ნაკადების გადაადგილებები ძირითადად ჰორიზონტულია. აღნიშნულ მოდებს სხვადასხვა გამოვლენა აქვთ სხვადასხვა ფიზიკური პარამეტრების მქონე გარემოში, ამდენად სხვადასხვა სპექტრული ჯგუფების ვარსკვლავებში განსხვავებული ხასიათის პულსაციები გვხვდება.

პულსაციების და მათი გამომწვევი მექანიზმების მიხედვით გამოარჩევენ რამდენიმე ძირითად ტიპს: ნელა პულსირებადი B კლასის და ბეტა Cep-ის ტიპის ვარსკვლავები (Wu, T. and Li, Y. 2019; Walczak, P. 2015); B ზეგიგანტი ვარსკვლავები (Walczak, P. 2019); B ტიპის ქვეჯუჯა ვარსკვლავები (Lynas-Gray, A.E. 2021); დელტა Sct და გამა Dor ტიპის ვარსკვლავები (Guzik, J.A. 2021); სწრაფად მბრუნავი roAp კლასის პეკულარული ვარსკვლავები (Kurtz, D.W. 1982); RR Lyr ტიპის ვარსკვლავები და ცეფეიდები (Plachy, E. and Szabó, R. 2021); თეთრი ჯუჯები (Córscico, A. H. 2020). ეს ტიპები მოიცავენ სხვადასხვა სპექტრული და ბრწყინვალეების კლასების და, შესაბამისად, სრულიად განსხვავებული აგებულების მქონე და ევოლუციურ ეტაპებზე მყოფ ვარსკვლავებს.

ვარსკვლავთა ხილული სიკაშკაშის პულსაციური ცვლილებების ტიპის დასადგენად მნიშვნელოვანია ვარსკვლავის გარკვეული მონაცემების, კერძოდ, მისი სპექტრული და ბრწყინვალეების კლასების წინასწარ ცოდნა. ამ თვალსაზრისით აბასთუმნის ობსერვატორიაში ათწლეულების მანძილზე უაღრესად მნიშვნელოვანი შედეგებია მიღწეული და ვარსკვლავთ ორგანოზომილებიანი MK კლასიფიკაციის მდიდარი კატალოგებია გამოქვეყნებული (Bartaya, R.A. 1979; Bartaya, R.A. and Kharadze, E.K. 1992; Chargeishvili, K. B. 1988; Chargeishvili, K. B., Bartaya, R. A. and Kharadze, E. K. 2000; Kharadze, E. K., Bartaya, R.A. and Chargeishvili, K.B. 2003).

გრავიტაციული მიკროლინზირება ტრანზიტული ტიპის ასტრონომიული ფენომენია, რომელიც გამოწვეულია გრავიტაციული ლინზის ეფექტით. შორეული კაშკაშა ობიექტის წინ მხედველობის სხივის გასწვრივ კომპაქტური მასიური ობიექტის გავლისას, მისი გრავიტაციული ველის გავლენით, შესაძლებელია მოხდეს ამ შორეული ობიექტის გამოსხივების დროებითი მომატება. ტრანზიტის ხანგრძლივობის, სიკაშკაშის მრუდის ამპლიტუდისა და ფორმის შესწავლით შესაძლებელია დავაფიქსიროთ და შევისწავლოთ ციური სხეულები, რომლებიც თითქმის არ ასხივებენ ან ძალიან ცოტა სინათლეს ასხივებენ - ყავისფერი ჯუჯები, წითელი ჯუჯები, ეგზოპლანეტები, თეთრი ჯუჯები, ნეიტრონული ვარსკვლავები და შავი ხვრელები. პირველი მიკროლინზა, იუპიტერის ზომის პლანეტა, აღმოჩენილ იქნა 1991 წელს. წინამდებარე პროექტის

მონაწილეთა ნაწილი რამდენიმე წელია თანამშრომლობს საერთაშორისო ჯგუფებთან TESS ExoFOP და BHTOM, რომლებიც აკვირდებიან და სწავლობენ ეგზოპლანეტების და მიკროლინზების კანდიდატ ობიექტებს (Kvernadze et al., 2023; Maskoliūnas et al. 2023). პროექტის ფარგლებში გაგრძელდება აღნიშნული ჯგუფების მიერ შერჩეული ობიექტების სისტემატური დაკვირვებები ახალი ეგზოპლანეტებისა და მიკროლინზების გამოვლენის მიზნით.

აღნიშნული კატალოგები ჯამში რამდენიმე ათეული ათასი ვარსკვლავის ზუსტ სპექტრულ და ბრწყინვალეების კლასებს იძლევა და მათ შორის ისეთი ვარსკვლავების, რომელთაც პეკულარობები ახასიათებთ სპექტრში. ამ საწყისი მონაცემების გამოყენება აადვილებს ვარსკვლავებში სხვადასხვა ტიპის პულსაციური ცვალებადობების ძიებას, გამოვლენას და მათ შემდგომ დეტალურ შესწავლას. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ჯერადი სისტემების კვლევა, რადგან ამ შემთხვევაში უფრო ზუსტად არის შესაძლებელი სისტემის კომპონენტების ძირითადი ასტროფიზიკური პარამეტრების (მასა, რადიუსი, ნათობა და სხვა) განსაზღვრა, რაც თავის მხრივ აიოლებს კომპონენტებში პულსაციური ცვალებადობის ანალიზს (Mktrichian et al. 2002). პროექტის განხორციელების შედეგად მოსალოდნელია ათეულობით სხვადასხვა ტიპის ახალი პულსირებადი ვარსკვლავის თუ ტრანზიტული სისტემის აღმოჩენა და მათი ძირითადი პარამეტრების დადგენა.

წარმოდგენილი პროექტის ფარგლებში დაგეგმილია საერთაშორისო თანამშრომლობა ტაილანდის ასტრონომიული კვლევების ეროვნულ ინსტიტუტთან. ამ ინსტიტუტის წამყვანი თანამშრომელი, დავით მკრტიჩიანი, ცნობილი სპეციალისტია ვარსკვლავთ პულსაციების დარგში და კონსულტაციებს გაუწევს პროექტის მკვლევარებს მისი განხორციელების ყველა ეტაპზე.

წინამდებარე პროექტის მიზანია:

1. აბასთუმნის ობსერვატორიაში შესრულებული ვარსკვლავთ ზუსტი MK კლასიფიკაციის ერთიანი ელექტრონული კატალოგის კომპილირება, მისი კროსსიდენტიფიკაცია Gaia DR3 და TESS კატალოგებთან და ერთიანი კრებსითი კატალოგის შექმნა;
2. ამ კრებსითი კატალოგიდან ძირითადი ვარსკვლავთ პარამეტრების მიხედვით ცალკეული სპექტრული ჯგუფების და პეკულარული ქვეჯგუფების გამოყოფა შესაბამისი პულსაციური ტიპების გათვალისწინებით;
3. ამ ჯგუფებში შემავალი ვარსკვლავების სიკაშკაშის მრუდების ჩამოტვირთვა TESS-ის არქივიდან - Mikulski Archive for Space Telescopes;
4. ჩამოტვირთულ სიკაშკაშის მრუდებში პულსაციების და ტრანზიტული მოვლენების ავტომატური ძიება;
5. გამოვლენილი პულსირებადი ვარსკვლავების და ტრანზიტული მოვლენების შემოწმება სხვა ცნობილ თუ ბოლო პერიოდში გამოქვეყნებულ კატალოგებში;
6. ახლად აღმოჩენილი პულსირებადი ვარსკვლავების და ტრანზიტული მოვლენების (სხვადასხვა ტიპის ბნელეზადი ცვალებადი ვარსკვლავები, ელიფსოიდური ჯერადი სისტემები, ეგზოპლანეტები და მიკროლინზები) ფოტომეტრიული, სპექტროსკოპული და პოლარიმეტრიული დაკვირვებები აბასთუმნის ობსერვატორიის ახალი 1.5 მეტრიანი და 36 სმ-იანი SCT-14 ტელესკოპებით;
7. ახლად აღმოჩენილი პულსირებადი ვარსკვლავების და ტრანზიტული მოვლენების ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრა და შედეგების გამოქვეყნება;
8. ერთიანი კრებსით კატალოგში შემავალი პეკულარული ვარსკვლავების შესწავლა, მათი ფოტომეტრიული, სპექტროსკოპული და პოლარიმეტრიული დაკვირვებები აბასთუმნის

ობსერვატორიის ახალი 1.5 მეტრიანი ტელესკოპით ორმაგობის და პულსაციების შემოწმების მიზნით და სხვადასხვა ფიზიკური პარამეტრების განსაზღვრისათვის.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

- Bartaya, R.A. (1979). Catalog of spectral and luminosity classes of 10396 stars in Kapteyn's selected areas NN 2-43. *Bull. Abastumani Astrophys. Obs.*, Vol. 51, p. 1.
- Bartaya, R.A. and Kharadze, E.K. (1992). Catalog of spectral and luminosity classes of 6042 stars in Kapteyn areas 44-67. *Bull. Abastumani Astrophys. Obs.*, Vol. 72.
- Chargeishvili, K. B. (1988). Catalog of spectral and luminosity classes of 6037 stars in the direction of the galaxy anticenter. *Bull. Abastumani Astrophys. Obs.*, Vol. 65.
- Chargeishvili, K. B., Bartaya, R. A. and Kharadze, E. K. (2000). Spectral classes in Kapteyn areas 68-91. *Bull. Abastumani Astrophys. Obs.*, Vol. 75.
- Kharadze, E.K., Bartaya, R.A. and Chargeishvili, K.B. (2003). Catalog of spectral and luminosity classes of 3879 stars in Kapteyn areas 92-115. *Bull. Abastumani Astrophys. Obs.*, Vol. 76, p. 3.
- Guzik, J.A. and Roth, M. (2021) Editorial: The Future of Asteroseismology. *Front. Astron. Space Sci.* 8:704652. doi: 10.3389/fspas.2021.704652.
- Plachy, E., and Szabó, R. (2021). RR Lyrae Stars as Seen by the Kepler Space Telescope. *Front. Astron. Space Sci.* 7, 81. doi:10.3389/fspas.2020.577695.
- Moya, A., Barceló Forteza, S., Bonfanti, A., Salmon, S. J. A. J., Van Grootel, V., and Barrado, D. (2018). Asteroseismic Potential of CHEOPS. *A&A* 620, A203. doi:10.1051/0004-6361/201833772.
- Lynas-Gray, A. E. (2021). Asteroseismic Observations of Hot Subdwarfs. *Front. Astron. Space Sci.* 8, 19. doi:10.3389/fspas.2021.576623.
- Guzik, J. A. (2021). Highlights of Discoveries for δ Scuti Variable Stars from the Kepler Era. *Front. Astron. Space Sci.* 8, 55. doi:10.3389/fspas.2021.653558.
- Córscico, A. H. (2020). White-Dwarf Asteroseismology with the Kepler Space Telescope. *Front. Astron. Space Sci.* 7, 47. doi:10.3389/fspas.2020.00047.
- Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Babusiaux, C., and Bailer-Jones, C. A. L. Gaia Collaboration et al. (2018). Gaia Data Release 2. Summary of the Contents and Survey Properties. *A&A* 616, A1. doi:10.1051/0004-6361/201833051.
- Bowman, D. M. (2020). Asteroseismology of High-Mass Stars: New Insights of Stellar Interiors with Space Telescopes. *Front. Astron. Space Sci.* 7, 70. doi:10.3389/fspas.2020.578584.
- D. W. Kurtz, Rapidly oscillating Ap stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 200, Issue 3, October 1982, Pages 807–859, <https://doi.org/10.1093/mnras/200.3.807>.
- Wu, T., and Li, Y. (2019). High-precision asteroseismology in a slowly pulsating B star: HD 50230. *Astrophys. J.* 881:86. doi: 10.3847/1538-4357/ab2ad8.
- Walczak, P., Fontes, C. J., Colgan, J., Kilcrease, D. P., and Guzik, J. A. (2015). Wider pulsation instability regions for β Cephei and SPB stars calculated using new Los Alamos opacities. *Astron. Astrophys.* 580:L9. doi: 10.1051/0004-6361/201526824.
- Walczak, P., Daszyńska-Daszkiewicz, J., Pigulski, A., Pamyatnykh, A., Moffat, A. F. J., Handler, G., et al. (2019). Seismic modelling of early B-type pulsators observed by BRITE-I. θ Ophiuchi. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 485, 3544–3557. doi: 10.1093/mnras/stz639.
- Mkrtchian, D.E., Kusakin, A.V., Gamarova, A.Y., Nazarenko, V. Pulsating Components of Eclipsing Binaries: New Asteroseismic Methods of Studies and Prospects. In *International Astronomical Union Colloquium 185: Radial and Nonradial Pulsations as Probes of Stellar Physics* Leuven, Belgium, 26–31 July 2002; Aerts, C., Bedding, T.R., Christensen-Dalsgaard, J., Eds.; *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*; Astronomical Society of the Pacific: San Francisco, CA, USA, 2002; Volume 259, p. 96.
- Kvernadze, T., Kvaratskhelia, O. and Kozlov, V. (2023). Observations of Gaia Microlensing Events in Abastumani, *ComBAO.* 70, 35. DOI: 10.52526/25792776-23.70.1-35.

- Maskoliūnas, M., Wyrzykowski, Ł., Howil, K. et al. (2023). Lens mass estimate in the Galactic disk extreme parallax microlensing event Gaia19dke. arXiv:2309.03324. doi: 10.48550/arXiv.2309.03324

2.3. სამუშაოს მოცულობა

ამოცანა 1. ვარსკვლავთ MK სპექტრული კლასიფიკაციის აბასთუმნის ერთიანი ელექტრონული კრებსითი კატალოგის შექმნა.

ამოცანა 2. 1-ლი ამოცანის შედეგად მიღებულ კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის სიკაშკაშის მრუდების ადგილობრივი არქივის შექმნა.

ამოცანა 3. მე-2 ამოცანის შედეგად მიღებულ მონაცემებში ვარსკვლავთ ტრანზიტული მოვლენების ძიება და მათი შემდგომი ფოტომეტრიული და სპექტროსკოპიული დაკვირვებები.

ამოცანა 4. მე-2 ამოცანის შედეგად მიღებულ მონაცემებში ვარსკვლავთ სხვადასხვა ტიპის პულსაციების ძიება და შესწავლა.

ამოცანა 5. მე-4 ამოცანით ახლადგამოვლენილი პულსირებადი ვარსკვლავების შემდგომი ფოტომეტრიული და სპექტროსკოპიული დაკვირვებები.

ამოცანა 6. 1-ლი ამოცანის შედეგად მიღებულ კრებსით კატალოგში შემავალი პეკულარული ვარსკვლავების შესწავლა სპექტროსკოპიული დაკვირვებებით.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. ვარსკვლავთ MK სპექტრული კლასიფიკაციის აბასთუმნის ერთიანი ელექტრონული კრებსითი კატალოგის შექმნა

ამოცანის მიზანი: აბასთუმნის ობსერვატორიაში შესრულებული ვარსკვლავთ MK სპექტრული კლასიფიკაციის ერთიანი ელექტრონული კატალოგის კომპილირება, მისი კროსსიდენტიფიკაცია კოსმოსური ტელესკოპების Gaia DR3 და TESS კატალოგებთან და ერთიანი ელექტრონული კრებსითი კატალოგის შექმნა.

სამუშაოს აღწერა: ამოცანის ფარგლებში მოხდება CDS პორტალზე ატვირთული აბასთუმნის ობსერვატორიაში შესრულებული ვარსკვლავთ MK სპექტრული კლასიფიკაციის ელექტრონული კატალოგების ერთ ფორმატში გაერთიანება და ერთიანი ელექტრონული კატალოგის კომპილირება. აღნიშნული ერთიანი კატალოგის ვარსკვლავთა საიდენტიფიკაციო მონაცემების ან ეკვატორული კოორდინატების გამოყენებით მოხდება Gaia DR3 და TESS კატალოგებში მათი ძიება და ერთიანი კატალოგის ფარგლებში ვარსკვლავების მონაცემების შევსება. კატალოგში არსებული სპექტრული თუ ნათობის კლასების მიხედვით შესაძლებელი იქნება მონაცემების გაფილტრვა და ცალკეული ქვეკატალოგების მიღება სპექტრული ჯგუფებისათვის. იმ ვარსკვლავებისათვის, რომელთაც საწყის კომპილირებულ კატალოგში არ ექნებათ კოორდინატები, CDS პორტალზე მოხდება მათი გაიგივება და კოორდინატების განსაზღვრა.

მოსალოდნელი შედეგი: ვარსკვლავთ MK სპექტრული კლასიფიკაციის ერთიანი ელექტრონული კრებსითი კატალოგი, შევსებული Gaia DR3 და TESS კატალოგების მონაცემებით.

შესრულების პერიოდი: 2024 წ.

საანგარიშო მასალა: აბასთუმნის ობსერვატორიის ვარსკვლავთ MK სპექტრული კლასიფიკაციის ერთიანი კრებსითი კატალოგი ელექტრონული ფორმით.

ამოცანა 2. კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის სიკაშკაშის მრუდების ადგილობრივი არქივის შექმნა

ამოცანის მიზანი: კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის TESS-ის არქივიდან სიკაშკაშის მრუდების მოძიება, გადმოწერა და ადგილობრივი არქივის შექმნა.

სამუშაოს აღწერა: კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის შესაბამისი საიდენტიფიკაციო TIC ნომრებით მოხდება მათი სიკაშკაშის მრუდების ძიება TESS-ის არქივში სხვადასხვა სექტორების მიხედვით (Mikulski Archive for Space Telescopes) და მათი ჩამოტვირთვა ადგილობრივი არქივის შექმნის მიზნით. შესაბამისი .fits ფაილებიდან სიკაშკაშის მრუდების ამოღება .csv ფორმატში შემდგომი დამუშავებისათვის. აღნიშნული სამუშაოები შესრულდება Python-ზე შექმნილი სპეციალური პროგრამული კოდით, რომლის აპრობაციაც მოხდა 2023 წლის განმავლობაში.

მოსალოდნელი შედეგი: კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავების სიკაშკაშის მრუდების ადგილობრივი არქივი.

შესრულების პერიოდი: 2024 წ.

საანგარიშო მასალა: კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავების სიკაშკაშის მრუდების ადგილობრივი არქივი.

ამოცანა 3. ტრანზიტული მოვლენების ძიება და შემდგომი ფოტომეტრიული, სპექტროსკოპიული და პოლარიმეტრიული დაკვირვებები

ამოცანის მიზანი: კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავების სიკაშკაშის მრუდების არქივში ტრანზიტული მოვლენების, კერძოდ, ბნელეზადი ცვალებადი ვარსკვლავების, ელიფსოიდური ორმაგების და ეგზოპლანეტების ძიება, შესაძლო ახალი ობიექტების გამოვლენა და შემდგომი ფოტომეტრიული, სპექტროსკოპიული და პოლარიმეტრიული დაკვირვებები აბასთუმნის ობსერვატორიის ახალი 1.5 მ-იანი და არსებული 36სმ-იანი SCT-14 ტელესკოპებით.

სამუშაოს აღწერა: კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის მოხდება ტრანზიტული მოვლენების ძიება ავტომატური ალგორითმებით (EBAS - ბნელეზადი ცვალებადებისათვის; BEER - ელიფსოიდური ჯერადებისათვის). თუ გამოვლენილი მრუდები აკმაყოფილებს ტრანზიტის პარამეტრებს, აღნიშნულ ვარსკვლავს მიენიჭება პოტენციური ტრანზიტული მოვლენის კლასი და მოხდება მათი ცალკე დამუშავება. აღნიშნული სამუშაოები შესრულდება Python-ზე შექმნილი სპეციალური პროგრამული კოდებით. შერჩეული ობიექტები გადამოწმდება უკვე გამოქვეყნებულ კატალოგებში და შეირჩევა პოტენციურად ახალი ობიექტები. ორმაგობის დასადასტურებლად აუცილებელია მათი სხივური სიჩქარეების ცვალებადობის შემოწმება, რისთვის ჩატარდება სპექტრული დაკვირვებები აბასთუმნის ობსერვატორიის ახალი 1.5 მ-იანი ტელესკოპის მეშვეობით. ასევე ჩატარდება პოტენციური ეგზოპლანეტების ფოტომეტრიული დაკვირვებები როგორც გამოვლენილი სიიდან, ასევე NASA ExoFOP პროექტის მიმდინარე სიიდან.

მოსალოდნელი შედეგი: კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის ტრანზიტული მოვლენების გამოვლენა. მომზადდება სტატიები პუბლიკაციისათვის.

შესრულების პერიოდი: 2024-2025 წ.წ.

საანგარიშო მასალა: ტრანზიტული ობიექტების კატალოგი. გამოსაქვეყნებლად გადაცემული სტატიები. ფოტომეტრიული და სპექტროსკოპიული დაკვირვებებითი მასალა.

ამოცანა 4. სხვადასხვა ტიპის პულსაციების ძიება და შესწავლა

ამოცანის მიზანი: კრებსით კატალოგში შემავალ ვარსკვლავებში სხვადასხვა ტიპის პულსაციების ძიება, შესწავლა და შესაძლო ახალი ობიექტების გამოვლენა.

სამუშაოს აღწერა: კრებსითი კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის შესაბამისი სპექტრული ჯგუფების მიხედვით მოხდება შესაძლო პულსაციების ძიება. კერძოდ, პირველ რიგში მოხდება პირველადი მონაცემების ფილტრაცია უხემ შეცდომებზე. პირველადი გაფილტრვის შემდგომ მოხდება სიკაშკაშის მრუდების პირველადი სიხშირული ანალიზი Lomb-Scargle მეთოდით (Lomb 1976; Scargle 1982). დომინანტი სიხშირის არსებობის შემთხვევაში, იგი გამოყენებული იქნება ტრანზიტის პერიოდისა და საწყისი ეპოქის გამოსათვლელად და შესაბამისი ფაზური მრუდის ასაგებად. თუ ფაზური მრუდი აკმაყოფილებს ტრანზიტის პარამეტრებს, აღნიშნულ ვარსკვლავს მიენიჭება პოტენციური ტრანზიტული მოვლენის კლასი და მოხდება მათი ცალკე დამუშავება. აღნიშნული სამუშაოები შესრულდება Python-ზე შექმნილი სპეციალური პროგრამული კოდებით, რომელთა აპრობაცია მოხდა 2023 წლის განმავლობაში.

მოსალოდნელი შედეგი: კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის სხვადასხვა ტიპის პულსაციების გამოვლენა. მომზადდება სტატიები პუბლიკაციისათვის.

შესრულების პერიოდი: 2025-2027 წ.წ.

საანგარიშო მასალა: სხვადასხვა ტიპის პულსირებადი ვარსკვლავების სია. გამოსაქვეყნებლად გადაცემული სტატიები.

ამოცანა 5. ახლადგამოვლენილი პულსირებადი ვარსკვლავების შემდგომი ფოტომეტრიული, სპექტროსკოპიული და პოლარიმეტრიული დაკვირვებები

ამოცანის მიზანი: სხვადასხვა ტიპის ახლადგამოვლენილი პულსირებადი ვარსკვლავების შემდგომი ფოტომეტრიული და სპექტროსკოპიული დაკვირვებები პულსაციის პარამეტრების დასაზუსტებლად.

სამუშაოს აღწერა: მოხდება კრებსითი კატალოგის ფარგლებში შერჩეული სხვადასხვა ტიპის პულსირებადი ვარსკვლავების შემოწმება უკვე გამოქვეყნებულ კატალოგებსა და სიებში ახალი პულსირებადი ვარსკვლავების გამოსავლენად. სხვადასხვა ტიპის ახლადგამოვლენილი პულსირებადი ვარსკვლავების პარამეტრების დასაზუსტებლად ჩატარდება შემდგომი ფოტომეტრიული, სპექტროსკოპიული და პოლარიმეტრიული დაკვირვებები აბასთუმნის ობსერვატორიის ახალი 1.5 მ-იანი ტელესკოპის მეშვეობით. ასევე გამოყენებული იქნება არსებული 36სმ-იანი SCT-14 ტელესკოპი.

მოსალოდნელი შედეგი: ახლადგამოვლენილი და სპექტროსკოპიულად დადასტურებული პულსირებადი ვარსკვლავები.

შესრულების პერიოდი: 2025-2028.

საანგარიშო მასალა: ახლადგამოვლენილი და სპექტროსკოპიულად დადასტურებული პულსირებადი ვარსკვლავების კატალოგი. ფოტომეტრიული და სპექტროსკოპიული დაკვირვებებითი მასალა.

ამოცანა 6. კრებსით კატალოგში შემავალი პეკულარული ვარსკვლავების შესწავლა სპექტროსკოპიული დაკვირვებებით

ამოცანის მიზანი: კრებსით კატალოგში შემავალი ცალკეული პეკულარული ვარსკვლავების სპექტრული და ფიზიკური მახასიათებლების დადგენა, მათში ჯერადობის და პულსაციების შემოწმება სპექტროსკოპიული დაკვირვებების მეშვეობით.

სამუშაოს აღწერა: პეკულარული ვარსკვლავების შესწავლა წარმოადგენს თავისთავად ძალზედ მნიშვნელოვან ასტროფიზიკურ ამოცანას. როგორც ცნობილია, აბასთუმანში ჩატარებული MK კლასიფიკაციის კატალოგები რამდენიმე ასეულ სხვადასხვა ტიპის პეკულარულ ვარსკვლავს შეიცავს. მიმდინარე ამოცანის ფარგლებში მოხდება ამ ვარსკვლავების მაღალი გარჩევის სპექტრების მიღება მათში პეკულარობის დასაზუსტებლად და ასევე მათი გარკვეული ფიზიკური პარამეტრების განსასაზღვრავად (ბრუნვის სიჩქარე, მაგნიტური ველის არსებობა, ქიმიური შემადგენლობა და სხვა). განსაკუთრებული ყურადღება მიექცევა ისეთ პეკულარულ ვარსკვლავებს, რომლებშიც შემჩნეული იქნება ტრანზიტული მოვლენები ან პულსაციები. სპექტროსკოპიული დაკვირვებები ჩატარდება აბასთუმნის ობსერვატორიის ახალი 1.5 მ-იანი ტელესკოპის მეშვეობით.

მოსალოდნელი შედეგი: სხვადასხვა ტიპის პეკულარული ვარსკვლავების დაზუსტებული კატალოგი. მომზადდება სტატიები პუბლიკაციისათვის.

შესრულების პერიოდი: 2026-2028.

საანგარიშო მასალა: სხვადასხვა ტიპის პეკულარული ვარსკვლავების დაზუსტებული კატალოგი. ფოტომეტრიული და სპექტროსკოპიული დაკვირვებებითი მასალა.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

1. შეიქმნება ვარსკვლავთ MK სპექტრული კლასიფიკაციის აბასთუმნის ერთიანი ელექტრონული კრებსითი კატალოგი, რომელსაც ექნება უნიფიცირებული ფორმატი, Gaia-სა და TESS-ის საიდენტიფიკაციო ნომრები და ეკვატორული კოორდინატები, რაც საშუალებას მისცემს ყველა მკვლევარს ადვილად მოიძიოს ამ ვარსკვლავებისათვის აღნიშნულ ან სხვა კატალოგებში არსებული მონაცემები;
2. კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის გამოვლენილი იქნება სხვადასხვა ტიპის ტრანზიტული მოვლენები (ბნელებადი ცვალებადი ვარსკვლავები, ელიფსოიდური ორმაგები, ეგზოპლანეტები და მიკროლინზები) და შემოწმდება მათ შორის უცნობი ახალი ობიექტების არსებობა;
3. კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის შესწავლილი იქნება სხვადასხვა ტიპის პულსაციების არსებობა და მათი ფიზიკური პარამეტრები, შემოწმდება მათ შორის უცნობი ახალი ობიექტების არსებობა;
4. კრებსით კატალოგში შემავალი ვარსკვლავებისათვის შესწავლილი იქნება სხვადასხვა ტიპის პეკულარობების არსებობა, განისაზღვრება მათი ფიზიკური პარამეტრები, შემოწმდება მათ შორის უცნობი ახალი ობიექტების არსებობა;
5. ტრანზიტული მოვლენების კანდიდატების - სხვადასხვა ტიპის ბნელებადი ცვალებადი ვარსკვლავები, ელიფსოიდური ჯერადი სისტემები, ეგზოპლანეტები და მიკროლინზები, აბასთუმნის ობსერვატორიის ახალი 1.5 მეტრიანი და 36 სმ-იანი SCT-14 ტელესკოპებით ფოტომეტრიული, სპექტროსკოპიული და პოლარიმეტრიული დაკვირვებების მეშვეობით გამოვლინდება ამ ტიპის უცნობი ახალი ობიექტების არსებობა.

2.6. დამატებითი ინფორმაცია

წარმოდგენილი პროექტზე მუშაობის 5 წლის განმავლობაში მომზადდება და გადაიგზავნება გამოსაქვეყნებლად მინიმუმ 5 სამეცნიერო სტატია საერთაშორისო მაღალრეიტინგულ რეფერირებად ჟურნალებში.

პროექტის ფარგლებში დაგეგმილია საერთაშორისო თანამშრომლობა ტაილანდის ასტრონომიული კვლევების ეროვნულ ინსტიტუტთან. ამ ინსტიტუტის წამყვანი თანამშრომელი, დავით მკრტიჩიანი, ცნობილი სპეციალისტია ვარსკვლავთ პულსაციების დარგში და კონსულტაციებს გაუწევს პროექტის მკვლევარებს მისი განხორციელების ყველა ეტაპზე.

მზისა და მზის სისტემის განყოფილება

VIII. დედამიწასთან მოახლოებადი საშიში ასტეროიდების შესწავლა აბასთუმნის ობსერვატორიაში

(ხელმძღვანელი რ. ინასარიძე)

1.1. კვლევის მიმართულება: დამზერიითი ასტრონომია, მზე და მზის სისტემა, ასტროფიზიკა.

1.2. სტრუქტურული ერთეული: მზისა და მზის სისტემის განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	რაგული ინასარიძე	უფროსი მეც.თანამშრომელი	PhD	პროექტის ხელმძღვანელი, ყანობილი.
2	ვოვა აივაზიანი	მეცნ. თანამშრომელი	მაგისტრი	პროგრამით გათვალისწინებული, დაკვირვებითი მასალის მიღება და მისი დეტალური დამუშავება. მონაწილეობის მიღება კონფერენციებზე მოხსენებით და სტატიის მომზადებაში მონაწილეობის მიღება. მთა ყანობილი.
3	გივი კაპანაძე	ასისტენტ მკვლევარი	PhD	პროგრამით გათვალისწინებული, დაკვირვებითი მასალის მიღება და მისი დეტალური დამუშავება. მონაწილეობის მიღება კონფერენციებზე მოხსენებით და სტატიის მომზადებაში მონაწილეობის მიღება. მთა ყანობილი.
4	გულნაზი ინასარიძე	ლაბორანტი	მაგისტრი	მიღებული დაკვირვებითი მასალის პირველადი დამუშავება, დახარისხება, არხივირება, მყარ დისკზე გადატანა და შენახვა, მთა ყანობილი.

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	მენისკური ტელესკოპი, AC -32	ერთი	მთელი წლის განმავლობაში, დაკვირვებითი დროის მინიმუმ 50%.
2	1.5 მ -ი ტელესკოპი (2025 წლიდან)	ერთი	მთელი წლის განმავლობაში, დაკვირვებითი დროის მინიმუმ 50%.
3	საოფისე ოთახები	სამი	მთა ყანობილი
4	კომპიუტერი	სამი	მთა ყანობილი
5	საბჭკდი მოწყობილობა, პრინტერი	ერთი	მთა ყანობილი

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1.	კატრიჯი	50	ერთი	50	მთა ყანობილი
2.	საოფისე და საკანცელარიო საქონელი	400	საჭიროები -სამებრ	2000	ყოველდღიური სამუშაოებისთვის, მთა ყანობილი
3.	ნოუთბუქი	6 000	2 ცალი	12 000	ყოველდღიური დაკვირვებითი სამუშაოებისთვის, მთა ყანობილი
			სულ:	14 050	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი)

№		1 წელი	2 წელი	3 წელი	4 წელი	5 წელი	ჯამი
1	შესყიდვა (> 500 ლ)		6 000		6 000		12 000
2	შესყიდვა (< 500 ლ)	450	400	400	400	400	2 050
3	მივლინება ქვეყნის გარეთ						
4	სულ						14 050

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

თემის მნიშვნელობა: მცირე ზომის ციური ობიექტები, რომლებიც უახლოვდებიან დედამიწის ორბიტას და კვეთენ მას, ზოგჯერ ქმნიან დედამიწასთან შეჯახების საშიშროებას. ასეთ ობიექტებს უწოდებენ დედამიწასთან მოახლოებად ასტეროიდებს (დმა) და სხვა საშიშ სხეულებს. ასტრონომიაში ეს ობიექტებია ასტეროიდები, მეტეორები და კომეტები და სხვა. ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან ზომების, ფორმების და შედგენილობის მიხედვით. ასტეროიდის ან კომეტის მოსალოდნელი შეჯახების შემთხვევაში დედამიწის დაცვის სისტემა მოიცავს შემდეგ ძირითად კომპონენტებს:

- უპირველეს ყოვლისა, დედამიწის მახლობელი საშიში ასტეროიდების აღმოჩენა.
- ახლად აღმოჩენილი ობიექტის მონიტორინგი, რათა განისაზღვროს მისი ზუსტი მდებარეობა, ორბიტის ელემენტები და მოხდეს მისი კატალოგიზაცია.
- ობიექტის ფიზიკური პარამეტრების დადგენა.
- მისი განადგურების ან ორბიტის შეცვლის მეთოდების შემუშავება.

მზის სისტემის წარმოშობისა და ევოლუციის კვლევა განიხილავს დედამიწის მახლობელ ასტეროიდებს, როგორც საკვანძო ობიექტებს, რომლებიც აკავშირებენ მზის სისტემის მთავარ პლანეტებს მეტეორიტულ კომპონენტებთან. გარდა ამისა, აღნიშნული კვლევა აკავშირებს ქვისა და ყინულოვან კოსმოსურ სხეულებს ერთმანეთთან. დმა-ის ფიზიკური მახასიათებლების შესწავლამ აჩვენა, რომ ამ მდგომარეობაში არსებული ყველა ცნობილი ასტეროიდის ზედაპირი, სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობისაა. სავარაუდოდ, დმა - ის შევსება უნდა ხდებოდეს მზის სისტემის სხვადასხვა რეგიონებიდან. ასტეროიდების ზედაპირებზე აღმოჩენილი იქნა სხვადასხვა მინერალები და მეტალები, რაც მიუთითებს მათ ეკონომიკურ და ინდუსტრიულ მნიშვნელობას მომავალი კოსმოსური ტექნოლოგიებისთვის.

აქტუალობა: უკანასკნელ ხანს კაცობრიობამ გააცნობიერა, რომ დმა-ები წარმოადგენენ დედამიწისთვის უდიდეს საშიშროებას და რომ ისინი არიან წყაროები წარსული და მოსალოდნელი კატასტროფებისა სამყაროში. კაცობრიობისათვის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა ასტეროიდის დედამიწასთან მოსალოდნელი შეჯახების თავიდან აცილება და ამ გზით ადამიანთა სიცოცხლისა და ცივილიზაციის გადარჩენა.

დღეისათვის დაახლოებით აღმოჩენილია 1300000 დმა. 31000 დედამიწასთან მოახლოებადი საშიში ასტეროიდიდან დაახლოებით 2300 ითვლება პოტენციურად სახიფათო ასტეროიდად. ასტეროიდიდან შეჯახების საფრთხე შეიძლება თავიდან აცილებულ იქნას კაცობრიობის ერთობლივი ძალისხმევით. ასეთი თავდაცვითი და ამავე დროს ძვირადღირებული სისტემის საფუძველს წარმოადგენს თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენება. ამ სისტემის ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია ასტრონომიული დაკვირვება, რომელიც მოიცავს დედამიწის მახლობელ, საკმაოდ დიდი ზომის ორბიტაზე ობიექტების (დმა -ების, კომეტების, მეტეორული ნაკადების) აღმოჩენას და მათი ფიზიკური პარამეტრების შესწავლა-დადგენას.

მიზანი და სიახლე: უკანასკნელი 20 წლის განმავლობაში, დედამიწიდან ჩატარებული ოპტიკური დაკვირვებების შედეგად, დედამიწასთან მოახლოებად ასტეროიდებს შორის ორმაგი ასტეროიდების აღმოჩენა და შესწავლა გახდა მათი ფიზიკური თვისებების, შინაგანი აგებულებისა და წარმოშობის შესწავლის საფუძველი. ამან მისცა ბიძგი ამ სხეულებში ჯერადი სისტემების წარმოშობის მექანიზმებსა და პროცესებზე თეორიული წარმოდგენების განვითარებას (აღმოჩენილ, 60-ზე მეტ, ორმაგ, დედამიწასთან მოახლოებად ასტეროიდს შორის სამი – სამმაგი სისტემაა). დედამიწასთან მოახლოებადი ორმაგი სისტემის ასტეროიდების აღმოჩენა ძირითადად ხდება ორი მეთოდით – ფოტომეტრული და რადარული დაკვირვებებით. დღეისათვის თეორიულად დამუშავებული და გაკეთებულია ასტეროიდების ურთიერთდაჯახების შედეგად ორმაგი სისტემების წარმოშობის რიცხვითი მოდელირება; მათი პლანეტებთან მიახლოების დროს განიხილება ასტეროიდების მიქცევა - მოქცევითი დაშლის თეორია. თეორიულად აღმოჩენილი და დაკვირვებით დადასტურებულია ასტეროიდების ბრუნვის, აჩქარებისა და შენელების, ბრუნვის ღერძის მიმართულების ცვლილების მექანიზმი, YORP ეფექტი, რომელიც აგრეთვე წარმოადგენს ასტეროიდების დაშლისა და ჯერადი სისტემების წარმოქმნის მექანიზმს. ამგვარად, დედამიწასთან მოახლოებადი ასტეროიდების შესწავლის აქტუალობა განისაზღვრება ისეთი გამოკვლევების აუცილებლობითა და საჭიროებით, როგორცაა ფუნდამენტური მეცნიერებისათვის მზის სისტემის სხეულების ევოლუციის შესწავლა და ასტეროიდების დაშლისა და ჯერადი სისტემების წარმოშობის მექანიზმების დადგენა. გამოყენებითი მეცნიერებისათვის დედამიწასთან მოახლოებადი ასტეროიდები – ესაა დედამიწასთან ახლომდებარე მინერალებისა და მეტალების ნედლეულის წყარო. დედამიწის სოციალური სფეროსათვის საჭიროა რაც შეიძლება მეტი, დედამიწასთან მოახლოებადი ასტეროიდის აღმოჩენა. იმისათვის, რომ დროზე და ეფექტურად მოვემზადოთ და გავაუვნებელყოთ მოსალოდნელი მსოფლიო ეკოლოგიური კატასტროფა, რომელიც დაკავშირებულია დედამიწაზე ასტეროიდის დაჯახებასთან, აუცილებელია ორი ძირითადი პრობლემის მოგვარება: ასტეროიდების დედამიწაზე დაჯახების წინასწარმეტყველება და მათი ფიზიკური და დინამიკური პარამეტრების განსაზღვრა.

კაცობრიობის ცივილიზაციისათვის საშიში ასტეროიდების არსებობა აღიარა გაერთიანებული ერების ორგანიზაციამ და აიყვანა ისინი აღრიცხვაზე. ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ საშიში ასტეროიდების კონტროლზე და გამოკვლევაზე ნაციონალური პროგრამები მხოლოდ რამდენიმე ქვეყანას აქვს მიღებული. ჩვენი მონაწილეობა აღნიშნულ პროექტში იქნება გარკვეულწილად მხარდაჭერა და ამავე დროს საკმაოდ მნიშვნელოვანი წვლილის შეტანა ამ მსოფლიო მნიშვნელობის პრობლემის მოგვარებაში.

კავშირი წინა პროექტთან: პროექტი, „დედამიწასთან მოახლოებადი საშიში ასტეროიდების დაკვირვება ახასთუმნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში“, გარდამავალია. ობსერვატორიაში ამ

თემაზე მუშაობა მიმდინარეობს 2012 წლიდან. 2013 წლიდან ობსერვატორია აღნიშნული თემით ჩაერთო კოლაბორაციულ პროექტში, რომელშიც მონაწილეობას ღებულობენ, უკრაინის, ბულგარეთის, სლოვაკეთის, პოლონეთის, იტალიის, დიდი ბრიტანეთის, გერმანიის, ესპანეთის, მექსიკის, აშშ-ის, კანადის, იაპონიის, ჩინეთის, ყაზახეთის, უზბეკეთის სახელმწიფო ობსერვატორიები.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა:

1. Dover, L. ; Lowry, S. C. ; Rožek, A. ; **Inasaridze, R. Ya.**, ... et all (18 coauthors)., Physical modelling of near-Earth asteroid (23187) 2000 PN9 with ground-based optical and radar observations., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Advance Access 09/2023. [https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023arXiv230809630D/abstract.](https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023arXiv230809630D/abstract), 10.48550/arXiv.2308.09630
2. Antier, S.; Agayeva, S.; Aivazyan, V.; ... **Inasaridze, R.** et al. (73 coauthors)., VizieR Online Data Catalog: LIGO and Virgo third observing run with GRANDMA (Antier+, 2020)., VizieR Online Data Catalog., J/MNRAS/492/3904., 03/2023., <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023yCat..74923904A>
3. Krugly, Yuriy ; Mykhailova, Sofiia ; Golubov, Oleksiy **Inasaridze, R. Ya.** ; ...et al., Physical characterization of the potentially hazardous contact-binary asteroid (153201) 2000 WO107., 16th Europlanet Science Congress 2022, held 18-23 September 2022 at Palacio de Congresos de Granada, Spain. Online at <https://www.epsc2022.eu/>, id.EPSC2022-1150., 09/2022.
4. Durech, J. ; Vokrouhlicky, D. ; Pravec, P. ; **Inasaridze, R. Ya.** ; ... et al., Rotation acceleration of asteroids (10115) 1992 SK, (1685) Toro, and (1620) Geographos due to the YORP effect
Astronomy & Astrophysics, Volume 657, id.A5, 14 pp., 01/2022
5. Scheirich, P.; Pravec, P.; Kušnirák, P.; **Inasaridze, R. Ya.** ... et al., A satellite orbit drift in binary near-Earth asteroids (66391) 1999 KW4 and (88710) 2001 SL9 - Indication of the BYORP effect., Icarus, Volume 360, article id. 114321, 05/2021.
6. Carry, B.; Thuillot, W.; Spoto, F.; David, P.; **Inasaridze, R.**; et al., Potential asteroid discoveries by the ESA Gaia mission. Results from follow-up observations., Astronomy & Astrophysics, Volume 648, id.A96, 9 pp., 04/2021, 04/2021
7. Krugly Yuriy, Irina Belskaya¹, Raguli Inasaridze, ... et al. 2019. Results of photometry and polarimetry of (3200) Phaethon and (155140) 2005 UD. Int. Symposium IDP2019, February 12-14th, 2019, Tokyo, Japan. Oral-presentaion in remote regime. http://www.perc.it-chiba.ac.jp/meetings/IDP2019/Scientific_Program.html
8. Pravec, P.; Fatka, P.; Vokrouhlický,D.; **Inasaridze, R. Ya.**... et al., Asteroid pairs: A complex picture, Icarus, Volume 333, p. 429-463., 11/2019.
9. **R. Ya. Inasaridze**, Yu. N. Krugly, I. E. Molotov, V. Aiyvazian, O. I. Kvaratskhelia, G.V. Kapanadze, V. A. Voropaev, G. V. Kapanadze, PHOTOMETRY OF NEAs AT ABASTUMANI ASTROPHYSICAL OBSERVATORY, GEORGIA, International Conference, Atmosphereless Solar System Bodies in the Space Exploration Era, Institute of Astronomy and Department of Astronomy and Space Informatics of V.N. Karazin Kharkiv National University, June 18-22, 2018.
10. Yu. N. Krugly, I.E. Molotov, **R. Ya. Inasaridze**, V. R. Aiyvazyan, O. I. Kvaratskhelia, et al., Obzervational Evidenses of YORP Effeqt., , International Conference, Atmosphereless Solar System Bodies in the Space Exploration Era, Institute of Astronomy and Department of Astronomy and Space Informatics of V.N. Karazin Kharkiv National University, June 18-22, 2018.
11. Pravec, P.; Fatka, P. ... **Inasaridze, R. Ya.** et al Asteroid clusters similar to asteroid pairs., *Icarus*, Volume 304, p. 110-126. 04/2018

12. Ďurech, J.; Vokrouhlický, D.; Pravec, P. ...**Inasaridze, R. Ya.** et al. YORP and Yarkovsky effects in asteroids (1685) Toro, (2100) Ra-Shalom, (3103) Eger, and (161989) Cacus, **Astronomy & Astrophysics**, Volume 609, id.A86, 10 pp. 01/2018.
13. Zhang, B.-B.; Zhang, B.; Castro-Tirado, A. J. ...**Inasaridze, R. Ya.** et al. Transition from fireball to Poynting-flux-dominated outflow in the three-episode GRB 160625B, **Nature Astronomy**, Volume 2, p. 69-75, 01/2018.
14. Abbott, B. P. Abbott, R. Abbott, ... **Inasaridze, R. Ya.** et al. Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger, **The Astrophysical Journal Letters**, Volume 848, Issue 2, article id. L12, 59 pp. 2017.
15. Vokrouhlický, David, Pravec, Petr, **Inasaridze, Raguli Ya.** et al. Detailed Analysis of the Asteroid Pair 6070 Rheinland and 54827 2001 NQ8, **The Astronomical Journal**, Volume 153, Issue 6, article id. 270, 17 pp. 2017.
16. Yu.n.Krugly, I. E. Molotov, **R.Ya. Inasaridze** et al., ASPIN PROGRAMME: PHOTOMETRY OF NEAR-EARTH ASTEROIDS., ACM 2017 MONTEVIDEO, 10 – 14 April 2017, Uruguay
17. Pozanenko, A. Mazaeva, E.**Inasaridze, R.** et al. GRB Afterglow Observations by International Scientific Optical Network (ISON), Eighth Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, held 24-28 October, 2016 in Huntsville, Alabama. LPI Contribution No. 1962, id.4074
18. Vokrouhlický, David. Ďurech, Josef. ...**Inasaridze, Raguli Ya.** et al. The Schulhof Family: Solving the Age Puzzle., **The Astronomical Journal**, Volume 151, Issue 3, article id. 56, 12 pp. (2016).
19. Pravec, P.Scheirich, P. ... **Inasaridze, R.** et al.. Binary asteroid population. 3. Secondary rotations and elongations., **Icarus**, Volume 267, p. 267-295. 03/2016.
20. Kimura, Mariko; Isogai, Keisuke; Kato, Taichi; ... **Inasaridze, Raguli Ya.**, et al, Repetitive patterns in rapid optical variations in the nearby black-hole binary V404 Cygni, **Nature**, Volume 529, Issue 7584, pp. 54-58 (2016).

2.3. სამუშაოს მოცულობა

დასახული მიზნების მისაღწევად გაწერილია შემდეგი ამოცანები:

- ამოცანა 1. 70-სმ მენისკურ ტელესკოპზე, CCD დაკვირვებით, დედამიწასთან მოახლოებადი 20-25 ასტეროიდის (დმა)-ს ბრუნვის პერიოდის განსაზღვრა და YORP ეფექტის გამოვლენა მისი არსებობის შემთხვევაში.
- ამოცანა 2. CCD დაკვირვების შედეგად, ფოტომეტრული და ასტრომეტრული მეთოდებით ახლად აღმოჩენილი-ზეჯერადი სისტემების ძიება
- ამოცანა 3. გოლდსტონის ობსერვატორიის (აშშ) მიერ რადარული დაკვირვებითა და GAIA - ს პროგრამით ახლად აღმოჩენილ ასტეროიდებზე, პარალელურ რეჟიმში 70-სმ მენისკური ტელესკოპიდან ფოტომეტრული და ასტრომეტრული მეთოდებით ოპტიკურ დიაპაზონში დაკვირვება.
- ამოცანა 4. მიღებული დაკვირვებითი მასალის გამოთვლების, დამუშავების და ანალიზის შედეგების მომზადება რეფირირებად ჟურნალებში გამოსაქვეყნებლად. საერთაშორისო კონფერენციებისთვის მოხსენებების მომზადება.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

- ამოცანა 1. 70-სმ მენისკურ ტელესკოპზე, CCD დაკვირვებით დედამიწასთან მოახლოებადი 20-25 ასტეროიდის (დმა)-ს ბრუნვის პერიოდის განსაზღვრა და YORP ეფექტის გამოვლენა მისი არსებობის შემთხვევაში.

ამოცანის მიზანი: დმა-სთვის, მიღებული დაკვირვებითი მასალის დამუშავების საფუძველზე, განსაზღვრული იქნება მათი ღერძული ბრუნვის პერიოდი და გამოვლინდება YORP ეფექტი მისი არსებობის შემთხვევაში. დადებითი შედეგების მისაღწევად აუცილებელია მათზე სისტემატური და ხანგრძლივი დაკვირვება.

სამუშაოს აღწერა: ოპტიკურ დიაპაზონში, ფოტომეტრული და ასტრომეტრული მეთოდებით 70 სმ მენისკურ ტელესკოპზე ჩატარდება დაკვირვება 20-25 დედამიწასთან მოახლოებად ასტეროიდზე.

მოსალოდნელი შედეგი: დაკვირვებითი მასალის დამუშავების საფუძველზე, განსაზღვრული იქნება დმა ბრუნვის პერიოდი და YORP ეფექტი მისი არსებობის შემთხვევაში.

შესრულების პერიოდი: ხუთი წლის განმავლობაში

ამოცანა 2. ფოტომეტრული და ასტრომეტრული მეთოდებით ახლად აღმოჩენილ დმა-ზე CCD დაკვირვებით ჯერადი სისტემების ძიება

ამოცანის მიზანი: დმა-სთვის, მიღებული ხანგრძლივი დაკვირვებითი მასალის ფოტომეტრული მეთოდების დამუშავების საფუძველზე, აგებული იქნება სიკაშკაშის მრუდები, რომლის ანალიზის საფუძველზე დადგინდება ახლად აღმოჩენილი დმა -ის ჯერადობა.

სამუშაოს აღწერა: ოპტიკურ დიაპაზონში, ფოტომეტრული და ასტრომეტრული მეთოდებით, 70 სმ მენისკურ ტელესკოპზე ჩატარდება დაკვირვება 20-25 დედამიწასთან მოახლოებად ასტეროიდზე.

მოსალოდნელი შედეგი: ფოტომეტრული მეთოდებით დამუშავების საფუძველზე აგებული იქნება სიკაშკაშის მრუდები, რომლის ანალიზის საფუძველზე დადგინდება ახლად აღმოჩენილი დმა -ის ჯერადობა მათი არსებობის შემთხვევაში.

შესრულების პერიოდი: ხუთი წლის განმავლობაში

ამოცანა 3. გოლდსტონის ობსერვატორიის (აშშ) მიერ რადარული დაკვირვებითა და GAIA - ს პროგრამით ახლად აღმოჩენილ ასტეროიდებზე, პარალელურ რეჟიმში დაკვირვება ჩატარდება 70-სმ მენისკურ ტელესკოპიდან ფოტომეტრული და ასტრომეტრული მეთოდებით ოპტიკურ დიაპაზონში.

ამოცანის მიზანი: გოლდსტონის ობსერვატორიაში (აშშ) რადარული დაკვირვებით და GAIA - ს პროგრამით ახლად აღმოჩენილ ასტეროიდებზე, პარალელურ რეჟიმში, დაკვირვებები ჩატარდება ოპტიკურ დიაპაზონში 70-სმ მენისკურ ტელესკოპზე.

სამუშაოს აღწერა: ფოტომეტრული და ასტრომეტრული მეთოდებით მიღებული დაკვირვებითი მასალის დამუშავების საფუძველზე განსაზღვრული იქნება ასტეროიდის ორბიტის ელემენტები, რომლის საფუძველზეც დაზუსტდება, რამდენად საშიშია ახლად აღმოჩენილი ასტეროიდი დედამიწისთვის.

მოსალოდნელი შედეგი: ორბიტის ელემენტების საფუძველზეც დაზუსტდება, რამდენად საშიშია ახლად აღმოჩენილი ასტეროიდი დედამიწისთვის.

შესრულების პერიოდი: ხუთი წლის განმავლობაში

საანგარიშო მასალა: საანგარიშო პერიოდში ყოველწიურად გამოქვეყნდება თითო სტატია უცხოურ რეფერირებად ჟურნალში და მონაეილებას მიიღებთ სამ საერთაშორისო კონფერენციაზე მოხსენებით.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება: მიღებული დაკვირვებითი მასალის გაზომვების, გამოთვლების და ანალიზის შედეგების საფუძველზე მომზადდება სტატიები საერთაშორისო რეფერირებადი ჟურნალებისთვის, აგრეთვე მომზადდება მოხსენებები შიდა და გარე საერთაშორისო კონფერენციებისათვის. მიღებული დაკვირვებითი მასალა მთლიანად გადატანილია მყარ დისკზე, რომელიც ინახება ობსერვატორიაში და სურვილის შემთხვევაში ხელმისაწვდომია ყველა მკვლევარისათვის.

IX. მზის ატმოსფერო/წიაღის მაგნიტოსეიმოლოგია და კოსმოსური ამინდი
(ხელმძღვანელი თ. ზაქარაშვილი)

1.1. კვლევის მიმართულება: ასტროფიზიკა, მზის ფიზიკა, დედამიწის ატმოსფეროს ფიზიკა

1.2. სტრუქტურული ერთეული: მზე და მზის სისტემა

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	თეიმურაზ ზაქარაშვილი	მთავარი მეცნიერ-თანამშრომელი	დოქტორი	პროექტის ხელმძღვანელი, განსაზღვრავს ჯგუფის კვლევების ძირითად მიმართულებებს, სამუშაო ადგილი თბილისი
2	ვასილ კუხიანიძე	უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი	დოქტორი	გეგმავს და ახორციელებს დაკვირვებებს და დაკვირვებითი მონაცემების დამუშავებას, სამუშაო ადგილი ყანობილი
3	დავით ქურიძე	უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი	დოქტორი	გეგმავს და ახორციელებს დაკვირვებებს და მონაცემების დამუშავებას, სამუშაო ადგილი თბილისი
4	გიორგი რამიშვილი	მეცნიერ-თანამშრომელი	დოქტორი	მონაწილეობს დაკვირვებითი მონაცემების დამუშავებაში, სამუშაო ადგილი თბილისი
5	ეკა გურგენაშვილი	მეცნიერ-თანამშრომელი	დოქტორი	მონაწილეობს დაკვირვებითი მონაცემების დამუშავებაში, სამუშაო ადგილი თბილისი
6	სალომე ბაგაშვილი	მეცნიერ-თანამშრომელი	დოქტორი	მონაწილეობს დაკვირვებითი მონაცემების დამუშავებაში, სამუშაო ადგილი თბილისი
7	მარიამ ალბეციონი	ასისტენტ მკვლევარი		მონაწილეობს თეორიულ მოდელირებაში, სამუშაო ადგილი თბილისი
8	მაია თოდუა	ასისტენტ მკვლევარი	დოქტორი	კოსმოსური ფაქტორების ატმოსფერო-იონოსფეროზე გავლენის შესწავლა, მონაცემთა დამუშავება და სტატისტიკური ანალიზი, გრძელვადიანი ტრენდები, დამზერითი სამუშაოები, მონაცემთა ბაზა, სამუშაო ადგილი ყანობილი
9	გიორგი ჯავახიშვილი	საგანმანათლებლო პროგრამების სპეციალისტი	დოქტორი	ოპტიკური მეთოდებით (იმიჯერი, ფოტომეტრი, სპექტრომეტრი) ატმოსფერო-იონოსფეროს რეგულარული და არარეგულარული პროცესებზე მონაცემების მიღება, დამუშავება და სტატისტიკური ანალიზი, სამუშაო ადგილი ყანობილი

10	ვიქტორ მაიერი	ინჟინერი	ოპტიკური ხელსაწყოების ტექნიკური უზრუნველყოფა და გაუმჯობესება, სამუშაო ადგილი თბილისი
11	ვალენტინა ამბარცუმიანი	ლაბორანტი	დამზერითი სამუშაოები და მონაცემთა არქივირება, სამუშაო ადგილი ყანობილი

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	საშუალო სიმძლავრის პერსონალური კომპიუტერები	5	კომპიუტერების უმეტესობა რამოდენიმე წლის წინაა (2012-2016) შეძენილი და ვეღარ აკმაყოფილებს თანამედროვე მოთხოვნებს.
2	მნიშვნელოვნად დაბალი სიმძლავრის პერსონალური კომპიუტერები	5	კომპიუტერების უმეტესობა რამოდენიმე წლის წინაა (2012-2016) შეძენილი და ვეღარ აკმაყოფილებს თანამედროვე მოთხოვნებს.
3	დაბალი სიმძლავრის პორტატული კომპიუტერები	4	პორტატული კომპიუტერების უმეტესობა რამოდენიმე წლის წინაა (2012-2016) შეძენილი და ვეღარ აკმაყოფილებს თანამედროვე მოთხოვნებს.
4	53 სმ დიდი დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფი		აპრილიდან ნოემბრამდე
5	ახალი ტელესკოპი		აპრილიდან ნოემბრამდე
6			
7	მეზოპაუზის რეგიონის ტემპერატურის გამზომი ხელსაწყო GRIPS-5	1	
8	ჰიდროქსილის ინფრაწითელი ზოლების სრული ცის საკუთარი ნათების იმიჯერული სისტემა (All-sky airglow imager system)	1	
9	გლობალური სანავიგაციო სისტემების (GNSS) მაღალსიხშირული მიმღები	1	
10	სრული ცის დრუბლების იმიჯერი	1	

11	სპექტროგრაფი	2	
12	ფოტომეტრი	3	
13	სპექტრომეტრი	1	

ბ) შესაძენი:

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1	მაღალი სიმძლავრის პერსონალური კომპიუტერები (ამოცანა 1-3)	3 200	3	9 600	
2	საშუალო სიმძლავრის პერსონალური კომპიუტერები (ამოცანა 4)	2 000	2	4 000	
3	საშუალო სიმძლავრის პორტატული კომპიუტერები (ამოცანა 1-3)	3 000	2	6 000	
			სულ:	19 600	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

მიღებული მონაცემების საერთაშორისო საზოგადოებისთვის გასაცნობად სასურველია წელიწადში ერთი მონაწილეობა საერთაშორისო კონფერენციაში, ძირითადად ახალგაზრდა მეცნიერებისთვის. თითო ვიზიტისთვის საჭირო თანხა (ნაწილობრივი დაფინანსებით) შეადგენს 3000 ლარს (ევროპის ფარგლებში). სულ საანგარიშო პერიოდისთვის 15000 ლარი.

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი)

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
2	შესყიდვა (> 500 ლ)	5200	6000	3200	3200	2000	19600
3	შესყიდვა (< 500 ლ): კომპიუტერის აქსესუარები (სათადარიგო ნაწილები), საკანცელარო საქონელი	800	800	800	0	0	2400
4	მივლინება ქვეყნის გარეთ	3000	3000	3000	3000	3000	15000
6	სულ	9000	9800	7000	6200	5000	37000

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

მზისა და საპლანეტთაშორისო კვლევების ფუნდამენტურ მიზანს წარმოადგენს მზის აქტიურობისა და იმ რთული ზეგავლენის გამოკვლევა და გააზრება, რომელსაც მზე ახდენს საპლანეტთაშორისო გარემოში მიმდინარე პროცესებსა და მზის სისტემის პლანეტებზე. კაცობრიობისთვის განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია იმ ზემოქმედების შესწავლა, რომელსაც მზე ახდენს დედამიწის მაგნიტოსფეროსა და ატმოსფეროზე. მზეზე მიმდინარე პროცესების პროგნოზირება (მზის ამინდი) და ამ მოვლენების (მზის ანთებები, კორონალური მასის ამოფრქვევები; შემდგომში CME-Coronal Mass Ejection) ზემოქმედების შესწავლა ტელესაკომუნიკაციო სისტემებსა თუ ადამიანთა ჯანმრთელობაზე (კოსმოსური ამინდი) მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესის ერთ-ერთ მთავარ წინაპირობას წარმოადგენს (Messerotti et al. 2009, Zuccarello et al. 2009). ამ მიზნით აუცილებელია სისტემატური დაკვირვებების საშუალებით შესწავლილ იქნას მზის აქტიური არეების დინამიკა ანთებების და CME-ის იმ წინამორბედი პროცესების გამოსავლენად, რომლებიც ამ მოვლენების პროგნოზირების საშუალებს მოგვცემს. გარდა ამისა ცნობილია, რომ ტემპერატურა მკვეთრად იზრდება მზის ფოტოსფეროდან (6000 კელვინი) კორონამდე (რამდენიმე მილიონი კელვინი) (Aschwanden 2004). გამოსხივების გამო კორონალური პლაზმა სწრაფად გაცივდებოდა რომ არ არსებობდეს გაცხელების უწყვეტი წყარო, რომელიც შესაძლოა ფოტოსფერული დინებების მექანიკური ენერჯით საზრდოობდეს. თუმცა ამ ენერჯის გადატანის და დისიპაციის მექანიზმები კვლავ უცნობია. ამ მიზნით მნიშვნელოვანია ქრომოსფეროს როგორც შუალედური ფენის დინამიკის შესწავლა. მზის და მზის ტიპის ვარსკვლავების მაგნიტური აქტიურობის მექანიზმი ჯერ ბოლომდე არ არის გარკვეული. აღსანიშნავია, გრძელი აქტიურობის ციკლების (მზის შემთხვევაში 11 წლიანი ციკლის) გარდა აქტიურობის მოკლე პერიოდიანი ციკლების არსებობაც (Rieger et al. 1984, Oliver et al. 1998), რაც სავარაუდოდ მაგნიტური როსბის ტალღებითაა გამოწვეული (Zaqarashvili et al. 2021), რაც მზის და ვარსკვლავების წიაღის სეისმოლოგიის საშუალებას იძლევა.

ამ ძირითადი მიზნების მისაღწევად აუცილებელია მზის და მზის ტიპის ვარსკვლავების ატმოსფეროს და წიაღის კომპლექსური შესწავლა. პროექტის თითოეული ამოცანა (ამოცანა 1-3) შეეხება მზის ატმოსფეროს ცალკეული მოვლენას და ამ მოვლენის კვლევის ახლებურ მიდგომას წარმოადგენს, ამიტომ კვლევის მეცნიერულ სიახლეებს განვიხილავთ ამოცანების განხილვის დროს (იხილეთ ქვემოთ). ამოცანების ერთობლიობა საბოლოოდ მთავარი პრობლემების (კორონის გაცხელების, მზის და კოსმოსური ამინდის) სრული მეცნიერული გამოკვლევის საშუალებას მოგვცემს.

თითოეული ამოცანის შესრულებაზე პასუხისმგებელი იქნებიან ცალკეული გამოცდილი მეცნიერები ახალგაზრდების ჯგუფებთან ერთად. ახალგაზრდა მეცნიერებს უკვე აქვთ მიღებული სათანადო ჩვევები სამეცნიერო კვლევების ჩასატარებლად (თითქმის ყველა მათგანს უკვე აქვს გამოქვეყნებული სამეცნიერო სტატია უცხოურ რეფერირებულ ჟურნალში კონკრეტულ ამოცანასთან დაკავშირებით), ამიტომ ისინი მაქსიმალურად იქნებიან ჩართულნი კვლევაში.

თითოეული ამოცანა წარმოადგენს დაკვირვებებისა და თეორიული მოდელირების სინთეზს. დაკვირვებითი კვლევისთვის ძირითადად გამოვიყენებთ სამეცნიერო თანამგზავრებიდან და სახმელეთო ტელესკოპებოდან მიღებულ მასალებს. განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმობა სხვადასხვა სპექტრულ ხაზში ერთდროულ დაკვირვებებს (multi-wavelength observations), რომლებიც მოვლენის სრულფასოვანი შესწავლის საშუალებას იძლევა. თეორიული მოდელირება

მოხდება მაგნიტოჰიდროდინამიკური განტოლებების ანალიზური და რიცხვითი ამოხსნების საშუალებით. ქრომოსფეროში გამოვიყენებთ ნაწილობრივად იონიზირებული პლაზმის მაგნიტოჰიდროდინამიკურ მიახლოებას.

ეს არის წინა პროექტის (2019-2023) გაგრძელება. ახალ პროექტში მოხდა გარკვეული ცვლილებები როგორც პერსონალთან ასევე ამოცანებთან დაკავშირებით. კერძოდ 7 ამოცანის ნაცვლად ახალ პროექტში დარჩა 3 ამოცანა (ამოცანა 1-3). ამასთან პროექტს შემოუერთდა დედამიწის ატმოსფეროს შემსწავლელი პროექტი ცალკე ამოცანის სახით (ამოცანა 4).

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

1. Aschwanden, M., *Physics of the solar corona* (Berlin: Springer), 2004
2. Messerotti, M, Zuccarello, F., Guglielmino, S.L., Bothmer, V., Lilensten, J., Noci, J., Storini, M. and Lundstedt, H., Solar weather events and modeling, *Space Sci. Rev.*, **147**, 121, 2009
3. Oliver, R., Ballester, J. L. and Baudin, F., Emergence of magnetic flux on the Sun as the cause of a 158-day periodicity in sunspot areas, *Nature*, 394, 552, 1998
4. Rieger, E., Share, G.H., Forrest, D.J., Kanbach, G., Reppin, C., and Chupp, E.L., A 154-day periodicity in the occurrence of hard solar flares? *Nature*, 312, 623, 1984
5. Zaqarashvili, T.Z., Albekioni, M., et al., Rossby waves in Astrophysics, 2021, *Space Science Reviews*, 217, 1-91
6. Zuccarello, F.P., Jacobs, C., Soenen, A., Poedts, S., van der Holst, B., Zuccarello, F., Modelling the initiation of coronal mass ejections: magnetic flux emergence versus shearing motions, *A&A*, **507**, .441, 2009

2.3. სამუშაოს მოცულობა

პროექტი მიზნად ისახავს შეისწავლოს მზის ტახოკლინში, ატმოსფეროსა და მზის ქარში მიმდინარე დინამიური პროცესები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მზის ზედაპირთან (მზის ამინდი) და დედამიწასთან ახლოს (კოსმოსური ამინდი) არსებულ პლაზმის ყოფაქცევაზე. პროექტის სამი ძირითადი მიმართულებაა: პლაზმის პარამეტრების შეფასება დაკვირვებული ტალღების და რხევების საშუალებით (coronal, tachocline and atmospheric seismology), ფოტოსფეროდან კორონაში ენერჯის ტრანსპორტის შესწავლა (კორონის გაცხელების პრობლემა) და მზის ანთებების/CME-ის შესაძლო პროგნოზირება (მზის და კოსმოსური ამინდი). პროექტი წარმოადგენს დაკვირვებების და თეორიული კვლევის სინთეზს. თანამედროვე კოსმოსური თანამგზავრებიდან მიღებული ინტენსიური დაკვირვებების საშუალებით ჩვენ შევისწავლით გარემოს დინამიკას მზის ატმოსფეროსა და მზის ქარში. დაგროვილი სტატისტიკური მასალა საშუალებას მოგვცემს შევისწავლოთ პლაზმის ყოფაქცევა სხვადასხვა ენერგეტიკული პროცესის დროს, რაც შესაძლოა ამ პროცესების პროგნოზირების საფუძველი გახდეს. მაგნიტოჰიდროდინამიკური განტოლებების ანალიზური და რიცხვითი ამოხსნების საშუალებით ჩვენ შევეცდებით ზოგიერთი პროცესის მოდელირებას, რაც დაკვირვებებთან ერთად პლაზმის ლოკალური პარამეტრების შეფასების საშუალებას მოგვცემს. გარდა ამისა, მაღალი გარჩევის სახმელეთო ტელესკოპებით მიღებული პოლარიმეტრული მონაცემების საშუალებით მოხდება მაგნიტური ველის სიდიდის გაზომვა მზის ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენაში.

პროექტით დაგეგმილ კვლევას აქვს დიდი მნიშვნელობა მზეზე მიმდინარე პროცესების და მათი დედამიწაზე ზემოქმედების შემდგომ შესწავლაში. კორონის გაცხელების პრობლემა კვლავ აქტუალურია მზის ფიზიკაში. პროექტით დაგეგმილი კვლევა საშუალებას მოგვცემს შევისწავლოთ ფოტოსფეროდან კორონაში ენერჯის ტრანსპორტის პროცესი, რაც გაცხელების პრობლემის გადაწყვეტის ერთ-ერთ წინაპირობას წარმოადგენს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მზის ანთებების და CME-ის შესაძლო პროგნოზირება, რაც ამ მოვლენების მიერ დედამიწაზე გამოწვეული მავნე ზემოქმედების წინააღმდეგ მომზადების საშუალებას იძლევა. ეს ეგრეთწოდებული მზის ამინდი ავსებს საყოველთაოდ ცნობილ კოსმოსური ამინდის პროგნოზირებას. თანამედროვე რიცხვითი პროგრამები დიდი სიზუსტით ითვლიან იმ დროს როდესაც მზიდან წამოსული CME მოაღწევს დედამიწამდე. თუმცა ეს ხდება დაახლოებით 1.5-2 დღე-ღამის განმავლობაში რაც საკმარისად ცოტაა მავნე ზემოქმედების თავიდან ასაცილებლად. ამიტომ CME-ს წინასწარი პროგნოზირება იქნება უდიდესი ნაბიჯი კაცობრიობის მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესის განვითარებაში.

პროექტით დაგეგმილი კვლევა იწარმოებს დასავლეთის მრავალ სამეცნიერო ცენტრთან და უნივერსიტეტთან ერთობლივი თანამშრომლობის რეჟიმში. ამის საფუძველია უკვე არსებული რუსთაველის ფონდის რამდენიმე პროექტი ფუნდამენტურ კვლევებში, საერთაშორისო პროექტები და პირადი კონტაქტები, რომლებიც ჯგუფის გამოცდილ წევრებს გააჩნიათ. ჯგუფში მონაწილე ახალგაზრდა მეცნიერთა სამეცნიერო ვიზიტები მათი კვალიფიკაციის მნიშვნელოვანი ამაღლების საწინდარი იქნება. პროექტი ხელს შეუწყობს ქართული მეცნიერების შემდგომ ინტეგრაციას საერთაშორისო სამეცნიერო თანამეგობრობაში.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. „საშუალო-პერიოდიანი რხევები მზის და ვარსკვლავების ატმოსფეროში, მათი კავშირი მაგნიტურ როსბის ტალღებთან და ტახოკლინის სეისმოლოგია (გურგენაშვილი, ალბექიონი, კუხიანიძე, რამიშვილი, ზაქარაშვილი)“

ამოცანის მიზანი: ამოცანა მიზნად ისახავს მაგნიტური როსბის ტალღების დინამიკის შესწავლას მზის და მზის ტიპის ვარსკვლავების წიაღში და მათი კავშირის დადგენას აქტიურობის საშუალო-პერიოდიან რხევებთან (ბრუნვის პერიოდზე მეტი და აქტიურობის ციკლზე ნაკლები პერიოდის მქონე).

სამუშაოს აღწერა: ამოცანა შეიცავს როგორც თეორიულ ასევე დაკვირვებით ნაწილებს. თეორიაში თხელი წყლის მაგნიტოჰიდროდინამიკური (Shallow water magnetohydrodynamics) მიახლოების გამოყენებით შევისწავლით როსბის ტალღების ყოფაქცევას დიფერენციალური ბრუნვისა და დიდმასშტაბოვანი მაგნიტური ველის არსებობის პირობებში. გამოვიკვლევთ არამდგრადი ჰარმონიკების სპექტრს და შევადარებთ დაკვირვებებით მიღებულ პერიოდებს. დაკვირვებებისთვის გამოვიყენებთ კოსმოსური მისიების მიერ მიღებულ დაკვირვებით მასალას და დედამიწის ტელესკოპებზე მიღებულ დაკვირვებებს (მათ შორის დავგეგმავთ და განვახორციელებთ ობსერვატორიის ახალი ტელესკოპის დაკვირვებებს). თეორიული ნაწილი ნაწილი შესრულდება ალბექიონის და ზაქარაშვილის მიერ. კოსმოსური მისების მონაცემების ანალიზი შესრულდება გურგენაშვილის, რამიშვილის და კუხიანიძის მიერ, ხოლო დედამიწის ტელესკოპზე დაკვირვება შესრულდება კუხიანიძის და ზაქარაშვილის მიერ.

მოსალოდნელი შედეგი: თეორიული კვლევების და დაკვირვებების ერთობლიობა შესაძლებლობას მოგვცემს განვაგითაროთ ტახოკლინის (მზის და ვარსკვლავების წიაღში არსებული თხელი ფენა,

სადაც ხდება მაგნიტური ველის გენერაცია) სეისმოლოგია, რაც ითვალისწინებს ფიზიკური პარამეტრების (მაგნიტური ველი, დიფერენციალური ბრუნვა და ა.შ.) შეფასებას აქტიურობის ციკლის სხვადასხვა ფაზაში და ვარსკვლავების ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე. მზის ტიპის ვარსკვლავების აქტიურობაში დამზერილი პერიოდები საშუალებას მოგვცემენ შევისწავლოთ ვარსკვლავების მაგნიტური აქტიურობის ევოლუცია სხვადასხვა ეტაპზე.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ.

საანგარიშო მასალა: საანგარიშო მასალა წარმოდგენილი იქნება რეფერირებულ ჟურნალებში დაბეჭდილი სტატიების სახით. ყოველ წელს დაგეგმილია მინიმუმ ერთი სტატიის გამოქვეყნება (მინიმუმ 5 სტატია საანგარიშო პერიოდში).

ამოცანის შესაბამისი სტატიები (ჯგუფის წევრების, ბოლო 5 წლის):

- Lanza, A. F., Gizon, L., Zaqarashvili, T. V., Liang, Z. C., Rodenbeck, K., Sectoral r modes and periodic radial velocity variations of Sun-like stars, *A&A*, 623, A50, 2019
- Gachechiladze, T., Zaqarashvili, T. V., Gurgenchashvili, E., Ramishvili, G., Carbonell, M., Oliver, R., Ballester, J. L., Magneto-Rossby waves in the solar tachocline and the annual variations in solar activity, *ApJ*, 874, 162, 2019
- Dikpati, M., Gilman, P. A., Chatterjee, S., McIntosh, S. W., Zaqarashvili, T. V., Physics of Magnetohydrodynamic Rossby Waves in the Sun, *ApJ*, 896, 141, 2020
- Zaqarashvili, T. V., Albekioni, M., Ballester, J.L., Bekki, Y., Biancofiore, L., Birch, A.C., Dikpati, M., Gizon, L., Gurgenchashvili, E., Heifetz, E., Lanza, A.F., McIntosh, S.W., Ofman, L., Oliver, R., Proxauf, B., Umurhan, O.M., Yellin-Bergovoy, R., Rossby waves in astrophysics, *Space Science Reviews*, 217, 15, 2021
- Gurgenchashvili, E., Zaqarashvili, T. V., Kukhianidze, V., Reiners, A., Oliver, R., Lanza, A. F., Reinhold, T., Rieger-type periodicity in the total irradiance of the Sun as a star during solar cycles 23-24, *A&A*, 653, A146, 2021
- Gurgenchashvili, E., Zaqarashvili, T. V., Kukhianidze, V., Reiners, A., Reinhold, T., Lanza, A. F., Rieger-type cycles on the solar-like star KIC 2852336, *A&A*, 660, A33, 2022
- Dikpati, M., Gilman, P. A., Guerrero, G. A., Kosovichev, A. G., McIntosh, S. W., Sreenivasan, K. R., Warnecke, J., Zaqarashvili, T. V., Simulating Solar Near-surface Rossby Waves by Inverse Cascade from Supergranule Energy, 2022, *ApJ*, 931, 17
- Horstmann, G. M., Mamatsashvili, G., Giesecke, A., Zaqarashvili, T. V., Stefani, F., Tidally Forced Planetary Waves in the Tachocline of Solar-like Stars, 2023, *ApJ*, 944, 48
- Albekioni, M., Zaqarashvili, T. V., Kukhianidze, V., Rossby waves on stellar equatorial β planes: Uniformly rotating radiative stars, 2023, *A&A*, 671, A91

ამოცანა 2. „ რხევების და დინებების შესწავლა მზის ქრომოსფერო/კორონაში (ვამალომიდე, ბაგამვილი, ქურიდე, კუხიანიდე, ზაქარაშვილი)“

ამოცანის მიზანი: ეს ქვეამოცანა მიზნად ისახავს მაგნიტოჰიდროდინამიკური რხევების და დინებების (სპიკულების, რენტგენული ჯეტების და სხვა) დაკვირვებასა და თეორიულ მოდელირებას მზის ქრომოსფეროსა და კორონაში. დაკვირვებული რხევებისა და თეორიული ანალიზის შედეგების შედარების საშუალებით მოვახდენთ პლაზმური პარამეტრების (სიმკვრივე, მაგნიტური ველი და ა.შ.) შეფასებას (coronal seismology).

სამუშაოს აღწერა: ამოცანა შედგება როგორც დაკვირვებითი ასევე თეორიული კვლევებისგან. ქრომოსფერული რხევების დამზერა მოხდება სპიკულებში დედამიწის ტელესკოპებიდან Swedish Solar Telescope (SST, 1 m, La Palma, Spain), Gregor (Tenerife, 2 m, Spain), Daniel K. Inouye Solar Telescope

(DKIST, 4 m, Hawaii), ჩვენი ობსერვატორიის დიდ კორონაგრაფის, ასევე კოსმოსური მისიების Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS), Solar Dynamics Observatory (SDO), Solar Optical Telescope (SOT/Hinode)-ის და Solar Orbiter-ის საშუალებით. რხევების თეორიული მოდელირება მოხდება ნაწილობრივად იონიზირებული პლაზმის სამ-სითხიანი მაგნიტოჰიდროდინამიკური მიახლოების საშუალებით (ელექტრონ-იონური პლაზმა განიხილება როგორც ერთი სითხე, ნეიტრალური წყალბადი და ნეიტრალური ჰელიუმი როგორც მეორე და მესამე სითხე). აგრეთვე შევისწავლით ქრომოსფერული დინებების, კერძოდ სპიკულების, კელვინ-ჰელმჰოლცისა და ტრანზიენტული არამდგრადობებს ნაწილობრივად იონიზირებულ პლაზმაში. კორონალური მარყუჟებისა და პროტუბერანცების ძაფების მაგნიტოჰიდროდინამიკური რხევების შესწავლა მოხდება არაერთგვაროვან და არასტაციონარულ გარემოში ნულოვანი პლაზმური ბეტა-ს მიახლოებაში. ასევე დიდი ყურადღება დაეთმობა მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღების არწრფივ ურთიერთტრანსფორმაციას მაგნიტური და სითბური წნევების ტოლობის პირობებში. თეორიული ნაწილი შესრულდება ზაქარაშვილის მიერ. კოსმოსური მისიების მონაცემების ანალიზი შესრულდება ვაშალომიძის და კუხიანიძის მიერ, ხოლო დედამიწის ტელესკოპზე დაკვირვებები შესრულდება ვაშალომიძის, ქურიძის და კუხიანიძის მიერ.

აღსანიშნავია, რომ ჯგუფს უკვე გააჩნია დედამიწის ტელესკოპებიდან მიღებული მდიდარი დაკვირვებითი მასალა (SST-ზე 5 სხვადასხვა დაკვირვებითი კამპანიის მასალა, ასევე Gregor-ზე 2 დაკვირვებითი კამპანიის მასალა. ბოლო დაკვირვებითი კამპანია Gregor-ზე ჩატარდა 2023 წლის ზაფხულში, ახალგაზრდა თანამშრომლის ზურაბ ვაშალომიძის ხელმძღვანელობით SOLARNET-ს მოგებული გრანტის ფარგლებში). ასევე ჯგუფის წევრებს აქვთ პირდაპირი წვდომა ახალი კოსმოსური მისიის Solar Orbiter-ის მონაცემებზე.

მოსალოდნელი შედეგი: თეორიული კვლევების და დაკვირვებების ერთობლიობა შესაძლებლობას მოგვცემს განვავითაროთ მზის ატმოსფეროს (კერძოდ ქრომოსფეროს) სეისმოლოგია, რაც ითვალისწინებს ფიზიკური პარამეტრების (მაგნიტური ველი, დიფერენციალური ბრუნვა და ა.შ.) შეფასებას. ასევე ტალღების ურთიერთტრანსფორმაციას, ტალღების დისიპაციას, დინებების არამდგრადობებს და მათ ტურბულენტობას. მთავარი მოსალოდნელი შედეგი იქნება მზის ატმოსფეროს გაცხელების შესაძლო მექანიზმის მოძებნა.

შესრულების პერიოდი: ამოცანა შესრულდება 2024-2028 წლებში.

საანგარიშო მასალა: საანგარიშო მასალა წარმოდგენილი იქნება რეფერირებულ ჟურნალებში დაბეჭდილი სტატიების სახით. ყოველ წელს დაგეგმილია მინიმუმ ერთი სტატიის გამოქვეყნება (მინიმუმ 5 სტატია საანგარიშო პერიოდში).

ამოცანის შესაბამისი სტატიები (ჯგუფის წევრების, ბოლო 5 წლის):

- Vashalomidze, Z. M., Zaqarashvili, T. V., Kukhianidze, V. D., Measurement of the Polytropic Index During Solar Coronal Rain Using a Diagram of the Electron Density Distribution as a Function of Electron Temperature, *Astrophysics*, 62, 69-78, 2019
- Vashalomidze, Z. M., Zaqarashvili, T. V., Kukhianidze, V. D., Ramishvili, G., Eruption of Prominences Triggered by Coronal Rain in the Solar Atmosphere Observed by SDO/AIA and Stereo/EUVI, *Astrophysics*, 62, 529-539, 2019
- Zaqarashvili, T. V., Dynamic Kink Instability and Transverse Motions of Solar Spicules, *ApJ*, 874, 126, 2020
- Zaqarashvili, T. V., Lomineishvili, S., Leitner, P., Hanslmeier, A., Gömöry, P., Roth, M., Kink instability of triangular jets in the solar atmosphere, *A&A*, 649, A179, 2021
- Srivastava, A. K., Ballester, J. L., Cally, P. S., Carlsson, M., Goossens, M., Jess, D. B., Khomenko, E., Mathioudakis, M., Murawski, K., Zaqarashvili, T. V., Chromospheric Heating by Magnetohydrodynamic Waves and Instabilities, *JGR*, 126, e029097, 2021

- González-Avilés, J. J., Murawski, K., Srivastava, A. K., Zaqarashvili, T. V., González-Esparza, J. A., Numerical simulations of macrospicule jets under energy imbalance conditions in the solar atmosphere, MNRAS, 505, 50-64, 2021
- Dumbadze, G., Shergelashvili, B. M., Poedts, S., Zaqarashvili, T. V., Khodachenko, M., De Causmaecker, P., Eigenspectra of solar active region long-period oscillations, A&A, 653, A39, 2021
- Vashalomidze, Z., Zaqarashvili, T. V., Kukhianidze, V., Ramishvili, G., Hanslmeier, A., Gömöry, P., Prominence instability and CMEs triggered by massive coronal rain in the solar atmosphere, A&A, 658, A18, 2022
- Erdélyi, R., Korsós, M. B., Huang, X., Yang, Y., Pizzey, D., Wrathmall, S. A., Hughes, I. G., Dyer, M. J., Dhillon, V. S., Belucz, B., Brajša, R., Chatterjee, P., Cheng, X., Deng, Y., Domínguez, S. V., Joya, R., Gömöry, P., Gyenge, N. G., Hanslmeier, A., Kucera, A., Kuridze, D., Li, F., Liu, Z., Xu, L., Mathioudakis, M., Matthews, S., McAteer, J. R. T., Pevtsov, A. A., Pötzi, W., Romano, P., Shen, J., Temesváry, J., Tlatov, A. G., Triana, Ch., Utz, D., Veronig, A.M., Wang, Y., Yan, Y., Zaqarashvili, T. V., Zuccarello, F., The Solar Activity Monitor Network - SAMNet, Journal of Space Weather and Space Climate, 12, 2, 21, 2022
- Niedziela, R., Murawski, K., Kadowaki, L., Zaqarashvili, T., Poedts, S., 2022, Impulsively generated two-fluid magnetoacoustic-gravity waves: Solar chromosphere heating and plasma outflows, 2022, A&A, 668, A32
- González-Avilés, J. J., Murawski, K., Zaqarashvili, T. V., Numerical simulations of a two-fluid jet at a magnetic null point in a solar arcade, 2022, MNRAS, 515, 5094-5105

ამოცანა 3. „მზის ატმოსფეროს მაგნიტომეტრია (ქურიძე, ვაშალომიძე, ზაქარაშვილი, კუხიანიძე)“

ამოცანის მიზანი: ეს ამოცანა მიზნად ისახავს მზის ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენებში მაგნიტური ველის გაზომვას პოლარიმეტრიული დაკვირვებების საშუალებით.

სამუშაოს აღწერა: ძლიერი მაგნიტური ველის გამო მზის ატმოსფეროს დამაგნიტებული სტრუქტურების მიერ გამოსხივებული სინათლე წარმოადგენს პოლარიზებულ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას. შესაბამისად, პოლარიზაციის ხარისხის გაზომვა მძლავრი და ეფექტური მეთოდია მაგნიტური ველის დიაგნოსტიკისთვის. ჩვენ გამოვიყენებთ მაღალი გარჩევის სახმელეთო ტელესკოპებით მიღებულ მიღებულ დაკვირვებებს მაგნიტურად მგრძობიარე ფოტოსფეროსა და ქრომოსფეროს სპექტრულ ხაზებში, რაც საშუალებას მოგვცემს ატმოსფეროს ამ ფენებში შევისწავლოთ მაგნიტური ველის სიმძლავრე და ტოპოლოგია ატმოსფეროს სხვადასხვა დამაგნიტებულ სტრუქტურებში. გარდა ამისა, განსაკუთრებული ატმოსფერული მოვლენების დროს, როგორცაა ამოფრქვევები და ანთებები, მაგნიტურად მგრძობიარე ქრომოსფერული სპექტრული ხაზები შეიძლება ფორმირდეს კორონალურ მარყუჟებში (ზედა ატმოსფეროში) რაც საშუალებას იძლევა კორონალური მაგნიტური ველის პირდაპირი დიაგნოსტიკისთვის. ყურადღება დაეთმობა ქრომოსფეროს მცირე ზომის სტრუქტურების, სპიკულების შესწავლას. სპიკულები ფორმირდება მაგნიტური მილების გასწვრივ და მათი მეშვეობით შესაძლებელია ქრომოსფეროს და ქვედა კორონას მაგნიტიზმის შესწავლა. სპიკულების კვლევისთვის ვგეგმავთ გამოვიყენოთ მსოფლიოს ყველაზე დიდი ოპტიკური ტელესკოპის, DKIST-ის (ჰავაი, აშშ) დაკვირვებები.

მოსალოდნელი შედეგი: მზის ქრომოსფეროს და კორონის მაგნიტური სტრუქტურების (კორონული მარყუჟები, სპიკულები, პროტუბერანცები) დიაგნოსტიკა მაღალი გარჩევის ტელესკოპების (DKIST, Gregor, SST) დაკვირვებების გამოყენებით. ამ სტრუქტურების მაგნიტური ველის სიდიდის განსაზღვრა სხვადასხვა სიმაღლეზე.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ.

საანგარიშო მასალა: საანგარიშო მასალა წარმოდგენილი იქნება რეფერირებულ ჟურნალებში დაბეჭდილი სტატიების სახით. ყოველ წელს დაგეგმილია მინიმუმ ერთი სტატიის გამოქვეყნება (მინიმუმ 5 სტატია საანგარიშო პერიოდში).

ამოცანის შესაბამისი სტატიები (ჯგუფის წევრების, ბოლო 5 წლის):

- Kuridze, D., Mathioudakis, M., Morgan, H., Oliver, R., Kleint, L., Zaqarashvili, T. V., Reid, A., Koza, J., Löfdahl, M. G., Hillberg, T., Kukhianidze, V., Hanslmeier, A., Mapping the Magnetic Field of Flare Coronal Loops, *ApJ*, 874, 126, 2019
- Koza, J., Kuridze, D., Heinzel, P., Jejić, S., Morgan, H., Zapiór, M., Spectral Diagnostics of Cool Flare Loops Observed by the SST. I. Inversion of the Ca II 8542 Å and H β Lines, *ApJ*, 885, 154, 2019
- Kriginsky, M., Oliver, R., Freij, N., Kuridze, D., Asensio Ramos, A., Antolin, P., Ubiquitous hundred-Gauss magnetic fields in solar spicules, *A&A*, 642, A612020,
- Kriginsky, M., Oliver, R., Antolin, P., Kuridze, D., Freij, N., Magnetic field inference in active region coronal loops using coronal rain clumps, *A&A*, 650, A71, 2021
- Kuridze, D., Socas-Navarro, H., Koza, J., Oliver, R., Semi-empirical Models of Spicule from Inversion of Ca II 8542 Å Line, *ApJ*, 908, 168, 2021
- Kowalski, A. F., Allred, J. C., Carlsson, M., Kerr, G. S., Tremblay, P-E., Namekata, K., Kuridze, D., Uitenbroek, H., The Atmospheric Response to High Nonthermal Electron-beam Fluxes in Solar Flares. II. Hydrogen-broadening Predictions for Solar Flare Observations with the Daniel K. Inouye Solar Telescope, *ApJ*, 928, 190, 2022
- Kuridze, D., Heinzel, P., Koza, J., Oliver, R., Dark Off-limb Gap: Manifestation of a Temperature Minimum and the Dynamic Nature of the Chromosphere, *ApJ*, 937, 56, 2022
- Kriginsky, M., Oliver, R., Kuridze, D., Temperature diagnostics of chromospheric fibrils, *A&A*, 672, A89, 2023

ამოცანა 4. „ ატმოსფერო-იონოსფეროში მიმდინარე დინამიური და სტრუქტურული ცვლილებების მონიტორინგი, მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი (თოდუა, ჯავახიშვილი, მაიერი, ამბარცუმიაი, დანიკი) “

ამოცანის მიზანი: ამოცანა მიზნად ისახავს ქვედა და ზედა ატმოსფერო-იონოსფეროში სხვადასხვა ჰელიო-გეოფიზიკურ პირობებში მიმდინარე დინამიური და სტრუქტურული ცვლილებების რეალურ დროსთან მიახლოებულ მონიტორინგს, შედეგების ინტერპრეტაციასა და შემდგომ განვითარებას. ძირითადი დამზერითი/ექსპერიმენტული სამუშაოები და შესაბამისი კვლევები ჩატარდება აბასთუმნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში 2024-2028 წლებში. კვლევები ასევე დაფუძნებულ იქნება მიღებულ გრძელვადიან (მზის აქტივობის რამოდენიმე თერთმეტწლიანი ციკლის მომცველი) დამზერით მონაცემებზე. პირველად გამოყენებული იქნება საქართველოს ტერიტორიაზე და მთლიანად კავკასიის რეგიონში განლაგებული გლობალური სანავიგაციო სისტემის (Global Navigation Satellite System - GNSS) მიმღებების რეალურ დროსთან მიახლოებული მონაცემები. ობსერვატორიაში გაგრძელდება მეზოსფერო-ქვედა თერმოსფეროს რეგიონის დინამიური პროცესების რეალურ დროში სისტემატური დაკვირვებები სრული ცის (ჰიდროქსილის OH ზოლების) საკუთარი ნათების იმიჯერული სისტემის გამოყენებით. ასევე გაგრძელდება GRIPS 5 (Ground-based Infrared P-branch Spectrometer) ხელსაწყო გამოყენებით მეზოპაუზის ტემპერატურის რეალურ დროსთან მიახლოებული მონიტორინგი. შესაძლებელია გაგრძელდეს იონოსფეროს F2 არის წითელი 630 ნმ ხაზების ინტენსივობის ვარიაციების დაკვირვებები ახალი იმიჯერული სისტემით.

სამუშაოს აღწერა: მეზოსფერო-ქვედა თერმოსფეროს რეგიონის დინამური პროცესების რეალურ დროსთან მიახლოებული დაკვირვებები სრული ცის ჰიდროქსილის OH ზოლების საკუთარი ნათების იმიჯერული სისტემით და მეზოპაუზის ტემპერატურის რეალურ დროსთან მიახლოებული მონიტორინგი GRIPS 5 (Ground-based Infrared P-branch Spectrometer) ხელსაწყოს გამოყენებით; ელექტრონების კონცენტრაციის ჯამური შემცველობის და იონოსფერულ სცინტილაციის დაკვირვებები მაღალსიხშირული GNSS მიმღებებით; იონოსფერული ქვედა თერმოსფეროს საკუთარი ნათების ატომური ჟანგბადის მწვანე 557.7 ნმ და იონოსფეროს F2 არის წითელი 630 ნმ ხაზების ინტენსივობების ფოტომეტრული დაკვირვებები (დაგეგმილია მათი შესაძლო ჩანაცვლება ამ ხაზების სრული ცის იმიჯერული სისტემით). ატმოსფერული ოზონის ჯამური შემცველობის გაზომვები და ქვედა ატმოსფეროში (ტროპოსფეროში) აეროზოლების ვექტორული განაწილების რეალურ დროში მონიტორინგი M-10 ლიდარული სისტემის ან პროექტის მსვლელობისას შეძენილი ცელიომეტრისა და ოზონომეტრის გამოყენებით.

მოსალოდნელი შედეგი: მიღებულ იქნება მეზოპაუზის ტემპერატურის სეზონური ცვლილების ახალი მონაცემები. იდენტიფიცირებული იქნება ამ რეგიონში მიმოქცევითი მოძრაობებისა და ატმოსფერული გრავიტაციული ტალღებით განპირობებული ვარიაციები. დადგინდება ელექტრონების ჯამურ შემცველობაში მაღალსიხშირული სცინტილაციები და მათი შესაძლო კავშირი გეომანტურ შემფოთებებთან მზის აქტივობის მიმდინარე მაქსიმუმის ფაზაში. ატომური ჟანგბადის საკუთარი ნათების მწვანე 557.7 ნმ და წითელი 630.0 ნმ ხაზების ინტენსივობების გრძელვადიანი მონაცემების გამოყენებით დადგინდება დეტექტირებული იონოსფერული შემფოთებების შესაძლო კავშირი ზედა და ქვედა ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესებთან.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ.

საანგარიშო მასალა: საანგარიშო მასალა წარმოდგენილი იქნება რეფერირებად ჟურნალებში დაბეჭდილი სტატიების სახით. ყოველ წელს დაგეგმილია მინიმუმ ერთი სტატიის გამოქვეყნება (მინიმუმ 5 სტატია საანგარიშო პერიოდში).

ამოცანის შესაბამისი სტატიები (ჯგუფის წევრების, ბოლო 5 წლის):

- Dalakishvili, G., Didebulidze, G.G., Todua, M., 2020. Formation of sporadic E (Es) layer by homogeneous and inhomogeneous horizontal winds, *JASTP*
- Didebulidze, G.G., Dalakishvili, G., Todua, M., 2020. Formation of Multilayered Sporadic E under an Influence of Atmospheric Gravity Waves (AGWs), *Atmosphere*, vol.11, issue 6, p.653
- Didebulidze, G.G., Dalakishvili, G., Todua, M., Toriashvili, L., 2023. The Role of Neutral Wind Velocity and Its Vertical Component on Predictability of Formation and Localization of Sporadic E (Es), *Atmosphere*, vol.14, issue 6, p. 1008

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

- მზის და მზის ტიპის ვარსკვლავების აქტიურობაში არსებული საშუალო პერიოდების დაკვირვება, მათი კავშირი მაგნიტურ როსბის ტალღებთან და ვარსკვლავთა წიაღის სეისმოლოგია (მინიმუმ ხუთი სამეცნიერო სტატია უცხოურ რეფერირებულ ჟურნალში);
- ტალღების და დინებების არამდგრადობების დაკვირვება/მოდელირება ქრომოსფეროსა და კორონაში, პლაზმური პარამეტრების შეფასება და პლაზმის გაცხელების სავარაუდო მექანიზმების შემოთავაზება (მინიმუმ ხუთი სამეცნიერო სტატია უცხოურ რეფერირებულ ჟურნალში);
- მზის მაგნიტური ველის გაზომვა ატმოსფეროს სხვადასხვა სიმაღლეზე (მინიმუმ ხუთი სამეცნიერო სტატია უცხოურ რეფერირებულ ჟურნალში).

- მიღებულ იქნება მეზოპაუზის ტემპერატურის სეზონური ცვლილების ახალი მონაცემები. იდენტიფიცირებული იქნება ამ რეგიონში მიმოქცევითი მოძრაობებისა და ატმოსფერული გრავიტაციული ტალღებით განპირობებული ვარიაციები. დადგინდება ელექტრონების ჯამურ შემცველობაში მაღალსიხშირული სცინტილაციები და მათი შესაძლო კავშირი გეომაგნიტურ შემფოთებებთან მზის აქტივობის მიმდინარე მაქსიმუმის ფაზაში. ატომური ჟანგბადის საკუთარი ნათების მწვანე 557.7 ნმ და წითელი 630.0 ნმ ხაზების ინტენსივობების გრძელვადიანი მონაცემების გამოყენებით დადგინდება დეტექტირებული იონოსფერული შემფოთებების შესაძლო კავშირი ზედა და ქვედა ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესებთან.

2.6. დამატებითი ინფორმაცია

პროექტის მონაწილეთა ნახევარი ახალგაზრდა მეცნიერებს წარმოადგენენ. წინა პროექტის განმავლობაში სამმა მათგანმა დაიცვა დისერტაცია (ბაგაშვილი, ვაშალომიძე, გურგენაშვილი), ხოლო ერთი დისერტაციის დაცვა იგეგმება 2023 წლის ბოლოს (ალბექიონი). აქედან ორი მათგანი არის ორმაგი სადოქტორო ხარისხი ილიას უნივერსიტეტისა და გოტინგენის უნივერსიტეტის (გერმანია) მონაწილეობით (გურგენაშვილი, ალბექიონი).

ამოცანა 2 და ამოცანა 3-ის შესრულებაში მონაწილეობას მიიღებს ზურაბ ვაშალომიძე. ვაშალომიძე არის რუსთაველის ფონდის ახალგაზრდა მეცნიერის პროექტის შემსულებელი ობსერვატორიაში. ის მონაწილეობას მიიღებს დაკვირვებებში და მონაცემების დამუშავებაში (სამუშაო ადგილი თბილისი).

ამოცანა 4-ის შესრულებაში მონაწილეობას მიიღებს სერგეი დანიკი, ხელსაწყოების უწყვეტ ფუნქციონირებასთან დაკავშირებული პროგრამული უზრუნველყოფის მიმართულებით (ონლაინ, ყანობილი).

X. მზის და კოსმოსური ამინდის პროცესების მოდელირება და დაკვირვებები
(ხელმძღვანელი ბ. შერგელაშვილი)

1.1. კვლევის მიმართულება: მზის მახლობელი და პლანეტათაშორისი ფიზიკური პროცესების კვლევა

1.2. სტრუქტურული ერთეული: მზისა და მზის სისტემის განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	შერგელაშვილი ბიძინა	უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი	დოქტორი, Ph.D.	პროექტის განხორციელების ზოგადი მართვა; კვლევის შედეგების თეორიული ინტერპრეტაცია. მიღებული შედეგების პუბლიკაცია/სამუშაო ადგილი თბილისი
2	ჯაფარიძე დარეჯანი	მეცნიერ თანამშრომელი	დოქტორი, Ph.D.	კოსმოსური სადგურების მონაცემთა ბაზებიდან მონაცემების მოპოვება, დამუშავება, მიღებული შედეგების პუბლიკაცია/სამუშაო ადგილი თბილისი
3	დუმბაძე გულსუნ	ასისტენტ მკვლევარი	მაგისტრი, დოქტორანტი	კოსმოსური სადგურების მონაცემთა ბაზებიდან მონაცემების მოპოვება, დამუშავება, მიღებული შედეგების პუბლიკაცია/სამუშაო ადგილი თბილისი
4	ოდრაპიშვილი ნათელა	ასისტენტ მკვლევარი	დოქტორი, Ph.D.	კოსმოსური სადგურების მონაცემთა ბაზებიდან მონაცემების მოპოვება, დამუშავება, მიღებული შედეგების პუბლიკაცია/სამუშაო ადგილი თბილისი
5	თაქთაქიშვილი ალექსანდრე	მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი	მეცნიერებათა დოქტორი	კვლევის შედეგების თეორიული ინტერპრეტაცია. მიღებული შედეგების პუბლიკაცია/სამუშაო ადგილი თბილისი
6	ყულიჯანიშვილი ვაჟა	მეცნიერ თანამშრომელი, მთავარი ასტრონომ მენეჯერი	დოქტორი, Ph.D.	აბაო-ს დიდი დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფის მეშვეობით ჩავატაროთ პროტუბერანცების ერთდროული სპექტრული და ფილტრული დაკვირვებები წყალბადის H α და ჰელიუმის D δ ხაზებში, მიღებული შედეგების პუბლიკაცია/სამუშაო ადგილი ყანობილი

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	დიდი 53 სმ-იანი დაბნელება გარეშე კორონოგრაფი,	1	დაკვირვებები ყოველწლიურად განხორციელდება გაზაფხულზე და შემოდგომაზე სავარაუდოდ 45 დღის განმავლობაში
2	პერსონალური კომპიუტერი	7	კომპიუტერები განლაგებულია როგორც თბილისის ასევე მთა ყანობილზე არსებულ ოფისებში.
3	საოფისე ინვენტარი	6	ინვენტარი განლაგებულია როგორც თბილისის ასევე მთა ყანობილზე არსებულ ოფისებში (ნაწილობრივ არის ახალი ინვენტარი შესაძენი).

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1	მონიტორი პერსონალური კომპიუტერისთვის	1 500	1	1 500	გვესაჭიროება მაღალი გარჩევის უნარის მონიტორი ერთი კომპიუტერისთვის
			სულ:	1 500	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

კვლევები განხორციელდება უცხოურ სამეცნიერო ცენტრებთან (გერმანიის, ავსტრიის და ბელგიის) მჭიდრო თანამშრომლობით. ამ თვალსაზრისით დაგეგმილია გარკვეული დროით პროექტის მონაწილეთა მივლინებები უცხოეთში.

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
1	შესყიდვა (> 500 ლ)	1500					1 500
2	შესყიდვა (< 500 ლ)						
3	მივლინება ქვეყნის გარეთ		4000	4000	4000	4000	16 000
4	სულ	1500	4000	4000	4000	4000	17 500

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

თანამედროვე მზის/კოსმოსის ფიზიკის ერთ-ერთ ძირეულ პრობლემას წარმოადგენს მზის (ზოგადად ვარსკვლავების) ფუნდამენტური დინამიკური პროცესების ანალიზი. აღნიშნული გარემო პირობების შემსწავლელი მეცნიერების დარგების ერთობლიობას ეწოდება მზის და კოსმოსური ამინდი. ისინი მოიცავენ ფიზიკური პროცესების მთელ სპექტრს, რომელიც წარმოიქმნება მზის შიდა შრეებში და ვითარდება მის ატმოსფეროში და პლანეტათაშორის სივრცეში. აღნიშნული პროცესები ზემოქმედებას ახდენენ პლანეტების მაგნიტოსფეროსა და ატმოსფეროზე.

მზის ამინდის პროცესები მოიცავს მაგნიტოჰიდროდინამიკურ ტალღურ არამდგრადობებსა და ტურბულენტობას; ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ დინებებს მზის აქტიური რეგიონების ან კორონული ხვრელების/სტრიმერების სასაზღვრო რეგიონებში მიმდინარე პროცესებს. ამავე დროს კოსმოსური ამინდის მოვლენებს წარმოადგენენ: კვაზისტაციონალური სწრაფი და ნელი მზის ქარი, ურთიერთქმედების თანაბრუნვადი რეგიონები, მზის პლანეტათაშორისი მაგნიტური ველი, მზის ატმოსფეროში წარმოქმნილი ტრანზიენტული მაგნიტური ამოფრქვევები (ანთებები/კორონული მასის ამოფრქვევა) და გალაქტიკური კოსმოსური სხივების/მზის ენერგეტიკული ნაწილაკების ნაკადები. შესაბამისად, ამ პროცესებთან დაკავშირებული კვლევები საჭიროებენ თვისობრივად ინტერდისციპლინურ მიდგომებს ანალიზური, რიცხვითი და სადამკვირვებლო მეთოდოლოგიების კომბინირებულად გამოყენების მეშვეობით. აღნიშნული მიდგომები გულისხმობს მზის და პლაზმური ასტროფიზიკის, რიცხვითი მოდელირების, დაკვირვებითი მონაცემების ანალიზის და სახეობების (პათერნების) ძებნის/ამოცნობის/ანალიზის შესაბამის სამეცნიერო დარგებს შორის თანამშრომლობას. ეს გარემოებები წარმოადგენენ ჩვენი საერთაშორისო/ინტერდისციპლინური კოლაბორაციების მთავარ მოტივაციას. ფუნდამენტურ მიზანს წარმოადგენს მზის და ჰელიოსფეროს, როგორც ერთიანი სისტემის გაგება და შესწავლა. აღნიშნული მიზანი სრულ თანხვედრაშია იმ გამოწვევებთან, რომელთა გადაჭრასაც ისახავს მიზნად ამჟამად მიმდინარე ევროპული კოსმოსური სააგენტოს, ESA [Solar Orbiter](#) (SO, [1]) და NASA-ს [Parker Solar Probe](#) (PSP, [2]) კოსმოსური სადამკვირვებლო მისიები, კვლევებისა და მონიტორინგის არსებულ გამოწვევებთან (პრობლემებთან) ერთად. შესაბამისი კვლევითი ინფრასტრუქტურის მაგალითებია ESA-ს კოსმოსური ამინდის მოდელირების ვირტუალური ცენტრი [ESA Virtual Space Weather Modelling Centre \(VSWMC\)](#) და ჰელიოსფერული პროგნოზირების ევროპული საინფორმაციო ინფრასტრუქტურა [EUropean Heliospheric FORecasting Information Asset \(EUHFORIA\)](#), რაც წარმოადგენს მზის ქარის და კოსმოსური ამინდის საკვლევ ჩარჩო გარემოს [3-4]. აღნიშნული ინფრასტრუქტურა განვითარდა და იმართება ლუვენის კათოლიკური უნივერსიტეტის იმ სამეცნიერო ჯგუფის მიერ, რომელსაც ხელმძღვანელობს ჩვენი უცხოელი კონსულტანტი. SO და PSP მისიები მზის ზედაპირებიდან უპრეცედენტოდ ახლო (მზის მხოლოდ რამდენიმე რადიუსის) მანძილებზე დაკვირვებების წარმოების საშუალებას იძლევიან.

პროექტში ასახული გამოწვევები დაფუძნებული არის უახლეს საერთაშორისოდ განვითარებულ მოდელებზე, რომლებიც ჯერ კიდევ შეიცავენ გარკვეულ ღია პრობლემებს:

პრობლემა 1. თეორია - მთავარი თეორიული პრობლემა მოიცავს სხვადასხვა ენერჯის წყაროების ურთიერთ ფარდობითი ეფექტურობის განსაზღვრისთვის სრული და გაერთიანებული მიდგომის არარსებობას. მიუხედავად მზის ქარის მოდელირების განვითარების თანამედროვე დონისა, მნიშვნელოვანი კავშირები წყარო რეგიონში (<0.1 ა.ე.) მიმდინარე პროცესებსა და პლანეტათაშორის სივრცეში დაკვირვებულ დინებების სახეობებს შორის ნაკლებად არის შესწავლილი.

პრობლემა 2. რიცხვითი მოდელირება - თანამედროვე კომბინირებული მზის ქარის და კორონალური მასის ამოფრქვევის გავრცელების მოდელებს (როგორცაა ამერიკული ENLIL [5] და ყველაზე ახალი SUSANOO [6]) გააჩნია შემდეგი შეზღუდვები: 1) ისინი კმა-ს ევოლუციას განიხილავენ ფონურ სტაციონალურ მზის ქარის მოდელზე ზედდებით; 2) ამ მოდელებში არ არის გათვალისწინებული წყარო რეგიონის და ფონური მზის ქარის კომპლექსური პროფილები (ეს ასევე ეხება EUHFORIA-ს).

პრობლემა 3. მზის და კოსმოსური ამინდის კვლევები და დაკვირვებები - კოსმოსური ამინდის მრავალი მოდელი არის ზედმეტად გამარტივებული, სადაც უგულებელყოფილი არის ზოგიერთი მნიშვნელოვანი ფუნდამენტური ფიზიკური ეფექტები მათი კომპლექსურობის და გაზრდილი გამოთვლითი სიმძლავრეების საჭიროების გამო. სხვადასხვა მოვლენის მოდელის ურთიერთდამაკავშირებელი გარემო არ არსებობს. ასეთი ინფრასტრუქტურა შიდა და გარე

ჰელიოსფეროს შესახებ არსებული დაკვირვებითი მონაცემების ერთიანი მიდგომით დამუშავების საშუალებას მოგვცემდა.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

- [1] Müller D., Marsden R. G., St. Cyr O. C., and Gilbert H. R., 2013, Solar Orbiter . Exploring the Sun-Heliosphere Connection, Sol. Phys., 285, 25, DOI: [10.1007/s11207-012-0085-7](https://doi.org/10.1007/s11207-012-0085-7)
- [2] Fox N. J., Velli M. C., Bale S. D., Decker R., Driesman A., Howard R. A. et al., 2016, The Solar Probe Plus Mission: Humanity's First Visit to Our Star, Sp. Sci. Rev., 204, 7-48, DOI: [10.1007/s11214-015-0211-6](https://doi.org/10.1007/s11214-015-0211-6)
- [3] Pomoell J. and Poedts S., 2018, EUHFORIA: European heliospheric forecasting information asset, J. Space Weather Space Clim. 8, A35, DOI: [10.1051/swsc/2018020](https://doi.org/10.1051/swsc/2018020)
- [4] Poedts S., 2019, Forecasting space weather with EUHFORIA in the virtual space weather modeling centre, Plasma Phys. Control. Fusion, 61, 014011, DOI: [10.1088/1361-6587/aae048](https://doi.org/10.1088/1361-6587/aae048)
- [5] Odstrcil D., 2003, Modeling 3-D solar wind structure, Adv. in Sp. Res., 32, 497-506, DOI: [10.1016/S0273-1177\(03\)00332-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(03)00332-6)
- [6] Shiota D. and Kataoka R., 2016, Magnetohydrodynamic simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME), Space Weather, 14, 56-75, DOI: [10.1002/2015SW001308](https://doi.org/10.1002/2015SW001308)
- [7] Beskin, V. S., 2010, MHD Flows in Compact Astrophysical Objects, MHD Flows in Compact Astrophysical Objects: Accretion, Winds and Jets, Astronomy and Astrophysics Library., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-01289-1, DOI: [10.1007/978-3-642-01290-7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-01290-7)
- [8] Jacobs C., Poedts S., 2011, A polytropic model for the solar wind, Adv. Sp. Res., 48, 1958-1966, DOI: [10.1016/j.asr.2011.08.015](https://doi.org/10.1016/j.asr.2011.08.015)
- [9] Shergelashvili B.M., Melnik V.N., Dididze G., Fichtner H., Brenn G., Poedts S., Foysi H., Khodachenko M. and Zaqarashvili T.V., 2020, A new class of discontinuous solar wind solutions, MNRAS, 496, 1023–1034, DOI: [10.1093/mnras/staa1396](https://doi.org/10.1093/mnras/staa1396)
- [10] Summers D., 1982, On the two-fluid polytropic solar wind model, ApJ, 257, 881-886, DOI: [10.1086/160037](https://doi.org/10.1086/160037)
- [11] Westrich L.S., 2022, Master Thesis: “Quasi-discontinuous solar wind models: Construction and analysis of localized, explicit plasma heating”.
- [12] Westrich L.S., Shergelashvili B.M. and Fichtner H., 2023, A&A, submitted

2.3. სამუშაოს მოცულობა

ამოცანა 1 - ანალიზური ფორმალიზმი მზის ქარის სახეობების მოდელირებისთვის – წინასწარ შესრულებული და შესასრულებელი სამუშაოს მოცულობა. ჩვენი ინტერესის საგანს წარმოადგენს მზის ქარის თეორიული არაადიაბატური მოდელის განვითარება, როდესაც მხედველობაშია მიღებული ლოკალური ენერჯის წყაროები. ჩვენი კონცეპტუალური მიდგომა ეფუძნება მზის ქარის პოლიტროპულ თეორიას [7] გარე ენერჯის წყაროების გარეშე ერთნაწილაკოვანი სითხის შემთხვევაში [8], რომელიც ახლახან იქნა განზოგადებული დამატებითი წყვეტილი ამონახსნების ანალიზით [9]. ასევე არსებობს ორსითხოვანი ადიაბატური შემთხვევა განხილული [10]-ში. [9]-ში ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე მიღებული იქნა შემდეგი დასკვნები: 1) მოდელი თანმიმდევრულად ეთანადება კლასიკურ უწყვეტ ტრანსპერით ამონახსნებს. 2) გარდა ამისა, არსებობს სხვა წყვეტილი ტრანსპერითი ამონახსნების ჯგუფი, რომლებიც ხასიათდებიან სიჩქარის, სიმკვრივის და ტემპერატურის რადიალურ პროფილებში ნახტომისებური წყვეტით. 3) ეს ამონახსნები გვიჩვენებენ, რომ კრიტიკული (ბგერითი) წერტილი შეიძლება ემთხვეოდეს ან არ

ემთხვეოდეს გრავიტაციულ წერტილს. ჩვენ განვახორციელებთ შემდეგს: 1) მოვახდენთ მოდელის არაადიაბატურ პირობებისთვის განვითარებას მასში ლოკალური ენერჯის წყაროების და შესაბამისი ტალღური სიმძლავრის განტოლებების დამატებით. მოსალოდნელია, რომ ამ წყარო წევრების დამატების შედეგად მივიღებთ ახალ განვითარებულ ანალიზურ მოდელს როგორც წყარო რეგიონისთვის ასევე მზის ქარის სახეობის ფორმირებისთვის. აღნიშნული მოდელები მოგვცემს შიდა ჰელიოსფეროს პროფილებს, რომელიც დასაბუთებული და პარამეტრიზებული იქნება დაკვირვებების შედეგად ფორმირებული სინოპტიკური რუკებით. ეს პროფილები მზად იქნება EUHFORIA სისტემაში მომავალში ჩასართავად საწყისი და სასაზღვრო პირობების სახით.

ამოცანა 2 - დინებათა სახეობების (ფათერნების) მდგრადობის ანალიზი – წინასწარ შესრულებული და შესასრულებელი სამუშაოს მოცულობა.

[9]-ში ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე მიღებული იქნა შემდეგი დასკვნები: 1) მოდელი თანმიმდევრულად ეთანადება კლასიკურ უწყვეტ ტრანსბგერით ამონახსნებს. 2) გარდა ამისა, არსებობს სხვა წყვეტილი ტრანსბგერითი ამონახსნების ჯგუფი, რომლებიც ხასიათდებიან სიჩქარის, სიმკვრივის და ტემპერატურის რადიალურ პროფილებში ნახტომისებური წყვეტით. 3) ეს ამონახსნები გვიჩვენებენ, რომ კრიტიკული (ბგერითი) წერტილი შეიძლება ემთხვეოდეს ან არ ემთხვეოდეს გრავიტაციულ წერტილს. სტაციონალურ მოდელში [9] ნაპოვნი ნახტომის მსგავსი პროფილები იძლევიან ინტეგრირების მუდმივას, რომელიც შეიცავს ინფორმაციას კრიტიკული (ბგერითი) წერტილის მახლობლად არსებული წყაროების შესახებ, რომლებიც სისტემას უზრუნველყოფენ საჭირო ენერჯით და ზოგადად ენტროპიის წარმოებით ფიზიკურ სიდიდეებში სწრაფი ნახტომისებური ცვლილების მისაღწევად. რეალურად კი ასეთი სტაციონალური აღწერა არის ფიზიკური რეალობის აშკარა იდეალიზაცია და ჩვენ შევამოწმეთ ჰიპოთეზა ნახევრადრიცხვითი მეთოდის გამოყენებით. ვაჩვენებთ, რომ შესაძლებელია განვითარებულ იქნას კრიტიკული წერტილის უშუალო მახლობლობაში განლაგებულ თხელ ფენაში არსებული ენერჯის წყაროების მოდელის არასტაციონალური ვერსია, როდესაც ენერჯის ლოკალური წყაროების არსებობა წარმოდგენილია წინასწარ შერჩეული მათემატიკური ფუნქციის სახით, რომელიც დამატებულია წყარო წევრად ძირითად განტოლებათა სისტემაში [11, 12]. ამ შემთხვევაში ნაცვლად ნახტომისებური ცვლილებისა, ფიზიკური სიდიდეები აყალიბებენ კვაზისტაციონალურ გარკვეულ რადიალურ პროფილებს, რომლებიც არიან უწყვეტი, მაგრამ ძალიან კარგ თანხვედრაში და მიმსგავსებული [9]-ში მიღებულ წყვეტილ სტაციონალურ პროფილებთან [11, 12]. აღნიშნულმა წინასწარმა კვლევამ წარმოშვა ენერჯის წყაროების ლოკალური თეორიის განვითარების მოტივაცია (რომელიც გამიზნული იქნება ძლიერად არაადიაბატური, თერმოდინამიკურად და ჰიდროდინამიკურად წონასწარობიდან შორს მყოფი თხელი ფენის აღსაწერად), როდესაც სხვადასხვა ტალღური ველები განხილულია ბგერითი წერტილის მახლობლად არსებული ლოკალური ენერჯის წყაროების საუკეთესო კანდიდატად.

ამოცანა 3 - კოსმოსური და დედამიწისეული დაკვირვებები – წინასწარ შესრულებული და შესასრულებელი სამუშაოს მოცულობა.

იმის გათვალისწინებით, რომ მზის ზედაპირზე განვითარებულმა პროცესებმა შეიძლება გამოიწვიოს გეომაგნიტური შემფოთებები, რამაც შეიძლება ხელი შეუშალოს გლობალური საკომუნიკაციო სისტემების მუშაობას და გამოიწვიოს სანავიგაციო და სამხედრო თანამგზავრების გათიშვა, ძალზე მნიშვნელოვანია კოსმოსური ამინდის და მისი ცვლილებების გამომწვევი მიზეზების შესწავლა. წარმოდგენილი ამოცანების გადაწყვეტის შედეგად შესწავლილი იქნება მზის კორონული ხვრელების, მზის აქტიური არეების სრული ფართობებისა და დედამიწის ატმოსფეროს მახასიათებლებს შორის შესაძლო კორელაციური კავშირები, მზის კორონული ხვრელებისა და აქტიური არეების ფიზიკური მახასიათებლებისა და მზის ატმოსფეროს ქვედა ფენების მაგნიტური წარმონაქმნების სივრცულ-დროითი მახასიათებლები მზის აქტივობის ციკლის სხვადასხვა ფაზაში, მათი თავისებურებები მზის საერთო მაგნიტური ველის გადაპოლარებისას და მზის კორონული

მასის გამოტყორცნის შედეგად მზის ქარის მახასიათებლების ცვლილებები. ყველა ეს ამოცანა დაკავშირებულია მზის ატმოსფეროს წარმონაქმნებთან (მზის კორონულ ხვრელებთან და აქტიურ არეებთან), რაც წარმოადგენს მზის სწრაფი ქარის წყაროს. წარმოდგენილი ამოცანების გადაწყვეტის შედეგად მიღებული შედეგები კოსმოსურ ამინდის პროგნოზირებაში შეიტანს გარკვეულ წვლილს.

ასევე განხორციელდება დედამიწისეული დაკვირვებების კამპანია აბაო-ში არსებული სადამკვირვებლო მატერიალურ-ტექნიკური ბაზის გამოყენებით, რაც მოიცავს შემდეგ ინსტრუმენტებს:

1. ე. ხარაძის ეროვნული ასტროფიზიკური ობსერვატორიის დიდი 53 სმ-იანი დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფი, აღჭურვილი მაღალდისპერსიული სპექტოგრაფით.

დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი: გაზაფხული-შემოდგომა 2024-2027 წწ.

2. დიდ დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფთან კომბინაციაში არსებული სპეციალური დანადგარი, განკუთვნილი ერთდროული სპექტრული და ფილტრული დაკვირვებებისათვის, რომელიც აღჭურვილია ვიწროზოლოვანი შუქფილტრებით წყალბადის H α და ჰელიუმის D $_3$ ხაზებში;

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1 - ანალიზური ფორმალიზმი მზის ქარის სახეობების მოდელირებისთვის

მიზანი: ამოცანის მთავარი მიზანია მზის ქარის მოდელირებისთვის განახლებული ანალიზური მოდელის განვითარება რომელიც ლოკალური ენერჯის წყაროების გათვალისწინებით.

სამუშაოს აღწერა: განხორციელდება მათემატიკური გამოსახულებების შემუშავება მზის ქარის წყარო რეგიონისა და ზედაპირის პროფილებისთვის. ასევე მოხდება მზის ქარის განახლებული თეორიული მოდელის ფორმულირება, რომელიც ითვალისწინებს სახვადასხვა ლოკალური ენერჯის წყაროების არსებობას. აღნიშნული მოდელი დაფუძნებული იქნება ახალ წყარო რეგიონის მოდელზე იმის გათვალისწინებით, რომ მოდელში ჩართული იქნება მათემატიკურად სწორად ფორმულირებული გამოსახულებები წყარო რეგიონისთვის, დასაბუთებული დაკვირვებული მზის სინოპტიკური რუკებით.

მოსალოდნელი შედეგები: წყარო რეგიონის განახლებული რადიალური მოდელები ლოკალური ენერჯის წყაროებისთვის. განვითარებული მზის ქარის ახალი არაადიაბატური მოდელი.

შესრულების პერიოდი: 2024 - 2025 წლები

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 1 სამეცნიერო ნაშრომი საერთაშორისო ჟურნალში.

ამოცანა 2 - დინებათა სახეობების (ფათერნების) მდგრადობის ანალიზი.

მიზანი: ამოცანის მთავარი მიზანია მზის ქარის და მზის ატმოსფეროში არსებული მცირე ზომის დინებების სტაციონალურობის და სხვადასხვა შემფოთებების მიმართ მდგრადობის შესწავლა. შესაბამის შემთხვევებში არამდგრადი ამონახსნების მოძებნა მახასიათებელ განტოლებებში.

სამუშაოს აღწერა: სამუშაო მოიცავს სხვადასხვა სახის ტალღური ველებისთვის თანმიმდევრული სტატისტიკური თეორიის შემუშავება ბგერითი (კრიტიკული) წერტილის მახლობლად, რაც მოიცავს ტალღების სპექტრული სიმძლავრის სტაციონალური და არასტაციონალური დინამიკის აღმწერ განტოლებების გამოყვანას და ამოხსნას. ჩამოყალიბებული გაფართოებული დინამიური განტოლებების სისტემის მდგრადობის ანალიზი, რომელიც შედგება სტანდარტული ჰიდროდინამიკური და დამატებით ბ/ი-ა-ს ტალღური წნევისა და სითბოს/ენტოპიის წარმოების აღმწერი განტოლებებისგან. შემდგომ მდგრადობა/არამდგრადობის პირობების მისაღებად

სისტემის ანალიზის ჩატარება რათა გამოვლენილ იქნას მარგინალურად მდგრადი და არამდგრადი მდგომარეობები, რათა ანალიზის საფუძველზე გამოტანილ იქნას სხვა შესაბამისი დასკვნები.

მოსალოდნელი შედეგები: გამოყვანილ იქნება ტალღური სიმძლავრის, ტალღური წნევისა და სითბოს წარმოების და ტალღების არეკვლის კოეფიციენტის ევოლუციური განტოლებები, ტალღების სპექტრული სიმძლავრის ტურბულენტური კასკადის (დიფუზიის) გათვალისწინებით და მის გარეშე. მივიღებთ მზის ქარის განახლებული მოდელს ტალღური წნევის და არეკვლის კოეფიციენტების განტოლებების დამატებით.

შესრულების პერიოდი: 2025 – 2026 წლები

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 1 სამეცნიერო ნაშრომი საერთაშორისო ჟურნალში.

ამოცანა 3 - კოსმოსური და დედამიწისეული დაკვირვებები.

მიზნანი: ამოცანის მიზანს წარმოადგენს მზის დედამიწისეული ინსტრუმენტების და კოსმოსური სადამკვირვებლო მისიების საშუალებით დაკვირვებების განხორციელება.

სამუშაოს აღწერა: განსახორციელებელი სამუშაოები მოცავს შემდეგ კომპონენტებს:

1. მზის კორონული ხვრელებისა და აქტიური არეების სრული ფართობების შედარებითი ანალიზი დედამიწის ატმოსფეროს მახასიათებლებთან;
2. მზის კორონული ხვრელების ფიზიკური მახასიათებლებისა და მზის ატმოსფეროს ქვედა ფენების მაგნიტური წარმონაქმნების სივრცულ-დროითი მახასიათებლების ურთიერთკავშირი მზის აქტივობის ციკლის სხვადასხვა ფაზაში;
3. მზის კორონული ხვრელებისა და აქტიური არეების თავისებურებების შესწავლა მზის საერთო მაგნიტური ველის გადაპოლარების მომენტისათვის;
4. ამოცანის მიზანია მზის კორონული ხვრელებისა და აქტიური არეების სრული ფართობისა და დედამიწის ატმოსფეროს მონაცემებს შორის შესაძლო კავშირების დადგენა.
5. მზის ქარის მახასიათებლების მზიდან კორონული მასის გამოტყორცნის თანმდევი ცვლილების კვლევა.

მოსალოდნელი შედეგები:

1. ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად დადგინდება ურთიერთკავშირი მზის კორონული ხვრელებისა და აქტიური არეების სრულ ფართობსა და დედამიწის ატმოსფეროს მახასიათებლებს შორის.
2. ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად მზის აქტივობის ციკლის სხვადასხვა ფაზაში დადგინდება ურთიერთკავშირი მზის კორონული ხვრელების ფიზიკურ მახასიათებლებსა და მზის ატმოსფეროს ქვედა ფენების მსხვილმასშტაბოვან მაგნიტურ წარმონაქმნებს შორის.
3. ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად მიღებული იქნება, თუ რა ცვლილებას განიცდის მზის საერთო მაგნიტური ველის გადაპოლარების მომენტის მახლობლად მზის კორონული ხვრელებისა და აქტიური არეების სივრცულ-დროითი მახასიათებლები და რა პერიოდულობაა მათთვის დამახასიათებელი.
4. ერთდროული ფილტრული და სპექტრული დაკვირვებითი მასალის საფუძველზე შესწავლილი იქნება პროტუბერანცთა ცალკეული კვანძების დინამიკური მახასიათებლები, მათი მაგნიტური ველის კონფიგურაცია და დადგინდება ასევე მაგნიტური ველის განვითარების შესაბამისი მექანიზმი.

5. ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად შესწავლილი იქნება მზიდან კორონული მასის გამოტყორცნის შედეგად მზის ქარის მახასიათებლების ცვლილება.

შესრულების პერიოდი: 2026 – 2028 წლები

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 1 სამეცნიერო ნაშრომი საერთაშორისო ჟურნალში.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

პროექტის განხორციელების გეგმა ეფუძნება წარმოდგენილ თემატიკას, მიზნებს და მეთოდოლოგიას, რაც ზემოთ არის განმარტებული ამ თავში. მოსალოდნელია, რომ პროექტის განხორციელების შედეგად მიღწეული იქნება შესაბამისი სამეცნიერო ეფექტურობა და მნიშვნელოვანი გავლენა, რომელიც ეხმიანება მა/კა-ს კვლევების საერთაშორისოდ აქტუალურ გამოწვევებს. პროექტის ჯგუფი დაკომპლექტებულია მაღალკვალიფიციური პერსონალით, რომელსაც გააჩნია მნიშვნელოვანი გამოცდილება პროექტის მიერ მოცული სამეცნიერო თემატიკის კვლევებში და მსგავსი თანამშრომლობითი და ინდივიდუალური პროექტების განხორციელებაში.

დღეისთვის კოსმოსში რამოდენიმე ათასი ხელოვნური თანამგზავრი მუშაობს. ხელოვნური თანამგზავრები გამოიყენება ამინდის პროგნოზირებისთვის დედამიწის ზედაპირზე, კომუნიკაციისთვის, ნავიგაციისთვის, რუკების შესადგენად, სამაშველო ოპერაციების საწარმოებლად, კვლევისა და სამხედრო-სადაზვერვო ოპერაციების საწარმოებლად. თანამგზავრისა და მისი სიგნალის დაკარგვამ შეიძლება სერიოზული შედეგები გამოიწვიოს. კოსმოსური ამინდი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სანავიგაციო სისტემებზე და რადიოკავშირზე. ამიტომ ძალზე მნიშვნელოვანია კოსმოსური ამინდის წინასწარმეტყველება, რისთვისაც აუცილებელია მზის აქტივობის ციკლის სხვადასხვა ფაზაში მზის ატმოსფეროს იმ არეების მახასიათებლების შესწავლა, საიდანაც გამოედინება მზის სწრაფი ქარი.

წარმოდგენილი ამოცანების გადაწყვეტის შედეგად გამოთვლილი იქნება მზის კორონული ხვრელებისა და აქტიური არეების სრული ფართობებისა და დედამიწის ატმოსფეროს მახასიათებლები, შესწავლილი იქნება მათ შორის შესაძლო კორელაციური კავშირები; დადგინდება კორონული ხვრელების ფიზიკური მახასიათებლებისა და მზის ატმოსფეროს ქვედა ფენების მაგნიტური წარმონაქმნების სივრცულ-დროითი მახასიათებლების ურთიერთკავშირი მზის აქტივობის ციკლის სხვადასხვა ფაზაში; შესწავლილი იქნება მზის კორონული ხვრელებისა და აქტიური არეების თავისებურებები მზის საერთო მაგნიტური ველის გადაპოლარების მომენტისათვის და მზიდან კორონული მასის გამოტყორცნის შედეგად მზის ქარის მახასიათებლების ცვლილებები.

მიღებული შედეგები ხელს შეუწყობს ფუნდამენტური მეცნიერების შემდგომ განვითარებას და მნიშვნელოვანია კოსმოსურ ამინდის პროგნოზირებისათვის, რაც პირდაპირ არის დაკავშირებული მზე-დედამიწის კავშირების პრობლემების გადაჭრასთან. მიღებული შედეგები აგრეთვე მნიშვნელოვანია იმ ღონისძიებების დასაგეგმად, რაც უნდა გატარდეს მზის მაღალი აქტივობის პირობებში დედამიწის ზედაპირზე არასასურველი გავლენების პრევენციისთვის. კვლევის ჩატარების შედეგად მიღებული შედეგების ანალიზი გააუმჯობესებს მზის აქტივობის მექანიზმის კვლევის არსებულ შედეგებს და მოგვცემს არსებული თეორიული მოდელების დაზუსტების საშუალებას.

XI. ქრომოსფეროს სპიკულებში და პროტუბერანცებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესწავლა
(ხელმძღვანელი ე. ხუციშვილი)

1.1. კვლევის მიმართულება: მზის ფიზიკა

1.2. სტრუქტურული ერთეული: მზისა და მზის სისტემის განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	ელდარ ხუციშვილი	მეცნიერ თანამშრომელი	ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი	პროექტის ხელმძღვანელი/ ობსერვატორია მთა ყანობილი
2	ვლადიმერ კახიანი	მონაცემთა დამუშავების უფროსი სპეციალისტი	Ph.D.	დაკვირვებითი მასალის დამუშავება და შესაბამისი პროგრამულ უზრუნველყოფის შექმნა და მოდიფიკაცია (სამუშაო ადგილი ქ. მ. კოსტავას ქ. #47/57)

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების საფარაულო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	53 სმ დიდი დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფი	1	დაკვირვებები განხორციელდება უწყვეტად, პერიოდი ივნისი-სექტემბერი
2	Apogee CCD U900 კამერა	1	
3	პერსონალური კომპიუტერი	1	
4	შუქვილტრები	3	

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1	ნოუთბუქი	5 000	1	5 000	
2	გარე მყარი დისკი	300	5	1 500	მყარი დისკის მინიმუმ 2 ტერა
3	პრინტერი (კომბაინი)	1 500	1	1 500	აღჭურვილი უნდა იყოს პრინტერით, ქსეროქსით და სკანერით
4	ტიტანის საღებავი.		40 ლიტრი	500	
5	ფლეშკა	150	2	300	მეხსიერება მინიმუმ 256GB
6	საკანცელარიო ნივთები			1000	საკანცელარიოდ არსებული ნივთები
			სულ:	9 800	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
2	შესაძენი საქონელი (> 500 ლ)	5 000	1500	1000	750	750	9 000
3	შესაძენი საქონელი (< 500 ლ)		500		300		800
4	მივლინება ქვეყნის გარეთ						
6	სულ	5 000	2 000	1000	1050	750	9 800

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

მზეზე მიმდინარე ფიზიკური პროცესებისა და მათ შორის ურთიერთკავშირის შესწავლას დღეისათვის მეტად მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება. ქრომოსფერო საკმაოდ არაერთგვაროვანი, ნაწილობრივ იონიზირებული ფენაა, რომლის სტრუქტურული დეტალები კარგად დაიკვირვება როგორც წყალბადის, ჰელიუმის და იონიზირებულ კალციუმის, ასევე მთელ რიგ მეტალურ სპექტრულ ხაზებში. ქრომოსფეროს ნატიფი სტრუქტურის ერთ-ერთ ძირითად ელემენტს წარმოადგენს სპიკულები და პროტუბერანცები. ისინი მაგნიტური წარმონაქმნებია (მაგ., De Pontieu, et al., 2004, 2007a, 2007b).

კორონის გათბობის მექანიზმის შესწავლა (მაგ., James, et al., 2006), რომლის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს სპიკულები და პროტუბერანცები (Athay R. G.: 2000), კერძოდ, მასში გავრცელებულები მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღები (MHD) და მათ მიერ ენერჯის ტრანსფორმაცია, ქვედა ფენებიდან ზედა ფენებისაკენ, მზის ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების ახსნის ერთ-ერთ ძირითად პრობლემას წარმოადგენს (Athay, 2000, James, et al., 2003, Erdélyi and James, 2004, Taroyan, Erd'elyi, 2009).

აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის დიდ (DD – 53 სმ., F – 800 სმ.) დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფით მზის ატმოსფეროს, სხვადასხვა სიმაღლეზე, დროის ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში, განხორციელდება დაკვირვებები მზის სპიკულებზე და პროტუბერანცებზე.

კლასიკური სპიკული I სიცოცხლის ხანგრძლივობა შეადგენს 3-10 წთ, დიამეტრი და დოპლერის სიჩქარეები დაახლოებით ეტოლება 600 კმ და 15-40 კმ/წმ-ს და აღწევენ 10 000 კმ სიმაღლეს (Beckers 1968; Pereira et al. 2014). I ტიპის სპიკულებში პლაზმის ტემპერატურა იცვლებ 6 000 – 60 000 K ფარგლებში (მაგ., Xia et al. 2005). სპიკულების ნახევარსიგანე $\Delta\lambda = 0.3\text{\AA}$ (მაგ., Никольский, Сазанов, 1966). მკვლევარების (Khutsishvili, 1981, 1983, 1983, 1985, 1986, 1986, 1995, 2004, 2015; Kukhianidze, Zaqarashvili, Khutsishvili, 2006, Zaqarashvili, Khutsishvili, et. al., 2007) მიერ შესწავლილია სპიკულების დოპლერის სიჩქარეების რხევის პერიოდები და ამპლიტუდები, აგებულია სპიკულების თეორიული მოდელები. ნაშრომში (Khutsishvili, et. al., 2017) ნაპოვნია სპიკულების დოპლერის სიჩქარეებისა და ნახევარსიგანეების დროში ცვლილების ასიმეტრია. სპიკულების მაგნიტურ მილში რხევების არსებობის შესაძლებლობა აღწერილია ნაშრომში (Carter and Erdélyi, 2007; Jess, et al., 2009, Erdelyi, et al., 2007, Zaqarashvili et al. 2011,). რხევების პერიოდები ფორმალურად შეიძლება დავეყთ ორ ჯგუფად: შედარებით მოკლე პერიოდები (<2 წთ) და გრძელი პერიოდები (>2 წთ). დაკვირვებული პერიოდები ძირითადად მოთავსებულია 3-7 წთ და 50-110 წმ შუალედებში (Zaqarashvili and Erdelvi, 2009). ნაშრომში (Khutsishvili, et al., 2014) სპიკულების რხევის ოთხი 358-167 წმ, 156-114 წმ, 108-81 წმ და 76-50 წმ შესაძლო პერიოდია მოყვანილი.

პროტუბერანცი ნაწილობრივ იონიზირებული შედარებით ცივი ($\sim 10^4$ K) და შემკვრივებული ($\sim 10^9 - 10^{11}$ სმ⁻³) პლაზმაა, რომელიც იმყოფება იონიზირებულ ცხელ ($1-2 \times 10^6$ K) კორონაში (მაგ., Labrosse et al. 2010, 2019; Mackay et al. 2010, Rifai Habbal, 2010). დაკვირვებებმა უჩვენა, რომ პროტუბერანცების პერიფერიებში საშუალო სიჩქარე ნაკლებია ვიდრე 15 კმ/წმ, ხოლო მის ცენტრში სიჩქარე ტოლია 10 კმ/წმ. მკვლევარებმა ეს ახსნეს პროტუბერანცის ცენტრში ტემპერატურის სიმცირით (დაბალია ვიდრე 6×10^3 K). პროტუბერანცში რხევების არსებობა და მისი თვისებები შესწავლილია მრავალი მკვლევარის მიერ (მაგ., Mackay et al. 2010, Maciej Zapiór, et al., 2015). დოპლერის სიჩქარეების დროში ცვლილების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე აღმოჩენილი იქნარ რხევები, ხანგრძლივი პერიოდით ($T > 40$ წთ), შუალედური პერიოდით (10 წთ $< T < 40$ წთ) და პატარა პერიოდით ($T < 10$ წთ).

კვლევის მიზანი და ამოცანაა მზის სპიკულებში და პროტუბერანცებში მიმდინარე არასტაციონარული ფიზიკური პროცესებისა და მათ შორის ურთიერთკავშირის შესწავლა (დოპლერის სიჩქარეები, ნახევარ სიგანეები, რხევები, პერიოდები, მათ შორის ურთიერთ დამოკიდებულება და სხვა.) პროექტში დასმული პრობლემის გადასაწყვეტად, როგორც ავღნიშნეთ კარგი იქნება ახალი დაკვირვებების ჩატარება ორ სხვადასხვა სპექტრულ ხაზში, მაგ. წყალბადის H α და ჰელიუმის D $_3$ ხაზებში. ცნობილია (Никольский Г. М., Сазанов А. А.: 1966), რომ ეს ხაზები სხივებიან სხვადასხვა ტემპერატურაზე სპიკულების და პროტუბერანცების სხვადასხვა არეებიდან, მათი შესწავლა და ერთმანეთთან შედარება ბევრ პრობლემას მოგვცნს ნათელს.

პროექტის სიახლეა:

1. ჩატარდება კვაზიერთდროული დაკვირვებები სპიკულებზე და პროტუბერანცებზე ორ სხვადასხვა სპექტრულ ხაზში, მაგალითად წყალბადის და ჰელიუმის ხაზებში დროის ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში;
2. სპიკულებში და პროტუბერანცებში შეისწავლება დოპლერის სიჩქარეები და ნახევარ სიგანეები, მათი რხევები, პერიოდები, დადგინდება მათ შორის არსებული კავშირი (მაგ: არსებობს თუ არა რხევების კორენაცია) და სხვა.

ასეთი დამზერითი მასალიდან მიღებული დაკვირვებითი შედეგები საშუალებას მოგვცემს დაზუსტდეს ადრეული კვლევების შედეგად მიღებული ფიზიკური პარამეტრები და მივიღოთ ახალი მონაცემები. სხვადასხვა ხაზში კვაზიერთდროული დაკვირვებები საშუალებას მოგვცემს გამოვიკვლიოთ სპიკულებში და პროტუბერანცებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები (მაგ., დოპლერის სიჩქარეები, ნახევარსიგანეები, რხევები, პერიოდები, დადგინდეს მათ შორის კავშირები, შეიქმნას ახალი მოდელები და სხვა), რომლებიც მიმდინარეობენ განსხვავებულ ფიზიკურ პირობებში, რაც გარკვეულ წვლილს შეიტანს არამარტო სპიკულების და პროტუბერანცების შესწავლის სფეროში.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

- De Pontieu, Bart; Erdélyi, Robert; James, Stewart P., Natur., 430, 536D (2004)
De Pontieu, B. et al., PASJ, 59, S655 (2007a)
De Pontieu, B. et al., PASJ 59, S655 (2007b)
James A., Klimchuk, Solar Physics, 234, 41, (2006)
Athay R. G., solar physics, 197, 31 (2000)

- S. P. James, R. Erdélyi and B. De Pontieu, *A&A*, 406, 715 (2003)
- R. Erdélyi and S. P. James, *A&A*, 427, 1055 (2004)
- Y. Taroyan, R. Erdelyi, *Space Sci. Rev. This Volume*, 26 pages (2009).
- Beckers J. M.: Solar spicules (Invited Review Paper). *Solar phys.*, 3, 367 (1968)
- Pereira, T. M. D., et al., *ApJ*, 792, 15 (2014)
- Pereira, T. M. D., et al., *ApJ*, 792, 15 (2014)
- Никольский Г. М., Сазанов А. А.: *Астроном. Журн.*, 43, 928-935 (1966)
- Хуციшвили Э. В., Геонджян Л. А.: *Бюлл. АБАО*, №56, 123-130 (1983)
- Хуციшвили Э. В.: *АБАО*, №61, 95-100 (1986)
- Хуციшвили Э. В.: *Бюлл. Солн. Данн.* №5, 116-117 (1981)
- Хуციшвили Э. В.: и др., *Бюлл. АБАО*, №76, 177-188 (2004)
- Хуციшвили Э. В.: *Сообщ. АН ГССР* №108, 57-60 (1983)
- Хуციшвили Э. В.: *Бюлл. АБАО*, №60, 65-74 (1985)
- Khutsishvili, E. V., *Solar Physics*, 106, 75 (1986)
- Khutsishvili E. V., *Astron. Nachr.* 316, 291 (1995)
- Khutsishvili, D. et al., *Astrophysics*, Vol. 58, No 4, 517 (2015)
- Kukhianidze, V. T., Zaqarashvili, T. V., Khutsishvili, E. V., *A&A*, 449, L35-L38 (2006)
- Zaqarashvili T.V., Khutsishvili E. V., et al., *Astron. Astrophysics* 474, 627 (2007)
- Khutsishvili, D. et al., *Astrophysics and Space Science*, Volume 362, Issue 12, article id. 235, 10 (2017a)
- B. K. Carter and R. Erdélyi, *A&A*, 475, 323 (2007)
- D.B. Jess, et al., *Science*, 323, 1582, 2 (2009)
- R. Erdelyi, V. Fedun, *Science* 318, 1572 (2007)
- Zaqarashvili, T.V., in *3rd School and Workshop on Space Plasma Physics*, eds. I. (2011)
- Zaqarashvili, T.V.; Erdelvi, R.; *Space Science Reviews*, Volume 149, Issue 1-4, pp. 355 (2009)
- Khutsishvili, E. V. et al., *Astrophysics and Space Science*, 354, Issue 2, 259 (2014)
- Labrosse, N., Heinzel, P., Vial, J. V., et al. *Space Sci. Rev.*, 151, 243 (2010)
- Levens, P. J.; Labrosse, N. *Astronomy & Astrophysics*, 625, 30, (2019)
- Mackay, D. H., et al., *Space Sci. Rev.*, 151, 333 (2010)
- Rifai Habbal, S., et al., *the Astrophysical Journal*, 719:1362 (2010)
- Maciej Zapiór, et al., *Solar Physics*, 290, 1647 (2015)
- Press, W.H., et al.: *Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, Cambridge (1992)

2.3. სამუშაოს მოცულობა

ჩვენი ამოცანაა შევისწავლოთ მზის სპიკულებში და პროტუბერანცებში მიმდინარე არასტაციონარული ფიზიკური პროცესები და მათ შორის ურთიერთკავშირი. ამისთვის საჭიროა დაკვირვებების ჩატარება ორ სხვადასხვა სპექტრულ ხაზში, მაგ. წყალბადის H α და ჰელიუმის D3 ხაზებში. ეს ხაზები სხივდებიან სხვადასხვა ტემპერატურაზე სპიკულების და პროტუბერანცების სხვადასხვა არეებიდან, ამ ტიპის დაკვირვებითი მასალის დამუშავებით და მიღებული დაკვირვებითი მონაცემების ანალიზით მივიღებთ ახალ შედეგებს. კერძოდ, სპიკულებში და

პროტუბერანცებში შეისწავლება დოპლერის სიჩქარეების და ნახევარ სიგანეების ცვლილება დროში, მათი რხევები, პერიოდები, დავადგენთ არსებობს თუ არა მათ შორის კავშირი და სხვა.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. „ქრომოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური პრიცესების შესწავლა“

ამოცანის მიზანი: როგორც ცნობილია სპიკულებში სიმალის გასწვრივ დოპლერის სიჩქარეების განაწილებას პერიოდული ხასიათი აქვს. ეს პერიოდული განაწილება შეიძლება გამოწვეული იყოს განივი ტალღებით. ცნობილია, რომ $H\alpha$ ხაზი წარმოიქმნება რეგიონებში შედარებით დაბალი ტემპერატურით, D3 ხაზთან შედარებით. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ $H\alpha$ ხაზის დოპლერის სიჩქარეები ასახავს სპიკულის ცენტრალური რეგიონების მოძრაობებს, ხოლო D3 ხაზში დოპლერის სიჩქარეები შეესაბამება სპიკულის პერიფერიული რეგიონების დინამიკას და გარემოს.

კვლევის მიზანი და ამოცანაა მზის სპიკულებში და პროტუბერანცებში მიმდინარე არასტაციონარული ფიზიკური პროცესებისა და მათ შორის ურთიერთკავშირის შესწავლა. დაკვირვებების საფუძველზე შესწავლილი იქნება დოპლერის სიჩქარეები, ნახევარ სიგანეები მათი რხევები დროის მიხედვით, ორივე წარმონაქმნისთვის დოპლერის სიჩქარეებისთვის და ნახევარსიგანეებისთვის განისაზღვრება რხევების კორელაცია/ანტიკორელაცია, რხევის პერიოდები და სხვა. ასეთი დამზერითი მასალიდან მიღებული დაკვირვებითი მონაცემების ანალიზი საშუალებას მოგვცემს დაზუსტდეს კვლევების საშუალებით მიღებული ფიზიკური პარამეტრები და მივიღოთ ახალი შედეგები.

სამუშაოს აღწერა: ჩვენს მიერ მითითებული არსებული მატერიალური-ტექნიკური ბაზის დახმარებით დაკვირვების ახალი მეთოდის საშუალებით წარიმართება დაკვირვებები მზის სპიკულებზე და პროტუბერანცებზე დიდი დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფის და CCD მიმღებების გამოყენებით. მოხდება დაკვირვებითი მასალის თანამედროვე მეთოდებით დამუშავება. წლების მანძილზე ობსერვატორიაში ჩატარებული სამუშაოები და გამოქვეყნებული ნაშრომები მიუთითებენ იმაზე, რომ ზემოთ ჩამოთვლილ სამუშაოების შესრულება პროექტში გაერთიანებულ მკვლევარებს შეუძლიათ და მათ ამისათვის გააჩნიათ მაღალი კომპეტენცია.

დიდ დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფებით დაკვირვებები წარიმართება შემდეგი მეთოდით: დაკვირვებები სპიკულებზე და პროტუბერანცებზე ჩატარდება სპექტროგრაფის მეორე და მესამე რიგში, სადაც დისპერსია ტოლია $0.58 \text{ \AA}/\text{მმ}$ და $0.96 \text{ \AA}/\text{მმ}$, შესაბამისად. მუხტკავშირიანი სინათლის მიმღების წინ მოთავსდება რამდენიმე სინათლის ფილტრისაგან შედგენილი, ობსერვატორიაში დამზადებული, სპეციალური შუქფილტრი, რომელიც ატარებს, როგორც D_3 ხაზს სპექტროგრაფის მესამე რიგიდან, ასევე საყრდენ 4410 \AA ხაზს სპექტროგრაფის მეოთხე რიგიდან. ანალოგიურად მუხტკავშირიანი სინათლის მიმღების წინ მოთავსდება რამდენიმე სინათლის ფილტრისაგან შედგენილი, ობსერვატორიაში დამზადებული, სპეციალური ფირფიტა, რომელიც ატარებს, როგორც $H\alpha$ -და ხაზს სპექტროგრაფის მეორე რიგიდან, ასევე საყრდენ 4371 \AA და ხაზს სპექტროგრაფის მესამე რიგიდან.

დაკვირვებები განხორციელდება ყოველწლიურად გაზაფხულზე და შემოდგომით (ზამთარში დაკვირვებებს ვერ ჩავატარებთ-ტელესკოპის გუმბათი არ იხსნება, ხოლო ზაფხულში სპექტრის გამონასახის ხარისხი კარგი არ არის, რაც გამოწვეულია ატმოსფეროს მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებით და ტელესკოპის თუნოქის სახურავის გახურებით.

მოსალოდნელი შედეგი: პროექტის ეგიდით მიღებული მონაცემების საფუძველზე მოსალოდნელია მივიღოთ ახალი დაკვირვებითი მონაცემები მზის აქტივობის ცალკეულ მახასიათებლებს შორის

კავშირის შესახებ. ამ მონაცემების ანალიზით მივიღებთ მზის ნატიფი სტრუქტურის ახალ, დაზუსტებულ ფიზიკურ მახასიათებლებს. ორივე წარმონაქმნისთვის შეისწავლება და დაზუსტდება:

1. დოპლერის სიჩქარეების ცვლილება დროის მიხედვით და მათი რხევები
2. ნახევარსიგანეების დროში ცვლილების ხასიათი და მათი რხევები;
3. დოპლერის სიჩქარეებისა და ნახევარსიგანეების ურთიერთკავშირის ფიზიკური პარამეტრები;
4. სპიკულების და პროტუბერანცების რხევების ბუნება;
5. სპიკულების და პროტუბერანცების როლი კორონის გათბობის მექანიზმში;
6. პროტუბერანცის ფეხებში რხევების და ბრუნვის ბუნება;

ეს ამოცანები შეიძლება გახდეს მნიშვნელოვანი მზის ცალკეული წარმონაქმნების ევოლუციის და მათ ურთიერთკავშირის დასადგენად, რეალურად ერთმანეთთან ახლოს მყოფი მოდელების ასაგებად და მზეზე მიმდინარე ფიზიკური პროცესების ახალი მოდელების ასაგებად.

შესრულების პერიოდი: ცნობილი, რომ დაკვირვებები დიდ დაბნელებაგარეშე კორონოგრაფით ობსერვატორიაში წლის გარკვეულ პერიოდში მიმდინარეობს (მაგ: ზამთრის პერიოდში კორონოგრაფით დაკვირვება არ ჩატარებულა-თოვლისა და დაბალი ტემპერატურის გამო, ტელესკოპის თაღი არ იხსნება). ამიტომ პროექტის ხუთივე წელს დაკვირვებები ტრადიციულად გაგრძელდება. პარალელურად დაკვირვებითი მასალის გაზომვას დაეთმობა პროექტის პირველი ორი წელი. დაკვირვებული მასალის დამუშავებას, ანალიზს და სტატიების გამოსაქვეყნებლად მომზადებას და გამოსაქვეყნებლად გაგზავნას დაეთმობა დარჩენილი სამი წელი.

საანგარიშო მასალა: საანგარიშო პერიოდის ყოველი წლის ბოლოს წარმოვადგენთ შესრულებული სამუშაოების წლიურ ანგარიშს:

წარმოდგენილი იქნება დაკვირვებითი მასალის, დაკვირვებითი მასალის გაზომვების შედეგების და გამოქვეყნებული და გამოსაქვეყნებლად გადაცემული სტატიების ნუსხა. გამოქვეყნდება 3 სტატია. სემინარებზე მოვახსენებთ კვლევის შედეგად მიღებულ შედეგებს და მივლინების ანდარიშს.

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

შესწავლილი იქნა სპიკულების და პროტუბერანცების შემდეგი ფიზიკური პარამეტრები: დოპლერის სიჩქარეები და ნახევარსიგანეები, მათი სივრცული განაწილება; რხევების პერიოდები და ამპლიტუდები; დოპლერის სიჩქარეები და ნახევარსიგანეები რხევების ბუნება და სხვა.

პროექტის ეგიდით მიღებული, სხვადასხვა ხაზში დაკვირვებითი მონაცემების დამუშავების შედეგად მიღებული დამზერითი შედეგების ანალიზი საშუალებას მოგვცემს გამოვიკვლიოთ სპიკულებში და პროტუბერანცებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობენ განსხვავებულ ფიზიკურ პირობებში, რაც საშუალებას მოგვცემს დაზუსტდეს მზის ატმოსფეროს ზედა ფენებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების პარამეტრები და მივიღოთ ახალი მონაცემები. პროექტის ფარგლებში შესრულებული სამუშაოები გამოქვეყნდება საერთაშორისო ჟურნალებში და წარმოდგენილი იქნება საერთაშორისო კონფერენციებსა და კოლოქვიუმებზე.

2.6. დამატებითი ინფორმაცია. დამზერითი მასალის გასაზომად გამოყენებული იქნება ჩვენს (ვ. კახიანი) მიერ სპეციალურად ამ ამოცანისათვის მოდიფიცირებული პროგრამული უზრუნველყოფა AImaP 410, რომელიც როგორც დოპლერი, ასევე ნახევარსიგანეების გრაფიკული წესით განსაზღვრის

საშუალებას იძლევა. პროგრამული მოდული ასევე ითვლის როგორც სპიკულის/პროტუბერანცების ასევე საყრდენი ხაზის პროფილის შუა ხაზებს შორის მანძილს. გაზომვის შედეგად მიღებული პარამეტრები იწერება შესაბამის ASCII ფაილში, რაც საშუალებას გვაძლევს სხვა პროგრამული უზრუნველყოფათა გამოყენებით გამოვითვალოთ დოპლერის და ტანგენციალური სიჩქარეების, ნახევარსიგანეების რხევები და სხვა. დამზერითი მასალის ანალიზისათვის გამოვიყენებთ ცნობილ ე. წ. "ლომბის პერიოდოგრამების მეთოდს" (Press et al. 1992). ამ მეთოდით ისაზღვრება დოპლერის სიჩქარეებისა და ნახევარსიგანეების დროში ცვლილების ხასიით, რხევის ამპლიტუდები, პერიოდები და სხვა. ეს მეთოდი განსაკუთრებით მიესადაგება არათანაბარი ინტერვალების მქონე პერიოდულობის შესწავლის ამოცანას.

როგორც უკვე ავღნიშნეთ ქრომოსფერულ სპიკულებზე და პროტუბერანცებზე დაკვირვება დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. იგი ცალსახად არის დამოკიდებული ცის გამჭვირვალობაზე, დედამიწის ატმოსფეროში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებზე, ტელესკოპის სამუშაო მდგომარეობაში ყოფნაზე, დამკვირვებლის კვალიფიკაციაზე და მრავალ სხვა გარემოებაზე. პირველი ორი ხელშემშლელი გარემოება ჩვენგან დამოუკიდებლად არსებობს, რის გათვალისწინებაც აუცილებელია, ხოლო დანარჩენის გაკონტროლებას პროექტში მონაწილე პერსონალი შესძლებს.

თეორიული ასტროფიზიკისა და კოსმოლოგიის განყოფილება

XII. პულსარებში და სხვა კომპაქტურ ობიექტებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები შესწავლა.

(ხელმძღვანელი გ. მელიქიძე)

1.1. კვლევის მიმართულება: კომპაქტური ობიექტების ფიზიკა

1.2. სტრუქტურული ერთეული: პულსარების ჯგუფი

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	გიორგი მელიქიძე	მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი	დოქტორი	პროექტის, ხელმძღვანელი, თბილისი,
2	ზაზა ოსმანოვი	უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი	დოქტორი	თეორიული კვლევები ნაწილაკების აჩქარების და მასთან დაკავშირებულ ამოცანებში
3	თენგიზ მდინარიშვილი	უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი	დოქტორი	რადიო პულსარების აქტივობის ციკლების შესწავლა

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	კომპიუტერული ტექნიკა		

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1	პერსონალური კომპიუტერი	10000	1	10000	
			სულ:	10000	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
1	შესაძენი საქონელი (> 500 ლ)	10 000					10 000
2	შესაძენი საქონელი (< 500 ლ)						

3	მივლინება ქვეყნის გარეთ						
4	სულ	10 000					10 000

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

წარდგენილი პროექტი ეხება ჩვენი სამყაროს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან და საინტერესო პრობლემას, კომპაქტური ობიექტების თვისებებისა და მათი ბუნების შესწავლას. აღსანიშნავია, რომ ეს თემატიკა ყოველთვის იყო აბსტრაქტული ობსერვატორიის თეორიული ასტროფიზიკის განყოფილების სამეცნიერო ინტერესების ძირითადი ნაწილი. იმის თაობაზე, თუ რამდენად წარმატებულია განყოფილების თანამშრომლების სამეცნიერო საქმიანობა, მეტყველებს წამყვან საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში გამოქვეყნებული სტატიების რაოდენობა და მათი ციტირების ინდექსი. ეს პროექტი ბუნებრივად აგრძელებს და აწვითარებს უკვე მიღებულ შედეგებს და ამავდროულად ითვალისწინებს უახლეს დაკვირვებათა მონაცემებს.

წარდგენილ პროექტში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია რადიო პულსარების გამოსხივების თეორიის განვითარებას [A2, A3, A4, A12-14, A18], რაც მოიცავს გამოსხივების პოლარიზაციის თვისებებების ახსნას [A3, A8, A17, A19], ეგრეთწოდებული ქვე-იმპულსების დრეიფის შესწავლას [A1, A7, A11, A16] და დრეიფის პარამეტრების დამოკიდებულებას პულსარის მახასიათებელ სიდიდეებზე (ბრუნვის პერიოდი და პერიოდის ცვლილება, ზედაპირული მაგნიტური ველის კონფიგურაცია [A9, A10], გამოსხივების სპექტრის შესწავლას [A6] და ა. შ. უნდა განვითარდეს და დაიხვეწოს ქვე-იმპულსების დრეიფის საილუსტრაციო პროგრამა. მოსალოდნელია, რომ ახალი დაკვირვებებით მიღებულმა მონაცემებმა გამოავლინოს დრეიფის ახალი ტიპები. გარდა ამისა, დაგეგმილია ინდივიდუალური იმპულსების ახალი დაკვირვებები, რომლებმაც უნდა დააზუსტოს გამოსხივების მექანიზმის ბუნება და თვისებები. ახალი დაკვირვებებია დაგეგმილია ეგრეთ წოდებული შუალედური იმპულსების [A15] წარმოქმნის თეორია და მათი ძებნის პარამეტრების დაზუსტება. დაგეგმილია, აგრეთვე, პულსარების ცხოვრების ციკლების სტატისტიკური შესწავლა [A20] აღმოჩენილი პულსარების საერთო რაოდენობის მნიშვნელოვანი ზრდის გათვალისწინებით

მაგნიტო-ცენტრიდანული აჩქარება პულსარებში იმდენად ეფექტურია, რომ ნაწილაკებს ანიჭებს ტევურ და მეტ ენერგიებს [B1-B3]. თუმცა იგივე ეფექტს შეუძლია აღძრას ლენგმიურის ტალღებიც, რაც იწვევს უფრო ეფექტურად ენერგიის ბრუნვიდან გადატანას. ლანდაუს ჩახშობის შედეგად ეს ენერგია ბრუნდება ნაწილაკებში და საბოლოოდ ელექტრონებმა შესაძლოა მიიღონ ასობით ტევის ან პევის და რამდენიმე რიგით მეტი ენერგიებიც [B4,B5].

თუმცა ენერგიის გადატანის არხი შესაძლოა იყოს სხვაც. კერძოდ, ის შეიძლება გადავიდეს მაგნიტოსფეროს გაცხელებაში. შრომაში [B6] ვაჩვენეთ, რომ კოლოსალური ენერგია შესაძლოა მოხმარდეს სუპერმასიური შავი ხვრელის მაგნიტოსფეროს გაცხელებას და ტემპერატურები გამოდის გაცილებით მეტი ვიდრე ის ტემპერატურები რასაც უზრუნველყოფს ჩვეულებრივი აკრეციული დისკი, თუნდაც ძალიან ცხელი.

მეორე მექანიზმი რასაც ვაპირებთ განვიხილოთ არის წყვილების წარმოქმნა ცენტრიდანულად აღძრული შვინგერის მექანიზმით. კერძოდ, ლენგმიურის ტალღა ექსპონენციალურად იზრდება, რასაც შესაძლოა მოყვეს შვინგერის ზღურბლის მიღწევა $1.4 \times 10^{14} \text{ statvolt/cm}$, რაც თავის მხრივ

გამოიწვევს წყვილების გაჩენას. ეს მექანიზმი შემოზღვეულია აქტიური გალაქტიკური ბირთვების მაგალითზე [B7].

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

1. Estimating the Evolution of Sparks in the Partially Screened Gap of Pulsars from Subpulse Drifting, 2023, Rahul Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , *Astrophysical Journal*, Vol. 947, no. 2, 1—9.
2. Evidence for coherent curvature radiation in PSR J1645-0317 with disordered distribution of polarization position angle, 2023, Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , Rahul Basu , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Vol. 521, iss. 1, L34—L38.
3. Meterwavelength Single Pulse Polarimetric Emission Survey. VI. Toward Understanding the Phenomenon of Pulsar Polarization in Partially Screened Vacuum Gap Model, 2023, Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , Rahul Basu , *Astrophysical Journal*, Vol. 952, no. 2, 1—18.
4. Externally driven plasma models as candidates for pulsar radio emission, 2022, Sk Minhajur Rahaman , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 512, iss. 3, 3589—3601.
5. Pulsar radio emission mechanism - II. On the origin of relativistic Langmuir solitons in pulsar plasma, 2022, Sk Minhajur Rahaman , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , Taras Lakoba , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 516, iss. 3, 3715—3727.
6. Two-dimensional Configuration and Temporal Evolution of Spark Discharges in Pulsars, 2022, Rahul Basu , Giorgi Melikidze , Dipanjan Mitra , *Astrophysical Journal*, Vol. 936, iss. 1, 1—13.
7. Meterwavelength Single-pulse Polarimetric Emission Survey. V. Flux Density, Component Spectral Variation, and Emission States, 2021, Rahul Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , *Astrophysical Journal*, Vol. 917, no. 1, 1—25.
8. Mode changing, subpulse drifting, and nulling in four component conal pulsar PSR J2321+6024, 2021, Sk Minhajur Rahaman , Rahul Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 500, iss. 3, 4139—4152.
9. Rapid modification of neutron star surface magnetic field: a proposed mechanism for explaining radio emission state changes in pulsars, 2021, Ulrich Geppert , R. Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , Magdalena Szkudlarek , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 504, iss. 4, 5741—5753.
10. A mechanism of spark motion in inner acceleration region to investigate subpulse drifting in pulsars, 2020, Rahul Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 496, iss. 1, 465—482.
11. A single spark model for PSR J2144-3933, 2020, Dipanjan Mitra , Rahul Basu , Giorgi Melikidze, Mihir Arjunwadkar , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 492, iss. 2, 2468—2480.
12. Periodic Modulation: Newly Emergent Emission Behavior in Pulsars, 2020, Rahul Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , *Astrophysical Journal*, Vol. 889, no. 2, 16.
13. Pulsar radio emission mechanism - I. On the amplification of Langmuir waves in the linear regime, 2020, Sk Minhajur Rahaman , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 497, iss. 3, 3953—3967.
14. Classification of subpulse drifting in pulsars, 2019, Rahul Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , Anna Skrzypczak , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 482, iss. 3, 3757—3788.

15. Meterwavelength Single-pulse Polarimetric Emission Survey. IV. The Period Dependence of Component Widths of Pulsars, 2018, Anna Skrzypczak , Rahul Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , Krzysztof Maciesiak , Olga Koralewska , Alexandros Filothodoros , Astrophysical Journal, Vol. 854, no. 2, 1—25.
16. Relativistic charge solitons created due to nonlinear Landau damping: A candidate for explaining coherent radio emission in pulsars, 2018, Taras Lakoba , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 480, 4526—4543.
17. Meterwavelength Single-pulse Polarimetric Emission Survey. III. The Phenomenon of Nulling in Pulsars, 2017, Rahul Basu , Dipanjan Mitra , Giorgi Melikidze , Astrophysical Journal, Vol. 846, no. 2, 1—10.
18. On the z-distribution of pulsars, 2004, T. G. Mdzinarishvili , Giorgi Melikidze , Astronomy and Astrophysics, Vol. 425, 1009—1012.
19. Osmanov, Z. & Rieger, F.M., A&A, 2019, 627, 1
20. Osmanov, Z. & Rieger, F.M., MNRAS, 2017, 464, 1347
21. Osmanov, Z. & Rieger, F.M., A&A, 2009, 502, 15
22. Osmanov, Z., Mahajan, S., Machabeli, S. & Chkheidze, N., Nat. Sci. Rep., 2015, 5, 14443
23. Mahajan, S.; Machabeli, G., Osmanov, Z. & Chkheidze, N., Nat. Sci. Rep. 2013, 3, 1262
24. Osmanov, Z., Machabeli, G. & Chkheidze, N., 2021, Universe, 7, 9
25. Osmanov, Z.N., Bodo, G. & Rossi, P., 2023, arXiv: 2309.04021 (submitted to Universe)

2.3. სამუშაოს მოცულობა

ყველა ამოცანა მჭიდროდ არის ერთმანეთთან დაკავშირებული რადგან თითოეულ მათგანს თავისი წვლილი შეაქვთ კომპლექსური პრობლემის გადაწყვეტაში. კვლევის მეთოდები ხშირად საკმაოდ განსხვავებულია, რაც გამოწვეულია იმით, რომ კომპლექტური ობიექტების ფიზიკა მოიცავს მოვლენათა ფართო სპექტრს, ხოლო დაკვირვებებისათვის საჭიროა რადიო ტელესკოპების გარდა რენტგენული და გამა-გამოსხივების ტელესკოპები.

ჩვენ შევისწავლით როგორც გაცხელების, ისე წყვილების წარმოქმნის ამოცანებს ობიექტების გარკვეულ კლასში: ვარსკვლავური მასის და ე.წ. შუალედურის მასის შავი ხვრელებისთვის; მილიწამოვანი პულსარებისთვის და მაგნეტარებისთვის.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. რადიო გამოსხივების მექანიზმი

ამოცანის მიზანი: ჯერჯერობით არ არსებობს კონსენსუსი რადიო გამოსხივების მექანიზმის ბუნების თაობაზე, შესაბამისად ამოცანის მიზანია დამატებითი მონაცემების შეგროვება და

დამუშავება, რათა დაიხვეწოს ის შეზღუდვები, რომლებიც აზუსტებენ რადიო გამოსხივების ბუნებას და მის გეომეტრიულ თვისებებს.

სამუშაოს აღწერა: ამჟამად ამოცანა დაფუძნებულია მექანიზმზე, რომელიც გასული საუკუნის ოთხმოციან წლებში იქნა შემოთავაზებული ობსერვატორიის თანამშრომლების მიერ და შემდგომში ინტენსიურად იქნა განვითარებული შრომებში ამ [A2, A3, A4, A12-14, A18]. საკითხის შემდგომი შესწავლა მოითხოვს როგორც თეორიულ, ასევე კომპიუტერულ მოდელირებასა და მეტ დაკვირვებითი მასალის შეგროვება-დამუშავებას.

მოსალოდნელი შედეგი: პულსარების რადიო გამოსხივების ბუნების დამტკიცება

შესრულების პერიოდი: 2024 - 2027

საანგარიშო მასალა: სტატიები - 3

ამოცანა 2. ქვე-იმპულსების დრეიფის ბუნება.

ამოცანის მიზანი: ქვე-იმპულსების დრეიფის მექანიზმის გამოკვლევა და დრეიფის პარამეტრების ნეიტრონული ვარსკვლავის დამზერით მახასიათებლებზე დამოკიდებულების შესწავლა.

სამუშაოს აღწერა: ამ ამოცანის შესასრულებლად საჭიროა არა მარტო დრეიფის კომპიუტერული სიმულაციის შექმნა, არამედ აუცილებელია დრეიფის თეორიული მოდელისა შესწავლა და მისი შემოწმება დაკვირვებებთან [A1, A6, A8 -A10 A14]. ეს ამოცანა მჭიდროდ არის დაკავშირებული პირველ ამოცანასთან, რადგან ორივე მოვლენა, რადიო გამოსხივების გენერირება და დრეიფი ხდება ერთდროულად ერთიდაიმავე წყაროში. ამის გამო ორივე მათგანის შესწავლა ემსახურება საერთო მიზნის შესრულებას.

მოსალოდნელი შედეგი: პულსარების რადიო გამოსხივების ბუნების დამტკიცება

შესრულების პერიოდი: 2024 - 2028

საანგარიშო მასალა: სტატიები - 4

ამოცანა 3. პულსარების წლოვანების სტატისტიკა

ამოცანის მიზანი: რადიო პულსარების აქტიურობის ხანგძლივობის განსაზღვრა და შესაძლო მიზეზების შესწავლა.

სამუშაოს აღწერა: ადრინდელი კვლევების ჩატარების [A19] შემდეგ აღმოჩენილი პულსარების რაოდენობა მნიშვნელოვნად გაიზარდა, რაც გვადლევს საშუალებას გავავრცელოთ ჩატარებული სამუშაო ახალი პულსარების არსებობის გათვალისწინებით და ან დავამტკიცოთ ან ვუარყოთ პულსარების სიცოცხლის ციკლების არსებობა.

მოსალოდნელი შედეგი: სიცოცხლის ციკლების არსებობა

შესრულების პერიოდი: 2024

საანგარიშო მასალა: სტატიები - 1

ამოცანა 4. მაგნიტოსფერული გაცხელების ამოცანა ვარსკვლავური და შუალედური მასის შავ ხვრელებში

ამოცანის მიზანი: უნდა შევისწავლოთ რამდენად ეფექტურია მაგნ.ცენტრიდანულით გამოწვეული მაგნიტოსფერული გაცხელება.

სამუშაოს აღწერა: ლენგმიურის ტალღის ენერჯის გადატანის შესწავლისთვის განვიხილავთ ოილერის, პუასონის და უწყვეტობის განტოლებებს, შევაფასებთ ინკრიმენტს და ენერჯის ბალანსით გამოვთვლით საბოლოო ტემპერატურას.

მოსალოდნელი შედეგი: ტემპერატურის შეფასება

შესრულების პერიოდი: 2024

საანგარიშო მასალა: სტატიები - 2

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

პულსარების ბუნების შესწავლა და მათი მრავალმხრივი დაკვირვებითი თვისებების ერთმანეთთან დაკავშირება და მათ შორის კორელაციის ახსნა.

საბოლოო შედეგები მნიშვნელოვანი იქნება დაკვირვებითი ხელწერის გამოვლენისთვის, ვინაიდან როგორც გაცხელება ისე წყვილების წარმოქმნა დაკავშირებულია გამოსხივების (ერთ შემთხვევაში შავი სხეულის და მეორეში - ანიჰილაციის) გენერირებასთან.

XIII. არასტანდარტული კოსმოლოგიური მოდელების ტესტირება გრავიტაციული ტალღების, პირველადი მაგნიტური ველების, ფარული ენერჯისა და ნეიტრინოების ფიზიკის შესწავლა

(ხელმძღვანელი თ. კახნიაშვილი)

1.1. კვლევის მიმართულება: ასტროფიზიკა/კოსმოლოგია/ასტრონაწილაკების ფიზიკა

1.2. სტრუქტურული ერთეული: თეორიული ასტროფიზიკის და კოსმოლოგიის განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	თინათინ კახნიაშვილი	მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი	დოქტორი	ხელმძღვანელი (თბილისი)
2	ოლღა ავსაჯანიშვილი	მეცნიერ თანამშრომელი	დოქტორი	პროექტის მონაწილე (თბილისი)

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შერმთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
1	საჯარო სამართლის იურიდიული პირის საქალაქო სამმართველოს პერსონალური კომპიუტერი - ევგენი ხარაძე საქართველოს ეროვნული ასტროფიზიკური ობსერვატორია; 0179, მ.კოსტავას ქ. #47/57, თბილისი, საქართველო	2	
2	ბოლონიის უნივერსიტეტის გამოთვლითი კლასტერი		
3	გოტინგენ-ჰანოვერის გამოთვლითი კლასტერი		
4	პრინტერი-Canon-SENSYS LB 6030 B- ევგენი ხარაძე საქართველოს ეროვნული ასტროფიზიკური ობსერვატორია; 0179, მ.კოსტავას ქ. #47/57, თბილისი, საქართველო	1	

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
1	საოფისე საქონელი (ქაღალდი, საწერკალამი,...), სამუშაო წიგნაკები	32	1	32	AMAZON
2	Apple iMac 24" M1 with 8-core GPU (8GB/256GB) - Silver	5 369	1	5369	ALTA

3	NOTEBOOK: Asus VivoBook 15 (X1504VA-BQ287) - Cool Silver, Intel Core i5, SSD:512 GB, RAM:16384 MB	2 099	1	2099	ALTA
			სულ:	7500	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ. მონაწილეობა საერთაშორისო კონფერენციებში და მიღებული შედეგების გაცნობა - 2 მივლინება წლიურად.

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
1	შეყიდვა (> 500 ლ)	-	2 099	5 369	-	-	7 468
2	შესყიდვა (< 500 ლ)	32					32
3	მივლინება ქვეყნის გარეთ			3 000	3 000	4 000	10 000
4	სულ	32	2 099	8 369	3 000	4 000	17 500

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

ბოლო დეკადის განმავლობაში ჩატარებულმა კოსმოლოგიურმა გამოკვლევებმა მნიშვნელოვნად გაზარდა ჩვენი ცოდნა სამყაროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესახებ. მიუხედავად მიღწეული წარმატებებისა მთელი რიგი საკითხები გადაუჭრელია და სავარაუდოდ მოითხოვს სტანდარტული თეორიის ალტერნატივების განხილვას. ჩვენი პროექტის ძირითადი მიზანია ადრეული სამყაროს სურათის რეკონსტრუქცია და არასტანდარტული კოსმოლოგიური თეორიების შემოწმება და შეზღუდვა ჩვენს ხელთ არსებული დაკვირვებების მეშვეობით.

შემოთავაზებული პროექტი წარმოადგენს პროექტის ხელმძღვანელისა და შემსრულებლების წინა პროექტების ბუნებრივ გაგრძელებას. წინა ხუთი წელი პროექტის ფარგლებში (ბოლო ხუთი წელი) ორი სადოქტორო თეზისი (ავსაჯანიშვილი 2019; მჭედლიძე 2023) იქნა დაცული, გაკეთდა არაერთი მოხსენება როგორც საერთაშორისო კონფერენციებსა და სემინარებზე, ასევე ადგილობრივ სემინარებზე; გამოქვეყნდა 31 სტატია, ამათგან 18 სტატია რეფერირებულია, და მათ შორის მაღალ იმპაქტ ფაქტორიან რეფერირებულ ჟურნალებში, Phys. Rev. Lett., Astrophys. J. Lett., Astrophys. J., Phys. Rev. D, Phys. Rev. Res., Phys. Rev. F., JCAP, CQG, Eur. J. Phys. C, და სხვა [1-16]. მიღებული შედეგების მნიშვნელობა ასახულია შემსრულებლების მიერ მიღებულ საგრანტო დაფინანსებაში, შოთა რუსთაველის სამეცნიერო ფონდი, NASA, NSF USA, SCOPES Swiss NSF.

სიახლე რომელიც გამოარჩევს წარმოდგენილ პროექტს დაკავშირებულია ახლად მიღებულ მულტიმესენჯერული კოსმოლოგიის მონაცემებთან: კერძოდ საუბარია NANOGrav კოლაბორაციის სიგნალის ახსნაზე, Hubble Constant Tension კონტექსტში ფარული ენერგიების მოდელების შესწავლაზე, ახლადმიღებული CMB Polarization მონაცემების მიხედვით ფუნდამენტალური სიმეტრიების ტესტირებაზე, ახლადგანხორციელებული რიცხვითი მოდელირების მიხედვით კოსმოსური მაგნიტური ველების წარმოშობისა და ევოლუციის ადექვატური შესწავლასა და დაკვირვებებთან შედარებაზე, ასევე დიდმასშტაბოვანი მაგნიტური ველების სპირალობის შესწავლასა და პირველადი მაგნიტოგენეზის წინასწარმეტყველებაზე. ეს უკანასკნელი კი თავის მხრივ დაკავშირებულია როგორც გრავიტაციული ველის წარმოშობასთან ასევე სტანდარტული მოდელის მიღმა არსებული თეორიების შემოწმებასთან.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა:

1. **S. Mtchedlidze**, P. Dominguez-Fernandez, X. Du, W. Schmidt, A. Brandenburg, J. Niemeyer and **T. Kahniashvili**, “*Inflationary and phase-transitional primordial magnetic fields in galaxy clusters*,” *Astrophys. J.* 944, 100 (2023)
2. **S. Mtchedlidze**, P. Dominguez-Fernandez, X. Du, A. Brandenburg, **T. Kahniashvili**, S. O'Sullivan, W. Schmidt and M. Bruggen, “*Evolution of primordial magnetic fields during large-scale structure formation*,” *Astrophys. J.* 929, 127 (2022)
3. **T. Kahniashvili**, E. Clarke, J. Stepp and A. Brandenburg, “*Big bang nucleosynthesis limits and relic gravitational-wave detection prospects*” *Phys. Rev. Lett.* 128, 22 (2022)
4. A. Roper Pol, S. Mandal, A. Brandenburg, and **T. Kahniashvili**, “*Polarization of gravitational waves from helical MHD turbulent sources*,” *JCAP* 04, 019 (2022)
5. A. Brandenburg, E. Clarke, Y. He, and **T. Kahniashvili**, “*Can we observe the QCD phase transition-generated gravitational waves through pulsar timing arrays?*” *Phys. Rev. D.* 104, 043513 (2021)
6. A. Brandenburg, G. Gogoberidze, **T. Kahniashvili**, S. Mandal, A. Roper Pol, and N. Shenoy, “*The scalar, vector, and tensor modes in gravitational wave turbulence simulations*”, *CQG* 38, 145002 (2021)
7. **T. Kahniashvili**, A. Brandenburg, G. Gogoberidze, S. Mandal, and A. Roper Pol, “*Circular polarization of gravitational waves from early-universe helical turbulence*”, *Phys. Rev. Res.* 3, 013193 (2021)
8. A. Brandenburg, Y. He, **T. Kahniashvili**, and J. Schober, “*Relic gravitational waves from the chiral magnetic effect*”, *Astrophys. J.* 911, 110 (2021)
9. S. Mandal, G. Chitov, **O. Avsajanishvili**, B. Sigha, **T. Kahniashvili**, “*Mass varying neutrinos with different quintessential potentials*”, *JCAP* 05 018 (2021)
10. Roper Pol, S. Mandal, T. Brandenburg, **T. Kahniashvili**, A. Kosowsky, “*Numerical simulations of gravitational waves from early-universe turbulence*”, *Phys. Rev. D* 102, 083512 (2020)
11. A. Roper Pol, A. Brandenburg, **T. Kahniashvili**, A. Kosowsky, S. Mandal, “*The timestep constraint in solving the gravitational wave equations sourced by hydromagnetic turbulence*”, *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.* 134, 130 (2020)
12. A. Brandenburg, R. Durrer, Y. Huang, **T. Kahniashvili**, et al. “*Primordial magnetic helicity evolution with a homogeneous magnetic field from inflation*”, *Phys. Rev. D* 102 023536 (2020)
13. A. Brandenburg, **T. Kahniashvili**, S. Mandal, A. Roper Pol, A. G. Tevzadze, T. Vachaspati, “*The dynamo effect in decaying helical turbulence*”, *Phys. Rev. Fluid*, 4 024608 (2019)
14. A. Brandenburg, A. Bracco, **T. Kahniashvili**, S. Mandal, A. Roper Pol, G. D. Petrie, N. K. Singh, “*E and B polarizations from inhomogeneous and solar surface turbulence*”, *Astrophys. J.* 870, 87 (2019)
15. **O. Avsajanishvili**, C. Huang, L. Samushia, T. Kahniashvili, “*The observational constraints on the flat ϕ CDM model*”, *Eur. Phys. J. C* 78, 773 (2018)
16. A. Brandenburg, R. Durrer, **T. Kahniashvili**, S. Mandal, W. W. Yin, “*Statistical properties of scale-invariant helical magnetic fields and applications to cosmology*”, *JCAP* 1808, 034 (2018)

2.3. სამუშაოს მოცულობა. პროექტი მოიცავს ერთმანეთთან ურთიერთდაკავშირებულ ამოცანებს რომლებიც გაერთიანებულია ერთი საერთო მიზნით - არასტანდარტული კოსმოლოგიური მოდელების შემოწმება და ადრეული სამყაროს სურათის რეკონსტრუქცია ჩვენს ხელთ არსებული ასტროფიზიკური თუ კოსმოლოგიური დაკვირვებებით.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. „გრავიტაციული ტალღების დეტექტირება როგორც ფანჯარა ადრეულ სამყაროში“

ამოცანის მიზანი: პირველადი გრავიტაციული ტალღების ძირითადი მახასიათებლების გათვლა; დეტექტირების შესაძლებლობების შესწავლა; გრავიტაციული ტალღების ერთ-ერთ საინტერესო ნაირსახეობას წარმოადგენს ადრეულ სამყაროში გენერირებული სტოქასტური გრავიტაციული ტალღები. კერძოდ, ადრეული სამყაროდან “წამოსული” სტოქასტური გრავიტაციული ტალღების წყარო შეიძლება იყოს პირველად პლაზმაში პირველი რიგის ფაზური გადასვლებით გამოწვეული ტურბულენტობა, ამ წყაროს მიერ გენერირებული გრავიტაციული ტალღების შესწავლა წარმოაგენს ჩვენი ამოცანის მიზანს.

სამუშაოს აღწერა: თეორიული ფენომენოლოგიური მიდგომა.

მოსალოდნელი შედეგი: ადრეული სამყაროს მოდელების შეზღუდვა

შესრულების პერიოდი: 2024-2026

საანგარიშო მასალა: სტატია/მოხსენება - 2

ამოცანა 2. „კოსმოლოგიური მაგნიტური ველების წარმოშობა, ევოლუცია, და დაკვირვებითი მინიშნებები“

ამოცანის მიზანი: ამოცანის მიზანია ჩვენ მიერ შესწავლილი მაგნიტური ველების ევოლუციის სურათის გამოყენება მათ სიდიდეზე ზღვრის დასადებად; ჩვენი მიზანია ასევე უფრო კომპლექსური კოსმოლოგიური სიმულაციების განხორციელება რათა მაგნიტური ველების ევოლუციაში გავითვალისწინოთ მაგ., ვარსკლავების/ & შავი ხვრელების წარმოშობასთან დაკავშირებული პროცესების (მაგ., AGN – Active Galactic Nuclei ამოფრქვევები და მაგნეტიზებული უკუკავშირი) მოდელირება. პროექტი გულისხმობს კოსმოლოგიური სიმულაციებიდან მაგნიტური სპირალობის შესწავლასაც და მაგნიტური სპირალობის გავლენის შეფასებას დიდმასშტაბოვანი მაგნიტური ველების ევოლუციაზე.

სამუშაოს აღწერა: თეორიული ფენომენოლოგიური მიდგომა; კომპიუტერული მოდელირება. სამუშაო შედგება როგორც უკვე არსებული სიმულაციების ანალიზისაგან ასევე ახალი სიმულაციების შემუშავება-განხორციელებისგან, მონაცემთა ანალიზისა და შედეგების შეჯამებისაგან სტატის სახით.

მოსალოდნელი შედეგი: ადრეული სამყაროს მაგნიტოგენეზის მოდელების შეზღუდვა, მაგნიტური ველების სიდიდისთვის ზღვრის დადება, წინასწარმეტყველება პირველადი მაგნიტური ველების სპირალობის შესახებ.

შესრულების პერიოდი: 2024-2026

საანგარიშო მასალა: სტატია&/მოხსენება - 1

ამოცანა 3. „ფუნდამენტალური სიმეტრიების ტესტირება ადრეულ სამყაროში“

ამოცანის მიზანი: კოსმოლოგიურ მასშტაბებში ფუნდამენტალური სიმეტრიების შემოწმება და მოდელების შეზღუდვა; თანამედროვე კოსმოლოგიური მოდელი ემყარება იმ ვარაუდს, რომ მატერიის განაწილება ხოლო სამყაროში ენერჯია დიდი მასშტაბებით არის ერთგვაროვანი და იზოტროპული. ეს კონცეფცია, ზოგჯერ მოხსენიებული, როგორც კოსმოლოგიური პრინციპი,

ასახავს სივრცე-დროის ძირითად ფუნდამენტურ სიმეტრიებს და ამ სიმეტრიების გამოყენებადობა - მაშინაც კი, როდესაც უახლოვდება სივრცის ზომის სამყარო (დღევანდელი ჰაბლის ჰორიზონტი) ან უკიდურესად მაღალი (პლანკის) ენერგიის მასშტაბები. ფართომასშტაბიანი ჰომოგენურობა და იზოტროპია (ბრუნვის მიმართ უცვლელობა) ხშირად მიჩნეულია მოცემულობად თუმცა სიმეტრიების საკითხი ბოლომდე არაა შესწავლილი. ჩვენი ამოცანის მიზანია სწორედ ამ სიმეტრიების შესწავლა და მათი შეზღუდვა

სამუშაოს აღწერა: თეორიული ფენომენოლოგიური მიდგომა. კოსმოლოგიური დაკვირვებების მონაცემთა ანალიზი

მოსალოდნელი შედეგი: არასტანდარტული კოსმოლოგიური მოდელების შეზღუდვა

შესრულების პერიოდი: 2026-2028

საანგარიშო მასალა: სტატია/მოხსენება - 2

ამოცანა 4. „დინამიური ფარული ენერგია თუ კოსმოლოგიური მუდმივა“

ამოცანის მიზანი: სხვადასხვა ფარული ენერგიების მოდელების შესწავლა და მათი შედარებაარსებულ დაკვირვებებთან

სამუშაოს აღწერა: თეორიული ფენომენოლოგიური მიდგომა. კოსმოლოგიური დაკვირვებების მონაცემთა ანალიზი

მოსალოდნელი შედეგი: ფარული ენერგიის მოდელების პარამეტრების დადგენა და მათი შეზღუდვა

შესრულების პერიოდი: 2026-2028

საანგარიშო მასალა: სტატია/მოხსენება- 1

ამოცანა 5. „ნეიტრინოს მასის წარმოშობა და ურთიერთქმედი ფარული ენერგია“

ამოცანის მიზანი: სხვადასხვა ფარული ენერგიების ურთიერთქმედ მოდელებში ნეიტრინოს მასის წარმოშობის (კერძოდ ურთიერთქმედ სკალარული ველი - ნეიტრინოს მოდელებს) შესაძლებლობის ანალიზი შესწავლა და მათი შედარება. ნეიტრინოს მასის ევოლუციის გამოკვლევა ბრტყელ და არაბრტყელ სამყაროში. შეასრულოს ყოვლისმომცველი დაკვირვების ტესტი, რათა შეზღუდოს ამ ჰაბლის პარამეტრის მნიშვნელობა ურთიერთქმედ სკალარული ველი - ნეიტრინოს მოდელებს ბრტყელ და არაბრტყელ სამყაროში.

სამუშაოს აღწერა: თეორიული ფენომენოლოგიური მიდგომა. ექსპერიმენტალური ნაწილაკთა ფიზიკის დაკვირვებების მონაცემთა ანალიზი.

მოსალოდნელი შედეგი: ურთიერთქმედი ფარული ენერგიის მოდელების პარამეტრების დადგენა და მათი შეზღუდვა. ნეიტრინოს მასის მნიშვნელობის შეზღუდვა ბრტყელი და არაბრტყელი სამყაროსთვის ურთიერთქმედების სკალარული ველის-ნეიტრინოს მოდელებში. ურთიერთქმედ სკალარული ველი - ნეიტრინოს მოდელებში შემდეგი პარამეტრების მიღება: ჰაბლის პარამეტრის მნიშვნელობაზე შეზღუდვების, მატერიის სიმკვრივისა და ფარული ენერგიის პარამეტრების, ბრტყელი და არაბრტყელი სამყაროების მატერიის სიმკვრივის დარღვევათა ზრდის ტემპის.

შესრულების პერიოდი: 2026-2028

ამოცანა 6. „კვინტესენციალური ინფლაციის მოდელები“

ამოცანის მიზანი: სკალარული ველის თვისებების გამოკვლევა ინფლაციური ეტაპიდან ბრტყელი და არაბრტყელი სამყაროს განვითარების შემდგომ ეტაპებამდე. ბრტყელი და არაბრტყელი სამყაროს ფონური ევოლუციის და მატერიის სიმკვრივის დარღვევათა ზრდის ტემპის ევოლუცია ბრტყელი და არაბრტყელი სამყაროს კვინტესენციალურ ინფლაციის მოდელებში. ჩაატაროს ყოვლისმომცველი დაკვირვების ტესტი, რათა შეზღუდოს წინამდებარე ჰაბლის პარამეტრის მნიშვნელობა ბრტყელ და არაბრტყელ სამყაროში კვინტესენციალური ინფლაციის მოდელებისთვის.

სამუშაოს აღწერა: თეორიული ფენომენოლოგიური მიდგომა. კოსმოლოგიური დაკვირვებების მონაცემთა ანალიზი

მოსალოდნელი შედეგი: კვინტესენციალური ინფლაციის მოდელების პარამეტრების დადგენა და მათი შეზღუდვა. კვინტესენციალურ მოდელებში შემდეგი პარამეტრების მიღება: ჰაბლის პარამეტრის მნიშვნელობაზე შეზღუდვების, მატერიის სიმკვრივისა და ფარული ენერჯის ბრტყელი და არაბრტყელი სამყაროების პარამეტრების.

შესრულების პერიოდი: 2026-2028

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება. მოსალოდნელი შედეგები საშუალებას მოგვცემს აღვადგინოთ ადრეული სამყაროს სურათი და ვიწინასწარმეტყველოთ ადრეულ სამყაროში მიმდინარე პროცესების მოსალოდნელი დაკვირვებითი ანაბეჭდები. მაგ., გრავიტაციული ტალღების შესწავლის შემთხვევაში ვიწინასწარმეტყველოთ მათი დეტექტირების შესაძლებლობა; დიდმასშტაბოვანი მაგნიტური ველების შესწავლის შემთხვევაში კი საფუძველი ჩავუყაროთ კვლევებს რომელთა მეშვეობითაც დადგინდება მაგნიტური ველების როლი დღევანდელი სტრუქტურის ფორმირებაზე.

ჩვენ ასევე ველით, რომ ყოვლისმომცველი დაკვირვების ტესტის ჩატარება ჰაბლის პარამეტრის ამჟამინდელი მნიშვნელობის შეზღუდვის მიზნით კვინტესენციალური ინფლაციის მოდელებისთვის და ურთიერთქმედების სკალარული ველი - ნეიტრინო მოდელებისთვის შეამცირებს შეუსაბამობას ჰაბლის პარამეტრის მნიშვნელობის ლოკალურ გაზომვებს შორის და ჰაბლის პარამეტრის მნიშვნელობა, რომელიც მიღებულია კოსმოსური მიკროტალღური ფონის დაკვირვებით. უფრო მეტიც, პარამეტრებზე შეზღუდვების მიღება ურთიერთქმედების სკალარული ველი - ნეიტრინო მოდელი და ნეიტრინოს მასის მნიშვნელობა საშუალებას მოგვცემს გადავჭრათ (შეიძლება ნაწილობრივ) თანამედროვე კოსმოლოგიის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი პრობლემა: ბნელი ენერჯისა და ბნელი მატერიის სიმკვრივის დამთხვევის პრობლემა სტანდარტულ კოსმოლოგიურ Lambda Cold Dark Matter (ΛCDM) მოდელში.

1.6. დამატებითი ინფორმაცია. პროექტის გარკვეული ამოცანები შესრულდება სალომე მჭედლიძესთან ერთად

**XIV. ტურბულენტობისა და კოჰერენტული სტრუქტურების/ნაკადების ფორმირება
ასტროფიზიკურ ბრტყელ და დისკურ წანაცვლებით დინებებში**
(ხელმძღვანელი გ. ჩაგელიშვილი)

1.1. კვლევის მიმართულება: ასტროფიზიკა, არაერთგვაროვანი დინებები, არაწრფივი მოვლენები/დინამიკა

1.2. სტრუქტურული ერთეული: თეორიული ასტროფიზიკისა და კოსმოლოგიის განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	გ. ჩაგელიშვილი	მთავარი მეცნიერი	დოქტორი	ხელმძღვანელი, თბილისი
2	რ. ჭანიშვილი	მთავარი მეცნიერი	დოქტორი	თეორიული ანალიზი, რიცხვითი თვლები
3	ალექსანდრე ღურჭუმელია	მეცნიერი	მაგისტრი	თეორიული ანალიზი, რიცხვითი თვლები
4	ლუკა ბურდილაძე	ასისტენტ მკვლევარი	ბაკალავრი	თეორიული ანალიზი, რიცხვითი თვლები
5	ლაშა ღუდუშაური	ლაბორანტი	ბაკალავრი	თეორიული ანალიზი, რიცხვითი თვლები

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების საგარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
	პერსონალური კომპიუტერი	2	
	ლექტორი	2	

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
	პერსონალური კომპიუტერი	15000	1	15 000	
	ოფისი	400	5	2 000	
			სულ:	17 000	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი):

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
2	შესაძენი საქონელი (> 500 ლ)	15 000					15 000
3	შესაძენი საქონელი (< 500 ლ)	400	400	400	400	400	2 000
4	მივლინება ქვეყნის გარეთ						0
6	სულ	15 400	400	400	400	400	17 000

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

ასტროფიზიკური ობიექტების უმრავლესობის აქტიობის განმაპირობებელი ფაქტორი არაერთგვაროვანი დინებაა. სწორედ არაერთგვაროვან დინებებში მიმდინარე ენერგეტიკული პროცესები მნიშვნელოვანწილად განაპირობებენ სამყაროს მრავალფეროვნებას, რაც განსაზღვრავს კვლევის **მნიშვნელობას** და **აქტუალობას**. არაერთგვაროვანი ასტროფიზიკური დინებების მაგალითებია, მზის ქარი, სხვადასხვა-მასშტაბოვანი ასტროფიზიკური დისკოები, ასტროფიზიკური დინებებიდან ამოტყორცნილი ნაწილაკთა ნაკადები - ასტროფიზიკური ჯეტები, დედამიწის ატმოსფერო და ოკეანეები.

კვლევის მიზანია არაერთგვაროვან (წანაცვლებით) დინებებში დინამიური პროცესების შესწავლა (შეშფოთებათა ევოლუცია, ტურბულენტობის გაჩენა-შენარჩუნება, დინების საზღვრის როლის განსაზღვრა) და დაკვირვებითი მონაცემების ახსნა, რისთვისაც გამოყენებული იქნება ანალიტიკური და რიცხვითი თვლების მეთოდები და არამოდალური ანალიზი.

ჩვენის ჯგუფის სამეცნიერო საქმიანობა ხუთწლიანი გეგმის მიხედვით სამი ძირითადი მიმართულებით მოხდება, თითოეული მათგანი წარმოადგენს **სიახლეს** წანაცვლებითი დინებების კვლევაში:

- (1) ეგზოტიკური - ერთი მიმართულების მქონე - ასტროფიზიკური ჯეტების ფორმირების დინამიური მოდელის შემუშავება;
- (2) პროტოპლანეტურ დისკოებში თერმოდინამიკური არაერთგვაროვნებებით გამოწვეული ტურბულენტობის გაჩენა და თვით-შენარჩუნება;
- (3) საზღვრის ახალი მათემატიკური მოდელი წანაცვლებითი დინებებისთვის.

ქვემოთ მოყვანილია თითოეული ამ მიმართულებით დაგეგმილი კვლევების არსი და მოკლე აღწერა.

(1) წინა საუკუნის 90-ნი წლებიდან იტალიელ კოლეგებთან ერთად ობსერვატორიაში შეისწავლებოდა აქტიურ გალაქტიკებში (შავი ხვრელების აკრეციულ დისკოებში) მიმდინარე პროცესების ასტროფიზიკურ გამოვლენები, მათ შორის, ასტროფიზიკური ჯეტების ფორმირება, რომლებიც წარმოადგენენ სამყაროს ყველაზე ენერგეტიკულ მაკროსკოპულ წარმონაქმნებს. როგორც მიღებული იყო, ჯეტები იქმნებიან წყვილად, რომლებიც გამოსხივდებიან თითქმის სიმეტრიულად დისკოს სიბრტყის ვერტიკალურად. აბასთუმნისა და ტურინის ობსერვატორიების ადრეულ შრომებში ნაჩვენებია იყო ეგზოტიკური - მხოლოდ ერთი მიმართულების მქონე ჯეტების ფორმირების შესაძლებლობა. ამ კოლაბორაციის დროს შემუშავებული მოდელი მისი შექმნის დროიდან ატარებდა სპეკულატურ ხასიათს, რადგან ერთი მიმართულების ჯეტები რეალურად დამზერილი არ იყო. მხოლოდ 2022 წელს მოხდა ჯეტების ასეთი ეგზოტიკური გამოვლენის უტყუარი დამზერა. აღმოჩნდა, რომ გალაქტიკის RAD12 ცენტრში არსებული შავი ხვრელი გამოტყორცნის ჯეტს მხოლოდ ერთი მიმართულებით მეზობელი RAD12-B გალაქტიკისაკენ. ამ დაკვირვებით დადასტურდა აბასთუმნისა და ტურინის ობსერვატორიების მიერ 1996 წელს შეთავაზებული (Chagelishvili G., Bodo G. and Trussoni E., On the MHD origin of one-sided jets, *Astro n. & Astrophysics*, 1996, 306, 329) ერთი მიმართულების ჯეტის არსებობის შესაძლებლობა. ამჟამად, ტურინის ასტრონომიული ობსერვატორიის თანამშრომლებთან ერთად დაიწყება ამ საკითხზე დაგროვილი ცოდნის შემაჯამებელი კვლევის შემდგომი ეტაპი. შემდგომი ეტაპი მოიცავს იტალიელ კოლეგებთან ერთად საკმარისად შრომატევადი რიცხვითი თვლების ჩატარებას ერთი მიმართულების ჯეტების ფორმირების დინამიური მოდელის შესაქმნელად (სუპერკომპიუტერი, ან

კლასტერი რომელზეც შესაძლებელი იქნებოდა ასეთი რიცხვითი თვლების ჩატარება საქართველოში ამჟამად არ არსებობს). კვლევების შედეგად დადგინდება ის მაკროსკოპული ანიზოტროპული პარამეტრები (ძირითადად საუბარია სხვადასხვა სიმეტრიის მქონე მაგნიტური ველებზე - დიპოლურ ველზე შავ ხვრელში და კვადრუპოლურ/აზიმუტალურ ველზე აკრეციულ დისკოში), რომლებიც განაპირობებენ ერთი მიმართულების ჯეტების ფორმირებას. ამასთანავე, შემუშავებულ იქნება ამ ეგზოტიკური ასტრონომიული ობიექტების დინამიური მოდელი. გარდა ამისა, პროექტი ითვალისწინებს აქტიური გალაქტიკების რადიო დიაპაზონში დაკვირვებების დროს დაგროვილი მონაცემების ანალიზსაც, რათა მივიღოთ დამატებითი ინფორმაცია RAD12-დან ამოტყორცნილი ერთი მიმართულების ჯეტის სტრუქტურაზე.

(2) 2010 წლებიდან პროტოპლანეტური დისკოების მკვლევარების ყურადღება გადატანილ იქნა არამაგნიტურ პროცესებზე - ტურბულენტობის გაჩენისა და თვით-შენარჩუნების ჰიდროდინამიკურ საშუალებებზე, როდესაც მხედველობაში მიიღება დისკოების თერმოდინამიკური არაერთგვაროვნებები. ამან გაააქტიურა არამაგნიტური პროცესების ფართო არეალის მნიშვნელობა, როგორებიცაა, ბაროკლინური ეფექტები, კონვექცია, ვერტიკალური წანავლების არამდგრადობა და ა.შ. (იხ., Klahr & Bodenheimer 2003, Regev 2008, Lesur & Papaloizou 2010, Lesur & Ogilvie 2010, Lyra & Klahr 2011, Nelson et al. 2013, Klahr & Hubbard 2014, Lyra et al. 2014, Marcus et al. 2015, Lesur & Latter 2016, Flock et al. 2017, Held & Latter 2018, Lyra & Umurhan 2019, Pfeil & Klahr 2019, Teed & Latter 2021).

პროტოპლანეტური გაზური დისკოების თვისებების გააზრება ჯერ კიდევ საჭიროებს ჩაღრმავებას ფუნდამენტური მოვლენების გააზრების თვალსაზრისით, რაც ჩვენი პროექტის ძირითადი მიზანია. პირველ რიგში ეს ეხება, დისკური დინების წანაცვლებითი ბუნებით ინიცირებული არაწრფივი პროცესების სპეციფიური ტოპოლოგიის შესწავლას. ეს ტოპოლოგია განსხვავდება კანონიკური/პირდაპირი კასკადის ტოპოლოგიისაგან. ასევე პრინციპული სხვაობაა ამ არაწრფივობების როლებში (კოჰერენტული ან ქაოსური) შემფოთებების თვით-შენარჩუნებისათვის. როდესაც ვსაუბრობთ არაწრფივი მოვლენების ახალ კლასზე, მხედველობაში გვაქვს, ე.წ., არაწრფივი განივი კასკადი, რომელიც წანაცვლებითი დინებებისათვის დამახასიათებელია. ეს კონცეფცია შემოღებულ იქნა ორგანზომილებიანი ბრტყელი ჰიდროდინამიკური (Chagelishvili et al. 2002, Horton et al. 2010, Mamatsashvili et al. 2016) და მ3დ (Mamatsashvili et al. 2014) დინებებისათვის. შემდგომ, იგი წარმატებით იქნა გამოყენებული მზა-ტურბულენტობის თვით-შენარჩუნების დეტალური სქემის შესაქმნელად მარტივი/ომური დისიპაციის მქონე კვლევურ დისკოებში გარეშე მაგნიტური ველის სხვადასვა კონფიგურაციების დროს (Gogichaishvili et al. 2017, 2018, Mamatsashvili et al. 2020, Held & Mamatsashvili 2022) - არაწრფივი განივი კასკადი, ასეთი კვლევური დისკოების მაგნიტო-ბრუნვითი არამდგრადობის ტურბულენტობის შენარჩუნების საკვანძო ფაქტორი აღმოჩნდა.

ჩვენ მიზნად ვისახავთ შევისწავლოთ არაწრფივი განივი კასკადის სტრუქტურა და სიძლიერე და, ამასთანავე, მისი ურთიერთზემოქმედება შემფოთებების წრფივ არა-მოდალურ ზრდასთან. ვაჩვენოთ ამ პროცესების საკვანძო როლი ტურბულენტური და კოჰერენტული შემფოთებების დინამიკაში გაზურ პროტოპლანეტურ დისკოებში, როდესაც მცირე იონიზაციის გამო, მაგნიტური ველის გავლენა უგულვებელსაყოფია და დინამიკას პროცესებს ჰიდროდინამიკული წარმომავლობა აქვს და, გარდა ამისა, დინებები „გამდიდრებულია“ თერმოდინამიკული სიდიდეების გრადიენტებით. ანუ, (ქვე)-კვლევურ წანაცვლებით დინებებთან ერთად, წონასწორულ თერმოდინამიკულ ცვლადებს აქვთ ვერტიკალური და/ან ჰორიზონტალური გრადიენტები.

(3) ბუნებაში ფართოდ გავრცელებული არაერთგვაროვანი დინებების მნიშვნელოვანი ნაწილი შემოსაზღვრულია. ასეთ შემთხვევებში საზღვარი დინებას აქცევს ღია სისტემად, რომელსაც

საზღვრის საშუალებით აქვს ენერგო მიმოცვლა დინების, როგორც სისტემის გარეთ მყოფ ობიექტებთან. არაერთგვაროვანი/წანაცვლებითი დინების დინამიური აქტიობისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს საზღვრის საშუალებით დინებაში ენერგია შედის, თუ, პირიქით, მცირდება. ამდენად, საზღვრის მოქმედებას დიდი მნიშვნელობა აქვს შემფოთებების ენერგეტიკულ მომარაგებაზე არაერთგვაროვან დინებაში. საზღვრის მოქმედება დინამიურად დაიყვანება სიჩქარის შემფოთებების, ან, როგორც მინიმუმ, მისი ვერტიკალური მდგენელის განულებაზე. როდესაც საზღვარზე ნულდება სიჩქარის მხოლოდ ვერტიკალური მდგენელი, ასეთ საზღვარს უწოდებენ მყარს (rigid boundary), ხოლო როდესაც საზღვარზე ნულდება დინების სიჩქარის შემფოთების ყველა მდგენელი, ასეთ საზღვარს უწოდებენ არასრიალა საზღვარს (no-slip boundary). ერთის შეხედვით, იმის გამო რომ საზღვარზე ხდება სიჩქარის შემფოთების სამივე მდგენელის, ან მისი ვერტიკალური მდგენელის განულება, იქმნება შთაბეჭდილება, რომ საზღვარი ასუსტებს შემფოთებებს, ანუ, ართმევს მათ ენერგიას. პირველი შრომა საზღვრის მოქმედების დასადგენად შესრულდა 2023 წელს ჩვენი ჯგუფის წევრების აქტიური მონაწილეობით (Chanishvili et al 2023). შრომაში შემოთავაზებულია წანაცვლებითი დინებების მყარი საზღვრის ახალი მათემატიკური მოდელი. მოდელის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ჰორიზონტალური მყარი საზღვრი სრულიად/სრულფასოვნად იცვლება საზღვრის ადგილზე განლაგებული ლოკალიზებული წყაროებით - გარკვეული კოეფიციენტების მქონე დელტა ფუნქციებით - გრივალური და ტალღური შემფოთებების საწყის/კანონიკურ განტოლებებში. შედეგების მათემატიკურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ლოკალიზებული წყაროები აღძრავენ ახალ/მეორად შემფოთებებს. ამდენად, დგინდება, რომ მყარ საზღვარს, წარმოადგენს რა განსახილველი დინების გარეშე წყაროს, შეაქვს დამატებითი ენერგია სისტემაში და განაპირობებს მასში არამდგრადობის არსებობას. ჩვენი დაგეგმილი კვლევის მიზანია, შევქმნათ ანალოგიური მათემატიკური მოდელი წანაცვლებითი დინების არასრიალა საზღვრის შემთხვევაში. ცხადია, შესაქმნელი მათემატიკური მოდელი მნიშვნელოვნად რთული იქნება (რამდენადაც, ამ შემთხვევაში - არასრიალა - საზღვარი ანულებს სიჩქარის შემფოთების არა ერთ, არამედ, სამივე კომპონენტს), თუმცა 2023 წელს შესრულებული ამოცანა ითამაშებს დაგეგმილი კვლევის მეგზურის როლს. მიუხედავად მოსალოდნელი სირთულეებისა, არსებობს წინა პირობა, რომ საზღვარი, ამ შემთხვევაშიც შეასრულებს დინების გარეშე წყაროს როლს - შეიტანს დამატებით ენერგიას სისტემაში და მასში დინება-საზღვრის კომპლექსური არამდგრადობის არსებობას განაპირობებს. ეს წანაცვლებითი დინების ტურბულიზაციის ახლებური - უფრო კონკრეტული - გააზრების საშუალებას მოგვცემს.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

- Bai X.-N., Stone J., ApJ, 2013, **769**, 76
 Balbus S., Hawley J., ApJ, 1991, **376**, 214
 Balbus S., Hawley J., Rev. Mod. Phys., 1998, **70**, 1
 Balbus S., Terquem C., ApJ, 2001, **552**, 235
 Chagelishvili G., Chanishvili R., Hristov T., Lominadze J., JETP, 2002, **94**, 434
 Chagelishvili G., Bodo G. and Trussoni E., Astron. & Astrophysics, 1996, 306, 329
 Chanishvili R., Chagelishvili G., Kalashnik M., Chkhetiani O., Gogichaishvili D, Kharshiladze O., J. Physics A: Mathematical and Theoretical, 2023, **56**, 135201
 Desch S., ApJ, 2004, **608**, 509
 Fromang S., Papaloizou J., Lesur G., Heinemann T., A&A, 2007, **476**, 1123
 Fromang S., A&A Lett., 2010, **514**, 5

Gammie C., ApJ, 1996, **457**, 355
 Gogichaishvili D., Chagelishvili G., Chanishvili R., Lominadze J., J. Plasma Phys., 2014, **80**, 667
 Gogichaishvili D., Mamatsashvili G., Horton W., Chagelishvili G., Bodo G., ApJ, 2017, **845**, 70
 Gogichaishvili D., Mamatsashvili G., Horton W., Chagelishvili G., ApJ, 2018, **866**, 134
 Gressel O., Turner N., Nelson R., McNally C., ApJ, 2015, **801**, 84
 Hawley J., Gammie C., Balbus S., ApJ, 1995, **440**, 742
 Held L., Latter H., MNRAS, 2018, **480**, 479
 Held L., Mamatsashvili G., MNRAS, 2022, **517**, 2309
 Horton W., Kim J.-H., Chagelishvili G., Bowman J., Lominadze J., Phys. Rev. E., 2010, **81**, 066304
 Kavtaradze M., Mamatsashvili G., Chagelishvili G., ComBAO, 2023, **70**, 152
 Klahr H., Bodenheimer P., ApJ, 2003, **582**, 869
 Klahr H., Hubbard A., ApJ, 2014, **788**, 21
 Kunz M., Balbus S., MNRAS, 2004, **348**, 355
 Lesur G., Longaretti P.-Y., MNRAS, 2007, **378**, 1471
 Lesur G., Ogilvie G., MNRAS, 2010, **404**, L64
 Lesur G., Papaloizou J., A&A, 2010, **513**, 60
 Lesur G., Longaretti P.-Y., A&A, 2011, **528**, 17
 Lesur G., Kunz M., Fromang S., A&A, 2014, **566**, 56
 Lesur G., Latter H., MNRAS, 2016, **462**, 4549
 Lesur G., J. Plasma Phys., 2021, **87**, id.:205870101
 Longaretti P.-Y., Lesur G., A&A, 2010, **516**, 51
 Mamatsashvili G., Gogichaishvili D., Chagelishvili G., Horton W., Phys. Rev. E., 2014, **89**, 043101
 Mamatsashvili G., Khujadze G., Chagelishvili G., Dong S., Jimenez J., Hoysi F., Phys. Rev. E, 2016, **94**, 023111
 Mamatsashvili G., Chagelishvili G., Pessah M., Stefani F., Bodo G., ApJ, 2020, **904**, 47
 Marcus P., Pei S., Jiang C., et al., ApJ, 2015, **808**, 87
 Meheut H., Fromang S., Lesur G., Joos M., Longaretti P.-Y., A&A, 2015, **579**, 117
 Nauman F., Pessah M., ApJ, 2016, **833**, 187
 Nelson R., Gressel O., Umurhan O., MNRAS, 2013, **435**, 2610
 Oishi J., Mac Low M.-M., ApJ, 2011, **740**, 18
 Pfeil T., Klahr H., ApJ, 2019, **871**, 150
 Sano T., Miyama S., ApJ, 1999, **515**, 776
 Simon J., Hawley J., ApJ, 2009, **707**, 833
 Simon J., Hawley J., Beckwith K., ApJ, 2011, **730**, 94
 Simon J., Bai X.-N., Stone J., Armitage P., Beckwith K., ApJ, 2013, **764**, 66
 Teed R., Latter H., MNRAS, 2021, **507**, 5523

2.3. სამუშაოს მოცულობა

პროექტის ფარგლებში შესრულებული კვლევები წარმოდგენილია 3 დამოუკიდებელ ამოცანად, რომლებიც შესრულდება პარალელურ რეჟიმში. პირველი და მეორე ამოცანების შესრულების ხანგრძლიობა არის ხუთი წელი. მესამე ამოცანის კი, ორი წელი. მოხდება აქტიური გალაქტიკების რადიო დიაპაზონში დაკვირვებების დროს დაგროვილი მონაცემების ანალიზი, რათა მივიღოთ დამატებითი ინფორმაცია RAD12-დან ამოტყორცნილი ერთი მიმართულების ჯეტის

სტრუქტურაზე. თეორიული კვლევების საწარმოებლად გამოყენებული იქნება, ანალიტიკური (არამოდალური ანალიზი) და რიცხვითი თვლების მეთოდები.

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

ამოცანა 1. „ეგზოტიკური - ერთი მიმართულების მქონე - ასტროფიზიკური ჯეტების ფორმირების დინამიური მოდელის შემუშავება“

ამოცანის მიზანი: ერთი მიმართულების მქონე ასტროფიზიკური ჯეტების ფორმირების დინამიური მოდელის შემუშავება.

სამუშაოს აღწერა: იტალიელი კოლეგების მიერ შემუშავებული რიცხვითი კოდის საშუალებით მოხდება არაწრფივი დინამიური განტოლებების ამოხსნა შავი ხვრელისა და აქტიური გალაქტიკის ბირთვის აკრეციული დისკოს „შეხვედრის“ მიდამოებში, სადაც მთავარი იქნება შავი ხვრელის დიპოლური (მეტწილად ხვრელის გამჭვალავი, დისკოს მართობული) მაგნიტური ველისა და აკრეციული დისკოს კვადრუპოლური (მეტწილად აზიმუტალური) მაგნიტური ველის ურთიერთქმედება.

მოსალოდნელი შედეგი: შემუშავდება ერთი მიმართულების მქონე ასტროფიზიკური ჯეტების ფორმირების დინამიური მოდელი, რომელიც აღწერს ფიზიკურ სივრცეში აღწერს მათი ფორმირების სტადიებს და პარამეტრთა იმ არეალს, რომელთათვისაც აქვს ადგილი ასეთი ეგზოტიკური სტრუქტურის რეალიზაციას.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 2 სტატია მაღალ რეიტინგულ ასტროფიზიკურ ჟურნალებში

ამოცანა 2. „თერმოდინამიკური არაერთგვაროვნებები - ბაროკლინური ეფექტები და კონვექცია - როგორც ტურბულენტობის გაჩენისა და თვით-შენარჩუნების ჰიდროდინამიკური საშუალებები პროტოპლანეტურ დისკოებში“

ამოცანის მიზანი: შევისწავლოთ ორი სხვადასხვა თერმოდინამიკური არაერთგვაროვნებების - (ა) ბაროკლინური ეფექტებისა და (ბ) კონვექციის - პირობებში ტურბულენტობის გაჩენისა და თვით-შენარჩუნების შესაძლებლობა პროტოპლანეტურ დისკოებში.

სამუშაოს აღწერა: რიცხვითი კოდის SNOOPY-ს საშუალებით მოხდება წრფივი და არაწრფივი პროცესების ურთიერთმოქმედებით ტურბულენტობის თვითშენარჩუნების შესწავლა ორი სხვადასხვა თერმოდინამიკური არაერთგვაროვნებების პირობებში, ტურბულენტობის გაჩენისა და თვით-შენარჩუნების შესაძლებლობა პროტოპლანეტურ დისკოებში. ცხადია, პროტოპლანეტურ დისკოებში ბაროკლინური ეფექტებისა და კონვექციის პირობებში ტურბულენტობის გაჩენისა და თვით-შენარჩუნების შესწავლა მოხდება მეტწილად დამოუკიდებლად.

მოსალოდნელი შედეგი: შესწავლილი იქნება ორი სხვადასხვა თერმოდინამიკური არაერთგვაროვნებების - (ა) ბაროკლინური ეფექტებისა და (ბ) კონვექციის - პირობებში ტურბულენტობის გაჩენისა და თვით-შენარჩუნების მიმდინარეობა პროტოპლანეტურ დისკოებში. ამასთანავე, მიღებული ტურბულენტობის სიძლიერისა და სხვა სტატისტიკურ პარამეტრებზე დამოკიდებულებით გაანალიზებული იქნება ანომალური სიბლანტის სიძლიერე და, ამით, დისკური ნივთიერების კუთხური მომენტის გადატანის ინტენსიობა და სპეციფიკა.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ.

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 3 სტატია მაღალ რეიტინგულ ასტროფიზიკურ ჟურნალებში

ამოცანა 3. არასრიალა საზღვრის ახალი მათემატიკური მოდელი ბუნებრივ და საინჟინრო წანაცვლებით დინებებში

ამოცანის მიზანი: ბუნებრივ და საინჟინრო წანაცვლებით დინებებში არასრიალა საზღვრის ახალი მათემატიკური მოდელის შემუშავება.

სამუშაოს აღწერა: შემუშავდება წანაცვლებითი დინებების არასრიალა საზღვრის ახალი მათემატიკური მოდელი. მოდელის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ჰორიზონტალური მყარი საზღვრი სრულიად/სრულფასოვნად შეიცვალოს საზღვრის ადგილზე განლაგებული ლოკალიზებული წყაროებით - გარკვეული კოეფიციენტების მქონე დელტა ფუნქციებით - გრიგალური და ტალღური შემფოთებების საწყის/კანონიკურ განტოლებებში. ეს წყაროები, ისევე როგორ არასრიალა საზღვარი, განაპირობებენ სიჩქარის შემფოთებების განულებას საზღვარზე და ამოხსნის იდენტურობას კლასიკური ანალიზით მიღებული შემფოთებების დინამიკასთან. რაც მნიშვნელოვანია, თვალნათელივ აჩვენებენ როგორია საზღვრების ენერგეტიკული წვლილი შემფოთებების ენერგო მომარაგებაში.

მოსალოდნელი შედეგი: შემუშავდება ბუნებრივ და საინჟინრო წანაცვლებით დინებებში არასრიალა საზღვრის ახალი მათემატიკური მოდელი

შესრულების პერიოდი: 2025-2026 წწ.

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 2 სტატია მაღალ რეიტინგულ დასავლურ ჟურნალებში

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება. პროექტის ფარგლებში შესასწავლი ამოცანები მოიცავენ არაერთგვაროვან ასტროფიზიკური დინებებში (მზის ქარი, სხვადასხვა-მასშტაბოვანი ასტროფიზიკური დისკოები, ასტროფიზიკური დინებებიდან ამოტყორცნილი ნაწილაკთა ნაკადები - ასტროფიზიკური ჯეტები) მიმდინარე არაწრფივ პროცესებს. მათი შესწავლით მივიღებთ მკაფიო წარმოდგენას ასეთ ასტროფიზიკურ არაერთგვაროვან დინებებში წრფივი და არაწრფივი პროცესების ერთობლივი მოქმედებით ტურბულენტობის შენარჩუნებისა და კოჰერენტური სტრუქტურების ფორმირების შესახებ. შემუშავდება ეგზოტიკური - ერთი მიმართულების მქონე - ასტროფიზიკური ჯეტების ფორმირების დინამიური მოდელი, რომელიც აღწერს ფიზიკურ სივრცეში აღწერს მათი ფორმირების სტადიებს და პარამეტრთა არეალს, რომელთათვისაც აქვს ადგილი ასეთი ეგზოტიკური სტრუქტურის რეალიზაციას. ასევე შემუშავებული იქნება ახალი ხედვა წანაცვლებით დინებებში მყარი საზღვრის როლის შესახებ. მიღებული შედეგები გამოვლინდება ასტრონომიული ობიექტების დამზერის დროს, ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას გეოფიზიკურ (ატმოსფერო და ოკეანეები) და საინჟინრო დინებებისთვის.

2.6. დამატებითი ინფორმაცია. ყველა რთული ღია სისტემის - მათ შორის ასტროფიზიკური დინებების - განმაპირობებელ ფაქტორებს წარმოადგენენ არადეტერმინისტული და არაწრფივი მოვლენები. ამდენად, ასეთი სისტემების აღმწერ განტოლებებში არაწრფივი წევრები წარმოადგენენ დინამიკის განმსაზღვრელ ფაქტორს. ასეთი განტოლებები ამოიხსნებიან მხოლოდ რიცხვითად სუპერკომპიუტერზე, ან, მინიმუმ, კლასტერზე. ასეთი სათვლელი კომპიუტერული სისტემები

საქართველოში არ არის - ალბათ, საქართველო ერთადერთი ქვეყანაა მეტ-ნაკლებად ცივილურ სამყაროში, სადაც ასეთი მდგომარეობაა. ცხადია, ძირითადი სიძნელები პროექტის შესრულების დროს შეგვხვდება რიცხვითი თვლების ჩატარებასთან დაკავშირებით. ამიტომ მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებული ვიქნებით უცხოელი კოლეგების თანადგომაზე - გამოვიყენოთ უცხოელი კოლეგებისათვის ხელმისაწვდომი სუპერკომპიუტერები და მოვერგოთ იმ დროის შუალედებს როდესაც ასეთი თვლების ჩატარების საშუალება გვექნება.

ამდენად, აუცილებლად გვესახება ჩვენს ობსერვატორიაში დაახლოებით 300000 დოლარად ღირებული კომპიუტერული კლასტერის შექმნა. ეს პრობლემებს მოხსნიდა ასტროფიზიკური დინებების და ობსერვატორიაში წარმოებული სხვა რიცხვითი კვლევების დროს. ასევე, სხვა სამეცნიერო დაწესებულებებს (მაგალითად, ფიზიკის ინსტიტუტს, გეოფიზიკის ინსტიტუტს და ა.შ.) რიცხვითი თვლების ჩატარებისა და ანალოგიური პრობლემების გადაწყვეტის საშუალებას მისცემდა. გარდა ამისა, საქართველო აღარ იქნებოდა მეტ-ნაკლებად ცივილურ სამყაროს ერთადერთი ქვეყანა, რომელიც არ ფლობს ასეთ გავრცელებულ და საჭირო კომპიუტერულ სისტემას.

**XV. ასტროფიზიკურ ბრტყელ და დისკურ წანაცვლებით დინებების დინამიკა -
არაიდეალური მაგნეტოჰიდროდინამიკური ეფექტები**
(ხელმძღვანელი გ. მამაცაშვილი)

1.1. კვლევის მიმართულება: აკრეციული დისკოები, არაერთგვაროვანი დინებები, ტურბულენტობა, არაწრფივი მოვლენები/დინამიკა

1.2. სტრუქტურული ერთეული: თეორიული ასტროფიზიკისა და კოსმოლოგიის განყოფილება

1.3. პროექტის შემსრულებლები:

№	სახელი, გვარი	თანამდებობა	სამეცნიერო ხარისხი	ფუნქცია/სამუშაო ადგილი (თბილისი, ყანობილი)
1	გ. მამაცაშვილი	უფროსი მეცნიერი	დოქტორი	პროექტის ხელმძღვანელი, თბილისი
2	ა. თევზაძე	მთავარი მეცნიერი	დოქტორი	თეორიული ანალიზი, რიცხვითი სიმულაციების/მოდელირების შესრულება, სტატიის და პრეზენტაციის მომზადება, თბილისი
3	ე. უჩავა	მეცნიერი	დოქტორი	ანალიზური გამოთვლები, რიცხვითი მოდელირების შესრულება, დინამიური პროცესების ანალიზი ფურიე სივრცეში, სტატიის და პრეზენტაციის მომზადება, თბილისი
4	მ. ქავთარაძე	ასისტენტ-მკვლევარი	მაგისტრი	რიცხვითი მოდელირების შესრულება, დინამიური პროცესების ანალიზი ფურიე სივრცეში, სტატიის და პრეზენტაციის მომზადება, თბილისი
5	დ. კობაიძე	ასისტენტ-მკვლევარი	მაგისტრი	რიცხვითი მოდელირება, მონაცემთა დამუშავება, პრეზენტაციის მომზადება, სტატიისთვის მასალის მომზადება, თბილისი

1.4. პროექტის მატერიალურ ტექნიკური ბაზა

ა) არსებული:

№	დასახელება	რაოდენობა	შენიშვნა (ტელესკოპის გამოყენების შემთხვევაში, მიუთითეთ დაკვირვებების სავარაუდო პერიოდი და ხანგრძლივობა)
	საოფისე ინვენტარი	10	
	კომპიუტერული და სხვა. ტექნიკა,	2	

ბ) შესაძენი (ლარი):

№	დასახელება	ერთ. ფასი	რაოდენობა	ჯამური ფასი	შენიშვნა
	საოფისე ინვენტარი (კალმები, ფურცლები, რვეულები, პრინტერის კარტრიჯები, USB მეხსიერება)	400	5	2 000	
	მძლავრი დესკტოპ-კომპიუტერი (high-performance workstation)	15000	1	15 000	რიცხვითი თვლებისთვის
			სულ:	17 000	

1.5. მივლინება ქვეყნის გარეთ

1.6. პროექტის ბიუჯეტი (ლარი)

№		I წელი	II წელი	III წელი	IV წელი	V წელი	ჯამი
2	შესყიდვა (> 500 ლ)	15 000					15 000
3	შესყიდვა (< 500 ლ)	400	400	400	400	400	2 000
4	მივლინება ქვეყნის გარეთ						
6	სულ	15 400	4000	4000	4000	4000	17 000

2.1. შესავალი და მიმოხილვა

არაერთგვაროვან დინებებს ხშირად ვხვდებით ასტროფიზიკური ობიექტების უმრავლესობაში და ასევე ლაბორატორიაში. სწორედ არაერთგვაროვან დინებებში მიმდინარე ენერგეტიკული პროცესები მნიშვნელოვანწილად განაპირობებენ ასეთი ობიექტების დინამიკას და ევოლუციას. არაერთგვაროვანი ასტროფიზიკური დინებების მაგალითებია, მზის ქარი და ასევე სხვადასხვა-მასშტაბოვანი ასტროფიზიკური დისკოები. *ჩვენის ჯგუფის სამეცნიერო საქმიანობა ხუთწლიანი გეგმის მიხედვით სამი ძირითადი მიმართულებით მოხდება.* ესენია,

(1) მზის ქარის ტიპის ბრტყელი ასტროფიზიკური წანაცვლებითი დინებების დინამიური აქტიობის ფუნდამენტური - წრფივი და არაწრფივი - მოვლენების შესწავლა;

(2) წრფივი და არაწრფივი პროცესების ნატიფი ურთიერთმოქმედებით ტურბულენტობის თვითშენარჩუნება ჰოლის ეფექტისა და ამბიპოლარული დიფუზიით განპირობებულ არაიდეალურ მაგნიტოჰიდროდინამიურ პროტოპლანეტურ დისკოებში;

(3) მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობის კვლევა სასრული სიმაღლის ცილინდრულ ტეილორ-კუეტეს დინებებში -- წრფივი და არაწრფივი დინამიკა და დამზერადობა DRES-DYN პროექტის ფარგლებში

ქვემოთ მოყვანილია თითოეული ამ მიმართულებით დაგეგმილი კვლევების არსი და მოკლე აღწერა.

(1) მრავალ ასტროფიზიკურ დინებას აქვს ბრტყელი (არა-დისკური) გეომეტრია და არაერთგვაროვანი სიჩქარე. მაგალითად გალაქტიკათაშორის გარემოს, მზის ქარს. დინამიურ პროცესებს ასეთ დინებებში დისკურ დინებებში მიმდინარე პროცესებთან მნიშვნელოვანი საერთო აქვთ, მაგრამ, ამავე დროს, არის მნიშვნელოვანი განსხვავებაც. ამ მიმართულებით გეგმით გათვალისწინებული ჩვენი კვლევების ძირითადი მიზანი სწორედ ამ საკითხების გაანალიზებაა. განვიხილავთ დამაგნიტებულ ბრტყელ წანაცვლებით დინებას დინების პარალელური მაგნიტური ველით, რომელიც წარმოადგენს, მაგალითად, მზის ქარის ძირეულ სტრუქტურას. მართალია მზის ქარი უფრო რთული წარმონაქმნია ვიდრე განსახილველი დინება, რადგან მის დინამიკაში გარდა კინემატიკური არაერთგვაროვნებისა, მნიშვნელოვანია თერმოდინამიკული არაერთგვაროვნებები და კინეტიკური ეფექტები. თუმცა, შეიძლება ითქვას, რომ მზის ქარის დინამიური აქტიობის საფუძველი მაინც კინემატიკური არაერთგვაროვნებაა. ჩვენი მიზანია აგნსახილველი დინების არაწრფივი დინამიკის შესწავლა, მათ შორის ტურბულენტობის შექმნისა და შენარჩუნების მექანიზმი. სიახლეებს მოველით როგორც წრფივი, ასევე, არაწრფივი პროცესების

აღწერის დროს. წრფივი დინამიკის/პროცესების სიახლე მდგომარეობს მასში, რომ გარდა მაგნიტოჰიდროდინამიკული ალფენის ტიპის ტალღებისა (რომლებიც ხასიათდებიან ალგებრული ზე-არეკვლითი არამდგრადობით, Gogichaishvili et al 2014), ასეთ დინებაში არსებობს შემფოთების სუფთა ჰიდროდინამიკული ბაზური მოდა, რომელიც ერთგვაროვანია დინების გასწვრივ და სიჩქარის წანაცვლების მიმართულებით. ეს შემფოთების მოდაც წრფივ მიახლოებაში განიცდის დროის მიხედვით წრფივ ზრდას. წრფივ მიახლოებაში ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელ ალფენის ტიპის და ბაზურ მოდას აბამენ არაწრფივი პროცესები, რაც კიდევ უფრო აადვილებს შემფოთებების გაძლიერებას და დინამიკას/ტურბულენტობას აძლევს კვაზი-სტაციონარულ ხასიათს (Kavtaradze et al 2023). კვლევის ერთ-ერთი მიზანი მოდების არაწრფივი გადაბმის დინამიკის განსაზღვრაა. გაქრდა ამისა კვლევის საგანი იქნება არაწრფივი კლასიკური პირდაპირი კასკადისა და ე.წ. არაწრფივი გვერდითი კასკადის ურთიერთსაწინააღმდეგო მოქმედებების შესწავლა. დადგენა თუ რა განაპირობებს ტურბულენტობის დასუსტებას და გაქრობას გარე მაგნიტური ველის გაზრდის პირობებში. ამ საკითხის შესწავლა მნიშვნელოვანია არა უშუალოდ ასტროფიზიკური კვლევების კუთხით, არამედ, ზოგადად, არაწრფივი დინამიკის შესწავლის კუთხითაც.

(2) ასტროფიზიკურ დისკოებში კუთხური მომენტის გარეთ გადატანა იწვევს მათ ევოლუციას - დისკოს ნივთიერების აკრეციას - და წარმართავს სხვადასხვა ბუნებისა და მასშტაბის მრავალ, მნიშვნელოვან პროცესს, მათ შორის, პლანეტების ფორმირებას. პლანეტარული სისტემების გაჩენის ადგილს წარმოადგენენ პროტოპლანეტურ დისკოები, რომლებიც ახალგაზრდა ვარსკვლავის ირგვლი კეპლერის კანონით მბრუნავი მტვრის ნაწილაკებსა და გაზისაგან შედგება. ოცდამეერთე საუკუნის დასაწყისიდან მნიშვნელოვნად გაიზარდა ეგზოპლანეტების (ანუ, მზის სისტემის გარეთა პლანეტების) დეტექტირება - 2023 წლისათვის 5500-ზე მეტი ეგზოპლანეტაა დადასტურებული. ბუნებრივია, რომ ეს ფაქტი პროტოპლანეტური დისკოებში მიმდინარე დინამიური პროცესების შესწავლის ინტერესს აძლიერებს.

ზოგადად, მნიშვნელოვანი პროგრესი აკრეციის მოვლენის გააზრებაში მიღწეულ იქნა წინა საუკუნის 90-იან წლებში დამაგნიტებულ დისკოებში წრფივი, ძლიერი მაგნიტობრუნვითი არამდგრადობის (შემოკლებით, მზა-ის) აღმოჩენის გამო (Balbus & Hawley 1991, 1998). ამის შემდგომ, მალე მოხდა სარწმუნო დემონსტრირება იმისა, რომ მაგნიტო-ბრუნვითი არამდგრადობის არაწრფივ განვითარებას მივყავართ მაგნიტოჰიდროდინამიკულ (მჰდ) ტურბულენტობამდე დისკოებში, რომელიც, ითვლება კუთხური მომენტის გარეთ და ნივთიერების შიგნით (დისკოს ცენტრისაკენ) გადატანის ძირითად მექანიზმად (Hawley et al. 1995), რომლითაც განპირობებული აკრეციის სიძლიერე შესაბამისობაშია დამზერით მონაცემებთან.

თავდაპირველი კვლევები არ მოიცავდნენ არა-იდეალურ მჰდ ეფექტებს, როგორებიცაა, ამბიპოლარული დიფუზია და ჰოლის ეფექტი, რომლებიც არსებითად მნიშვნელოვანია პროტოპლანეტურ დისკოების ზოგიერთ უბნებში. ამის მიზეზი არის ის, რომ მათი უმრავლესობას აქვს დიდი სიმკვრივე და მცირე ტემპერატურა ($T < 300$ K), რაც გულისხმობს დაბალ იონიზაციის ხარისხს და, შესაბამისად, მაგნიტურ ველთან სუსტ ბმას (Gammie 1996, Wardle 1999, Balbus & Terquem 2001, Desch 2004, Kunz & Balbus 2004). ამ საუკუნის დასაწყისიდან შესრულებულ იქნა დიდი რაოდენობა კვლევებისა დისიპაციური ფაქტორების ზემოქმედების პირობებში მზა-ტურბულენტობის თვით-შენარჩუნების გასააზრებლად. თავდაპირველად, შესწავლილი იქნა მხოლოდ ომური რეზისტულობის ზემოქმედება ამ პროცესებზე (Gammie 1996, Sano & Miyama 1999, Fleming et al. 2000, Fleming & Stone 2003), რამაც განაპირობა პროტოპლანეტურ დისკოებში ფენოვანი აკრეციის ფართოდ გავრცელებულ მოდელი (Gammie 1998). შემდგომი ანალიზის დროს, მოხდა ბლანტი და რეზისტული დისიპაციის ერთობლივი გათვალისწინება (Fromang et al. 2007, Lesur &

Longaretti 2007, 2011, Longaretti & Lesur 2010, Fromang 2010, Simon & Hawley 2009, Simon et al. 2011, Flock et al. 2012, Oishi & Mac Low 2011, Meheut et al. 2015, Nauman & Pessah 2016, Mamatsashvili et al. 2020), სადაც ნაჩვენებ იქნა რომ მზა-ტურბულენტობა და შესაბამისი გადატანის მოვლენები მგრძობიარეა მაგნიტური პრანდტლის რიცხვის მიმართ. შემდგომ, ასევე შესწავლილი იქნა ამბიპოლარული დიფუზიის გავლენა (რომელიც მნიშვნელოვანია დისკოების დაბალი სიმკვრივის გარე არეებში), რომელიც, როგორც აღმოჩნდა ასუსტებს/აქრობს მზა-ის აქტიობას (მაგ., Simon et al. 2013, Bai & Stone 2013, Gressel et al. 2015). ამგვარად, არა-იდეალური მკვდ ეფექტების გამო, მზა მნიშვნელოვნად სუსტდება და, შეიძლება ჩაქრეს დისკოების დიდ მონაკვეთებში. ამით საერთოდ ეჭვქვეშ აყენებს მზა-ის აქტივობას პროტოპლანეტურ დისკოებში.

ომური და ამბიპოლარული დიფუზიის დისიპაციური პროცესებისაგან განსხვავებით, ჰოლის ეფექტი, რომელიც არის წმინდად დისპერსიული პროცესი და არ იწვევს დისიპაციას, განაპირობებს გაცილებით კომპლექსური დინამიური სურათის გაჩენას. ჰოლის ეფექტი, ცვლის რა მაგნიტო-ბრუნვით არამდგრადობას რეზისტენტულად დომინანტურ მაგნიტურად არააქტიურ ცენტრალურ არეში, იწვევს ამ, ე.წ. „მკვდარი ზონის“ „გამოცოცხლებას“: ააქტიურებს დისკოს ამ არეს დინამიურად და განაპირობებს აკრეციას. აქ დასკვნის სახით შეიძლება დაიწეროს, რომ ჰოლის ეფექტის მედიატორობით გაჩენილი აკრეციის მოვლენაში მნიშვნელოვანი ფაქტორები ჯერ კიდევ გაურკვეველია, კერძოდ, გაჯერების ფიზიკა და არაწრფივი დინამიკის თვით-შენარჩუნების მექანიზმები. ამდენად, ამ მხრივ ჩვენი კვლევების მიზანია შემოფოთებების არაწრფივი დინამიკა მაგნიტოჰიდროდინამიკულ, სამ-განზომილებიან დისკოებში ომური დისიპაციის, ჰოლის ეფექტის და ამბიპოლარული დიფუზიის კომბინირებული ზემოქმედების პირობებში. ჩვენ შევისწავლით არაწრფივ გაჯერებას ჰოლის ეფექტით დომინირებულ მაგნიტომბრუნავ მდგომარეობაში. ზემოთ მოხსენიებული სამი არა-იდეალური მკვდ ეფექტიდან, ჰოლის ეფექტი ყველაზე მნიშვნელოვანი და საინტერესოა, იმდენად, რამდენადაც, ის განაპირობებს კუთხური მომენტის გადატანის გაძლიერებას პროტოპლანეტური დისკოების იმ არეებში (ე.წ., „მკვდარ ზონებში“) 1-10 AU რადიუსის მიდამოებში, სადაც სტანდარტული მზა სხვა შემთხვევებში ჩაქრება ომური და ამბიპოლარული დიფუზიის გამო (Lesur et al. 2014, Lesur 2021). მკვდარი ზონების „გაცოცხლების“ შესაძლებლობისთვის, აქცენტს გავაკეთებთ ჰოლის ეფექტზე და შემოვსაზღვრებით რეზისტენტულად დომინირებად პროტოპლანეტური დისკოების სუსტად იონიზებულ არეებზე, რომლებიც ხასიათდებიან მცირე მაგნიტური პრანდტლის რიცხვით.

(3) მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობა პირველად იყო თეორიულად აღმოჩენილი ცილინდრულ დიფერენციალურად მბრუნავ ტეილორ-კუეტეს დინებაში მუდმივი აქსიალური მაგნიტური ველით ე. ველიხოვის მიერ (Velikhov 1959). ამ არამდგრადობის მნიშვნელობა ასტროფიზიკური დისკოებისთვის ნაჩვენები იყო მხოლოდ 30 წლის მერე, 90-იანებში Balbus & Hawley (1991)-ის მიერ. მზა-ს ფაქტობრივად “მეორედ აღმოჩენამ” დისკოებში და შემდგომმა თეორიულმა კვლევებმა (ძირითადად რიცხვითი სიმულაციების გამოყენებით) თავის მხრივ ბიძგი მისცა 2000 წლიდან ამ არამდგრადობის შესწავლას ლაბორატორიაში, თეორიულად მიღებული არაწრფივი გაჯერებული მდგომარეობის (მზა-ტურბულენტობის) მისაღებად და მისი სხვადასხვა თვისებების შესასწავლად ექსპერიმენტების საშუალებით. ასეთ ექსპერიმენტებში ძირითადი დინება წარმოადგენს ცილინდრულ ტეილორ-კუეტეს დინებას როგორც დისკოს ანალოგს (იხ. მიმოხილვა Ji & Goodman 2023), რაშიც მოხდა მზა-ს აღმოჩენა, ხოლო თვითონ სითხე არის თხევადი მეტალი (მაგ. ნატრიუმი, გალიუმი), რომელიც ხასიათდება მაღალი რეზისტენტულობით, გაცილებით მეტით ვიდრე სიბლანტე, ასე რომ მაგნიტური პრანდტლის რიცხვი, რომელიც ტოლია კინემატიკური სიბლანტის ფარდობისა რეზისტენტულობასთან, არის ძალიან მცირე $Pm=10^{-6}-10^{-5}$. ასეთ დინებაში მზა-ს ადრეული

წრფივ თეორიული კვლევებში იყო ნაჩვენები, რომ დინება არამდგრადია მზა-ს მიმართ, როცა მაგნიტური რეინოლდისის (R_m) და ლუნდკვისტის (Lu) რიცხვები ≥ 10 (Goodman & Ji 2002), რაც გულისხმობს ძალიან დიდ რეინოლდისის (Re) რიცხვებს, $Re \geq 10^6$ ასეთი რეინოლდის რიცხვების დროს ტეილორ-კუეტეს დინება შეიძლება გახდეს არამდგრადი და შედეგად ტურბულენტური (მიუხედავად იმისა, რომ ცილინდრების ბრუნვა ჰიდროდინამიკურად მდგრადია რეილის კრიტერიუმის მიხედვით). ეს ფაქტორი წარმოადგენს მთავარ სირთულეს და გამოწვევას მზა-ს ექსპერიმენტებისთვის.

ადრეულ ექსპერიმენტებში, რომელიც ძირითადად ტარდებოდა პრინსტონის უნივერსიტეტში 2002-2018 წლებში (Roach et al. 2004, Caspary et al. 2018) და ასევე ჰელმჰოლცის ცენტრში დრეზდენში (Stefani et al. 2006, 2009, Seilmayer et al. 2014, Stefani et al. 2017), R_m და Lu პარამატრთა მნიშვნელობები იყო არასაკმარისი დინებაში მზა-ს აღსაგზნებად. ასეთ ექსპერიმენტებში მოხერხდა მხოლოდ სასაზღვრო ფენების და ასევე დანადგარის ქვედა და ზედა მბრუნავ სახურავებს შორის წარმოქმნილი წანაცვლებითი ფენის არამდგრადობის და ასევე ეგრეთ წოდებული ჰეკლიკალური მზა-ს დამზერა, რომელსაც ადგილი აქვს მცირე R_m -თვის და ჰელიკალური მაგნიტური ველის არსებობისას, რომელიც თვისობრივად სხვა არამდგრადობაა ვიდრე მზა (იხ. მიმოხილვა Ji & Goodman 2023). პრინსტონის ჯგუფის უახლესი ექსპერიმენტებში (Wang et al. 2022) რომელიც შედარებით მაღალი $R_m \leq 4.5$ -თვის იყო შესრულებული, თითქოსდა დადასტურებული იყო მზა-ს დეტექტირება, თუმცა ეს შედეგები არ არის ერთმნიშვნელოვანი და აქტიური დისკუსიის საგანს წარმოადგენს, რადგან წრფივი ანალიზის თანახმად დინება ასეთი R_m -თვის ასეთი ზოგადად უნდა იყოს მდგრადი, და ამიტომ, თუ არსებობს, მზა ასეთ ექსპერიმენტებში, ავტორების აზრით, სავარაუდოდ გამოწვეულია დანადგარის სასრული სიგრძის გამო არამდგრადობის ბიფურკაციის მოდიფიკაციით, რაც შესაძლებელს ხდის მის დადგომას უფრო მცირე R_m -თვის ვიდრე ეს თეორიიდან არის ცნობილი. ასევე რთულია ამის დადასტურება რიცხვითი სიმულაციების საშუალებით, რადგან ამ შრომაში ასეთი თვლები მხოლოდ რამდენიმე რიგით მცირე რეინოლდისის რიცხვებზეა $Re = 10^3$ შესრულებული, სადაც მზა-ს დინამიკა ფუნდამენტურად განსხვავდება ექსპერიმენტული შემთხვევისგან სადაც $Re \geq 10^6$.

მზა-ს დამზერის აუცილებლობამ ბიძგი მისცა ჰელმჰოლცის ცენტრში დრეზდენში 2012 წელს წამოეწყოთ მასშტაბური ექსპერიმენტის მშენებლობა (DRESDYN, Stefani et al. 2017). იგი წარმოადგენს 2მ. სიმაღლის და 2 სმ შიდა და 4 სმ გარე ცილინდრების რადიუსების ტეილორ-კუეტეს დანადგარს რომელიც ივსება თხევადი ნატრიუმით. ასეთი დიდი დანადგარის უპირატესობა პრინსტონის დანადგართან შედარებით არის ის, რომ მას შეუძლია საკმარისად დიდი R_m და Lu მინიშვნელობების მიღწევა, რომლებიც მზა-არამსგრადია. ამ დანადგარის საშუალებით პირველი მზა ექსპერიმენტები დაგეგმილია 2024 წლიდან. ჩვენი ჯგუფი (გ. მამაცაშვილის ხელმძღვანელობით) აქტიურად თანამშრომლობს ჰელმჰოლცის ცენტრთან ამ პროექტის ფარგლებში. ამ ამოცანაში ჩვენი მთავარი მიზანი იქნება ასეთი სასრული სიგრძის კონფიგურაციის ტეილორ-კუეტეს დინებაში მზა-ს კვლევა რიცხვითი სიმულაციების და ანალიზური მეთოდებით, მისი წრფივი და არაწრფივი დინამიკის ანალიზის გაკეთება, დადგომის კრიტერიუმის დადგენა (Lu, R_m)-სიბრტყეზე, გაჯერების და შემდგომი არაწრფივი ევოლუციის გამოკვლევა და შესაბამისი კუთხური მომენტის გადატანის გამოთვლა, იმ პარამეტრებისთვის, რომელიც შეესაბამება DRESDYN -ის ტეილორ-კუეტეს დინებას. ამ შემთხვევაში დანადგარის ქვემო და ზემო საზღვრებს დიდი მნიშვნელობა აქვს, რადგან როგორც ეს იყო ნაჩვენები მანამდე, მზა-ს დადგომის რეჟიმი დიდად არის დამოკიდებული სასაზღვრო ეფექტებზე (Gissinger et al 2012). აქ მიღებული თეორიული შედეგები მნიშვნელოვანი იქნება ასეთ

დანადგარის გამოყენებით მზა-ს ექსპერიმენტების დასაგეგმად და მიღებული მონაცემებში მზა-სიგნალის დეტექტირებისთვის და ინტერპრეტაციისთვის.

2.2. ციტირებული ლიტერატურა

- Bai X.-N., Stone J., ApJ, 2013, **769**, 76
- Balbus S., Hawley J., ApJ, 1991, **376**, 214
- Balbus S., Hawley J., Rev. Mod. Phys., 1998, **70**, 1
- Balbus S., Terquem C., ApJ, 2001, **552**, 235
- Chagelishvili G., Chanishvili R., Hristov T., Lominadze J., JETP, 2002, **94**, 434
- Chagelishvili G., Bodo G. and Trussoni E., Astron. & Astrophysics, 1996, 306, 329
- Desch S., ApJ, 2004, **608**, 509
- Fromang S., Papaloizou J., Lesur G., Heinemann T., A&A, 2007, **476**, 1123
- Fromang S., A&A Lett., 2010, **514**, 5
- Gammie C., ApJ, 1996, **457**, 355
- Gogichaishvili D., Chagelishvili G., Chanishvili R., Lominadze J., J. Plasma Phys., 2014, **80**, 667
- Gogichaishvili D., Mamatsashvili G., Horton W., Chagelishvili G., Bodo G., ApJ, 2017, **845**, 70
- Gogichaishvili D., Mamatsashvili G., Horton W., Chagelishvili G., ApJ, 2018, **866**, 134
- Gressel O., Turner N., Nelson R., McNally C., ApJ, 2015, **801**, 84
- Hawley J., Gammie C., Balbus S., ApJ, 1995, **440**, 742
- Held L., Latter H., MNRAS, 2018, **480**, 479
- Held L., Mamatsashvili G., MNRAS, 2022, **517**, 2309
- Horton W., Kim J.-H., Chagelishvili G., Bowman J., Lominadze J., Phys. Rev E., 2010, **81**, 066304
- Kavtaradze M., Mamatsashvili G., Chagelishvili G., ComBAO, 2023, **70**, 152
- Klahr H., Bodenheimer P., ApJ, 2003, **582**, 869
- Klahr H., Hubbard A., ApJ, 2014, **788**, 21
- Kunz M., Balbus S., MNRAS, 2004, **348**, 355
- Lesur G., Longaretti P.-Y., MNRAS, 2007, **378**, 1471
- Lesur G., Ogilvie G., MNRAS, 2010, **404**, L64
- Lesur G., Papaloizou J., A&A, 2010, **513**, 60
- Lesur G., Longaretti P.-Y., A&A, 2011, **528**, 17
- Lesur G., Kunz M., Fromang S., A&A, 2014, **566**, 56
- Lesur G., Latter H., MNRAS, 2016, **462**, 4549
- Lesur G., J. Plasma Phys., 2021, **87**, id.:205870101
- Longaretti P.-Y., Lesur G., A&A, 2010, **516**, 51
- Mamatsashvili G., Gogichaishvili D., Chagelishvili G., Horton W., Phys. Rev. E., 2014, **89**, 043101
- Mamatsashvili G., Khujadze G., Chagelishvili G., Dong S., Jimenez J., Hoysi F., Phys. Rev. E, 2016, **94**, 023111
- Mamatsashvili G., Chagelishvili G., Pessah M., Stefani F., Bodo G., ApJ, 2020, **904**, 47

Marcus P., Pei S., Jiang C., et al., ApJ, 2015, **808**, 87
 Meheut H., Fromang S., Lesur G., Joos M., Longaretti P.-Y., A&A, 2015, **579**, 117
 Nauman F., Pessah M., ApJ, 2016, **833**, 187
 Nelson R., Gressel O., Umurhan O., MNRAS, 2013, **435**, 2610
 Oishi J., Mac Low M.-M., ApJ, 2011, **740**, 18
 Pfeil T., Klahr H., ApJ, 2019, **871**, 150
 Sano T., Miyama S., ApJ, 1999, **515**, 776
 Simon J., Hawley J., ApJ, 2009, **707**, 833
 Simon J., Hawley J., Beckwith K., ApJ, 2011, **730**, 94
 Simon J., Bai X.-N., Stone J., Armitage P., Beckwith K., ApJ, 2013, **764**, 66
 Teed R., Latter H., MNRAS, 2021, **507**, 5523

2.3. სამუშაოს მოცულობა. როგორც მოხსენიებულია შესავალში, წარმოდგენილი პროექტი შედგება სამი ამოცანისაგან:

- (1) მზის ქარის ტიპის ბრტყელი ასტროფიზიკური წანაცვლებითი დინებების დინამიური აქტიობის ფუნდამენტური - წრფივი და არაწრფივი - მოვლენების შესწავლა;
- (2) წრფივი და არაწრფივი პროცესების ნატიფი ურთიერთმოქმედებით ტურბულენტობის თვითშენარჩუნება ჰოლის ეფექტისა და ამბიპოლარული დიფუზიით განპირობებულ არაიდეალურ მაგნიტოჰიდროდინამიურ პროტოპლანეტურ დისკოებში;
- (3) მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობის კვლევა სასრული სიმაღლის ცილინდრულ ტეილორ-კუეტეს დინებებში -- წრფივი და არაწრფივი დინამიკა და დამზერადობა DRESHDYN ექსპერიმენტის ფარგლებში

2.4. პროექტის ფარგლებში შესასრულებელი ამოცანები

თითოეული ამოცანის მიზანი მოცემული არის მათ სათაურში. თითოეული ამოცანის შესრულებას დასჭირდება ორი-სამი წელი იმისაგან დამოკიდებულებით, თუ რამდენად შესაძლებელი იქნება რიცხვითი თვლების ჩატარება. ცხადია, ამ ამოცანების შესრულება მოხდება პარალელურ რეჟიმში.

ამოცანა 1. მზის ქარის ტიპის ბრტყელი ასტროფიზიკური წანაცვლებითი დინებების დინამიური აქტიობის ფუნდამენტური - წრფივი და არაწრფივი - მოვლენების შესწავლა

ამოცანის მიზანი: ბრტყელი ასტროფიზიკური წანაცვლებითი დინებების დინამიური აქტიობის ფუნდამენტური - წრფივი და არაწრფივი - მოვლენების შესწავლა

სამუშაოს აღწერა: რიცხვითი კოდის SNOOPY-ის საშუალებით მოხდება ბრტყელი ასტროფიზიკური წანაცვლებითი დინებების არაწრფივი დინამიური განტოლებების ამოხსნა და წრფივი და არაწრფივი მოვლენების ურთიერთმოქმედების შესწავლა კვაზისტაციონალური ტურბულენტობის პირობებში. გარკვეული იქნება დინების რასსწვრივი გარე მაგნიტური ველის ზღვრული მნიშვნელობა, რომლისათვისაც ტურბულენტობა ქრება.

მოსალოდნელი შედეგი: შესწავლილ იქნება ბრტყელი ასტროფიზიკური წანაცვლებითი დინებების დინამიური აქტიობის ფუნდამენტური - წრფივი და არაწრფივი - მოვლენების

ურთიერთზემოქმედება და კვაზისტაციონალური ტურბულენტობის განმაპირობებელი ფაქტორები.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ.

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 3 სტატია მაღალ-რეიტინგულ ასტროფიზიკურ ჟურნალებში

ამოცანა 2. წრფივი და არაწრფივი პროცესების ნატიფი ურთიერთმოქმედებით ტურბულენტობის თვითშენარჩუნება ჰოლის ეფექტისა და ამბიპოლარული დიფუზიით განპირობებულ არაიდეალურ მაგნიტოჰიდროდინამიურ პროტოპლანეტურ დისკოებში

ამოცანის მიზანი: წრფივი და არაწრფივი პროცესების ნატიფი ურთიერთმოქმედებით ტურბულენტობის თვითშენარჩუნების შესწავლა ჰოლის ეფექტისა და ამბიპოლარული დიფუზიით განპირობებულ არაიდეალურ მაგნიტოჰიდროდინამიურ პროტოპლანეტურ დისკოებში

სამუშაოს აღწერა: რიცხვითი კოდის SNOOPY-ს საშუალებით მოხდება წრფივი და არაწრფივი პროცესების ნატიფი ურთიერთმოქმედებით ტურბულენტობის თვითშენარჩუნების შესწავლა ჰოლის ეფექტისა და ამბიპოლარული დიფუზიით განპირობებულ არაიდეალურ მაგნიტოჰიდროდინამიურ პროტოპლანეტურ დისკოებში.

მოსალოდნელი შედეგი: შესწავლილი იქნება წრფივი და არაწრფივი პროცესების ნატიფი ურთიერთმოქმედებით ტურბულენტობის თვითშენარჩუნება ჰოლის ეფექტისა და ამბიპოლარული დიფუზიით განპირობებულ არაიდეალურ მაგნიტოჰიდროდინამიურ პროტოპლანეტურ დისკოებში. გარკვეული იქნება ჰოლის ეფექტისა და ამბიპოლარული დიფუზიის პარამეტრების მნიშვნელობების არეალი, რომლის პირობებშიც იქმნება ტურბულენტობის ოპტიმალური რეჟიმი.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წწ.

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 3 სტატია მაღალ-რეიტინგულ ასტროფიზიკურ ჟურნალებში

ამოცანა 3. მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობის კვლევა სასრული სიმაღლის ცილინდრულ ტეილორ-კუეტეს დინებებში -- წრფივი და არაწრფივი დინამიკა და დამზერადობა DRESHDYN პროექტის ფარგლებში

ამოცანის მიზანი: მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობის, რომელიც ერთერთი მნიშვნელოვანი არამდგრადობაა ასტროფიზიკურ დისკოებში, წრფივი დინამიკის (დადგომის კრიტერიუმის და ზრდის ტემპი) და არაწრფივი ევოლუციის შესწავლა სასრული სიგრძის ტეილორ-კუეტეს დინებაში. ასეთი დინება წარმოადგენს დისკური დინების კარგ ლაბორატორიულ მოდელს და შესაბამისად მისი წინასწარი თეორიული და შემდგომ ექსპერიმენტული ანალიზი DRESHDYN ექსპერიმენტის ფარგლებში საშუალებას მოგვცემს ასტროფიზიკურ დისკოებში მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობის იმ თვისებების და გადატანითი მოვლენების შესწავლას, რაც ვერ ხერხდება დაკვირვებითი მონაცემების არასაკმარისი გარჩევადობის გამო, რადგან ასეთი მოვლენების მახასიათებელი ზომა სადარია დისკოს ვერტიკალური სისქის და გაცილებით მცირეა მის რადიუსზე.

სამუშაოს აღწერა: რიცხვითი კოდის SFEMANS-ს საშუალებით მოხდება სასრული სიმაღლის ტაილორკუეტეს დინებაში მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობის რიცხვითი მოდელირება (სიმულაცია) გარე აქსიალური მაგნიტურ ველის პირობებში რეინოლდსის და მაგნიტური რეინლდსის და ასევე მაგნიტური ველის სიდიდის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის. ჩვენ განვიხილავთ ორ ძირითად რეჟიმს: მცირე ველებისთვის როცა სისტემა მდგრადია მაგნეტოარამდგრადობის მიმართ, მაგრამ დინების ცალკეული უბნები, როგორცაა სასაზღვრო ფენა

კედლებთან და ასევე წანაცვლებითი ფენა ზედა და ქვედა საზღვრებთან. ასევე განვიხილვით უფრო ძლიერ ველებს, რომლებიც აღძრავენ მაგნეტობრუნვით არამდგრადობას დინებაში.

მოსალოდნელი შედეგი: შევისწავლით მცირე და ძლიერი მაგნიტური ველის პირობებში მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობის არაწრფივ დამყარებულ მდგომარეობის სივრცულ სტრუქტურას და სასაზღვრო ფენების გავლენას მის დინამიკაზე და გაჯერებაზე. გამოვთვლით ასეთ დამყარებულ მდგომარეობაში შეშფოთებული სიჩქარის და მაგნიტური ველის ამპლიტუდებს დინების მახასიათებელი პარამეტრების სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის. ასეთი წინასწარი/მოსამზადებელი თეორიული კვლევა და მიღებული რაოდენობრივი შედეგები, რომლებიც იქნება მოსალოდნელი DRESBYN ექსპერიმენტში, იქნება მნიშვნელოვანი ასეთი ექსპერიმენტების დაგეგმვისთვის, შესრულებისთვის, და მიღებული მონაცემების სწორი ინტერპრეტაციისთვის.

შესრულების პერიოდი: 2024-2028 წლები

საანგარიშო მასალა: მინიმუმ 3 სტატია მაღალ რეიტინგულ ჟურნალებში

2.5. მოსალოდნელი საბოლოო შედეგები და მათი გამოყენება

პროექტის ფარგლებში შესასწავლი ამოცანები მოიცავენ არაერთგვაროვან ასტროფიზიკური დინებებში (მზის ქარი, სხვადასხვა-მასშტაბოვანი ასტროფიზიკური დისკოები და დისკოს მსგავსი ტეილორ-კუეტეს დინება) მიმდინარე წრფივ და არაწრფივ პროცესებს. მათი შესწავლით მივიღებთ მკაფიო წარმოდგენას ასეთ ასტროფიზიკურ არაერთგვაროვან დინებებში წრფივი და არაწრფივი პროცესების ნატიფი ერთობლივი მოქმედებით ტურბულენტობის შენარჩუნებისა და კოჰერენტური სტრუქტურების ფორმირების შესახებ. იღებული შედეგები გამოვლინდება ასტრონომიული ობიექტების დამზერის დროს. ასევე მაგნეტობრუნვითი არამდგრადობის თეორიული კვლევა დისკოს მოდელურ ტეილორ-კუეტეს დინებაში იქნება მნიშვნელოვანი შესაბამისი ექსპერიმენტების მოსამზადებლად და შედეგების ინტერპრეტაციისთვის. ასეთი ექსპერიმენტები იგეგმება და ახლო მომავალში ამოქმედდება ქალაქ დრეზდენში, ჰემპოლცის ცენტრში, სადაც ჩვენი ჯგუფი აქტიურად თანამშრომლობს და ამ კვლევებში იღებს მონაწილეობას.

**XVI. სსიპ საქართველოს ევგენი ხარაძის ეროვნული ასტროფიზიკური
ობსერვატორიის 2024 – 2028 წლების სამეცნიერო-კვლევითი პროგრამის
ბიუჯეტი**

	2024 წ.	2025 წ.	2026 წ.	2027 წ.	2028 წ.	სულ
კომპიუტერული, საოფისე და სხვა ტექნიკა	72 500	33 599	16 469	9 200	2 000	133 768
საკანცელარიო საქონელი, მცირე-ფასიანი საოფისე ტექნიკა და აქსესუარები	4 766	3 000	3 100	2 450	2 150	15 466
მივლინებები ქვეყნის გარეთ	5 000	21 000	16 000	34 400	29 500	105 900
სულ	82 266	57 599	35 569	46 050	33 650	255 134

პროგრამაში მონაწილე თანამშრომელთა ანაზღაურება განისაზღვრება შესაბამისი წლის სამტატო განრიგით.