

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

ვლადიმერ ჭავჭავაძის სახელობის

კიბერნეტიკის ინსტიტუტი

2023 წლის სამეცნიერო მუშაობის ანგარიში

თბილისი

2023

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის
სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის**

შეფასების წესი

მუხლი 1. ზოგადი დებულებები

1. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (შემდგომში - კვლევითი ერთეული) სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის შეფასების წესი (შემდგომში - წესი) შემუშავებულია „უმაღლესი განათლების შესახებ“ საქართველოს კანონის, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის (შემდგომში - უნივერსიტეტი) წესდების, უნივერსიტეტში მოქმედი სხვა სამართლებრივი აქტებისა და სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის შეფასების საერთაშორისო სტანდარტების საფუძველზე.

მუხლი 2. სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შეფასების კრიტერიუმები

1. კვლევითი ერთეულის სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის შეფასება ხორციელდება შემდეგი ძირითადი კრიტერიუმების მიხედვით:

ა) პროგრამული (სახელმწიფო, საუნივერსიტეტო, საფაკულტეტო) დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის შემთხვევაში);

ბ) სამეცნიერო ან სასწავლო ერთეულის პერსონალის მიერ შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (უნივერსიტეტის სასწავლო ერთეულის შემთხვევაში);

გ) პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის შემთხვევაში);

დ) შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები;

ე) უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები;

ვ) პატენტები;

ზ) ბეჭდური/ელექტრონული სამეცნიერო პროდუქციის გამოცემა საქართველოში (მონოგრაფიები/წიგნები; სახელმძღვანელოები; კრებულები; სამეცნიერო სტატიები);

თ) ბეჭდური/ელექტრონული პროდუქციის გამოცემა საზღვარგარეთ (მონოგრაფიები/წიგნები; სახელმძღვანელოები; კრებულები; სტატიები);

ი) სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა (საქართველოში; საზღვარგარეთ);

კ) კვლევის შედეგების კომერციალიზაციის პოტენციალი;

ლ) საექსპერტო მოღვაწეობა;

მ) ახალგაზრდა მეცნიერთა სამეცნიერო მუშაობის ხელშეწყობა;

ნ) სამეცნიერო ნაშრომების მეცნიერომეტრიული მონაცემები და მკვლევართა სამეცნიერო პროდუქტიულობის მაჩვენებელი.

2. ამ მუხლის პირველი პუნქტით განსაზღვრული კრიტერიუმების მიხედვით, კვლევითი ერთეულების სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის შეფასება ხორციელდება თითოეული კრიტერიუმის ფარგლებში გაერთიანებული რაოდენობრივი (სტატისტიკური) და თვისებრივი (დარგობრივი სპეციფიკის შესაბამისი) მონაცემების შესწავლითა და შეფასებით.

მუხლი 3. სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შეფასების განმახორციელებელი სუბიექტი

1. კვლევითი ერთეულების სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შეფასებას ახორციელებს სპეციალური დარგობრივი კომისია/კომისიები (შემდგომში - დარგობრივი კომისია), რომლის შემადგენლობა, არანაკლებ ხუთი წევრით, კომპლექტდება უმაღლესი რანგის მეცნიერ-მკვლევრებისგან. დარგობრივი კომისიის შემადგენლობაში, სასურველია, შედიოდეს შესაბამისი დარგის უცხოელი მეცნიერი/ექსპერტი.

2. დარგობრივი კომისიის შემადგენლობას განსაზღვრავს კვლევითი ერთეულის სამეცნიერო საბჭო (ფაკულტეტის შემთხვევაში - ფაკულტეტის საბჭო) და დასამტკიცებლად წარუდგენს უნივერსიტეტის აკადემიურ საბჭოს.

3. დარგობრივი კომისია შეფასებას ახორციელებს წინამდებარე წესის #1 დანართით განსაზღვრული ფორმით წარდგენილი თვითშეფასების ანგარიშ(ებ)ის შესწავლის შედეგად მიღებული გადაწყვეტილებების საფუძველზე.

4. დარგობრივი კომისია არ შეიძლება დაკომპლექტდეს მხოლოდ თვითშეფასების აქტივობებში თანამონაწილე პირებით.

5. დარგობრივი კომისიის მუშაობა ხორციელდება სხდომებზე, რომელიც გადაწყვეტილებაუნარიანია, თუ სხდომაში მონაწილეობს წევრთა ნახევარზე მეტი და გადაწყვეტილებები მიიღება ხმათა უბრალო უმრავლესობით.

მუხლი 4. სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შეფასების ინსტრუმენტები და შეფასების პროცედურა

1. კვლევითი ერთეულ(ებ)ის მიერ წარდგენილ თვითშეფასების ანგარიშში ასახული უნდა იყოს სამეცნიერო მუშაობის აღწერა, როგორც რაოდენობრივი, ისე თვისებრივი მონაცემებით. სტანდარტიზებული თვითშეფასების ანგარიშის ფორმა, აგრეთვე, მოიცავს კვლევითი საქმიანობის დარგობრივი სპეციფიკის აღმწერ ნაწილს.

2. კვლევითი ერთეული, ყოველწლიურად ავსებს თვითშეფასების ანგარიშს და არაუგვიანეს საანგარიშო წლის 25 დეკემბრისა წარუდგენს უნივერსიტეტის მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტს.
3. კვლევითი ერთეულის მიერ წარმოდგენილი თვითშეფასების ანგარიშ(ებ)ი, მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტის მიერ შეფასებისთვის ეგზავნება დარგობრივ კომისიებს, მიღებიდან 15 კალენდარული დღის ვადაში.
4. დარგობრივი კომისია, მიღებული თვითშეფასების ანგარიშ(ებ)ის შესწავლის საფუძველზე, წერს შეფასებას წინამდებარე წესის #1 დანართით განსაზღვრული რაოდენობრივი და თვისებრივი კრიტერიუმების მიხედვით და არაუგვიანეს საანგარიშო წლის 15 ივნისისა და წარუდგენს მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტს, საქმისწარმოების დადგენილი წესით. შეფასება, აგრეთვე, შეიძლება მოიცავდეს დარგობრივი კომისიის რეკომენდაციებს.
5. დარგობრივი კომისიის შეფასება, მათ შორის შემუშავებული რეკომენდაციები (არსებობის შემთხვევაში), წარმოდგენიდან 5 სამუშაო დღის ვადაში, მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტის მიერ გადაეცემა შესაბამის სამეცნიერო-კვლევით ერთეულს და უნივერსიტეტის ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურს.
6. უნივერსიტეტის მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტი, ამ მუხლის მე-2 და მე-4 პუნქტებით განსაზღვრული ინფორმაციის საფუძველზე, აწარმოებს ერთიან საუნივერსიტეტო მონაცემთა ბაზას.

მუხლი 5. დარგობრივი კომისიის მუშაობის წესი

1. დარგობრივი კომისია მუშაობას ახორციელებს სხდომების მეშვეობით. სხდომა იმართება საჭიროების შესაბამისად.
2. დარგობრივი კომისია კომისიის წევრთაგან ირჩევს კომისიის თავმჯდომარეს და მდივანს.
3. კომისიის თავმჯდომარე:
 - ა) იწვევს და ხელმძღვანელობს დარგობრივი კომისიის სხდომებს;
 - ბ) ითანხმებს სხდომის დღის წესრიგს;
 - გ) საჭიროების შემთხვევაში, განსახილველ საკითხთან დაკავშირებით იწვევს დარგის სპეციალისტს/ექსპერტს;
 - დ) დარგობრივი კომისიის მიერ დაკისრებული ფუნქციების შესრულების უზრუნველსაყოფად, ახორციელებს სხვა საჭირო ღონისძიებებს.
4. კომისიის მდივანი უზრუნველყოფს:
 - ა) სხდომების მოწვევის ორგანიზებას;
 - ბ) თავმჯდომარესთან შეთანხმებული დღის წესრიგის და შესაბამისი დოკუმენტაციის კომისიის წევრებისათვის მიწოდებას;
 - გ) სხდომის ოქმის წარმოებას.

5. სხდომას ხსნის და დახურულად აცხადებს სხდომის თავმჯდომარე.

6. სხდომა უფლებამოსილია, თუ მას ესწრება წევრთა ნახევარზე მეტი. დარგობრივი კომისიის გადაწყვეტილება მიიღება ღია კენჭისყრით, დამსწრე წევრთა უმრავლესობის მხარდაჭერით. კომისიის წევრს უფლება აქვს თავისი განსხვავებული აზრი (ასეთის არსებობის შემთხვევაში) დაურთოს ოქმს, რის შესახებაც ოქმში კეთდება შესაბამისი ჩანაწერი.

7. კომისიის სხდომა ფორმდება ოქმით, რომელსაც ხელს აწერს თავმჯდომარე და მდივანი.

8. კომისიის მდივანი უზრუნველყოფს დარგობრივი კომისიის წევრებისთვის სხდომის გამართვის თარიღის, დროისა და ადგილის შესახებ ინფორმაციის მიწოდებას, არა უგვიანეს 7 დღისა.

9. დარგობრივი კომისიის წევრი ვალდებულია შეფასების პროცედურის დაწყებამდე, წინასწარ განაცხადოს ყველა იმ გარემოების თაობაზე, რომელმაც შეიძლება მას ხელი შეუშალოს შეფასების პროცედურის ობიექტურად წარმართვასა და გადაწყვეტილების მიუკერძოებლად გამოტანაში და მოითხოვოს თვითაცილება.

მუხლი 6. დასკვნითი დებულებები

წინამდებარე წესში ცვლილებების და/ან დამატებების შეტანა ხორციელდება უნივერსიტეტის ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურის წარდგინების საფუძველზე გამოცემული უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს დადგენილებით.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის/ფაკულტეტის
დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის სამეცნიერო-
კვლევითი საქმიანობის
თვითშეფასების ფორმა**

დაწესებულების სახელწოდება	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ორგანიზაციულ-სამართლებრივი ფორმა	საჯარო სამართლის იურიდიული პირი
დაწესებულების სახე	უნივერსიტეტი
საიდენტიფიკაციო კოდი	211349192
სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის/ფაკულტეტის სახელწოდება (ქართულ და ინგლისურ ენებზე)	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ვლადიმერ ჭავჭავაძის სახელობის კიბერნეტიკის ინსტიტუტი Vladimer Chavchanidze Institute of Cybernetics of The GTU

საუნივერსიტეტო	საუნივერსიტეტო
☐	
საფაკულტეტო	☐
მისამართი (ქუჩა, №, ქალაქი/მუნიციპალიტეტი, საფოსტო ინდექსი, ქვეყანა)	ზურაბ ანჯაფარიძის ქ. № 5, თბილისი, 0186, საქართველო
დაწესებულების ელ-ფოსტა	info@cybernetics.ge
ხელმძღვანელი	თამაზ სულაბერიძე
მობილური ტელეფონი	599237775
ელ-ფოსტის მისამართი	tamaz.sulaberidze@gtu.ge

ანგარიშის ფორმა №1

(სსიპ სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულებებისა და უნივერსიტეტთან არსებული დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულებებისთვის)

2023 წელს გაწეული სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის ანგარიში

სსიპ სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულების (ინსტიტუტის/ცენტრის) ან უნივერსიტეტთან არსებული დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულების (ინსტიტუტის/ცენტრის) დასახელება:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ვლ. ჭავჭავაძის სახ.
კიბერნეტიკის ინსტიტუტი

მათემატიკური კიბერნეტიკის განყოფილება (განყოფილების უფროსი –
ფიზ. მათ. მეცნ. დოქტორი გრიგორ გიორგაძე)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით
1. კვანტური სისტემების მართვის მათემატიკური და კვანტური გამომთვლელის ელემენტარული გეიტების ბაზისის აგების ამოცანები. (მათემატიკა, ინფორმაციული ტექნოლოგიები).

2. პროექციულობა და უნიფიკაცია მონადიკური MV-ალგებრების მრავალსახეობებში, რომლის MV-რედუქტი ემთხვევა კომორის ჯაჭვისებურ MV-ალგებრების მიერ წარმოქმნილ მრავალსახეობებს. (მათემატიკა, კომპიუტერული მეცნიერებები; მათემატიკური ლოგიკა, ალგებრა)

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

2. 2023 -2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. მათემატიკური კიბერნეტიკის განყ. თანამშრომლები: გ.გიორგაძე (ხელმძღვანელი), გ.ბოლოთაშვილი; გ.დონაძე, გ.ფრუიძე, ვაგნერ ჯიქია (უზრუნველყოფენ პროექტის

მათემატიკურ ნაწილს) მ.ელიზბარაშვილი, ვ.ჟღამაძე (მონაწილეობენ ფიზიკური ნაწილის დამუშავებაში) გოშაძე, ნ. ჩხიკვაძე (პროგრამისტები)

2. მათემატიკური კიბერნეტიკის განყ. თანამშრომლები: რევაზ გრიგოლია (ხელმძღვანელი), რამაზ ლიპარტელიანი (შემსრულებელი), ფრიდონ ალშიბაია (შემსრულებელი)

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

***შენიშვნა:** ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ*

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1.კვანტური სისტემების მართვის მათემატიკური და კვანტური გამომთველის ელემენტარული გეიტების ბაზისის აგების ამოცანები. (მათემატიკა, ინფორმაციული ტექნოლოგიები).

2. პროექციულობა და უნიფიკაცია მონადიკური MV-ალგებრების მრავალსახეობებში, რომლის MV-რედუქტი ემთხვევა კომორის ჯაჭვისებურ MV-ალგებრების მიერ წარმოქმნილ მრავალსახეობებს. (მათემატიკა, კომპიუტერული მეცნიერებები; მათემატიკური ლოგიკა, ალგებრა)

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

2. 2023 -2027

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. მათემატიკური კიბერნეტიკის განყ. თანამშრომლები: გ.გიორგაძე (ხელმძღვანელი), გ.ბოლოთაშვილი; გ.დონაძე, გ.ფრუიძე, ვაგნერ ჯიქია (უზრუნველყოფენ პროექტის მათემატიკურ ნაწილს) მ.ელიზბარაშვილი,, ვ.ჟღამაძე (მონაწილეობენ ფიზიკური ნაწილის დამუშავებაში) გოშაძე, ნ. ჩხიკვაძე (პროგრამისტები)

2. მათემატიკური კიბერნეტიკის განყ. თანამშრომლები: ფიზ.მათ. მეცნ.დოქტორი რევაზ გრიგოლია (ხელმძღვანელი), რამაზ ლიპარტელიანი (შემსრულებელი), ფრიდონ ალშიბაია (შემსრულებელი)

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. მიღებული იქნა კვანტური სისტემების წონასწორობის პირობები სიბრტყეზე და წრფეზე განლაგებული წერტილოლოვანი მუხტებისათვის. ეს მოდელი შეესაბამება ჩაჭერილი იონების ტექნოლოგიას, რომელიც კარგად არის ცნობილი ფიზიკურ სამეცნიერო ლიტერატურაში.

2. შემოღებულია ახალი ალგებრა $(A, \otimes, \oplus, *, \sqcap, 0, 1)$, რომელსაც ეწოდება LPG-ალგებრა, სადაც $(A, \otimes, \oplus, *, 0, 1)$ არის LP-ალგებრა (ანუ ალგებრათა მრავალსახეობა, რომელიც წარმოქმნილია სრულყოფილი MV-ალგებრებით) და $(A, \sqcap, 0, 1)$ არის გოედელის ალგებრა (ანუ ჰეიტინგის ალგებრა, რომელიც აკმაყოფილებს ტოლობას $(x \sqcap y) \vee (y \sqcap x) = 1$). LPG -ალგებრის $(A, \otimes, \oplus, *, \sqcap, 0, 1)$ კონგრუენციების მესერი იზომორფულია სკოლემის ფილტრების მესერთან (ანუ სპეციალური ტიპის MV-ალგებრის $(A, \otimes, \oplus, *, 0, 1)$ MV-ფილტრებს). LPG -ალგებრების მრავალსახეობა LPG წარმოიქმნება $(C, \otimes, \oplus, *, \sqcap, 0, 1)$ ალგებრების მიერ, სადაც $(C, \otimes, \oplus, *, 0, 1)$ არის ჩანგის MV-ალგებრა. ნებისმიერი LPG -ალგებრა არის ბი-ჰეიტინგის ალგებრა. LPG ლოგიკის თეორემების სიმრავლე რეკურსიულად გადათვლილია. უფრო მეტიც, ჩვენ აღწერთ სასრულ წარმოქმნილ თავისუფალ LPG -ალგებრებს.

3. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

3.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი
1. ცოდნის ოპერატორის მქონე სრულყოფილი ლუკასევიჩის ლოგიკა და მისი გამოყენება იმუნურ სისტემაში; (მათემატიკა, ლოგიკა, STEM-22- 2186)

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2024

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. რევაზ გრიგოლია (ხელმძღვანელი), რამაზ ლიპარტელიანი (შემსრულებელი), თამარ ცერცვაძე (შემსრულებელი), თეკლე ყალიჩავა (შემსრულებელი);

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. აქსიომატიკურად განსაზღვრულია ეპისტემიკური ლოგიკა, რომელიც გამოყენებადია იმუნურ სისტემაში. შემოღებულია ახალი ლოგიკა — მოდალური ეპისტემიკური ლუკასევიჩის ლოგიკა, რომელიც უსასრულო-ნიშნა ლოგიკის გაფართოებაა, რომლის ენა გამდიდრებულია უნარული კავშირით, რომელიც ინტერპრეტირებულია როგორც ეპისტემიკური ოპერატორი (ცოდნა და კვაზი-ცოდნა).

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

6.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

1. G.Giorgadze, V.Jikia.

2. G.Giorgadze, G.Kakulashvili
3. G. Donadze, T. Pirashvili
4. G. Bolotashvili

2) სტატიის სათაური, ISSN

1. The Regular Coulomb functions. ISSN 1512-004X
2. On the Heun Equation Induced from Schwarz-Cristoffel Mapping, ISSN 1512-0082
3. On low dimensional cohomology of crossed module, ISSN 2667 – 9930
4. Solving the Linear Ordering Problem Using the Facets (NP=P), ISSN - 0132 - 1447

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Proc.I.Vekua Institute of Appl. Math. Vol. 73
2. Bulletin of TICMI, Vol. 27, No. 2, pp. 99–105
3. Advanced Studies: Euro-Tbilisi Mathematical Journal 16(4)), pp. 143-173
4. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., vol. 17, no. 1

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. TSU press
2. TSU press
3. Tbilisi Center for Mathematical Sciences
4. Georg. Natl. Acad. Sci.

5) გვერდების რაოდენობა

1. 13 გვ.
2. 7 გვ.
3. 31 გვ.
4. 10 გვ.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. მიღებულია კულონური პოტენციალი, რომელიც შეესაბამება უწყვეტ სპექტრს. ეს პოტენციალი აკმაყოფილებს შემოფარების განტოლებას ორი ნაწილაკისათვის.
2. ნაჩვენებია, რომ შვარც-კრისტოფელის ასახვა, რომელიც ზედა ნახევარსიბრტყეს ასახავს ოთხკუთხედში, არის ჰოინის განტოლების ამონახსნი. მოყვანილია ანალიზური ფორმულა, რომელიც განსაკუთრებულ წერტილს აკავშირებს განტოლების აქსესორულ პარამეტრთან.
3. ნაჩვენებია, რომ ჯვარედინ მოდულზე მოდულების კატეგორიას გააჩნია საკმაოდ ბევრი პროექციული ობიექტები. აგებულია კოჟაჟევის კომპლექსი, რომელიც ითვლის ჯვარედინი მოდულების კოჰომოლოგიებს ნულოვან, პირველ და მეორე განზომილებებში. მოყვანილია მაგალითი, რომელიც გვიჩვენებს, რომ მეორე განზომილებაში ჯვარედინი მოდულების კოჰომოლოგია არ მოიცემა ექსტ-ფუნქტორის საშუალებით.
4. განვიხილავთ წრფივი გადაადგილებების ამოცანას, როგორც წრფივი მთელრიცხვა პროგრამირების ამოცანას. წრფივი პროგრამირების ამოცანის ამოხსნისას არამთელი

ამონახსნის მიღების შემთხვევაში ვპოულობთ ყველა აუცილებელ ფასეტურ კვეთებს პოლინომიური ალგორითმის გამოყენებით. შემდეგ, ჩვენ ვამატებთ მიღებულ ფასეტურ უტოლობებს წრფივი პროგრამირების ამოცანას და კვლავ ვხსნით. ამოცანის ამოხსნის ასეთი მიდგომა გრძელდება მანამ, სანამ არ მივიღებთ მთელ ამოხსნას. ყოველ ჯერზე, ჩვენ ვპოულობთ ყველა აუცილებელ ფასეტურ კვეთებს პოლინომიური ალგორითმის გამოყენებით. მაშასადამე, მივიღებთ პოლინომიურ ალგორითმს წრფივი გადაადგილებების ამოცანისთვის.

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. Giorgadze, G., Khimshiashvili, G.
2. Kakulashvili G.
3. Makatsaria, G., Manjavidze, N.
4. N. Fokina, M. Elizbarashvili
5. Di Nola, A., Grigolia, R. & Vitale, G.

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. Three-Point Charges on a Flexible Arc. <https://doi.org/10.1007/s10958-023-06711-8>
2. Schwarz-Christoffel Mapping and Generalised Modulus of a Quadrilateral., https://doi.org/10.1007/978-3-031-36375-7_29
3. Analysis of BVP for Some Elliptic Systems on a Complex Plane, DOI: 10.1007/978-3-031-36375-7_17
4. Broadening of Maser Emission Line by the Limit Cycle Arising Due to the Stark dynamical frequency shift of spin triplet levels, ISBN: 978-1-955094-52-8
5. Involutive symmetric Gödel spaces, their algebraic duals and logic, <https://doi.org/10.1007/s00153-023-00866-6>

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. J Math Sci 275, 712–717
2. Analysis, Applications, and Computations. ISAAC 2021. Trends in Mathematics. Kähler, U., Reissig, M., Sabadini, I., Vindas, J. (eds) Birkhäuser, Cham.
3. Analysis, Applications, and Computations. ISAAC 2021. Trends in Mathematics. Kähler, U., Reissig, M., Sabadini, I., Vindas, J. (eds) Birkhäuser, Cham.
4. 9th International New York conference on evolving trends in interdisciplinary research & practices, Proceedings book, pp. 16-24 (2023)
5. Arch. Math. Logic, 62, pp. 789 – 809, (2023).

4) გვერდების რაოდენობა

1. 6 გვ.
2. 8 გვ.

3. 8 გვ.
4. 9. გვ.
5. 20

გრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. შესწავლილია ელასტიურ ერთგანზომილებიანი შეკრული წირის ფორმის ობიექტზე განთავსებული დამუხტული ნაწილაკების წონასწორული კონფიგურაციები.
2. მიღებულია ცხადი ფორმულა ოთხკუთხედის კონფორმული მოდულის გამოსათვლელად ჰიპერგეომეტრიული ფუნქციების საშუალებით.
3. შესწავილია ზოგიერთი არარეგულარული ელიფსურ განტოლებათა სისტემებისათვის ამონახსნთა ყოფაცევა არის საზღვარზე.
4. ამ კვლევის მიზანი იყო შემდეგი საკითხის გარკვევა: შეიძლება თუ არა ზღვრული ციკლის (ზც) გამოჩენამ გამოიწვიოს მაზერის სტაციონარული გამოსხივების ხაზის გაფართოება? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჩვენ ვივარაუდეთ, რომ მაზერის გამომავალმა სიმძლავრემ შეიძლება გავლენა მოახდინოს თვით გამომსხივებელ ნიმუშზე. ეს ეფექტი მსგავსია გარე ელექტრომაგნიტური ველის გამომსხივებელ ნიმუშზე ზემოქმედების ეფექტის, რომელიც იწვევს სიხშირის შტარკის დინამიურ წანაცვლებას. არაწრფივი დინამიკის მეთოდების გამოყენებით, ჩვენ ჩავატარეთ ბიფურკაციული ანალიზი არაწრფივი ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებების სისტემის, რომელიც აღწერს გამოსხივებას ტრიპლეტურ მდგომარეობებიდან შტარკის ეფექტის გათვალისწინებით. აღმოჩნდა, რომ ინვერტირებული გადასვლის სიხშირიდან მაზერის რეზონატორის სიხშირის აშლის გარკვეული მნიშვნელობების დროს სისტემას აქვს არამდგრადი უნაგირ-კვანძოვანი სინგულარული წერტილი მდგრადი კვანძოვანი სექტორით. ამ აშლის თვითნებურად მცირე შემცირების შედეგად ადგილი აქვს უნაგირ-კვანძოვან ბიფურკაციას — უნაგირ-კვანძოვანი წერტილი ქრება და ჩნდება მდგრადი ზც. გამოთვლილია ამ ზც-ის კუთხური სიხშირე და აგებულია მისი ფაზური პორტრეტი განტოლებათა სისტემის ანალიტიკური პერიოდული ამონახსნის პოვნის ცნობილი პროცედურის გამოყენებით, პირველ მიახლოებაში. ნაჩვენებია, რომ ზც-ის არსებობა იწვევს მაზერის გამოსხივებაში ორი ჰარმონიკის გამოჩენას, ძირითადი ხაზის გარდა. თუ ისინი შერწყმულია ძირითად ხაზთან, მათ შეუძლიათ გააფართოვონ გამოსხივების ხაზი მის ცენტრალურ ნაწილში. მსგავსი გაფართოება დაფიქსირდა ექსპერიმენტულ ნაშრომში, სადაც აღინიშნა, რომ ეს გაფართოება გამოწვეული იყო ზც-ის გაჩენით. ვინაიდან მაზერის გამოსხივების გაგანიერება არასასურველი მოვლენაა, ჩვენი შედეგები დაეხმარება მისგან თავის არიდებაში.
5. შემოღებულია ახალი ალგებრა $(A, \otimes, \oplus, *, \sqcap, 0, 1)$, რომელსაც ეწოდება LPG-ალგებრა, სადაც $(A, \otimes, \oplus, *, 0, 1)$ არის LP-ალგებრა (ანუ ალგებრა მრავალსახეობა, რომელიც წარმოქმნილია სრულყოფილი MV-ალგებრებით) და $(A, \sqcap, \sqcup, 0, 1)$ არის გოედელის ალგებრა (ანუ ჰეიტინგის ალგებრა, რომელიც აკმაყოფილებს ტოლობას $(x \sqcap y) \vee (y \sqcap x) = 1$). LPG -ალგებრის $(A, \otimes, \oplus, *, \sqcap, 0, 1)$ კონგრუენციების მესერი იზომორფულია სკოლემის ფილტრების მესერთან (ანუ სპეციალური ტიპის MV-ალგებრის $(A, \otimes, \oplus, *, 0, 1)$ MV-ფილტრებს). LPG -ალგებრების მრავალსახეობა LPG წარმოიქმნება $(C, \otimes, \oplus, *, \sqcap, 0, 1)$ ალგებრების მიერ, სადაც $(C, \otimes, \oplus, *, 0, 1)$

არის ჩანგის MV-ალგებრა. ნებისმიერი LPG -ალგებრა არის ბი-ჰეიტინგის ალგებრა. LPG ლოგიკის თეორემების სიმრავლე რეკურსიულად გადათვლილია. უფრო მეტიც, ჩვენ აღწერთ სასრულ წარმოქმნილ თავისუფალ LPG -ალგებრებს.

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. გ. მაქაძარია, ნ. მანჯავიძე, გ. ახალაია
2. გ. კაკულაშვილი
3. გ. გიორგაძე, გ. გულაშვილი
4. რ. გრიგოლია, ა. დი ნოლა, ჯ. ლენცი, გ. ვიტალე
5. რევაზ გრიგოლია, რამაზ ლიპარტელიანი

2) მოხსენების სათაური

1. განზოგადებული მერომორფული ფუნქციები
2. მთელი რიცხვის დაშლის ახალი ალგორითმის შესახებ
3. რიმან-ჰილბერტის სასაზღვრო ამოცანის კვადრატურებში ამოხსნის შესახებ
4. დინამიკური ინტუიციონისტური ლოგიკა
5. სრულყოფილი განზოგადებული 3-ნიშნა პოსტის ალგებრები (Perfect Generalized 3-valued Post Algebras)

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. ი.ვეკუას გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის XXXVII საერთაშორისო გაფართოებული სხდომები, 17-22 აპრილი, თსუ
2. ი.ვეკუას გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის XXXVII საერთაშორისო გაფართოებული სხდომები, 17-22 აპრილი, თსუ
3. ი.ვეკუას გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის XXXVII საერთაშორისო გაფართოებული სხდომები, 17-22 აპრილი, თსუ
4. ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ილია ვეკუას სახელობის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის სემინარის XXXVII საერთაშორისო გაფართოებული სხდომები, 17-22 აპრილი, თსუ
5. Batumi, September 4 – 9, 2023, XIII INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE GEORGIAN MATHEMATICAL UNION

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

1. *მოხსენების ანოტაცია მოყვანილია გაფართოებული სხდომების აბსტრაქტების კრებულში*
https://www.viam.science.tsu.ge/enlarged/2023/abstracts_eng.pdf
2. *მოხსენების ანოტაცია მოყვანილია გაფართოებული სხდომების აბსტრაქტების კრებულში*

https://www.viam.science.tsu.ge/enlarged/2023/abstracts_eng.pdf

3. მოხსენების ანოტაცია მოყვანილია გაფართოებული სხდომების აბსტრაქტების კრებულში

https://www.viam.science.tsu.ge/enlarged/2023/abstracts_eng.pdf

4. მოხსენების ანოტაცია მოყვანილია გაფართოებული სხდომების აბსტრაქტების კრებულში

<https://dcm.ffclrp.usp.br/isaac/abstracts.pdf>

8. 2. უცხოეთში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. N. Manjavidze, G. Giorgadze, G. Makatsaria
2. N. Fokina, M. Elizbarashvili
3. R. Liparteliani, R. Grigolia, T. Tsertsvadze, T. Kalichava
4. R. Liparteliani, R. Grigolia, T. Tsertsvadze, T. Kalichava

2) მოხსენების სათაური

1. On the structure of regular generalized analytic functions
2. Broadening of Maser Emission Line by the Limit Cycle Arising Due to the Stark dynamical frequency shift of spin triplet levels
3. Epistemic Lukasiewicz Logic with Application in Immune System (ეპისტემიკური ლუკასევიჩის ლოგიკა და მისი გამოყენება იმუნურ სისტემაში)
4. Modal Epistemic Lukasiewicz logic with application in immune systems

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. 14 ISAAC Congress, 17 July-21 July, San Paulo University, Brassil
2. 9th International New York conference on evolving trends in interdisciplinary research & practices; October 1-3, 2023 Manhattan, New York City
3. 17th Asian Logic Conference, Tianjin, China, October 9 – 13, 20 – 23
4. The Australasian Logic Colloquium 2023, Brisbane, Australia

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

1. მოხსენების ანოტაცია მოყვანილია კონფერენციის კრებულში(გვ. 41):

<https://dcm.ffclrp.usp.br/isaac/abstracts.pdf>

2. მოხსენების ანოტაცია მოყვანილია კონფერენციის კრებულში (გვ. 16):

https://www.nyconference.org/_files/ugd/614b1f_4e26567ef00a4a23a351f2d732461917.pdf

3. შემოგთავაზებულია ახალი ლოგიკა - მოდალური ეპისტემიკური ლუკასევიჩის ლოგიკა, რომელიც არის უსასრულო-ნიშნა ლუკასევიჩის ლოგიკის გაფართოება, რომლის ენა გამდიდრებულია უნარული კავშირით, რომელიც ინტერპრეტირებულია, როგორც მოდალური ეპისტემიკური ოპერატორი (ცოდნა და კვაზი-ცოდნა).

სტოქასტური ანალიზისა და მათემატიკური მოდელირების განყოფილება (უფროსი ფიზ. მათ. მეც. დოქტორი რევაზ თევზაძე)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. სტოქასტური ანალიზისა და მათემატიკური მოდელირების საკითხების კვლევა

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023–2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. რ. თევზაძე – პროექტის ხელმძღვანელი, გ. ჯანდიერი – პროექტის ნაწილის ხელმძღვანელი, თ. ცაბაძე – შემსრულებელი, თ. სულაბერიძე – შემსრულებელი, ბ. ჩიქვინიძე – შემსრულებელი, ც. კუტალია – შემსრულებელი, დ. იობაშვილი – შემსრულებელი, ე. ხუროძე – შემსრულებელი

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. სტოქასტური ანალიზისა და მათემატიკური მოდელირების საკითხების კვლევა.

ქვეპროექტი: იონოსფეროში გაბნეული რადიო ტალღების სტატისტიკური მახასიათებლების შესწავლა. (სტოქასტურ პროცესთა თეორია და მისი გამოყენებები, მათემატიკური მოდელირება)

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023–2027

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. რ. თევზაძე – პროექტის ხელმძღვანელი, გ. ჯანდიერი – ქვეპროექტის ხელმძღვანელი, თ. ცაბაძე – შემსრულებელი, თ. სულაბერიძე – შემსრულებელი, ბ. ჩიქვინიძე – შემსრულებელი, ც. კუტალია – შემსრულებელი, დ. იობაშვილი – შემსრულებელი, ე. ხუროძე – შემსრულებელი

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 20-- წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1) მიღებულია შედეგები (რ.თევზაძე, ც.კუტალია, დ.იობაშვილი, ე.ხუროძე) სტოქასტური ექსპონენტებისთვის ფუნქციონალური განტოლებების შემოტანასა და სტოქასტური ფუნქციონალური განტოლებების ზოგადი ამოხსნების წარმოდგენასთან დაკავშირებით.

უწყვეტი $X=(X_t, t \geq 0)$, $X_0=0$, სემიმარტინგალისთვის სტოქასტური ექსპონენტა განისაზღვრება, როგორც

$$E_t(X) = \exp\left[\frac{1}{2} \langle X \rangle_t\right], t \geq 0,$$

სადაც $\langle X \rangle$ არის X -ის კვადრატული ვარიაცია. ის აკმაყოფილებს განტოლებას

$$E_t(X) E_t(Y) = E_t(X+Y + \langle X, Y \rangle) \quad (1)$$

აღვნიშნოთ $\mathcal{F}$ -ით უწყვეტი სემიმარტინგალების კლასი და დავაფიქსიროთ $\mathcal{F}$ -ის ქვეკლასი $\mathcal{V}$. ჩვენ ვამბობთ, რომ $f=(f(u,v), u \geq 0, v \in \mathbb{R})$ არის (1) განტოლების ამოხსნა, თუ $f(X_t, \langle X \rangle_t), f(Y_t, \langle Y \rangle_t)$ აკმაყოფილებს (1) P -a.e. ყოველი $t \geq 0$ და ყოველი $X, Y \in \mathcal{V}$.

იბადება კითხვა: ორგანოზომილებიანი ფუნქციების კლასის გათვალისწინებით (მაგ., ზომადი, უწყვეტი), რამდენად მცირე კლასი $\mathcal{V}$ შეგვიძლია ავიღოთ რომ მხოლოდ $E_t(X)$ სახის ამოხსნები დარჩეს.

ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ თუ განტოლება (1) სრულდება $h \cdot W$ სტოქასტური ინტეგრალების კლასისთვის მოცემულ ბრაუნის მოძრაობასთან დაკავშირებით W და ერთად განმსაზღვრელი ინტეგრანდები $0 \leq h \leq 1$, მაშინ (1) განტოლების ნებისმიერი უწყვეტი ამოხსნა არის სტოქასტური ექსპონენტა. ჩვენ ვამტკიცებთ ამ თეორემას კომის ექსპონენციალური ფუნქციონალური განტოლებების გამოყენებით და ასევე განვიხილავთ ზომადი ამოხსნების შემთხვევას. ასევე ჩვენ მოგვყავს განტოლების მარტინგალური დახასიათება, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ, როგორც თეორემის ალბათური დამტკიცება. ბოლოს განვიხილავთ მარტინგალური დახასიათების გამოყენების მაგალითს Black-Scholes მოდელისთვის. თუ $\mathcal{V} = \{W\}$, მაშინ განტოლება (1) ხდება $f^2(t, W_t) = f(4t, 2W_t + t), t \geq 0$, სახის და მაშინ არსებობს განსხვავება (1) განტოლების უწყვეტი ამოხსნების კლასზე ამოხსნებსა და ანალიზური ამოხსნების კლასზე ამოხსნებს შორის.

შევნიშნოთ, რომ სტოქასტიკური ექსპონენტა $E_t(X)$ გარდაქმნის უწყვეტი სემიმარტინგალების კლასს საკუთარ თავში და ეს ასახვა არა-ანტისიპატიურია შემდეგი გაგებით: $X \in \mathcal{S}$ -ზე დამოკიდებული უწყვეტი სემიმარტინგალი $F(t, X), t \geq 0$, არის არა-ანტისიპატიური ასახვა, თუ ყოველი 2 სემიმარტინგალისთვის X და Y და $t \geq 0$, $F(t, X) = F(t, Y)$, როცა $X_s = Y_s$ ყოველი $s \leq t$. აქედან გამომდინარე, ბუნებრივია განვიხილოთ სტოქასტიკური ექსპონენტებისთვის ფუნქციონალური განტოლება არა-ანტისიპატიური ფუნქციების მიმართ, რომელიც წარმოადგენს განტოლების უფრო ზოგად ფორმას

$$F(t, X)F(t, Y)=F(t, X+Y+< X, Y>) \quad (2),$$

სადაც (1) თვისების გამო სტოქასტიკური ექსპონენციალი $E_t(X)$ აკმაყოფილებს განტოლებას. მაგრამ სტოქასტიკური ექსპონენცია არ იქნება მხოლოდ ამოხსნა, რადგან არსებობს მთელი კლასის ამოხსნების, რომლებიც არ არიან სტოქასტიკური ექსპონენტები. მაგალითად, თუ

$$F(t, X)=e^{(-\int_0^t H(t,s)d(X_s-1/2<X>_s) - ()^{\wedge})}, X \in S, \quad (3)$$

სადაც $(H(t,s), s \geq 0, t \geq 0)$ არის უწყვეტი დეტერმინისტული ფუნქცია, მაშინ $F(t, X)$ აკმაყოფილებს (2), მაგრამ ასეთი პროცესები ყოველთვის არ არის სტოქასტიკური ექსპონენცია. მაგალითად, თუ $X=W$ არის ბრაუნის მოძრაობა და თუ ჩვენ ავიღებთ $-H(t,s)=v(t)$, სადაც v არ არის სასრული ვარიაცია, მაშინ პროცესი $v(t)(W_t-1/2 t)$ არ იქნება სემიმარტინგალი და, შესაბამისად, $F(t, W)$ არ შეიძლება იყოს სტოქასტიკური ექსპონენციალი.

ჩვენ ვამტკიცებთ, რომ არა-ანტისიპატიური ფუნქციონალების კლასზე გარკვეული შეზღუდვის ქვეშ, (2)-ის ზოგადი ამოხსნა არის (3) ფორმის.

ცნობილია, რომ თუ $f=f(x), x \in R$ ფუნქციისთვის ტრანსფორმირებული პროცესი $(f(W_t), t \geq 0)$ ბროუნის მოძრაობის W მიმართ, არის მარჯვნივ უწყვეტი მარტინგალი, მაშინ f არის წრფივი ფუნქცია. ასევე ცნობილია, რომ დროზე დამოკიდებული ფუნქცია $f=f(t,x), t \geq 0, x \in R$ არის x -ის წრფივი ფუნქცია. ამ ნაშრომებში ჩვენ ვიძლევიან ამ შედეგების მარტივ განზოგადებებს.

ჩვენ აღვწერთ f ფუნქციების კლასებს, რომლებისთვისაც პროცესები $f(W_t)-Ef(W_t)$ და $f(W_t)/Ef(W_t)$ ($f(x)>0$ -ისთვის) არიან მარტინგალები. ჩვენ ვამტკიცებთ, რომ პროცესი $f(W_t)-Ef(W_t), f(W_t)/Ef(W_t), t>0$

არის მარჯვნივ უწყვეტი მარტინგალი, მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ ფუნქცია $f(x)$ არის ax^2+bx+c და $ae^{(\lambda x)}+b e^{(-\lambda x)}$ ფორმის. გარდა ამისა, ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ თუ $f(W_t)-Ef(W_t)$ (შესაბამისად $f(W_t)/Ef(W_t)$) არის უბრალოდ მარტინგალი, მაშინ $f(x)$ უდრის მე-2 რიგის მრავალწევრს (შესაბამისად $ae^{(\lambda x)}+b e^{(-\lambda x)}$) თითქმის ყველგან ლებეგის ზომით.

ჩვენი მთავარი მოტივაცია ბრაუნის მოძრაობის ასეთი მარტინგალური გარდაქმნების განსახილველად იყო მათი კავშირი ფუნქციონალურ განტოლებებთან. ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ თუ ფუნქცია $f=f(x), x \in R$ არის კვადრატული ფუნქციონალური განტოლების ზომადი ამოხსნა

$f(x+y)+f(x-y)=2f(x)+2f(y)$ ყველა $x,y \in R$ -ში, მაშინ სხვაობა $f(W_t) - Ef(W_t)$ არის მარტინგელი და თუ f არის მკაცრად დადებითი დალამბერის ფუნქციონალური განტოლების

$f(x+y)+f(x-y)=2f(x)f(y), x,y \in R$ -ში, ამოხსნა, მაშინ მარტინგალი იქნება პროცესი $f(W_t)/Ef(W_t)$. მარტინგალური ფუნქციების ზემოაღნიშნული აღწერილობები გვაძლევს საშუალებას მოვიყვანოთ განტოლებების ზოგადი ზომადი ამონახსნის ეკვივალენტური დახასიათება მარტინგალების საშუალებით.

ჩვენ ასევე განვიხილავთ დროზე დამოკიდებულ ფუნქციებს $(f(t,x), t \geq 0, x \in R)$, რომლებისთვისაც ტრანსფორმირებული პროცესები

$f(t, \sigma W_t)-Ef(t, \sigma W_t)$ და $f(t, \sigma W_t)/\{Ef(t, \sigma W_t)\}$ არიან მარტინგალები, სადაც σ არის მუდმივი. ასეთი ფუნქციების მარტივი სტრუქტურული თვისებების მისაღებად, როგორც $f=f(x), x \in R$ ფუნქციების შემთხვევაში, საჭიროა გარკვეული ტიპის ზრდის პირობები f ფუნქციაზე, ან უნდა მოითხოვოთ მარტინგალური თვისება ტრანსფორმირებული

პროცესებისთვის მინიმუმ ორი განსხვავებული $\sigma \neq 0$. შესაბამისი მტკიცებები (თეორემები 5-7) მოცემულია ნაშრომში.

ბ. ჩიქვინიძემ 2021 წელს დაიწყო მუშაობა მარჯვნიდან უწყვეტი ექსპონენციალური მარტინგალის თანაბრად ინტეგრებადობის საკმარის პირობაზე მუშაობა. ძირითადი იდეა მდგომარეობდა იმაში, რომ განზოგადებულიყო უწყვეტ შემთხვევაში მიღებული შედეგი. ამისათვის თავდაპირველად შეისწავლა მემინ-შირიაევის, ლეპანგლე-მემინის, პროტერ-შიმბოსი, სოკოლის და რუფის ნაშრომები. შედეგად $a_s \in [0;1]$ პროცესის საშუალებით მიღებულია მარჯვნიდან უწყვეტი ექსპონენციალური მარტინგალების თანაბრად ინტეგრებადობის საკმარისი პირობა. ეს საკმარისი პირობა აზოგადებს როგორც უწყვეტ შემთხვევაში ადრე მიღებულ შედეგს, ასევე ლეპანგლე-მემინის შედეგს. ამასთან ამავე ნაშრომში აიგო სამი კონტრმაგალითი, რომლებიც აჩვენებს ჩემი საკმარისი პირობის უპირატესობას ზემოთ ჩამოთვლილი ავტორების საკმარის პირობებთან შედარებით. ნაშრომი გამოიცა 2021 წელს.

მარჯვნიდან უწყვეტი ექსპონენციალური მარტინგალების კვლევისას ბუნებრივად გაჩნდა საჭიროება მარტინგალის კვადრატული მახასიათებლის, ნახტომების ზომის და მისი კომპენსატორის საშუალებით აღგვეწერა ის სიმრავლე, სადაც ექსპონენციალური მარტინგალი ხდება 0-ის ტოლი. ანალოგიური შედეგი მარტივად მტკიცდება უწყვეტი მარტინგალების შემთხვევაში: $\{E_T(M)=0\}=\{(M)_T=\infty\}$. მიზანი იყო მსგავსი შედეგის მიღება მარჯვნიდან უწყვეტ შემთხვევაში. შედეგად ზემოთხსენებული სამეულის საშუალებით ზუსტად დავადგინეთ ექსპონენციალური მარტინგალის 0-თან ტოლობის სიმრავლის სახე: $\{E_T(M)=0\}=\{(M)^c)_T + \int_0^T \int_{-1}^{\infty} (-1)^{\lfloor x \rfloor} \frac{x^2}{(1+x)} d\mu + \int_0^T \int_{-1}^{\infty} \frac{x^2}{(1+x)} dv = \infty\}$. 2023 წელს აღნიშნული შედეგი მომზადდა სამეცნიერო სტატიად და გაიგზავნა ჟურნალ “Statistics and Probability Letters”-ში სარეცენზიოდ.

გარდა ამისა 2023 წელს განზოგადდა იოჰანეს რუფის საკმარისი შედეგი ზოგადი ექსპონენციალური მარტინგალებისათვის, რაც მგონია, რომ საკვანძო იქნება ლეპანგლე მემინის პირობის განზოგადებისას და შემდეგ უკვე თანაბრად ინტეგრებადობის აუცილებელი და საკმარისი პირობის მისაღებად. აღნიშნული ნაშრომი მომზადდა სამეცნიერო სტატიად და გამოქვეყნდება ქართულ ამერიკული უნივერსიტეტის (GAU) მიერ ორგანიზებული კონფერენციის შრომებში.

2) განიხილება (გ.ჯანდიერი) დედამიწის ეკვატორიულ იონოსფეროში რადიო ტალღების დახრილად დაცემა ტურბულენტურ გამტარ დაჯახებად პლაზმურ ფენაზე. ჩვენს მიერ აღმოჩენილია ე.წ. „კომპენსაციის ეფექტი“. პირველადაა გამოთვლილი დედამიწის ეკვატორული იონოსფეროს გარდატეხის მაჩვენებლის ანალიზური გამოსახულება. კომპლექსური გეომეტრიული ოპტიკის მიახლოებაში პირველადაა გაანალიზებული გაბნეული რადიოტალღების სივრცითი სპექტრის სიმძლავრის მეორე რიგის სტატისტიკური მომენტები პრობლემის ასიმეტრიულობის გათვალისწინებით: ტალღის დახრილად დაცემა პლაზმურ ფენაზე და პლაზმის მაგნიტო-იონური პარამეტრების ანიზოტროპულობა. პირველად დადგენილი იქნა, რომ არსებობს ისეთი მიმართულება, რომლის გასწვრივად ტალღის გავრცელებისას რადიო ტალღების დახრილად დაცემა პლაზმურ ფენაზე და მაგნიტო-იონური პარამეტრების ანიზოტროპულობა ერთმანეთს აკომპენსირებს. ამ შედეგს ექნება დიდი პრაქტიკული გამოყენება თანამგზავრულ კომუნიკაციაში. ამ შემთხვევაში

გაბნეული რადიო ტალღების სივრცითი სპექტრის სიმძლავრე არც განივრდება და არც მისი მაქსიმუმი არ წაინაცვლებს. რიცხვობრივად გაანალიზებული ამ სპექტრის დამოკიდებულება რადიო ტალღების გავრცელების მანძილზე სხვადასხვა გარდატეხის კუთხისა და ასიმეტრიული ანიზოტროპული ელექტრონების კონცენტრაციის ფლუქტუაციების ანიზოტროპიის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის. ნაჩვენებია, რომ წაგრძელებული პლაზმური სტრუქტურების ანიზოტროპიის კოეფიციენტი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გაბნეული „ჩვეულებრივი“ და „არაჩვეულებრივი“ ტალღების „კომპენსაციის ეფექტზე“ გამტარ დაჯახებად იონოსფერულ პლაზმურ ფენში გავრცელებისას. რიცხვითი გამოთვლები ჩატარებულია ანიზოტროპული გაუსური კორელაციური ფუნქციისთვის IRI -ს მოდელის ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით. სცინტილაციური ეფექტები დედამიწის მაღალი განედების იონოსფეროს გამტარ დაჯახებად მაგნიტოაქტიურ პლაზმაში შესწავლილია მოდიფიცირებული შემფოთების მეთოდის გამოყენებით მრავალჯერად გაბნეული რადიო ტალღების სტატისტიკური მახასიათებლების გამოთვლით. პოლარიზაციის კოეფიციენტები პოლარულ გამტარ იონოსფეროში გამოთვლილია პირველად. მიღებულია სტოქასტური დიფერენციალური განტოლება შემთხვევითი ფაზისათვის. გამოთვლილია ფაზის ფლუქტუაციის დისპერსიისა და კორელაციური ფუნქციის გამოსახულებები ელექტრონების კონცენტრაციის ფლუქტუაციების ნებისმიერი კორელაციური ფუნქციისთვის დიფრაქციული ეფექტების გათვალისწინებით. მეორე რიგის სტატისტიკური მომენტები შეიცავენ: კომპლექსურ გარდატეხის მაჩვენებელს, პოლარიზაციის კოეფიციენტებს „ჩვეულებრივი“ და „არაჩვეულებრივი“ ტალღებისთვის, გარეშე მაგნიტური ველის ორიენტაციას, პედერსენის, ჰოლის და გასწვრივ გამტარებლობებს, წაგრძელებული პლაზმური არაერთგვაროვნებების პარამეტრებს და პლაზმური ნაკადის სიჩქარეს. გაბნეული რადიო ტალღების სცინტილაციის დონე გამტარ დაჯახებად იონოსფერულ პლაზმაში, სივრცითი სპექტრის პირველი და მეორე მომენტები გამოთვლილია პირველად. ოსცილაციები სცინტილაციის სპექტრში გამოწვეულია ფრენელის ეფექტით. ეს შესაძლებლობას იძლევა ამოვხსნათ შებრუნებული ამოცანა, ანუ აღვადგინოთ პლაზმური ნაკადის სიჩქარე და მცირემასშტაბიანი არაერთგვაროვნებების ხაზოვანი ზომები ფრენელის რადიუსთან შედარებით. რიცხვითი გამოთვლები ჩატარებულია სამგანზომილებიანი ანიზოტროპული გაუსური და ხარისხობრივი კორელაციური ფუნქციებისთვის, რომლებიც შეიცავენ ანიზოტროპიის კოეფიციენტსა და არაერთგვაროვანი წაგრძელებული პლაზმური სტრუქტურების დახრის კუთხეს გეომანტური ძალწირების მიმართ IRI ექსპერიმენტული მოდელის გამოყენებით. გეომეტრიული ოპტიკის მიახლოებაში ანალიზური გამოთვლებითა და რიცხვითი მოდელირებით შესწავლილია ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი რადიო ტალღების გავრცელების თავისებურებები გამტარ ეკვატორიალურ იონოსფერულ პლაზმაში, სადაც გათვალისწინებულია პლაზმური არაერთგვაროვნებების ანიზოტროპია და გარემოს არასტაციონარულობა. სპექტრის გაგანთავსება და მისი მაქსიმუმის წაინაცვლება ითვალისწინებს ტურბულენტური პლაზმური ნაკადის სიჩქარეს და პარამეტრებს, რომლებიც ახასიათებენ ანიზოტროპულ პლაზმურ სტრუქტურებს. ორივე ტალღის სტატისტიკური მომენტები არ არიან დამოკიდებული შთანთქმის კოეფიციენტის ნიშანზე, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ მიღებული შედეგები სამართლიანია როგორც შთანთქმადი, ასევე აქტიური

შემთხვევითი გარემოებისთვის. ტურბულენტური იონოსფეროს პლაზმის დროითი პულსაციები და გამტარებლობა არსებით ავლენას ახდენენ გაბნეული რადიო ტალღების სპექტრალურ მახასიათებლების ცვლილებებზე სხვადასხვა მანძილებზე. პლაზმური სტრუქტურების ანიზოტროპიის კოეფიციენტი ცვლილებითა და წაგრძელებული არაერთგვაროვნებების დახრილობის კუთხის ცვლილებებით გეომაგნიტური ძალწირების მიმართ, გამოვლენილია ორბურცობიანი ეფექტის ახალი თავისებურებები ჩვეულებრივი რადიო ტალღისათვის. ნაშრომში წარმოდგენილი ალგორითმებით შესაძლებელია გამტარ ეკვატორიალურ იონოსფერულ პლაზმაში, სადაც გათვალისწინებულია გარეშე მაგნიტური ველი, ელექტრონული კონცენტრაციების არაერთგვაროვნებები და მათი არასტაციონარულობა, მოვახდინოთ გავრცელებული ორივე ტიპის რადიო სიგნალის ეფექტური მოდელირება.

3. კვლევის მიზანია (თ. ცაბაძე) მოცემული მარტივი რიცხვის მომდევნო მარტივი რიცხვის დადგენის ახალი მეთოდის შემოთავაზება. ვთქვათ მოცემულია მარტივი რიცხვი $p > 3$. ადვილად მოიძებნება ნატურალური რიცხვი k ისეთი, რომ მეთოდის არსი ასეთია: პაფნუტი ჩებიშევა დაამტკიცა, რომ ნებისმიერ ნატურალურ n და $2n$ რიცხვებს შორის აუცილებლად მოიძებნება მარტივი რიცხვი. აქედან გამომდინარე p -ს მომდევნო მარტივი რიცხვის ძებნის არე განისაზღვრება ინტერვალთა . განვიხილოთ ასეთი ინტერვალის მიმდევრობა, რომელთა საწყისი და ბოლო მნიშვნელობები 3 -ის ჯერადი რიცხვებია და მიმდევრობის პირველი წევრი შეიცავს p -ს, ხოლო ბოლო წევრი შეიცავს $2p$ -ს. მიმდევრობას ექნება შემდეგი სახე , სადაც k ნატურალური რიცხვია. განვსაზღვროთ მიმდევრობის პირველი და უკანასკნელი ინტერვალი. ადვილად ვიპოვით ისეთ k -ს რომ მოცემული მარტივი რიცხვისათვის შესრულდეს . აქედან გამომდინარე ანუ $2p$ მოთავსებულია ინტერვალში.

ცხადია, რომ მიმდევრობის ყოველი ინტერვალის საზღვრებს შორის მოთავსებული ორი რიცხვიდან ერთი კენტი, ხოლო მეორე კი ლუწი. ჩვენი მიზანია დავადგინოთ კენტი რიცხვი შედგენილია თუ არა. თუ დადგინდა, რომ ის შედგენილი არ არის, მაშინ იგი მარტივია და პროცესი დასრულებულია. თუ ის შედგენილია გადავდივართ აგებული მიმდევრობის შემდგომი ინტერვალის განხილვაზე.

ძირითადი შედეგები დაიყვანება შემდეგ ჩამონათვალზე:

- დამუშავებულია ფორმალიზმები იმის დასადგენად, თუ რომელ ორწევრა სიმრავლეში მდებარეობს შემდეგი კენტი რიცხვი და რომელ პოზიციას იკავებს;
- შემდგომი მარტივი რიცხვის განსაზღვრისათვის აგებულია თეორიული საფუძვლები, კერძოდ, დამტკიცებულია ორი წინადადება;
- განხილული მიდგომის პრაქტიკული რეალიზაციის მიზნით დამუშავებულია ორი ალგორითმი;
- მოყვანილია დეტალური მაგალითი, რომელიც თვალნათლივ აჩვენებს შემოთავაზებული მეთოდის კორექტულ მუშაობას.

4) თ.სულაბერიძე მუშაობს ალბათობის თეორიის და მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებაზე სამედიცინო და ბიოლოგიური საკითხების კვლევაში ბიოკიბერნეტიკული სისტემების განყოფილების თანამშრომლებთან ერთად. კერძოდ, ეს

საკითხებია: ა) 5G ტექნოლოგიაში გამოყენებული მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების გამოკვლევა მწერებსა და პატარა ფრინველებზე, ბ) ინფრაწითელი ვიზუალიზაციის ახალი მეთოდის დამუშავება რადიკალური პროსტატექტომიისა და ნაწილობრივი ნეფრექტომიის შემდეგ კიბოს რეციდივის თავიდან ასაცილებლად.

შესაბამისი ანოტაციები იხ. ბიოკიბერნეტიკული სისტემების განყოფილების ანგარიშში.

ასევე მისი მონაწილეობით, სახეთა ამოცნობის გამოყენებითი სისტემების განყოფილების თანამშრომლებთან ერთად, მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით მუშავდება ციფრულ გამოსახულებათა სეგმენტაციისა და ფორმათა კლასიფიკაციის საკითხები. შესაბამისი ანოტაცია იხ. სახეთა ამოცნობის გამოყენებითი სისტემების განყოფილების ანგარიშში.

3. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

3.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. გაზრდილი ელექტრომაგნიტური ტალღების სტატისტიკური მომენტების გამოკვლევა დედამიწის ატმოსფეროში და მათი გამოყენება. FR-21-316, ფიზიკა, რადიოფიზიკა

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2022–2024

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. გიორგი ჯანდიერი, ნინო მჭედლიშვილი, სოფიო ბარნოვი, სალომე მუხამაზრია, დამხმარე პერსონალი: ნინო ქადეიშვილი

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. გეომეტრიული ოპტიკის მიახლოებაში ანალიზური გამოთვლებითა და რიცხვითი მოდელირებით შესწავლილია ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი რადიო ტალღების გავრცელების თავისებურებები გამტარ ეკვატორიალურ იონოსფერულ პლაზმაში, სადაც გათვალისწინებულია პლაზმური არაერთგვაროვნებების ანიზოტროპია და გარემოს არასტაციონარულობა. სპექტრის გაგანიერება და მისი მაქსიმუმის წანაცვლება ითვალისწინებს ტურბულენტური პლაზმური ნაკადის სიჩქარეს და პარამეტრებს, რომლებიც ახასიათებენ ანიზოტროპულ პლაზმურ სტრუქტურებს. ორივე ტალღის სტატისტიკური მომენტები არ არიან დამოკიდებული შთანთქმის კოეფიციენტის ნიშანზე, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ მიღებული შედეგები სამართლიანია როგორც შთანთქმადი, ასევე აქტიური შემთხვევითი გარემოებისთვის. ტურბულენტური იონოსფეროს პლაზმის დროითი პულსაციები და გამტარებლობა არსებით ავლენას ახდენენ გაზრდილი რადიო ტალღების

სპექტრალურ მახასიათებლების ცვლილებებზე სხვადასხვა მანძილებზე. პლაზმური სტრუქტურების ანიზოტროპიის კოეფიციენტი ცვლილებითა და წაგრძელებული არაერთგვაროვნებების დახრილობის კუთხის ცვლილებებით გეომანტიური ძალწირების მიმართ, გამოვლენილია ორბურცობიანი ეფექტის ახალი თავისებურებები ჩვეულებრივი რადიოტალღისათვის. ნაშრომში წარმოდგენილი ალგორითმებით შესაძლებელია გამტარ ეკვატორიალურ იონოსფერულ პლაზმაში, სადაც გათვალისწინებულია გარეშე მაგნიტური ველი, ელექტრონული კონცენტრაციების არაერთგვაროვნებები და მათი არასტაციონარულობა, მოვახდინოთ გავრცელებული ორივე ტიპის რადიო სიგნალის ეფექტური მოდელირება.

სტოქასტურ გადატანის განტოლებაზე დაყრდნობით, რომელსაც აკმაყოფილებს სიხშირის ფლუქტუაციები, გეომეტრული ოპტიკის მიახლოებაში შესწავლილია გაბნეული ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი ელექტრომაგნიტური ტალღების დროითი სპექტრის სტატისტიკური მახასიათებლები. დროითი სპექტრის გაგანიერება და მისი მაქსიმუმის წანაცვლება შეიცავენ ტურბულენტური პლაზმური ნაკადის სიჩქარეს და ელექტრონების კონცენტრაციის არაერთგვაროვნებაბის ანიზოტროპულ პარამეტრებს. გაბნეული ელექტრომაგნიტური ტალღების მეორე რიგის სტატისტიკური მომენტები არ არიან დამოკიდებული შთანთქმის კოეფიციენტის ნიშანზე. ტურბულენტური პლაზმის პულსაციების სიხშირე და იონოსფეროს გამტარებლობის ანიზოტროპია არსებით გავლენას ახდენენ გაბნეული ტალღების სპექტრალურ მახასიათებლებზე. რიცხვითი გამოთვლები ჩატარებულია ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით. გაბნეული ელექტრომაგნიტური ტალღების სივრცით-დროითი ფლუქტუაციების შესწავლა ჰპოვებენ გამოყენებას რადიო ასტრონომიასა და ატმოსფეროს ფიზიკაში.

განხილულია ტურბულენტურ ეკვატორიალურ იონოსფეროში გამტარ დაჯახებად პლაზმურ ფენაზე დახრილად დაცემული რადიო ტალღების პრობლემა. ჩვენს მირ აღმოჩენილია ე.წ. „კომპენსაციის ეფექტი“. პირველადაა გამოთვლილი დედამიწის იონოსფეროს ეკვატორისთვის კომპლექსური გარდატეხის მაჩვენებელი. პირველადაა გამოკვლეული გაბნეული რადიო ტალღების სივრცითი სპექტრის სიმძლავრის (სსს) მეორე რიგის სტატისტიკური მომენტები ვენცელ-კრამერს-ბრილუენის მეთოდის გამოყენებით, სადაც გათვალისწინებულია პრობლემის ასიმეტრიულობა: ტალღის დახრილად დაცემა პლაზმურ ფენაზე და მაგნიტო-იონური პარამეტრების ასიმეტრიულობა. პირველადაა დადგენილი, რომ არსებობს გარკვეული მიმართულება, რომლის გასწვრივაც რადიო ტალღის დახრილად დაცემა და მაგნეტოპლაზმის პარამეტრების ანიზოტროპულობა ერთმანეთს აკომპენსირებს. ამ შედეგს ექნება დიდი პრაქტიკული გამოყენება კომუნიკაციაში. ამ შემთხვევაში გაბნეული რადიო ალღების სსს არც განივრდება და არც მისი მაქსიმუმი არ წანაცვლებს. ამ სპექტრის რადიო ტალღის გავრცელების მანძლზე დედამიწის ეკვატორიულ იონოსფეროში გაანალიზებულია რიცხვობრივად ტალღების პლაზმაში გარდატეხის სხვადასხვა კუთხისა და წაგრძელებული პლაზმური არაერთგვაროვნებების ანიზოტროპული პარამეტრების გათვალისწინებით. ნაჩვენებია, რომ ეს პარამეტრები არსებით გავლენას ახდენენ „კომპენსაციის ეფექტზე“. რიცხვითი გამოთვლები ჩატარებულია ანიზოტროპული გაუსური კორელაციის ფუნქციისთვის IRI ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით.

შესწავლილია მცირე ამპლიტუდის რადიო ტალღების გავრცელებისა და მრავალჯერადი გაბნევის თავისებურებები დედამიწის პოლარულ იონოსფეროში. სივრცითი სპექტრის სიმძლავრე ორბურცობიანი ზედაპირის ევოლუციისას გაითვალისწინება: კომპლექსური გარდატეხის მაჩვენებელი პოლარული იონოსფეროსთვის, პოლარიზაციის კოეფიციენტები, გარეშე გეომაგნიტური ველის ორიენტაცია, იონოსფეროს გამტარებლობისა და ელექტრონების კონცენტრაციის არაერთგვაროვნებები ანიზოტროპიები, მანძილები დაკვირვების წერტილებს შორის. ასეთი ანიზოტროპული მაგნიტოაქტიური პლაზმისთვის ანალიზურად და რიცხვობრივად შესწავლილია „ორბურცობიანი ეფექტი“. ანალიზური გამოთვლები ჩატარებული ანიზოტროპული გაუსური კორელაციური ფუნქციისთვის. ეს შედეგები მიღებულია პირველად და მათ ექნებათ პრაქტიკული გამოყენება კომუნიკაციაში და ატმოსფეროს ზონდირებისას რადიო ტალღებით.

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

6.4. სტატიები ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

1. რ. თევზაძე და ც. კუტალია
2. თ. ცაბაძე

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI

1. A stochastic model of predator-prey population dynamics
2. On finding a prime number following the given prime number

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Applications of Stochastic Processes and Mathematical Statistics to Financial Economics and Social Sciences VIII, 2023
2. Georgian Electronic Scientific Journal: Computer Science and Telecommunications, Internet Academy, ISSN 1512-1232, 2023|No.1(63), https://gesj.internet-academy.org.ge/en/news_en.php?b_sec=comp

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. თბილისი, ქართულ-ამერიკული უნივერსიტეტი GAU
2. თბილისი, სტუ, ნიკოლოზ მუსხელიშვილის სახ. გამოთვლითი მათემატიკის ინსტიტუტი

5) გვერდების რაოდენობა

1. 5
2. 9

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. განსაზღვრულია გადასვლის ალბათობები და მოყვანილია მარკოვის ჯაჭვის რეალიზაცია ალბათური სხვაობიანი სქემებით ან სტოქასტური დიფერენციალური განტოლებების

სისტემებით. ნაჩვენებია, რომ სკალიერების შემთხვევაში ამ სისტემის ამოხსნა მისწრაფის ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნისაკენ. მოყვანილია ამ ამოხსნების გრაფიკები კონკრეტული პარამეტრებისათვის და სხვადასხვა საწყისი მნიშვნელობებისათვის. გრაფიკულ გამოსახულებებზე მონიშნულია დინამური წონასწორობის წერტილები რომლისკენაც მიისწრაფის სისტემა უსასრულო დროის განმავლობაში.

2. წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია მოცემული მარტივი რიცხვის მომდევნო მარტივი რიცხვის დადგენის ახალი მეთოდის შემოთავაზება. ვთქვათ მოცემულია მარტივი რიცხვი $p > 3$. ადვილად მოიძებნება ნატურალური რიცხვი k ისეთი, რომ $3k < p < 3k + 3$. მეთოდის არსი ასეთია. პაფნუტი ჩებიშევემ დაამტკიცა, რომ ნებისმიერ ნატურალურ n და $2n$ რიცხვებს შორის აუცილებლად მოიძებნება მარტივი რიცხვი. აქედან გამომდინარე p -ს მომდევნო მარტივი რიცხვის ძებნის არე განისაზღვრება ინტერვალით $[p + 2, 2p - 1]$. განვიხილოთ ასეთი ინტერვალის მიმდევრობა, რომელთა საწყისი და ბოლო მნიშვნელობები 3-ის ჯერადი რიცხვებია და მიმდევრობის პირველი წევრი შეიცავს p -ს, ხოლო ბოლო წევრი შეიცავს $2p$ -ს. მიმდევრობას ექნება შემდეგი სახე $[3k, 3(k+1)]$, სადაც k ნატურალური რიცხვია. განვსაზღვროთ მიმდევრობის პირველი და უკანასკნელი ინტერვალი. ადვილად ვიპოვით ისეთ k -ს რომ მოცემული მარტივი რიცხვისათვის შესრულდეს $3k < p < 3(k+1)$. აქედან გამომდინარე $3 \times 2k < 2p < 3(2k+1)$ ანუ $2p$ მოთავსებულია $[3 \times 2k, 3(2k+1)]$ ინტერვალში.

ცხადია, რომ მიმდევრობის ყოველი ინტერვალის საზღვრებს შორის მოთავსებული ორი რიცხვიდან ერთი კენტი, ხოლო მეორე კი ლუწი. ჩვენი მიზანია დავადგინოთ კენტი რიცხვი შედგენილია თუ არა.

თუ დადგინდა, რომ ის შედგენილი არ არის, მაშინ იგი მარტივია და პროცესი დასრულებულია. თუ ის შედგენილია გადავდივართ აგებული მიმდევრობის შემდგომი ინტერვალის განხილვაზე.

წარმოდგენილი ნაშრომის ძირითადი შედეგები დაიყვანება შემდეგ ჩამონათვალზე:

- დამუშავებულია ფორმალიზმები იმის დასადგენად, თუ რომელ ორწევრა სიმრავლეში მდებარეობს შემდეგი კენტი რიცხვი და რომელ პოზიციას იკავებს;
- შემდგომი მარტივი რიცხვის განსაზღვრისათვის აგებულია თეორიული საფუძვლები, კერძოდ, დამტკიცებულია ორი წინადადება;.
- განხილული მიდგომის პრაქტიკული რეალიზაციის მიზნით დამუშავებულია ორი ალგორითმი;
- მოყვანილია დეტალური მაგალითი, რომელიც თვალნათლივ აჩვენებს შემოთავაზებული მეთოდის კორექტულ მუშაობას.

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. B.Chikvinidze, M.Mania, R.Tevzadze
2. M.Mania, R.Tevzadze
3. G. Jandieri, N. Tugushi
4. G. Jandieri, N. Tugushi

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. Functional Equations for the Stochastic Exponential, DOI; 10.1142/S0219493723500417
2. Martingale Transformations of Brownian Motion with Application to Functional Equations, DOI:10.1080/17442508.2022.2084341
3. Transformation of the Spatial Spectrum of Scattered Radioon in the conductive Equatorial Ionosphere”, <https://doi.org/10.3390/electronics12132759>
4. Statistical Characteristics of the Temporal Spectrum of Scattered Radiation in the Equatorial Ionosphere”, <https://doi.org/10.30564/jees.v5i1.5442>

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Stochastics and Dynamics, Vol.23, No. 6, (2023), 2350041. ISSN:0219-4937
2. Stochastics and stochastic reports, 2023, Vol. 95, N. 3, 377–395. ISSN:0219-4937
3. Electronics vol. 12, pp. 2759-2770, 2023, Basel, Switzerland, MDPI, EISSN 2079-9292
4. Journal of Environmental & Earth Sciences vol. 5, # 1, pp. 85-94, 2023

4) გვერდების რაოდენობა

1. 17
2. 19
3. 12
4. 10

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. უწყვეტი $X = (X_t, t \geq 0)$, $X_0 = 0$, სემიმარტინგალისთვის სტოქასტური ექსპონენტა განისაზღვრება, როგორც

$$\mathcal{E}_t(X) = \exp \left(X_t - \frac{1}{2} \langle X \rangle_t \right), t \geq 0,$$

სადაც $\langle X \rangle$ არის X -ის კვადრატული ვარიაცია. ის აკმაყოფილებს განტოლებას

$$\mathcal{E}_t(X)\mathcal{E}_t(Y) = \mathcal{E}_t(X + Y + \langle X, Y \rangle) \quad (1)$$

აღვნიშნოთ $\mathcal{M}$ -ით უწყვეტი სემიმარტინგალების კლასი და დავაფიქსიროთ $\mathcal{M}$ -ის ქვეკლასი $\mathcal{V}$.

ჩვენ ვამბობთ რომ $f = (f(u, v), u \geq 0, v \in R)$ არის (1) განტოლების ამოხსნა, თუ $f(X_t, \langle X \rangle_t), f(Y_t, \langle Y \rangle_t)$ აკმაყოფილებს (1) P-a.e. ყოველი $t \geq 0$ და ყოველი $X, Y \in \mathcal{V}$.

იბადება კითხვა: ორგანოზომილებიანი ფუნქციების კლასის გათვალისწინებით (მაგ., ზომადი, უწყვეტი), რამდენად მცირე კლასი $\mathcal{V}$ შეგვიძლია ავიღოთ რომ მხოლოდ $E_t(X)$ სახის ამოხსნები დარჩეს.

ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ თუ განტოლება (1) სრულდება $h \cdot W$ სტოქსტური ინტეგრალების კლასისთვის მოცემულ ბრაუნის მოძრაობასთან დაკავშირებით W და ერთად განმსაზღვრელი ინტეგრანდები $0 \leq h \leq 1$, მაშინ (1) განტოლების ნებისმიერი უწყვეტი ამოხსნა არის სტოქსტური ექსპონენტი. ჩვენ ვამტკიცებთ ამ თეორემას კომის ექსპონენციალური ფუნქციონალური განტოლებების გამოყენებით და ასევე განვიხილავთ ზომადი ამოხსნების შემთხვევას. ასევე ჩვენ მოგვყავს განტოლების მარტინგალური დახასიათება, რომელიც შეიძლება განვიხილოთ, როგორც თეორემის ალბათური დამტკიცება. ბოლოს განვიხილავთ მარტინგალური დახასიათების გამოყენების მაგალითს Black-Scholes მოდელისთვის. თუ $\mathcal{V} = \{W\}$, მაშინ განტოლება (1) ხდება $f^2(t, W_t) = f(4t, 2W_t + t)$, $t \geq 0$, სახის და მაშინ არსებობს განსხვავება (1) განტოლების უწყვეტი ამოხსნების კლასზე ამოხსნებსა და ანალიზური ამოხსნების კლასზე ამოხსნებს შორის.

შევნიშნოთ, რომ სტოქსტური ექსპონენტი $E_t(X)$ გარდაქმნის უწყვეტი სემიმარტინგალების კლასს საკუთარ თავში და ეს ასახვა არა-ანტიისპატიურია შემდეგი გაგებით:

$X \in \mathcal{S}$ -ზე დამოკიდებული უწყვეტი სემიმარტინგალი $F(t, X), t \geq 0$, არის არა-ანტიისპატიური ასახვა, თუ ყოველი 2 სემიმარტინგალისთვის X და Y და $t \geq 0$, $F(t, X) = F(t, Y)$, როცა $X_s = Y_s$ ყოველი $s \leq t$.

აქედან გამომდინარე, ბუნებრივია განვიხილოთ სტოქსტური ექსპონენტებისთვის ფუნქციონალური განტოლება არა-ანტიისპატიური ფუნქციების მიმართ, რომელიც წარმოადგენს განტოლების უფრო ზოგად ფორმას

$$F(t, X)F(t, Y) = F(t, X+Y) \quad (2),$$

სადაც (1) თვისების გამო სტოქსტური ექსპონენციალი $E_t(X)$ აკმაყოფილებს განტოლებას. მაგრამ სტოქსტური ექსპონენტი არ იქნება მხოლოდ ამოხსნა, რადგან არსებობს მთელი კლასის ამოხსნების, რომლებიც არ არიან სტოქსტური ექსპონენტები. მაგალითად, თუ

$$F(t, X) = e^{-\int_0^t H(t,s) d\left(X_s - \frac{1}{2} \langle X \rangle_s\right)}, \quad X \in \mathcal{S}, \quad (3)$$

სადაც $(H(t, s), s \geq 0, t \geq 0)$ არის უწყვეტი დეტერმინისტული ფუნქცია, მაშინ $F(t, X)$ აკმაყოფილებს (2), მაგრამ ასეთი პროცესები ყოველთვის არ არის სტოქსტური ექსპონენტი.

მაგალითად, თუ $X=W$ არის ბრაუნის მოძრაობა და თუ ჩვენ ავიღებთ $H(t, s) = v(t)$, სადაც v არ არის სასრული ვარიაცია, მაშინ პროცესი

$v(t)(W_t - \frac{1}{2}t)$ არ იქნება სემიმარტინგალი და, შესაბამისად, $F(t, W)$ არ შეიძლება იყოს სტოქსტური ექსპონენციალი.

ჩვენ ვამტკიცებთ, რომ არა-ანტიისპატიური ფუნქციონალების კლასზე გარკვეული შეზღუდვის ქვეშ, (2)-ის ზოგადი ამოხსნა არის (3) ფორმის.

2. ცნობილია, რომ თუ $f = (f(x), x \in R)$ ფუნქციისთვის ტრანსფორმირებული პროცესი $(f(W_t), t \geq 0)$ ბროუნის მოძრაობის W მიმართ, არის მარჯვნივ უწყვეტი მარტინგალი, მაშინ f არის წრფივი ფუნქცია. ასევე ცნობილია, რომ დროზე დამოკიდებული ფუნქცია $f = (f(t, x), t \geq 0, x \in R)$ არის x -ის წრფივი ფუნქცია. ამ ნაშრომებში ჩვენ ვიძლევიან ამ შედეგების მარტივ განზოგადებებს.

ჩვენ აღვწერთ f ფუნქციების კლასებს, რომლებისთვისაც პროცესები $f(W_t) - Ef(W_t)$ და $f(W_t)/Ef(W_t)$ ($f(x) > 0$ -ისთვის) არიან მარტინგალები. ჩვენ ვამტკიცებთ, რომ პროცესი

$$f(W_t) - Ef(W_t), f(W_t)/Ef(W_t), \quad t > 0$$

არის მარჯვნივ უწყვეტი მარტინგალი, მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ ფუნქცია $f(x)$ არის

$$ax^2 + bx + c \text{ და } ae^{\lambda x} + b e^{-\lambda x}$$

ფორმის.

გარდა ამისა, ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ თუ $f(W_t) - Ef(W_t)$ (შესაბამისად $f(W_t)/Ef(W_t)$) არის უბრალოდ მარტინგალი, მაშინ $f(x)$ უდრის მე-2 რიგის მრავალწევრს (შესაბამისად $ae^{\lambda x} + b e^{-\lambda x}$) თითქმის ყველგან ლებეგის ზომით.

ჩვენი მთავარი მოტივაცია ბრაუნის მოძრაობის ასეთი მარტინგალური გარდაქმნების განსახილველად იყო მათი კავშირი ფუნქციონალურ განტოლებებთან. ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ თუ ფუნქცია $f = (f(x), x \in R)$ არის კვადრატული ფუნქციონალური განტოლების ზომადი ამოხსნა

$$f(x+y) + f(x-y) = 2f(x) + 2f(y) \text{ ყველა } x, y \in R\text{-ში,}$$

მაშინ სხვაობა $f(W_t) - Ef(W_t)$ არის მარტინგალი და თუ f არის მკაცრად დადებითი დალამბერის ფუნქციონალური განტოლების $f(x+y) + f(x-y) = 2f(x)f(y)$, $x, y \in R$ -ში, ამოხსნა, მაშინ მარტინგალი იქნება პროცესი $f(W_t)/Ef(W_t)$. მარტინგალური ფუნქციების ზემოაღნიშნული აღწერილობები გვაძლევს საშუალებას მოვიყვანოთ განტოლებების ზოგადი ზომადი ამონახსნის ეკვივალენტური დახასიათება მარტინგალების საშუალებით.

ჩვენ ასევე განვიხილავთ დროზე დამოკიდებულ ფუნქციებს $(f(t, x), t \geq 0, x \in R)$, რომლებისთვისაც ტრანსფორმირებული პროცესები

$$f(t, \sigma W_t) - Ef(t, \sigma W_t) \text{ და } f(t, \sigma W_t) / \{Ef(t, \sigma W_t)\}$$

არიან მარტინგალები, სადაც σ არის მუდმივი. ასეთი ფუნქციების მარტივი სტრუქტურული თვისებების მისაღებად, როგორც $f = (f(x), x \in R)$ ფუნქციების შემთხვევაში, საჭიროა გარკვეული ტიპის ზრდის პირობები f ფუნქციაზე, ან უნდა მოითხოვოთ მარტინგალური თვისება ტრანსფორმირებული პროცესებისთვის მინიმუმ ორი განსხვავებული $\sigma \neq 0$. შესაბამისი მტკიცებები (თეორემები 5-7) მოცემულია ნაშრომში.

3. განიხილება დედამიწის ეკვატორიულ იონოსფეროში რადიო ტალღების დახრილად დაცემა ტურბულენტურ გამტარ დაჯახებად პლაზმურ ფენაზე. ჩვენს მიერ აღმოჩენილია ე.წ. „კომპენსაციის ეფექტი“. პირველადაა გამოთვლილი დედამიწის ეკვატორული იონოსფეროს გარდატეხის მაჩვენებლის ანალიზური გამოსახულება. კომპლექსური გეომეტრიული ოპტიკის მიახლოებაში პირველადაა გაანალიზებული გაბნეული რადიოტალღების სივრცითი სპექტრის სიმძლავრის მეორე რიგის სტატისტიკური მომენტები პრობლემის ასიმეტრიულობის გათვალისწინებით: ტალღის დახრილად დაცემა პლაზმურ ფენაზე და პლაზმის მაგნიტო-იონური პარამეტრების ანიზოტროპულობა. პირველად დადგენილი იქნა,

რომ არსებობს ისეთი მიმართულება, რომლის გასწვრივად ტალღის გავრცელებისას რადიო ტალღების დახრილად დაცემა პლაზმურ ფენზე და მაგნიტო-იონური პარამეტრების ანიზოტროპულობა ერთმანეთს აკომპენსირებს. ამ შედეგს ექნება დიდი პრაქტიკული გამოყენება თანამგზავრულ კომუნიკაციაში. ამ შემთხვევაში გაბნეული რადიო ტალღების სივრცითი სპექტრის სიმძლავრე არც განივრდება და არც მისი მაქსიმუმი არ წაინაცვლებს. რიცხვობრივად გაანალიზებული ამ სპექტრის დამოკიდებულება რადიო ტალღების გავრცელების მანძილზე სხვადასხვა გარდატეხის კუთხისა და ასიმეტრიული ანიზოტროპული ელექტრონების კონცენტრაციის ფლუქტუაციების ანიზოტროპიის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის. ნაჩვენებია, რომ წაგრძელებული პლაზმური სტრუქტურების ანიზოტროპიის კოეფიციენტი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გაბნეული „ჩვეულებრივი“ და „არაჩვეულებრივი“ ტალღების „კომპენსაციის ეფექტზე“ გამტარ დაჯახებად იონოსფერულ პლაზმურ ფენში გავრცელებისას. რიცხვითი გამოთვლები ჩატარებულია ანიზოტროპული გაუსური კორელაციური ფუნქციისთვის IRI -ს მოდელის ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით.

4. გეომეტრიული ოპტიკის მიახლოებაში ანალიზური გამოთვლებითა და რიცხვითი მოდელირებით შესწავლილია ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი რადიო ტალღების გავრცელების თავისებურებები გამტარ ეკვატორიალურ იონოსფერულ პლაზმაში, სადაც გათვალისწინებულია პლაზმური არაერთგვაროვნებების ანიზოტროპია და გარემოს არასტაციონარულობა. სპექტრის გაგანიერება და მისი მაქსიმუმის წანაცვლება ითვალისწინებს ტურბულენტური პლაზმური ნაკადის სიჩქარეს და პარამეტრებს, რომლებიც ახასიათებენ ანიზოტროპულ პლაზმურ სტრუქტურებს. ორივე ტალღის სტატისტიკური მომენტები არ არიან დამოკიდებული შთანთქმის კოეფიციენტის ნიშანზე, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ მიღებული შედეგები სამართლიანია როგორც შთანთქმადი, ასევე აქტიური შემთხვევითი გარემოებისთვის. ტურბულენტური იონოსფეროს პლაზმის დროითი პულსაციები და გამტარებლობა არსებით ავლენას ახდენენ გაბნეული რადიო ტალღების სპექტრალურ მახასიათებლების ცვლილებებზე სხვადასხვა მანძილებზე. პლაზმური სტრუქტურების ანიზოტროპიის კოეფიციენტი ცვლილებითა და წაგრძელებული არაერთგვაროვნებების დახრილობის კუთხის ცვლილებებით გეომაგნიტური ძალწირების მიმართ, გამოვლენილია ორბურცობიანი ეფექტის ახალი თავისებურებები ჩვეულებრივი რადიო ტალღისათვის. ნაშრომში წარმოდგენილი ალგორითმებით შესაძლებელია გამტარ ეკვატორიალურ იონოსფერულ პლაზმაში, სადაც გათვალისწინებულია გარეშე მაგნიტური ველი, ელექტრონული კონცენტრაციების არაერთგვაროვნებები და მათი არასტაციონარულობა, მოვახდინოთ გავრცელებული ორივე ტიპის რადიო სიგნალის ეფექტური მოდელირება.

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. რ. თევზაძე

2) მოხსენების სათაური

1. მტაცებელი-მსხვერპლი პოპულაციების ერთი სტოქასტური მოდელი,

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. GAU-ს კონფერენცია სტოქასური პროცესებისა და სტატისტიკის გამოყენება ფინანსურ ეკონომიკაში და სოციალურ მეცნიერებებში 8, თბილისი, 16 ნოემბერი

2.

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

8. 2. უცხოეთში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. G.V. Jandieri, S.Q. Barnovi and S.E. Mukhashavria

2. G.V. Jandieri, N.F. Mchedlishvili and N.K. Tugushi

3. George Jandieri, Nika Tugushi

2) მოხსენების სათაური

1. Some Peculiarities of the Angular Spectrum of Radio Waves Scattered in the Polar Ionospheric Plasma; PIERS 2023 in Prague Progress In Electromagnetics Research Symposium

2. Compensation Effect in the Conductive Polar Ionosphere; PIERS 2023 in Prague Progress In Electromagnetics Research Symposium

3. Temporal spectrum of Scattered Electromagnetic Waves in the Equatorial Ionosphere, IC-MSQUARE (11th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences), <https://doi.org/10.1063/5.0163064>

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. Prague, Czech Republic. July 3-6, 2023

2. Prague, Czech Republic. July 3-6, 202

3. Belgrade, Serbia, 28-31 August, 2023

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

სახეთა ამოცნობის გამოყენებითი სისტემების განყოფილება (უფროსი ტექ. მეც. კანდიდატი გოდერძი ლეჟავა)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

- 1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით
 1. ჩაის ფოთლის შერჩევითი კრეფის მექანიზაციის ამოცანაში კიბერნეტიკის მეთოდების გამოყენების ეფექტიანობის კვლევა. (ინფორმაციული ტექნოლოგიები)
 2. ციფრულ გამოსახულებათა დამუშავება. (ინფორმაციული ტექნოლოგიები)

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023–2027
2. 2023–2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. გ. ლეჟავა - ტექნ. მეცნ. აკად. დოქტორი, პროგრამის ხელმძღვანელი; მ. კანდელაკი - ტექნ. მეცნ. აკად. დოქტორი, სახეთა ამოცნობის სპეციალისტი, თ. დალაქიშვილი - პროგრამისტი, ანგუს ვარდოსანიძე - მათემატიკოსი, ნათელა ბახტაძე - კიბერნეტიკოსი, ბეჟან ოღლიშვილი - კონსტრუქტორი, გიორგი ლეჟავა - ელექტრონიკის სპეციალისტი, ზაირა ბერიკიშვილი - ალბათისტი, ირაკლი სტეფნაძე - დოქტორანტი
2. ო. თავდიშვილი — ხელმძღვანელი, თ.სულაბერიძე — თანახელმძღვანელი, თ. თოდუა — შემსრულებელი

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ა) ჩაის შპალერების სანედლეულე ფენის (შპალერის გასხვლის ზედაპირის თავზე აღმოცენებული ამონაყარის ფენის) კვლევის მიზანი იყო ამ ფენის ისეთი მახასიათებლების პოვნა, რომელიც საშუალებას მოგვცემდნ დაგვემუშავებინა მაღალი პრაქტიკული ეფექტურობის მქონე ტექნიკური მხედველობის სისტემა. კერძოდ, საჭირო იყო ისეთი მახასიათებლის პოვნა, რომელიც ჩაის საკრეფი მანქანის მუშაობის პროცესში საჭრელი მოდულის ოპტიმალურ დონეზე პოზიციონირებას საშუალებას მოგვცემდა. კვლევა ხორციელდებოდა ლაბორატორიაში; გამოყენებული იყო კომპიუტერული პროგრამა, რომელიც ახდენდა სანედლეულე ფენის ჭრილის რეალურთან მიახლოებული სურათების გენერირებას. თითოეული ასეთი სურათი შეიცავს „გამჭვირვალე“ (დუყების გამოსახულებებით დაუკავებელ) და „გაუმჭვირვალე“ (დუყების გამოსახულებებით შევსებულ) ნაწილებს; ამასან, გამოსახულების ქვედა ნაწილში გასხვლის ზედაპირის

მახლობლად ჭარბობს „გაუმჭვირვალე“, ხოლო ზედა ნაწილში „გამჭვირვალე“ ზონები. გაკეთებული იქნა დაშვება, რომ, თუ პლანტაციის და შესაბამის სანედლეულ ფენის სტატისტიკური მაჩვენებლები მუდმივია, მაშინ დონე x , რომელზედაც „გამჭვირვალე“ და „გაუმჭვირვალე“ ზონების ფართობები ერთმანეთის ტოლია აგრეთვე მუდმივია, დიდი ალბათობით ინახება. დიდი რაოდენობის სურათების ანალიზმა დაადასტურა ჩვენი დაშვების მართლობიერება. ამგვარად, მოხერხდა სანედლეულ ფენაში ისეთი დონის პოვნა, რომლის საიმედო მიყოლა არ მოითხოვდა რთულ მოწყობილობებს და საშუალებას იძლეოდა საკმაოდ მარტივი საშუალებებით აგვეგო მაღალი პრაქტიკული ღირებულებისა და საიმედოების მქონე ტექნიკური მხედველობის სისტემა.

ბ) ჩაის შერჩევით საკრეფი რობოტული სისტემის ეფექტური მუშაობა მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია ტექნიკური მხედველობის სისტემაზე. მოცემულ ეტაპზე ეკონომიკურად მიზანშეწონილი მანქანის შექმნა, რომელიც ადამიანის მსგავსად შერჩევას განახორციელებდა ცალკეული დუყების ფიზიკური მახასიათებლების მიხედვით, პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ შერჩევითი კრეფის მექანიზაცია ხორციელდება კომპრომისული მეთოდების გამოყენებით. ამ მეთოდებს შორის ნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავთ საჭრელი მოდულის ოპტიმალურ დონეზე სტაბილურ პოზიციონირებას. სამუშაოს მიზანი იყო ისეთი სისტემის შექმნას, რომლის მუშაობის სიზუსტე დამოკიდებული არ იქნებოდა არც პლანტაციაში ნიადაგის, ან გასხვლის ზედაპირის უსწორმასწორობებზე, რომელიც ინფორმაციას აიღებდა უშუალოდ სანედლეულ ფენიდან, არ დააზიანებდა დუყების ზრდის კვირტებს, უზრუნველყოფდა კრეფის რეჟიმების შერჩევის შესაძლებლობას. ჩვენს მიერ ნაჩვენები იქნა, რომ სანედლეულ ფენა შეიცავს ე.წ. x დონეს, რომელიც დიდი ალბათობით ინახება. საჭირო იყო ისეთი მარტივი და საიმედო ტექნიკური მხედველობის სისტემის შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფდა x დონის მიყოლას. ასეთი სისტემა დამუშავდა, დამზადდა და გამოიცადა ლაბორატორიის პირობებში. სისტემა შეიცავს 4 ნახევარგამტარ ლაზერს, 4 ფოტომიმდებს, ამდენივე მთვლელს, სტანდარტული იმპულსების გენერატორს, კომპარატორს და მარტივ ლოგიკურ სქემას. ლაზერები და ფოტომიმდებები განლაგებული არიან საკრეფ სისტემაზე ვერტიკალურად შპალერის სხვადასხვა მხარეს. ლაზერის სხივები სხვადასხვა სიმაღლეზე განსკვალავენ სანედლეულ ფენას და ხვდებიან შესაბამის ფოტომიმდებზე. მანქანის მოძრაობის დროს დროდადრო დუყები ახდენენ სხივების ეკრანირებას და ამგვარად მოდულირებული სხივები ხვდებიან ფოტომიმდებებზე. ზედა ორი არხის შესაბამისი მთვლელები თვლის გენერატორის იმპულსებს მხოლოდ მაშინ, როდესაც ზედა ორი სხივი ეკრანირებული არ არის და აღწევნ შესაბამის ფოტომიმდებამდე. მას შემდეგ, რაც მანქანა გაივლის გარკვეულ (მცირე) 1 მანძილს ამ ორი მთვლელის თვლის შედეგები იკრიბება. მიღებული შედეგი $s1$ შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ამონაყარის ფენის „გამჭვირვალობის“ შეფასება მის ზემო ნაწილში. ქვედა ორი არხის შესაბამისი მთვლელები კი პირიქით გენერატორის იმპულსებს თვლიან მხოლოდ მაშინ, როდესაც ქვედა ორი სხივი ეკრანირებულია და ვერ აღწევს შესაბამის ფოტომიმდებამდე. მას შემდეგ, რაც მანქანა გაივლის ხსენებულ 1 მანძილს, ამ ორი მთვლელის თვლის შედეგები იკრიბება და მიღებული შედეგი $s2$ შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ამონაყარის ფენის „გაუმჭვირვალობის“ შეფასება მის ზემო ნაწილში. $s1$ და $s2$ -ის შედარება საშუალებას გვაძლევს მარტივად განვახორციელოთ „გამჭვირვალე“ და „გაუმჭვირვალე“ ზონების

ტოლობის x დონის მიყოლას. ეს კი თავის მხრივ უზრუნველყოფს საჭრელი მოდულის სტაბილურ პოზიციონირებას სასურველ დონეზე. ლაბორატორულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ განხილული 4 დონიანი სისტემა უზრუნველყოფს x დონის მაღალი სიზუსტით მიყოლას.

2. ა) ციფრული გამოსახულების ანალიზის ამოცანებში მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს გამოსახულების გარჩევადობის გაზრდის ამოცანას მისი მასშტაბირების გზით. ასეთ ამოცანებს კერძოდ მიეკუთვნება: გამოსახულების ფრაგმენტიდან უფრო დეტალური ინფორმაციის მიღება მისი გადიდების შედეგად; გამოსახულების გადიდება ობიექტის იდენტიფიკაციისთვის; დაბალი გარჩევადობის გამოსახულებიდან მაღალი გარჩევადობის გამოსახულების მიღება მისი შემდგომი დეტალური ანალიზის გასაადვილებლად და ა.შ. თითოეული არსებული მეთოდი ხასიათდება როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მხარეებით. კერძოდ, უარყოფითი მხარეა მცირე ნაწილების გეომეტრიული ფორმის დამახინჯება და გამოსახულების ტექსტურის დაზიანება. ამ მიზეზების შესამცირებლად გამოიყენება ინტერპოლაციის ალგორითმები. აღნიშნული პრობლემის გადაჭრის ერთ-ერთი მიდგომას წარმოადგენს ინტერპოლაციის მეთოდების გამოყენება. წარმოდგენილ ნაშრომში გამოსახულების ზომის გადიდების ამოცანისთვის შემოთავაზებულია მაღალი კრებადობის მაჩვენებლის მქონე ინტერპოლაციის განზოგადებული ფორმულების (ფირანაშვილის ფორმულები) გამოყენება. ნაჩვენებია ციფრული გამოსახულების გადიდების შედეგები უიტკერ-კოტელნიკოვ-შენონისა და ფირანაშვილის ინტერპოლაციის ფორმულების გამოყენებით. ინტერპოლაციის შედეგად მიღებული სურათების აპროქსიმაციის სიზუსტის შესაფასებლად გამოთვლილია და შედარებულია ერთმანეთთან ნაშთითი წევრების სიდიდეები.

ბ) სახეთა ამოცნობის თეორიაში ცნობილი მინი და მაქსი პორტრეტების მეთოდი გულისხმობს გადაწყვეტილების მიღების ალგორითმული (ლოგიკური) პროცედურების ფორმირებას. ასეთ შემთხვევებში აღწერილია ცხრა შესაძლო სიტუაცია, რომელთა არსებობა შესაძლებელია უცნობი რეალიზაციის შედარებისას გამოსახულების ორ ეტალონურ აღწერასთან: მინი-პორტრეტი და მაქსი-პორტრეტი. თითოეული სიტუაცია აღწერილია ერთი ლოგიკური გამოსახულებით; ვინაიდან მინი და მაქსი პორტრეტები არის ორობითი ვექტორები ან მატრიცა. ეს ნიშნავს, რომ ცხრა სიტუაცია მოითხოვს ცხრა ლოგიკური გამოსახულების გამოთვლას, რაც ანელებს ამოცნობის პროცესს. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამოცნობის პროცესის შედეგი შეიძლება არ იყოს საბოლოო (შუალედური გადაწყვეტა), მაშინ ცხადი ხდება, რომ აუცილებელია ჩამოყალიბდეს მსგავსების კიდევ ერთი ზომა, რომელიც აღწერილი იქნება ერთი გამოსახულებით. შესაბამისად, ამოცნობის პროცესი უფრო მარტივი და სწრაფი გახდება. განხილულია მსგავსების ზომების ფორმირების პრობლემა მინი და მაქსი პორტრეტების მეთოდების გამოყენებით, სახეთა ამოცნობაში გადაწყვეტილების მიღების მიზნით უცნობი რეალიზაციის ამოცნობისას. შემუშავებულია მინი და მაქსი პორტრეტებთან შუალედური შედარების ოპერაციების შედგენის პროცედურები, რის შედეგადაც მიიღება ოთხი კოეფიციენტი. ეს კოეფიციენტები გამოიყენება მსგავსების ჩამოყალიბებული ზომების არგუმენტებად. ნაჩვენებია, რომ თუ გარკვეული პირობები

დაკმაყოფილებულია, შესაძლებელია მსგავსების ზომის ფორმირება რეფლექსურობისა და სიმეტრიის თვისებებთან ერთად. ექსპერიმენტები ჩატარდა C++ პროგრამირების ენის გამოყენებით. მიღებული მონაცემები ადასტურებს თეორიული კვლევის სისწორეს.

გ) შემოთავაზებულია სასკოლო გარემოში ფარდობითი ტენიანობის ტექნოლოგიური პროცესის მართვის ინოვაციური მიდგომა, რომელიც ეყრდნობა IoT ტექნოლოგიას. დამუშავებულია სასკოლო გარემოში ფარდობითი ტენიანობის ცენტრალიზებული მართვის კონცეფცია და IoT სისტემის ინოვაციური არქიტექტურა. არქიტექტურის ინოვაციურობა მდგომარეობს:

- ტენიანობის შემცირების ცნობილი ხერხების პროგრამული მართვით კომბინირებაში, რაც იწვევს ჭარბი ტენიანობის შემცირებას მაღალი ეფექტურობით და მოხმარებული ენერგიის შემცირებას;
- ადმინისტრატორის მიერ ტექნოლოგიური პროცესის დისტანციურად და ცენტრალიზებულად მართვის უზრუნველყოფაში საგანმანათლებლო დაწესებულების ჯგუფისათვის;
- სამომხმარებლო აპლიკაციის მიერ ტექნოლოგიური პროცესის დისტანციური მონიტორინგის შესაძლებლობაში;
- მონაცემთა მრავალ ჭრილში დამუშავების შესაძლებლობაში.

შერჩეულია სისტემის მაკომპლექტებლები, რაც მისი განხორციელების წინაპირობაა. განხილულია ზოგიერთი საინჟინრო გარემოება სისტემის განხორციელებისათვის.

გ) განხილულია ელექტროენერგიის მოხმარების მენეჯმენტის სისტემის განხორციელების საკითხები. ამ მიზნით მიზანშეწონილად არის მიჩნეული სისტემის აგება განხორციელდეს IoT ტექნოლოგიაზე დაყრდნობით, გამოზომი და აქტუატორული კვანძების სახით გამოყენებული იქნას მულტიფუნქციური მოწყობილობები.

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

6.3. კრებულები

1) ავტორი/ავტორები

1. ლ. იმნაიშვილი, მ. ბედიჩიშვილი, თ. თოდუა
2. ლ. იმნაიშვილი, მ. ბედიჩიშვილი, თ. თოდუა, კ. ქასოშვილი

2) კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

1. IoT სისტემა სასწავლო დაწესებულებაში მაღალი ტენიანობის წინააღმდეგ, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ნიკო ბერძენიშვილის ინსტიტუტი, შრომების კრებული, ტომი XVI, ISSN 1512-4991
2. ენერგომოხმარების მენეჯმენტის IoT სისტემა, IV საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. ბათუმი, 2023, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
2. თბილისი, 2023

4) გვერდების რაოდენობა

1. 10

2. 5

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. სამუშაოში შემოთავაზებულია სასკოლო გარემოში ფარდობითი ტენიანობის ტექნოლოგიური პროცესის მართვის ინოვაციური მიდგომა, რომელიც ეყრდნობა IoT ტექნოლოგიას. დამუშავებულია სასკოლო გარემოში ფარდობითი ტენიანობის ცენტრალიზებული მართვის კონცეფცია და IoT სისტემის ინოვაციური არქიტექტურა. არქიტექტურის ინოვაციურობა მდგომარეობს:

- ტენიანობის შემცირების ცნობილი ხერხების პროგრამული მართვით კომბინირებაში, რაც იწვევს ჭარბი ტენიანობის შემცირებას მაღალი ეფექტურობით და მოხმარებული ენერგიის შემცირებას;
- ადმინისტრატორის მიერ ტექნოლოგიური პროცესის დისტანციურად და ცენტრალიზებულად მართვის უზრუნველყოფაში საგანმანათლებლო დაწესებულების ჯგუფისათვის;
- სამომხმარებლო აპლიკაციის მიერ ტექნოლოგიური პროცესის დისტანციური მონიტორინგის შესაძლებლობაში;
- მონაცემთა მრავალ ჭრილში დამუშავების შესაძლებლობაში.

შერჩეულია სისტემის მაკომპლექტებლები, რაც მისი განხორციელების წინაპირობაა. განხილულია ზოგიერთი საინჟინრო გარემოება სისტემის განხორციელებისათვის.

2. სამუშაოში განხილულია ელექტროენერგიის მოხმარების მენეჯმენტის სისტემის განხორციელების საკითხები. ამ მიზნით მიზანშეწონილად არის მიჩნეული სისტემის აგება განხორციელდეს IoT ტექნოლოგიაზე დაყრდნობით, გამოზომი და აქტუატორული კვანძების სახით გამოყენებული იქნას მულტიფუნქციური მოწყობილობები.

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.1. მონოგრაფიები/წიგნები

1) ავტორი/ავტორები

1. Zhvania T., Todua T. Kiknadze M. Kapanadze D.

2) მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

1. Formation of Similarity Measures for Pattern Recognition Problems. Collective monograph. Contemporary Business Challenges in a Globalized World: Research, Study, Examination (Volume 4), ISBN: 978-620-4-73532-0

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. Lambert Academic Publication. 2023

4) გვერდების რაოდენობა

1.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ამოცნობის თეორიაში ცნობილი მინი და მაქსი პორტრეტების მეთოდი გულისხმობს გადაწყვეტილების მიღების ალგორითმული (ლოგიკური) პროცედურების ფორმირებას. ასეთ შემთხვევებში აღწერილია ცხრა შესაძლო სიტუაცია, რომელთა არსებობა შესაძლებელია უცნობი რეალიზაციის შედარებისას გამოსახულების ორ ეტალონურ აღწერასთან: მინი-პორტრეტი და მაქსი-პორტრეტი. თითოეული სიტუაცია აღწერილია ერთი ლოგიკური გამოსახულებით; ვინაიდან მინი და მაქსი პორტრეტები არის ორობითი ვექტორები ან მატრიცა. ეს ნიშნავს, რომ ცხრა სიტუაცია მოითხოვს ცხრა ლოგიკური გამოსახულების გამოთვლას, რაც ანელებს ამოცნობის პროცესს. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამოცნობის პროცესის შედეგი შეიძლება არ იყოს საბოლოო (შუალედური გადაწყვეტა), მაშინ ცხადი ხდება, რომ აუცილებელია ჩამოყალიბდეს მსგავსების კიდევ ერთი ზომა, რომელიც აღწერილი იქნება ერთი გამოსახულებით. შესაბამისად, ამოცნობის პროცესი უფრო მარტივი და სწრაფი გახდება.

ნაშრომი განიხილავს მსგავსების ზომების ფორმირების პრობლემას მინი და მაქსი პორტრეტების მეთოდების გამოყენებით, სახეთა ამოცნობაში გადაწყვეტილების მიღების მიზნით უცნობი რეალიზაციის ამოცნობისას. შემუშავებულია მინი და მაქსი პორტრეტებთან შუალედური შედარების ოპერაციების შედგენის პროცედურები, რის შედეგადაც მიიღება ოთხი კოეფიციენტი. ეს კოეფიციენტები გამოიყენება მსგავსების ჩამოყალიბებული ზომების არგუმენტებად.

ნაჩვენებია, რომ თუ გარკვეული პირობები დაკმაყოფილებულია, შესაძლებელია მსგავსების ზომის ფორმირება რეფლექსურობისა და სიმეტრიის თვისებებთან ერთად.

ექსპერიმენტები ჩატარდა C++ პროგრამირების ენის გამოყენებით. მიღებული მონაცემები ადასტურებს თეორიული კვლევის სისწორეს.

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. Tamaz Sulaberidze, Otar Tavdishvili, **Zurab Alimbarashvili**

2. ლ. იმნაიშვილი, მ. ბედიანიშვილი, თ. თოდუა, კ. ქასოშვილი

2) მოხსენების სათაური

1. Digital image enlarging using the generalized interpolation formulae, “თანამედროვე გამოწვევები და მიღწევები ინფორმაციულ და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებში”

2. ენერგომოხმარების მენეჯმენტის IoT სისტემა, IV საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. 12-13 ოქტომბერი 2023, თბილისი, საქართველო

2. თბილისი, 2023

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

1. ციფრული გამოსახულების ანალიზის ამოცანებში მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს გამოსახულების გარჩევადობის გაზრდის ამოცანას მისი მასშტაბირების გზით. ასეთ ამოცანებს კერძოდ მიეკუთვნება: გამოსახულების ფრაგმენტიდან უფრო დეტალური ინფორმაციის მიღება მისი გადიდების შედეგად; გამოსახულების გადიდება ობიექტის იდენტიფიკაციისთვის; დაბალი გარჩევადობის გამოსახულებიდან მაღალი გარჩევადობის გამოსახულების მიღება მისი შემდგომი დეტალური ანალიზის გასაადვილებლად და ა.შ. თითოეული არსებული მეთოდი ხასიათდება როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მხარეებით. კერძოდ, უარყოფითი მხარეა მცირე ნაწილების გეომეტრიული ფორმის დამახინჯება და გამოსახულების ტექსტურის დაზიანება. ამ მინუსების შესამცირებლად გამოიყენება ინტერპოლაციის ალგორითმები. აღნიშნული პრობლემის გადაჭრის ერთ-ერთი მიდგომაა წარმოადგენს ინტერპოლაციის მეთოდების გამოყენება. წარმოადგენს ნაშრომში გამოსახულების ზომის გადიდების ამოცანისთვის შემოთავაზებულია მაღალი კრებადობის მაჩვენებლის მქონე ინტერპოლაციის განზოგადებული ფორმულების (ფირანაშვილის ფორმულები) გამოყენება. ნაჩვენებია ციფრული გამოსახულების გადიდების შედეგები უიტკერ-კოტელნიკოვ-შენონისა და ფირანაშვილის ინტერპოლაციის ფორმულების გამოყენებით. ინტერპოლაციის შედეგად მიღებული სურათების აპროქსიმაციის სიზუსტის შესაფასებლად გამოთვლილია და შედარებულია ერთმანეთთან ნაშთითი წევრების სიდიდეები.

ბიოკიბერნეტიკული სისტემების განყოფილება (უფროსი ფიზ. მათ. მეც. დოქტორი ბესარიონ ფარცვანია)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით
1. 5G ტექნოლოგიაში გამოყენებული მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების გამოკვლევა მწერებსა და პატარა ფრინველებზე

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ბესარიონ ფარცვანია — პროექტის ხელმძღვანელი, ვერა ჯელაძე — პროექტის ძირითადი შემსრულებელი, მეცნიერი მკვლევარი, თამაზ სულაბერიძე – მეცნიერი მკვლევარი, თეიმურაზ გოგოლაძე — მეცნიერი მკვლევარი, თენგიზ ზორიკოვი — მეცნიერი მკვლევარი, გია ქუთელია — მეცნიერი მკვლევარი, ირაკლი ავალიშვილი — მეცნიერი მკვლევარი

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. 5G ტექნოლოგიაში გამოყენებული მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების გამოკვლევა მწერებსა და პატარა ფრინველებზე. (ზუსტი მეცნიერებები და ინჟინერია — ელექტრომაგნეტიზმი; სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებები — ბიომრავალფეროვნება, ნეირომეცნიერება).

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ბესარიონ ფარცვანია — პროექტის ხელმძღვანელი, ვერა ჯელაძე — პროექტის ძირითადი შემსრულებელი, მეცნიერი მკვლევარი, თამაზ სულაბერიძე – მეცნიერი მკვლევარი, თეიმურაზ გოგოლაძე — მეცნიერი მკვლევარი, თენგიზ ზორიკოვი — მეცნიერი მკვლევარი, გია ქუთელია — მეცნიერი მკვლევარი, ირაკლი ავალიშვილი — მეცნიერი მკვლევარი

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 20-- წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. 5G -ს მობილური ქსელების მოსალოდნელი ინსტალაცია საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად გაზარდოს მობილური კავშირის ფართოზოლოვანი სიჩქარე, რის შედეგადაც ასევე გაიზრდება მობილური ინტერნეტის გამოყენება. ტექნიკური ინოვაციები მოიცავს სხვადასხვა გადაცემის სისტემას (MIMO: მრავალჯერადი შეყვანის და მრავალგამომავალი ანტენების გამოყენება), მიმართულების სიგნალის გადაცემას ან მიღებას (სხივის ფორმირება) და სხვა სიხშირის დიაპაზონების გამოყენებას. ამავე დროს, მოსალოდნელია ადამიანის და გარემოს ელექტრომაგნიტური ველების (EMF) ზემოქმედების ცვლილება. დღემდე გამოყენებული სიხშირეებია 700 MHz, 3.6 GHz (3.4 to 3.8 GHz) და 26 GHz (24.25 - 27.5 GHz). პირველი ორი სიხშირე შეესაბამება 2G-- 4G- ტექნოლოგიებში გამოყენებულ სიხშირეებს. მათი შესწავლა ფართოდ ხდებოდა ეპიდემიოლოგიურ და ექსპერიმენტულ კვლევებში, რაც შეეხება 26 გჰც და უფრო მაღალი სიხშირეებს ისინი არ იყო სათანადოდ შესწავლილი.

ახალი 5G ტექნოლოგიის გამოყენების შესაძლებლობამ გამოიწვია საზოგადოების მნიშვნელოვანი შეშფოთება ამ ელექტრომაგნიტური ველების (EMF) ადამიანზე და გარემოზე შესაძლო ნეგატიურ ზემოქმედების შესახებ. ადრეულ კვლევებში ფართოდ იქნა შესწავლილი ადამიანზე 2G, 3G და 4G სისტემებში 450-დან 2500 MHz სიხშირეების ველების ზემოქმედება. რაც შეეხება 5G -ს: პუბლიკაციების შესწავლამ დაგვანახა, რომ ჯერჯერობით არაა კვლევები, რომლებშიც შესწავლილი იქნებოდა 5G -ს რაიმე ბიოლოგიური ეფექტები. 10 გჰც-ზე მაღალი სიხშირეების EMF ბიოლოგიურ ობიექტებზე ზემოქმედების მექანიზმი შეიძლება განსხვავდებოდეს იმ მექანიზმებიდან, რომლებიც მოქმედებენ უფრო დაბალი სიხშირეების EMF ზემოქმედების დროს. აქედან გამომდინარე, შესაძლებელია, რომ 5G-ის გავლენა ბიოსისტემებზე გახდეს არაპროგნოზირებადი. რაც შეეხება მილიმეტრულ სიგრძის EMF ტალღებს, არსებული ექსპერიმენტული მონაცემებიდან გამომდინარე, მათი ბიო-ეფექტების მექანიზმის შესახებ არსებული ცოდნა არაა საკმარისი. ასევე არასაკმარისია თეორიული მოდელები, რათა გაკეთდეს სანდო დასკვნები.

უნიკალური ფიზიოლოგიის გამო ფლორისა და ფაუნის ზოგიერთი სახეობა მგრძნობიარეა გარეშე (ეგზოგენური) EMF-ების მიმართ. შესწავლილია ზოგიერთი მაღალი სიხშირის EMF-ების ზემოქმედება მწერებზე. ნაჩვენებია, რომ შთანთქმული დოზა დამოკიდებულია სიხშირეზე და შეიძლება მნიშვნელოვნად გაძლიერდეს, როდესაც ადგილი აქვს რეზონანსულ მოვლენას მთლიანი სხეულის ან მისი რაიმე ნაწილის დონეზე. კონკრეტული მწერებისთვის სხვადასხვა ინდივიდუალურ სიხშირეზე რადიოსიხშირეების შთანთქმა შესწავლილია სხვადასხვა ავტორის მიერ 27 MHz, 915 MHz და 2450 MHz-სათვის.

არსებული კვლევების უმეტესობა ფოკუსირებულია 6 გჰც-ზე დაბალ RF სიხშირეებზე. ეს იგივე სიხშირეებია, რომლებზეც მუშაობს სატელეკომუნიკაციო სისტემების ამჟამინდელი თაობები. თუმცა, გამტარუნარიანობის გაზრდილი მოთხოვნის გამო ზოგადად მოსალოდნელია, რომ სატელეკომუნიკაციო სიხშირეების შემდეგი თაობა იმუშავებს ეგრეთწოდებულ მილიმეტრულ ტალღის სიგრძეზე, ანუ სიხშირეების მიხედვით 30–300 გჰც-ებზე. ამრიგად, მომავალში 5G-ს პირობებში მოხდება უსაღებო სატელეკომუნიკაციო სისტემებისთვის გამოყენებული ელექტრომაგნიტური ველების ტალღის სიგრძის უაღრესი შემცირება. ეს ტალღის სიგრძეები გახდება მწერებისა და პატარა ფრინველების სხეულის ზომასთან შესადარი. აქდან გამომდინარე, მოსალოდნელია, რომ ამ ბიოლოგიურ ობიექტებში ადგილი ჰქონდეს RF-EMF-ების შთანთქმის გაზრდას. გარდა ამისა, მოსალოდნელია რეზონანსული მოვლენები მათ მთელ სხეულში.

შესაბამისად, პრობლემა იმაში მდგომარეობს, რომ ახალი თაობის 5G EMF-ებმა შეიძლება გამოიწვიოს მწერების, განსაკუთრებით ფუტკრების გაქრობა, უაროფითად იმოქმედოს ფრინველებზე.

მწერები ამტვერიანებენ და, შესაბამისად, მონაწილეობენ მცენარეთა ყველა სახეობის 80%-ის განაყოფიერებაში. მათ შორისაა: ვაშლი, ნესვი, ციტრუსები, ხახვი, კომბოსტო, ყაბაყი, ლობიო, კიტრი, პომიდორი, წიწკა, ბადრიჯანი, ყავა, კაკაო, ქოქოსი და ყველა სახის ხილი. ერთი ფუტკარი 1 დღეში ემსახურება 7000 ყვავილს, ხოლო 1 კილოგრამი თაფლის მოსამზადებლად საშუალოდ 4 მილიონი ყვავილის ვიზიტია საჭირო. ფუტკრების გარეშე ეს მცენარეები დაილუპებიან. ეს გაანადგურებს მნიშვნელოვან კვებით ჯაჭვებს. პირუტყვი მნიშვნელოვანი საკვების გარეშე დარჩება. გაჩნდება რძისა და ხორცის დეფიციტი. ფუტკრები ასევე ამტვერიანებენ ბამბის მცენარეებს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბამბის ტანსაცმელი. ქალების 60% და მამაკაცის ტანსაცმლის 70% დამზადებულია ბამბისგან. ფუტკარი გადაშენდება, ტანსაცმელი წარწერით „100% ბამბა“ გაქრება. ინდუსტრიის მრავალი მნიშვნელოვანი სფერო დამოკიდებულია ფუტკრებზე: მათ გარეშე ბიოეთანოლის წარმოება განადგურდება და საფრთხის ქვეშ აღმოჩნდება მრავალი საკვები და სამედიცინო მომწოდებელი. იქნება ტვირთის გადაზიდვების კოლაფსი. ჩვენ დავკარგავთ ჩვენი პოპულარული საკვების დაახლოებით 70%-ს, რადგან მათი ტრანსპორტირება შეუძლებელი გახდება. ალბერტ აინშტაინმა გააიგივა ფუტკრების გადაშენება მეტეორიტის ჩამოვარდნის, ვულკანის ამოფრქვევის ან ატომური ბომბის აფეთქების შედეგად მიყენებულ ზიანთან. გენიალურმა ფიზიკოსმა თქვა, რომ, რომ ჟანგბადის გარეშე ადამიანს შეუძლია 3 წუთი გაძლოს, წყლის გარეშე — 3 დღე, ხოლო ფუტკრების გარეშე — 4 წელი. აღსანიშნავია, რომ ადგილი აქვს ფუტკრის რობოტის შექმნის მცდელობას, თუმცა პროექტის დასრულებას მინიმუმ 10 წელი დასჭირდება. ამასთან მათი გამოყენების შემთხვევაში საკვების ფასი 30%-ით გაიზრდება. სხვა მწერების გადაშენება გამოიწვევს მრავალი ფრინველის გადაშენებას, რადგან ისინი ჭამენ მწერებს. აღსანიშნავია ისიც, რომ თევზის ზოგიერთი სახეობა იკვებება კოლოებით.

ფარული საფრთხე აქვს გადამდები დაავადებების გაქრობასაც, რომლებიც მწერებს გადააქვთ. მათ გარეშე ეკოსისტემის სტაბილურობა დაირღვევა, რადგან ინფექციები აკონტროლებენ ცხოველთა პოპულაციის რაოდენობას (ისევე როგორც მტაცებლები).

ეკოლოგიური კატასტროფა გარდაუვალია მწერების გარეშე. ისინი აკონტროლებენ სარეველებისა და პარაზიტების რაოდენობას, რომლებიც ამუშავებენ ცხოველთა და მცენარეთა ნაშთებს. მათ გარეშე 10 წელიწადში ტყეები ცხოველებისა და მცენარეების ნარჩენების სქელი ფენით დაიფარება. ეს გამოიწვევს მცენარეებისა და ცხოველების გადაშენებას. მსგავსი რამ დაფიქსირდა მე-20 საუკუნეში ავსტრალიის სამოვრებზე, სადაც წვენი მწოველი მწერები რატომრაც დაიღუპნენ.

კომპიუტერული სიმულაციები:

ამ მიზნით, სასრული განსხვავების დროის დომენის (FDTD) ტექნიკა არის გამოყენებული EM და თერმული სიმულაციებისთვის. შეფასებულია EMF ენერგიის შთანთქმა (SAR) და ტემპერატურის ზრდა ფუტკრებში. ჩვენ შევქმენით ფუტკრის რეალისტური მოდელი, სადაც გავითვალისწინებულა ფუტკრის სხვადასხვა ქსოვილების არსებობა. ფუტკრის სხეულის ნაწილები დამუშავებულ იქნა STL ფორმატში გრაფიკული პროგრამების გამოყენებით: 3ds max და adobe Netfabb premium3D. სხეულის მოდელების შექმნილი STL ფაილები იმპორტირებული და დისკრეტიზირებული იქნა FDTD-ზე დაფუძნებულ პროგრამულ პაკეტში FDTD Lab, რომელიც გამოყენებული იქნა EM და თერმული სიმულაციებისთვის. გამოვიყენეთ IT'IS ქსოვილის თვისებების მონაცემთა ბაზა (<https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/database-summary/>), რომელიც უზრუნველყოფს EM და თერმულ პარამეტრებს ყველა ბიოლოგიური ქსოვილისათვის. ამ მონაცემთა ბაზაში ყველა ბიოლოგიური ქსოვილის სიხშირეზე დამოკიდებული EM პარამეტრები (დიელექტრული შეღწევადობა და გამტარობა) ხელმისაწვდომია 10 ჰც-დან 100 გჰც-მდე სიხშირის დიაპაზონში. ფუტკრის მოდელში წარმოდგენილი იქნა სამი განსხვავებული ქსოვილი: საფარი (ქიტინი), ქიტინის ქვეშ არსებული ძირითადი ქსოვილი და ტვინის მატერია. ქიტინის საფარად შეირჩა ხრტილოვანი ქსოვილი. ხრტილის დიელექტრული თვისებები ცნობილია. ქსოვილის ძირითადი პარამეტრების მნიშვნელობები აღებული იქნა რამდენიმე ძირითადი შიდა ქსოვილის პარამეტრის მნიშვნელობების გასაშუალებით, ფუტკრის ანატომიური თავისებურებების გათვალისწინებით.

ტვინის პარამეტრების მნიშვნელობები აღებული იქნა ტვინის ნაცრისფერი და თეთრი ნივთიერების პარამეტრების მიხედვით IT'IS მონაცემთა ბაზიდან. ფუტკრის EM და თერმული პარამეტრების ასეთი შერჩევამ საშუალება მოგვცა შეგვეფასებინა ტემპერატურის მატება ფუტკრის ქსოვილებში, ვინაიდან მისი თერმული პარამეტრები ჯერ არ არის გაზომილი.

EMF მიმართ ექსპოზიცია მოდელირებულია სინუსოიდური (ჰარმონიული) უწყვეტი ბრტყელი ტალღების გამოყენებით. თითოეული სიხშირისთვის 6 დამცემი ბრტყელი ტალღა მოძრაობს სამი მიმართულებით (გვერდით, წინა და ზედა), რომლებიც განსაზღვრულია დეკარტის კოორდინატთა სისტემით. თითოეული მიმართულებისთვის არჩეულია ორი ორთოგონალური შემხვედრი ელექტრული ველის პოლარიზაცია.

დისკრეტიზაციის ზომის შესარჩევ FDTD მოდელირებისთვის. მეთოდის მიხედვით, სიმულაციური დომენი იყოფა კუბებად სამგანზომილებიანი სწორხაზოვანი ბადის გამოყენებით. ტალღის სიგრძის, სიმულაციების ობიექტების მახასიათებლების ზომისა და სასურველი სივრცის სიზუსტის მიხედვით, სიმულაციის დისკრეტიზაციისთვის გამოიყენება სხვადასხვა სივრცითი ნაბიჯი. ვინაიდან FDTD არის დროის დომენის ტექნიკა, მას სჭირდება

წინასწარ განსაზღვრული სიმულაციური დრო სტაბილური მდგომარეობის გადაწყვეტის მისაღწევად, რომელიც კვლავ დამოკიდებულია არჩეულ სივრცულ გარჩევადობაზე, ტალღის სიგრძესა და სიმულაციური დომენის ზომაზე. FDTD ალგორითმი მოითხოვს ბადის საფეხურს, რომელიც არის სიმულაციური დომენის უმცირესი ტალღის სიგრძის მეთედზე ნაკლები, რათა გვქონდეს სტაბილური გადაწყვეტილებები. უმცირესი ტალღის სიგრძე დიელექტრიკულ ქსოვილში განისაზღვრება როგორც $\lambda/\sqrt{\epsilon_r}$. FDTD ალგორითმის ყველა ეს მოთხოვნა მიღებულია კვლევაში. FDTD Lab-ში, EM ამომხსნელი ეფუძნება მაქსველის დიფერენციალური განტოლებების რიცხვით ამონახსნებს FDTD მეთოდით და Yee ალგორითმით; თერმული ამომხსნელი ეფუძნება პენის ბიო-სითბოს განტოლებას. განსაზღვრულია E-ველი, SAR და შეფასებულია ტემპერატურის ზრდა ფუტკრისათვის.

მიღებულია შემდეგი შედეგები:

დამუშავებულია ფუტკრის 3D მოდელი STL ფორმატში.

შექმნილია ფუტკრის 3D ჰეტეროგენული დისკრეტული მოდელი და ქსოვილებისთვის მინიჭებულია EM და თერმული პარამეტრები.

ჩატარებულია EM სიმულაციები ფუტკრის ქსოვილებში E- ველების და SAR-ებისთვის და განსაზღვრულია 2.4, 3.7, 6, 12, 25, GHz სიხშირეებზე.

ჩატარებულია თერმული სიმულაციები და შეფასებულია ფუტკრის ქსოვილებში ტემპერატურის მატება 2.4, 3.7, 6, 12, 25 სიხშირეებზე.

დამუშავებულია კრაზანის 3D მოდელი STL ფორმატში.

შექმნილია კრაზანის 3D ჰეტეროგენული დისკრეტული მოდელი და ქსოვილებისთვის მინიჭებულია EM და თერმული პარამეტრები.

ჩატარებულია EM სიმულაციები კრაზანის ქსოვილებში E- ველების და SAR-ების განსაზღვრავად 2.4, 3.7, 6, 12, 25, სიხშირეებზე.

ჩატარებულია თერმული სიმულაციები და შეფასებულია კრაზანის ქსოვილებში ტემპერატურის მატება 2.4, 3.7, 6, 12, GHz სიხშირეებზე.

ექსპერიმენტული ნაწილი.

ნეირონში შეყვანილი მიკროელექტროდი მოქმედებს, როგორც დამატებითი ანტენა, რაც შეუძლებელს ხდის ნეირონის მიერ შთანთქმული ელექტრომაგნიტური ენერგიის განსაზღვრას. აქედან გამომდინარე, EMF-ზე ზემოქმედება და ნეირონების რეგისტრაცია განხორციელდა ცალ-ცალკე. თავდაპირველად მოვახდინეთ ნეირონების დასხივება EMF-ით. ამის შემდგომ ხორციელდებოდა ელექტროფიზიოლოგიური გამოკვლევები.

ნეირონების ექსპოზიცია და დოზიმეტრია: ელექტრომაგნიტურ ველებზე ნეირონების ზემოქმედების შესაძლო ბიოფეექტების შესწავლის ერთ-ერთი გზაა კონტროლირებადი ექსპერიმენტების ჩატარება, სადაც ცოცხალი ნეირონები მოთავსებულია კარგად განსაზღვრულ ველში. რადიოსიხშირეებზე და მიკროტალღურ ტალღებზე კარგად კონტროლირებადი ველის გარემო არის განივი ელექტრომაგნიტური (TEM) ტალღა, ანუ ერთიანი ბრტყელი ტალღა. TEM უჯრედი არის უმარტივესი სისტემა, რომელიც იძლევა მკაცრად განსაზღვრულ ბრტყელ ტალღას.

ვახდენდით ნეირონების (განგლიების) ექსპოზიციას EMF-ს მიმართ TEM უჯრედში. ელექტრომაგნიტური ველის შესაქმნელად TEM უჯრედში გამოყენებულ იქნა 2.4 გჰც სიხშირის გენერატორი. განგლიები ნეირონებით თავსდებოდა 1 სმ³ მოცულობის

პენოპლასტის კიუვეტაში. კიუვეტა გავსებული იყო რინგერის ხსნარით. კიუვეტა თავსდებოდა TEM Cell ცენტრში, სადაც EMF არის ერთგვაროვანი. პენოპლასტის ელექტრული თვისებები დაახლოებით ტოლია ჰაერის ელექტრული თვისებებისა. ეს გარემოება ამარტივებდა SAR და ტემპერატურის ნამაატის გამოთვლებს. დასხივების გენერატორი უკავშირდებოდა TEM უჯრედის შესავალს 50 Ohm კაბელით.

განგლიების SAR-ის განსაზღვრა და ასევე, ტემპერატურის მატება ექსპოზიციის დროს, TEM უჯრედის შიგნით ხორციელდებოდა FDTD მეთოდის გამოყენებით.

ელექტროფიზიოლოგიური ექსპერიმენტების ჩასატარებლად გამოყენებული იყო მიკროელექტროული ტექნიკა. ექსპერიმენტები ტარდებოდა Helix Pomatias-ს ნერვულ განგლიებზე და მის ცალკეულ ნეირონებზე.

პრონაზით დამუშავების შემდეგ ნეირონებს გამოვრეცხავდით სუფთა რინგერის ხსნარით. რინგერის ხსნარის შემადგენლობა იყო; NaCl 80 მმ; KCl 4 მმ; CaCl₂ 7მმ; MgCl₂ 5მმ; Tris-HCl ბუფერი 5მმ; pH =7,5-8).

EMF ზემოქმედების შემდეგ განგლიები გადაგვქონდა ეკრანირებულ კამერაში ფიზიოლოგიური ექსპერიმენტების ჩასატარებლად. ნეირონების რეგისტრაციისათვის გამოყენებული იყო მიკროელექტროდები, დამზადებული ბოროსილიკატური მინისაგან. მიკროელექტროდები ქლორირებული ვერცხლის მავთულით უერთდებოდა უჯრედშიგა ელექტრომეტრს IE-251A (Warner Instruments). მიკროელექტროდების დამზადება ხდებოდა მიკროელექტროდის გასაჭიმ ხელსაწყოზე P-30-ზე (Sutter instruments). მიკროელექტროდების შეყვანა ნეირონში ხდებოდა პიეზო-მიკრომანიპულატორების გამოყენებით (PM-20 Marzhauser Wetzlar).

განათებისთვის გამოყენებული იყო AmScope HL150-BY 150w ორმაგი Gooseneck ოპტიკურ-ბოჭკოვანი მიკროსკოპის გამანათებელი.

IE-251A-ს გამოსავალი უერთდებოდა მონაცემთა არების სისტემასთან ML866 PowerLab/4/30 „Chart 5“ პროგრამული უზრუნველყოფით (AD ინსტრუმენტები). პროგრამული უზრუნველყოფის "პიკის პარამეტრების" ფუნქცია გამოყენებული იქნა ქმედების პოტენციალის მახასიათებლების ცვლილებების გასაანალიზებლად.

უჯრედშიდა სტიმულაცია ხდებოდა Picoampersource K261 (აშშ) გამოყენებით.

მიღებული შედეგები:

გამოკვლეულია როგორც ელექტრომაგნიტური ველით დასხივებული, ასევე საკონტროლო ნეირონების ქმედების პოტენციალის პარამეტრები. ნაჩვენებია, რომ 2.4 გჰც სიხშირის ემვ ზემოქმედება ნეირონზე იწვევს ქმედების პოტენციალის პარამეტრების ცვლილებას (პიკალზე 0.05 ბევრად ნაკლებია). სტატისტიკური დამუშავებისათვის ვიყენებდით ე.წ t-სტუდენტს.

3. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

3.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. ინფრაწითელი ვიზუალიზაციის ახალი მეთოდის დამუშავება რადიკალური პროსტატექტომიისა და ნაწილობრივი ნეფრექტომიის შემდეგ კიბოს რეციდივის თვითდასაცილებლად. მიმართულება: 2. სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებები; ქვე-მიმართულება: 2.7. ადამიანის დაავადებების პრევენცია, დიაგნოზი და მკურნალობა კატეგორია: 2.7.1 სამედიცინო გამოსახულება დაავადებების პრევენციის, დიაგნოზისა და მონიტორინგისთვის, FR-22-195
2. 5G ტექნოლოგიებში გამოყენებული მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების გამოკვლევა ზოგიერთ ბიოლოგიურ სახეობაზე (ზუსტი მეცნიერებები და ინჟინერია — ელექტრომაგნიტიზმი; სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებები — ბიომრავალფეროვნება, ნეირომეცნიერება), FR-22-2771
3. ახალგაზრდა მეცნიერის კვლევითი პროექტი YS-21-109 — რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების შესწავლა მწერებზე 2.5 - 100 GHz დიაპაზონში“ (საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები - ფიზიკური მეცნიერებანი, კომპიუტერული მეცნიერებანი; ინჟინერია და ტექნოლოგიები - საკომუნიკაციო ინჟინერია და სისტემები)

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2026
2. 2023-2026
3. 2021-2023

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ბესარიონ ფარცვანია — პროექტის ხელმძღვანელი, თამაზ სულაბერიძე — მეცნიერი მკვლევარი, ალექსანდრე ხუსკივაძე — ექიმი, მეცნიერი მკვლევარი, სოფიო აბაზაძე — მეცნიერი მკვლევარი.
2. ვერა ჯელაძე — პროექტის ხელმძღვანელი და ძირითადი პერსონალი (მკვლევარი), ბესარიონ ფარცვანია — ძირითადი პერსონალი (მკვლევარი), თამარ ნოზაძე — კოორდინატორი, ძირითადი პერსონალი (მკვლევარი), ცოტნე შენგელია — დამხმარე პერსონალი.
3. ვერა ჯელაძე — პროექტის ხელმძღვანელი, ახალგაზრდა მეცნიერი, გიორგი კორკოტაძე — დამხმარე პერსონალი.

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 20-- წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. მამაკაცებში პროსტატის კიბოსაგან გამოწვეული სიკვდილიანობა მეორე ადგილზეა მსოფლიოში ფილტვების კიბოსაგან გამოწვეული სიკვდილიანობის შემდეგ (Rawla 2019). აქედან გამომდინარე, პროსტატის კიბო წარმოადგენს ერთერთ აქტუალურ სამედიცინო პრობლემას. მსოფლიოში თირკმლის კიბოს მამაკაცებში მე-6 ადგილი, ხოლო ქალებში მე-9 ადგილი უჭირავს კიბოთი დაავადებებს შორის [<https://www.cancer.net/cancer-types/kidney-cancer/statistics>]. ამ დაავადებათა მკურნალობის/განკურნების ყველაზე ეფექტურ საშუალებას დღეისდღეობით წარმოადგენს ქირურგიული ოპერაცია. პროსტატის კიბოს შემთხვევაში ეს

არის რადიკალური პროსტატექტომია. თირკმლის კიბოს შემთხვევაში ეს არის სრული ან ნაწილობრივი ნეფრაქტომია.

პროსტატის კიბოს რადიკალური პროსტატექტომიით საქმე არ სრულდება. სამწუხაროდ, ნაოპერაციები პაციენტების 30-40% შემთხვევაში ვითარდება ლოკალური რეციდივი. (Scattoni et al. 2004). რეციდივის განვითარება დამოკიდებულია პროსტატაში არსებული კიბოს აგრესიულობის ხარისხზე. პროსტატის კიბოს რეციდივის ალბათობა მით მეტია, რაც დიდია თავდაპირველი სიმსივნის აგრესიულობის ხარისხი (Grossfeld et al. 2003, Han et al. 2001, Bianco et al. 2003). პროსტატის კიბოს აგრესიულობის ხარისხს განსაზღვრავენ ე.წ. გლისონის ქულათა ჯამის დადგენის გზით, აგრესიულობის ხარისხი არ არის დამოკიდებული პროსტატის კიბოს განვითარების სტადიაზე (Murata et al., 2018). პაციენტების პოსტოპერაციული მდგომარეობის მენეჯმენტი და საჭირო მკურნალობის ეფექტურობა განისაზღვრება იმ ჰისტო-მორფოლოგიურ გამოკვლევებზე დაყრდნობით, რომელიც ჩატარდა უშუალოდ ოპერაციის შემდეგ იზოლირებულ პროსტატაზე და დიდად არის დამოკიდებული კიბოს აგრესიულობაზე. თუ აგრესიულობის მაღალი ხარისხი (ე.ი. სათანადო გლისონის ქულათა ჯამი) ზუსტად ვერ იქნა გამოვლენილი, მაშინ არასწორად იქნება შერჩეული პოსტოპერაციული მენეჯმენტი და იზრდება კიბოს რეციდივის ალბათობა (Vachani 2018). იმისთვის, რომ პათომორფოლოგიური პასუხი იყოს 100%-ით ზუსტი, უნდა მოხდეს მთლიანი პროსტატის ყველა ნაწილის ანათლების დამზადება და შემდგომ მათი მიკროსკოპის ქვეშ გამოკვლევა, რაც უაღრესად შრომატევადი საქმიანობაა და დიდ დროს მოითხოვს. ზემოთ აღნიშნულის გამო, ასეთი ტიპის გამოკვლევა პრაქტიკულად არ ტარდება. ამიტომაც, უმეტეს კლინიკებში იყენებენ ნაწილობრივი შერჩევის პრაქტიკას. რეციდივების მაღალი პროცენტის მიზეზი არის ის, რომ ნაწილობრივი შერჩევის მეთოდის გამოყენებისას ხშირად ვერ ხერხდება აგრესიულობის მაღალი ხარისხის მქონე ადგილების სრული გამოვლენა, რის შედეგადაც არასწორად ხდება პოსტოპერაციული მენეჯმენტის შერჩევა და ადგილი აქვს კიბოს რეციდივს. ამ მიდგომის ძირითადი სისუსტეები, რომლებიც განაპირობებენ ზემოთ აღნიშნულ შეცდომებს, შემდეგია:

1) ჩვეულებრივ, თითოეული ნაოპერაციები პროსტატიდან ჰისტო-მორფოლოგიური კვლევის ჩასატარებლად მზადდება 30-40 სასაგნე მინა. ამისათვის იზოლირებული პროსტატა თავიდან მუშავდება ფორმალინში, შემდეგ იჭრება 5-6 მილიმეტრის სისქის ფენებად. ხოლო შემდეგ ამ ფენებიდან აიღება ანათლები. ანათლები აიღება პროსტატის მთელი მოცულობიდან შემთხვევითი შერჩევის გზით, (True, 1994; Bova et al., 1993). ეს უაღრესად მცირეა იმისათვის, რომ გამოკვლეული იქნას მთლიანი პროსტატის ქსოვილი.

2) პროსტატის სიმსივნე მორფოლოგიურად არაერთგვაროვანი და მულტიფოკალურია. შეიძლება ერთსა და იმავე პროსტატაში შეგვხვდეს სხვადასხვა აგრესიულობის მქონე კიბოვანი წარმონაქმნები. შეუიარაღებელი თვალით პრაქტიკულად შეუძლებელია სიმსივნური უბნის ზუსტი ლოკალიზაცია. ხშირად კიბო პროსტატაში გავრცელებულია აცინუსების სახით (Faraz et al. 2015). აცინუსების აგრესიულობის ხარისხი სხვადასხვაა. მაშასადამე, შესაძლებელია, რომ მაღალი გლისონის ქულის მქონე არე ზომით პატარა იყოს და ასეთი არე ვერ მოხვდეს აღნიშნულ სასაგნე მინაზე, ე.ი. ვერ მოხერხდეს მისი დეტექტირება და, შესაბამისად, ვერ ხერხდება მიზანმიმართული ჰისტოლოგიური გამოკვლევა. შესაბამისად, მივიღებთ არასწორ ინფორმაციას უმაღლესი აგრესიულობის

ხარისხის მქონე წარმონაქმნის არსებობის შესახებ. მაშასადამე, შეცდომით იქნება დაგეგმილი პაციენტის პოსტოპერაციული მკურნალობის სქემა. პროსტატის ჰისტოპათოლოგიური პრეპარატების კომპიუტერული შეფასების არსებული მიდგომები იყენებენ ჯირკვლის ჰისტომორფომეტრიას ან კონტექსტზე დაფუძნებული ჯირკვლის რაოდენობას, რათა განასხვავონ კეთილთვისებიანი, დაბალი და მაღალი ხარისხის კიბოს ზონები Salman et al. (2014). ამასთან, რაოდენობრივი შეფასების შესასრულებლად, როგორც წესი, თავდაპირველად ხდება სტრომისგან ჯირკვლების გამოყოფა. ეს ამოცანა რთულია და შეიძლება მოგვცეს დიდი ცდომილება, რადგან მოიცავს ჯირკვლის არქიტექტურის დიდ სპექტრს, როგორც კეთილთვისებიან, ასევე სიმსივნურ არეებში.

პროექტის მიზნების შესასრულებლად, მისი მიმდინარეობის სათანადო ეტაპებზე პროსტატის კიბოს დასადგენად ადგილი აქვს პაციენტების დიაგნოსტიკას და ქირურგიას შემდეგი მეთოდებით:

Eliza-ს იმუნოტესტირება PSA-ს დოზის დასადგენად სისხლში.

ულტრაბერითი კონტროლით პროსტატის ჯირკვლის ბიოფსია და ჰისტომორფოლოგიური კვლევა გლისონის ქულათა ჯამის დასადგენად.

პროსტატის კვლევა: ინფრაწითელი ექსპერიმენტები მოიცავს 2D ტრანსილუმინაციური გამოსახულებების მიღებას და კვლევას.

სინათლე, რომლის ტალღის სიგრძეებია 750-დან 1100 ნმ-მდე (ახლო ინფრაწითელი დიაპაზონი, ე.წ. NIR -ე.ი. უხილავ დიაპაზონი), არის არაინვაზიური ოპტიკური ინსტრუმენტი ქსოვილის ანომალიების გამოსავლენად და გამოსახულების მიღებისათვის. მაგალითად, NIR ტექნიკა გამოიყენებოდა ძუძუს სიმსივნური დაზიანებების გამოსახულების მიღების მიზნით (Fantini and Angelo 2012).

კიბოვანი და ჯანმრთელი არეების ქსოვილების ოპტიკური სიმკვრივეები სხვადასხვაა და განჭოლვის შემდეგ მათგან გამოსული ინფრაწითელი სხივების ინტენსივობები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. ე.ი. კიბოვანი ქსოვილიდან გამოსული ინფრაწითელი სხივების ინტენსივობა ბევრად ნაკლებია ჯანმრთელი ქსოვილიდან გამოსულ ინფრაწითელ სხივების ინტენსივობაზე (Partsvania et al. 2014. Partsvania et al. 2016, Partsvania et al. 2017). პროსტატის ქსოვილის შემთხვევაში ინფრაწითელი სხივების სვლა მოხდება დაახლოებით 5 მმ სისქის ქსოვილში. ბიოლოგიურ ქსოვილში ინფრაწითელი სხივების სვლა ხასითდება მრავალჯერადი გაბნევით. თუმცა, NIR 700-1000 ნმ-ის დიაპაზონში ხასიათდება საკმაოდ ღრმა შეღწევით და მინიმალური გაბნევით (Caerwyn at al. 2017). ინფრაწითელი მეთოდის საშუალებით ვიღებთ 2D გამოსახულებას და ვიკვლევთ განათებულობის სხვადასხვა ინტენსივობის შესაბამისობას გლისონის ქულათა ჯამთან.

გამოყენებული ექსპერიმენტის დანადგარი შედგება: ინფრაწითელი გამოსხივების წყაროსაგან, გამოსაკვლევი კიბოვანი ქსოვილის სამაგრისაგან და CCD კამერისაგან.

საკვლევი მასალის მისაღებად ნაოპერაციები პროსტატა ჯერ მუშავდება ფორმალინში, შემდეგ კი ხდება მისი დაჭრა წინარ განსაზღვრული წესის მიხედვით ფენებად და თავსდება სპეციალურ კონტეინერებში. თითოეული კონტეინერი გადანომრილია ისე, რომ ზუსტადაა ცნობილი, თუ პროსტატის რომელი ნაწილი არის მასში მოთავსებული. შემდეგ ეს კონტეინერები თავსდება თხევად პარაფინში და შემდგომ ხდება გაცივება. მიკროსკოპული გამოკვლევების ჩასატარებლად ვახდენთ ამ კონტეინერში პარაფინირებული პროსტატის

ქსოვილიდან 5-6 მიკრონის სისქის ანათლის ათლას მიკროტომის საშუალებით და მას ვათავსებთ მიკროსკოპის სასაგნე მინაზე. პირობითად აღვნიშნოთ ეს კოტეინერი K ასოთი, ხოლო მისგან აღებულ ანათალს პირობითად ვუწოდოთ A. ცხადია, A-სა და K-ზე კიბოს განაწილება ზუსტად იდენტურია. თავდაპირველად ხდება A-ს მიკროსკოპიული გამოკვლევა და, შესაბამისად, კიბოს აგრესიულობის დადგენა ჰისტო-მორფოლოგიური შეფასებით. შემდეგ ჰისტო-მორფოლოგი A-ზე მარკერით აღნიშნავს კიბოვან არეებს და შესაბამის აგრესიულობის ხარისხს. ასეთი ქმედებები ტარდება ყველა K და მათი შესაბამისი A-თვის. თითოეული ნაოპერაციები პროსტატისათვის A-ბის რაოდენობა (და მაშასადამე K-ბის რიცხვი) 35-40 ის ტოლია. ჰიტომორფოლოგიური კვლევის შემდეგ A და მათი შესაბამისი K ბი გადაიტანება ინფრაწითელი კვლევებისათვის.

ინფრაწითელი კვლევები: ინფრაწითელი სხივების წყაროდან გამოსული სხივები გაივლის პროსტატის ქსოვილს K-ში. ქსოვილიდან გამოსული სხივები, მიაქვთ რა ინფორმაცია პროსტატის ქსოვილის არაერთგვაროვნობის შესახებ, ეცემიან CCD კამერის ინფრაწითელ მგრძნობიარე მატრიცას. CCD კამერის გამოსავალი მიერთებულია კომპიუტერთან, სადაც ჩვენს მიერ დამუშავებული პროგრამა CCD კამერისგან გამოსულ ელექტრულ სიგნალებს გარდაქმნის ოპტიკურ გამოსახულებად — ინფრაწითელ გამოსახულებად.

მიიღება გამოსაკვლევი მასალის ორგანზომილებიანი (2D) ინფრაწითელი გამოსახულება. პროსტატის ფენის K-ს ინფრაწითელ გამოსახულებაზე მოინიშნება როგორც სიმსივნური წარმონაქმნის შესაბამისი არეები, (რომელთა აგრესიულობის ხარისხი ანუ გლისონის ქულათა ჯამი, ჩვენთვის უკვე ცნობილია ჰისტო-მორფოლოგიური კვლევის შედეგად), ასევე ჯანმრთელი ქსოვილის შესაბამისი არეებიც. დამუშავებული პროგრამა IR გამოსახულების თითოეული წერტილის განათებულობის ინტენსივობას მიაჩვენებს მნიშვნელობას 0-დან 255-მდე, ამ წერტილის განათებულობის ხარისხის მიხედვით. 0 შეესაბამება სრულიად შავ (ბნელ) წერტილს, ხოლო 255 მაქსიმალური განათებულობის წერტილს. ამ გზით პროგრამა ზომავს განათებულობათა ინტენსივობებს თითოეულ წერტილში როგორც სიმსივნურ, ასევე ჯანმრთელი ქსოვილების შესაბამის არეებში. შემდეგ პროგრამა ითვლის განათებულობათა საშუალო მნიშვნელობებს როგორც სიმსივნურ, ასევე ჯანმრთელი ქსოვილების შესაბამის არეებში და გამოითვლის მათ ფარდობებს. ეს რიცხვი შეიტანება პროგრამის მეხსიერებაში.

ამრიგად, ერთის მხრივ გვაქვს ჰისტო-მორფოლოგიური კვლევების შედეგად დადგენილი სიმსივნური არეების აგრესიულობა და მათი შესაბამისი გლისონის ქულათა ჯამი და, მეორეს მხრივ, ამ სიმსივნური არეების განათებულობათა საშუალო მნიშვნელობის ფარდობის რიცხვი ჯანმრთელი ქსოვილის შესაბამისი განათებულობის საშუალო მნიშვნელობასთან. ამრიგად, შევუსაბამებთ ჰისტო-მორფოლოგიური კვლევების შედეგად მიღებულ შედეგებს ინფრაწითელი მეთოდით მიღებულ შედეგებს. ამ გზით ვადგენთ გლისონის ქულათა მოცემულ ჯამს, რომლითაც გამოთვლილია ინტენსივობათა ფარდობა. ცხადია, თითოეული გლისონის ქულათა ჯამისათვის საჭიროა სტატისტიკურად საიმედო რაოდენობის ექსპერიმენტების ჩატარება (Cramer 1945). ამრიგად, სტატისტიკურად საიმედო რაოდენობისათვის დაგვჭირდება არანაკლებ 33-35 გამოსაკვლევი პროსტატა თითოეულ გლისონის ქულათა ჯამისათვის (ქულათა ჯამი მოიცავს რიცხვებს 6 დან 10-მდე). ასეთი გზით მოხდება პროგრამის „განსწავლა“, რათა გამოთვლილ ფარდობის მიხედვით გამოიცნოს კიბოს აგრესიულობის ხარისხი.

საექსპერიმენტო პროსტატების საჭირო რაოდენობა იქნება არანაკლებ 100-125. პროექტი დაწყებულია 2023 წლის მარტში, შესაბამისად, ჯერჯერობით არ გვაქვს ჩატარებული სტატისტიკურად საიმედო რაოდენობის ექსპერიმენტები. თუმცა, მიღებულია წინასწარი შედეგები, რომლის მიხედვითაც 95%-იანი ნდობის ინტერვალით მე-3 თანრიგის აგრესიულობის მქონე კიბოვანი წარმონაქმნებისათვის ეს ინტერვალი შეადგენს 0.746887-0.828571.

პროექტი შედგება ორი სექციისგან: კომპიუტერული მოდელირება და რეალური ექსპერიმენტი.

კომპიუტერული მოდელირებით ჩასატარებელი კვლევის მიზანია 5G და მომავალი თაობის საკომუნიკაციო სისტემებში გამოყენებული რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების (RF-EMFs) შესაძლო მავნე ზეგავლენის გამოკვლევა სხვადასხვა ბიოლოგიურ სახეობაზე (ფრინველებზე და მწერებზე) 2.5-100 [GHz] სიხშირულ დიაპაზონში. ამ მიზნის მისაღწევად საჭიროა შემდეგი ამოცანების განხორციელება: (1) მწერებისა და ფრინველების 3D რეალისტური ჰეტეროგენული მოდელების შექმნა და დისკრეტიზაცია, ქსოვილებისთვის დიელექტრიკული თვისებების მინიჭება. (2) EM სიმულაციების ჩატარება და მწერებისა და ფრინველების ქსოვილებში E-ველებისა და SAR-ების განსაზღვრა შერჩეულ სიხშირეებზე. (3) თერმული სიმულაციების ჩატარება და მწერებისა და ფრინველების ქსოვილებში ტემპერატურის მატების შეფასება შერჩეულ სიხშირეებზე. SAR-ისა და ტემპერატურის მატების მნიშვნელობები შეფასდება მწერების და ფრინველების ტვინის ქსოვილებშიც, ვინაიდან ტვინი არის მთავარი სასიცოცხლო ორგანო. ამიტომ, აღნიშნულ კვლევაში დაგეგმილია EMF-ების ზეგავლენის შესწავლა ნეირონებზე რეალური ექსპერიმენტის საშუალებით.

რეალური ექსპერიმენტი მოიცავს ტემსელში 2.4 GHz და 6 GHz სიხშირის EM ველებით დასხივებული ნეირონების გამოკვლევას. კერძოდ, 1) 2.4 GHz და 6 GHz სიხშირის EM ველით დასხივებული ნეირონების ქმედების პოტენციალის პარამეტრების გამოკვლევას, და 2) დასხივებული ნეირონების მიერ ინფორმაციის შენახვის უნარის გამოკვლევას უჯრედშიგა სტიმულაციაზე ჰაბიტუაციის საფუძველზე ტემსელში 6 GHz სიხშირის EM ველით დასხივებული ნეირონების გამოკვლევა.

მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგინდება უსაფრთხო სიხშირეები და EMF-ების დოზები მწერებისათვის. ასევე, შემუშავდება რეკომენდაციები, თუ მომავალში რომელი EMF სიხშირეები უნდა იქნას გამოყენებული 5G სისტემებში.

2. პროექტის მიზანია რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების (RF-EMFs) შესაძლო მავნე ზემოქმედების შესწავლა მწერებზე 2.5 GHz-დან 100 GHz-მდე დიაპაზონში კომპიუტერული მოდელირებით. კერძოდ, EM სიმულაციებით მწერების (ფუტკარი, ჭიამაია, კრაზანა, ჩოქელა) ქსოვილებში შთანთქმული E-ველის ენერგიისა (SAR Specific Absorption Rate [W/Kg]) და ამ შთანთქმით გამოწვეული ტემპერატურის მატების შეფასება 2.5 GHz, 3.7 GHz, 6 GHz, 12 GHz, 25 GHz, 40 GHz, 60 GHz, 80 GHz და 100 MHz სიხშირეებზე. კვლევის მეთოდს წარმოადგენს დროით არეში სასრული სხვაობების (FDTD) მეთოდი.

3. მიმდინარე კვლევის ფარგლებში შეიქმნა მწერების 3-ქსოვილიანი, მარტივი ჰეტეროგენული 3D მოდელები, საფარველის (კანის), შიდა ძირითადი ქსოვილის და ტვინის ქსოვილების გათვალისწინებით. მწერების მოდელების შესაქმნელად და დასამუშავებლად

გამოყენებულ იქნა გრაფიკული პროგრამები Autodesk 3ds Max, Blender და Autodesk Netfabb Premium გამოყენებით ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა რომ EM ველის ზემოქმედების შედეგად ზემოთხსენებული მწერების სხეულებში E-ველის, SAR-ისა და ტემპერატურის მნიშვნელობები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული სიხშირეზე, E-ველის პოლარიზაციაზე და დაცემის მიმართულებაზე, და ასევე მწერების სხეულის ზომასა და ფორმაზე. განსაკუთრებით მაღალი SAR-ის და ტემპერატურის მატების მნიშვნელობები დაფიქსირდა მწერების ქსოვილებში 6 GHz და 12 GHz, 25 GHz, 40 GHz სიხშირეებზე. შიდა ქსოვილებში SAR-ის მნიშვნელობები უფრო მაღალია სიხშირეებზე 2.5 GHz, 3.7 GHz, 6 GHz და 12 GHz, 25 GHz, 40 GHz, ხოლო 60 GHz, 80 GHz და 100 MHz სიხშირეებზე უმეტესად ველის ენერგიის შთანთქმა დომინირებს ზედაპირულ ქსოვილებში. მწერების ქსოვილებში სხვადასხვა დასხივების სცენარისთვის ტემპერატურის მატების მნიშვნელობები 0.1 - 4.5 °C-დიაპაზონშია, თუმცა ტვინის ქსოვილებში ტემპერატურის მატება არ აღემატება 1°C-ს.

4. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები

4.2.

1) დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა

1. კვლევითი პროექტი მობილობის პროგრამის ფარგლებში “ევროკავშირის სტიპენდიები ქართველი მკვლევარებისთვის, 2023”, #57655523 – “5G ქსელებიდან გამოსხივებული რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების მწერებზე ზემოქმედების გამოკვლევა”, გერმანიის აკადემიური გაცვლის სამსახური (DAAD), გერმანია

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ვერა ჯელაძე, გრანტის მიმღები

დასრულებული კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. პროექტის მიზანი იყო კომპიუტერული მოდელირებით რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების (RF-EMFs) ზემოქმედების შესწავლა მწერებზე (ფუტკარი, კრაზანა, ჩოქელა) 2.5 GHz-დან 100 GHz-მდე დიაპაზონში. პროექტის გარგლებში მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები: მწერების მიკრო-კომპიუტერული ტომოგრაფიის საფუძველზე შეიქმნა 3-ქსოვილიანი მწერების რეალისტური მოდელები. მწერების ელექტრომაგნიტური ველით დასხივების სიმულაციებით მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ ემ ველების შთანთქმა მწერების სხეულის ქსოვილებში დამოკიდებულია დაცემული ტალღის მიმართულებაზე და პოლარიზაციაზე, სიხშირეზე და ასევე მწერის სხეულის

თავისებურებებზე. მაღალი შთანთქმის კუთრი კოეფიციენტის (SAR - Specific Absorption Rate [W/Kg]) მნიშვნელობები დაფიქსირდა მწერების ქსოვილებში, განსაკუთრებით ტვინის ქსოვილებში 12 GHz, 25 GHz და 40 GHz სიხშირეებზე. SAR-ის ყველაზე მაღალი მნიშვნელობები დაფიქსირდა, როდესაც E-ველის პოლარიზაცია მიმართული იყო მწერების სიგრძის გასწვრივ. მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით, განხილულ მწერებზე RF EMF-ების ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს არასასურველი გავლენა, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ამ მწერების სასიცოცხლო ფუნქციების შესუსტება.

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

6.4. სტატიები ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

1. აბაზაძე ს., ხუსკივაძე ა., ფარცვანია ბ., სულაბერიძე თ., ქოჩიაშვილი დ., ხარძელიშვილი ო.
2. აბაზაძე ს., ხუსკივაძე ა., ფარცვანია ბ., სულაბერიძე თ., ქოჩიაშვილი დ., ხარძელიშვილი ო.

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI

1. Infrared Visualization of the Prostate Cancer, DOI: 10.52340/GBMN.2023.01.01.06
2. Infrared Visualization of Prostate Cancer Tissues with Various Gleason Scores, DOI: 10.52340/GBMN.2023.01.01.26

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. საქართველოს ბიოსამედიცინო სიახლეები (Georgian Biomed News). 1, #1
2. საქართველოს ბიოსამედიცინო სიახლეები (Georgian Biomed News). ტ.1 #2

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. თბილისი, საქართველო, შპს ქართული ბიზნეს პრესა
2. თბილისი, საქართველო, შპს ქართული ბიზნეს პრესა

5) გვერდების რაოდენობა

1. 3
2. 5

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ფონი. ონკოლოგიურ დაავადებებს შორის პროსტატის კიბო მამაკაცებში სიკვდილიანობის მეორე ადგილზეა. უახლესი დიაგნოსტიკური მიღწევების მიუხედავად, არ არსებობს ზუსტი მეთოდი პროსტატის კლინიკურად მნიშვნელოვანი ავთვისებიანი ცვლილებების დიფერენცირებისა. ასეთი პაციენტები ექვემდებარებიან ან არასაკმარის, ან გადაჭარბებული მკურნალობას.

მიზნები: წინამდებარე კვლევა მიზნად ისახავდა (i) პროსტატის ქსოვილის გამჭოლვადობის დამოკიდებულების შესწავლას ინფრაწითელი ტალღის სიგრძისაგან, (ii) ავთვისებიანი

ქსოვილის დიფერენცირებას პროსტატის კეთილთვისებიანი ჰიპერპლაზიისგან და (iii) შემუშავებული ყოფილიყო დიაგნოსტიკური კომპიუტერული პროგრამა მიღებული ინფრაწითელი გამოსახულების დასამუშავებლად.

მეთოდები: პროსტატის ჯირკვლის პოსტოპერაციული ბიომასალები განაწილდა ორ ჯგუფში. 1 ჯგუფი შედგებოდა პროსტატის კიბოს 78 ნიმუშისგან, რომლის ქსოვილები მიღებული იყო რადიკალური პროსტატექტომიის შემდეგ, და ჯგუფი მე-2-ე, შედგებოდა კეთილთვისებიანი პროსტატის ჰიპერპლაზიის 48 ნიმუშისგან, მიღებული ტრანსვეზიკალური პროსტატის ადენომექტომიის გზით. მიღებული ბიომასალების ინფრაწითელი გამოსახულებები დამუშავდა სპეციალური სადიაგნოსტიკო კომპიუტერული პროგრამით.

შედეგები: პროსტატის ქსოვილში ყველაზე ღრმა შეღწევადობა აღმოაჩნდა ინფრაწითელი სპექტრის 840-860 ნმ ტალღის სიგრძის გამოსხივებას. ინფრაწითელ გამოსახულებაზე კიბოვანი ქსოვილის განათებულობის ინტენსივობის ფარდობა ჯანმრთელი ქსოვილის განათებულობის ინტენსივობასთან „ვარდებოდა“ 0.039550-დან 0.293524-მდე შუალედში

დასკვნები: ინფრაწითელი გამოსახულება არის პროსტატის კიბოს დიფერენცირების ეფექტური მეთოდი პროსტატის კეთილთვისებიანი ჰიპერპლაზიისგან.

2. არსებული ვითრება: პროსტატის კიბო არის მეორე ყველაზე მნიშვნელოვანი მიზეზი მამაკაცის სიკვდილიანობის, ფილტვის კიბოს შემდეგ. პროსტატის სპეციფიკური ანტიგენი (PSA) და თითო რექტალური გამოკვლევა (DRE) ასრულებს ყველაზე მნიშვნელოვან როლს პროსტატის კიბოს იდენტიფიცირებაში, მათი გამოყენება კი გაიზარდა პროსტატის სიხშირის ზრდასთან ერთად. ამ ტესტების შედეგად შემცირდა კიბოს სპეციფიკური სიკვდილიანობა. მეორეს მხრივ, PSA და DRE იწვევდა ზედიაგნოსტიკებას, გადაჭარბებული მკურნალობას და პროსტატის კიბოს შეუსაბამო ტესტირებას. ამ ვითარებამ გამოიწვია პროსტატის კიბოს რეკომენდაციების ცვლილებების აუცილებლობა. ეს პირველად გაკეთდა აშშ-ს პრევენციული სერვისების სამუშაო ჯგუფის (USPSTF) მიერ 2012 წელს.

მიზნები: ამ კვლევაში შესწავლილია პროსტატის ტრანსრექტალური ბიოფსიის ქსოვილის ინფრაწითელი გამოსახულებები, რათა დაგვეჩვენა შესაძლო განსხვავებები ბიოფსიის ქსოვილებს შორის. ჩვენმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა განსხვავებები ინფრაწითელ გამოსახულებებში, რაც იყო შედეგი გლისონის ქულათა ჯამის სხვაობებისა. დასახული მიზნის შესასრულებლად, ჩვენ გადავწყვიტეთ შემდეგი ამოცანები: (i). კავშირი პროსტატის ქსოვილის გარჩევადობასა და გამოსხივების ტალღის სიგრძეს შორის სპექტრის ინფრაწითელ არეში და (ii) შემუშავებულია პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც საშუალებას იძლევა დამუშავდეს მიღებული ინფრაწითელი გამოსახულებები. მიღებული იქნა 95%-იან ნდობის ინტერვალი.

მეთოდები: გამოკვლეული იყო 174 ფორმალინში ფიქსირებული და პარაფინით დამუშავებული (FFPE) პროსტატის ბიოფსიის მასალა. მასალები განაწილებული იყო 5 ჯგუფში გლისონის ქულათა ჯამის მიხედვით: (GS 6 [3+3], GS 7 [3+4], GS 7 [4+3], GS 8 [3+5], [4+4], [5+3] და GS 9 [4+5] და 10 [5+5] გაერთიანდა). ინფრაწითლის გამიკვლევის შემდეგ თითოეული FFPE-სათვის პროგრამამ გამოთვალა კიბოვან და ჯანმრთელ ქსოვილების განათებულობათა ფარდობები. ინფრაწითელი მეთოდით დადგენილი გლისონის ქულათა ჯამი დაემთხვა ჰისტომორფოლოგიური კვლევების შედეგებს. ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ როდესაც გლისონის ქულების ჯამი იყო 6 (3+3) და 7 (3+4) ან 7 (4+3), ინფრაწითელი

გამოსახულების ინტენსივობები ინფრაწითელში თითქმის არ განსხვავდებოდა ერთმანეთისგან (95%-იანი ალბათობით), რაც არ შეიძლება ითქვას იმ შემთხვევებზე, სადაც გვექნება უფრო მაღალი გლისონის ქულათა ჯამი (8 (4+4; 3+5); (5+3) და 9-10). თუმცა, ეს ცვლილებები არ იყო აშკარა ექსპერიმენტის შემდეგ პირველ სამ ჯგუფში. ბიოფსიის მასალის ზომა საშუალოდ 1მმ სისქისა იყო.

დასკვნები: ინფრაწითელ გამოსხივებას შეუძლია პროსტატის კიბოს იდენტიფიცირება პროსტატის ბიოფსიის ქსოვილებში. თუმცა, შემდგომი გამოკვლევები საჭიროა იმის დადასტურებისთვის, რომ მოდალობას აქვს ეფექტურობა პროსტატის კიბოს დიაგნოსტიკისათვის.

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. ვ. ჯელაძე, ა. თიელენსი, თ. ნოზაძე, გ. კორკოტაძე, ბ. ფარცვანია, რ. ზარიძე
2. ვ. ჯელაძე, ლ. შოშიაშვილი, ბ. ფარცვანია

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. Estimation of the Specific Absorption Rate for a Honey bee Exposed to Radiofrequency Electromagnetic Fields from 2.5 to 100 GHz. DOI: 10.1109/DIPED59408.2023.10269454
2. An Investigation into the Impact of 5G EMFs on a Honey Bee. doi:10.1109/UkrMW58013.2022.10037045 ISBN 9798350331530

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Proceedings of International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory, DIPED, 2023, 2023-September, pp. 180–185
2. 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, UkrMW 2022 - Proceedings, 2022, pp. 477–481

4) გვერდების რაოდენობა

1. 6
2. 5

გრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ეს ნაშრომი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ველის (EMF) ფუტკარზე ზემოქმედების შესწავლას. Seswavlilia რადიო სიხშირეები 2,5 გჰც-დან 100 გჰც-მდე. კვლევა მიმდინარეობდა რიცხვითი სიმულაციების გამოყენებით, სასრული განსხვავების დროის დომენის (FDTD) ტექნიკის საფუძველზე. ჩვენი კვლევის მთავარი მიზანი იყო ფუტკრის ქსოვილებში სპეციფიკური შთანთქმის სიჩქარის (SAR) შეფასება, როგორც დოზიმეტრული დამხმარე საშუალება, რათა მოგვეჩვენა EMF ენერგიის შთანთქმით გამოწვეული შესაძლო უარყოფითი ეფექტების პროგნოზირება. ამ კვლევაში, მწერი მოდელირებულია, როგორც 3D ქსოვილის ჰეტეროგენული დიელექტრიკული ობიექტი და Sim4Life EM-FDTD პროგრამა გამოყენებული იყო EM სიმულაციებისთვის. ფუტკრის მთლიანი სხეულისა და ტვინის

ქსოვილის საშუალო SAR მნიშვნელობები განისაზღვრა ყველა განხილული სიხშირისთვის და ნორმალიზებული იყო 1 მკტ/სმ² ბრტყელი-ტალღის სიმკვრივეზე. მიღებული SAR მნიშვნელობები ასევე იყო გასაშუალოებული 1 მილიგრამი ქსოვილის მოცულობაზე. შედეგებმა აჩვენა, რომ EMF ენერგიის შთანთქმა მწერებში დამოკიდებულია E-ველის პოლარიზაციაზე, სიხშირეზე და მწერის სხეულის თავისებურებებზე.

2. შემოთავაზებული ნაშრომი მიზნად ისახავს გამოიკვლიოს რადიოსიხშირული (RF) ელექტრომაგნიტური ველების (EMFs) შესაძლო მავნე ზემოქმედება, რომელიც გამოიყენება მე-5 თაობის (5G) ქსელებში ყველაზე მნიშვნელოვან მწერზე, ფუტკარზე. მოსალოდნელი სახიფათო ზემოქმედება გამოიწვევს გარკვეულ ბიოსისტემებში ბალანსის დარღვევას და ასევე სასურსათო კრიზისს. როგორც ცნობილია, პლანეტაზე მცენარეებს ძირითადად ფუტკრები და სხვა მწერები ამტვერიანებენ. დამტვერიანების მნიშვნელოვანი შემცირება გამოიწვევს მოსავლის უკმარისობას. ამიტომ, 5G სისტემებმა შესაძლოა მნიშვნელოვნად დააზიანოს მწერების სასიცოცხლო ციკლი და ეს გამოიწვევს კვების ჯაჭვის განადგურება. ეს ძალიან უარყოფით გავლენას მოახდენს ადამიანებზე. წარმოდგენილ კვლევაში EMF-ებით გამოწვეული დიელექტრიკული გათბობის ეფექტი შესწავლილი იყო ფუტკრებზე 2,5 გჰც-დან 100 გჰც-მდე სასრული განსხვავების დროის დომენის (FDTD) მეთოდით. FDTD მოდელირებისთვის გამოყენებული იყო დისკრეტული, 3D ქსოვილიანი ფუტკრის მოდელი და დაინერგა ახალი მიდგომა ქსოვილების EM პარამეტრების შერჩევისთვის. სპეციფიური შთანთქმის სიჩქარის (SAR) პიკური მნიშვნელობები შეფასებული იყო ფუტკრის ქსოვილებისთვის. მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა შესაძლო მავნე ზემოქმედება ზოგიერთ სიხშირეზე, რაც დამოკიდებულია დაცემული ელექტრომაგნიტური (EM) ტალღის მიმართულებაზე, E-ველის პოლარიზაციასა და სიხშირეზე.

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. ვერა ჯელაძე, ბესარიონ ფარცვანია

2) მოხსენების სათაური

1. რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების ქვეშ მყოფი ფუტკრის შთანთქმის სპეციფიკური სიჩქარის შეფასება 2.5-დან 100 გჰც-მდე;

2. მობილური ტელეფონის ანტენის EM ექსპოზიციის კვლევა მანქანის შიგნით ადამიანის ჰომოგენურ მოდელზე

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. 11-13 სექტემბერი, თბილისი, საქართველო

2. 11-13 სექტემბერი, თბილისი, საქართველო

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნდება)

8. 2. უცხოეთში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. ბესარიონ ფარცვანია

2. ვერა ჯელაძე

2) მოხსენების სათაური

1. პროსტატის კიბოს დიაგნოსტიკის მოდელირება ინფრაწითელი ვიზუალიზაციის საშუალებით.

2. რიცხოვრივი დოზიმეტრია სპეციფიური შთანთქმის სიჩქარის შესაფასებლად ზოგიერთ მწერში, რომლებიც ექვემდებარებიან რადიოსიხშირულ ელექტრომაგნიტურ ველებს 100 გჰც-მდე.

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

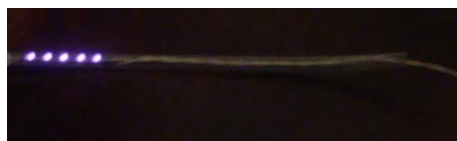
1. 8-9 ნოემბერი 2023, ქ. ვენა, ავსტრია

2. 18-23 ივნისი, 2023, ოქსფორდი, გაერთიანებული სამეფო

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულია)

1. პროსტატის კიბოთი გამოწვეული სიკვდილიანობა მეორეა მსოფლიოში ფილტვების კიბოს შემდეგად გამოწვეული სიკვდილიანობის შემდეგ. ადრეულ სტადიაზე პროსტატის კიბოს სიმპტომები არ გააჩნია, ხოლო გვიან სტადიაზე მისი მკურნალობა უაღრესად არაეფექტურია. პროსტატის კიბოს არსებობის პირდაპირი დადასტურება მხოლოდ ბიოფსიის აღების შემდეგ ამ ბიოფსიური მასალის ჰისტო-მორფოლოგიური გამოკვლევით შეიძლება. ვიდრე პაციენტი დაექვემდებარება ბიოფსიას, პროსტატის კიბოს დიაგნოსტიკა მოიცავს რამოდენიმე ეტაპს. პირველი არის სკრინინგი- სისხლში პროსტატის სპეციფიური ანტიგენის განსაზღვრა (პსა). პსა ნორმაში არ უნდა აღემატებოდეს 4 ნგ/მლ. თუ პსა გადააჭარბებს ამ რიცხვს, ეს მიუთითებს კიბოს არსებობის შესაძლებლობაზე. მართალია პს-ა ს მატებას პროსტატის კიბოს უჯრედების გამრავლება იწვევს, მაგრამ მისი გაზრდა შეიძლება სხვა ფაქტორებმაც გამოიწვიონ, მაგალითად, ანთებითმა პროცესმა პროსტატაში. ამიტომ პსა-ს გაზრდის შემდეგ მიმართვენ კვლევის სხვადასხვა მეთოდს: პროსტატის ქსოვილის თითოთ გასინჯვა — ეს მეთოდი უაღრესად სუბიექტურია და დიდად არის დამოკიდებული ექიმის გამოცდილებაზე და კვალიფიკაციაზე. ბევრად ზუსტია მაგნიტო-რეზონანსული ტომოგრაფია. ამ მეთოდის ნაკლია ის, რომ ზოგჯერ ის ვერ არჩევს კიბოვან ქსოვილს სისხლჩაქცევის უბნებისაგან, რომელიც შეიძლება გაჩნდეს პროსტატაში სხვადასხვა მიზეზის გამო. ამის გარდა, ეს მეთოდი უაღრესად ძვირია და სკინინგის საფუძვლად ვერ გამოდგება. კომპიუტერული ტომოგრაფია ვერ გამოდგა პროსტატის კიბოს სკრინინგის მეთოდად და ამიტომ მას პრაქტიკულად არ მიმართავენ. დამუშავების სტადიაშია ე.წ. პოზიტრონის ემისიის მეთოდი, მაგრამ აქ მეთოდის ნაკლოვანება მის უაღრეს სირთულეშია, ასევე ამ მეთოდში იყენებენ ე.წ. X სხივებს (რენტგენის სხივები), რაც ინვაზიურია პაციენტისათვის. ამ სირთულეებმა გვიბიძგეს გვეფიქრა ახალი ალტერნატიული ინსტრუმენტული მეთოდის ძიებაზე.

კვლევების შედეგად დავადგინეთ, რომ ინფრაწითელი სხივები (რომლებიც ადამიანის თვალისათვის უხილავია) განჰოლავს ბიოლოგიურ ქსოვილებს და კერძოდ, პროსტატის ქსოვილს. ამასთანავე დადგენილ იქნა, რომ კიბოვანი ქსოვილის განჰოლვადობა ინფრაწითელი სხივების მიმართ ბევრად ნაკლებია, ვიდრე ჯანმრთელი ქსოვილის განჰოლვადობა. ამ მოვლენის საფუძველზე შევქმენით ხელსაწყო, რომელიც შედგება ორი ნაწილისაგან — პირველი, გამანათებელი, ხოლო მეორე — მადეტექტირებელი. გამანათებელი მოწყობილობა წარმოადგენს მოქნილ ზოლს, რომელზედაც დამონტაჟებულია 800 ნმ გამოსხივების მქონე ინფრაწითელი შუქდიოდები (ლედები). სურ.1



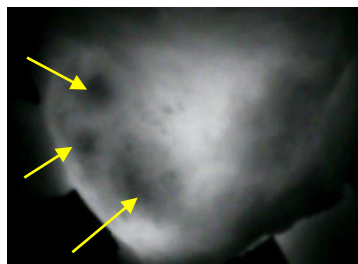
სურ.1

მადეტექტირებელი ხელსაწყო შედგება ე.წ. CCD კამერისა და ლინზათა სისტემისაგან. ჩავატარეთ მოდელური ექსპერიმენტები, სადაც იზოლირებული პროსტატის ურეტრალურ არხში მოვათავსეთ გამანათებელი მოწყობილობა, ხოლო პროსტატის ინფრაწითელი გამოსახულების მისაღებად ვიყენებდით დამუშავებულ მადეტექტირებელ ხელსაწყოს, სურ.2



სურ.2

სურათ 3-ზე ნაჩვენებია ამ ხელსაწყოთი მიღებული პროსტატის ინფრაწითელი გამოსახულება.



სურ. 3.

დეტექტირებული კიბოვანი წარმონაქმნები მითითებულია ისრებით. სურათის ქვეშ კალიბრება 1 სმ.

ასეთმა კვლევებმა აჩვენა ხელსაწყოთი ეფექტურობა და, მიუხედავად იმისა, რომ ეს ხელსაწყო არის სპილოტე, იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ცოცხალ პაციენტზე.

გამოთვლითი ტექნიკის ელემენტებისა და ნანომასალების განყოფილება (უფროსი ფიზ. მათ. მეც. დოქტორი დავით ჯიშიაშვილი)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. დიელექტრიკული, ნახევარგამტარული და ლითონური ნანომასალებისა და ნანოსტრუქტურების სინთეზის ახალი ტექნოლოგიების შემუშავება, მათი თვისებების კვლევა და ნანოხელსაწყოებში გამოყენება. (ფიზიკა. ნანოტექნოლოგია, ნანომასალები).

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. დ. ჯიშიაშვილი — მთავარი მეცნ. თანამშრომელი, პროექტის საერთო ხელმძღვანელობა, ზ. შიოლაშვილი – უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნანომასალების სინთეზი; ნ. ნახათაძე — უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნანომასალების სინთეზი; ა. ჯიშიაშვილი — უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნანომასალების სინთეზი და კვლევა; ა.ჭირაქაძე — უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნანომასალების სინთეზი და კვლევა ელექტრული მეთოდებით; თ. გაგნიძე — უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნანომასალების სტრუქტურის და შედგენილობის კვლევა; ხ. წეროძე — მეცნ. თანამშრომელი, ნანომასალების სინთეზის ქიმიური ტექნოლოგიები; დ. სუხანოვი — მეცნ. თანამშრომელი, ნანომასალების ელექტრული პარამეტრების კვლევა.

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. დიელექტრიკული, ნახევარგამტარული და ლითონური ნანომასალებისა და ნანოსტრუქტურების სინთეზის ახალი ტექნოლოგიების შემუშავება, მათი თვისებების კვლევა და ნანოხელსაწყოებში გამოყენება. (ფიზიკა. ნანოტექნოლოგია, ნანომასალები).

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. დ. ჯიშიაშვილი — მთავარი მეცნ. თანამშრომელი, პროექტის საერთო ხელმძღვანელობა, ზ. შიოლაშვილი – უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნაწილმასალების სინთეზი; ნ. ნახათაძე — უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნაწილმასალების სინთეზი; ა. ჯიშიაშვილი — უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნაწილმასალების სინთეზი და კვლევა; ა.ჭირაქაძე — უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნაწილმასალების სინთეზი და კვლევა ელექტრული მეთოდებით; თ. გაგნიძე — უფროსი მეცნ. თანამშრომელი, ნაწილმასალების სტრუქტურის და შედგენილობის კვლევა; ხ. წეროძე — მეცნ. თანამშრომელი, ნაწილმასალების სინთეზის ქიმიური ტექნოლოგიები; დ. სუხანოვი — მეცნ. თანამშრომელი, ნაწილმასალების ელექტრული პარამეტრების კვლევა.

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. პროექტის შესრულება მოიცავს სამ ძირითად აქტივობას, კერძოდ— ნაწილმასალათა სინთეზს, მათი თვისებებისა და პარამეტრების კვლევას და მათი ნაწილმასალათა პრაქტიკულ გამოყენებას. 2023 წლის განმავლობაში დამზადდა ნაწილმასალათა პიროლიზური სინთეზის 2 დანადგარი, რომელთაგან პირველი სრულად მინისგან გაკეთებულ ვაკუუმურ სისტემას ეფუძნება. მასში მხოლოდ რეაქტორია კვარცისგან დამზადებული, რათა მოხდეს სინთეზი მაღალ 800°C ტემპერატურამდე. მეორე დანადგარიც კვარცის რეაქტორითაა აღჭურვილი, თუმცა მას ლითონის დიფუზიური ტუმბო გააჩნია და პლასტიკური მასისგან დამზადებულ ვაკუუმურ ონკანებსა და მილგაყვანილობას შეიცავს.

გარდა ამისა, დამზადდა მცირე ვაკუუმური სისტემა, რომელიც გამოიყენება მხოლოდ როტაციული ტუმბოთი. მასში საშუალოდ 10–2 ტორი ვაკუუმი მყარდება და ის 4 გიგაჰერცზე მომუშავე მიკროტალღურ გამახურებელში თავსდება. იგივე ტიპის რეაქტორი, მოთავსებული მაღალსიხშირულ გენერატორის ორ ფირფიტას შორის (ტევადობითი კავშირი), გამოიყენებოდა დაბალტემპერატურული პლაზმის გენერირებისათვის, რომელშიც ხდებოდა ნაწილმასალათა სინთეზი.

ჩატარდა სინთეზის დანადგარების ტესტირება, რისთვისაც გამოვიყენეთ გერმანიუმის ოქსიდის, ოქსინიტრიდისა და ნიტრიდის სინთეზი პიროლიზურ და მიკროტალღურ დანადგარებში. განსხვავებით პიროლიზისგან, მიკროტალღურ სისტემაში ვერ მოხერხდა ნიტრიდის მიღება, რაც სავარაუდოდ, გამოწვეულია აქტიური NH_2 და NH რადიკალების დაშლით ან განეიტრალეობით მიკროტალღურ გამოსხივებაში. სამაგიეროდ, მიკროტალღური მეთოდით მივიღეთ გერმანიუმის ოქსიდის ნაწილმასალები, რაც ოქსიდის მიღებისთვის მიკროტალღური დასხივების ეფექტურობაზე მეტყველებს. რაც შეეხება მაღალსიხშირულ პლაზმის გენერატორს, მისი გაშვებისთვის საჭირო გახდა პლაზმისა და გენერატორის შემათანხმებელი ელექტრული ბლოკის აწყობა, რაც ჩვენივე ძალებით მოხერხდა სტუ-ს სპეციალისტებთან კონსულტაციების შემდეგ.

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

6.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

1. დ.ჯიშიაშვილი, ე. სანაია, ზ. შიოლაშვილი, ნ.ნახათაძე, ა. ჯიშიაშვილი, ტ. ჩხეიძე

2) სტატიის სათაური, ISSN

1. Vapor-Liquid-Solid growth of zinc oxide nanobelts, ISSN 1987 – 8826

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Nano Studies, V. 23

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. თბილისი, სტუ

5) გვერდების რაოდენობა

1. 5

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. სტატიაში განხილულია თუთიის ოქსიდის ნანოსარტყელების მიღების ტექნოლოგია და მიღებული ნანომასალის შედგენილობა და სტრუქტურა. სინთეზი ჩატარდა პიროლიზური მეთოდით თუთიის ოქსიდისა და ამონუმის ქლორიდის წყაროდან. ნაჩვენებია, რომ სინთეზის შედეგად წყაროდან 2.5 სმ მანძილზე მოთავსებულ სილიციუმის ფუძეშრზე, 390°C-ზე მიიღება თუთიის ოქსიდის ნანოსარტყელები. მათი ზრდა ხორციელდება თუთიის კატალიზატორის წვეთიდან, რომლებიც დაიმზირებიან ელექტრონულ მიკროსკოპულ სურათზე. აღნიშნული ადასტურებს, რომ ნანოსარტყელები იზრდებიან თუთიის თვითკატალიზატორიდან ე.წ. ორთქლი-სითხე-მყარი მეთოდით, რაც გულისხმობს კატალიზატორის წვეთის გადაჯერებას ჟანგბადით, წარმოქმნილი ჭარბი ZnO-ს მყარი სახით გამოყოფას და ამ გზით ნანოსარტყელის გაზრდას. აღსანიშნავია, რომ კატალიზატორის წვეთთან ერთგანზომილებიან ნანომასალას წრიული განივკვეთი აქვს, ხოლო ფუძესთან ის ნანოსარტყელის სახით იზრდება. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ საწყის ეტაპზე წვეთიდან ნანოსარტყელი ფორმირდება, ხოლო ზრდის მომდევნო ფაზაში სარტყელის მართკუთხა კვეთი ჯერ ჰექსაგონალურ, ხოლო შემდეგ წრიულ კვეთში გადაიზრდება. სტრუქტურის კვლევამ გვიჩვენა, რომ ზრდა ხორციელდება თერმოდინამიკურად მომგებიანი (0001) სიბრტყის მართობი მიმართულებით. გვერდით წახნაგებს კი (21-10) და (01-10) სიბრტყეები წარმოადგენენ. ნანოსარტყელების ასეთი სტრუქტურის არსებობა დადასტურდა გამჭოლი ელექტრონული მიკროსკოპიისა და ელექტრონთა დიფრაქციის შედეგებითაც.

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. G. Gelashvili, D. Gelenidze, D. Jishlashvili, Z. Shiolashvili, N. Makhatadze, A. Jishlashvili, V. Gobronidze

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. Photocatalytic activity of ZnO nanomaterials with different morphologies.

doi.org/10.15251/DJNB.2023.183.1085

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures Vol. 18, No. 3, July - September 2023, p. 1085 - 1092

4) გვერდების რაოდენობა

1. 7

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ნაშრომში შესწავლილია თუთიის ოქსიდის (ZnO) ნანოსარტყელების, ჰექსაგონალური ნანოდისკებისა და ტეტრაპოდების ფოტოკატალიტიკური აქტივობა. ნანომასალები მიღებული იყო პიროლიზისა და პლაზმური ტექნოლოგიებით. ნანოსარტყელები და ტეტრაპოდები იზრდებოდნენ ე.წ. c ღერძის გასწვრივ ([0001] მიმართულებით). ნანოსარტყელების გვერდითი წახნაგები (2110) და (0110) სიბრტყეებისგან შედგებოდა, ხოლო ტეტრაპოდების ნემსისებური წახნაგები მონაცვლე {0110} და {1011} წახნაგებისგან. ჰექსაგონალური დისკების ზედაპირი (+0001) სიბრტყეს წარმოადგენდა, რომელიც გამოირჩევა მაღალი ზედაპირული ენერგიით. მიღებული ნანომასალების ფოტოკატალიტიკური აქტივობის შესაფასებლად ისინი ჯერ შევურიეთ 100 მგ/ლ კონცენტრაციის მეთილენის ლურჯის წყალხსნარს და შემდეგ დავასხივეთ ულტრაიისფერი (უი) გამოსხივებით, რომელიც მზის უი გამოსხივების ანალოგი იყო. ფოტოკატალიტიკური აქტივობა ფასდებოდა ხსნარის შთანთქმისუნარიანობის შეფასებით $\lambda=662$ ნმ ტალღის სიგრძეზე. ყველაზე მაღალი აქტივობა გააჩნდა ჰექსაგონალურ დისკებს, რომლებმაც დასხივებისას მეთილენის ლურჯის 93% დაშალეს 2 საათის განმავლობაში. აღნიშნული ადასტურებს Zn-ით დაბოლოებული (+0001) ზედაპირის მაღალ აქტივობას სხვა ზედაპირებთან შედარებით.

ოპტიკისა და სპექტროსკოპიის განყოფილება (უფროსი ფიზ. მათ. მეც. კანდიდატი ზაზა მელიქიშვილი)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

პრეამბულა:

ოპტიკის და სპექტროსკოპიის განყოფილებაში 2023 წელს კვლევები შემდეგი ხუთი ძირითადი მიმართულებით მიმდინარეობს:

მიმართულება 1: ბიოსამედიცინო ოპტიკა და სპექტროსკოპია

აქტივობა 1: „ოპტიკური სპექტროსკოპია კლინიკურ ბიოსამედიცინო გაზომვებში“

აქტივობა 2: „ფერიტინის ოპტიკური ბიოსენსორი რკინის დეფიციტის შეფასებისთვის“

მიმართულება 2: კვანტური კომპიუტერი

აქტივობა: „კვანტური კომპიუტერის მითი — ფიზიკის ფუნდამენტური წარმოდგენების კრიტიკულად გადახედვის ტრიგერი“

მიმართულება 3: ინოვაციური სპექტრომეტრი

აქტივობა: „1-ლი და მე-2 თაობების ინოვაციური სპექტრომეტრების შექმნა“

მიმართულება 4: ნანოსტრუქტურების შექმნა

მიმართულება 5: ანიზოტროპიის ფოტონდუცირება ორგანულ ნაერთებში

აქტივობა: მოლეკულური აგრეგაციები აზოსაღებარ ალიზარინ ყვითელით შეღებილ პოლიმერის მატრიცაში

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. პროექტის გამაერთიანებელი სათაურია: ადამიანის ბიოლოგიური ქსოვილების in vivo ფოტოპლეთისმოგრაფია: დანადგარი და თეორიული მოდელების შექმნა. იგი შედგება შემდეგი ნაწილებისგან:

1.1. ოპტიკური სპექტროსკოპია კლინიკურ ბიოსამედიცინო გაზომვებში / კვანტური ელექტრონიკა, კვანტური ოპტიკა, ბიოსამედიცინო ოპტიკა

1.2. ფერიტინის ოპტიკური ბიოსენსორი რკინის დეფიციტის შეფასებისთვის / კვანტური ელექტრონიკა, კვანტური ოპტიკა, ბიოსამედიცინო ოპტიკა

1.3. 1-ლი და მე-2 თაობების ინოვაციური სპექტრომეტრების შექმნა/ ოპტიკა და სპექტროსკოპია

2. მოლეკულური აგრეგაციები და ანიზოტროპიის ფოტონდუცირება ორგანულ ნაერთებში

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

2. 2023-2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1.1. ზაზა მელიქიშვილი — ხელმძღვანელი, ბიოქსოვილების სტაციონარული და დროზე დამოკიდებული სპექტრების გაზომვა და ანალიზი, ქსოვილების ოპტიკური მოდელების შექმნა, ვაკო მარჩილაშვილი — ბიოქსოვილების სტაციონარული სპექტრების გაზომვა, გიორგი ქაჩლიშვილი — ბიოქსოვილების დროზე დამოკიდებული სპექტრების გაზომვა, ზაზა ჯალიაშვილი — ბიოქსოვილების სტაციონარული სპექტრების ანალიზი, თამაზ მედოიძე — ბიოქსოვილების დროზე დამოკიდებული სპექტრების ანალიზი, ანა პეტრიაშვილი — ბიოქსოვილების ფიზიოლოგიურ და ოპტიკური პარამეტრებს შორის კორელაციების კვლევა, ალექსანდრე გამყრელიძე, ოლეგ ხარშილაძე, ლუკა წულუკიძე — ბიოქსოვილში ფოტონების გავრცელების პროცესის მონტე კარლოს მეთოდით მოდელირება, ექსპერიმენტის და ანალიტიკური მოდელის მორგების პროცედურა, დროზე დამოკიდებული სპექტრების ფურიე და ვეივლეტ-ანალიზი, ზაზა სოფრომაძე, ირაკლი კირთაძე, მარიამ ჩუბინიძე — კლინიკური ექსპერიმენტების ორგანიზება და შედეგების ინტერპრეტაციაში მონაწილეობა, ფიოდორ ილკოვი, სუბრატა დუტა — ზოგადი კონსულტაციები, პროგრამული უზრუნველყოფა.

1.2. ზაზა მელიქიშვილი, ვაკო მარჩილაშვილი, გიორგი ქაჩლიშვილი, ზაზა ჯალიაშვილი, თამაზ მედოიძე, ანა პეტრიაშვილი, ნანა იმნაიშვილი — ფერიტინის სტაციონარული შთანთქმის სპექტრების გაზომვა, დამუშავება და ანალიზი კლინიკურ და ეტალონურ ნიმუშებში, ალექსანდრე გამყრელიძე — მათემატიკური მოდელირება, დიანა ძიძიგური — კოვიდ პაციენტების სისხლის შრატთან ცილების ექსტრაქცია, კვლევის შედეგების ანალიზი, ლევან რატიანი — კლინიკური ნიმუშების მომზადება და კვლევის შედეგების ანალიზი.

1.3. ზაზა მელიქიშვილი — შედეგების ანალიზი, კობა ტურაშვილი — გამოთვლები და ანალიზი

1.4. გიორგი ქაჩლიშვილი — მოდელირება და ოპტიკური კვლევები ზაზა მელიქიშვილი, რევაზ კობხრეიძე, ჯანო მარხულია, ორესტ კვიციანი — ოპტიკური კვლევები

2. ტარიელ ებრალიძე – ხელმძღვანელი, ნადია ებრალიძე – შემსრულებელი, გიორგი მუმლაძე–შემსრულებელი

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

- 1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით
 1. პროექტის გამაერთიანებელი სათაურია: ადამიანის ბიოლოგიური ქსოვილების in vivo ფოტოპლეთისმოგრაფია: დანადგარი და თეორიული მოდელების შექმნა. მისი ნაწილებია:
 - 1.1. ოპტიკური სპექტროსკოპია კლინიკურ ბიოსამედიცინო გაზომვებში / კვანტური ელექტრონიკა, კვანტური ოპტიკა, ბიოსამედიცინო ოპტიკა
 - 1.2. ფერიტინის ოპტიკური ბიოსენსორი რკინის დეფიციტის შეფასებისთვის / კვანტური ელექტრონიკა, კვანტური ოპტიკა, ბიოსამედიცინო ოპტიკა
 - 1.3. 1-ლი და მე-2 თაობების ინოვაციური სპექტრომეტრების შექმნა/ ოპტიკა და სპექტროსკოპია
 2. მოლეკულური აგრეგაციები და ანიზოტროპიის ფოტონდუცირება ორგანულ ნაერთებში
- 2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები
 1. 2023-2027
 2. 2023–2027
- 3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
 - 1.1. ზაზა მელიქიშვილი — ხელმძღვანელი, ბიოქსოვილების სტაციონარული და დროზე დამოკიდებული სპექტრების გაზომვა და ანალიზი, ქსოვილების ოპტიკური მოდელების შექმნა, ვაკო მარჩილაშვილი — ბიოქსოვილების სტაციონარული სპექტრების გაზომვა, გიორგი ქაჩლიშვილი — ბიოქსოვილების დროზე დამოკიდებული სპექტრების გაზომვა, ზაზა ჯალიაშვილი — ბიოქსოვილების სტაციონარული სპექტრების ანალიზი, თამაზ მედოიძე — ბიოქსოვილების დროზე დამოკიდებული სპექტრების ანალიზი, ანა პეტრიაშვილი — ბიოქსოვილების ფიზიოლოგიურ და ოპტიკური პარამეტრებს შორის კორელაციების კვლევა, ალექსანდრე გამყრელიძე, ოლეგ ხარშილაძე, ლუკა წულუკიძე — ბიოქსოვილში ფოტონების გავრცელების პროცესის მონტე კარლოს მეთოდით მოდელირება, ექსპერიმენტის და ანალიტიკური მოდელის მორგების პროცედურა, დროზე დამოკიდებული სპექტრების ფურიე და ვეივლეტ-ანალიზი, ზაზა სოფრომაძე, ირაკლი კირთაძე, მარიამ ჩუბინიძე — კლინიკური ექსპერიმენტების ორგანიზება და შედეგების ინტერპრეტაციაში მონაწილეობა, ფიოდორ ილკოვი, სუბრატა დუტა — ზოგადი კონსულტაციები, პროგრამული უზრუნველყოფა.
 - 1.2. ზაზა მელიქიშვილი, ვაკო მარჩილაშვილი, გიორგი ქაჩლიშვილი, ზაზა ჯალიაშვილი, თამაზ მედოიძე, ანა პეტრიაშვილი, ნანა იმნაიშვილი — ფერიტინის სტაციონარული შთანთქმის სპექტრების გაზომვა, დამუშავება და ანალიზი კლინიკურ და ეტალონურ ნიმუშებში, ალექსანდრე გამყრელიძე — მათემატიკური მოდელირება, დიანა ბიძიგური — კოვიდ პაციენტების სისხლის შრატთან ცილების ექსტრაქცია, კვლევის შედეგების ანალიზი, ლევან რატიანი — კლინიკური ნიმუშების მომზადება და კვლევის შედეგების ანალიზი.
 - 1.3. გიორგი ქაჩლიშვილი — მოდელირება და ოპტიკური კვლევები ზაზა მელიქიშვილი, რევაზ კობხეიძე, ჯანო მარხულია, ორესტ კვიციანი — ოპტიკური კვლევები

2. ტარიელ ებრალიძე — კვლევების ხელმძღვანელი; ნადია ებრალიძე — შემსრულებელი; გიორგი მუმლაძე — შემსრულებელი.

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. რას ეფუძნება ჩვენი მიდგომა

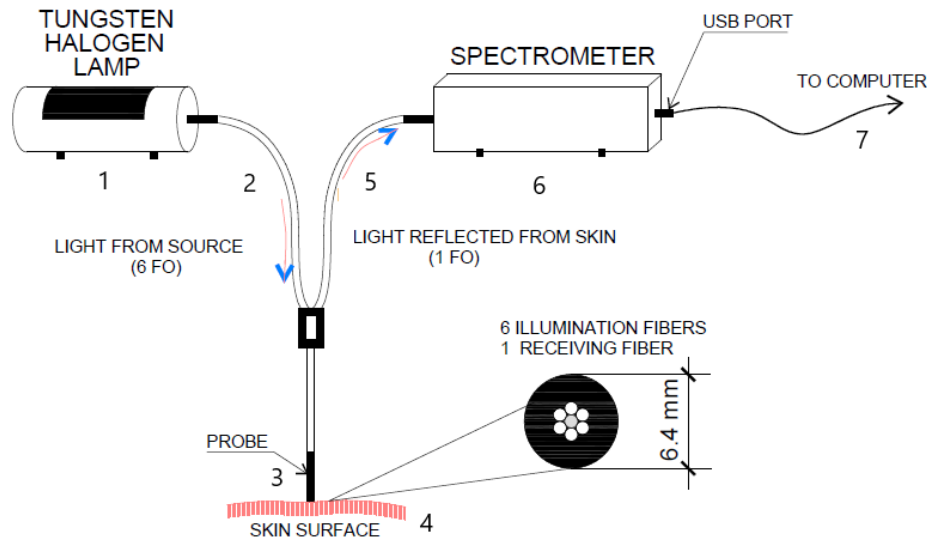
სპექტროფოტომეტრული მეთოდები არაინვაზიური ან მინიმალურად ინვაზიურია, გამოირჩევა მაღალი ინფორმატულობითა და სიზუსტით. ცხადია, ბევრად უფრო მოსახერხებელია ტესტების ჩატარება ისეთ პირობებში, რომლებიც არ მოითხოვენ ინვაზიურად ნიმუშების შეგროვებას, რითაც თავიდან შეძლება პაციენტს ავაცილოთ დისკომფორტი, ან ტკივილი.

ჩვენს შემთხვევაში, ადამიანის ჯანმრთელობის მდგომარეობის სპექტროფოტომეტრული მონიტორინგი მოიცავს შემდეგ პროცედურებს: (1) გაზომვების საფუძველზე ხორციელდება ბიოქსოვილის არეკვლის სპექტრები, (2) მუშავდება ჩვენთვის საინტერესო ბიოლოგიური ქსოვილის სტატისტიკური მოდელი. (3) ცდის შედეგად მიღებული და მოდელირებული სპექტრების ურთიერთმორგებით განისაზღვრება ობიექტის ოპტიკური პარამეტრები. (4) ოპტიკური პარამეტრების საფუძველზე ხორციელდება ადამიანის ჯანმრთელობის მდგომარეობის განსაზღვრა.

დიფუზური არეკვლის სპექტროსკოპია

დიფუზური არეკვლის სპექტროსკოპია (DRS) არის არაინვაზიური ტექნიკა, რომელიც გამოიყენება ქსოვილის ოპტიკური პარამეტრების გასაზომად, ამ ქსოვილიდან არეკლილი სინათლის რაოდენობის გაზომვით. ამ ტექნიკის გამოსაყენებლად აუცილებელია ბიოქსოვილის იმ ოპტიკური თვისებების ცოდნა, რომლებიც დაკავშირებულია ფოტონების გავრცელებასთან და როგორ უკავშირდება ეს თვისებები ადამიანის ჯანმრთელობას. DRS მეთოდები გამოირჩევა იმით, რომ ისინი შედარებით მარტივი გამოსაყენებელია და, რაც მთავარია, პაციენტისთვის უსაფრთხოა.

DRS ტექნიკაში ხშირად გამოიყენება ოპტიკური შუქგამტარებით (ბოჭკოებით) აგებული ზონდები. ჩვენც ასეთ კონსტრუქციებს ვიყენებთ. თუმცა შუქგამტარული ზონდის გამოყენება, როგორც წესი, მოითხოვს ბიოქსოვილთან კონტაქტს, რაც გაუფრთხილებლობის შემთხვევაში ოპტიკურ სიგნალს ამახინჯებს. ამიტომ, გაზომვების სიზუსტის გაზრდის მიზნით ჩვენ მომავალში ვგეგმავთ დისტანციური ზონდირების მეთოდის და აპარატურის შექმნას. თუმცა, ჯერ-ჯერობით, ჩვენი გაზომვები ხორციელდება კომერციულად ხელმისაწვდომი სპექტრომეტრული ინსტრუმენტების გამოყენებით. ეს ინსტრუმენტებია: ფართოზოლოვანი გამოსხივების წყარო, რომელიც დაკავშირებულია ოპტიკურ ბოჭკოსთან. ეს უკანანელი, ოპტიკური ზონდის საშუალებით ასხივებს და კრებს ბიოქსოვილის მიერ გაბნეულ სინათლეს, ხოლო შემდეგ გადასცემს CCD ან CMOS სპექტრომეტრს (ნახ. 1.1).



ნახ 1.1 DRS დანადგარის დიაგრამა: 1 - სინათლის წყარო, 2 - სინათლის გადამცემი ბოჭკოები, 3 - ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ზონდი, 4 - შესასწავლი ობიექტი, 5 - გაბნეული სინათლის გადამცემი ბოჭკოები, 6 – CCD ან CMOS სპექტრომეტრი, 7 - ჩაწერილი ოპტიკური სიგნალების დამუშავების ბლოკი.

მეთოდის ფიზიკური საფუძვლები: კვანტური მექანიკიდან მედიცინაზე

განვიხილოთ ლაზერული, ან სულაც არაკოჰერენტული სინათლის წყაროს მიერ გამოსხივებული ფოტონების ნაკადის შესუსტება ბიოლოგიურ ქსოვილში. მას, როგორც წესი, ორი პროცესი განსაზღვრავს: მრავალჯერადი დრეკადი გაბნევა და შთანთქმა. დრეკადი გაბნევის მოდელიდან გამომდინარე - ფოტონი, როგორც კლასიკური ნაწილაკი იცვლის მხოლოდ მიმართულებას, შეგვიძლია დავუშვათ, რომ გაბნევის აქტები განსაზღვრავენ ბიოქსოვილში მხოლოდ ფოტონების მიერ გასავლელ მანძილს (ტრაექტორიას), ℓ , და ამ მანძილზე ხორციელდება შთანთქმის პროცესი. ამიტომ, ამ მიახლოებაში, გამოსხივების შესუსტების აღსაწერად შეგვიძლია ვისარგებლოთ ლამბერტ-ბერის კანონით

$$I(\ell, \lambda) = I(0, \lambda) \exp(-\int \ell \mu d\ell'), \quad (1)$$

ან

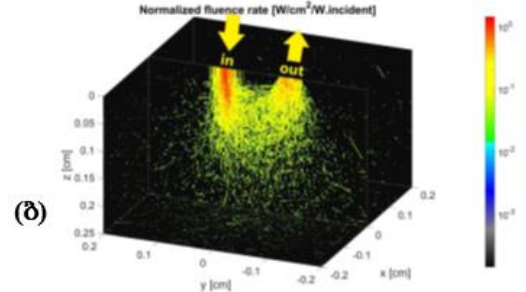
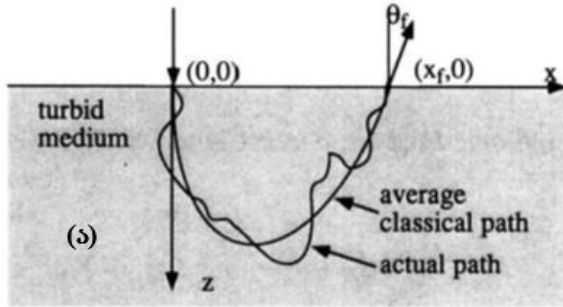
$$R(\ell, \lambda) \equiv I(\ell, \lambda) / I(0, \lambda) = \exp(-\int \ell \mu d\ell'). \quad (2)$$

ამ გამოსახულებებში $R(\ell, \lambda)$ არის დიფუზური არეკვლის კოეფიციენტი, $I(\ell, \lambda)$ არის სხივის ინტენსივობა ბიოლოგიურ ქსოვილში ℓ მანძილის გავლის შემდეგ, $\mu = k_a + \mu_s$ შესუსტების კოეფიციენტით (k_a - შთანთქმა; μ_s - გაბნევა), ხოლო $I(0, \lambda)$ არის სხივის ინტენსივობა ქსოვილის ზედაპირზე. ერთგვაროვანი ბიოლოგიური ქსოვილისთვის (1) ვიღებთ:

$$R(\ell, \lambda) = \exp(-\mu \ell). \quad (3)$$

ახლა გავარკვიოთ თუ რა არის ℓ . კვანტური მექანიკის ფეინმანისეული ინტერპრეტაციის თანახმად ის წარმოადგენს არამშთანთქმელ ($k_a = 0$) ქსოვილში ფოტონების მოძრაობის კლასიკურ ტრაექტორიას [Perelman, L. T.; Wu, J.; Itzkan, I.; & Feld, M. S. Photon migration in turbid media using path integrals. Physical Review Letters 1994, 72(9), 1341–1344 // Perelman, L. T.; Wu, J.; Wang, Y.; Itzkan, I.; Dasari, R.R.; & Feld, M. S. Time-dependent photon migration using path integrals. Physical Review E 1995, 51(6), 6134 – 6141]. რაც შეეხება შთანთქმას, ℓ -ის განსაზღვრის

შემდეგ, მას ლამბერტ-ბერის კანონის გამოყენებით გავითვალისწინებთ. სიმარტივისთვის, ჩვენ ვვარაუდობთ, რომ ფოტონი მოძრაობს x - z სიბრტყეზე და ვითვლით იმ ფოტონების საშუალო კლასიკურ ტრაექტორიას, რომლებიც დასაწყისში მართობულად ეცემიან ზედაპირს $(0,0)$ და გამოდიან $(x_f,0)$ წერტილში (ნახ. 1.2).



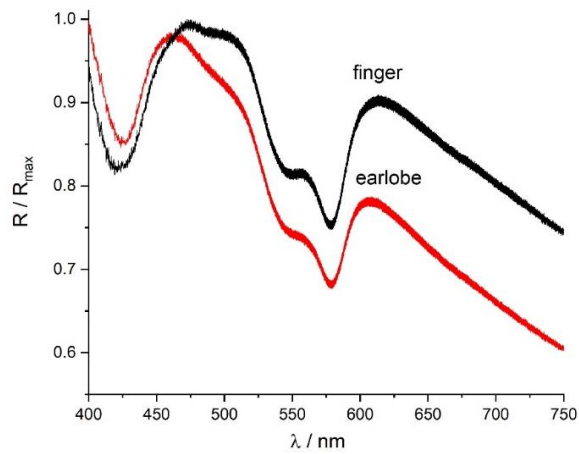
ნახ.1.2 (ა) - მღვრიე გარემოში ფოტონების მიგრაციის ფინმანისეული მოდელი. (ბ) – იგივე პროცესის MC მეთოდით მოდელირება.

მიღებული შედეგი იმის დასტურია, რომ ფოტონი ბიოქსოვილში მოძრაობისას ტოვებს კლასიკურ კვალს. ამ კვალის (ტრაექტორიის გასწვრივ) სინათლის შესუსტება გამოწვეულია ბიოქსოვილში არსებული შთანთქმის გამო. ასე რომ, პირველ პრინციპებზე დაყრდნობით, შესაძლებელია ოპტიკური მონიტორინგის გამოყენება ბიოლოგიური ქსოვილის ბიოქიმიური სტატუსის, შიდა სტრუქტურების შესასწავლად და ვიზუალიზაციისთვის.

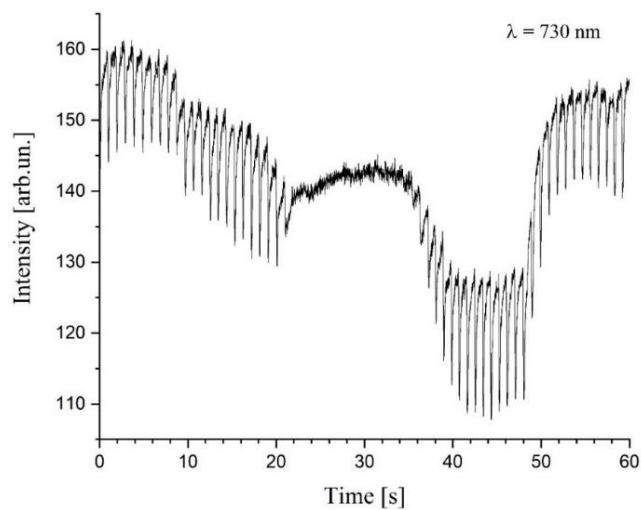
ჯანმრთელობის მდგომარეობის დახასიათება

ადამიანის ჯანმრთელობის მდგომარეობის დასახასიათებლად შემოგვყავს ჯანმრთელობის მატრიცის, H_m , მცნება. ამ მატრიცის ელემენტები ბიოლოგიური ქსოვილის პარამეტრებს წარმოადგენენ ისე, რომ ჯანმრთელობის თითოეულ მდგომარეობას უნიკალური მატრიცა შეესაბამება. ხოლო თავად მატრიცულ ელემენტებს ჩვენი გაზომვებიდან ვიღებთ (ნახ. 1.3 და ნახ. 1.4)

$$H_m = \begin{pmatrix} \begin{matrix} \square & \dots & \square \\ \vdots & \text{ქსოვილის პარამეტრები} & \vdots \\ \square & \dots & \square \end{matrix} \end{pmatrix} \quad (4)$$



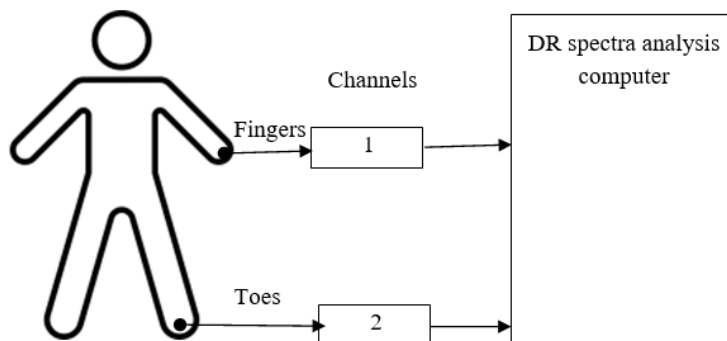
ნახ. 1.3 დროში გასაშუალოებული კანის არეკვლის სპექტრები



ნახ. 1.4 დროში ცვლადი არეკვლის სპექტრი, $\lambda = 730 \text{ nm}$.

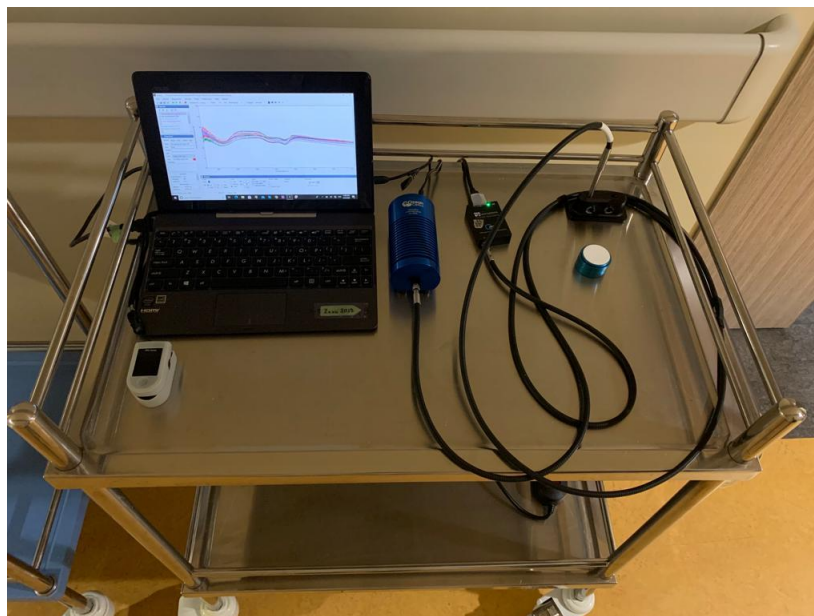
კლინიკური ექსპერიმენტი

საწყის ექსპერიმენტში, ჩვენ ავირჩიეთ მარცხენა ხელის თითის და ფეხის ცერის დორსალური (შიდა) მხარე, როგორც ჯანმრთელი მოხალისეებისათვის, ასევე ანგიოლოგიური პრობლემების მქონე ავადმყოფებისათვის. დაავადებული სუბიექტებისათვის გაზომვები ტარდებოდა პრე- და პოსტოპერაციულად (ნახ. 1.5).



ნახ. 1.5 ორარხიანი DR სპექტრომეტრი და ანალიზის სისტემა. ის შესაძლებელს ხდის ერთმანეთისგან დაშორებული უბნების სპექტრების შედარებას.

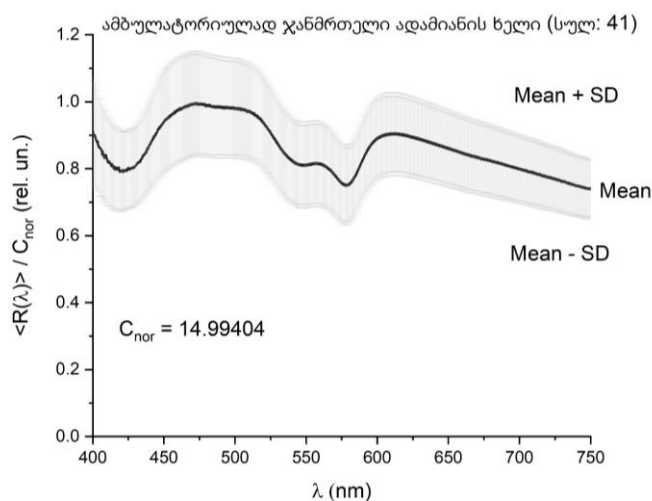
ჩვენს მიერ აგებულ ოპტიკურ-ბოჭკოვან კლინიკურ სპექტრომეტრს შემდეგი სახე აქვს (ნახ. 1.6).



ნახ. 1.6 ოპტიკურ-ბოჭკოვანი კლინიკური DR სპექტრომეტრი.

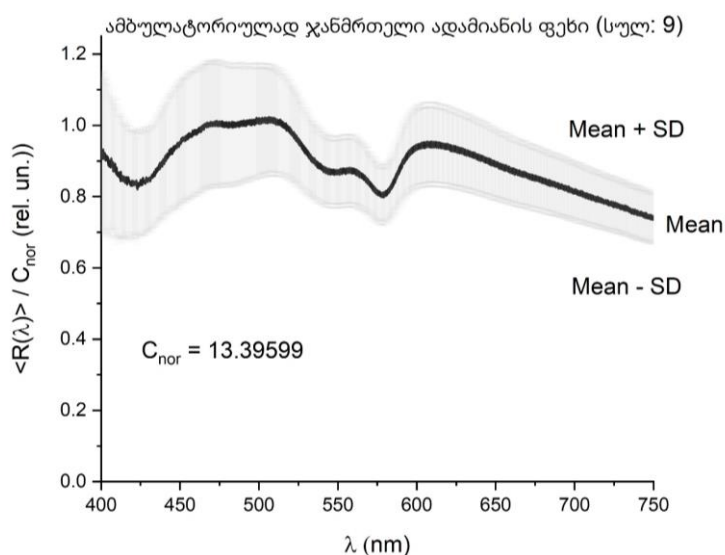
ცდის შედეგები: სტაციონარული შემთხვევა

ნახ. 1.7-ზე წარმოდგენილია ხელის თითიდან არეკვლილი სინათლის გასაშუალოებული სპექტრი ამბულატორიულად ჯანმრთელი 41 ადამიანის შემთხვევაში. ერთი სპექტრის ჩაწერის დრო 1 მილიწამია, ხოლო თითოეული სპექტრი 100-ჯერ იწერება და საშუალოვდება. სხეულის სხვა საითების სპექტრებთან შესადარებლად გასაშუალოებული სპექტრი ასევე ნორმირებულია მის მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე, $C_{nor} = 14.99404$. სპექტრზე ნათლად მოჩანს სისხლის შთანთქმის დამახასიათებელი ექსტრემუმის წერტილები ($HbO_2 + Hb$), დაახლოებით 420 ნმ-ის სიახლოვეს და 515-615 ნმ სპექტრალურ უბანში.

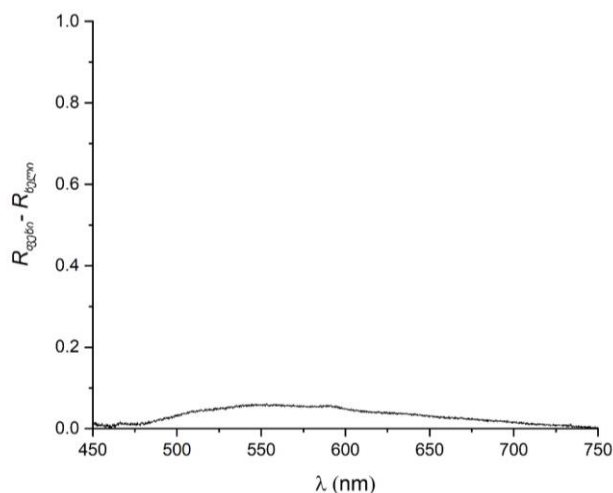


ნახ. 1.7

ნახ. 1.8-ზე წარმოდგენილია ფეხის თითიდან არეკვლილი სინათლის გასაშუალოებული სპექტრი ამბულატორიულად ჯანმრთელი 9 ადამიანის შემთხვევაში. ერთი სპექტრის ჩაწერის დრო 1 მილიწამია, ხოლო თითოეული სპექტრი 100-ჯერ იწერება და საშუალოვდება. სპექტრალური ამპლიტუდების შედარება რომ უზრუნველყოთ, ამისათვის ეს ფეხის თითიდან აღებული სპექტრები უნდა დავანორმიროთ მარცხენა ხელის თითიდან აღებული სპექტრის მაქსიმალურ ამპლიტუდაზე ($C_{nor} = 14.99404$), ხოლო თუ მხოლოდ ფორმებს ვადარებთ, მაშინ ფეხის თითზე გადაღებული სპექტრის მაქსიმალურ ამპლიტუდაზე, ანუ $C_{nor} = 13.39599$. სწორედ არეკვლის სპექტრების ფორმების შედარებაა მოცემული ნახ. 1.9-ზე, სადაც ჯანმრთელი ხელის და ფეხის არეკვლის სპექტრების სხვაობაა წარმოდგენილი.

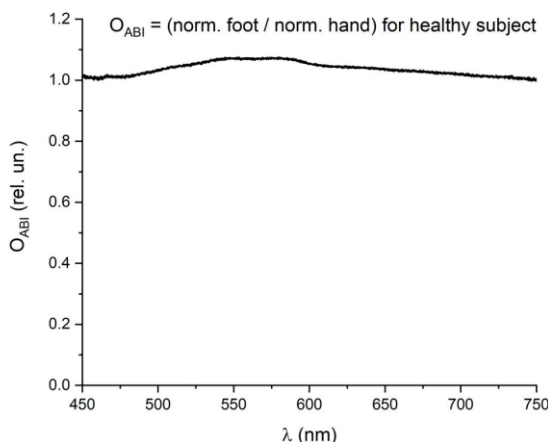


ნახ. 1.8



ნახ. 1.9

ეს კი საშუალებას გვაძლევს შემოვიღოთ, მხარ-გოჯის ინდექსის ანალოგი - ოპტიკური მხარ-გოჯის ინდექსი. (კონვენციური მხარ-გოჯის ინდექსი – სწრაფი, არაინვაზიური პირველადი კვლევაა, რომლის მეშვეობითაც ფასდება კიდურებზე სისხლის მიმოქცევის ადექვატურობა. გვაძლევს ინფორმაციას არის, თუ არა დაზიანებული, ან შევიწროებული სისხლძარღვები კიდურებზე, ხომ არ ჩამოყალიბებულია პერიფერიული არტერიების დაავადება.) ამრიგად, ოპტიკური მხარ-გოჯის ინდექსი, O_{ABI} , არის არეკვლის მაქსიმუმზე ხელის და ფეხის ნორმირებული სპექტრების შეფარდება (ნახ. 1.10, ნხ. 1.11)

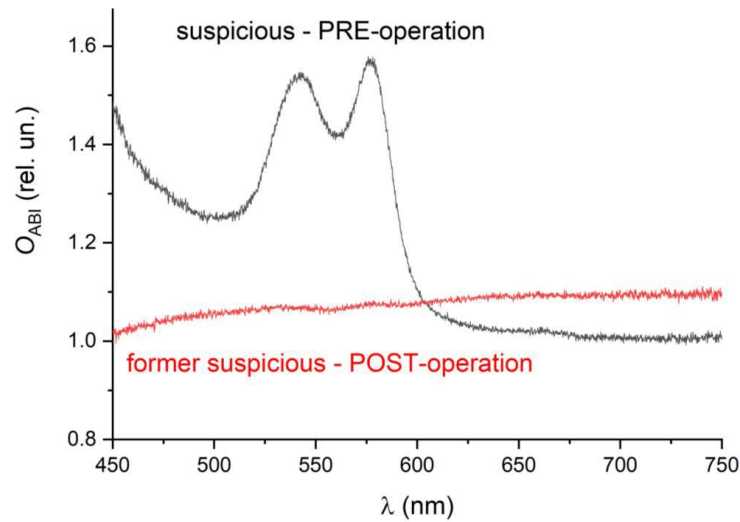


ნახ. 1.10 ამბულატორიულად ჯანმრთელი ადამიანის ოპტიკური მხარ-გოჯის ინდექსი, O_{ABI} .

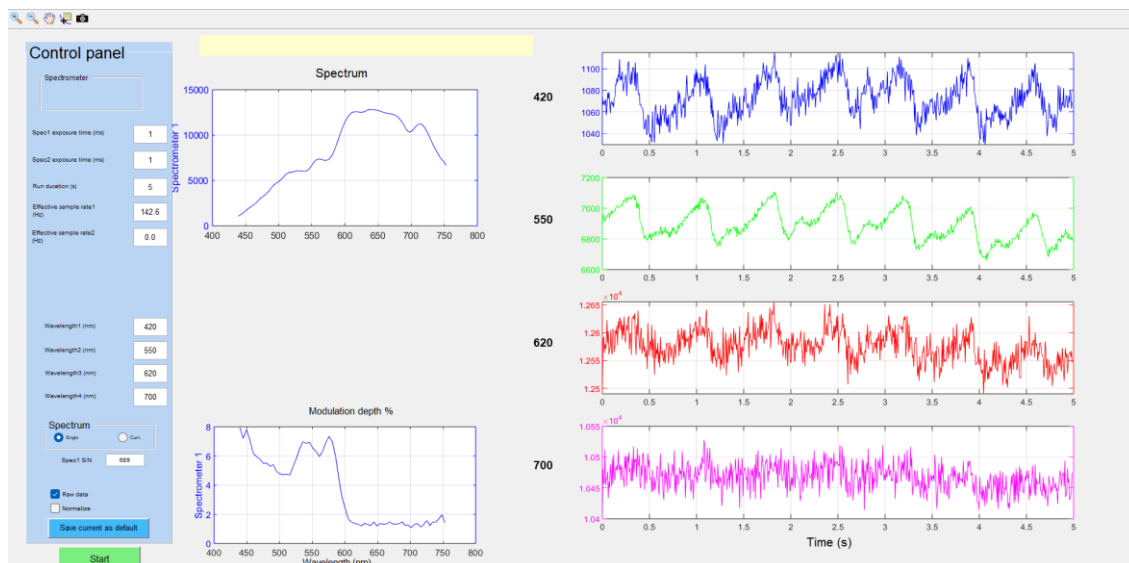
ჯანმრთელი სუბიექტის შემთხვევაში O_{ABI} მნიშვნელობა ერთის მახლობლობაშია (ნახ. 1.10), ხოლო, მაგალითად, ანგიოლოგიური პრობლემების შემთხვევებში ის მნიშვნელოვნად განსხვავდება 1-გან და აქვს გამოკვეთილი ფორმა (ნახ. 1. 11). ამავე ნახატიდან (ნახ. 1. 11) ნათლად ჩანს, რომ ოპტიკური მხარ გოჯის ინდექსის გაზომვით შესაძლებელია რადიკალური (ქირურგიული) ჩარევის ეფექტურობის მონიტორინგი - „ჯანმრთელი“ მდგომარეობის აღდგენისას O_{ABI} -ის ფორმის აღდგენა.

ცდის შედეგები - დროზე დამოკიდებული შემთხვევა

ამ კვლევებისათვის შეიქმნა სპეციალური კოდი და ინტერფეისი, რომელიც Qwave და AVANTES ტიპის სპექტრომეტრებით საშუალებას იძლევა დავაკვირდეთ და ჩავიწეროთ ადამიანის კანის პულსაციის სპექტრები. ამასთან ასევე ხდება სტაციონარული სპექტრების ჩაწერა და ვიზუალიზაცია (ნახ. 1.12)

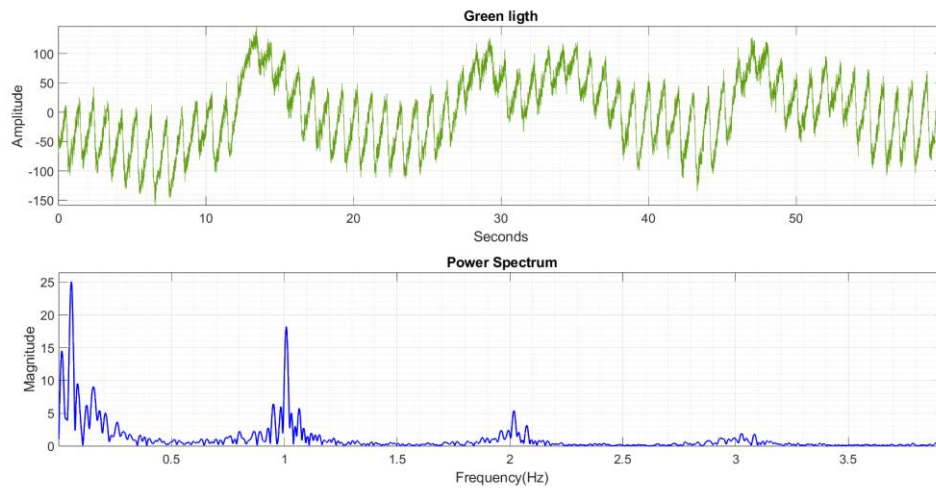


ნახ. 1.11 ერთი და იგივე სუბიექტის O_{ABI} ქირურგიულ ოპერაციამდე და ოპერაციის ჩატარების მეორე დღეს. ნათლად სჩანს ოპერაციის ჩატარების ეფექტურობა, ამ შემთხვევაში წარმატებული.

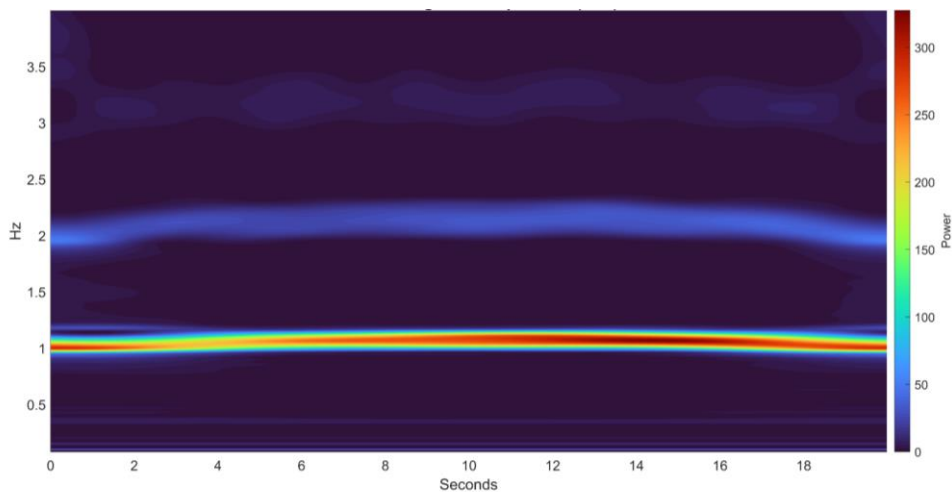


ნახ. 1.12 სპეციალური ინტერფეისი. მარცხნივ - სტაციონარული სპექტრები, მრჯვნივ - დროზე დამოკიდებული სიგნალი 4 ტალღის სიგრძეზე.

დროზე დამოკიდებული, ანუ კანისპუსაციების სპექტროსკოპია საშუალებას იძლევა მივიღოთ ინფორმაცია: კარდიალურ, სუნთქვით, ვაზომოტორულ და ადამიანის ორგანიზმში მიმდინარე სხვა სახის პერიოდულ პროცესებზე. ამიტომ მისი მნიშვნელობა მედიცინისათვის და ფიზიოლოგიური პროცესების ფუნდამენტური კვლევისთვის ძნელია გადაფასო (ნახ. 1.13, ნახ. 1.14).



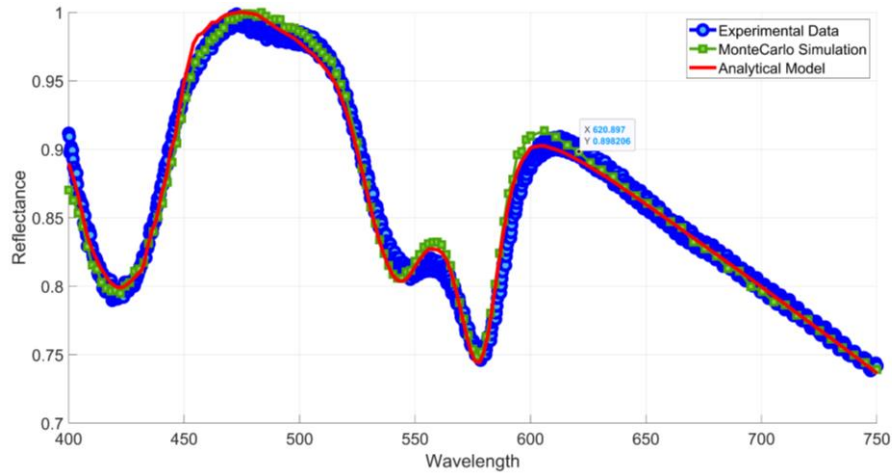
ნახ. 1.13 კანის (სისხლის) პულსაციები და მისი ფურიე სპექტრი.



ნახ. 1.14 კანის (სისხლის) პულსაციების ვეივლეტ-ანალიზი.

მოდელირება და მორგება

ჩვენს კვლევებში მოდელირება განვახორციელებთ როგორც ანალიზურად, ასევე მონტე კარლოს (მკ) მეთოდით. შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 1.15-ზე და მოწმობს როგორც ანალიზური, ასევე მკ მოდელის ეფექტურობას.



ნახ. 1.15 კანის არეკვლის სტაციონარული სპექტრები: ექსპერიმენტი (ლურჯი), მკ მოდელი (მწვანე) და ანალიზური მოდელი (წითელი).

ჩვენს მიერ მიღებული მოდელების ეფექტურობა ასევე ჩანს ქვემოთ მოტანილი ცხრილიდან, სადაც ექსპერიმენტულ მრუდებზე მოდელების მორგების შედეგად მიღებული კანის ოპტიკური პარამეტრების შედარებაა მოცემული ლიტერატურაში ცნობილ შედეგებთან (ცხრილი 1.1).

ცხრილი 1.1 სამეცნიერო ლიტერატურიდან და მორგების პროცედურიდან მიღებული ოპტიკური პარამეტრების შედარება. ჯანმრთელი სუბიექტების შემთხვევა.

ლიტერატურული მონაცემები		მორგების შედეგად მიღებული	
პარამეტრი	დიაპაზონი	პარამეტრი (ეპიდერმისი)	პარამეტრი (დერმისი)
n_{skin}	1.4 – 1.5	1.45	1.40
$\mu_s(\lambda_0)$	3 – 11 mm ⁻¹	6.67 mm ⁻¹	4.36 mm ⁻¹
x	0.5 – 1.0	0.689	0.562
ρ_{Mie}	0.1 – 0.6	0.51	0.50
f_{mel}	0.5 – 25%	1.3%	-
L_{epi}	50 – 150 μm	90 μm	-
f_{blood}	0.2 – 7%	-	5.5 %
S	40 – 98%	-	99%
C_{bil}	5 – 250 mg/L	-	140 mg/L
W_{epi}	20 – 40%	33%	-
W_{derm}	60 – 77 %	-	75 %

დასკვნა

1. შევქმენით მეთოდი ჯანმრთელობის და სამედიცინო პროცედურების მონიტორინგის მეთოდები, რომლებიც კანის სტაციონარულ და დროზე დაკიდებულ სპექტროსკოპიას ეფუძნება;
2. ავაგეთ და გამოვცადეთ კლინიკური დანადგარი;
3. შევარჩიეთ ანალიტიკური და მონტე კარლოს მოდელი;

4. შემოვიღეთ ოპტიკური მხარ-გოჯის ინდექსი, რომლის გაზომვითაც შესაძლებელია, როგორც დიაგნოსტიკა, ასევე რადიკალური (ქირურგიული) ჩარევის ეფექტურობის მონიტორინგი;

განვსაზღვრეთ დროზე დამოკიდებული სპექტროსკოპული სიგნალის დამუშავების მეთოდები - ფურიე ვეივლეტ და ფრაქტალური ანალიზის.

საფუძველი

პროექტით გათვალისწინებული ინტერდისციპლინური კვლევის მიზანი არის დაავადების არასასურველი პროგრესიის მაღალი რისკის, მათ შორის COVID პაციენტების დროული და ზუსტი გამოვლენისთვის ანთებითი პროცესების სადიაგნოსტიკო მარკერული ცილა ფერიტინის, სისხლის შრატში განსაზღვრის შედარებით მარტივი და არადვირადღირებული ალტერნატიული მიდგომის შემუშავება. ადამიანის სისხლის შრატიდან ბიომოლეკულების გამოყოფის, გასუფთავების და იდენტიფიცირების ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდიკა არის მარტივი, არადვირადღირებული, რითაც საგრძნობლად იზრდება ადრეული დიაგნოსტიკის და ეფექტური მკურნალობისთვის ამ ნაერთების როგორც ანთებითი და ინფექციური რეაქციების ბიომარკერების ფართომასშტაბით გამოყენების შესაძლებლობა. დანადგარი არის ხელმისაწვდომი და ადვილად მოსახმარი, შეიძლება ასევე, გამოყენებული იყოს დაავადებთა პრევენციის სფეროში.

სისხლში რკინის რაოდენობა (შემცველობა) უმნიშვნელოვანესი სასიცოცხლო მაჩვენებელია კოვიდ-19-ით დაავადებული პაციენტებისთვის. რკინის რაოდენობის განსაზღვრა და მონიტორინგი საქართველოს ჯანდაცვის სფეროში ძვირადღირებული ტესტების საშუალებით ხორციელდება და შესაბამისად, ხშირ შემთხვევაში, განსაკუთრებით მონიტორინგის კუთხით, შეუძლებელიც კი ხდება. აქედან გამომდინარე, ჩვენი მიზანია შევიმუშაოთ რკინის პროფიციტის შეფასების იაფი და ეფექტური მეთოდი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს სამედიცინო დაწესებულებებში განვახორციელოთ კოვიდ-19-ით დაავადებულ პაციენტებში რკინის კონცენტრაციის რაოდენობრივი შეფასება. რკინის კონცენტრაცია, თავის მხრივ, უშუალოდ კავშირშია ისეთი მნიშვნელოვანი ცილის კონცენტრაციასთან, როგორიც არის ფერიტინი, რაც უშუალოდ გამოისახება მის ოპტიკურ სპექტრში. ამრიგად, ფერიტინის სპექტროსკოპული მახასიათებლების შესწავლა, თუ გავითვალისწინებთ ოპტიკურ-სპექტროსკოპული მეთოდის ძალზე მაღალ ინფორმატიულობას, წარმოადგენს ეფექტურ გზას დასახული ამოცანის გადასაჭრელად.

ჩვენგან დამოუკიდებელი მიზეზების, გამოწერილი ფერიტინის ეტალონური ნიმუშების დროულად ვერმიღების გამო, ეს კვლევები წელს აღდგა და მნიშვნელოვანწილად მომავალ წელსაც გაგრძელდება.

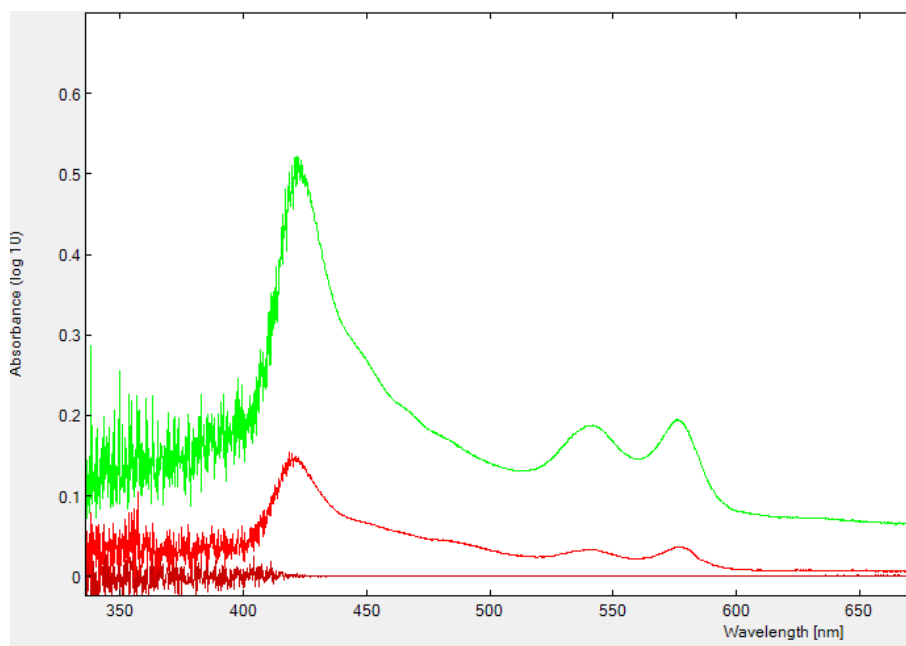
ყოველივე ზემოთქმულის გათვალისწინებით, ვახორციელებთ შემდეგი სახის აქტივობებს:

- 1) ფერიტინის ოპტიკური შთანთქმის სპექტროსკოპია, რკინის შემცველობის რაოდენობრივი შეფასებისათვის. ამ მიზნით შექმნილია სპეციალური პლატფორმა, რომელზეც განთავსებულია CCD სპექტრომეტრი, ოპტიკური სპექტრის ხილული დიაპაზონის შუქდიოდი და ოპტიკური კიუვეტა. დანადგარის მართვა და გაზომვის შედეგების ანალიზი

ხორციელდება პერსონალური კომპიუტერით და სპეციალური სპექტროსკოპიული პროგრამით. კიუვეტაში თავსდება სპირტით გამოლექვის მეთოდით მიღებული ნიმუში, ხორციელდება მისი ოპტიკური სპექტრის ჩაწერა და შესწავლა ოპტიკური გამოსხივების ხილულ დიაპაზონში.

2) ფერიტინის კვალის გამოვლენა *in vivo* არეკვლის სპექტრებში. მსგავსი სახის კვლევა არ არსებობს. შესაბამისად ჩვენი კვლევა ამ შემთხვევაში პილოტურია. კვლევაში გამოყენებული იქნება CCD სპექტრომეტრი, სპეციალური ოპტიკურ-ბიჭკოვანი ზონდი, ციფრული ოსცილოგრაფი, მიმღები ფოტოტოდიოდი, და სხვადასხვა ფერის შუქდიოდები. დანადგარის მართვა და გაზომვის შედეგების ანალიზი განხორციელდება პერსონალური კომპიუტერით და სპეციალური სპექტროსკოპიული პროგრამებით. არეკვლის სპექტრების ჩაწერა განხორციელდება რეალური დროის რეჟიმში. მიღებული შედეგები შედარდება როგორც შთანთქმის სპექტროსკოპიით მიღებულ შედეგებს, ასევე ELISA მეთოდით მიღებულ შედეგებსაც. ამ კვლევაში ძირითადი ძალისხმევა ფოკუსირებული იქნება ფერიტინის კვალის თვისობრივ გამოვლენაზე. წარმატების მიღწევის შემთხვევაში დაიგეგმება კვლევები ფერიტინის *in vivo* რაოდენობრივი შეფასების მიმართულებით.

სადღეისოდ ჩატარებულია წინასწარი კვლევები, ფომელიც გრაფიკულად ნახ. 2-1-ზეა წარმოდგენილი. შთანთქმის სპექტრებიდან ნათლად სჩანს ბუნებრივ პირობებში ფერიტინის რეგისტრაციის შესაძლებლობა შემდგომ მისი კონცენტრაციის გასაზღვრის მიზნით.



ნახ. 2.1. ადამიანის სისხლის შრატში ფერიტინის შთანთქმის სპექტრები.

1.3. თანამედროვე სპექტრომეტრების გარჩევისუნარიანობა და პრობლემის მიმოხილვა

ე. წ. Infrared Pump-Probe Spectroscopy-ის ერთ-ერთ ჯგუფში, რთული ორგანული მოლეკულების ატომური სტრუქტურების შესწავლის პროცესში შემჩნეულ იქნა, რომ

სიზუსტის თვალსაზრისით ბუნებაში არსებული არცერთი სპექტრომეტრი, არც დიფრაქციულ მესერიანი და რათქმაუნდა არც მრავალ პრიზმული სპექტრომეტრი არ არის საკმარისი. Infrared Pump-Probe Spectroscopy - აში საჭიროა საკმაოდ დიდი სპექტრალური დიაპაზონის მიღება, რამოდენიმე ათასი ნანომეტრი და სპექტრომეტრში გასული სინათლის მაქსიმალური ინტენსივობა. მაგალითად თუ დიაპაზონი წარმოადგენს 1000 – 12000 nm, ანუ 62000 – 5200 1/cm ტალღურ რიცხვს და სწრაფქმედი CCD დეტექტორის რეზოლუცია არის 1024 pix/cm, გამოდის რომ თითოეულ პიქსელზე დაახლოებით უნდა მოდიოდეს 55 ტალღურ რიცხვს სპექტრალური სიგანე, რაც შეესაბამება დაახლოებით 10.7 nm ტალღის სიგრძის დიაპაზონს. ანუ ეს ნიშნავს, რომ მოცემულ დიაპაზონში, თანამედროვე საკმაოდ ძვირადღირებული სპექტრომეტრი, ერთმანეთისგან გაარჩევს ორ სიგნალს, რომელთა შორის ტალღის სიგრძის განსხვავება დაახლოებით 10 – 11 nm - ია. ეს არის თანამედროვე სპექტრომეტრების (1000 – 12000 nm) თითქმის მაქსიმალური რეზოლუცია. გამოდის, რომ პრაქტიკულად აზრი არ აქვს უფრო დიდი რეზოლუციის CCD დეტექტორის გამოყენებას. ეს არის შემთხვევა როდესაც დეტექტორის რეზოლუციამ ბევრად გაუსწრო სპექტრომეტრის შესაძლებლობებს.

ინფრაწითელ სპექტროსკოპიაში და არამარტო, იმისთვის რომ მაგალითად, შეისწავლო დ.ნ.მ. - ის მოლეკულაში ატომური სტრუქტურები, მექანიკური და ელექტრო-მაგნიტური თვისებები ანუ გენეტიკური კოდი, მისი მდგრადობა - არამდგრადობა, საჭიროა არა 10.7 nm ტალღის სიგრძის დიაპაზონის გარჩევადობა არამედ 1/10, 1/100 და 1/1000 nm ტალღის სიგრძის დიაპაზონის გარჩევადობაც კი. ანუ საჭიროა დაახლოებით 100 - 10 000 - ჯერ უკეთესი რეზოლუციის სპექტრომეტრი. ასევე აღსანიშნავია, რომ თანამედროვე, საუკეთესო დიფრაქციულ მესერიანი სპექტრომეტრების ე.წ. გამჭვირვალობა დაახლოებით 25 – 45 % - ია, რაც ხშირად ძალიან მცირეა.

ახლო ინფრაწითელი სპექტრი ძირითადად განპირობებულია მოლეკულაში ატომების დაჯახებებით, შედარებით სუსტი რხევითი პროცესებით და კიდევ უფრო სუსტი ბრუნვითი პროცესებით. ამ ყველაფრის დანახვა და შესწავლა შესაძლებელია იდეალური სპექტრომეტრით.

თანამედროვე სპექტრომეტრებში გამოიკვეთა სამი ძირითადი პრობლემა (და არამარტო):

1. გარდაუვალი გეომეტრიული აბერაცია, ანუ გარკვეული ტალღის სიგრძეების ერთმანეთზე ზედდება გეომეტრიულ აპროქსიმაციაში.
2. ტალღური, ანუ ფურიე ოპტიკის აპროქსიმაციაში აპერტურის გაზრდის შეუძლებლობა, რაც იწვევს ფოკუსური ლაქის გაზრდას და შესაბამისად რეზოლუციის შემცირებას.
3. სპექტრომეტრში გასული სიგნალის დაბალი ინტენსივობა, როგორც უკვე ვახსენეთ 25 – 45 %.

თუკი სიღრმისეულად შევისწავლით არსებულ დიფრაქციულ-მესერულ ან პრიზმული სპექტრომეტრების ფიზიკურ და მათემატიკურ მოდელებს აღმოვაჩენთ, რომ განხილული

სამი პრობლემის ამონახსნი არის ერთმანეთთან შეუღლებული. ეს ნიშნავს, რომ ერთი-ერთი პარამეტრის გაუმჯობესება, როგორც წესი იწვევს სხვა დანარჩენი ორის გაუარესებას და პირიქით. სწორედ ამიტომ ვთვლით, რომ დიფრაქციულ-მესერულ და პრიზმული სპექტრომეტრების ოპტიმიზაციამ მიაღწია თითქმის მაქსიმალურ ზღვარს.

როგორც ცნობილია „სიწმინდის ზღვარი“, არის ჰაიზენბერგის განუზღვრელობა. ეს ნიშნავს, რომ იდეაში, ნებისმიერი ორი პარამეტრის შეუღლების ზღვარი მათემატიკურად შეიძლება დაყვანილ იქნას ჰაიზენბერგის განუზღვრელობამდე. სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ, საჭირო იყო მოგვეხსნა შეუღლება გარდაუვალ გეომეტრიულ აბერაციასა და აპერტურის ზომას შორის, ხოლო მესამე პარამეტრი, - ინტენსიურობა, თავისთავად გახდებოდა ინვარიანტული.

სწორედ ამიტომ შევიმუშავეთ იდეალური სპექტრომეტრის თეორია, რომელიც გარკვეულ წილად აგრესიულად ჟღერს, მაგრამ ეს არის მისი ზუსტი სახელწოდება. მათემატიკურად დამტკიცებადია, რომ ადამიანს არ შეუძლია შექმნას პრინციპულად განსხვავებული ტექნოლოგიით ისეთი სპექტრომეტრი, რომელსაც ექნება უკეთესი რეზოლუცია ვიდრე ჩვენი ტექნოლოგიით შექმნილ სპექტრომეტრს.

„იდეალური სპექტრომეტრის“ მათემატიკური მოდელის სასაზღვრო ამოცანა:

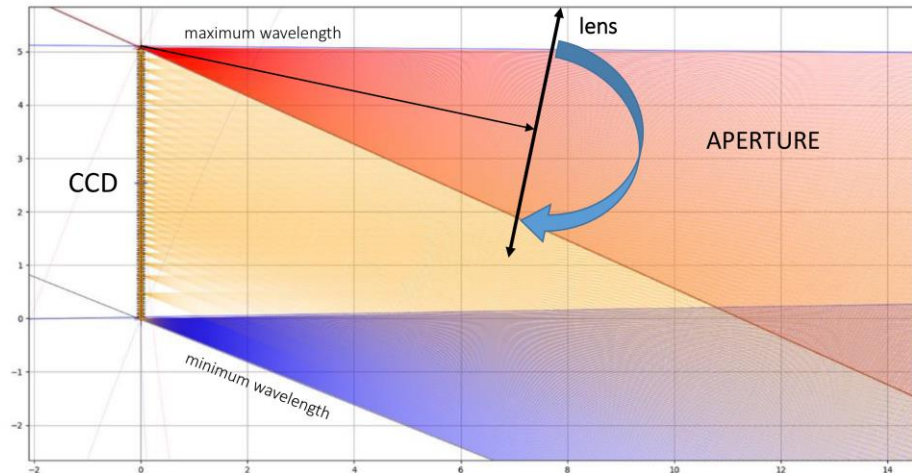
სასაზღვრო ამოცანის უკეთესად გაგების მიზნით განვიხილოთ ნახ.1. მარცხენა მხარეს მოცემულია CCD დეტექტორი, რომლის ზედა პიქსელზე ფოკუსირებულია განსახილველი დიაპაზონის (მაგალითად $\lambda_{\min}=1000$ – $\lambda_{\max}=12000$ ნანომეტრი) მაქსიმალური ტალღის სიგრძე (წითელი ფერი), ხოლო ქვედა პიქსელზე მინიმალური ტალღის სიგრძე (ლურჯი ფერი). მოცემული დიაპაზონის ყველა დანარჩენი ტალღის სიგრძე კი ფოკუსირებულია მაქსიმალურ და მინიმალურ ტალღის სიგრძეებს შორის (ნარინჯისფერი).

წრფივი ოპტიკის მიახლოებაში სასაზღვრო ამოცანა მოიცავს ორ აპროქსიმაციას:

- 1. **გეომეტრიული აპროქსიმაცია; შედეგა სამი კრიტერიუმისგან:**
 - ზღვარში, მოცემული დიაპაზონის ყოველი ტალღის სიგრძე სორტირებულია იდეალურად.
 - ზღვარში ყოველი ტალღის სიგრძის სინათლის ლაქის ფოკალური ზომა არის გეომეტრიული წერტილი ან თითქმის გეომეტრიული წერტილი. (ნოლი ან თითქმის ნოლი ზომა).
 - გეომეტრიულ აპროქსიმაციაში არ არსებობს არანაირი აბერაცია.

WE HAVE CREATED THE CONCEPT OF THE IDEAL SPECTROMETER:

What is an ideal spectrometer?



1. In the geometric approximation:

- in the limit, the ideal sorting of each wavelength on the detector.
- in the limit, the ideal focusing of each wavelength on the detector.
- no aberrations.

2. In the wave approximation:

- ability to increase the Aperture.

ნახ.1 „იდეალური სპექტრომეტრის“ სასაზღვრო ამოცანა.

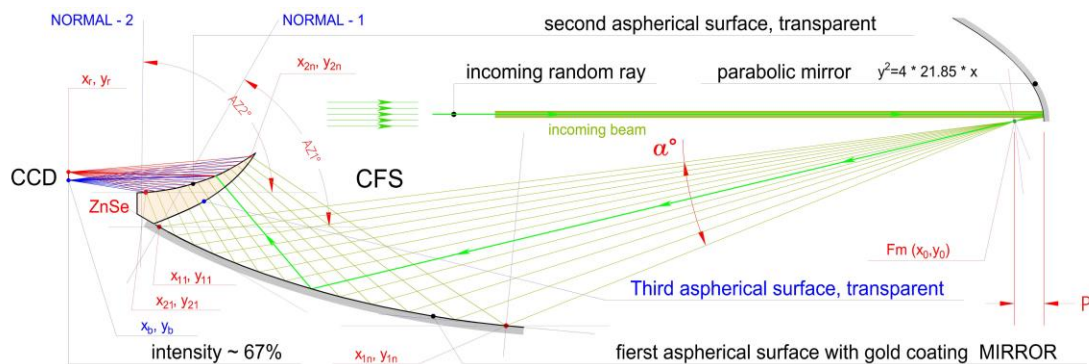
2. ტალღური (ფურიე) ოპტიკის აპროქსიმაცია შედგება ერთი უმთავრესი კრიტერიუმისგან:

ცნობილია, რომ ტალღურ ოპტიკაში ნოლი ზომის ფოკალური სინათლის ლაქის მიღება შეუძლებელია (ასე რომ იყოს ერთდროულად განხორციელებოდა არაერთი პარადოქსი და დაირღვეოდა „სიწმინდის ზღვარი“, ანუ ჰაიზენბერგის განუზღვრელობა). თუ რომელიმე ტალღის სიგრძისთვის (მაგალითად წითელისთვის როგორც ნაჩვენებია ნახ. 1 - ზე) განვიხილავთ იდეალურ წარმოსახვით ლინზას (ლინზური აბერაციების გარეშე) და თუ ჩავთვლით, რომ სინათლის ინტენსივობის განაწილება გაუსურია, მაშინ ტალღური ოპტიკის კანონებიდან გამომდინარე მოხდება მოცემული სინათლის ნაკადის ფოკუსირება. ან ფურიე ოპტიკის ტერმინებში, თუ შემომავალი სინათლის ნაკადის აპერტურის ფუნქცია არის იდეალური ამოზნექილი ლინზა, მაშინ ფურიე გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ „პირდაპირ“ ფურიე ტრანსპონირებულ აპერტურას ანუ ფოკუსურ ლაქას. მათემატიკურად მარტივად მტკიცდება, რომ რაც მეტია პირველი აპერტურის ზომა პირდაპირი ფურიე გარდაქმნისას, მით ნაკლებია ტრანსპონირებული აპერტურის ზომა. ე.ი. რაც მეტია წარმოსახვითი ლინზის დიამეტრი ნახ. 1 - ზე მით ნაკლებია ფოკუსის ზომა და შესაბამისად უკეთესია სპექტრომეტრის რეზოლუცია. სწორედ ამიტომ ტალღური ოპტიკის აპროქსიმაციაში ჩვენ უნდა შეგვეძლოს პირველი აპერტურის გაზრდა რაც გამოიწვევს სპექტრომეტრის რეზოლუციის გაზრდასაც. სასაზღვრო ამოცანა გულისხმობს პირველი აპერტურის გაზრდის შესაძლებლობას უსასრულო ზღვარში.

სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ, იდეალური სპექტრომეტრის სასაზღვრო ამოცანაში ტალღის სიგრძეების იდეალური სორტირება (ნოლი გეომეტრიული აბერაცია), ფოკალური ლაქის ზომა და ინტენსიურობა ინვარიანტული ან თითქმის ინვარიანტული პარამეტრებია.

ისეთი ამოცანის პოვნა და ამოხსნა, რომელიც დააკმაყოფილებდა განხილულ სასაზღვრო ამოცანას იყო ძალიან რთული. როგორც ცნობილია, ნებისმიერ ანალიზურ ფუნქციას შეიძლება მივუახლოვდეთ ფურიე მწკრივებით ანუ გავშალოთ ფურიე ბაზისში. მსგავსად ფურიე ანალიზისა, ჩვენ განვიხილეთ იდეალური სპექტრომეტრის სასაზღვრო ამოცანა ე.წ. ასფერული ზედაპირების ბაზისში. ეს ნიშნავს, რომ ასფერული ზედაპირების კომბინაციით შეგვიძლია რაგინდ მივუახლოვდეთ სასაზღვრო ამოცანას.

ამ ეტაპზე განვიხილავთ ე.წ. სამი ასფერული ზედაპირის კომბინაციას (3D), როგორც ყველაზე მარტივი ამონახსნი.



ნახ.2 სამი ასფერული ზედაპირის კომბინაცია (3D), უმარტივესი შემთხვევა.

რა არის ასფერული ზედაპირი ???

მკაცრად მათემატიკურად, რომ მივყვეთ და შევისწავლოთ თეთრი სინათლის ან თეთრი ხმაურის სივრცე-დროში წრფივი ევოლუცია (x_A, t_A) - დან (x_B, t_B) - ში ისე, რომ შეგვეძლოს შემადგენელი სიხშირეების იდეალური სორტირება, აპერტურის მართვა და თანაც ეს ორი პარამეტრი არ იყოს ერთმანეთთან შეუღლებული მივიღებთ, რომ ზედაპირები, რომლებზეც ხდება ფურიე გარდაქმნა, დეკარტულ სივრცეში არიან არა ანალიზური ფუნქციები. სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ, ისინი არიან ე.წ. ფრაქტალები, ანუ არამთელ განზომილებიანი წირები. აღმოჩნდა, რომ ეს არის ბუნების მიერ დაწესებული ფასი, რომელიც უნდა გადაგვხადა იდეალურ სორტირებასა და აპერტურის მართვას შორის შეუღლების მოხსნის სანაცვლოდ. ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ რადგან იდეალურ სპექტრომეტრში გამოყენებული 3 უმთავრესი ზედაპირი არის ფრაქტალური სიმრავლეები ამიტომ ეს გზა არის ჩიხი... მაგრამ ეს ასე არ არის!!!

არსებობს თეორემა დისკრეტიზაციის შესახებ (შენონ - ნაიკვისტი), რომლის თანახმადაც თუ კი დისკრეტიზაციის სიხშირე, სპექტრში (თეთრ ხმაურში) არსებულ მაქსიმალურ სიხშირეზე არანაკლებია მაშინ თავიდან ავიცილებთ იმფორმაციის დაკარგვას (aliasing). ჩვენს შემთხვევაში რეზოლუციის შემცირებას.

სწორედ აქ არის გამოსავალი: თუ კი შევქმნით ალგორითმს, რომელიც ფრაქტალურ, არამთელ განზომილებიან სიმრავლეს მიუახლოვებს ფსევდო ანალიზურ, მთელ განზომილებიან ანალოგს სწორი დისკრეტიზაციის პარამეტრის შერჩევის შედეგად, მაშინ მივაღწევთ სასურველ შედეგს. ე.ი. მივიღებთ იდეალურ სორტირებას წინასწარ დასახელებული რეზოლუციის ფარგლებში და ამავედროულად აპერტურის გაზრდის შესაძლებლობას. ეს არის მათემატიკური მოდელის არსი, რომლის თანახმადაც შესაძლებელია იდეალური სპექტრომეტრის ოპტიმიზაცია ისე, რომ მას ქონდეს რაგინდ დიდი რეზოლუცია.

ჩვენს მიერ შექმნილი ალგორითმი (პითონში დაწერილი კოდი) საშუალებას იძლევა, წინასწარ დასახელებული რეზოლუციის და დისკრეტიზაციის პარამეტრის შესაბამისად, დავაოპტიმიზიროთ სამი ზედაპირის კომბინაცია. ამ სამი ზედაპირის კომბინაციას ჩვენ ვუწოდებთ Carrier Frequency Separator (CFS). **ნახ.2.** სწორედ ასეთი გზით მიღებულ საკმაოდ არატრივიალურ მათემატიკურ ობიექტს ჩვენ ვუწოდებთ - **ასფერულ ზედაპირს**. ხოლო მათემატიკური ტერმინოლოგიის დაცვით შეგვიძლია ვთქვათ, რომ იდეალური სპექტრომეტრის სასაზღვრო ამოცანა, ამ კონკრეტულ შემთხვევაში, წარმოდგენილია 3 ასფერული ზედაპირის ბაზისში.

აღმოჩნდა რომ, ასფერული ზედაპირების შექმნის ალგორითმი (შესაბამისად კოდი) გასაოცრად მარტივია, მისი სრულყოფილი ჩამოყალიბება შესაძლებელია ერთი უმარტივესი ნახაზით, რომელსაც ჩვენ ვუწოდებთ CFS - გასაღებს და ამჟამად წარმოადგენს კომერციულ საიდუმლოებას.

პირველი პროტოტიპი:

ჩვენ შევძელით ჩაგვეტარებინა „იდეალური სპექტრომეტრის“ თეორიის არაპირდაპირად დამამტკიცებელი სამი ექსპერიმენტი გერმანიაში (ბერლინის თავისუფალი უნივერსიტეტის არაწრფივი ოპტიკის და სპექტროსკოპიის ლაბორატორიაში), და პირდაპირ დამამტკიცებელი ექსპერიმენტი თბილისში კიბერნეტიკის ინსტიტუტის ბაზაზე. ჩვენ გადავაკეთეთ ძველი საბჭოთა მიკროსკოპი ორ კოორდინატიან ჩარხად რომელზეც გამოვჭერით ასფერული დეტალები, **ნახ. 3.**



ნახ. 3. მარცხენა სურათი - ორ კოორდინატიანი ჩარხი; შუა - პარაბოლური სარკე; მარჯვნივ - „ მზიდი სიხშირის სეპარატორი“ Carrier Frequency Separator (CFS) სამი ასფერული ზედაპირით.

გამომდინარე იქიდან, რომ მოგვიწია ჩარხის დამზადებაც, გარდა თვითონ დეტალებისა და რადგანაც ცხადი იყო, რომ პირველი პროტოტიპი იქნებოდა ძალიან შორს იდეალურისგან, ამიტომ გადაწყვიტეთ დაგვეზადებინა ფიზიკური და მათემატიკური მოდელის სადემონსტრაციო ვერსია. მას არ აქვს რაიმე გამოყენება გარდა იმისა რომ ექსპერიმენტულად ამტკიცებს თეორიის სისწორეს.

ნახ.4 - ზე მოცემულია სამ ასფერულ ზედაპირიანი პითონში დაპროგრამებული ვერსია და მისი განხორციელება.



ნახ. 4. მარცხენა სურათი - Python - ზე დაპროგრამებული სპექტრომეტრი; შუა - დაპროგრამებული ვერსიის მაქსიმალურად ზუსტი რეალიზაცია; მარჯვენა სურათი - გვაჩვენებს მიღებულ სპექტრს ხილულ დიაპაზონში.

აღნიშნული სადემონსტრაციო სპექტრომეტრი დაანგარიშებულ იქნა ხილულ დიაპაზონში 400 – 800 ნმ, ხოლო სინათლის წყაროდ ვიყენებდით მზის სინათლეს. გამომდინარე იქიდან, რომ დამუშავების ხარისხი გამოგვივიდა ძალიან სუსტი, „Carrier Frequency Separator (CFS)“ - ის ოპტიკური მინა უნდა ყოფილიყო SF-10, რაც ვერ ვიშოვეთ და გამოვიყენეთ სხვა მინა ოდნავ განსხვავებული გარდატეხის მაჩვენებლით და თანაც დამუშავების დროს გაგვიტყდა ზუსტად შუაში რაც ძლიერ აუარესებს ხარისხს, მიუხედავად ამ ყველაფრისა დაკვირვებული თვალი მაშინვე შეამჩნევს, რომ ექსპერიმენტი სრულად ადასტურებს თეორიას. ჩვენ მივიღეთ ფოკუსირებული სპექტრი ზუსტად ისე, როგორც თეორიით იყო განსაზღვრული - 10.24 მმ. რაც უფრო კარგად დამუშავდება ასფერული ზედაპირები და სწორი რეფრაქციული მატერიალი შეირჩევა მით უფრო სწორი და გამოკვეთილი გახდება სპექტრალური სურათი დეტექტორზე.

იდეალური სპექტრომეტრის გამოყენების სფერო და უპირატესობები:

1. იდეალური სპექტრომეტრის გამოყენება შესაძლებელია პრაქტიკულად ყველგან, სადაც გამოიყენება არაიდეალური სპექტრომეტრები და იქ სადაც არაიდეალური სპექტრომეტრები ნაკლებ ეფექტურია: ფიზიკა, ბიოფიზიკა, გენეტიკური ინჟინერია, ქიმია, ბიოლოგია, მედიცინა, სამედიცინო აპარატურა, უამრავი განსხვავებული ტიპის ინჟინერია, კოსმოსური აპარატურა, ტელესკოპები, სამხედრო ინჟინერია (მაგალითად იმფრაწითელი რადარი ან თვითდამიზნების სისტემები, როდესაც საჭიროა სიგნალის ამოცნობა თეთრი ხმაურის ფონზე) და სხვა....

2. თეორიულად შესაძლებელია იდეალური სპექტრომეტრი დაოპტიმიზირდეს რაგინდ დიდი რეზოლუციით და პრაქტიკულად ნებისმიერი ამოცანისთვის.

ეს შეუძლებელია არსებული სპექტრომეტრებისთვის

3. მინიმუმამდეა დაყვანილი პროექტანტის ან დამკვეთის ხშირად სუბელური დიზაინერული ფანტაზიები და ყველაფერი იმართება საკმაოდ მარტივი ალგორითმით. ეს საშუალებას გვაძლევს ზუსტი ოპტიმიზაციისთვის გამოვიყენოთ პროგრამირება და არა სასრულ ელემენტთა მეთოდზე დაფუძნებული ნახევრად დიზაინერული და პროექტანტის გემოვნებაზე დამოკიდებული პაკეტები; მაგალითად Zemax, Ansys, Comsol და სხვა, რომელებიც გარდა იმისა რომ, იძლევიან ინტერპრეტაციის საშუალებას, რაც მკაცრი მათემატიკური ალგორითმისთვის გაუგონარია, ასევე სასრულ ელემენტთა მეთოდის გამო თავისთავად აქვთ ე.წ. მემ-გრიდი, ანუ საკუთარი დისკრეტიზაციის პარამეტრი.
4. რეზოლუციის გაზრდის შესაძლებლობა საშუალებას იძლევა ბოლომდე ავითვისოთ CCD დეტექტორის რესურსი და უფრო მეტიც. თუ კი რაღაც ეტაპზე დეტექტორის პიქსელების რიცხვი აღმოჩნდება არასაკმარისი, ჩვენ შეგვიძლია შევქმნათ რაგინდ დიდი სპექტრალური ფანჯარა და ე.წ. მოსრიალე CCD დეტექტორი, რომელიც სხვადასხვა პოზიციაზე დააფიქსირებს სხვადასხვა დიაპაზონებს.
5. იდეალური სპექტრომეტრი და მისი თეორია შესაძლებელია დანერგილ იქნას მომიჯნავე დარგებში მაგალითად რადიოფიზიკა და სხვა.
6. იდეალურ სპექტრომეტრში P - პოლარიზაციისას ინტენსივობის გაზრდა შესაძლებელია 95% - მდე.
7. ყოველი ტალღის სიგრძე თითქმის იდეალურად ფოკუსირდება დეტექტორის შესაბამის პიქსელზე.
8. იდეალურ სპექტრომეტრში შესაძლებელია, ამოცანაზე მორგებული მარტივი ოპტიმიზაცია. მაგალითად, მარტივად არის შესაძლებელი რეზოლუციის გაზრდა 3 ასფერული ზედაპირის უბრალოდ გეომეტრიული ზომების გაზრდით. **ნახ.5.**
9. იდეალური სპექტრომეტრის ყველა ოპტიკური ზედაპირი შესაძლებელია იყოს ერთმაგი სიმრუდის, რასაც აქვს სამმაგი დადებითი ეფექტი:
 - ა) დამუშავება მარტივია, რაც ამცირებს ჩარხის შეცდომებს.
 - ბ) ჩარხის შეცდომები შესაძლებელია გადავანაწილოთ მეორე განზომილებაში და ავიცილოთ სიხშირეთა გადაფარვა.
 - გ) გამომდინარე იქიდან, რომ შესაძლებელია ორ კოორდინატიანი ჩარხის გამოყენება, ოპტიკური დეტალების და შესაბამისად სპექტრომეტრის ფასი დრამატულად მცირდება.

მეორე პროტოტიპი, რის დამზადებასაც ახლა ვაპირებთ:

პრობლემა მდგომარეობს შემდეგში:

გარდა იმისა, რომ სპექტრალური დიაპაზონი საკმაოდ დიდია, ასევე გამოიყენება არალაზერული სინათლის წყარო (ანუ არაკოლინეარული) და თანაც უნდა შევსწავლოთ კანიდან არეკვლილი კიდევ უფრო გაბნეული სინათლე. არაკოლინეარული სინათლის კონის სორტირება ან სპექტროსკოპია შეუძლებელია.

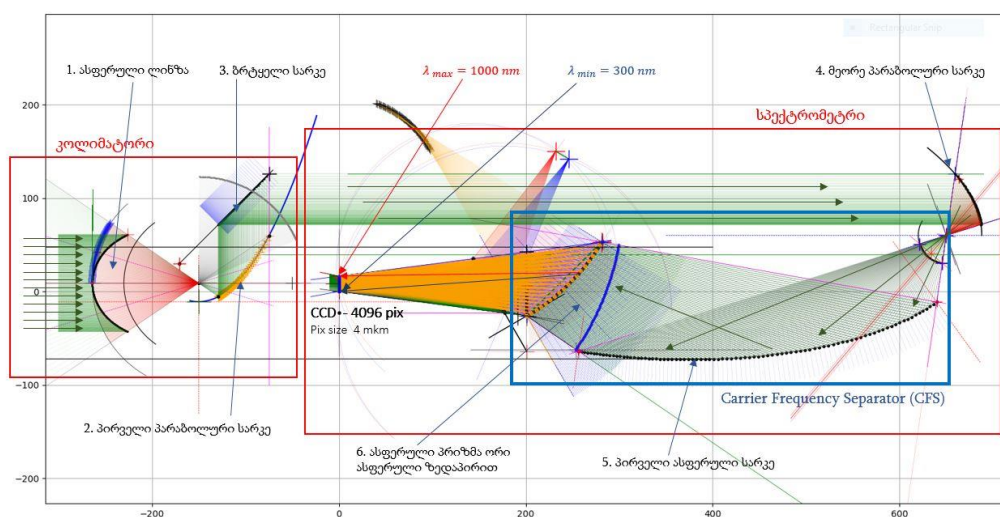
85

მოცემულ შემთხვევაში ჩვენს მიერ დაოპტიმიზირებული იდეალური სპექტრომეტრის ძირითადი პარამეტრებია:

1. შუქმგრძნობელობა. დავიანგარიშეთ $120 \times 10 \text{ mm}^2$ კოლიმატორის თვალი, რაც დაახლოებით 300 - ჯერ აღემატება ადამიანის თვალის ბროლის ფართობს. გამოვიყენებთ CCD კამერას რომლის მგრძნობელობა დაახლოებით ექვივალენტურია ადამიანის თვალის მგრძნობელობის, რაც დანაკარგების გათვალისწინებით, მოგვცემს ადამიანის თვალზე დაახლოებით 150-200 ჯერ უკეთეს მგრძნობელობას.
2. CCD დეტექტორის ეკრანზე მოსული სპექტრი. დავიანგარიშეთ 4096 პიქსელისთვის, პიქსელის ზომით - 4 მიკრონი. ჯამში სპექტრალური ფანჯარა შეადგენს 16.384 mm.
3. გამოყენებული ოპტიკური დეტალები, - კოლიმატორის თვალი (ასფერული ლინზა), დროში გარჩევადი CCD დეტექტორი - 4096 პიქსელით, პიქსელის ზომით - 4 მიკრონი.

ნახ.6.

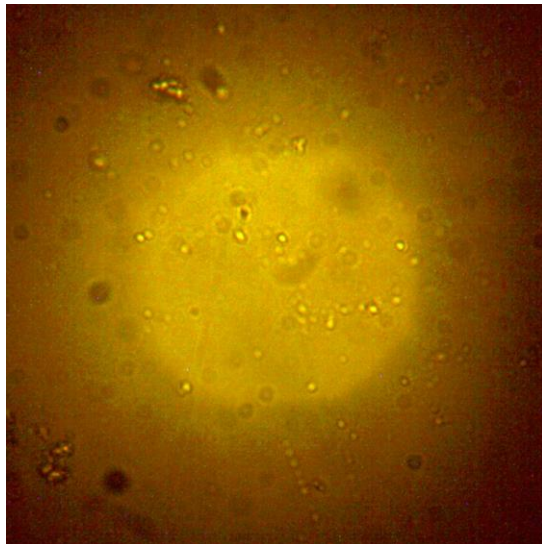
4. აქ არ მოვიხსენიებთ დამატებით კონსტრუქციულ თუ სტენდის დეტალებს და ასევე სხვადასხვა აქსესუარებს, მაგრამ იგულისხმება.



ნახ.6. მეორე პროტოტიპის პროგრამული ოპტიმიზაცია პითონში. განხილულია ძირითადი შემადგენელი დეტალების კონფიგურაცია. ზომები აღნიშნავს მილიმეტრებს.

2. (ხელმძღვანელი ტარიელ ებრალიძე) მიმდინარე პერიოდში შესწავლილ იქნა აზოსაღებარ ალიზარინ ყვითელით შეფერილ პოლიმერის მატრიცაში მოლეკულური აგრეგაციების ფორმირება. როგორც წესი, აზოსაღებარების მოლეკულური აგრეგაციები სტიქიურად და დეზორიენტირებულად წარმოიშობა პოლიმერის მატრიცის გაშრობის პროცესში. არც ალიზარინ ყვითელის შემთხვევა იყო გამონაკლისი. ამის შემდეგ პოლარიზებული სინათლით დასხივების შედეგად ხდება აგრეგატების მოლეკულების რეორიენტაცია ოპტიკური ღერძების გასწვრივ და ამ მიმართულებით დალაგებულ, თავიდანვე ასე ორიენტირებულ ანსამბლთან ერთად ქმნის მკვეთრად გამოხატულ ნათელ აგრეგატებს. მათი მართვა, ალაგ-ალაგ თუ მთელ ფართობზე გაქრობა-გამოჩენა წარმატებით ხორცილდება

არაპოლარიზებული და პოლარიზებული სინათლის დასხივებით. ქვევით მოყვანილ სურათზე ჩანს ალიზარინ ყვითელის ჩამოყალიბებული მოლეკულური აგრეგაციები.



2.2.

1) დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

3. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

3.2.

1) დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. დნმ-ის ზაზაზე ვერცხლის და ოქროს ნანომავთულების შექმნა და მათი შესწავლა სპექტროსკოპული და ელექტრონულ მიკროსკოპული მეთოდებით, ძირითადი მიმართულება: საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები, ქვე-მიმართულება: ბიოლოგიური მეცნიერებები, კატეგორია: ბიოფიზიკა, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი: FR-19-5263

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2020-2023

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ირინე ხუციშვილი - პროექტის ხელმძღვანელი; ვასილ ბრეგაძე - ძირითადი შემს., თამარ გიორგაძე - ძირითადი შემს., შოთა გოგიჩაიშვილი - ძირითადი შემს., ზაზა მელიქიშვილი - ძირითადი შემს.

დასრულებული კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

დადგინდა, რომ γ -დასხივებით (^{137}Cs) ხდება ოქროს იონების აღდგენა დნმ-ის გარეშე და დნმ-ის თანაობისას. გამოთვლილია დნმ-თან კომპლექსში მყოფი Au^{3+} იონების აღდგენის

რადიაციულ-ქიმიური გამოსავალი G , γ -დასხივების 36 სთ-ს შემდეგ (237.6 კრად) $G = 0.27$, რაც შეესაბამება 100 ევ γ -დასხივების შედეგად აღდგენილი ოქროს ატომების რაოდენობას.

სპექტროსკოპიულად შესწავლილია დნმ-ის თანაობისას და მის გარეშე Ag^+ და Au^{3+} იონების აღდგენა ასკორბინის მჟავის გამოყენებით. Ag^+ იონების შემთხვევაში დნმ-ის გარეშე ვერცხლის ატომების სპექტრს ვერ ვიღებთ, ხოლო Au^{3+} იონების შემთხვევაში დნმ-ის გარეშე Au^{3+} იონების ხსნარში აღდგენილი Au^0 ატომების სპექტრი მიიღება, მაგრამ ერთი საათის განმავლობაში ინტენსივობა ეცემა ნულამდე.

ასკორბინის მჟავის გამოყენებით დნმ-ზე ვერცხლის და ოქროს იონების აღდგენა იწვევს დნმ-ის კონფორმაციულ ცვლილებებს, მიღებული კომპლექსები არის სტაბილური.

შესწავლილია დნმ-ის ურთიერთქმედება $AgNPs$ -თან ფოტოდასხივებისა და დნობის საშუალებით. ვერცხლის ნანონაწილაკების და დნმ - $AgNPs$ კომპლექსების ფოტოდასხივების დროს ხდება ვერცხლის ატომების დესორბცია $AgNPs$ -ების ზედაპირიდან (დიამეტრი 10 ნმ). თავისუფალი $AgNPs$ -ების შემთხვევაში, ვერცხლის ატომის შემდგომი ადსორბცია ნანონაწილაკზე იწვევს ნანონაწილაკების ფორმის შეცვლას, ხოლო $AgNPs$ -დნმ კომპლექსების შემთხვევაში ატომები ადსორბირდება დნმ-ის ზედაპირზე.

$AgNPs$ -დან და $AgNPs$ -დნმ კომპლექსებიდან ვერცხლის ატომების ფოტოდესორბციის კინეტიკური შესწავლა საშუალებას იძლევა განისაზღვროს დესორბციის სიჩქარის მუდმივები k_d და დესორბციის აქტივაციის ენერგია E_d , რომლებიც უდრის $k_d \cong 1.6 \times 10^{-5}$ წმ⁻¹; $E_d \cong 85$ კჯოული/მოლ (Ag^0) ვერცხლის ნანონაწილაკებისთვის და $k_d \cong 2.2 \times 10^{-5}$ წმ⁻¹; $E_d \cong 84$ კჯოული/მოლ (Ag^0) დნმ-თან შეკავშირებული ვერცხლის ნანონაწილაკებისთვის.

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

6.4. სტატიები ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

1. Khutsishvili Irine, Giorgadze Tamar, Gogichaishvili Shota, Melikishvili Zaza, Bregadze Vasil
2. Melikishvili Zaza, Medoidze Tamaz, Jaliashvili Zaza, Kinkladze Vera, Gamkrelidze Alexander

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI

1. Stabilization of Reduced Gold Atoms on the Basis of DNA
2. Description of Time-Dependent Light Transmission through Human Palm Using Optical Spectroscopy and Formalism of Path Integrals: a Pylot Study

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 17, no. 2, 2023.
<http://science.org.ge/bnas/vol-17-2.html>
2. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 17, no. 1, 2023.
<http://science.org.ge/bnas/vol-17-1.html>

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. თბილისი, მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია
2. თბილისი, მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია

5) გვერდების რაოდენობა

1. 7
2. 6

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. სამუშაოს მთავარ მიზანს წარმოადგენდა ხსნარებში ოქროს იონების აღდგენის შესწავლა ატომურ მდგომარეობამდე დნმ-ის თანაობისას და მის გარეშე, ოქროს იონების აღსადგენად გამოყენებულ იქნა γ -დასხივება (^{137}Cs) და რედუქტანტი ასკორბინის მჟავა, მათი შესწავლა განხორციელდა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით. ნაჩვენებია, რომ დნმ- Au^{3+} კომპლექსის γ -დასხივება ატომამდე აღადგენს დამატებული ოქროს იონების 26%, ხოლო ასკორბინის მჟავა — 22%. ჩვენ გამოვთვალეთ დნმ-თან კომპლექსში მყოფი Au^{3+} იონების აღდგენის რადიაციულ ქიმიური გამოსავალი $G(\text{Au}^0)$ γ -დასხივების 36 სთ-ს შემდეგ (237.6 კრად) $G(\text{Au}^0) = 0.27$, რაც შეესაბამება 100 ევ γ -დასხივების შედეგად აღდგენილი ოქროს ატომების რაოდენობას. დნმ-ის თანაობისას და მის გარეშე Au^{3+} იონების აღდგენაზე ასკორბინის მჟავის გავლენის სპექტროსკოპიულმა შესწავლამ აჩვენა, რომ დნმ-ის გარეშე Au^{3+} იონების ხსნარში აღდგენილი Au^0 ატომები არ არიან სტაბილურები, ხსნარში მათი შემდგომი დაჟანგვის გამო. დნმ-ის თანაობისას Au^0 ატომები არიან სტაბილურები, რადგან ისინი უკავშირდებიან ფუძეებს, რაც ხელს უშლის მათ დაჟანგვას.

2. ნაშრომში წარმოდგენილია ბიოლოგიურ ქსოვილებთან სინათლის ურთიერთქმედების პრობლემის ანალიტიკური მიდგომა, რომელიც ეფუძნება ტრაექტორიების მიხედვით ინტეგრალების ფორმალიზმს. აგებულია სპეციალური მოწყობილობა – ოპტიკური ტომოგრაფი, რომლის მუშაობის პრინციპის ჩვენი გაგება ეფუძნება კვანტური მექანიკის ფეინმანისეულ ინტერპრეტაციას. ამის მიხედვით, ბიოლოგიურ ქსოვილში გავლისას, გარკვეული ტალღის სიგრძის (ფერის) მქონე ფოტონს აქვს კლასიკური ტრაექტორია, რომელიც განისაზღვრება ბიოლოგიური ქსოვილის ოპტიკური პარამეტრებით. ამ პარამეტრების დადგენა ინფორმაციულია ქსოვილების როგორც ფიზიოლოგიური, ასევე სტრუქტურული მდგომარეობის აღწერის (დიაგნოსტიკის) თვალსაზრისით.

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.1. მონოგრაფიები/წიგნები

1) ავტორი/ავტორები

1. Zaza Melikishvili, Vako Marchilashvili, Giorgi Kachlishvili, Zaza Jaliashvili, Tamaz Medoidze, Alexander Gamkrelidze, Oleg Kharshiladze, Luka Tsulukidze, Ana Petriashvili, Mariam Chubinidze, Irakli Kirtadze, Zaza Sopromadze, Fedor Ilkov, Subrata Dutta

2) მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

1. Environmental Technology and Sustainability-Physical, Chemical and Biological Technologies for Environmental Protection // Extracting Optical Parameters of Biological Tissue by the Optical Spectroscopy of Skin In Vivo. Hard ISBN: 9781774914342

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. AAP-APPLE Academic Press

4) გვერდების რაოდენობა

1. 337pp w/index

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. კანის in vivo სპექტროსკოპიული კვლევის შედეგებს. მაღალი სპექტრალური გარჩევადობით. გამოვლენილია და გაანალიზებული ორგანიზმის მდგომარეობის ბიოქიმიური და სტრუქტურული მდგომარეობების დეტალები, რომელიც ეფუძნება კაპილარულ ქსელში სისხლის მიმოქცევის, სუნთქვის და ვაზომოტორული ცვლილებების შედეგად გამოწვეულ ოპტიკური პარამეტრების ცვლილებების გაზომვას ოპტიკური სპექტრების და ანალიტიკური სიგნალის მორგე ბის პროცედურის საფუძველზე.

კვლევები ჩატარებულია ჯო ენის კლინიკაში და მისი ძირითადი შედეგები დაწვრილებით არის აღწერილი „პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები“-ის პუნქტში.

გაანალიზებულია კანის ოპტიკური მოდელები და წარმოდგენილია ყველა ოპტიკური პარამეტრი, რომელიც შესაძლოა მნიშვნელოვანი იყოს ადამიანის ჯანმრთელობის შესწავლაში. კლინიკური კვლევებისთვის შეიქმნა და დამზადდა ორიგინალური ექსპერიმენტული წყობა. ჩატარდა ანგიოლოგიური პრობლემების მქონე ჯანსაღი ადამიანების სპექტროსკოპიული კვლევა და გამოვლინდა in vivo ექსპერიმენტების ეფექტურობა.

შემოთავაზებულია ანგიოლოგიური პრაქტიკის ახალი ინდიკატორი - ოპტიკური ტერფ-მხრის ინდექსი (OABI), რომელიც ეფექტურად აღწერს ადამიანის ჯანმრთელობის მდგომარეობას, ასევე ოპერაციის დროს ამ მდგომარეობის ცვლილებას.

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. Khutsishvili Irine, Giorgadze Tamar, Gogichaishvili Shota, Melikishvili Zaza, Bregadze Vasil

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. DNA as a basis for the reduction of silver and gold ions and for photo-induced processes in silver nanoparticles, DOI: 10.31838/ecb/2023.12.1.022

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. European Chemical Bulletin, 1/12, 2023.

4) გვერდების რაოდენობა

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. სპექტროსკოპული მეთოდების გამოყენებით ნაჩვენებია, რომ დნმ-ზე ვერცხლის და ოქროს იონების აღდგენა რედუქტანტის გამოყენებით იწვევს დნმ-ის კონფორმაციულ ცვლილებებს.

შესწავლილია დნმ-ის ურთიერთქმედება AgNPs-თან ფოტოდასხივებისა და დნობის საშუალებით. ვერცხლის ნანონაწილაკების და დნმ - AgNPs კომპლექსების ფოტოდასხივებისას ხდება ვერცხლის ატომების დესორბცია AgNPs-ების ზედაპირიდან (დიამეტრი 10 ნმ). თავისუფალი AgNPs-ების შემთხვევაში, ვერცხლის ატომის შემდგომი ადსორბცია ნანონაწილაკზე იწვევს ნანონაწილაკების ფორმის შეცვლას, ხოლო AgNPs-დნმ კომპლექსების შემთხვევაში ატომები ადსორბირდება დნმ-ის ზედაპირზე. AgNPs-დან და AgNPs-დნმ კომპლექსებიდან ვერცხლის ატომების ფოტოდესორბციის კინეტიკური შესწავლა საშუალებას იძლევა განისაზღვროს დესორბციის სიჩქარის მუდმივები k_d და დესორბციის აქტივაციის ენერგია E_d , რომლებიც უდრის $k_d \cong 1.6 \times 10^{-5} \text{ წმ}^{-1}$; $E_d \cong 85 \text{ კჯოული/მოლ (Ag}^0\text{)}$ ვერცხლის ნანონაწილაკებისთვის და $k_d \cong 2.2 \times 10^{-5} \text{ წმ}^{-1}$; $E_d \cong 84 \text{ კჯოული/მოლ (Ag}^0\text{)}$ დნმ-თან შეკავშირებული ვერცხლის ნანონაწილაკებისთვის.

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. Vako Marchilashvili, Nika Nargizashvili, Zaza Melikishvili, Alexander Gamkrelidze, Irakli Kirtadze, Zaza Sopromadze

2.

2) მოხსენების სათაური

1. EXTRACTING OPTICAL PARAMETERS OF BIOTISSUES BY OPTICAL SPECTROSCOPY OF SKIN IN VIVO

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. Tbilisi, Georgia, August 1-3, 2023.

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულია)

განყოფილების უფროსის ზაზა მელიქიშვილის შენიშვნები:

1) გთხოვთ, შემფასებელმა გაითვალისწინოს, რომ ნაშრომი შეაფასოს იმ შემთხვევაში თუ მას გააჩნია კომპეტენცია კვანტურ ელექტრონიკაში, კვანტურ, ან ბიოსამედიცინო ოპტიკაში და ბიოფიზიკაში (ჯამურად 3 სტატია მაინც, მაღალი რეიტინგის სამეცნიერო ჟურნალებში, ბოლო სამი წლის მანძილზე).

2) ექსპერტს, რომელიც აკმაყოფილებს პირველ პუნქტს, აუცილებლად ჰქონდეს ესპერიმენტატორის კვალიფიკაცია, ვინაიდან ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება საქართველოში დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული.

3) გაითვალისწინოს, რომ ცდების უმრავლესობა ჩატარებულია დანადგარებზე, რომლებიც კერძო შემოწირულობით არის მიღებული და ეროვნულ მეცნიერებათა აკადემიას მასზე ერთი თეთრიც არ დაუხარჯავს.

4) გაითვალისწინოს, რომ მაღალრეიტინგულ საერთაშორიო ჟურნალებში სადაც ჩვენი ნაშრომების გამოსაქვეყნებლად რეგულარულად გვეპატიჟებიან, სტატიის გამოქვეყნება 2 – 3 ათასი ევრო ღირს და ჩვენ ვიღებთ ვალდებულებას იმდენი სტატია გამოვაქვეყნოთ (ზომიერების ფარგლებში), რამდენ 3 ათას ევროსაც ეროვნული აკადემია გამოგვიყოფს.

ოპტიკურად მართვადი ანიზოტროპული სისტემების განყოფილება (უფროსი ფიზ. მათ. მეც. კანდიდატი ანდრო ჭანიშვილი)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. ახალი ტიპის თხევადკრისტალური ლაზერების შემუშავება (ფიზიკა, ოპტიკა)
2. თხევადკრისტალურ ფენებში ოპტიკურად მართვადი პროცესების კვლევა (ფიზიკა, ოპტიკა)
3. ოპტიკურად მართვადი სივრცულად მოდულირებული ლაზერული გენერაცია საღებარით დოპირებულ პოლიმერულ და თხევადკრისტალურ ფენებში (ფიზიკა, ოპტიკა)
4. მონოლითური რეზონატორული ლაზერის (MRR) გამოსხივების თავისებურებები სრული შინაგანი არეკვლის კრიტიკული კუთხის საზღვრებში (ფიზიკა, ოპტიკა)
5. III-V ჯგუფის ნახევარგამტარების ნანოკრისტალები და მათი გამოყენება III თაობის მზის ელემენტებში და საინფორმაციო სისტემების მოწყობილობებში (ნახევარგამტარების ფიზიკა)

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023–2027
2. 2023–2027
3. 2023–2027
4. 2023–2027
5. 2023–2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ანდრო ჭანიშვილი — ხელმძღვანელი, ცისანა ზურაბიშვილი, ქეთევან ჩუბინიძე, სვეტლანა თავზარაშვილი, ზურაბ ვარდოსანიძე, ნინო ფონჯავიძე, ირაკლი ნახუცრიშვილი — შემსრულებლები.
2. ანდრო ჭანიშვილი — ხელმძღვანელი, ცისანა ზურაბიშვილი, ქეთევან ჩუბინიძე, სვეტლანა თავზარაშვილი, ზურაბ ვარდოსანიძე, ნინო ფონჯავიძე, ირაკლი ნახუცრიშვილი — შემსრულებლები.
3. ზურაბ ვარდოსანიძე — ხელმძღვანელი; ანდრო ჭანიშვილი, გია პეტრიაშვილი, ცისანა ზურაბიშვილი, ნინო ფონჯავიძე — მკვლევარები

4. ზურაბ ვარდოსანიძე — ხელმძღვანელი; ანდრო ჭანიშვილი, გია პეტრიაშვილი, ცისანა ზურაბიშვილი, ნინო ფონჯავიძე — მკვლევარები
5. თინათინ ლაფერაშვილი — ხელმძღვანელი, ორესტ კვიციანი - შემსრულებელი.

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. ახალი ტიპის თხევადკრისტალური ლაზერების შემუშავება (ფიზიკა, ოპტიკა)
2. თხევადკრისტალურ ფენებში ოპტიკურად მართვადი პროცესების კვლევა (ფიზიკა, ოპტიკა)
3. ოპტიკურად მართვადი სივრცულად მოდულირებული ლაზერული გენერაცია საღებარით დოპირებულ პოლიმერულ და თხევადკრისტალურ ფენებში (ფიზიკა, ოპტიკა)
4. მონოლითური რეზონატორული ლაზერის (MRR) გამოსხივების თავისებურებები სრული შინაგანი არეკვლის კრიტიკული კუთხის საზღვრებში (ფიზიკა, ოპტიკა)
5. III-V ჯგუფის ნახევარგამტარების ნანოკრისტალები და მათი გამოყენება III თაობის მზის ელემენტებში და საინფორმაციო სისტემების მოწყობილობებში (ნახევარგამტარების ფიზიკა)

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023–2027
2. 2023–2027
3. 2023–2027
4. 2023–2027
5. 2023–2027

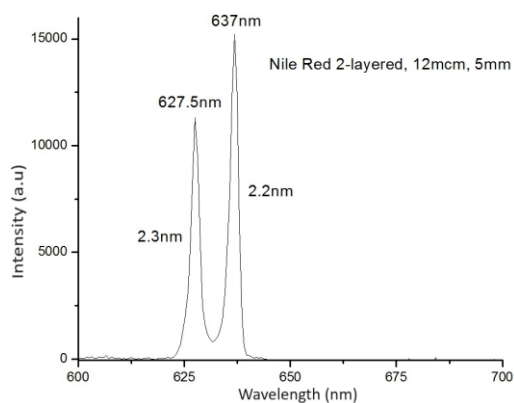
3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ანდრო ჭანიშვილი — ხელმძღვანელი, ცისანა ზურაბიშვილი, ქეთევან ჩუბინიძე, სვეტლანა თავზარაშვილი, ზურაბ ვარდოსანიძე, ნინო ფონჯავიძე, ირაკლი ნახუცრიშვილი — შემსრულებლები.
2. ანდრო ჭანიშვილი — ხელმძღვანელი, ცისანა ზურაბიშვილი, ქეთევან ჩუბინიძე, სვეტლანა თავზარაშვილი, ზურაბ ვარდოსანიძე, ნინო ფონჯავიძე, ირაკლი ნახუცრიშვილი — შემსრულებლები.

3. ზურაბ ვარდოსანიძე — ხელმძღვანელი; ანდრო ჭანიშვილი, გია პეტრიაშვილი, ცისანა ზურაბიშვილი, ნინო ფონჯავიძე — მკვლევარები
4. ზურაბ ვარდოსანიძე — ხელმძღვანელი; ანდრო ჭანიშვილი, გია პეტრიაშვილი, ცისანა ზურაბიშვილი, ნინო ფონჯავიძე — მკვლევარები
5. თინათინ ლაფერაშვილი — ხელმძღვანელი, ორესტ კვიციანი - შემსრულებელი.

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 20-- წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. შესწავლილია საღებართო დოპირებული ქოლესტერული თხევადკრისტლური ერთფენიანი და ორფენიანი ლაზერები. გამოკვლეულია ამ ლაზერების გამოსხივების თვისებების დამოკიდებულება აღზნების ენერგიის სივრცული განაწილებაზე. ნაჩვენებია, რომ დაჭირხვნის მუდმივი სიმკვრივის დროს, საღებარ-დამატებული თხევადკრისტლური ფენის გამოსხივება ძლიერ არის დამოკიდებული დაჭირხვნის ლაქის ზომებზე. კერძოდ, დაჭირხვნის იმავე სიმკვრივის დროს ლაზერული გენერაცია შესაძლებელია მხოლოდ დაჭარხვნის მცირე ლაქის შემთხვევაში. თითოეული კონკრეტული ლაზერული ფენისათვის არსებობს დაჭირხვნის ლაქის ზღვრული დიამეტრი, რომლის ზემოთ ლაზერის გამოსხივება შეუძლებელია. ჩვეულებრივ, პრაქტიკაში, ეს მნიშვნელობა არის 0.5...2 მმ. ვინაიდან თხევადკრისტლური ლაზერის ზომები შეიძლება იყოს მითითებულ მნიშვნელობებზე გაცილებით დიდი, ჩნდება კითხვა: შესაძლებელია თუ არა ლაზერული ემისიის მიღება ფენის უფრო დიდი ფართობიდან? ჩვენ აღვაგზნებდით საღებარ-დამატებული ფირი 8 მმ დიამეტრის ერთგვაროვანი ლაქით. ფენიდან მხოლოდ ფლუორესცენცია გამოდიოდა. მაგრამ თუ ჩვენ დავარღვევთ დაჭირხვნის ლაქის სივრცულ ჰომოგენურობას, მაგალითად, დაჭირხვნის სხივის გადაფარვით ნილბით ორგანოზომილებიანი ბადეების სახით, ჩნდება ლაზერული ემისია. ამ შემთხვევაში, ლუმინესცენციური არე გადაიქცევა ათობით მიკროლაზერისგან შემდგარ მასივში. შესწავლილია საღებარ-დამატებული თხევადკრისტლური ლაზერების გამოსხივების სპექტრული თვისებები და სხივის განშლადობა. ნაჩვენებია, რომ ორფენიანი ლაზერების სხივის განშლადობა 5...10-ჯერ მცირეა ერთფენიანებთან შედარებით, გამოსხივების სპექტრი კი ორმოდიანია.

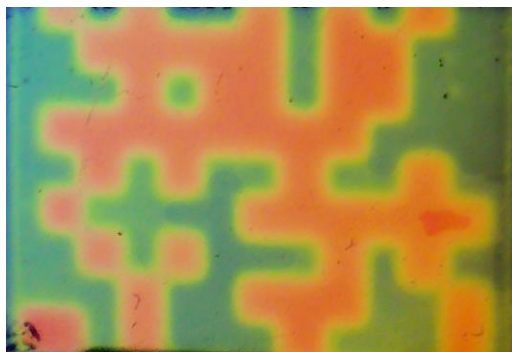


სურათზე ნაჩვენებია ორფენიანი ლაზერის გამოსხივების სპექტრი. დაჭირხვნისთვის გამოყენებული იქნა Q-მოდულაციის მქონე Nd:YAG ლაზერის მეორე ჰარმონიკა (532 ნმ).

2. გამოკვლეული იყო ინფორმაციის ჩაწერის საშუალება სხვადასხვა ტიპის ფოტომგრძნობიარე ქოლესტერულ თხევადკრისტალურ ოპტიკურ ფენებში.

გამოყენებული იქნა ინფორმაციის ჩაწერის შემდეგი ფიზიკური პრინციპი. ირჩეოდა თხევადკრისტალური ფენის ისეთი ოპტიკური პარამეტრი, რომელსაც გააჩნდა ცვლილების უნარი ფენის სინათლით დასხივების დროს. აქედან გამომდინარე, იქმნებოდა ქოლესტერული თხევადკრისტალური ნარევი წინასწარ განსაზღვრული პარამეტრებით - სპირალის ბიჯის სიდიდით, სელექტიური არეკვლის ზონის სიგანით, თხევადკრისტალური ფაზის არსებობის ტემპერატურული დიაპაზონით, სპირალის ბიჯის თერმო- და ფოტო-დამოკიდებულებით. შემდეგ მზადდებოდა თხელი თხევადკრისტალური ფენა, რისთვისაც გამოიყენებოდა ჩვეულებრივი მეთოდი: კაპილარული ძალებს მეშვეობით კრისტალი თავსდება უჯრედში, რომელიც წარმოადგენდა ორ ბრტყელ-პარალელურ მინას მათორიენტირებულ საფარით. ნარევის ფენის სისქე განისაზღვრებოდა ტეფლონის საფენებით და მიზნებიდან გამომდინარე ვარირებდა 7...40 მიკრონის საზღვრებში.

ჩვენი კვლევების შედეგად ნაჩვენები იქნა ოპტიკური ინფორმაციის ჩაწერის შესაძლებლობა ქოლესტერულ თხევადკრისტალურ ფენაში მისი შემდეგი ოპტიკური პარამეტრების: სინათლის გაბნევის, სინათლის სელექტიური არეკვლის ტალღის სიგრძის, სინათლის პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვის და ლუმინესცენციის სივრცული მოდულაციის საფუძველზე.

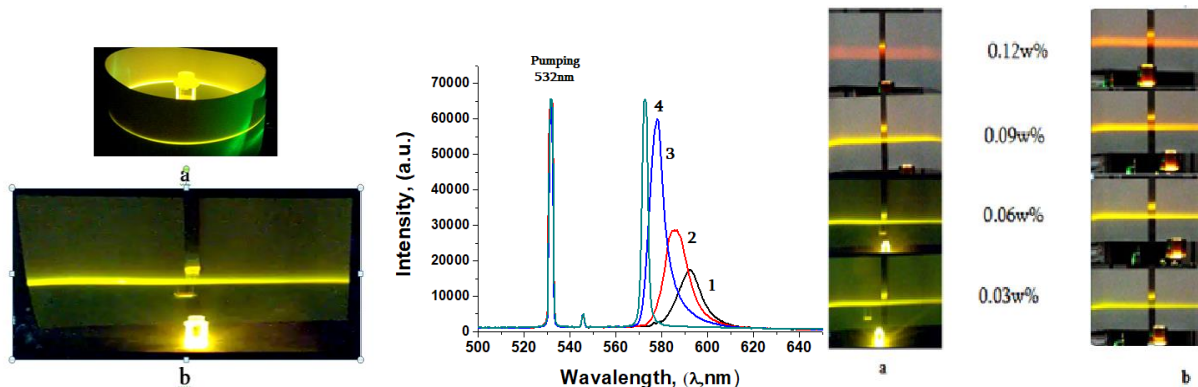


სურათზე ნაჩვენებია ბარკოდის ფრაგმენტი, ჩაწერილი ფენაზე სინათლის პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვის საფუძველზე.

3-4. მიღებულია ორი ახალი ტიპის ლაზერული გამომსხივებელი საღებავით დოპირებული ქოლესტერული თხევადკრისტალური, პოლიმერული და სპირტხსნარის საფუძველზე. პირველი ორი წარმოადგენს სივრცულად მოდულირებულ ლაზერულ გენერატორს, რომლის გამოსხივებაც შეიცავს ინფორმაციას აღმზნებ ინტერფერენციულ ველში, ინტერფერირებადი ტალღების ფაზური თანაფარდობის შესახებ. ამ თვალსაზრისით, მსგავსი ლაზერი წარმოადგენს ჰოლოგრაფიული ელემენტის ანალოგს, რომელიც ახორციელებს ტალღური ფრონტის აღდგენას, არა დაცემული სინათლის პასიური დიფრაქციის ხარჯზე, არამედ მის მიერვე გენერირებული გამოსხივების ხარჯზე. შესაბამისად, ავტორის მიერ (ზურაბ ვარდოსანიძე) მას პირობითად ეწოდა ლაზერული, ანუ აქტიური ჰოლოგრაფა.

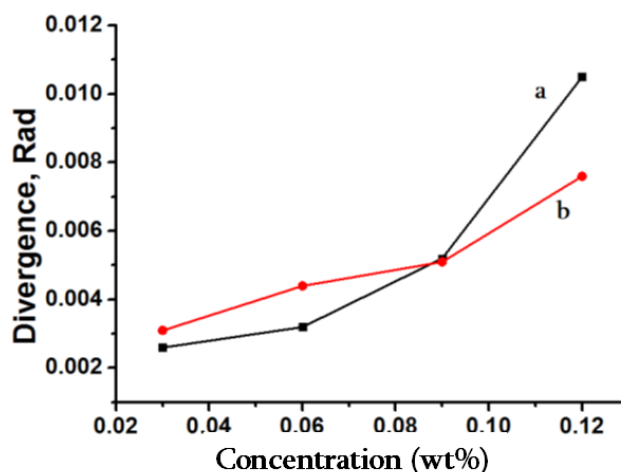
მეორე ტიპის ლაზერი, განსხვავებით აქამდე ცნობილი ლაზერებისაგან, რომლებიც იძლევიან ერთი წრფის გასწვრივ გავრცელებად გამოსხივებას, ასხივებს წრიულად ერთ სიბრტყეში. მსგავსი ლაზერები წარმოადგენენ სიახლეს და ეფუძნებიან არა მხოლოდ რეზონატორული გაძლიერების პრინციპს, არამედ, ძირითადად, დამყარებული არიან სრული სუპერლუმინესცენციისა და სუპერრადიაციის მოვლენაზე, რომლებიც შესწავლილი იქნა ჯერ კიდევ 1954 წელს დიკეს მიერ, თანამედროვე ლაზერების გამოგონებამდე. მსგავსი ლაზერების უპირატესობაა ის, რომ მათი სივრცული და დროითი კოჰერენტულობა შესაძლებელია იყოს ორ-სამჯერ უფრო მაღალი, ვიდრე თანამედროვე ლაზერებისა. გარდა ამისა მათ უკვე აქვთ გამოყენების გამოკვეთილი პერსპექტივა სანავიგაციო სისტემებში, როგორც დედამიწის პირობებში ისე კოსმოსურ სივრცეში.

მაშასადამე, როგორც ცნობილია, ჩვეულებრივი ლაზერები ხასიათდებიან ერთი წრფის გასწვრივ მიმართული გამოსხივებით. ამჟამად შექმნილია ლაზერი, წესიერი გეომეტრიული ფორმის აღზნებული ლაზერული ფენის საფუძველზე, რომელიც იძლევა, ლაზერული ფენის სიბრტყეში, წრიულად, თანაბარ, სივრცულად სელექტურ გამოსხივებას. ამ დროს მისი ვერტიკალური განშლადობა არ აღემატება 4 მილირადიანს. ამ დროს შესაძლებელია მისი გამოსხივების ოპტიკური სპექტრული მახასიათებლების, ისე სივრცული აპექტრის, ვარირება (სურ.1-3). ლაზერის მოქმედება ეფუძნება დიკეს სუპერრადიაციის ეფექტს, სუპერლუმინესცენციის მოვლენას და მონოლითური წრიული რეზონატორების მოქმედების პრინციპებს [1-3]. მიღებული ლაზერული გამომსხივებლის, როგორც ლაზერული შუქურის, ერთ-ერთი პრაქტიკული გამოყენების სფერო შესაძლებელია იყოს სანავიგაციო სისტემები.



სურ.1-3

შესწავლილი იქნა სიბრტყითი წრიული გამოსხივების ვერტიკალური განშლადობის დამოკიდებულება ხსნარში ლაზერული საღებავის კონცენტრაციაზე. როგორც გამოკვლევებმა აჩვენეს საღებავის კონცენტრაციის შემცირებით გამოსხივების ვერტიკალური განშლადობაც მცირდება (სურ.4)



როგორც ვხედავთ გამოსხივების ვერტიკალური განშლადობის დამოკიდებულება საღებავის კონცენტრაციაზე წრიული და მართკუთხა ფორმის აღზნებული ფენებისათვის.

ლიტერატურა:

1. Schiller S, Fejer MM, Byer RL, Sizmann A, Karim M (1992) Monolithic total internal reflection resonators: Principles and applications. Conference on Lasers and Electro-Optics, Anaheim, California, United States, 10-15.
2. Lina G, Chembob YK (2019) Monolithic total internal reflection resonators for applications in photonics. Optical Materials X 2: 100017.
3. Dicke Robert H (1954) Coherence in spontaneous radiation processes. Physical Review 93: 99-110.
4. Gross M, Haroche S (1982) Superradiance: An essay on the theory of collective spontaneous emission. Physics Reports 93: 301-396.
5. Bekenstein JD, Schiffer M (1998) The many faces of Superradiance. Physical Review D 58: 1-13.
6. Rehler NE, Eberly JH (1971) Superradiance. Phys Rev A 3: 1735-1751.
7. Scully MO, Svidzinsky AA (2009) The super of Superradiance. Science 325: 1510-1511.
8. Barnes NP, Walsh BM (1999) Amplified spontaneous emission - application to Nd:YAG lasers. IEEE J Quantum Electron 35: 101-109.
9. Blazek M, Hartmann S, Molitor A, Elsaesser W (2011) Unifying intensity noise and second-order coherence properties of amplified spontaneous emission sources. Opt Lett 36: 3455-3457.
10. Born M, Wolf E (1964) Principles of optics. (2nd edn), Pergamon Press, UK, 936.
11. Wood RW (1988) Physical optics. (3rd edn), Optical Society of America, Washington, 846.
12. Scheibner M, Schmidt T, Worschech L, Forchel A, Bacher G, et al. (2007) Superradiance of quantum dots. Nature Physics 3: 106-110.
13. Bonnet JG, Chen Z, Weiner JM, Meiser D, Holland MJ, et al. (2012) A steady-state superradiant laser with less than one intracavity photon. Nature 484: 78-81.

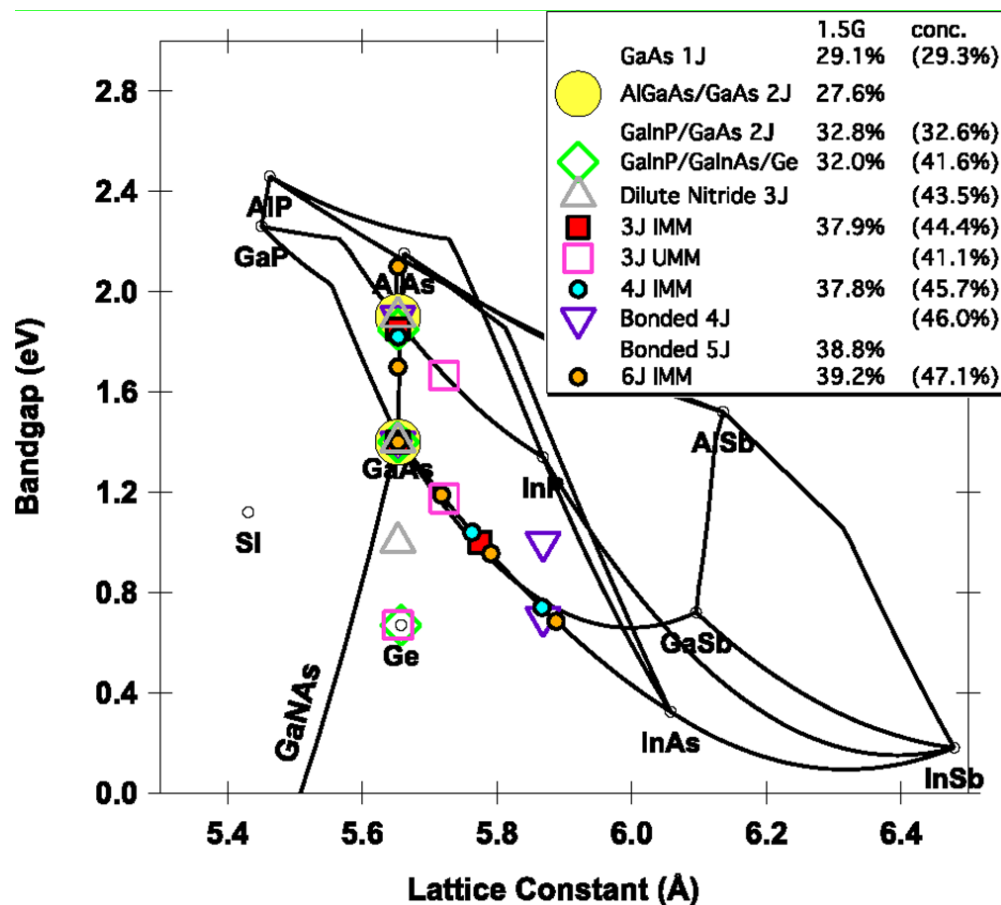
14. Weiner JM, Cox KC, Bohnet JG, Thompson JK (2017) Phase synchronization inside a superradiant laser. *Phys Rev A* 95: 1-5.
15. Laske T, Winter H, Hemmerich A (2019) Pulse delay time statistics in a superradiant laser with calcium atoms. *Phys Rev Lett* 123: 1-5.
16. Liu H, Jäger SB, Yu X, Touzard S, Shankar A, et al. (2020) Rugged mHz-Line width superradiant laserdriven by a hot atomic beam. *Phys Rev Lett* 125: 1-6.
17. Z.V.Wardosanidze, *European J. Appl. Sci.*, 9, 4, 197-206, (2021).
18. Z.V.Wardosanidze, *J. Opt. and Photonic Eng.*, 6, 041, 2-10, (2021).

5. სილიციუმის (Si) ბაზაზე შექმნილი III თაობის მავალგადასასვლელიანი (MJSC) მზის ელემენტის ეფექტიანობის გაუმჯობესების მისაღწევად ჩვენ აქცენტს ვაკეთებთ MJ მზის ელემენტის განიერზონიანი ნახევარგამტარის ზედაპირზე III-V ჯგუფის ნაწილ სტრუქტურირებული ფენის გაზრდაზე, რითაც მიიღწევა მრავალგადასვლიანი ელემენტის გარდაქმნის ეფექტიანობის გაუმჯობესება ძვირადღირებული მასალის ნაკლები ხარჯის პირობებში და შედეგად შემცირდება წარმოებული ელექტრო ენერგიის ღირებულება.

ბოლო ათწლეულში ინტენსიური კვლევითი სამუშაოები მიმდინარეობს სილიციუმის (Si) ინტეგრაციისთვის მაღალი ეფექტიანობის PV MJSC ელემენტებში. სილიციუმით დაინტერესება გამოწვეულია იმით, რომ დედამიწაზე ის უხვად მოიპოვება და მისი ტექნოლოგია კარგად არის დამუშავებული. ამიტომ კომერციული მზის ელემენტების უდიდესი წილი (95%) სილიციუმის ერთგადასასვლელიან მზის ელემენტებზე მოდის, რომლის გარდაქმნის ეფექტიანობა შეზღუდულია შოკლი-ჟუზერის თეორიული 30% ზღვარით, ხოლო რეალურად უფრო ნაკლებია, რის გამოც ვერ უზრუნველყოფს წარმოებული ენერგიის კონკურენტუნარიან ღირებულებას არა განახლებადი წყაროებით მიღებულ ელექტროენერგიის ფასთან. აღნიშნული ტიპის ფოტოვოლტური გარდამქმნელებით გამომუშავებული ელექტროენერგიის ღირებულება არის 0.15-0.29 ევრო/კვტსთ, მაშინ როცა ტრადიციული წარმოებით მიღებული ენერგიის ღირებულებაა 0.02-0.035 ევრო/კვტსთ, პროგნოზით ეს უკანასკნელი შეიძლება გახდეს 0.05—0.06, რაც მაინც იაფი რჩება მზის ენერგეტიკასთან შედარებით. გარემოს ეკოლოგიური უსაფრთხოების დაცვის უზრუნველსაყოფად მწვანე ენერგიის გამოყენების გაზრდილი მოთხოვნების მიუხედავად, მაღალი ფასი აფერხებს მზის ენერგიის დანერგვას მასობრივი მოხმარებისთვის ყოფაცხოვრებასა და ბიზნესში.

მზის სინათლის ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის ეფექტიანობის გასაზრდელად ბოლო ათწლეულებში ინტენსიური კვლევითი სამუშაოები მიმდინარეობს სილიციუმის (Si) ინტეგრაციისთვის III თაობის მაღალი ეფექტიანობის მრავალგადასასვლელიან ფოტოელექტრულ მზის ელემენტების (PV MJSC) დასამზადებლად. პირველ რიგში საჭიროა სილიციუმის (Si)ის ზედაპირზე III-V ჯგუფის ნახევარგამტარის სათანადო მასალის შერჩევა და ხარისხიანი ფენის გაზრდა. ნახ.1-ზე ნაჩვენებია III-V ჯგუფის ნახევარგამტარული შენადნობების აკრძალული ზონის კრისტალური მესერის მუდმივაზე დამოკიდებულება. აქვე დემონსტრირებულია სხვადასხვა MJ მზის ელემენტის ეფექტიანობა AM1.5 მზისა და პირდაპირი კონცენტრატორის გამოყენებისას, საიდანაც ჩან,

რომ ყველაზე წარმატებული III-V MJ მზის ელემენტების დიზაინში გამოიყენება GaAs და GaInP გადასასვლელი.



ნახ. 1. III-V ნახევარგამტარული შენადნობების აკრძალული ზონის კრისტალური მესერის მუდმივად დამოკიდებულება. [Multi-junction solar cells paving the way for super high-efficiency. Masafumi Yamaguchi, Frank Dimroth, John F. Geisz, and Nicholas J. Ekins-Daukes, Appl. Phys. 129, 240901 (2021); doi: 10.1063/5.0048653]

დაბალი ღირებულების ელექტროენერგიის მზის ელემენტების მისაღებად შეიქმნა სილიციუმის ფუძე-შრებზე III-V ჯგუფის ნახევარგამტარების ეპიტაქსიური ფენების გაზრდით დამზადებული მრავალ-გადასასვლელიანი მზის ელემენტის (MJSC) თეორიული მოდელი, მაგრამ მისი განხორციელების ძირითადი პრობლემა აღმოჩნდა არაპირდაპირზონიანი სილიციუმის ზედაპირზე III-V ჯგუფის პირდაპირზონიანი, ანუ მზის სინათლის შთანთქმის მაღალი კოეფიციენტის მქონე ნახევარგამტარების ხარისხიანი კრისტალური თხელი ფენების გაზრდის ტექნოლოგიის შემუშავება. საკითხისადმი დიდი სამეცნიერო და პრაქტიკული ინტერესის გამო, ბოლო ათწლეულში ინტენსიური თეორიული და პრაქტიკული კვლევები მიმდინარეობს ამ მიმართულებით.

მნიშვნელოვანია, რომ GaP არის მასალა, რომელსაც აქვს ძალიან დაბალი კრისტალური მესერის შეუსაბამობა Si-სთან (ნახ.1), რაც აუცილებელი პირობაა კარგი ხარისხის ეპიტაქსიური GaP/Si ჰეტეროსტრუქტურის გასაზრდელად. GaP, რომელიც ხასიათდება არაპირდაპირი აკრძალული ზონით, შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც ბუფერული

ფენა III-V ჯგუფის სხვა პირდაპირზონიანი მასალის ეპიტაქსიური ფენის გასაზრდელად, რაც ნახევარგამტარის აკრძალული ზონის კონტროლირებადი რეგულირების საშუალებას იძლევა III-V/Si ჰეტეროსტრუქტურის ოპტიკური და ელექტრული მახასიათებლების ოპტიმიზაციისთვის. ლიტერატურიდან ჩანს, რომ მაღალი ხარისხის III-V ნახევარგამტარების თხელი ფენების გაზრდა კრისტალურ Si-ის ზედაპირზე არის მზის ენერგიის გარდაქმნის ეფექტურობის გაუმჯობესების ერთ-ერთი გზა. გარდა ამისა, მაღალი ხარისხის ეპიტაქსიური ჰეტეროსტრუქტურა GaP/Si შეიძლება გამოყენებული იქნას მრავალ სხვა ოპტოელექტრონულ მოწყობილობაში.

მრავალრიცხოვანი კვლევებით დასტურდება, რომ ჰეტეროგადასასვლელის MBE და MOCVD მეთოდებით გაზრდის პროცესში ჰეტეროგადასასვლელის მიმდებარე, თითოეულის 30 მიკრონი სისქის ფენაში, წარმოიქმნებიან მუხტის ჩამჭერი ცენტრები. მათზე რეკომბინაციის გამო მცირდება სტრუქტურაში გამავალი დენი, რაც ელემენტის დაბალი ეფექტიანობის ერთ-ერთი მიზეზია. ამიტომ. ჩატარებული იქნა ძიება ჰეტეროგადასვლაზე დეფექტების ბუნების, მათი გამომწვევი ტექნოლოგიური მიზეზებისა და მახასიათებლების შესასწავლად მათი რაოდენობის შემცირების ან აღმოფხვრის მისაღწევად.

საანგარიშო პერიოდში ჩვენი კვლევის ობიექტი იყო Si-ის ზედაპირზე გალიუმის ფოსფიდის ეპიტაქსიური ზრდა თხევადი ფაზიდან (LPE) და მარცვლოვანი ეპიტაქსიის (DE) გამოყენებით. კვლევის შედეგების საფუძველზე მომზადდა ორი სტატია და ერთი მოხსენება სამეცნიერო კონფერენციაზე წარსადგენად.

3. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

3.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. ინფორმაციის ჩაწერა თხევადკრისტალური ფენის ლაზერული გენერაციის სივრცული ფოტო-მოდულაციის საფუძველზე. (ფიზიკა, ოპტიკა. FR-22-3061)

2. ქოლესტერულ თხევადკრისტალურ სარკეზე დაფუძნებული გარემოსადმი ადაპტირებული ტემპერატურულად მართვადი ჭკვიანი ფანჯარა, (ფიზიკა, ოპტიკა. YS-21-128)

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2026

2. 2021-2023

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ანდრო ჭანიშვილი, ხელმძღვანელი; გია პეტრიაშვილი, კოორდინატორი; ზურაბ ვარდოსანიძე, ძირითადი პერსონალი; ნინო ფონჯავიძე, ძირითადი პერსონალი; ქეთევან ჩუბინიძე, ძირითადი პერსონალი; სვეტლანა თავზარაშვილი, ლაბორანტი.

2. ნინო ფონჯავიძე – ხელმძღვანელი; გია პეტრიაშვილი – მენტორი

**გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი
თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)**

1. პროექტის პირველი ეტაპის ამოცანები იყო: ქოლესტერული ნარევების არაფოტომგრძნობიარე და ფოტომგრძნობიარე კომპონენტების კვლევა, მათი ოპტიკური მახასიათებლების შესწავლა, ამ კომპონენტებისაგან ქოლესტერული ნარევების დამზადება და მათი ოპტიკური მახასიათებლების შესწავლა. ამისათვის, უპირველეს ყოვლისა, შერჩეულ იქნა ქიმიურად და ფოტოქიმიურად მდგრადი, ფართო ტემპერატურული ინტერვალის მქონე არაფოტომგრძნობიარე კომპონენტები. გამოკვლეული იყო ნემატური თხევადკრისტალური (ნთკ) მატრიცები და ოპტიკურად აქტიური დანამატები (ოად). გაზომილი იყო მათი სინათლის შთანთქმისა და გამჭვირვალობის სპექტრები. ამ კომპონენტების საფუძველზე დამზადებული იყო ქოლესტერული ნარევები, რომელთა სელექტიური არეკვლა მდებარეობს სპექტრის ხილულ უბანში. ამ ნარევების ტემპერატურული სტაბილურობის დასადგენად გამოკვლეული იყო სპექტრების ტემპერატურული დამოკიდებულება. აგრეთვე შერჩეულ იქნა ფოტომგრძნობიარე კომპონენტები როგორც ქიმიურად მდგრადი, ფართო ტემპერატურული დიაპაზონის ქოლესტერული ნარევების ნაწილი. განხილულია სამი ნემატური ფოტომგრძნობიარე მატრიცა და ერთი ფოტომგრძნობიარე ოპტიკურად აქტიური დანამატი. გაიზომა მათი სინათლის შთანთქმისა და გამჭვირვალობის სპექტრული მახასიათებლები. გამოკვლეული იქნა ფოტომგრძნობიარე ქოლესტერული ნარევების ტემპერატურული დამოკიდებულება. ამგვარად, შერჩეულია არაფოტომგრძნობიარე და ფოტომგრძნობიარე კომპონენტები და ამ კომპონენტებისაგან დამზადებულია ქოლესტერული ნარევები და შესწავლილია მათი ოპტიკური მახასიათებლები.

2. საანგარიშო პერიოდში შესრულებული იქნა ის სამუშაოები, რომლებიც თანხმობაშია პროექტის განხორციელების გეგმა - გრაფიკში დასახულ ამოცანებთან. გამოკვლეული და შესწავლილი იყო მინის ზედაპირებიდან და ქთვ მატრიცებიდან სინათლის არეკვლა და ოპტიკური უჯრედის თიოეული ნიმუშისათვის განისაზღვრა ოპტიკური გარდატეხის მაჩვენებლები, არეკვლილი, გამავალი და გამოსხივებული სინათლის ინტენსიობები. თითოეული ქთვ ოპტიკური უჯრედისათვის შესწავლილი იქნა მინის და ქთვ მატრიცის ზედაპირებიდან სინათლის არეკვლა და ოპტიკური გარდატეხის მაჩვენებლები. ოპტიკური უჯრედებიდან სინათლის ამრეკლობის ეფექტურობის შესაფასებლად განხორციელდა მზის რადიაციის ინტენსივობის გაზომვა, რომელსაც ოპტიკური უჯრედი ბლოკავს. ამ მიზნით ჩავატარეთ ექსპერიმენტები, რომლებშიც ოპტიკური უჯრედი იმგვარად იყო ორიენტირებული, რომ დაცემის კუთხე Q მზის გამოსხივებასა და ოპტიკური უჯრედის ზედაპირს შორის უდრიდა 90° გრადუსს. სინათლის ინტენსიობა, რომელიც გადიოდა ოპტიკურ უჯრედში გაზომილი იყო სპექტრომეტრისა და მზის სიმძლავრის გამზომის გამოყენებით. ვინაიდან ატმოსფეროში მზის გამოსხივების ინტენსიობა მერყეობს გრძედისა და განედის, სეზონების და დღის პერიოდის მიხედვით და ასევე, ღრუბლის საფარის მდებარეობით, მზის გამოსხივების ინტენსივობის დოზები გაზომილი იყო ზაფხულის თვეების ნათელ დღეს, შუადღისას, თბილისში (საქართველო), კოორდინატებით: გრძედი - $41,7151^\circ$ ჩრდილო, გრძედი - $44,8271^\circ$ აღმოსავლეთით.

ექსპერიმენტებში გამოყენებული იყო ციფრულად მართვადი სარეველა, ციფრულად მართვადი საშრობი კარადა, სპექტრომეტრი AvaSpec-2048, მზის გამოსხივების სიმძლავრის ციფრული გამზომი, ოპტიკურ-პოლარიზაციული მიკროსკოპი. მიღებული შედეგების დამუშავებისა და ინფორმაციის შესანახად გამოყენებული იქნა კომპიუტერი. მიღებული შედეგების საუბველზე მომზადდა და მაღალი იმპაქტ-ფაქტორის ჟურნალში გამოსაქვეყნებლად გაიგზავნა სამეცნიერო ნაშრომი. ასევე მომზადდა და საერთაშორისო კონფერენციაზე გაიგზავნა ორი თეზისი.

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

6.3. კრებულები

1) ავტორი/ავტორები

1. N.Ponjavidze, G.Petriashvili, Z.Wardosanidze, A.Chanishvili
2. Ts. Zurabishvili, L. Devadze, N. Sepashvili, G. Petriashvili, A. Chanishvili, Sv. Tavzarashvili, K. Chubinidze, N. Ponjavidze
3. ნინო ფონჯავიძე, გია პეტრიაშვილი, ანდრო ჭანიშვილი, ქეთევან ჩუბინიძე, ამირან ბიბილაშვილი
4. გია პეტრიაშვილი, ანდრო ჭანიშვილი, ნინო ფონჯავიძე, ქეთევან ჩუბინიძე, ელენე კალანდია, ანა პეტრიაშვილი და თამარ მახარაძე

2) კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

1. 8th International Caucasian Symposium on Polymers & Advanced Materials
2. 8th International Caucasian Symposium on Polymers & Advanced Materials
3. 8th International Caucasian Symposium on Polymers & Advanced Materials
4. 8th International Caucasian Symposium on Polymers & Advanced Materials

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. თბილისი, ი. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი
2. თბილისი, ი. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი
3. თბილისი, ი. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი
4. თბილისი, ი. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი

4) გვერდების რაოდენობა

1. 1
2. 1
3. 1
4. 1

1. შესწავლილია საღებავით დოპირებული ფიროვანი ლაზერების გამოსხივების თვისებების დამოკიდებულება ალგზნების ენერგიის სივრცული განაწილებაზე. ნაჩვენებია, რომ დაჭარხვნის მუდმივი სიმკვრივის დროს, საღებარ-დამატებული ფირის გამოსხივება ძლიერ არის დამოკიდებული დაჭარხვნის ლაქის ზომებზე. კერძოდ, დაჭარხვნის იმავე სიმკვრივის დროს ლაზერული გენერაცია შესაძლებელია მხოლოდ დაჭარხვნის მცირე ლაქის შემთხვევაში. თითოეული კონკრეტული ლაზერული ფირისათვის არსებობს დაჭარხვნის ლაქის ზღვრული დიამეტრი, რომლის ზემოთ ლაზერის გამოსხივება შეუძლებელია. ჩვეულებრივ, პრაქტიკაში, ეს მნიშვნელობა არის 0.5...2 მმ. ვინაიდან ფიროვანი ლაზერის ზომები შეიძლება იყოს მითითებულ მნიშვნელობებზე გაცილებით დიდი, ჩნდება კითხვა: შესაძლებელია თუ არა ლაზერული ემისიის მიღება ფირის უფრო დიდი ფართობიდან? ჩვენ აღვაგზნებდით საღებარ-დამატებული ფირი 8 მმ დიამეტრის ერთგვაროვანი ლაქით. ფირიდან მხოლოდ ფლუორესცენცია გამოსდიოდა. მაგრამ თუ ჩვენ დავარღვევთ დაჭარხვნის ლაქის სივრცულ ჰომოგენურობას, მაგალითად, დაჭარხვნის სხივის გადაფარვით ნილბით ორგანოზომილებიანი ბადეების სახით, ჩნდება ლაზერული ემისია. ამ შემთხვევაში, ლუმინესცენტური არე გადაიქცევა ათობით მიკროლაზერისგან შემდგარ მასივში. შესწავლილია საღებარ-დამატებული ფიროვანი ლაზერების ორი ტიპი: პოლიმერული ლაზერი რეზონატორით, რომელიც წარმოიქმნება ფირის ზედაპირებით და ქოლესტერული თხევადკრისტალური ლაზერი ფოტონური აკრძალური ზონით. დაჭარხვნისთვის გამოყენებული იქნა Q-მოდულაციის მქონე Nd:YAG ლაზერის მეორე ჰარმონიკა (532 ნმ).

2. თერმო- და ფოტოქრომულ თხევადკრისტალური (თკ) სისტემების ინტეგრაცია პოლიმერთან შესაძლებელს ხდის შეიქმნას ახალი მრავალფუნქციური პოლიმერული მასალები, რაც პერსპექტიულია ასეთი სისტემების გამოყენების თვალსაზრისით თერმო- და ფოტო-ოპტიკურად მართვად თანამედროვე მოწყობილობებში ინფორმაციის ჩაწერის, ასახვისა და შენახვისთვის.

მიღებულია თვისებრივად ახალი პოლიმერული კომპოზიტები ფირის სახით, რომელიც შეიცავს თერმოქრომულ ნემატო-ქირალურ თკ ნარევს ან ფოტოქრომულ სპიროპირანს, დოპირებულს ნემატო-ქირალურ მატრიცაში. პოლიმერული ფირების მიღება ხორციელდებოდა მიკროკაფსულირების ინოვაციური მეთოდის ტექნოლოგიური პროცესის გამოყენებით. მიკროკაფსულირების მეთოდი გაუმჯობესებული იქნა ავტორების მიერ ემულგატორად ყინულოვანი ძმარმჟავას შერჩევის გზით, რაც განაპირობებს კაფსულირებული ემულსიის მიღებას დისპერსიულ სისტემაში კომპოზიცია-პოლიმერის ხსნარი და შესაძლებელს ხდის კომპოზიციების განთავსების პოლიმერულ მატრიცაში. ასეთ სისტემაში მიკროკაფსულები მაქსიმალურად უნარჩუნებს კომპოზიციებს საწყის მახასიათებლებს, რაც უზრუნველყოფს ტექნოლოგიურად სრულყოფილი, გაუმჯობესებული ოპტიკური პარამეტრების მქონე თერმო- და ფოტოქრომული თკ პოლიმერული ფირების მიღებას. მიკროკაფსულირების ტექნოლოგიური პროცესის სტადიების რეგულირებით შესაძლებელი გახდა პრაქტიკული მოთხოვნის შესაბამისი, ელასტიური, თანაბარი ზედაპირის მქონე, გაუმჯობესებული ფერ-კონტრასტული თერმოქრომული და მაღალი ფოტომგრძნობიარობის მქონე თკ პოლიმერული ფირების დამზადება. პროცესის ყველა

სტადიაზე ტექნოლოგიური მახასიათებლები - მიკროკაფსულების ზომა, ფირის სისქე, გაუქიმავე და გაჭიმული ფირი - გავლენას ახდენს თუ პოლიმერული ფირების თერმო- და ფოტო-ოპტიკურ პარამეტრებზე. სპექტრალურმა და მიკროსკოპიულმა კვლევებმა აჩვენა:

- ა) მიკროკაფსულების ზომის შემცირება, ფირის გაჭიმვა მნიშვნელოვნად ამცლებს თერმოქრომული თუ პოლიმერული ფირების სელექტიური არეკვლის ინტენსივობას;
- ბ) მიკროკაფსულების ზომის შემცირება, ფირის სისქის გაზრდა, გაჭიმვა საგრძნობლად აუმჯობესებს ფოტოქრომული თუ პოლიმერული ფირების ფოტომგრძნობიარობას, რაც მკაფიოდ გამოჩნდა ფირებში, რომელშიც ჩაიწერა ოპტიკური ინფორმაცია.

მიღებული თერმო- და ფოტოქრომული თუ პოლიმერული ფირები არის ფოტოქიმიურად მდგრადი, შესაძლებელია მათი მრავალჯერადი გამოყენება, ტექნოლოგიური მახასიათებლები განსაზღვრავს პოლიმერული ფირების საინჟინრო თვისებებს, რაც უაღრესად მნიშვნელოვანია მათი პრაქტიკული გამოყენებისთვის. თერმოქრომული პოლიმერული ფირების გამოყენება შექცევადი თერმოინდიკატორული მასალის სახით პერსპექტიულია თერმული ველების განაწილების ვიზუალიზაციისთვის თერმული ინდიკაციის სხვადასხვა სფეროში, როგორიცაა სამედიცინო თერმოგრაფიული დიაგნოსტიკა, თხევადკრისტალური თერმომეტრია, დეფექტოსკოპია. გაუმჯობესებული ფოტომგრძნობიარობის მქონე თუ პოლიმერული ფირები, როგორც კვლავჩამწერი მასალები მნიშვნელოვანია მაღალეფექტური ოპტიკურ-ფოტონური მოწყობილობების შესაქმნელად, როგორიცაა ულტრაიისფერი გამოსხივების დოზიმეტრები, ჰოლოგრამები, სინათლით მართვადი მოლეკულური და ფლუორესცენციური გადამრთველები.

3. «ჭკვიანი ფანჯარა» არის სისტემა, რომელსაც შეუძლია იგრძნოს და რეაგირება მოახდინოს გარე სტიმულებზე, როგორიცაა სინათლე, სითბო ან ელექტროენერგია. ის აკონტროლებს სინათლის გავლას მინაში, რაც გვპირდება შიდა განათებისა და ტემპერატურის შექცევადი კონტროლის უპირატესობებს შემდეგი თაობის საყოფაცხოვრებო ან სამრეწველო ფანჯრებზე მრავალი დანიშნულებისამებრ. ამ სისტემებში გამოყენებული მასალები ზოგადად კლასიფიცირდება შემდეგ სამ კატეგორიად, როგორც ზემოთ აღინიშნა: ელექტროქრომული, თერმოქრომული და ფოტოქრომული. ამ სამუშაოში ჩვენ შევქმენით ფოტოქრომული ჭკვიანი ფანჯარა (PSW) ქოლესტერული თხევადი კრისტალის (CLC) სარკის საფუძველზე. CLC წარმოიქმნება ქირალური წაგრძელებული ორგანული მოლეკულებით და არის საუკეთესო მასალებს შორის, რომლებსაც შეუძლიათ სინათლის შერჩევითი ასახვა.

შემოთავაზებულ ფანჯარას შეუძლია აირეკვლოს ხილული ან ინფრაწითელი შუქი გარე კვების წყაროს საჭიროების გარეშე. გარდა ამისა, CLC სარკეზე დაფუძნებულ PSW-ს შეუძლია რეაგირება მოახდინოს გარემოს შუქის ინტენსივობაზე, რათა დამოუკიდებლად მოაწყოს სინათლის არეკვლა, რომელიც ადვილად შეიძლება დარეგულირდეს დღის სინათლისა და ამინდის გათვალისწინებით. ამ ექსპერიმენტში ფოტომგრძნობიარე მასალად ჩვენ გამოვიყენეთ ნემატური თხევადი კრისტალი ZhK-440. როგორც ოპტიკურად აქტიური დოპანტი იყო გამოყენებული MLC-6247. საწყისი მასალების შერევით შემდეგი პროცენტული წონით 75% წონ. Zhk-440 + 25% წონ. MLC-6247 მიღებული იქნა CLC ნარევი სასურველი შერჩევითი არეკვლის ზოლით (SRB). ფოტოქრომული ჭკვიანი ფანჯრის ასაწყობად გამოვიყენეთ ორი შუშის ფირფიტა ზომებით 120x120x1 მმ. ჭკვიანი ფანჯარა დალუქულია

პოლიაკრილის წებოთი. შემუშავებული PSW მოთავსებული იყო მზის პირდაპირი დასხივების ქვეშ და სპექტრომეტრის გამოყენებით დაფიქსირდა SRB-ების ექსპოზიციის დროზე დამოკიდებული სპექტრული რეგულირება. SRB-ის მაქსიმალური სპექტრული ცვლა იყო 220 ნანომეტრი ექსპოზიციის 30 წუთის განმავლობაში. შემოთავაზებული ჰკვიანი ფანჯრები შეიძლება გამოყენებულ იქნას შენობებში შემომავალი სინათლის რაოდენობის დასარეგულირებლად, რაც შეამცირებს ენერგიის მოხმარებას.

4. ფაზური შემნელებლები ან ტალღური ფირფიტები არის ორმაგსხივტეხვადი ოპტიკური მოწყობილობები, რომლებიც გამოიყენება პოლარიზებული შუქის ფაზის მოდულაციისათვის მოცულობით ოპტიკურ სისტემებში. პოლარიზაციის ყველაზე გავრცელებული მოდულატორები მოქმედებენ როგორც გადამყვანები ხაზოვან და წრიულ პოლარიზაციის მდგომარეობებს შორის და აგრეთვე წრფივი პოლარიზაციის მდგომარეობებს შორის მათი სხვადასხვა მიმართულების შემთხვევაში. დაბალი ღირებულების, მოძრავი ნაწილების არარსებობის, დაბალი აღზნებადი ძაბვისა და მცირე ზომების გამო, თხევადი კრისტალები (LC) გამორჩეული კანდიდატებია ფაზურ მოდულატორებში გამოსაყენებლად, რადგან ისინი ავლენენ ფართოხოლოვან ორმაგსხივტეხვას, გიგანტურ ოპტიკურ არაწრფივობას და გამჭვირვალე სპექტრულ არეს 400 ნმ-დან 20 მკმ-მდე. LC-ზე დაფუძნებული პოლარიზაციული მოდულაცია გამოიყენება სხვადასხვა ოპტიკურ მოწყობილობებში სხივის მართვისათვის, სინათლის სივრცული მოდულაციისათვის, სტოქსის პოლარიმეტრიის ვიზუალიზაციისათვის, ოპტიკური გადართვისა და ასახვისათვის.

ჩვენ მოვამზადეთ და გამოვიკვლიეთ სმექტიკური თხევადი კრისტალის -G (SmLC-G) ფაზა და პირველად ვაჩვენეთ, რომ შესაძლებელია მისი გამოყენება როგორც ფაზის ოპტიკური შემნელებელი. ორი ნემატური თხევადი კრისტალის შერევით იქნა მიღებული SmLC-G ფაზა და შესწავლილი მისი ტემპერატურაზე დამოკიდებული ფაზური გადასვლები. მომზადებული ნარევი ავლენს ფართო ტემპერატურულ ინტერვალს SmLC-G ფაზისა. დროთა განმავლობაში ყალიბდება ერთდერძოვანი მონოდომენური კრისტალი 3D სიმეტრიით, რომელიც გამჭვირვალეა ოპტიკური სპექტრის ულტრაიისფერ, ხილულ და ახლო ინფრაწითელ დიაპაზონებში. მაღალი ორმაგსხივტეხვის გამო SmLC-G-ზე დაფუძნებული ფაზური შემნელებელი გაცილებით თხელია, ვიდრე ყველაზე ხშირად გამოყენებული კვარცზე დაფუძნებული. გარდა ამისა, ჩვენ ვაჩვენეთ რამდენიმე მაგალითი SmLC-G ფაზური შემნელებლების გამოყენების შესაძლებლობისა, როგორცაა ორი კოლინეარული ლაზერული სხივის სივრცით-დროებითი მოდულაცია, მზის სპექტრული გამოსხივების დაყოფა და აეროკოსმოსური გამიყენება. გარდა ამისა, შემოთავაზებული SmLC-G ფაზური შემნელებელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას მრავალი მიმართულებით, როგორც მედიცინაში, გარემოს მონიტორინგში, ასტრონომიასა და პოლარიმეტრიაში.

6.4. სტატიები ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

1. Lali Devadze, Gia Petriashvili, Andro Chanishvili, Tsisana Zurabishvili, Nino Sepashvili, Ketevan Chubinidze, Shorena Akhobadze, Nino Ponjavidze

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI

1. Technological Method of Increasing the Photosensitivity in Photochromic Liquid Crystal Polymer Films, doi.org/10.52340/ns.2022.22

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Nano Studies, 2021/2022, # 21-22, Published 2023

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

5) გვერდების რაოდენობა

1. 9

გრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. მიკროკაფსულირების ინოვაციური მეთოდის ტექნოლოგიური პროცესის საშუალებით ავტორების მიერ მიღებულია თვისებრივად ახალი სპიროპირანით დოპირებული ფოტოქრომული თხევადკრისტალური პოლიმერული ფირები. კვლევებმა აჩვენა, რომ მიკროკაფსულირების პროცესის რეგულირებით პოლიმერული ფირების ტექნოლოგიური მახასიათებლები გავლენას ახდენს ფირების ფოტომგრძნობიარობაზე: მიკროკაფსულების ზომის შემცირება, ფირის სისქის გაზრდა და გაჭიმვა მნიშვნელოვნად ამადლებს მიღებული პოლიმერული ფირების ფოტომგრძნობიარობას. ავტორების მიერ შემუშავებული მიკროკაფსულირების ტექნოლოგიური მეთოდი შემოთავაზებულია როგორც ფოტოქრომული თხევადკრისტალური პოლიმერული ფირების ფოტომგრძნობიარობის გაზრდის ერთ-ერთი მიმართულება.

6.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

1. Tavzarashvili S.P., Aronishidze M.N., Chubinidze K.R., Petriashvili G.Sh., Ponjavidze N.T., Zurabishvili Ts.I., and Chanishvili A.G.

2. I.Nakhusrishvili, G.Mikadze

3. G.Bokuchava, I.Nakhusrishvili, K.Barbakadze

2) სტატიის სათაური, ISSN

1. ოპტიკური ინფორმაციის ჩაწერა ოპტიკურად აქტიურ ქოლესტერულ თხევადკრისტალურ ფენაში, ISSN: 1512-0287

2. On high-temperature oxidation of alloy FeCr(La): Reduction of the effective diffusion area. ISSN - 0132 - 1447

3. Some thermoelectric parameters of alloy p-Si_{0.7}Ge_{0.3}. ISSN - 0132 - 1447

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Georgian Engineering News, N1, 2023.

2. Bulletin of Georgian Nat. Acad. Sci., Vol. 17, N. 1

3. Bulletin of Georgian Nat. Acad. Sci., Vol. 17, N. 3

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2. თბილისი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია

3. თბილისი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია

5) გვერდების რაოდენობა

1. 3

2. 7

3. 4

გრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. გამოკვლეულია ფოტომგრძნობიარე ქოლესტერული თხევადი კრისტალის თხელი ფენა, რომელსაც გააჩნია მაღალი ოპტიკური აქტიობა. რამოდენიმე მიკრონის სისქის მქონე ფენა აბრუნებს სინათლის პოლარიზაციის სიბრტყეს ხილულ არეში არანაკლებ 90 გრადუსით, გაბნევის, შთანთქმის და ოპტიკური ანიზოტროპის პრაქტიკულად სრულ არარსებობისას. გამოკვლეულია ასეთი ფოტომგრძნობიარე სტრუქტურის ქცევა ულტრაიისფერი დასხივების ზემოქმედებისას. მიღებულია ოპტიკური აქტივობის მდორე შემცირება, რომელიც იწვევს სტრუქტურის ფერის ცვლილებას შეჯვარებულ პოლარიდეზში. პროცესი სრულდება ფაზური გადასვლით იზოტროპულ მდგომარეობაში, რომელშიც არ აქვს ადგილი პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვას (სტრუქტურა შავდება). მიღებული შედეგების საფუძველზე დემონსტრირებული იქნა ასეთ ფენაში ინფორმაციის ოპტიკური ჩაწერის ორი მეთოდი.

2. თერმოგრავემეტრიული მეთოდით შესწავლილია ლანთანით ლეგირებული FeCr შენადნობის მაღალტემპერატურული (1300-1400°C) ოქსიდირების კინეტიკა ჰაერზე. ნიმუშთა მასის ცვლილება ავლენს სპეციფიკურ ხასიათს, ვინაიდან რეაქციის მიმდინარეობისას ძირითად ოქსიდთან (Cr_2O_3) ერთად ადგილი აქვს ქრომიტის (LaCrO_3) წარმოქმნასაც, რომელიც ქმნის დიფუზიურ ბარიერებს. ყოველივე ეს იწვევს ოქსიდირების კინეტიკის გადახრას პარაბოლური კანონისაგან. FeCr შენადნობის იტრიუმით ლეგირებისას წარმოიქმნება შესაბამისი ქრომიტი (YCrO_3), რომელიც ასევე ქმნის დიფუზიურ ბარიერებს და ცვლის ოქსიდირების კინეტიკის პარაბოლურ ხასიათს. ვინაიდან FeCr(Ce) შენადნობის ოქსიდირების კინეტიკა FeCr(La) და FeCr(Y) შენადნობების ოქსიდირების კინეტიკის ანალოგიურია, გამოთქმულია ვარაუდი, რომ ამ შემთხვევაშიც ადგილი აქვს დიფუზიურ ბარიერებს ქრომიტ CeCrO_3 -ის სახით.

3. ნაშრომში შესწავლილია p-ტიპის გამტარობის $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ შენადნობის ელექტრონული ვარგისიანობის ფაქტორისა და უნივერსალური ელექტროგამტარობის ტემპერატურული დამოკიდებულებები, აგრეთვე ზეებეკის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ხვედრით და

უნივერსალურ ელექტროგამტარობებზე. გაზომილი თერმოელექტრული პარამეტრების საფუძველზე (ზეებეკისა და თბოგამტარობის კოეფიციენტები, ხვედრითი წინაღობა), ZT-ის მნიშვნელობებმა შეადგინა 0.6-მდე $n=2 \times 10^{26}$ -სათვის (ოპტიმალური კონცენტრაცია) და 0.34-მდე $n=3.2 \times 10^{26}$ -სათვის.

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.1. მონოგრაფიები/წიგნები

1) ავტორი/ავტორები

1. I.Nakhutsrishvili, R.Tkhinvaleli, G.Kakhniashvili
2. G.Bokuchava, I.Nakhutsrishvili, K.Barbakadze
3. I.Nakhutsrishvili, R.Kokhreidze, G.Kakhniashvili, I.Javakhishvili
4. I.Nakhutsrishvili, Z.Adamia, I.Stepnadze

2) მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

1. Current Topics on Chemistry and Biochemistry, 2023, vol.9, 31-46. ISBN: 978-93-5547-941-9 (Print) 978-93-5547-942-6 (eBook), DOI: 10.9734/bpi/ctcb/v9
2. Fundamental Research and Application of Physical Science, 2023, vol.3, ISBN: 113-126. 978-81-19102-66-2 (Print) 978-81-19102-62-4 (eBook), DOI: 10.9734/bpi/fraps/v4
3. Progress in Chemical Science Research, 2023, vol. 9, 175-186. ISBN: 978-81-19102-32-7 (Print) 978-81-19102-39-6 (eBook), DOI: 10.9734/bpi/pcsr/v9
4. Recent Progress in Science and Technology, 978-81-960791-2-3 (Print) 978-81-960791-7-8 (eBook) <https://doi.org/10.9734/bpi/pcsr/v9/19272D>

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. Bhopal, India, Book Publisher International
2. Bhopal, India, Book Publisher International
3. Bhopal, India, Book Publisher International
4. Bhopal, India, Book Publisher International

4) გვერდების რაოდენობა

1. 16
2. 14
3. 12
4. 12

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ნაშრომში წარმოდგენილია თერმოგრაფიმეტრული მრუდის მათემატიკური მოდელი ლითონის ზედაპირზე ხენჯის ზრდისა და ერთდროული სუბლიმაციისთვის და განიხილავს სიტუაციას, როდესაც ადგილი აქვს მონოკრისტალის ზედაპირის გაზური ამოჭმის პროცესს. ეს ხდება ხენჯის ზრდა-სუბლიმაციამდე (როდესაც ნიტრიდის ფენა წარმოიქმნება

გერმანიუმის ნიმუშზე ჰიდრაზინის ორთქლის გარემოში). მიღებული განტოლებები გამოიყენება ნიმუშის მასის ცვლილების კინეტიკური მრუდის ასახსნელად.

2. შესწავლილია ელექტრონული ხარისხის კოეფიციენტის ტემპერატურული დამოკიდებულებები და n- და p-ტიპის ელექტოგამტარებლობის $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ -ის ხვედრით და უნივერსალურ გამტარობაზე, აგრეთვე ზეზევის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ამ გამტარებლობაზე. მუხტის მატარებლების ეფექტური მასები და მობილურობა გამოითვალა სხვადასხვა ტემპერატურაზე. შესწავლილია ელექტრონული ვარგისიანობის ფაქტორის ტემპერატურული დამოკიდებულება და თერმოელექტრული ეფექტურობა. დამზადდა n- და p-ტიპის გამტარობის $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ შემადგენლობის შენადნობის საფუძველზე მონოლითური მოდულები. შესწავლილია მათი თერმოელექტრული მოდულების ენერგეტიკული მახასიათებლები.

3. ევანსის კონცეპტუალური თეორიის საფუძველზე აპრობირებულია ხენჯის ზრდის ახალი განტოლება რეაქციის არეალის ცვლილებისას და მიღებული ფორმულები, რომლებიც საშუალებას იძლევა აიგოს ჟანგვის კინეტიკური მრუდები სპეციფიკური მხურვალმედეგი შენადნობებისთვის (FeCr , FeCrAl) და კვლევის შესაძლო, ჰიპოთეტური ობიექტებისთვის. $\text{FeCr}(\text{La})$ და $\text{FeCrAl}(\text{La})$ შენადნობების ჟანგვის პროცესების შესწავლა ჰაერში $1200\text{--}1400^\circ\text{C}$ უბანში გვიჩვენებს დაჟანგვის კინეტიკის პარაბოლურიდან გადახრას. ეს გამოწვეულია ლანთანუმის ქრომიტის LaCrO_3 -ის დიფუზიური ბარიერების არსებობით. ასევე განხილულია $\text{FeCr}(\text{Y})$ და $\text{FeCr}(\text{Ce})$ შენადნობების მაღალტემპერატურული დაჟანგვის პროცესები.

4. განხილულია გერმანიუმის ნიტრიდის ალფა და ბეტა მოდიფიკაციებისა და მათი წარევების დისოცია-სუბლიმაციის საკითხი. $650\text{--}750^\circ\text{C}$ ტემპერატურულ დიაპაზონში ადგილი აქვს სუბლიმაციას. $(750\text{--}850)^\circ\text{C}$ დიაპაზონში შეინიშნება Ge_3N_4 -ის ნაწილობრივი დისოციაცია, რასაც თან ახლავს მყარი ფაზის დარჩენილი ნაწილის აორთქლება. დაახლოებით 850°C -ზე და ზემოთ Ge_3N_4 მთლიანად იშლება. რეაქტორის ცივ ზონაში კრისტალური გერმანიუმის ნიტრიდის სუბლიმაციის დროს მიიღება ოქსინიტრიდის ამორფული ფირი.

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. Gia Petriashvili, Andro Chanishvili, Nino Ponjavidze, Ketevan Chubinidze, Tamara Tatrishvili, Elene Kalandia, Ana Petriashvili, Tamar Makharadze

2. I.Nakhutsrishvili, G.Kakhniashvili, I.Kvartskhava, A.Gigineishvili

3. G.Bokuchava, K.Barbakadze, I.Nakhutsrishvili

4. G.Bokuchava, I.Nakhutsrishvili, K.Barbakadze

5. K.Barbakadze, G.Kakhniashvili, Z.Adamia, I. Nakhutsrishvili

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. Crystal Smectic G Phase Retarder for the RealTime Spatial-Temporal Modulation of Optical Information. ISSN 1996-4196

2. Dependence of the Seebeck coefficient on specific and universal elecyrical conductivities of Bi₂Sr₂Co_{1.8}O_y thermoelectric doped with strontium borate and graphene. e-ISSN: 2321-6212, p-ISSN: 2347-2278

<https://www.sdiarticle5.com/review-history/104810>

3. On the thermoelectric alloy n-SixGe_{1-x} DOI: 10.15406/mseij.2023.07.00204

4. Monolithic module based on Si_{0.7}Ge_{0.3} alloy for thermoelectric generator ISSN: 0976-3376

5. Determination of electronic quality factor, universal electrical conductivity, effective mass and mobility of charge carriers of alloy n-SixGe_{1-x} .e-ISSN: 2321-6212, p-ISSN: 2347-2278

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Chemistry & Chemical Technology, Vol. 17, No 4,

2. Jornal of Materials Science Research and Review, Vol. 6, N 4

3. Material Science & Engineering, Vol. 7, N 2

4. AJ Sciience and Technology, Vol. 14, N 7

5. Jornal of Materials Science Research and Review, Vol. 6, N 4

4) გვერდების რაოდენობა

1. 6

2. 5

3. 4

4. 3

5. 6

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. დამზადებული და შესწავლილი იქნა ახალი სინათლის ფაზური ჩამომრჩენი ფირფიტა, რომელიც ეფუძნება ისეთ იშვიათ და ნაკლებად შესწავლილ თხევადკრისტალურ ფაზას, როგორიცაა კრისტალური სმექტური G-ფაზა, რომელიც მიღებულია ორი სერტიფიცირებული ნემატური ნარევების შერევით. მისი სამგანზომილებიანი კრისტალური სტრუქტურისა და ერთდერძა სიმეტრიის გამო, კრისტალური სმექტური G-ფაზაზე დაფუძნებული ფაზური ჩამომრჩენი მასზე დაცემულ, ოპტიკური ღერძისადმი მართობულ სინათლეს ყოფს ორ ურთიერთ ორთოგონალურ წრფივ პოლარიზაციულ კომპონენტად და ქმნის ფაზურ სხვაობას მათ შორის. სინათლის ფაზური ჩამომრჩენი გამჭვირვალეა ოპტიკური სპექტრის ულტრაიისფერ, ხილულ და ახლო ინფრაწითელ უბნებში. მისი თერმული მდგრადობა ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში, მაღალი ორმაგ სხივთატეხა, მაღალი სიმტკიცე და დაბალფასიანი ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა შეიქმნას სხვადასხვა ტიპის ფაზური ფირფიტები, რომლებსაც შეუძლიათ ფართე გამოყენება ჰჰოვონ ოპტიკასა და პოლარმეტრიაში.

2. ზეებეკის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ელექტრულ გამტარობაზე $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_{1.8}\text{O}_y$ თერმოელექტრული კერამიკაში, რომელიც დოპირებულია სტრონციუმის ბორატით და გრაფენით, სწორხაზოვანია ცალკეული ნიმუშებისთვის. ეს იძლევა მარტივ გზას $S - \sigma$ დამოკიდებულების გამოსათვლელად. ამ კოეფიციენტის დამოკიდებულება უნივერსალურ ელექტროგამტარობაზე პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული დოპანტების კონცენტრაციაზე (ანუ BE მასშტაბირებს ელექტროგამტარობას) და შეიძლება აღწერილი იყოს ერთი ემპირიული გამოხატულებით $S \approx 6.79 \cdot 10^4 (\sigma')^{0.526-1.5 \cdot 10^{-5}}$. ყველა ნიმუშისთვის გამოითვალა ელექტრონული ხარისხის კოეფიციენტის მნიშვნელობები და გამოიკვეთა მათი ტემპერატურული დამოკიდებულება. BE-ს მნიშვნელობები პრაქტიკულად მუდმივია 300°C -მდე $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.925}[\text{Sr}(\text{BO}_2)_2]_{0.075}\text{Co}_{1.8}\text{O}_y$ და 500°C -მდე $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_{1.8}\text{O}_y + 0.35 \text{ wt } \% \text{ Gr}$ -სათვის, რაც იდეალური შემთხვევის ნიშანია და შემდეგ იზრდება. BE-ს მატება ტემპერატურასთან ერთად მიუთითებს მეორადი ეფექტების არსებობაზე (დამატებითი გაფანტვა და ზოლების კონვერგენცია)

3. n-ტიპის შენადნობის SixGe_{1-x} შესწავლამ ($x=0.72, 0.76$ და 0.8) აჩვენა რომ:

I. ($\sigma - S$) და ($\sigma - t$) დამოკიდებულებები კომპოზიციებისთვის $x=0.72$ და 0.76 პრაქტიკულად იგივეა. $x=0.8$ -ისთვის σ -ის მნიშვნელობები ერთდროულად ორი რიგით მეტია იგივე ტემპერატურებზე.

II. BE-ს ტემპერატურული დამოკიდებულება მიუთითებს დამატებითი ეფექტების არსებობაზე (ზოლების კონვერგენცია, ბიპოლარული ეფექტები, დამატებითი გაფანტვა). BE-ს ტემპერატურული ქცევა ერთი და იგივეა ყველა ნიმუშისთვის. თუმცა, $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ -სთვის BE ორი რიგით მეტია იმავე ტემპერატურაზე.

III. σ' -ის ტემპერატურული დამოკიდებულებები აჩვენებს, რომ ექსპერიმენტული წერტილები ქმნიან თითქმის ერთიან კომპლექსს. ეს განპირობებულია იმით, რომ σ და BE-ს ცვლილებები ერთმანეთს აწონასწორებს. ზოგადად, ელექტრონული ხარისხის ფაქტორი BE ასრულებს თერმოელექტრული მახასიათებლების სკალირებას.

IV. ($\sigma' - t$) დამოკიდებულებებს აქვთ პარაბოლის ფორმა: შუა რეგიონი ($200-1100^\circ\text{C}$) კარგად აღიწერება ემპირიული განტოლებით $\sigma' = 1.274 \cdot 10^{11} t^2 - 1.714 \cdot 10^{14} t + 6.51016$.

V. BE - S დამოკიდებულებები აღიწერება ემპირიული გამოსახულებით $\text{BE} = aS^b + c$, სადაც a , b და c მუდმივებია.

VI. დამოკიდებულება ($\sigma - \sigma'$) არის სწორხაზოვანი: $\sigma = k'\sigma' + b'$, სადაც k' არის ხაზების დახრილობა და b' არის გადაკვეთის წერტილის ორდინატი ამ ხაზების σ ღერძთან გადაკვეთის წერტილის ორდინატი მათი ექსტრაპოლაციის დროს.

VII. ექვსივე ნიმუშს აქვთ საკმაოდ მაღალი ეფექტურობა ($\geq 7 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$), რომელთა მაქსიმუმი დაახლოებით 700°C -თანაა.

4. დამზადდა $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ n- და p-ტიპის თერმოელექტრული შენადნობები და შესწავლილი იქნა მათი თერმოელექტრული მახასიათებლები. ეს შენადნობები დაჭრილია პროფილურ ფირფიტებად, მათგან იკრიბება მონოლითური პაკეტები. გადართვის პაკეტები წებოვანია. ეს პაკეტები იჭრება 4-5 მმ სისქის ფირფიტებად და მათგან იკრიბება მონოლითური თერმოელექტრული მოდულები. თერმოელექტრული მოდულების ელექტრული

საიზოლაციო დანადგარები მზადდება AlN და გრაფიტის ფიტინგების საფუძველზე. ეს კვანძები დაკავშირებულია თერმოელექტრული მოდულებთან. შესწავლილ იქნა ამ მოდულების ენერგეტიკული მახასიათებლები.

5. n-ტიპის გამტარებლობის SixGe_{1-x} -ს ($x=0.7$ და 0.83) სიმძლავრის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ზებეკის კოეფიციენტზე არის წრფივი: $\sigma S^2 = kS + b$. აქედან გვექნება $S = (k/2\sigma) + [(k/2\sigma)^2 + b\sigma]^{1/2}$ და $S = 6,73 \cdot 10^7 \text{KB}\sigma' + [4,53 \cdot 10^{15} (\text{KB}\sigma')^2 + 1,35 \cdot 10^8 \sigma']^{1/2}$. ელექტრონული ხარისხის ფაქტორის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების შესწავლა აჩვენებს დამატებითი ეფექტების არსებობას (ზოლების კონვერგენცია და ა.შ.). m^*/m_0 -ის მიღებული მნიშვნელობები მიახლოებულია ზოგიერთი თერმოელექტრის შესაბამის მნიშვნელობებთან. ექსპერიმენტულად განსაზღვრული μ -ის მნიშვნელობები SixGe_{1-x} -ში იყო $(0.54-0.65)$ მ²/ვ·წმ. $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ და $\text{Si}_{0.83}\text{Ge}_{0.17}$ -ის ZT არის ~ 0.8 . შესამჩნევი სხვაობაა შენადნობებში SixGe_{1-x} ($x=0.7$ და 0.83), რაც შეინიშნება თითქმის ყველა თერმოელექტრული მახასიათებლისთვის. გამონაკლისს წარმოადგენს σ' მნიშვნელობა (სკალირებული სპეციფიკური ელექტრული გამტარობა σ), რომელიც სკალირებულია ელექტრონული ხარისხის BE ფაქტორით. გამოკვლეული n - $\text{Si}_{0.83}\text{Ge}_{0.17}$ და p - $\text{Si}_{0.83}\text{Ge}_{0.17}$ -ით ერთად დამზადდა თერმოელექტრული მოდული და შესწავლილი იქნა მისი ენერგეტიკული მახასიათებლები. სიმძლავრის ფაქტორი იყო $2.3 \cdot 10^{-5} \text{W/K}^2\text{m}$ და მარგი ქმედების კოეფიციენტი 9.1% .

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. N.Ponjavidze, G.Petriashvili, Z.Wardosanidze, A.Chanishvili
2. Ts. Zurabishvili, L. Devadze, N. Sepashvili, G. Petriashvili, A. Chanishvili, Sv. Tavzarashvili, K. Chubinidze, N. Ponjavidze
3. ნინო ფონჯავიძე, გია პეტრიაშვილი, ანდრო ჭანიშვილი, ქეთევან ჩუბინიძე, ამირან ბიბილაშვილი
4. გია პეტრიაშვილი, ანდრო ჭანიშვილი, ნინო ფონჯავიძე, ქეთევან ჩუბინიძე, ელენე კალანდია, ანა პეტრიაშვილი და თამარ მახარაძე

2) მოხსენების სათაური

1. Polymer and Liquid Crystal Film Lasers: Spatial Properties of Pumping
2. Thermo- and Photochromic Liquid Crystal Polymer Composites for the Displaying of Optical Information
3. Cholesteric Liquid Crystal Based Photochromic Smart Windows
4. Smectic liquid Crystal-G phase retarder

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. 01-03 აგვისტო 2023, ი. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი, თბილისი
2. 01-03 აგვისტო 2023, ი. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი, თბილისი

3. 01-03 აგვისტო 2023, ი. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი, თბილისი

4. 01-03 აგვისტო 2023, ი. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი, თბილისი

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

8. 2. უცხოეთში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. Laperashvili, O.Kvitsiani, R. Kokhreidze

2) მოხსენების სათაური

1. The Liquid Phase Epitaxial Growth of GaP on Si for Solar Cell Applications

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. 7-11 April 2024, Strasbourg, France. SPIE Photonics Europe Conference PE125

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

შენიშვნა: გამომდინარე იქიდან, რომ ჩვენი განყოფილება მჭიდროდ თანამშრომლობს თერმო და ფოტოქრომული სტრუქტურების ლაბორატორიასთან, დუბლირების თავიდან ასაცილებლად წლიურ ანგარიშში არ შეგვიყვანია ის მონაცემები, რაც უკვე დაფიქსირებულია თერმო და ფოტოქრომული სტრუქტურების ლაბორატორიას წარმოდგენილ შედეგებში.

თერმო და ფოტოქრომული სტრუქტურების ლაბორატორია (გამგე ფიზ. მათ. მეც. კანდიდატი გია პეტრიაშვილი)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით
1. სინათლითა და სითბოთი მართვადი ფანჯრები შენობებში ტემპერატურის რეგულირების, ჰაერის გაწმენდისა და ელექტროენერგიის გამომუშავებისათვის

პროექტის დამატებითი აქტივობები:

1(2). მზის გამოსხივების კონცენტრატორი

1(3). კრისტალური სმექტიკური G ფაზური ჩამომრჩენი ოპტიკური ინფორმაციის რეალურ დროში სივრცულ-დროითი მოდულაციისათვის

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. გია პეტრიაშვილი — ხელმძღვანელი, თხევადკრისტალური და პოლიმერული ნივთიერებების ოპტიკური, ფოტო და თერმოოპტიკური კვლევა, ლალი დევამე — ფოტოქრომული ნივთიერებების კვლევა, ნინო სეფაშვილი — თხევადკრისტალური და პოლიმერული ნივთიერებების მაორიენტირებელ ზედაპირებთან ურთიერთქმედების კვლევა; ელენე კალანდია — ფოტოქრომული ნივთიერებების სინთეზი; ნინო ფონჯავიძე — ფოტომგრძნობიარე მასალების თერმო და ფოტო ოპტიკური კვლევება. ჯანო მარხულია — ნანონაწილაკების (ZnO , TiO_2 , SiO) ოპტიკური, ფოტო და თერმოოპტიკური კვლევა, მანანა არეშიძე, ლიანა შარაშიძე, შორენა ახოზაძე — სხვადასხვა პოლიმერულ მატრიცაში ჩამატებული ფოტოქრომული ნივთიერებების ანიზოტროპიულ-პოლარიზაციული თვისებების კვლევა.

1(2). გია პეტრიაშვილი, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, კვლევების ხელმძღვანელი, შემსრულებლები: დევამე ლალი, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, ჩუბინიძე ქეთევან, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, სეფაშვილი ნინო, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, კალანდია ელენე, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, არეშიძე მანანა, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, შარაშიძე ლიანა, მეც. თანამშრომელი, ახოზაძე შორენა, მეც. თანამშრომელი.

1(3). კვლევების ხელმძღვანელები: პეტრიაშვილი გია, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, ჭანიშვილი ანდრო, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური

დოქტორი, შემსრულებლები: ჩუბინიძე ქეთევან, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, ფონჯავიძე ნინო, მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, კალანდია ელენე, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, მახარაძე თამარი, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. სინათლითა და სითბოთი მართვადი ფანჯრები შენობებში ტემპერატურის რეგულირების, ჰაერის გაწმენდისა და ელექტროენერგიის გამომუშავებისათვის

პროექტის დამატებითი აქტივობები:

1(2). მზის გამოსხივების კონცენტრატორი

1(3). კრისტალური სმექტიკური G ფაზური ჩამომრჩენი ოპტიკური ინფორმაციის რეალურ დროში სივრცულ-დროითი მოდულაციისათვის

1(4). ოპტიმალური პარამეტრების მქონე ფოტოქრომული ნაერთების (მაღალი ფოტომგრძნობიარობა, ფოტო და თვითდეგრადირების დაბალი ხარისხი და ა.შ.) გამოვლენის მიმართულებით

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. გია პეტრიაშვილი — ხელმძღვანელი, თხევადკრისტალური და პოლიმერული ნივთიერებების ოპტიკური, ფოტო და თერმოოპტიკური კვლევა, ლალი დევაძე — ფოტოქრომული ნივთიერებების კვლევა, ნინო სეფაშვილი — თხევადკრისტალური და პოლიმერული ნივთიერებების მაორიენტირებელ ზედაპირებთან ურთიერთქმედების კვლევა; ელენე კალანდია — ფოტოქრომული ნივთიერებების სინთეზი; ნინო ფონჯავიძე — ფოტომგრძნობიარე მასალების თერმო და ფოტო ოპტიკური კვლევა. ჯანო მარხულია — ნანონაწილაკების (ZnO , TiO_2 , SiO) ოპტიკური, ფოტო და თერმოოპტიკური კვლევა, მანანა არეშიძე, ლიანა შარაშიძე, შორენა ახოზაძე — სხვადასხვა პოლიმერულ მატრიცაში ჩამატებული ფოტოქრომული ნივთიერებების ანიზოტროპიულ-პოლარიზაციული თვისებების კვლევა.

1(2). გია პეტრიაშვილი, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, კვლევების ხელმძღვანელი, შემსრულებლები: დევაძე ლალი, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური

დოქტორი, ჩუბინიძე ქეთევან, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, სეფაშვილი ნინო, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, კალანდია ელენე, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, არეშიძე მანანა, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, შარაშიძე ლიანა, მეც. თანამშრომელი, ახოზაძე შორენა, მეც. თანამშრომელი.

1(3). კვლევების ხელმძღვანელები: პეტრიაშვილი გია, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, ჭანიშვილი ანდრო, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, შემსრულებლები: ჩუბინიძე ქეთევან, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, ფონჯავიძე ნინო, მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, კალანდია ელენე, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, მახარაძე თამარი, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი

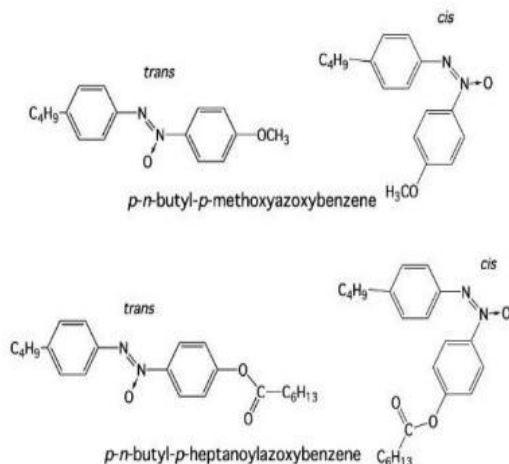
1(4). კვლევების ხელმძღვანელი დევაძე ლალი, მთავარი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, შემსრულებლები: სეფაშვილი ნინო, უფროსი მეც. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი, ახოზაძე შორენა, მეც. თანამშრომელი

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

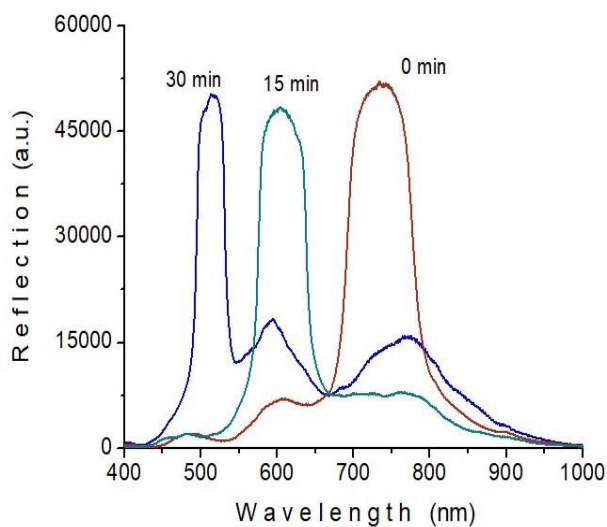
1. მსოფლიოში გენერირებული ენერგიის დაახლოებით 30–40% გამოიყენება შენობებში, რაც გამოწვეულია გათბობით, გაგრილებით, სინათლითა და ვენტილაციით. აშშ-ის ენერგეტიკის დეპარტამენტის მონაცემებით, ა.შ.შ-ში ენერგიის 30%, რომელიც გამოიყენება შენობების გათბობისა და გაგრილებისათვის, იკარგება ფანჯრების არაეფექტურობის გამო, რომლის ღირებულებაც 42 მილიარდი დოლარია წელიწადში.

შემომავალი სინათლისა და მზის ენერგიის კონტროლი მიიღწევა ცვლადი ოპტიკური თვისებების მქონე მასალების გამოყენებით. ამ მასალებს უწოდებენ ქრომოგენურ მასალებს ან ქრომის მასალებს. ჭკვიანი ფანჯარა არის სისტემა, რომელსაც შეუძლია იგრძნოს და რეაგირება მოახდინოს გარე სტიმულებზე, როგორიცაა სინათლე, სითბო ან ელექტროენერგია. ამ ნამუშევარში ჩვენ შევქმენით ფოტოქრომული ჭკვიანი ფანჯარა ქოლესტერინის თხევადი სარკის (ქთვ) საფუძველზე. ქთვ წარმოიქმნება ქირალური წაგრძელებული ორგანული მოლეკულებით და წარმოადგენს ერთ-ერთ საუკეთესო მასალას, რომელსაც შეუძლია სელექტიურად არეკლოს სინათლე. შემოთავაზებულ ფანჯარას შეუძლია არეკლოს ხილული ან ინფრაწითელი სინათლე გარე დენის წყაროს საჭიროების გარეშე. ამ ექსპერიმენტში გამოყენებული იყო შემდეგი ფოტომგრძნობიარე ნემატური თხევადი კრისტალი ZhK-440, რომელიც წარმოადგენს ორკომპონენტიან ნარევს — two-thirds p-n-butyl-p-methoxyazoxybenzene and one-third p-n-butylp-heptanoylazoxybenzene, (სურათი 1.) საწყისი მასალების შემდეგი პროცენტული წონითი თანაფარდობით 75% Zhk-440 + 25% MLC-6247 შერევით მიღებული იქნა ქთვ ნარევი სასურველი სელექტიური არეკვლის ზოლით (საზ). ფოტოქრომული ჭკვიანი ფანჯრის ასაწყობად გამოვიყენეთ ორი მინის ფირფიტა ზომით 120x120x1 მმ. ზედაპირების მათრეზირებული ფენები შედგება 99,4% წყალი + 0,6% პოლივინილის სპირტის (PVA) ხსნარისაგან, რომელიც დაფენილია მინის ზედაპირებზე

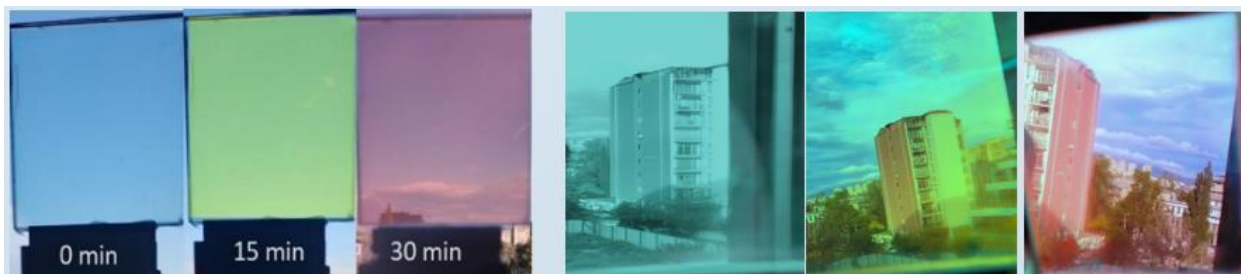
ცენტრიფუგირების გამოყენებით, რათა მიღებული იქნას ქოვ-ს ერთგვაროვანი განაწილება. დამზადებული ფოტოქრომული ფანჯარა მოთავსებული იყო მზის პირდაპირი დასხივების ქვეშ და სპექტრომეტრის გამოყენებით დაფიქსირდა საზ-ების ექსპოზიციის დროზე დამოკიდებული სპექტრული წანაცვლება, სურათები 2 და 3.



სურათი. 1. ფოტოქრომული ნემატური ნარევი, რომელიც შედგება ფოტოქრომული მოლეკულებისაგან



სურათი 2. საზ-ის მზის დასხივების დროზე დამოკიდებული წანაცვლება.

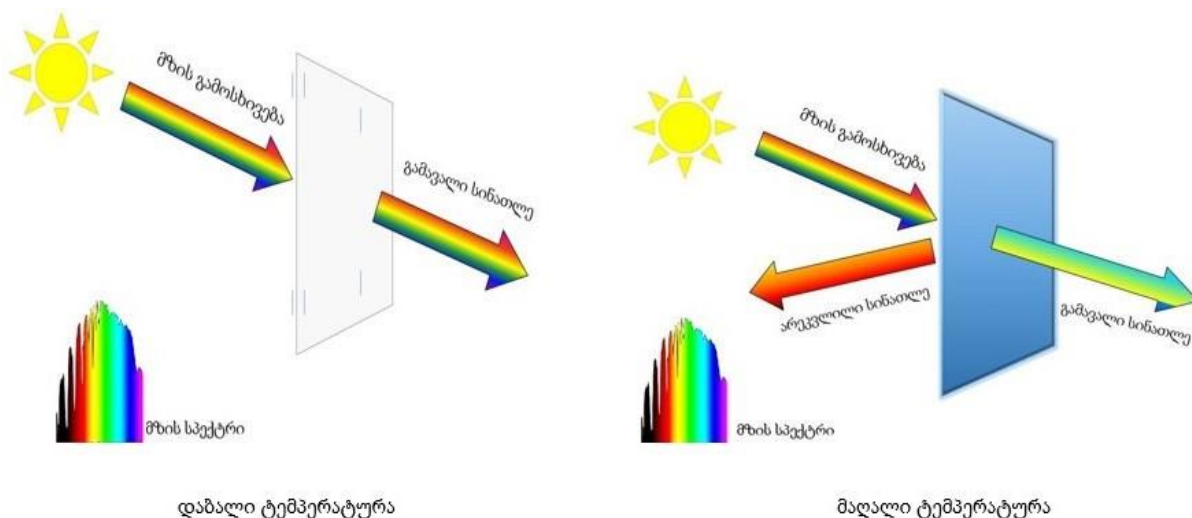


სურათი 3. ფოტოქრომული ფანჯრების სელექტიური ამრეკლაობის წანაცვლება სინათლით დასხივების ხანგრძლიობაზე

ტემპერატურულად მართვადი ქოლესტერულ თხევადკრისტალურ სარკეზე დაფუძნებული ჭკვიანი ფანჯრის გამოყენებით შენობებში შემომავალი მზის ენერგიის რეგულაცია

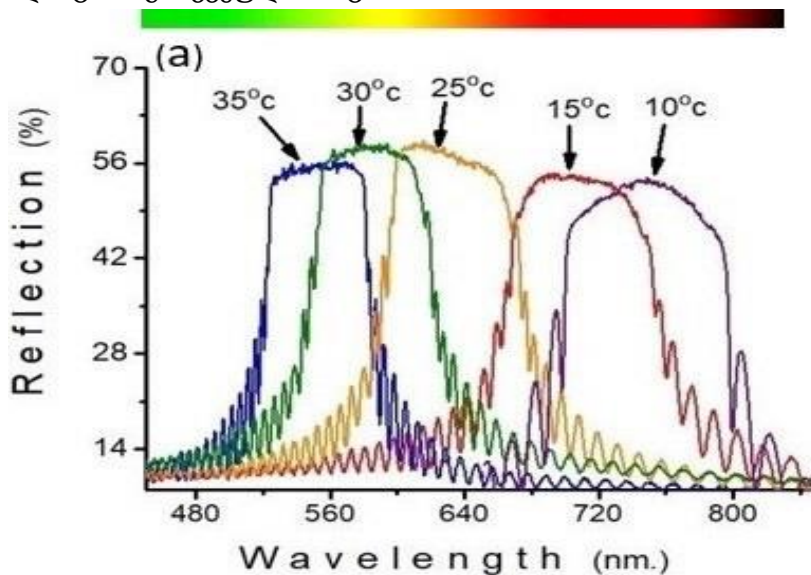
ცნობილია, რომ შენობებში ენერგიის დაზოგვა შესაძლებელია მიღწეული იქნეს ისეთი ფანჯრების საშუალებით, რომელთაც შეეძლებათ შემომავალი ხილული სინათლისა და მზის ენერგიის კონტროლი. შემომავალი სინათლისა და მზის ენერგიის კონტროლის უზრუნველყოფა შესაძლებელია ნივთიერებების საშუალებით, რომელთაც ცვლადი ოპტიკური პარამეტრები აქვთ. ასეთ ნივთიერებებს ქრომოგენური, ან ქრომული ნივთიერებები ეწოდებათ. ჭკვიანი ფანჯრები წარმოადგენს სისტემას, რომელსაც შეუძლია შეიგრძნოს და უპასუხოს გარემოს ისეთ ზემოქმედებებს, როგორებიცაა: სინათლე, სითბო, ან ელექტრომობა. ისინი აკონტროლებენ მინებში გამავალ სინათლეს, რაც მათ აძლევს უპირატესობას შექცევადად არეგულირონ შენობის შიგნით სინათლე და სითბო. მოცემულ საანგარიშო პერიოდში ჩვენს მიერ შემუშავებულია ჭკვიანი ფანჯრების დამზადების ახალი კონცეფცია, რომელიც დაფუძნებულია ქოლესტერულ თხევადკრისტალურ (ქთკ) სარკეზე. შემოთავაზებულ ფანჯარას შეუძლია არეკლოს ხილული ან ინფრაწითელი სინათლე გარე ენერგიის წყაროს საჭიროების გარეშე. უფრო მეტიც, ქთკ სარკეზე დაფუძნებულ ჭკვიან ფანჯარას შეუძლია რეაგირება მოახდინოს გარემოს ტემპერატურაზე ისე რომ, დამოუკიდებლად გადააწყოს სინათლის არეკვლა, რომელიც მორგებული იქნება დღის პერიოდსა და კლიმატურ რეგიონზე.

დასახული სამუშაოს საბოლოო მიზანს წარმოადგენს ქთკ სარკეზე დაფუძნებული ჭკვიანი ფანჯრის ლაბორატორიული პროტოტიპის დამზადება და მზის გამოსხივების გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებული ამრეკლაობის დინამიურად მართვის შესაძლებლობის დემონსტრირება. სურათზე 1, ნაჩვენებია ჭკვიანი ფანჯრის მუშაობის პრინციპი, რომელიც ატარებს, ან ირეკლავს, მზის გამოსხივებას გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულების შესაბამისად.



სურათი 1

ამასთან, ჩვენი ტექნოლოგიის მიხედვით, ქოკ-ის ამრეკლავი ფენის სისქე იქნება მხოლოდ (6–8) მიკრონი, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვიყენოთ ქოკ-ის მცირე რაოდენობა, რათა დავამზადოთ, მაგალითად, 1m^2 ფართობის მქონე ჭკვიანი ფანჯარა. გარდა ამისა, ბაზრის მოთხოვნის მიხედვით ჩვენ შეგვიძლია დავამზადოთ სხვადასხვა ქოკ ნარევი საჭირო ტემპერატურული დამოკიდებულებითა და ტემპერატურული ინტერვალებით. მაგალითად, სურათზე 2, ნაჩვენებია ქოკ-ის საზ-ების სპექტრალურ/ტემპერატურული დამოკიდებულება. ლურჯი მრუდი შეესაბამება უმდაბლეს ტემპერატურას – t_3 , რომლის შესაბამისი საზ მდებარეობს ოპტიკური სპექტრის ახლო ინფრაწითელ უბანში და შესაბამისად ჭკვიანი ფანჯარა არის გამჭვირვალე, მაშინ როდესაც მაღალ ტემპერატურებზე – t_2 და t_1 , საზ-ები მდებარეობენ ოპტიკური სპექტრის ხილულ უბანში და თითოეული მათგანი ირეკლავს მზის რადიაციის გარკვეულ პორციას.



სურათი 2

ქოკ-ს სპირალური ბუნების გამო, დაცემული სინათლე, რომელიც რომელიც გადის სპირალური ბიჯის გასწვრივ, სელექტიურად ირეკლება, რაც შესაბამისობაშია ქოკ-ს სპირალური ბიჯის სიგრძის ტემპერატურულ დამოკიდებულებასთან, სურათი 3.



სურათი 3

ჭკვიანი ფანჯრების წარმოების ამჟამად არსებული ტექნოლოგიებისაგან განსხვავებით, ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ჭკვიანი ფანჯრის ახალი კონცეფცია და დიზაინი, სურათი 4.



სურათი. 4.

ჩვენი მიდგომა დაფუძნებულია ქოკ-ების ისეთ გამორჩეულ ნიშან-თვისებაზე, როგორიცაა ქოკ-ის სელექტიური ამრეკლობის ტემპერატურული მართვა. შემოთავაზებული ჭკვიანი ფანჯრის დიზაინში გაერთიანებულია შემდეგი უპირატესობები:

- უპირველეს ყოვლისა იგი ირეკლავს სინათლეს და ეს არეკვლა არის გარემოს მიერ კონტროლირებადი, ანუ დაბალ ტემპერატურაზე ფანჯარა არის გამჭვირვალე, და ირეკლავს მზის გამოსხივების სხვადასხვა ტალღის სიგრძეს, გარემოს ტემპერატურული ცვლილების შესაბამისად
- მუშაობის ხანგრძლიობა და ექსტრემალურად მაღალი სტაბილურობა ულტრაიისფრი-ხილული გამოსხივებისა და ტემპერატურის ცვლილებების მიმართ
- დინამიურობა — სითბური ზემოქმედებების მიმართ უზრუნველყოფს რეალურ დროში რეაქციას

- ადაპტურობა — არეკვლის სპექტრალური მდებარეობა შეიძლება მოდიფიცირებული იქნეს დღის, სეზონის ან გეოგრაფიული არეალის მიხედვით
- სიიაფე და სიმარტივე — არ საჭიროებს ელექტროენერგიასა და რთულ საკონტროლო სისტემებს
- აქვს მუშაობის ფართო ტემპერატურული ინტერვალი ($-20 + 80$) $^{\circ}\text{C}$
- უსაფრთხო, არატოქსიკური და სინესტის მიმართ მდგრადი

დღეს არსებულ პროდუქციებთან შედარებით, შემოთავაზებული ჭკვიანი ფანჯრების ტექნოლოგიას შეუძლია შეამციროს ფასები (35-40)%-ით.

1(2). შემუშავდა მზის გამოსხივების კონცენტრატორის ახალი დიზაინი, რომელიც ერთდროულად მოქმედებს როგორც ტემპერატურულად კონტროლირებადი სელექტიური სარკე და მზის ლუმინესცენციური კონცენტრატორი. სინათლის ტალღამტარი მზის კონცენტრირების სისტემებში მზის სინათლე შედის მინის ფირფიტაში და შემდეგ მიემართება მცირე ზომის ფოტოვოლტური უჯრედისაკენ შიდა ტოტალური არეკვლის მეშვეობით. ამასთან, სინათლის ტალღამტარი მზის კონცენტრირების სისტემები ხასიათდებიან მთელი რიგი უპირატესობებით, ჩვეულებრივ მზის კონცენტრატორებთან შედარებით, როგორებიცაა:

- გამოიყენება იაფი ნივთიერებები და მასალები
- მზის ბატარეის ზომა შემცირებულია 90%-ით
- არ საჭიროებს მზის თანგაყოლას
- ფუნქციონირებს ღრუბლიან ამინდში

არსებობს მზის სინათლის ტალღამტარში თანგაყოლის ორი გზა: არა-ლუმინესცენციური (გაბნევა, გარდატეხა) და ლუმინესცენციური. არალუმინესცენციური კონცენტრატორის ნაკლი ის არის, რომ მას გააჩნია სინათლის შეზღუდული განშლადობა, როგორც ეს ზემოთ იყო აღნიშნული. მზის ლუმინესცენციურ კონცენტრატორს არ ახასიათებს ასეთი ნაკლი. მზის ლუმინესცენციურ კონცენტრატორზე დაცემული მოკლე ტალღოვანი სინათლე ლუმინესცენციური ნივთიერების მიერ გარდაიქმნება გრძელტალღოვან სინათლედ, რომელიც მიემართება ფვ უჯრედისაკენ. ამასთან, ეფექტური ლუმინესცენციური კონცენტრატორები საჭიროებენ სელექტიურ სარკეებს და ლუმინესცენციური საღებარების ორიენტირებულ ფენებს. საღებარის მიერ გამოსხივებული ფოტონები იკარგება ზედაპირების მიერ და ეს დანაკარგები შეფასების თანახმად 40–55%-ია. ზედაპირული დანაკარგები ლუმინესცენციური კონცენტრატორისათვის ძირითადი საკითხია და უკნასკნელი წლების განმავლობაში მრავალი სამეცნიერო ჯგუფის მიერ ჩატარდა გამოკვლევები, რათა მინიმუმამდე შეემცირებინათ ეს დანაკარგები. ამისათვის არსებობს ორი გზა: ლუმინოფორების ორიენტირება და სელექტიური სარკეების გამოყენება. ხშირად ოლს-ბი არიან დიქროულები შთანთქმისა და გამოსხივების მიმართ, რაც ახალ შესაძლებლობებს ქმნის გამოსხივებული სინათლის სივრცულად ორიენტირებული კონტროლისათვის, რაც თავის მხრივ, შეიძლება უზრუნველყოფილი იყოს მაკროსკოპიულად კონტროლირებული ფიზიკური მოწესრიგებით. ქოკ თავისთავში მოიცავს მრავალ გამორჩეულ თვისებას და

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს, როგორც თეორიული, ისე გამოყენებითი თვალსაზრისით. ქთკ-ის სპირალური ბუნების გამო, დაცემული სინათლე, რომელიც ვრცელდება სპრალის ღერძის გასწვრივ, სელექტიურად აირეკვლება ქთკ-ის სპირალური ბიჯის მიმართულების პარალელურად. ამასთან, ოლს ჩამატებულ ქთკ-ებში, როდესაც ლუმინესცენციური საღებარის მიერ გამოსხივდება სინათლე, ფაბრი-პეროს რეზონატორის ინტერფერენციის მიერ გამოწვეული არეკვლის გამო, რეზულტირებული გამოსხივების სპექტრი ძლიერ არის მოდულირებული. დიქროული ოლს-ების მაკროსკოპიული ორიენტირება ქთკ-ურ მატრიცაში იწვევს შთანთქმისა და გამოსხივების ანიზოტროპიას. ოლს-ის მოწესრიგება ტალღამტარი ზედაპირ პარალელურად, გამოიწვევს გამოსხივებული სინათლის დიდი ნაწილის გავრცელებას ტალღამტარის გასწვრივ, რაც მნიშვნელოვნად შეამცირებს ზედაპირულ დანაკარგებს. მეორე გზა ზედაპირული დანაკარგების შემცირებისა, შეიძლება მიღწეული იყოს შესაბამისი ტალღურ-სელექტიური ფილტრის გამოყენებით, რომელიც ირეკლავს ლუმინესცენციურ სინათლეს და არა დაცემულ სინათლეს, რომელიც შეიძლება შთანთქმული იყოს. უმეტეს შემთხვევებში, ასეთი სარკეები მოთავსებულია ლუმინესცენციური კონცენტრატორის ტალღამტარის თავზე, იმ სახით, რათა ამრეკლავმა ზედაპირმა არ შეუშალოს ხელი მზის გამოსხივების იმ ნაწილს, რომელიც უნდა შთაინთქას ლუმინოფორის მიერ და უნდა არეკვლოს მხოლოდ ლუმინოფორიდან გამოსხივებული სინათლე, რომელიც არის უფრო გრძელტალღოვანი. არსებობს უამრავი ნივთიერება, რომელთა გამოყენება შეიძლება ფილტრების სახით, მაგალითად დიელექტრიკული ფენების პარალელური განლაგება და სამგანზომილებიანი ფოტონური კრისტალები. ქთკ-ბი ძალიან კარგად შეიძლება გამოყენებული იქნას ამ მიზნებისათვის, ისინი არიან თვითორიენტირებადი და ეს თვითორიენტაცია შეიძლება გავრცელდეს საკმაოდ დიდ არეალზე. გარდა ამისა, ქთკ-ების დამზადება, ზოგადად, არის გაცილებით მარტივი და ნაკლებად ხარჯიანი პროცესი, ვიდრე ორგანული და არაორგანული მრავალფენოვანი ბრეგის ამრეკლავების დამზადება და მათი შემდგომი გამოყენება. სურათზე 1, ნაჩვენებია შემოთავაზებული ჭკვიანი ფანჯრის მოდელი, რომელიც ერთ ხელსაწყოში აერთიანებს ენერგოდამზოგავ და ენერგომწარმოებელ თვისებებს.

კვლევის მეთოდოლოგია

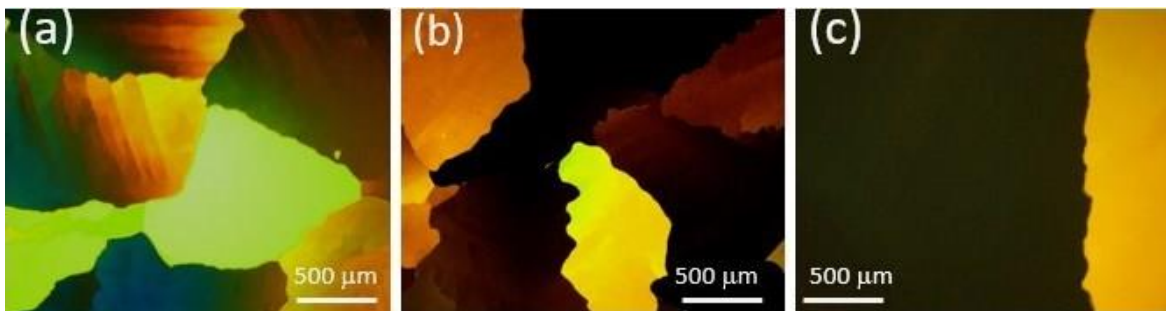
ჩვენს კვლევებში გამოვიყენეთ ოპტიკურ-სპექტრალური ანალიზის მეთოდი და ამ მეთოდზე დაყრდნობით შევისწავლეთ:

- ხილული და ახლო ინფრაწითელი სინათლის გარდატეხას ქთკ-ში, ქთკ/მინის ფირფიტებში
- სინათლის გავრცელებას ქთკ/მინა/ჰაერი საზღვარზე
- ხილული და ახლო ინფრაწითელი სინათლის არეკვლას მინის ფუძეებიდან ქთკ-დან და ქთკ/ოლს სისტემიდან

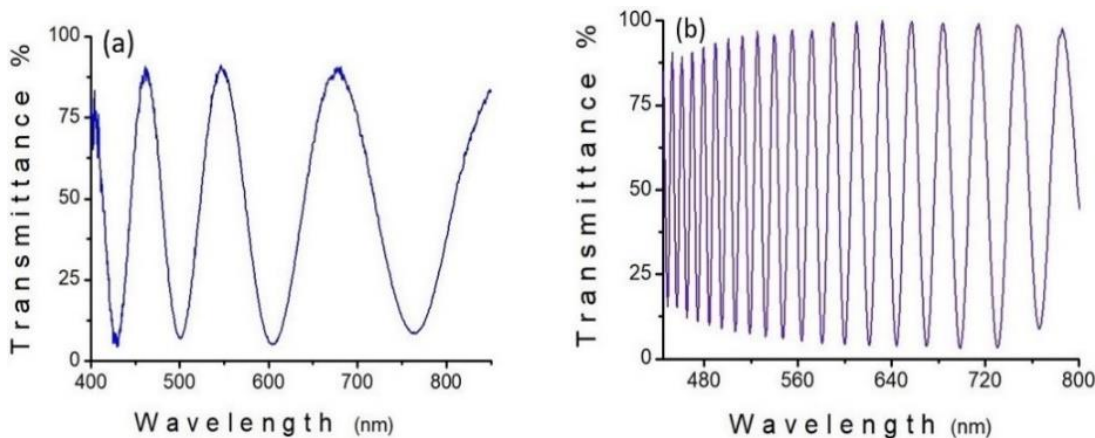
ამასთან, ჩვენი კვლევების ნაწილი დაკავშირებული იყო ლუმინესცენციური სინათლის თვისებების შესწავლასა და მის გავრცელებასთან ქთკ-სა და მინის სტრუქტურებში.

ექსპერიმენტების ჩასატარებლად ჩვენ გამოვიყენეთ კომპიუტერთან დაკავშირებულ ოპტიკურ ბოჭკოვან სპექტრომეტრი, მზის სინათლის სიმულატორი, ოპტიკური სინათლის სიმძლავრის გამზომი, პოლარიზაციული სინათლის მიკროსკოპი, ვოლფრამ-ჰალოგენის სინათლის წყარო, ლაზერულ სინათლის წყარო, რეფრაქტომეტრი, ოპტიკური ფილტრები და პოლარიზაციულ ფირები.

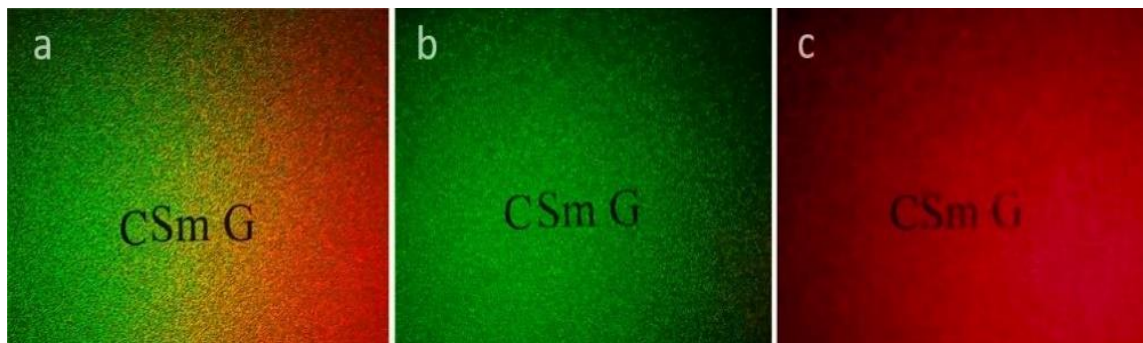
1(3). ჩვენს მიერ დამზადებული და შესწავლილი იქნა ახალი, სინათლის ფაზური ჩამომრჩენი ფირფიტა, რომელიც ეფუძნება ისეთ იშვიათ და ნაკლებად შესწავლილ თხევადკრისტალურ ფაზას, როგორიცაა კრისტალური სმექტური G-ფაზა, რომელიც მიღებულია ორი სერტიფიცირებული ნემატური ნარევების შერევით. მისი სამგანზომილებიანი კრისტალური სტრუქტურისა და ერთდერძა სიმეტრიის გამო, კრისტალური სმექტური G-ფაზაზე დაფუძნებული ფაზური ჩამომრჩენი მასზე დაცემულ, ოპტიკური ღერძისადმი მართობულ სინათლეს ყოფს ორ ურთიერთორთოგონალურ წრფივ პოლარიზაციულ კომპონენტად და ქმნის ფაზურ სხვაობას მათ შორის. სინათლის ფაზური ჩამომრჩენი გამჭვირვალეა ოპტიკური სპექტრის ულტრაიისფერ, ხილულ და ახლო ინფრაწითელ უბნებში. მისი თერმული მდგრადობა ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში, მაღალი ორმაგსხივტეხა, მაღალი სიმტკიცე და დაბალფასიანი ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა შეიქმნას სხვადასხვა ტიპის ფაზური ფირფიტები, რომლებსაც შეუძლია ფართი გამოყენება პოვონ ოპტიკასა და პოლარმეტრიაში. სურათები 1-5.



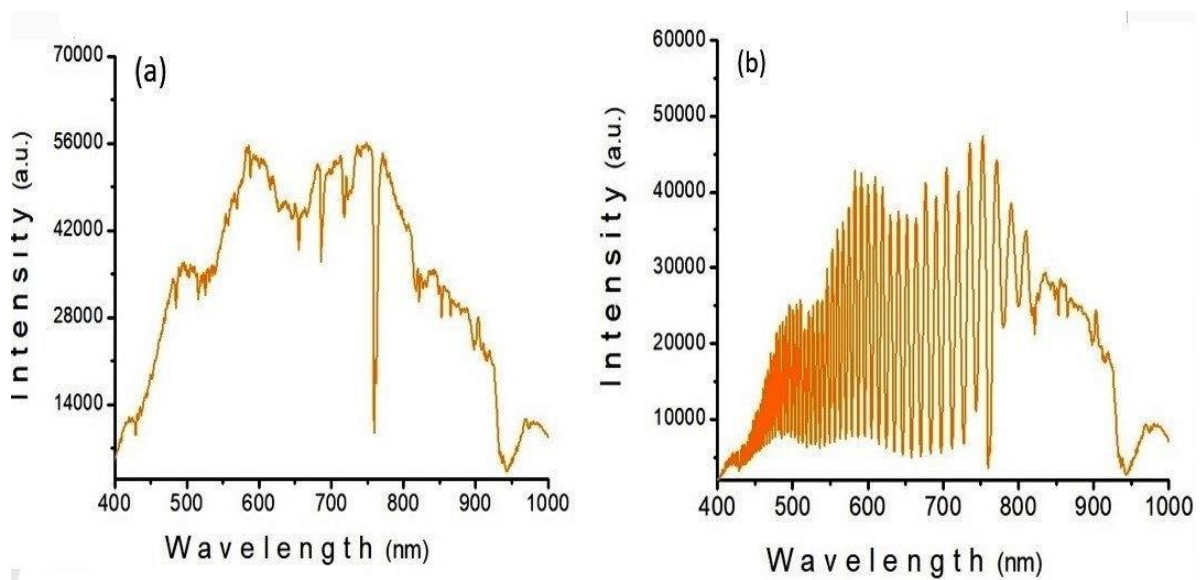
სურათი 1. კრისტალური სმექტური G-ფაზა, ოპტიკური ღერძის სხვადასხვა ორიენტაციისას.



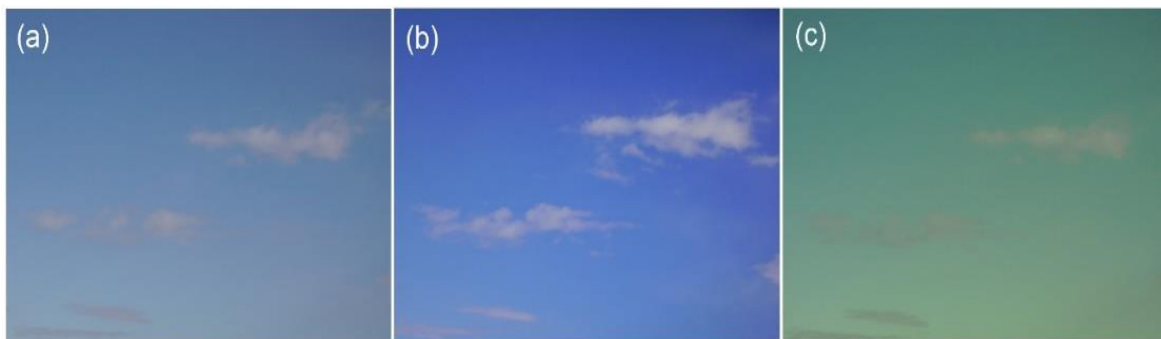
სურათი 2. კრისტალური სმექტური G-ფაზურ ფირფიტებში გამავალი სინათლის მოდულაციის სპექტრალური დამოკიდებულება



სურათი 3. კრისტალური სმექტური G-ფაზური ფირფიტის მიერ ორი ლაზერული სხივის (მწვანე და წითელი) ინტენსიობის მოდულაცია

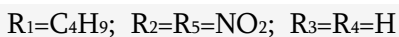
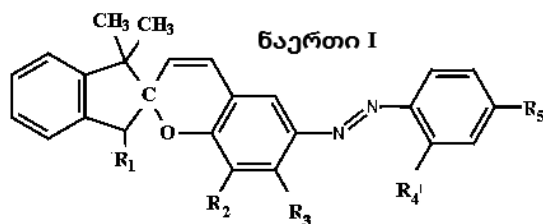


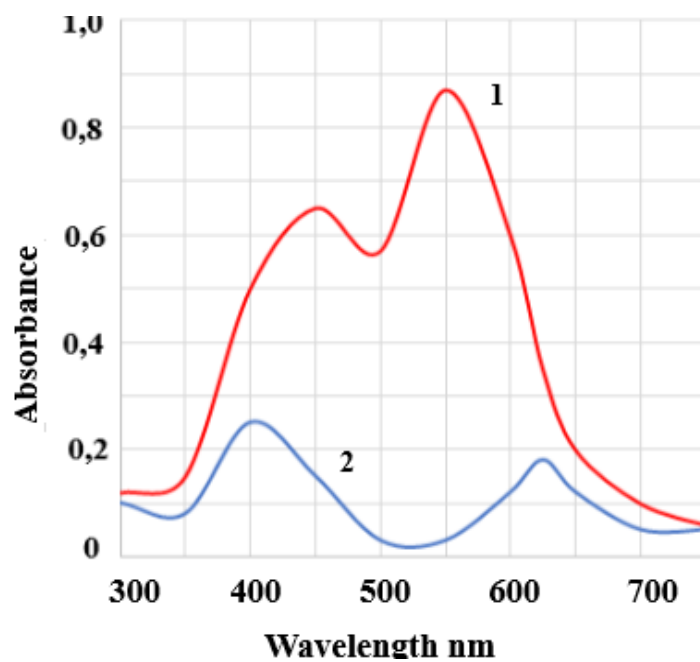
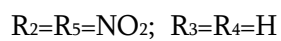
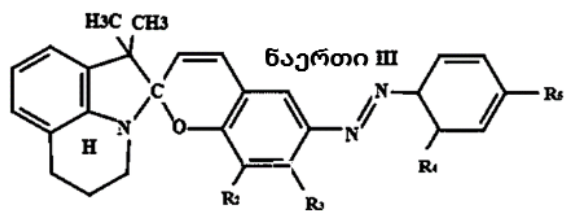
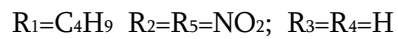
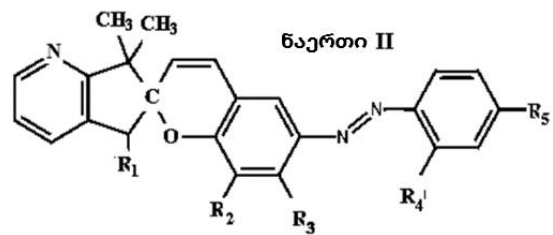
სურათი 4. მზის სპექტრი ფაზურ ფირფიტაში გავლამდე (a), და ფაზურ ფირფიტაში გავლის შემდეგ (b).



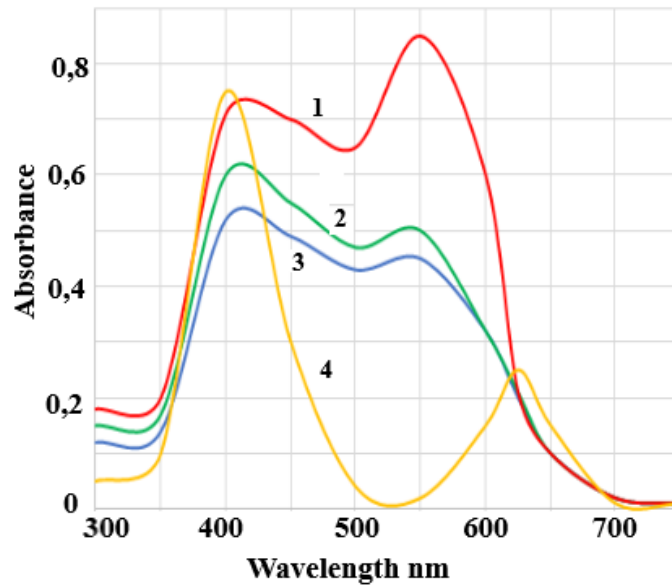
სურათი 5. კრისტალური სმექტური G-ფაზური ფირფიტის მიერ ცის მოცემული უბნის გამოსახულების სიმკვეთრის გაზრდა

1(4). ჯგუფი (ლალი დევაძე, ნინო სეფაშვილი, შორენა ახოზაძე) აგრძელებს კვლევას ოპტიმალური პარამეტრების მქონე ფოტოქრომული ნაერთების (მაღალი ფოტომგრძნობიარობა, ფოტო და თვითდეგრადირების დაბალი ხარისხი და ა.შ.) გამოვლენის მიმართულებით. პარამეტრების გაუმჯობესების ერთ-ერთი ხერხია სპიროპირანის მოლეკულის მეორე, სხვა ტიპის ფოტოქრომულ მოლეკულასთან შეწყვილება სინთეზის გზით. მიღებულ ჰიბრიდულ მოლეკულას, გაერთიანებული ქრომოფორების თეორიის თანახმად, გაუმჯობესებული ფოტომგრძნობიარობა და დაგრძელებული π კონიუგირებული ჯაჭვი, ანუ გრძელტალღოვანი შთანთქმა ექნება. ჩვენს მიერ სინთეზირებული და შესწავლილია სამი ტიპის ჰიბრიდული სტრუქტურა: ფოტოქრომული აზობენზოლის და ინდოლინის რიგის სპიროპირანების შეწყვილებით – ნაერთი I; აზობენზოლის და ჩვენს მიერ სინთეზირებული UV სინათლისადმი გაზრდილი ფოტომგრძნობიარობის, სრულიად ახალი ტიპის აზაინდოლინის რიგის სპიროპირანების შეწყვილებით – ნაერთი II; აზობენზოლის და ასევე ჩვენს მიერ სინთეზირებული ახალი ტიპის ხილული სინათლისადმი გაზრდილი ფოტომგრძნობიარობის - ტეტრაჰიდროქინოლინის რიგის სპიროპირანების შეწყვილებით – ნაერთი III. თერმოდინამიკურმა და სპექტრალურმა კვლევებმა გვაჩვენა, რომ ჰიბრიდულ სამივე ტიპის მოლეკულაში π კონიუგუაცია და მის დაგრძელებას, როგორც მოსალოდნელი იყო, მოჰყვა შთანთქმის მაქსიმუმის ბატოქრომული გადანაცვლება და იაფფასიანი გამოსხივების წყაროს გამოსხივების (LED) უბანთან მიახლოება (იხ. ტაბულა). რაც შეეხება ფოტომგრძნობიარობას, ნაერთი II-ის მგრძნობიარობა ულტრაიისფერი სინათლის მიმართაა გაზრდილი, ხოლო ნაერთი III-ის ხილული სინათლის მიმართ. მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ ფოტოქრომული გარდაქმნები ოთახის ტემპერატურაზე დაიკვირვება. მიღებულ ჰიბრიდულ ნაერთებს უარყოფითი ფოტოქრომიზმი ახასიათებს ($K_T > K_{PH}$), ანუ ფოტოგარდაქმნების ტრიგერად ულტრაიისფერი სინათლის ნაცვლად ხილული სინათლე გამოიყენება, რაც ნაკლებენერგეტიკულ დანახარჯებთან ერთად, ფოტოქრომის დეგრადაციის შემცირების ხარჯზე, ზრდის პროცესის მნიშვნელოვან პარამეტრს — ციკლურობას. დაგეგმილია მიღებული ჰიბრიდული ნაერთების სხვადასხვა წარმოებულის კინეტიკური მახასიათებლების და ამორფულ (მინისებრ) მდგომარეობაში შესწავლა.

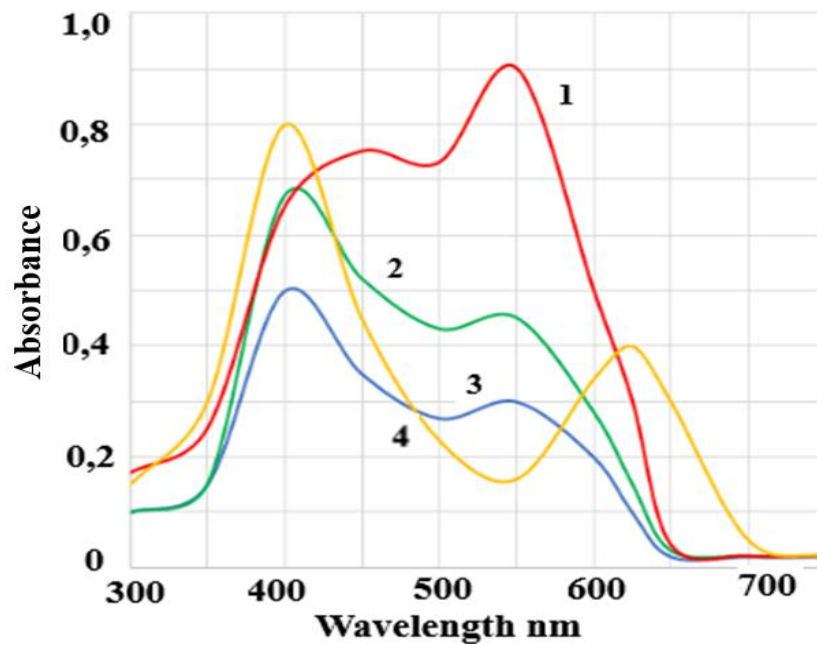




სურ.1 ნაერთი 1 შთანთქმის სპექტრები: 1-ეთანოლის ხსნარი, 2-ტოლუოლის ხსნარი. ოთახის ტემპერატურა; თერმოდინამიკური წონასწორობა.



სურ.2 ნაერთი II შთანთქმის სპექტრები ეთანოლის ხსნარში: 1-თერმოდინამიკური წონასწორობა; 2- ფოტოქიმიური წონასწორობა (UV სინათლით დასხივების შემდეგ); 3 - ხილული სინათლით დასხივების შემდეგ; 4 -ტოლუოლის ხსნარში, თერმოდინამიკური წონასწორობა.



სურ.3. ნაერთი III შთანთქმის სპექტრები ეთანოლის ხსნარში: 1-თერმოდინამიკური წონასწორობა; 2- ფოტოქიმიური წონასწორობა (UV სინათლით დასხივების შემდეგ); 3 -

ხილული სინათლით დასხივების შემდეგ; 4 -ტოლუოლის ხსნარში, თერმოდინამიკური წონასწორობა.

ცხრილი 1 ჰიბრიდული ნაერთების მეროციაინული ფორმის შთანთქმის მაქსიმუმი ეთანოლსა და ტოლუოლში

Compound	$\lambda_{\max}$ nm	$\lambda_{\max}$	Compound	$\lambda_{\max}$	$\lambda_{\max}$
	toluene	ethanol		toluene	ethanol
SP	610	535	SPAZ I	625	550
SP _{az}	610	550	SP _{az} AZ II	625	550
SP _{thq}	610	540	SP _{thq} AZ III	625	550

მიღებული შედეგები გამოქვეყნდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მოამბეში ტომი 17, N4.

3. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

3.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. ქოლესტერულ თხევადკრისტალურ სარკეზე დაფუძნებული ჰიპერსპექტრული გამოსახულების მოწყობილობა სამედიცინო გამოყენებისათვის. (ძირითადი მიმართულება: 1. ზუსტი მეცნიერებები და ინჟინერია, ქვე-მიმართულება: 1.3. კონდენსირებულ გარემოთა ფიზიკა, კატეგორია: 1.3.9, კონდენსირებული გარემო-სხივთა ურთიერთქმედება, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი:FR-22-2543)

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2026

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ახლახანს გამარჯვებული საგრანტო პროექტის ძირითადი პერსონალი წარმოდგენილი იქნება ფიზიკის სამი აკადემიური დოქტორისაგან — გია პეტრიაშვილი (პროექტის ხელმძღვანელი), ანდრო ჭანიშვილი (პროექტის კოორდინატორი), ნინო სეფაშვილი (მკვლევარი), ბიოლოგიის ერთი აკადემიური დოქტორი — ქეთევან ჩუბინიძე (მკვლევარი, ახალგაზრდა მეცნიერი), ექიმი-რეზიდენტი მარიამ ჩუბინიძე (მკვლევარი, ახალგაზრდა მეცნიერი).

ქვემოთ წარმოდგენილია ძირითადი პერსონალის სია და ნაჩვენებია თითოეული მათგანის როლი და პასუხისმგებლობა.

- როგორც პროექტის ხელმძღვანელის, გია პეტრიაშვილის როლი იქნება დაგეგმილი ამოცანების მონიტორინგი, გრაფიკის შესაბამისად. გარდა ამისა, იგი პასუხისმგებელი იქნება პროექტის სამეცნიერო შედეგებზე და პროექტის ფარგლებში განხორციელებული

საქმიანობის ანგარიშგებაზე. როგორც ფიზიკოსი, ის შეისწავლის ნემატური და ქოლესტერიული თხევადი კრისტალების ოპტიკურ, თერმო- და ფოტო-ოპტიკურ თვისებებს.

- ანდრო ჭანიშვილი, როგორც პროექტის კოორდინატორი, ჩართული იქნება პროექტის მენეჯმენტში და პასუხისმგებელი იქნება პროექტის ადმინისტრირებასა და ორგანიზაციულ საკითხებზე. როგორც ფიზიკოსი და სპექტრული ოპტიკის სპეციალისტი, ის ჩაატარებს ექსპერიმენტებს ჰსგ-ის ოპტიკურ მახასიათებლებზე ოპტიკური სპექტრის ფართო დიაპაზონში. კერძოდ, ის შეისწავლის ქოკ-ების საზ-ის ტემპერატურაზე დამოკიდებულ წანაცვლებას და ასევე, მოახდენს მათ პოლარიზაციულ და ნახევარსიგანეების დახასიათებას.
- ქეთევან ჩუბინიძე შეარჩევს თხევადკრისტალურ მასალებს, ოპტიკური, ქიმიური, თერმო- და ფოტოქიმიური სტაბილურობითა და გამჭვირვალობით, ოპტიკური სპექტრის უი, ხილულ და აიწ დიაპაზონებში. ის ასევე მოამზადებს ქოკ-ურ ნარევებს საჭირო ქირალური ბიჯებით, საზ-ის სპექტრული მდებარეობებით და ბიჯი/ტემპერატურა დამოკიდებულობებით.
- ნინო სეფაშვილი გამოიკვლევს მომზადებული ქოკ-რი ნარევების სტაბილურობას უი, ხილული და აიწ სინათლით დასხივებისას. გარდა ამისა, ის შეისწავლის მიღებული ჰიპერსპექტრული გამოსახულებების ინტენსიობებისა და ფერების 2D და 3D განაწილებებს.
- მარიამ ჩუბინიძე ააწყოებს ქოკ ოპტიკურ უჯრედებს სასურველი ღრეჩოს სიგანეებითა და ზედაპირული მდგომარეობებით.

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

არ არის.

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.1. მონოგრაფიები/წიგნები

1) ავტორი/ავტორები

1. G. Petriashvili, L. Devadze, Ts. Zurabishvili, N. Sepashvili, K. Chubinidze, T. Tatrishvili, T. Bukia, E. Kalandia, M. Areshidze, L. Sharashidze, Sh. Akhobadze, A. Petriashvili, M. Chubinidze, V. Kinkladze, and N. Imnaishvili

2) მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

1. Environmental Technology and Sustainability-Physical, Chemical and Biological Technologies for Environmental Protection. Hard ISBN: 9781774914342

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. AAP-APPLE Academic Press

4) გვერდების რაოდენობა

1. 337pp w/index

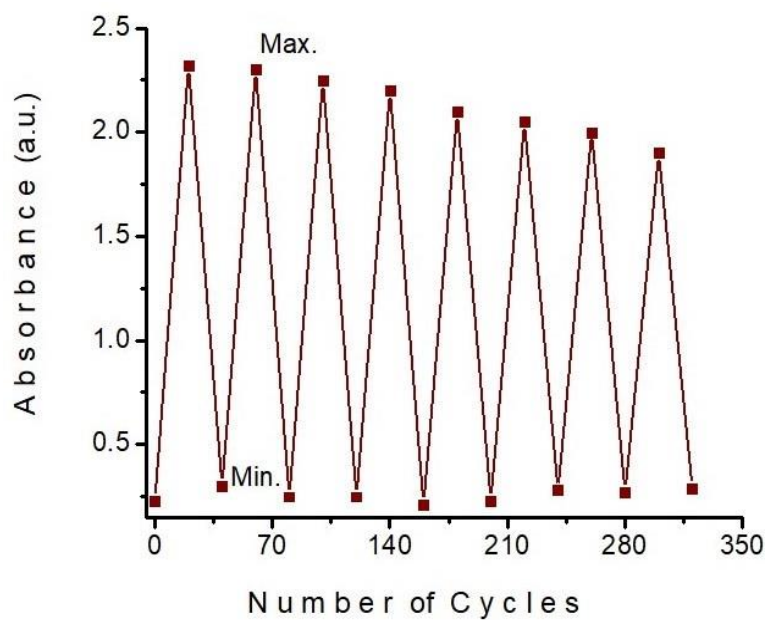
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ულტრაიისფერი (უი) გამოსხივების დეტექტირება და მონიტორინგი ძალზე მნიშვნელოვანია ისეთ სფეროებში, როგორიცაა უი დოზიმეტრია, კოსმოსური კომუნიკაციები, ხანძრის აღმოჩენა, ულტრაიისფერი ასტრონომია, ბრძოლის ველზე ქიმიური/ბიოლოგიური დეტექტორები, წყლის გაწმენდა, რაკეტების ადრეული აღმოჩენა, მედიცინა. გამონაბოლქვის კონტროლი და დაბინძურების მონიტორინგი. უი დიაპაზონი მოიცავს ტალღის სიგრძის დიაპაზონს 100-400 ნმ და იყოფა სამ დიაპაზონად: UVC (100-280 ნმ), UVB (280-320 ნმ) და UVA (320-400 ნმ). როდესაც მზის სინათლე გადის ატმოსფეროში, მთელი UV-C და UV-B გამოსხივების დაახლოებით 90% შეიწოვება ოზონის, წყლის ორთქლის, ჟანგბადის და ნახშირორჟანგის მიერ. ულტრაიისფერი გამოსხივება, რომელიც აღწევს დედამიწის ზედაპირს, ძირითადად არის UV-A მცირე UV-B. უი გამოსხივების ზემოქმედება ჯანმრთელობაზე ახდენს როგორც მავნე, ასევე დადებით გავლენას. თუმცა, უი-ს ხანგრძლივმა ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს ჯანმრთელობის მწვავე და ქრონიკული ზემოქმედება კანზე, თვალეხსა და იმუნურ სისტემაზე. მზის დამწვრობა და გარუჯვა არის ულტრაიისფერი გამოსხივების გადაჭარბებული ზემოქმედების ყველაზე ცნობილი მწვავე ეფექტი: გრძელვადიან პერსპექტივაში, ულტრაიისფერი გამოსხივებით გამოწვეული დეგენერაციული ცვლილებები უჯრედებში, ფიბროზულ ქსოვილსა და სისხლძარღვებში იწვევს კანის ნაადრევ დაბერებას. ულტრაიისფერი გამოსხივებამ ასევე შეიძლება გამოიწვიოს ანთებითი რეაქციები თვალეხში, როგორიცაა ფოტოკერატიტი. მაგრამ ყველაზე საშიში ქრონიკული დაავადება რომელიც შეიძლება გამოიწვიოს უი გამოსხივებამ არის კანის კიბო და კატარაქტა. ამრიგად, ულტრაიისფერი დოზის ზუსტი გაზომვა და მონიტორინგი აუფილებელია ადამიანის ჯანმრთელობის მონიტორინგისათვის. არსებობს ულტრაიისფერი სხივების ინდივიდუალური დოზების და სხვადასხვა ტიპის UV სენსორების გაზომვის რამდენიმე განსხვავებული მეთოდი. ყველა ამ განსხვავებულ საზომ სისტემას აქვს საკუთარი მახასიათებლები, რაც გასათვალისწინებელია პერსონალური დოზიმეტრიისთვის რომელიმე მათგანის არჩევისას. ელექტრონული დოზიმეტრები, რომლებსაც შეუძლიათ პირდაპირ გაზომონ ულტრაიისფერი დოზები, ხელმისაწვდომია საათების ან მონაცემთა ლოგერების სახით და შეიძლება დამაგრდეს სხეულის სხვადასხვა ნაწილზე, როგორიცაა გულმკერდი ან კიდურები. სხვა ტიპის აქტიური UV სენსორები, რომლებიც გამოიყენება პერსონალურ ულტრაიისფერი დოზიმეტრიაში, არის ბიოლოგიური დოზიმეტრები, რომლებიც იყენებენ ულტრაიისფერი გამოსხივების ბაქტერიციდულ ეფექტს სპორებზე ულტრაიისფერი გამოსხივების ზემოქმედების რაოდენობრივი დასადგენად. ამ ტიპის დოზიმეტრები ზომავს მხოლოდ UV ექსპოზიციის კუმულატიურ რაოდენობას გაზომვის პერიოდის განმავლობაში, თუმცა, ისინი არ უზრუნველყოფენ გაზომვის მონაცემების დროებით გარჩევადობას. ამიტომ, მიღებული გაზომვის მონაცემების მართებულობის შემოწმება, მაგალითად, გაზომვის ადგილებთან სწორი დაკავშირების თვალსაზრისით, შეუძლებელია. გარდა ამისა, ისინი არ არიან მგრძნობიარე რადიაციის მიმართ, რომლის ტალღის სიგრძე 340 ნმ-ზე მეტია, მასალის თვისებების გამო. ეს ნიშნავს, რომ UV-A სპექტრის ნაწილი უნდა იყოს ექსტრაპოლირებული კალიბრაციის პროცესში მზის სპექტრთან მიმართებაში, ფაქტობრივი ექსპოზიციისა და UV-A ექსპოზიციის აქტიური ფრაქციის ცოდნის გარეშე. ჩვეულებრივი ბატარეით მომუშავე ელექტრონიკა ამ სისტემებში ხელს უწყობს უსადენო მუშაობას და ციფრული მონაცემების მიღებას ფოტოდეტექტორების და მეხსიერების მოდულების გამოყენებით, სადაც

კოლექტიური ღირებულება შეიძლება იყოს აკრძალული. გარდა ამისა, ბატარეების შეზღუდული სიცოცხლის ხამგრძლიობა, მათი დატენვის აუცილებლობა და მათი მგრძნობელობა სითბოს, წყლისა და სხვა გარემო პირობების მიმართ ართულებს გამოყენებას, რაც ჩვეულებრივ იწვევს მოწყობილობის არაეფექტურობას. გარემოს ერთეულში დოზა განისაზღვრება, როგორც დაცემული ენერგიის ერთეულის ჯამური ექსპოზიცია ან დოზის სიხშირე ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დროის განსაზღვრულ პერიოდში, გამოხატული ჯოულებით კვადრატზე, ანუ მეტრებში, ჯოული/მ² ან მილიჯოული/სმ². ამ ეფექტის სპექტრული მგრძნობელობა მსგავსია ზოგიერთი მოქმედების სპექტრის, როგორცაა ერთეულის შეწონვის ფუნქცია (SER), მსგავსი სტანდარტული ერთეულის დოზა (SED) და ერთეულის მინიმალური დოზა (MED), რომლებიც ჩვეულებრივ გამოიყენება ერთეულის სამკურნალოდ. ერთეუმატოზული წონის ფუნქცია წააგავს კანის რეაქციას უვ ერთეუმაზე და ამიტომ გამოიყენება ამ ეფექტის სპექტრალური დამოკიდებულების აღსაწერად. მიუხედავად იმისა, რომ რადიომეტრები და სპექტრორადიომეტრები გამოიყენება მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების მონიტორინგისთვის, ეს ინსტრუმენტები არ არის ტავსებადი ადამიანის ულტრაიისფერი გამოსხივების ზემოქმედების დასადგენად, განსაკუთრებით სხეულის სხვადასხვა ადგილას, მათი დიდი ზომისა და ზოგადად მაღალი ღირებულების გამო. ბოლო 40 წლის განმავლობაში ყველაზე ფართოდ გამოყენებული პერსონალური ულტრაიისფერი გამოსხივების დოზიმეტრია პოლისულფონზე დაფუძნებული პლასტიკური ფილმები, ფოტომგრძნობიარე ქაღალდი, თერმოლუმინესცენტური მასალები, დიაზო სისტემები, პლასტიკური ფირები ფოტომგრძნობიარე პრეპარატებით და ა.შ. თუმცა, მათ აქვთ გარკვეული უარყოფითი მხარეები და შეზღუდვები: მგრძნობელობა მოიცავს მხოლოდ ულტრაიისფერი გამოსხივების UVA და ლურჯ უბნებს, უზრუნველყოფს ექსპოზიციის მხოლოდ ნახევრად რაოდენობრივ შეფასებას და განკუთვნილია მათი ერთჯერადი გამოყენებისთვის. ჩვენს მიერ შემუშავებულია სპიროპირანით (სპ) დოპირებული თხევადი კრისტალური პოლიმერის (სპტკპ) ფირზე დაფუძნებული მრავალჯერადი გამოყენების UVA+UVB დოზიმეტრს, რომელიც შექმნილია როგორც სატესტო ბარათი, რომელიც საშუალებას იძლევა რეალურ დროში შეფასდეს მავნე UV-A და UV გამოსხივების დოზა. - დასხივებაში. დოზიმეტრის მუშაობის პრინციპი ემყარება სპტკპ ფირის ოპტიკური სიმკვრივის ცვლილებას ულტრაიისფერი გამოსხივების მოქმედებით. კერძოდ, UVA + UVB გამოსხივების ზემოქმედებისას, სპტკპ ფირის დოზიმეტრი შესამჩნევად იცვლის ფერს ორიგინალური ყვითელიდან ლურჯ და მუქ მეწამულამდე. ექსპერიმენტებში გამოყენებული იყო კომერციულად ხელმისაწვდომი და სერთიფიცირებული ნაერთები: ნემატური მატრიცა-BL-036, (მერკი), ფოტოქრომული მასალა-1', 3', 3'-ტრიმეთილ-6-ნიტრო-1', 3'-დიჰიდროსპირო [ქრომენ -2,2'-ინდოლი] (SP) და მაკრომონომერი პოლი(ვინილის სპირტი) - (პვა) საშუალო მოლეკულური წონით - Mw 85000-124000, 99+% ჰიდროლიზებული (ორივე Sigma-Aldrich-ისგან). თკ-ის სპ-ით დოპირებული ნარევი მომზადდა ნემატური თკ-ისა და სპ-ის შერევისთვის წონით შემდეგი კონცენტრაციის თანაფარდობით: 98% BL-036 + 2% SP. თხელი ფირი მომზადდა შემდეგნაირად: 1 გ ქოკ ნარევი სპ-ით დოპირებული დაემატა 10 მლ 15 წონით. % პვა ხსნარი გამოხდილ წყალში. როგორც შესაფერისი ემულგატორი, ნარევი დაემატა 0,5 მლ ყინულოვანი მმარმჟავა. მომზადებული კომპოზიტი ჩავასხით მინის ფლაკონში და მორეული იქნა 600 rpm-ზე 30 წუთის განმავლობაში 75°C-ზე. ამ პროცედურის

შემდეგ მივიღეთ კრემისებრი თეთრი ემულსია. მიკროკაფსულირების ყველა ეტაპის კონტროლით, როგორცაა შერევის სიჩქარე, ტემპერატურა და კომპონენტების კონცენტრაციების თანაფარდობა, მივიღეთ მიკროკაფსულები პროგნოზირებადი ზომებით. სასურველი სისქის ერთგვაროვანი ფირის მისაღებად გამოყენებული იქნა წვეთოვანი ჩამოსხმა-გავრცელების მეთოდი. მომზადებული ემულსია ჯერ დეგაზირებული იქნა 0,5 სთ-ის განმავლობაში, შემდეგ დაეწვეთა დეიონიზებული წყლით დამუშავებულ მინის ზედაპირზე და თანაბრად განაწილდა ლითონის წკირით. მომზადებული ნიმუში ინახებოდა 48 საათის განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე. შუშის სუბსტრატიდან წყლის აორთქლების შემდეგ, ფირი ფრთხილად იქნა აძრობილი. შედეგად, ჩვენ მივიღეთ იდეალური ტექნოლოგიურად ერთგვაროვანი ელასტიური ფირი, რომელიც აკმაყოფილებს პრაქტიკული გამოყენების მოთხოვნებს. მომზადებული ფილმი შეიცავს ფაზურად განცალკევებულ კომპოზიტებს აგრეგაციული მიკროკაფსულების სახით სასურველი შეფუთვით და სივრცით განაწილებით. ამგვარად მიღებულ მიკროკაფსულებს ჩვეულებრივ აქვთ ერთიანი ზომა 10-დან 15 მკმ-მდე. ნარევების ფოტო გადართვის მახასიათებელი და შთანთქმის სპექტრები შესწავლილი იყო UV/VIS სპექტრომეტრის გამოყენებით (AvaSpec 2048, Avantes) ოთახის ტემპერატურაზე.

ჩაწერის წაშლის ციკლების რაოდენობა, რომელიც შეიძლება აღწეროს სპოტკ ფირმა, არის კრიტიკული ექსპერიმენტული პარამეტრი. ამიტომ, სპიროპირანის ფოტოქრომულ საღებავებთან მუშაობისას მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული დროთა განმავლობაში ფოტოსტაბილურობაც. განმეორებითი ციკლების შესაძლებლობის შესასწავლად ჩატარდა ექსპერიმენტები სპოტკ ფენების გაუფერულობაზე UV და ხილული სინათლის გამოსხივების ზემოქმედებით. მეროციანინების (მც) სინათლით გამოწვეული გარდაქმნიდსათვის, ფირები დასხივებული იყო 100-W HG 100 AS ვერცხლისწყლის ნათურით (Jelosil) 2800-400 ნმ გამტარი ფილტრით. უფერულ ფორმაზე საპირისპირო გადასვლა მიღებულ იქნა იმავე სინათლის წყაროს გამოყენებით 540-630 ნმ დიაპაზონის გამტარი ფილტრით. ციკლში სისტემა გარდაიქმნება სპ კონფიგურაციიდან მც კონფიგურაციაში და შემდეგ ისევ სპ ფორმაში. თუ ციკლში დეგრადაციის ხარისხი არის x , მაშინ არადეგრადირებული y -ის პროპორცია n ციკლის შემდეგ არის $y = (1 - x)n$. ძალიან მცირე x -სთვის და ძალიან დიდი n -ისთვის, ეს გამოხატულება შეიძლება მიახლოებით იყოს $y \approx 1 - nx$. შთანთქმის საშუალო გაზომილი შემცირება ორმოცდაათი ციკლის შემდეგ სპოტკ ფირზე აღმოჩნდა 0.08 (გამოსავალი = 92%). ეს მიახლოებითი მნიშვნელობა გამოიყენებოდა შთანთქმის გამოსათვლელად და ექსპერიმენტული შედეგების შესადარებლად 300 ციკლზე. ჩატარდა ოპტიკური გაზომვები, რათა შედარებულიყო გამოთვლილი ოპტიკური სიმკვრივე ციკლების რაოდენობის მიხედვით ექსპერიმენტულ შედეგებთან. ულტრაიისფერი გამოსხივების ექსპოზიციის დრო დაყენებული იყო 20 წამზე. უკან გადართვის ექსპოზიციის დრო დაყენებული იყო 20 წმ-ზე. გაზომვები ჩატარდა დასხივებისთანავე. ორ ციკლს შორის დროის ინტერვალი დაყენდა 2 წთ. როგორც სურათზე ნაჩვენებია 300 წაშლა-ჩაწერის ციკლის შემდეგაც კი, მც ფორმის შთანთქმის ეფექტურობა საკმარისად მაღალია და მისაღებია ოპტიკური კონტრასტული გამოსახულების შესაქმნელად.

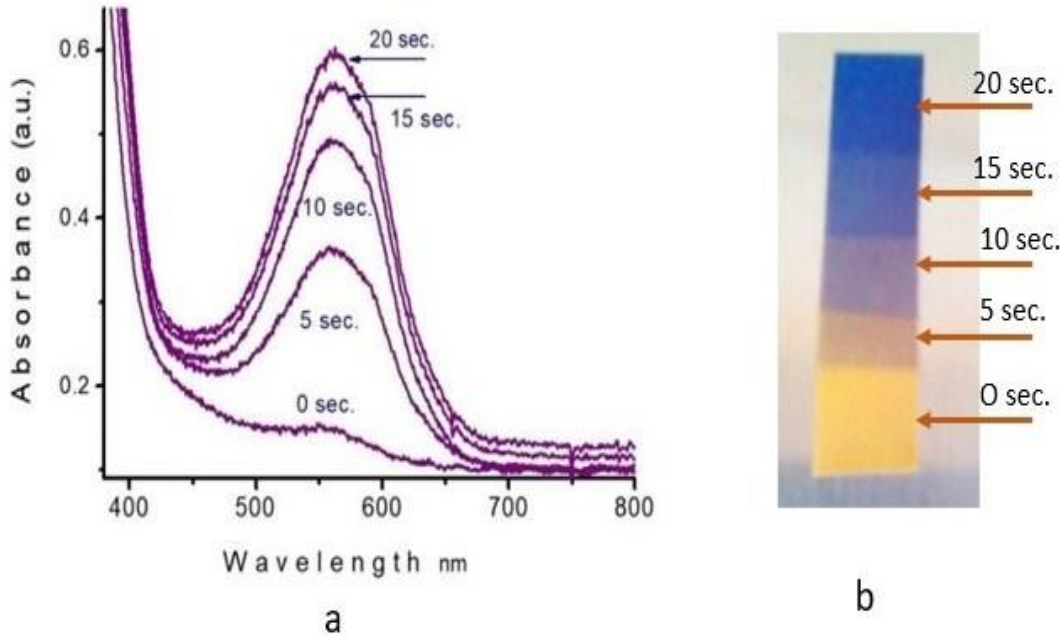


უი დოზის კალიბრაცია განხორციელდა UVA+UVB გამოსხივების სერიის გამოვლენით სპოტკ ღირის ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე, ხოლო ექსპოზიციების გაზომვისას გამოყენებული იქნა Solar Light's UV Minder Model 3D ინტენსივობის რადიომეტრი, რომელიც ზუსტად ზომავს ორივე გამოსხივებას. UV-A და UV-B სპექტრებს.



უი გამოსხივების დოზიმეტრი

5x1 სმ ზომის სპოტკს ფირი დასხივდა 5, 10, 15 და 20 წამის ინტერვალით. თითოეული ამ ექსპერიმენტისთვის ოპტიკური სიმკვრივე გაზომილი იყო ექსპოზიციამდე და უშუალოდ ექსპოზიციის შემდეგ. ქვედა მარცხენა სურათზე ნაჩვენებია სპექტრალური მრუდები, რომლებიც გვიჩვენებს ფირის შთანთქმის ზრდას დასხივების ექსპოზიციის ზრდასთან ერთად. ხოლო მარჯვენა სურათზე ნაჩვენებია სპოტკს ფირის ფერის ცვლილება მოყვითალოდან მუქ ლურჯამდე, როდესაც ექსპოზიციის ხანგრძლივობა იცვლება 0 წამიდან 20 წამამდე.



ამის შემდეგ გამოთვლილი იქნა რადიაციის ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებული UVB, შემდეგი ფორმულით

$$I_{UVB}(\lambda) = \int_{\lambda_m}^{\lambda_n} I(d\lambda) = \int_{\lambda_{280}}^{\lambda_{320}} I(d\lambda) \quad (1)$$

სადაც λ_m და λ_n არის UV-B სპექტრის საწყისი და ბოლო წერტილები. ხოლო მზის უი გამოსხივების ინტეგრირება დროთა განმავლობაში იძლევა კუმულაციური ექსპოზიციის ინტენსივობას სპოტკს ფირზე:

$$I_{UVB}(t, \lambda) = \int_{t_0}^{t_k} I(dt) \int_{\lambda_m}^{\lambda_n} I(d\lambda) = \int_{t_0}^{t_k} I(dt) \int_{\lambda_{280}}^{\lambda_{320}} I(d\lambda) \quad (2)$$

სადაც t_0 შეესაბამება SPLCP ფირის მდგომარეობას მზის შუქზე ზემოქმედებამდე და t_k არის მზის შუქზე ექსპოზიციის მაქსიმალური დრო. UVB სპექტრის მსგავსად, მზის გამოსხივების UVA ინტენსივობა, როგორც ტალღის სიგრძის ფუნქცია, შეიძლება გამოითვალოს როგორც:

$$I_{UVA}(\lambda) = \int_{\lambda_i}^{\lambda_j} I(d\lambda) = \int_{\lambda_{320}}^{\lambda_{400}} I(d\lambda) \quad (3)$$

λ_i და λ_j არის UVA სპექტრის საწყისი და დასასრული წერტილები. ისევე როგორც UV-B ზემოქმედების შემთხვევაში, მზის UV A-ს ინტეგრირება დროთა განმავლობაში იძლევა კუმულაციური ექსპოზიციის ინტენსივობას სპოტკ ფირზე.

$$I_{UVA}(t, \lambda) = \int_{t_0}^{t_k} I(dt) \int_{\lambda_i}^{\lambda_j} I(d\lambda) = \int_{t_0}^{t_k} I(dt) \int_{\lambda_{320}}^{\lambda_{400}} I(d\lambda) \quad (4)$$

UVB და UVA გამოსხივების ინტენსივობების დაჯამებით ჩვენ ვღებულობთ სპოტკ ფირზე მზის ტოტალურ დასხივებულ ინტენსივობას,

$$I_{UVA}(t, \lambda) + I_{UVB}(t, \lambda) = \int_{t_0}^{t_k} I(dt) \int_{\lambda_{320}}^{\lambda_{400}} I(d\lambda) + \int_{t_0}^{t_k} I(dt) \int_{\lambda_{280}}^{\lambda_{320}} I(d\lambda) \quad (5)$$

მე-5 განტოლების გამოყენებით გამოთვლილი იქნა სპოტკ ფირის მიერ შთანთქმული ტოტალური ენერგია, ექსპოზიციის 5, 10, 15 და 20 წამის განმავლობაში. იმისათვის, რომ მიღებული შედეგების სიზუსტე, ჩვენ გავასაშუალოედ თითოეულ დღეს მიღებული შედეგები,

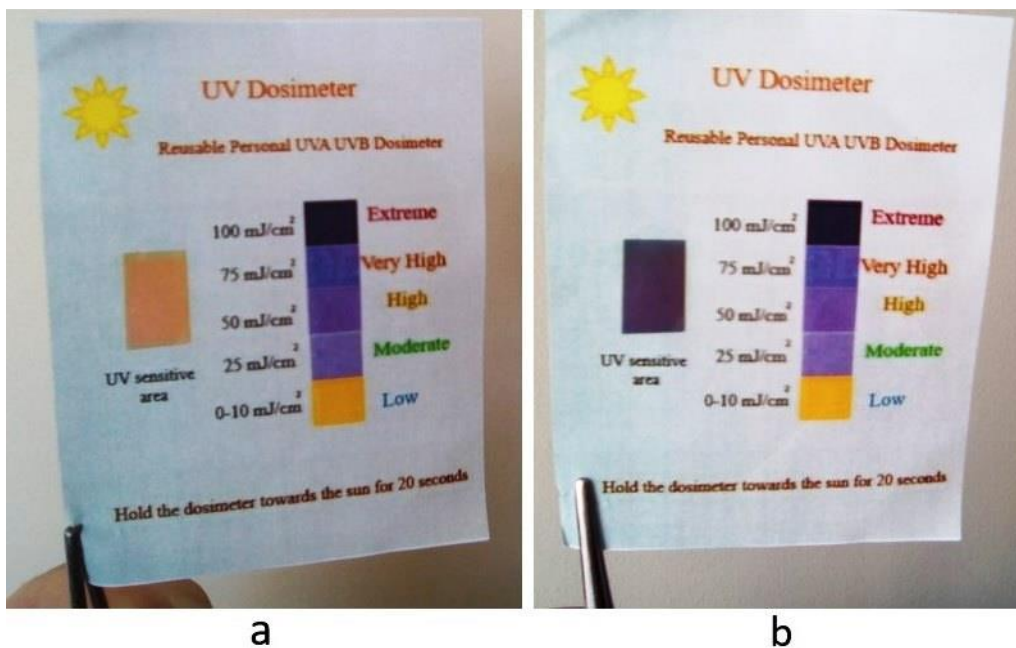
$$\sum_N^M I_{UVA,B}(t, \lambda) = \sum_N I_{UVA}(t, \lambda) + I_{UVB}(t, \lambda) / N + \sum_M I_{UVA}(t, \lambda) + I_{UVB}(t, \lambda) / M \quad (6)$$

სადაც N არის დღეების რაოდენობა და M არის ექსპერიმენტების რაოდენობა დღეში. ციფრული კამერით გადაღებული სპოტკ ფირის გამოსახულებები რაოდენობრივად გაანალიზდა, რათა განისაზღვრულიყო ფირის ტონალური ცვლილება და, რადიაციული დოზის სათანადოდ დაკალიბრება. ქვემოთ, ცხრილი გვიჩვენებს შეფერილობის ცვლილებას UVA+UVB-ზე ზემოქმედებაზე 5, 10, 15 და 20 წამის განმავლობაში 25, 50, 75 და 100 მჯ/სმ² ინტენსივობით. UVA+UVB-ის ინტენსივობის გაზრდა იწვევს სპოტკ ფირის შეფერილობის ზრდას. უფერულ მდგომარეობაში დაბრუნება ხდება სპონტანურად UVA+UVB მზის სხივების მოცილების შემდეგ.

ექსპოზიციის დრო წამებში	ექსპოზიციის ენერგია მჯ/სმ ²	ფირის ტონალობა	ექსპოზიციის კატეგორია
0	0 მჯ/სმ ²		დაბალი
5	25 მჯ/სმ ²		ზომიერი

10	50 მჯ/სმ ²		მაღალი
15	75 მჯ/სმ ²		ძალიან მაღალი
20	100 მჯ/სმ ²		ექსტრემალური

ექსპერიმენტების შედეგად, ჩვენ დავამზადეთ UVA+UVB დოზიმეტრი ლამინირებული ბარათის სახით, რომელიც მომხმარებლებს საშუალებას აძლევს შეაფასონ მავნე UV გამოსხივება ბარათზე მიმაგრებული UV-მგრძნობიარე სპოტკვ ფირის ფერის ტონის ცვლილების ვიზუალური მონიტორინგით.



UVA+UVB რადიაციის გამოზომი მრავალჯერადი გამოყენების პერსონალური დოზიმეტრი

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. Gia Petriashvili, Ketevan Chubinidze, Tamara Tatrishvili, Elene Kalandia, Ana Petriashvili, Mariam Chubinidze
2. Mauro Daniel Luigi Bruno, Erica Fuoco, Gia Petriashvili, Giuseppe Papuzzo, Agostino Forestiero, Stefano Sinopoli, Umberto Emanuele, Riccardo Cristoforo Barberi, and Maria Penelope De Santo
3. Gia Petriashvili, Andro Chanishvili, Nino Ponjavidze, Ketevan Chubinidze, Tamara Tatrishvili, Elene Kalandia, Ana Petriashvili, Tamar Makharadze
4. Omar Mukbaniani, Tamara Tatrishvili, Nikoloz Kvnikadze, Tinatini Bukia, Nana Pirtskheliani, Tamar Makharadze, Gia Petriashvili

5. Omar Mukbaniani, Tamara Tatrishvili, Nikoloz Kvinikadze, Tinatin Bukia, Zurab Pachulia, Nana Pirtskheliani, Gia Petriashvili

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. LIGHT-STIMULATED LOWERING OF GLUCOSE CONCENTRATION IN A DEXTROSE SOLUTION MEDIATED BY MEROCYANINE MOLECULES, 10.17222/mit.2022.639, ISSN- ISSN 1580-2949

2. Cholesteric Liquid Crystals Based Micro-Fingerprints Generator for Anti-Counterfeiting Labels, DOI- 10.1002/admt.202300613

3. Crystal Smectic G Phase Retarder for the RealTime Spatial-Temporal Modulation of Optical Information

4. BAMBOO-CONTAINING COMPOSITES WITH ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BINDERS

5. FRIEDEL-CRAFTS REACTION OF VINYLTRIMETHOXYSILANE WITH STYRENE AND COMPOSITE MATERIALS ON THEIR BASE

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Materials and technology, (57) 2, 2023

2. Adv. Mater. Technol., 8, 2300613, 2023

3. Chem. Chem. Technol., Vol. 17, No. 4, pp. 758–765

4. Chem. Chem. Technol., 2023, Vol. 17, No. 4, pp. 807–819

5. Chem. Chem. Technol., 2023, Vol. 17, No. 2, pp. 325–338

4) გვერდების რაოდენობა

1. 7

2. 9

3. 8

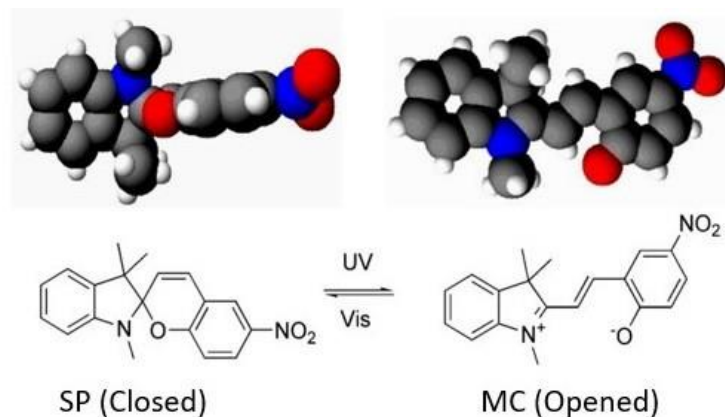
4. 13

5. 14

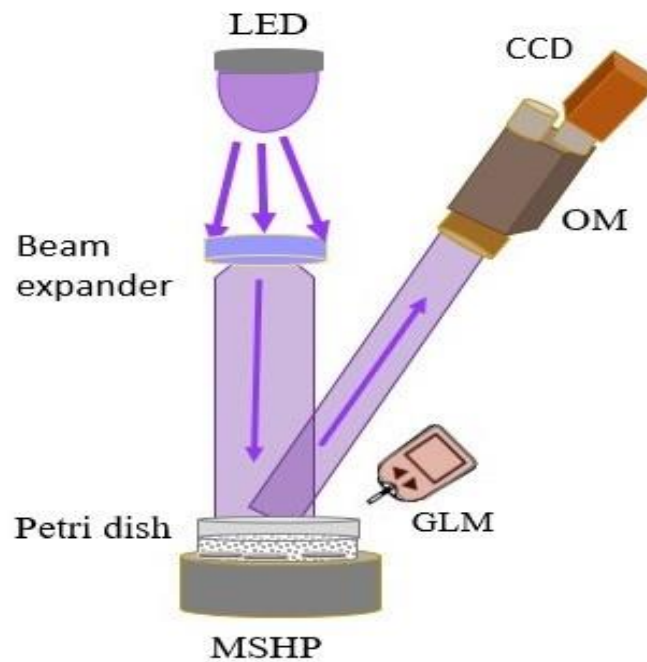
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. შაქრიანი დიაბეტი არის ქრონიკული მეტაბოლური დაავადება, რომელიც იწვევს გულის შეტევებს, ინსულტს, თირკმლის უკმარისობას, სიბრმავეს და ქვედა კიდურების ამპუტაციას. დღესდღეობით, დიაბეტით და მისი გართულებებით დაავადებული ადამიანების რიცხვი იზრდება, რაც ნაწილობრივ გამოწვეული მსოფლიოში არსებული ცხოვრების პირობებით: უმოძრაო ცხოვრების წესი, ცხიმოვანი დიეტა, სიმსუქნე და სიცოცხლის გახანგრძლივება. დიაბეტი გახდა გლობალური ჯანმრთელობის პრობლემა, რადგან ის არის ყველაზე გავრცელებული კლინიკური დაავადება, რომელიც გავლენას ახდენს მსოფლიოს მოსახლეობის თითქმის 10%-ზე და მუდმივად იზრდება დღითიდღე. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციამ (WHO) იტყობინება, რომ ყოველწლიურად დაახლოებით 1,1 მილიონი ადამიანი იღუპება დიაბეტის გართულებებით, ხოლო სიკვდილიანობის მაჩვენებელი 2030 წელს 50%-მდე გაიზრდება. მიუხედავად იმისა, რომ ინსულინი წარმოადგენს სასიცოცხლო

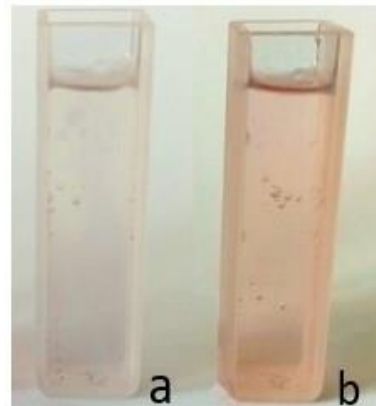
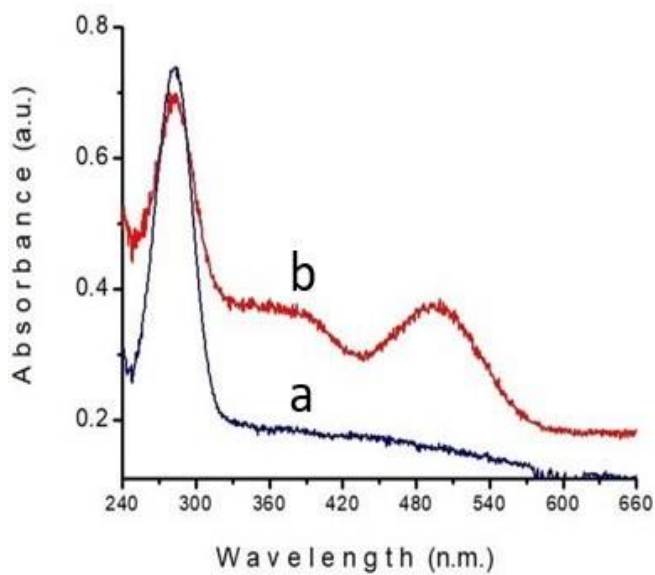
თერაპიულ დახმარებას დიაბეტით დაავადებულთათვის, ამჟამად ის აღარ განიხილება პირველ არჩევანად მეორე ტიპის დიაბეტისთვის და ჩნდება ახალი თერაპიული შესაძლებლობების ფართო სპექტრი. მიუხედავად იმისა, რომ მათ შეიძლება არ ჰქონდეთ ინსულინივით ძლიერი ზემოქმედება, მინიმუმ, ისინი იძლევიან ინსულინის გამოყენების ინტენსივობის მნიშვნელოვანი შემცირების შესაძლებლობას. ამიტომ, გლუკოზის დამაქვეითებელი ახალი მედიკამენტების ძიება მინიმალური ან ყოველგვარი გვერდითი ეფექტების გარეშე, უდავოდ წარმოადგენს აქტიურ გამოწვევას მთელი მსოფლისათვის. სინათლით გააქტიურებული და სინათლით კონტროლირებადი წამლების მიწოდების სისტემები გვთავაზობენ მნიშვნელოვან უპირატესობებს სხვა სტიმულებთან შედარებით, რადგან სინათლე არის მიმზიდველი და უსაფრთხო სტიმული მიკრონის ან ქვემიკრონის ზომების მქონე არეებზე კონტროლირებადი ზემოქმედებით, რომელიც გამოირჩევა არაინვაზიურობითა და არადესტრუქციულობით. ასევე ზუსტად კონტროლირებადი მიმართულებითა და წვდომობით, რომელსაც შეუძლია წამლის გათავისუფლება სასურველ დროსა და სასურველ ადგილას, ისე რომ, ხდება მხოლოდ სასურველ უჯრედებზე დამიზნება და არა მიმდებარე ჯანსაღ ქსოვილებზე. სინათლის კონტროლირებადი მოლეკულური გადამრთველების ერთ-ერთი უნიკალური მაგალითია სპიროპირანი (SPs), რომლის დახურული რგოლი, ჰიდროფობიური იზომერი გარდაიქმნება ძლიერ პოლარულ, გახსნილ რგოლზე მეროცინანის (MC) იზოფორმად ულტრაიისფერი სინათლის ზემოქმედების შედეგად, ხოლო საპირისპირო რეაქცია შეიძლება გამოწვეული იყოს ხილული სინათლით ან სითბოთი. ჩვენს მიერ მომზადებულია SP დოპირებული თხევადი კრისტალური (თკ) მიკროსფეროები, ემულგირებული 5% დექსტროზის (D-გლუკოზა) ხსნარში და ნაჩვენებია, რომ, რომ სინათლის გამომსხივებელი დიოდის დასხივების შედეგად, სპ იზოფორმები გარდაიქმნება თავისსავე მც იზოფორმებად, რაც თავის მხრივ ასტიმულირებს მც იზოფორმებს გადაადგილდნენ თკ-დექსტროზის ხსნარის ინტერფეისში და ურთიერთქმედებენ გლუკოზის მოლეკულებთან, რაც იწვევს ხსნარში გლუკოზის მთლიანი კონცენტრაციის 20%-ით შემცირებას. ექსპერიმენტებში გამოყენებული იყო შემდეგი ნივთიერებები: ნემატური მატრიცა ZLI-1639, ფოტოქრომული მოლეკულა სპიროპირანი SP- 1', 3', 3'-Trimethyl-6-nitro-1', 3'-dihydrospiro[chromene-2,2'-indole] და 5%-იანი დექსტროზის ხსნარი.



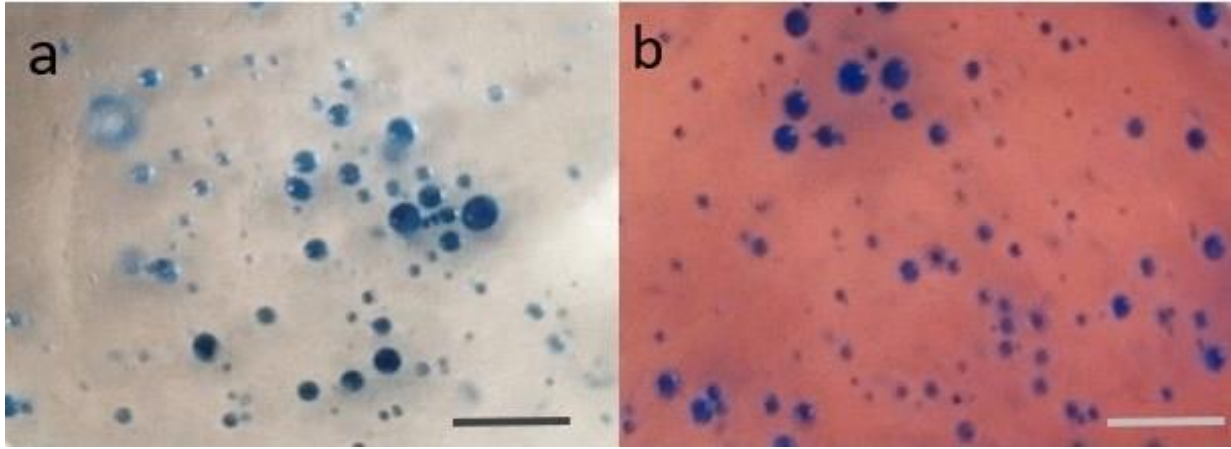
სპ-ის ორგანოზომილებიანი და სამგანზომილებიანი სტრუქტურები და სინათლით კონტროლირებადი გადასვლები სპ და მც ფორმებს შორის



ექსპერიმენტალური დანადგარი



5% იანი გლუკოზის შთანთქმის სპექტრი სინათლით დასხივებამდე და დასხივების შემდეგ. კვარცის კუვეტებში მოთავსებული 5% დექსტროზაში ჩამატებული სპ-ის ხსნარი სინათლის დასხივებამდე და დასხივების შემდეგ.



ოპტიკური მიკროსკოპში ნაჩვენები 5% დექსტროზაში ჩამატებული თკ/სპ მიკროსფეროები სინათლით დასხივებამდე (მარცხნივ) და დასხივების შემდეგ (მარჯვნივ)

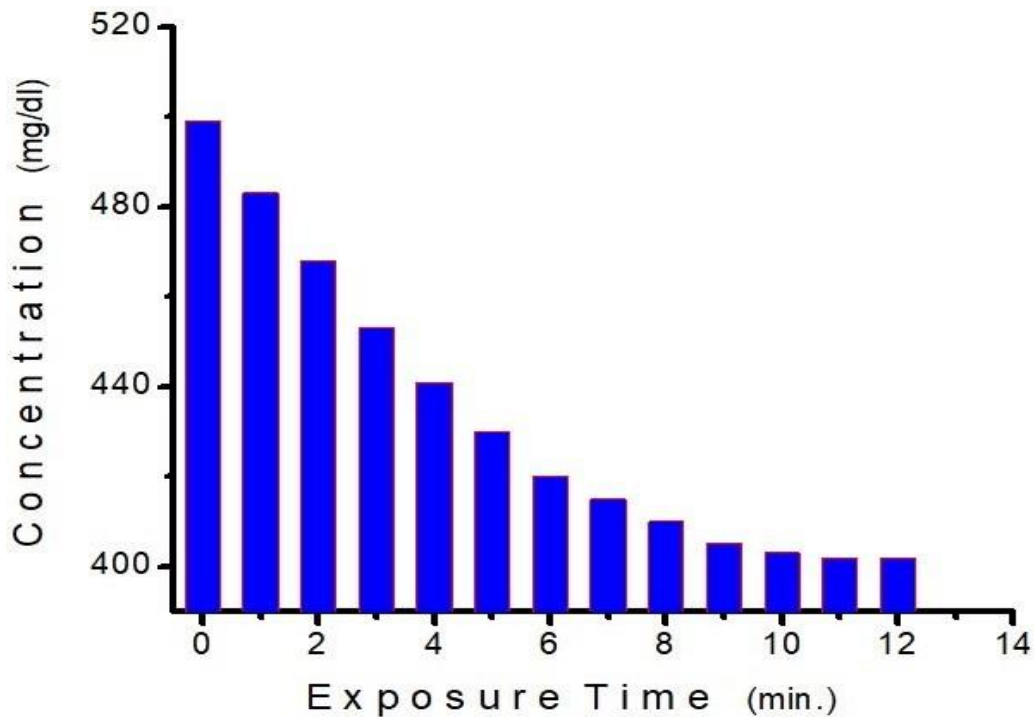
ექსპერიმენტები ჩატარდა ათჯერ და მიღებული მონაცემები გამოითვალა საშუალო არითმეტიკულის გამოყენებით შემდეგი განტოლების მიხედვით:

$$\sum_n E(n) \sum_t E(t) / n$$

სადაც n არის ჩატარებული ექსპერიმენტების რაოდენობა, t არის ექსპოზიციის დრო. ჩვენს შემთხვევაში, ექსპერიმენტების რაოდენობა არის 10 და თითოეულ ექსპერიმენტში, ექსპოზიციის დრო მერყეობდა 0-დან 12 წუთამდე. შესაბამისად, განტოლება ზედა შეიძლება გადაიწეროს შემდეგნაირად:

$$\sum_{n=1}^{10} E(n) \sum_{t=0}^{12} E(t) / 10$$

მოცემული განტოლებაზე საფუძველზე, ჩვენ ავაგეთ სპ-თკ/დექსტროზის ემულსიაში გლუკოზის კონცენტრაციის ცვლილების დამოკიდებულება სინათლით დასხივებაზე.



გლუკოზის კონცენტრაციის ცვლილების დასახივებაზე დამოკიდებულება სპ-ტვ/დექსტროზა ემულსიაში

ჩვენ ვარაუდობთ, რომ შემოთავაზებულ მეთოდს შეუძლია უზრუნველყოს სისხლში გლუკოზის კონცენტრაციის დინამიურად კორექტირების შესაძლებლობა საჭირო დოზით და შესაბამის დროს რაც შეიძლება წინგადადმული ნაბიჯია მეორე ტიპის დიაბეტის არაინვაზიური მკურნალობის გზაზე.

2. კვლევაში წარმოდგენილია მეთოდი ოპტიკური თითის ანაბეჭდის მსგავსი შაბლონების შესაქმნელად. მეთოდი ეყრდნობა კომერციულად ხელმისაწვდომი ქირალური ნემატური თხევადი კრისტალების (ქნთკ) გამოყენებას, რომლებიც შემოფარგლულია მიკროსფეროებში. მიკრომეტრულ ობიექტებზე მაღალი სიხშირის ძაბვის გამოყენებით მიიღება სპეციფიკური ოპტიკური ტექსტურა, რომელსაც შეუძლია დაამახინჯოს მოლეკულური მიმართულებების ორიენტაცია. ტექსტურის სტაბილიზაცია შესაძლებელია ქნთკ-ის ფოტომგრძნობიარე ნივთიერებების ჩამატებით. თითოეულ მიკროსფეროში წარმოიქმნება თითის ანაბეჭდის მსგავსი არაკლონირებადი, ერთმანეთისაგან განსხვავებული შაბლონი, რომელიც წარმოიქმნება სრულიად შემთხვევითი გზით. ოპტიკური შაბლონების შენახვა შესაძლებელია ხელოვნური თითის ანაბეჭდების მონაცემთა ბაზის შესაქმნელად ან ელექტროლუმინესცენტური ეტიკეტების დასამზადებლად, რათა გამოყენებულ იქნას, როგორც კომპლექსური გაყალბების საწინააღმდეგო მოწყობილობები. შემუშავებულია კომპიუტერული ავთენტურობის პროგრამული უზრუნველყოფა და გამოყენება შესაძლებელია გაყალბების საწინააღმდეგო სისტემის გამძლეობის შესამოწმებლად.

3. დამზადებული და შესწავლილი იქნა ახალი, სინათლის ფაზური ჩამომრჩენი ფირფიტა, რომელიც ეფუძნება ისეთ იშვიათ და ნაკლებად შესწავლილ თხევადკრისტალურ ფაზას,

როგორც კრისტალური სმექტური G-ფაზა, რომელიც მიღებულია ორი სერტიფიცირებული ნემატური ნარეგების შერევით. მისი სამგანზომილებიანი კრისტალური სტრუქტურისა და ერთდერმა სიმეტრიის გამო, კრისტალური სმექტური G-ფაზაზე დაფუძნებული ფაზური ჩამომრჩენი მასზე დაცემულ, ოპტიკური ღერძისადმი მართობულ სინათლეს ყოფს ორ ურთიერთ ორთოგონალურ წრფივ პოლარიზაციულ კომპონენტად და ქმნის ფაზურ სხვაობას მათ შორის. სინათლის ფაზური ჩამომრჩენი გამჭვირვალეა ოპტიკური სპექტრის ულტრაიისფერ, ხილულ და ახლო ინფრაწითელ უბნებში. მისი თერმული მდგრადობა ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში, მაღალი ორმაგ სხივთაცხვა, მაღალი სიმტკიცე და დაბალფასიანი ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა შეიქმნას სხვადასხვა ტიპის ფაზური ფირფიტები, რომლებსაც შეუძლიათ ფართე გამოყენება პოვონ ოპტიკასა და პოლარმეტრიაში.

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. Nino Ponjavidze, Gia Petriashvili, Andro Chanishvili, Ketevan Chubinidze, Amiran Bibilashvili
2. Gia Petriashvili, Andro Chanishvili, Nino Ponjavidze, Ketevan Chubinidze, Elene kalandia, Ana Petriashvili and Tamar Makharadze
3. Gia Petriashvili, Archil Chirakadze, Tamaz Sulaberidze, Ketevan Chubinidze, Tamar Tatrishvili, Elene Kalandia, Tamar Makharadze, Ana Petriashvili, Mariam Chubinidze
4. Ketevan Chubinidze, Gia Petriashvili, Tamara Tatrishvili, Elene kalandia, Irine Khubua, Tamar Makharadze, Mariam Chubinidze, Ana Petriashvili
5. Tsisana Zurabishvili, Lali Devadze, Nino Sepashvili, Gia Petriashvili, Andro Chanishvili, Svetlana Tavzarashvili, Ketevan Chubinidze, Nino Ponjavidze
6. Tamar Makharadze, Tamara Tatrishvili, Gia Petriashvili, Giorgi Makharadze, Ketevan Chubinidze

2) მოხსენების სათაური

1. Cholesteric Liquid Crystal Based Photochromic Smart Windows
2. SMECTIC LIQUID CRYSTAL-G PHASE RETARDER
3. DEVELOPMENT OF DIABETES MELLITUS TREATMENT ALTERNATIVE MODALITY BASED ON PHOTOCHROMIC DRUG DELIVERY MICROCAPSULES
4. EXTERNAL STIMULI ACTIVATED SINGLE AND MULTI-DRUG DELIVERY SYSTEMS BASED ON LIQUID CRYSTAL MICRO CONTAINERS
5. THERMO AND PHOTOCHROMIC LIQUID CRYSTAL POLYMER COMPOSITES FOR THE DISPLAYING OF OPTICAL INFORMATION. CALCULATION METHODOLOGY OF STABILITY CONSTANTS OF FULVATE COMPLEXES
6. CALCULATION METHODOLOGY OF STABILITY CONSTANTS OF FULVATE COMPLEXES

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. Tbilisi, Georgia, August 1-3, 2023

2. Tbilisi, Georgia, August 1-3, 2023
3. Tbilisi, Georgia, August 1-3, 2023
4. Tbilisi, Georgia, August 1-3, 2023
5. Tbilisi, Georgia, August 1-3, 2023
6. Tbilisi, Georgia, August 1-3, 2023

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

8. 2. უცხოეთში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. Gia Petriashvili, Nino Ponjavidze, Tamaz Sulaberidze, David Tavkhelidze, Ketevan Chubinidze, Riccardo Barberi, and Maria Penelope De Santo
2. Makharadze Tamar, Petriashvili Gia, Makharadze Giorgi, Tatrishvili Tamara, Chubinidze Ketevan
3. Gia Petriashvili, Nino Ponjavidze, Andro Chanishvili, Ketevan Chubinidze, and Tamar Tatrishvili

2) მოხსენების სათაური

1. Temperature Regulated Photonic Cholesteric Liquid Crystal Based Smart Window
2. Gel Chromatographic Method as the best Method for Investigation of Fulvate Complexes
3. Quantum Dots Doped Cholesteric Liquid Crystals Based Solar Concentrator

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. Barcelona, Spain, September 25-27, 2023
2. 16-18 ოქტომბერი, 2023 წელი, მელბურნი, ავსტრალია
3. Paris, France, December 13-15, 2023

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული კვლევების ლაბორატორია
(ლაბორატორიის გამგე – ფიზ. მათ. მეც. კანდიდატი ბარბარა
კილოსანიძე)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) 2023 წლის გეგმით გათვალისწინებული ამოცანები, პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. ახალი მაღალეფექტური პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალების შემუშავება ოპტიმალური ვექტორული პარამეტრებით.
2. პოლარიზაციული სენსიტომეტრიის ახალი სისტემა.
3. პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული სპექტროელიფსომეტრის შემუშავება.
4. ჩვენს მიერ შემუშავებული გამოსახულების სტოქსის სპექტროპოლარიმეტრის მოდიფიცირება და გამოყენება.
5. პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიის მეთოდების მეცნიერულ და პრაქტიკულ ამოცანებში გამოყენება.

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023-2024
2. 2023-2024
3. 2023-2025
4. 2023-2027
5. 2023

2) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. **ირაკლი ჩაგანავა** - პროექტის ხელმძღვანელი, პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალების მიღების ტექნოლოგიის მოდიფიცირება, მიღებული შედეგების კომპიუტერული დამუშავება; **გიორგი კაკაურიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება, ფოტომეტრული დანადგარის შექმნა; **ბარბარა კილოსანიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება; **იური მშვენიერაძე** - ოპტოელექტრონული სისტემის შემუშავება; **ვლადიმერ დადივაძე** - ავტომატური გამზომი კომპლექსის შექმნა.

2. **გიორგი კაკაურიძე** - პროექტის ხელმძღვანელი, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი, ფოტომეტრული დანადგარის შექმნა; **ბარბარა კილოსანიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და

მონაცემთა დამუშავება; **ირაკლი ჩაგანავა** - პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალების მიღების ტექნოლოგიის მოდიფიცირება, მიღებული შედეგების კომპიუტერული დამუშავება; **იური მშვენიერაძე** - ოპტოელექტრონული სისტემის შემუშავება; **ვლადიმირ დადივაძე** - ავტომატური გამზომი კომპლექსის შექმნა..

3. **ბარბარა კილოსანიძე** - პროექტის ხელმძღვანელი, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი; **გიორგი კაკაურიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება, ლაბორატორიული მოდელის შექმნა; **ირაკლი ჩაგანავა** - ფიზიკურ-ქიმიური ტექნოლოგია, მიღებული შედეგების კომპიუტერული დამუშავება; **იური მშვენიერაძე** - ოპტოელექტრონული სისტემის შემუშავება; **ვლადიმირ დადივაძე** - ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება, ავტომატური გამზომი კომპლექსის შექმნა.

4. **ბარბარა კილოსანიძე** - პროექტის ხელმძღვანელი, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება; **გიორგი კაკაურიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება, ლაბორატორიული მოდელის შექმნა; **ირაკლი ჩაგანავა** - ფიზიკურ-ქიმიური ტექნოლოგია, მიღებული შედეგების კომპიუტერული დამუშავება; **იური მშვენიერაძე** - ოპტოელექტრონული სისტემის შემუშავება; **ვლადიმირ დადივაძე** - ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება, ავტომატური გამზომი კომპლექსის შექმნა.

5. **ვლადიმერ ტარასაშვილი** - პროექტის ხელმძღვანელი, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები, მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი, ექსპერიმენტული დანადაგრის შექმნა; **ანა ფურცელაძე** - თეორიული მოდელები, მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი; **ვალენტინა შავერდოვა** - მარეგისტრირებელი არეების მიღება და კვლევის მეთოდების შექმნა; **სვეტლანა პეტროვა** - ფიზიკურ-ქიმიური ტექნოლოგიური სამუშაოები.

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. ახალი მაღალეფექტური პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალების შემუშავება ოპტიმალური ვექტორული პარამეტრები (ფიზიკური მეცნიერებები, მასალათმცოდნეობა, ფიზიკური ქიმია, ოპტიკური მასალები).

2. პოლარიზაციული სენსიტომეტრიის ახალი სისტემა (ფიზიკური მეცნიერებები, ოპტიკა, მასალათმცოდნეობა, ფიზიკური ქიმია, ოპტიკური მასალები).
3. პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული სპექტროელიფსომეტრის შემუშავება (ფიზიკური მეცნიერებები, ოპტიკა, ინჟინერია და ტექნოლოგიები).
4. ჩვენს მიერ შემუშავებული გამოსახულების სტოქსის სპექტროპოლარიმეტრის მოდიფიცირება და გამოყენება (ფიზიკური მეცნიერებები, ოპტიკა, ასტრონომია, ინჟინერია).
5. პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიის მეთოდების მეცნიერულ და პრაქტიკულ ამოცანებში გამოყენება (ფიზიკური მეცნიერებები, ოპტიკა, ინჟინერია და ტექნოლოგიები).

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2024
2. 2023-2024
3. 2023-2025
4. 2023-2027

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. **ირაკლი ჩაგანავა** - პროექტის ხელმძღვანელი, პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალების მიღების ტექნოლოგიის მოდიფიცირება, მიღებული შედეგების კომპიუტერული დამუშავება; **გიორგი კაკაურიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება, ფოტომეტრული დანადგარის შექმნა; **ზარზარა კილოსანიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება; **იური მშვენიერაძე** - ოპტოელექტრონული სისტემის შემუშავება; **ვლადიმირ დადივაძე** - ავტომატური გამზომი კომპლექსის შექმნა.

2. **ზარზარა კილოსანიძე** - პროექტის ხელმძღვანელი, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი; **გიორგი კაკაურიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება, ლაბორატორიული მოდელის შექმნა; **ირაკლი ჩაგანავა** - ფიზიკურ-ქიმიური ტექნოლოგია, მიღებული შედეგების კომპიუტერული დამუშავება; **იური მშვენიერაძე** - ოპტოელექტრონული სისტემის შემუშავება; **ვლადიმირ დადივაძე** - ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება, ავტომატური გამზომი კომპლექსის შექმნა.

3. **გიორგი კაკაურიძე** - პროექტის ხელმძღვანელი, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი, ფოტომეტრული დანადგარის შექმნა; **ზარზარა კილოსანიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება; **ირაკლი ჩაგანავა** - პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალების მიღების ტექნოლოგიის მოდიფიცირება, მიღებული შედეგების კომპიუტერული დამუშავება; **იური მშვენიერაძე** - ოპტოელექტრონული სისტემის შემუშავება; **ვლადიმირ დადივაძე** - ავტომატური გამზომი კომპლექსის შექმნა.

4. **ბარბარა კილოსანიძე** - პროექტის ხელმძღვანელი, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება; **გიორგი კაკაურიძე** - თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება და მონაცემთა დამუშავება, ლაბორატორიული მოდელის შექმნა; **ირაკლი ჩაგანავა** - ფიზიკურ-ქიმიური ტექნოლოგია, მიღებული შედეგების კომპიუტერული დამუშავება; **იური მშვენიერაძე** - ოპტოელექტრონული სისტემის შემუშავება; **ვლადიმერ დადივაძე** - ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარება, ავტომატური გამზომი კომპლექსის შექმნა.

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ჩვენ ლაბორატორიაში შემუშავდა სხვადასხვა ტიპის პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალების მიღების ტექნოლოგიები. ფოტოანიზოტროპიის მაღალი მნიშვნელობები მიღებული იქნა აზოსაღებარების და პოლიმერების შემცავ მასალებში და აზოპოლიმერებში. ამდაგვარ მასალებში ფოტოანიზოტროპიის ინდუცირების მექანიზმი ძირითადად აიხსნებოდა სინათლის მგრძნობიარე ცენტრების ოსცილატორების ორიენტაციით, პერპენდიკულარულად მაინდუცირებელი წრფივად პოლარიზებული სინათლის ტალღის ელექტრული ვექტორის ორიენტაციის მიმართ. მაგრამ ამ სფეროში ჩვენი მრავალწლიანი გამოცდილებიდან გამომდინარე ფოტოანიზოტროპიის ინდუცირების მექანიზმი ამდაგვარ არეებში მოითხოვს დამატებით დაზუსტებას.

ჩვენ პირველად წამოვაცენეთ ჰიპოტეზა, რომ ფოტოანიზოტროპიის ინდუცირებაში ძირითადი წვლილი შეაქვს პოლიმერში მოწესრიგებული მიკროდამბულობების გაჩენა, გამოწვეული აზოსაღებარის მოლეკულების გეომეტრიული იზომერიზაციით წრფივად პოლარიზებული აქტინური სინათლის კვანტების შთანთქმისას, ამასთან ინდუცირებული ორმაგისხივთულების სიდიდე დამოკიდებულია პოლიმერის ფოტოდრეკადობის მნიშვნელობაზე. ამის დასადასტურებლად აუცილებელია ინდუცირებულ ფოტოანიზოტროპიაში როგორც აზოსაღებარების ასევე პოლიმერული მატრიცის შეტანილი წვლილის, მათი პოლარობის და ურთიერთინტეგრაციის გავლენის კვლევა.

აზობენზოლებზე დაფუძნებული სინათლით მართვადი კომპოზიციები დიდი პოპულარობით სარგებლობენ, როგორც ორგანული ფუნქციონალური მასალები. თუმცა, აზობენზოლზე დაფუძნებული მასალა არ მოქმედებს სპექტრის მოკლე ტალღოვან უბანში (475 ნმ-ზე ნაკლები), სადაც დამახასიათებელია საკმაოდ ინტენსიური შთანთქმა აზობენზოლის ყველა წარმოებულებიდან. ჩვენ გამოვცადეთ სტილბენის გამოყენებით, აზობენზოლის ანალოგი, რომელშიც არის ქრომოფორული ჯგუფი $-N=N-$ ჩანაცვლებულია $-CH=CH-$ -ით. სტილბენების შთანთქმის სპექტრი ხშირად გადადის ხილული არედანახლო ულტრაიისფერი. ამავდროულად, ამ კლასის ნივთიერებები ცნობილია გეომეტრიული იზომერიზაციის უნარით, რაც აუცილებელია ფოტოანიზოტროპიის გამოსაწვევად.

ამ კვლევის მიზანი იყო აზობენზოლის ანალოგის მიღება და მისი იდენტიფიცირება წრფივი პოლარიზებული ულტრაიისფერი გამოსხივების გამოყენების დროს. ეს კი მოგვცემს ინფორმაციის ჩაწერის საშუალებას მთელ ხილულ დიაპაზონში, რაც შეუძლებელია

ტრადიციული აზობენზოლის მასალების გამოყენების დროს. საანგარიშო პერიოდში მიღებულ იქნა სტილბენი იონოგენური ჯგუფებით. პოლიმერული მატრიცის სახით ჩვენ გამოვიყენეთ გარუჯული ქარხნულად დამზადებული ფოტოჟელატინის ფირები.

სტილბენის დიფუზიური დოპირება სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებით იქნა გამოყენებული რვა ნიმუშზე. გამხსნელის სრული აორთქლების შემდეგ, ჩვენ გამოვიკვლიეთ ორმაგისხივოტეხვის ინდუცირების შესაძლებლობა გამჭვირვალე კომპოზიციებში.

სტილბენის კომპოზიციაში ინდუცირებული ეფექტების კინეტიკისა და რელაქსაციის კვლევისთვის ჩვენ გამოვიყენეთ ლაბორატორიაში შემუშავებული ფოტომეტრული დანადგარი. მაინდუცირებელი სინათლის წყაროთ გამოვიყენეთ ულტრაიისფერი ლაზერი ტალღის სიგრძით 365 ნმ, ინტენსივობით 150 მვტ/სმ². ასევე ცალ-ცალკე გამოვიყენეთ სამი ტალღის სიგრძე, რათა დაფარულ იქნას მთელი ხილული დიაპაზონი. ზონდირებისთვის ჩვენ გამოვიყენეთ ლაზერები შემდეგი ტალღის სიგრძეებით: წითელი რეგიონი 656 ნმ, მწვანე 532 ნმ და ლურჯი 445 ნმ. ფოტოინდუცირებული ორმაგისხივოტეხვის შესამჩნევად დაბალი დონე აშკარად ასოცირდება ფოტოლუმინესცენციის გამოჩენასთან. თანმხლები ლუმინესცენციის აღმოფხვრა არის კრიტიკული პირობა ისეთი მიმზიდველი მასალის ადექვატური გამოყენებისთვის, როგორიცაა სტილბენები.

მიღებული შედეგები მოყვანილია სტატიაში *I.Chaganava, G.Kakauridze, B.Kilosanidze, L.Oriol, M. Piñol, "Photoanisotropy in a non-azobenzene composition with an extended operating range." In Laser Science (JW4A-14). Optica Publishing Group (under review).*

საანგარიშო პერიოდში უცხოელ კოლეგებთან თანამშრომლობით მიღებული წლებანდელი მიღწევები გამოქვეყნდა ორ სამეცნიერო ჟურნალში. მიმდინარე სამუშაო განხორციელდა შემდეგ კვლევით ჯგუფებთან კოლაბორაციის შედეგად: მეცნიერებისა და ტექნოლოგიის უნივერსიტეტი (Southern University of Science and Technology) შენჯენი, ჩინეთი და კენტის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მოწინავე მასალებისა და თხევადი კრისტალების ინსტიტუტი (Advanced Materials and Liquid Crystal Institute of Kent State University) კენტი, ოჰაიოს შტატი, აშშ. პირველი ნაშრომი მოიცავს პლაზმონიკური მოლეკულური ფოტოორიენტაციით მართული ბრტყელი ამრეკლი მიკროლინზური სისტემის შემუშავების დეტალებს. ტექნოლოგიაში გამოყენებული მასალის საკვანძო კომპონენტი სახელწოდებით SD-1 შემოთავაზებულია და სინთეზირებულია, ჩვენი ლაბორატორიის თანამშრომლის, ირაკლი ჩაგანავას მიერ {*H Yu, M Jiang, H Yun, Y Zhu, Y Qi, Z Zhou, I Chaganava, QH Wei, "Diffraction-limited flat reflective microlenses by plasmonic photopatterning of molecular orientations." JOSA B, 40(11), 2796-2800 (2023).*}. ასევე, ცალკეულ პუბლიკაციაში გამოქვეყნებულია თხელფენოვან თხევად კრისტალებში ნემატიკურად-იზოტროპული გადასვლის პროცესის დაზუსტებული დეტალები, რაც მანამდე განუხორციელებელ ამოცანად რჩებოდა ვინაიდან მკვლევარები იყენებდნენ მხოლოდ გაყიდვაში არსებულ შუქმგრძნობიარე კომპონენტებს. საკვლევი ობიექტის თხევადკრისტალური მასალის მნიშვნელოვნად გაუმჯობესება მოხდა, როდესაც კომერციული ქრომოფორი ჩანაცვლდა ჩვენი ლაბორატორიის წევრის მიერ დასინთეზებული ფუნქციური ბისაზოსაღებარით {*H Chen, M Jiang, Y Guo, I Chaganava, QH Wei, "Nematic-Isotropic Phase Transition in Thin Slabs of Liquid Crystal with Topological Defect Arrays." Soft Matter, 2023•pubs.rsc.org*}.

2. საანგარიშო პერიოდში ჩვენ შევიმუშავეთ სენსიტომეტრიის პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული მეთოდი პოლარიზაციულად მგრძნობიარე (ფოტოანიზოტროპული) მასალების მაინდუცირებელი პოლარიზებული სინათლის ზემოქმედებაზე რეაქციის მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის. რეაქციის ფუნქციების მნიშვნელობები გადამწყვეტ როლს თამაშობენ ოპტიმალური კონფიგურაციის მაღალეფექტური პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული ელემენტის შექმნაში. აქედან გამომდინარე, ამ ფუნქციების განსაზღვრის მარტივი და ტექნოლოგიური მეთოდის შემუშავება ძალზედ მნიშვნელოვანია.

აღვნიშნავთ, რომ პოლარიზებული სინათლის მიერ აღძრული ანიზოტროპიასა და გიროტროპიას და მაინდუცირებელი სინათლის პოლარიზაციის მახასიათებლებს შორის ურთიერთობის კანონზომიერება მიღებული იყო სტატიებში [12,26]. ფოტოინდუცირებული წრფივი და წრიული ორმაგსხივთების კომპლექსური კოეფიციენტები შედიან ამ კანონზომიერებაში და სკალარული (იზოტროპული) რეაქციის ფუნქცია სინათლის აქტინურ ინტენსივობაზე და ორ ვექტორულ რეაქციაზე - ანიზოტროპული რეაქცია წრფივად პოლარიზებულ სინათლეზე და გიროტროპული რეაქცია წრიულ პოლარიზებულ სინათლეზე შემოყვანილია პოლარიზაციულად- მგრძნობიარე მასალის ფოტოგამოძახილის აღსაწერად.

$$\hat{n}_{1,2}^2 = \hat{n}_0^2 + \hat{s}(I_1 + I_2) \pm \sqrt{[\hat{v}_L(I_1 - I_2)]^2 + [\hat{v}_G(I^+ - I^-)]^2},$$

აქ $\hat{n}_1$ და $\hat{n}_2$ მასალის ორმაგსხივთების კომპლექსური კოეფიციენტებია; $\hat{n}_0$ კომპლექსური გარდატეხის მაჩვენებელია საწყის დაუსხივებელ მდგომარეობაში; კომპლექსური გარდატეხის მაჩვენებელია $\hat{n} = n - in\tau$ (n გარდატეხის კოეფიციენტის რეალური ნაწილია, ხოლო τ - ექსტინქციის კოეფიციენტი); $\hat{s}$, $\hat{v}_L$ და $\hat{v}_G$ რეაქციის კომპლექსური ფუნქციებია; $I_1 + I_2$, $I_1 - I_2$ და $I^+ - I^-$ მაინდუცირებელი სინათლის პირველი, მეორე და მეოთხე სტოქსის პარამეტრია, შესაბამისად.

ჩვენ შევიმუშავეთ ახალი პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული მეთოდი ფოტოანიზოტროპული მასალების სკალარული და ორი ვექტორული რეაქციების მნიშვნელობების დასადგენად. ამისთვის გამოვიყენეთ ორი პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული მესერების ჩაწერა ჩამწერი აქტინური კონებით ორთოგონალური და პარალელური წრფივი პოლარიზაციის მდგომარეობებით შესასწავლი მასალის ორ მიმდებარე არეზე. ენერგეტიკული ექსპოზიცია ორივე შემთხვევაში ტოლი იყო. ამის შემდეგ ჩაწერილი მესერები შუქთებოდნენ ვერტიკალურად წრფივად პოლარიზებული არააქტინური სინათლის პარალელური კონით და იზომებოდა დიფრაგირებული კონების ინტენსივობა: $I_{per, -1}$, $I_{per, +1}$ და $I_{paral, -1}$.

შემუშავებულია ამ მეთოდის თეორიული მოდელი. მიღებულია პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული მესერების ჯონსის მატრიცები ორთოგონალური (ვერტიკალურ-ჰორიზონტალური) და პარალელურად ვერტიკალურად პოლარიზებული კონებით ჩაწერის შემთხვევაში. პარალელური ვერტიკალურად პოლარიზებული კონებით გაშუქებისას, მივიღეთ დიფრაგირებული კონების ჯონსის ვექტორები და შესაბამისი ინტენსივობები, რომლებიც ცალსახად დამოკიდებული მარეგისტრირებელი მასალის რეაქციის ფუნქციების მნიშვნელობებზე.

ჩამწერი და გამშუებელი კონების პოლარიზაციის მდგომარეობის შემოთავაზებულმა კომბინაციამ შესაძლებელი გახადა რეაქციის მნიშვნელობების უფრო მარტივი მნიშვნელობების მიღება. მიღებულია შემდეგი ფორმულები პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალის სკალარული და ვექტორული რეაქციების განსაზღვრისათვის

$$s = \frac{2\sqrt{I_{II,-1}} - (\sqrt{I_{I,-1}} + \sqrt{I_{I,+1}})}{K}, \quad v_L = \frac{\sqrt{I_{I,-1}} + \sqrt{I_{I,+1}}}{K}, \quad v_G = \frac{\sqrt{I_{I,+1}} - \sqrt{I_{I,-1}}}{K}$$

$K = \frac{\kappa d}{n_0} \psi^2 \eta$ კოეფიციენტი, რომელიც დაკავშირებულია ჩამწერი კონების ტალღის სიგრძესთან და ინტენსიობასთან.. d არის მასალის ფოტომგრძნობიარე ფენის სისქე; n_0 არის მასალის რეალური გარდატეხის მაჩვენებელი; η - - საცდელი კონის ამპლიტუდა; $I_{I,+1}$, $I_{II,-1}$ - დიფრაგირებული კონების ინტენსივობები.

3. ობიექტის მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდების საინფორმაციო ტევადობა
არსებითად იზრდება, როდესაც სინათლის სხვა

მახასიათებლებთან ერთად გათვალისწინებულია პოლარიზაციის მდგომარეობა. ამ შემთხვევაში, ინფორმაციის დამუშავებისთვის მხედველობაში მიიღება ასევე პოლარიზებული სინათლის პარამეტრები (ელიფსიურობა, აზიმუტი, ბრუნვის მიმართულება, და პოლარიზაციის ხარისხი ან სტოქსის ოთხი პარამეტრი).

ინფორმაცია ობიექტის მიერ გაბნეული, არეკლილი ან გამოსხივებული სინათლის პოლარიზაციის მდგომარეობის შესახებ თამაშობს სულ უფრო მზარდ როლს დისტანციური ზონდირების, ელიფსომეტრიის, ასტროპოლარიმეტრიის, ბიოლოგიის, მედიცინის და სხვა ამოცანებში. აქედან გამომდინარე, მარტივი, ზუსტი და რეალურ დროში მომუშავე პოლარიმეტრული მეთოდის შემუშავება პოლარიზაციის მდგომარეობის, მისი ხარისხის, ასევე მისი განაწილების სხვადასხვა ობიექტის ზედაპირზე ყოველგვარი სკანირების გარეშე, ამ განაწილების დისპერსიის გათვალისწინებით საკმაოდ აქტუალურია.

ჩვენ შევიმუშავეთ უნივერსალური სპექტროელიფსომეტრი და მისი ეფექტურობის გაზრდის მიზნით შემოვთავაზეთ ახალი პოლარიზაციის მდგომარეობის მანალიზებელი პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიულ ელემენტი ოპტიმალური კონფიგურაციით.

საანგარიშო პერიოდში შევიმუშავეთ **უნივერსალური პოლარიმეტრული მეთოდი** ობიექტიდან არეკლილი სინათლის პოლარიზაციის მდგომარეობის სრული ანალიზის საფუძველზე. რეალურ დროში პოლარიზაციის მდგომარეობის განსაზღვრისათვის შემოთავაზებულია ჩვენს მიერ შემუშავებული ინტეგრალური პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული დიფრაქციული ელემენტის გამოყენება.

ავლნიშნავთ, რომ ადრე ჩვენ შევიმუშავეთ პოლარიმეტრული მეთოდი პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული დიფრაქციული ელემენტის საფუძველზე, რომელიც ფორმირებას უკეთებდა დიფრაქციის 6 რიგს, რომელთაგან მხოლოდ ოთხი გამოიყენებოდა მანალიზებელი სინათლის პოლარიზაციის სრული მდგომარეობის (სტოქსის ოთხივე პარამეტრის) და მისი ცვლილების განსაზღვრის დროს [Kakauridze G., Kilosanidze B., SPIE Proceed., Vol. 7957, 7957-28 (2011); B. Kilosanidze, G. Kakauridze "Polarization State Sensor:

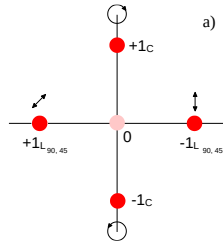
Principles and Applications " In: Advances in Optics: Reviews, Vol. 6, pp. 33-54, Book Series, IFSA Publishing, S. L., (2022)], ეს კი მნიშვნელოვნად ამცირებდა ელემენტის ეფექტურობას.

ამგვარი კონფიგურაციის ელემენტის გამოყენება გამოწვეული იყო იმით, რომ დღემდე არავის შეუქმნია მარეგისტრირებელი მასალა მაინდუცირებელ პოლარიზებულ სინათლეზე რეაქციის ფუნქციებით, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობას $\hat{s} \approx \hat{v}_L$ და $\hat{v}_L \approx -\hat{v}_G$ (Kilosanidze B., Kakauridze G. "Polarization-holographic gratings for analysis and transformations of light: 1. The analysis of completely polarized light," *Applied Optics*, 2007, Vol.46, No. 7, p. 1040-1049). აქ $\hat{s}$, $\hat{v}_L$ და $\hat{v}_G$ სკალარული, ანიზოტროპული და გიროტროპული რეაქციის ფუნქციებია.

აღვნიშნავთ, რომ პოლარიზებული სინათლის მიერ აღძრული ანიზოტროპიასა და გიროტროპიას და მაინდუცირებელი სინათლის პოლარიზაციის მახასიათებლებს შორის ურთიერთობის კანონზომიერება მიღებული იყო პროფესორ შ. ყაყიჩაშვილის მიერ [Какичашвили Ш.»О закономерности в фотоанизотропных явлениях», *Оптика и спектроскопия*, 52, №2, 317-321 (1982); Какичашвили Ш.»О закономерности в явлениях фотоанизотропии и фотогиротропии.» *Оптика и спектроскопия*, 63, №4, 911-917 (1987)]. ფოტონდუცირებული წრფივი და წრიული ორმაგსხივტების კომპლექსური კოეფიციენტები შედიან ამ კანონზომიერებაში და სკალარული (იზოტროპული) რეაქციის ფუნქცია $\hat{s}$ სინათლის აქტიურ ინტენსივობაზე და ორ ვექტორულ რეაქციაზე - $\hat{v}_L$ ანიზოტროპული რეაქცია წრფივად პოლარიზებულ სინათლეზე და $\hat{v}_G$ გიროტროპული რეაქცია წრიულ პოლარიზებულ სინათლეზე შემოყვანილია პოლარიზაციულად- მგრძნობიარე მასალის ფოტოგამოძახილის აღსაწერად.

მაღალეფექტური პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული ელემენტის მიღებისთვის, საანგარიშო პერიოდში ჩვენ შევიმუშავეთ ელემენტი ოპტიმალური კონფიგურაციით, როცა მარეგისტრირებელი მასალის ერთ და იგივე არეზე ჩაწერილია მხოლოდ ორი მესერი: „C” მესერი, ჩაწერილი ორი ცირკულარულად, ორთოგონალურად პოლარიზებული კონით, და მესერი „L” ჩაწერილი ორი წრფივად პოლარიზებული კონით აზიმუტებით 90 და 45 გრადუსი. ამგვარი ელემენტი ფორმირებას უკეთებს დიფრაქციის 4 რიგს და ნულოვან არადიფრაგირებულ კონას. ამ შემთხვევაში ელემენტზე სინათლის ტალღის ენერგეტიკული დანაკარგები მინიმალურია, ენერგია გადანაწილდება დიფრაქციის ოთხ რიგს შორის, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ელემენტის ეფექტურობას. ამასთან „L” მესერზე დიფრაგირებული კონების ინტენსივობები დამოკიდებულია ჩამწერი მასალის მახასიათებლებზე.

დიფრაქციის პროცესში ამგვარი ელემენტი შლის მასზე დაცემულ სინათლეს ორთოგონალურ წრიულ და წრფივ ბაზისებად და ქმნის ოთხ დიფრაქციულ რიგს. დიფრაქციის რიგის ინტენსივობების (I_{Lc} , I_{-c} , I_{90} , I_{45}) ერთდროული გაზომვა ფოტოდეტექტორების გამოყენებით იძლევა სინათლის პოლარიზაციის მდგომარეობის სრული ანალიზის საშუალებას (სტოქსის ოთხი პარამეტრი S_0 , S_1 , S_2 , S_3) მიღებული ფორმულებით და პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით და ამასთან ჩამწერი მასალის რეაქციის ფუნქციების მნიშვნელობების გათვალისწინებით.



$$\begin{aligned}
 S_{0,\lambda_i} &= k_{C,\lambda_i} I_{+C} + k_{C,\lambda_i} I_{-C} \\
 S_{1,\lambda_i} &= (k_{C,\lambda_i} I_{+C} + k_{C,\lambda_i} I_{-C}) - 2k_{90,\lambda_i} I_{90} \\
 S_{2,\lambda_i} &= 2k_{45,\lambda_i} I_{45} - (k_{C,\lambda_i} I_{+C} + k_{C,\lambda_i} I_{-C}) \\
 S_{3,\lambda_i} &= k_{C,\lambda_i} I_{+C} - k_{C,\lambda_i} I_{-C}
 \end{aligned}$$

ელემენტზე დიფრაქციის სქემატური სურათი

ჩვენ შევიმუშავეთ ჩამწერი მასალის მახასიათებლებით გამოწვეული ინტენსივობების დამახინჯების კომპენსაციის მეთოდი. ეს მიდგომა ასტრონომიაში ატმოსფერული გავლენის შესამცირებლად ადაპტური ოპტიკის გამოყენების მსგავსია. შემუშავდა მაქსიმალურად ეფექტური პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული დიფრაქციული ელემენტის მიღების შესაბამისი თეორიული მოდელი. ჩვენ მივიღეთ გამოსახულებები სტოქსის პარამეტრების განსაზღვრისათვის ელემენტზე ოთხი დიფრაგირებული რიგის ინტენსივობების გამოყენებით და შესაბამისად ოპტიკური პარამეტრების განსაზღვრისათვის. მოდიფიცირებულ იქნა ელემენტის მიღების ოპტიკური სქემა.

თეორიული მოდელის თანახმად **მარეგისტრირებელი მასალის სკალარული და ვექტორული რეაქციების** პრეციზიულ განსაზღვრას აქვს გადამწყვეტი მნიშვნელობა. ჩვენ შევიმუშავეთ ამ რეაქციების განსაზღვრის ახალი პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული მეთოდი (2023 წლის ანგარიშის ამოცანა 3). მიღებულ იქნა გამოსახულებები რეაქციის ფუნქციების დასადგენად ორ სპეციალურ პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიულ მესერზე დიფრაგირებული რიგების ინტენსივობების გაზომვის საშუალებით. ორი მესერი ჩაწერილ იქნა პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალის ორ მიმდებარე არეზე. შემუშავებულ იქნა ამგვარი მესერების ჩაწერის ოპტიკური სქემა.

ელემენტს აქვს ფართო სამუშაო სპექტრული დიაპაზონი (500 -1600 ნმ). მას აქვს კუთხური დისპერსია. ელემენტის სრული დიფრაქციული ეფექტურობა ტალღის სიგრძეზე 532 ნმ არის 75% და 635 ნმ 55%-თან ახლოს, ხოლო 1550 ნმ 8%-თან ახლოს. ამჟამად სტოქსის პარამეტრების გაზომვის სიზუსტე არის დაახლოებით 0,1%.

პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული ელემენტი ფოტოდეტექტორების მატრიცით (CCD) და შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფით წარმოადგენს რეალურ დროში მომუშავე გამოსახულების სპექტროპოლარიმეტრს [1] ან პოლარიზაციის მდგომარეობის სენსორს.

დიფრაქციული რიგები შეიცავენ ობიექტის გამოსახულებებს, რაც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს პოლარიზაციის განაწილება ობიექტის გამოსახულების ყველა წერტილში. პოლარიზაციის განაწილების დისპერსია ასევე შეიძლება მიღებულ იქნას ობიექტის გამოსახულებაში ნებისმიერი ტალღის სიგრძისთვის სამუშაო დიაპაზონიდან (როდესაც გამოიყენება ვიწროზოლიანი ფილტრები).

ამ მეთოდზე დაფუძნებული სპექტროპოლარიმეტრი იქნება მსუბუქი, ზუსტი, კომპაქტური, შედარებით იაფი, მას არ აქვს შიდა არეკვლევა, მუშაობს რეალურ დროში და აქვს უნარი გაანალიზოს სწრაფი პროცესები ცვლადი პოლარიზაციით.

საანგარიშო პერიოდში მიღებულია საქართველოს პატენტი P 2023 7555 B. გომოგონების დასახელება: „მოწყობილობა პოლარიზაციის მდგომარეობისა და მისი ცვლილების განსაზღვრისთვის და მისი გამოყენება ელიფსომეტრიაში.“

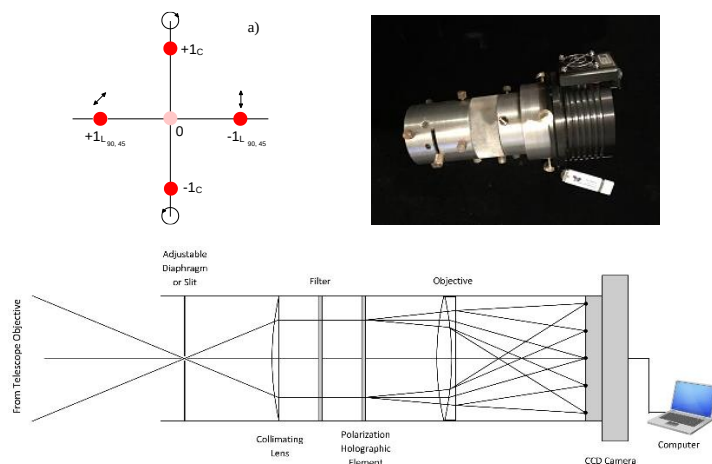
4. საანგარიშო პერიოდში ჩავატარეთ ჩვენ მიერ შემუშავებული გამოსახულების სტოქსის სპექტროპოლარიმეტრის მოდიფიცირება. შევნიშნავთ, რომ სინათლის პოლარიზაცია და მისი გაზომვის მეთოდი ანუ პოლარიმეტრია ასტროფიზიკის ერთ-ერთი ძლიერი ინსტრუმენტია, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ ასტრონომიულ ობიექტებში გამოსხივების წარმოქმნის წყაროს ასიმეტრიულობა, მაგნიტური ველების სიმძლავრე და კონფიგურაცია. დროში სწრაფად ცვალებადი პოლარიზაციის წყაროები და მათთან დაკავშირებული დინამიური პროცესები, როგორებიცაა მაგალითად პულსარები, აქტიური გალაქტიკების ბირთვები, ზოგიერთი ცვალებადი ვარსკვლავები და სხვა, შესაძლებელია უკეთ იქნას შესწავლილი მაღალი დროითი გარჩევის პოლარიმეტრიის მეშვეობით. განფენილი ობიექტების პოლარიზაციული შესწავლა კი საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ ასტრონომიულ ობიექტებში ფიზიკური მახასიათებლების სივრცული განაწილება.

ჩვენ შევიმუშავეთ პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული სტოქსის გამოსახულებითი სპექტრო პოლარიმეტრი, რომელიც საშუალებას იძლევა გავზომოთ სრულად და რეალური დროის მასშტაბში წერტილოვანი ან განფენილი ასტრონომიული ობიექტის სინათლის წყაროს პოლარიზაციული მდგომარეობა სტოქსის ოთხივე პარამეტრის მნიშვნელობების მეშვეობით სინათლის დეტექტორის ერთი ექსპოზიციის განმავლობაში სპექტრის ოპტიკურ დიაპაზონში.

ჩვენს მიერ შემუშავებული ასტროპოლარიმეტრი უნივერსალურია ანუ მისაღები სხვადასხვა ასტრონომიული ობიექტების დაკვირვებისათვის როგორც პოლარიმეტრიულ, ასევე სპექტრო-პოლარიმეტრიულ რეჟიმში; კომპაქტური ანუ მორგებადი ნებისმიერი ზომის ტელესკოპისათვის როგორც დედამიწაზე, ასევე - კოსმოსში; მარტივი აგებულების ანუ მაქსიმალურად თავისუფალი დამატებითი ოპტიკური თუ მექანიკური დეტალებისაგან; იოლი ნებისმიერი მომხმარებლისათვის ანუ მარტივი დაკვირვების მეთოდიკით და მონაცემების დამუშავების თვალსაზრისით; სწრაფი ანუ შეუზღუდავი მაღალი გარჩევის დროითი პოლარიმეტრიისათვის; ხელმისაწვდომი ანუ დაბალი თვითღირებულების მქონე რათა ხელმისაწვდომი ყოფილიყო როგორც დაბალ ბიუჯეტისანი პროექტებისათვის, ასევე - ასტრონომიის მოყვარულთათვის.

პოლარიმეტრის ძირითად მაანალიზებელ კომპონენტად გამოყენებულია პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული ელემენტი. ადრე ჩვენ ვიყენებდით ელემენტს, რომელიც წარმოადგენს სამი სხვადასხვა ტიპის პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული დიფრაქციული მესერის კომბინაციას, რომელიც ჩაწერილია ჰოლოგრაფიული მეთოდით პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალაზე [Kakauridze, G., Kilosanidze, B., Kvernadze, T. and Kurkhuli, G., "Astropolarimetry with a new polarization-holographic imaging Stokes polarimeter." *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems JATIS*, 5(1), 015002 (2019); Kilosanidze, B., Kakauridze, G., Kvernadze, T. and Kurkhuli, G. „Innovative polarization-holographic imaging Stokes spectropolarimeter for astronomy.“ *Proc. SPIE 10110* (2017)].

საანგარიშო პერიოდში ჩვენ ჩავატარეთ ასტროპოლარიმეტრის მოდიფიცირება უფრო მაღალი დიფრაქციული ეფექტურობის მქონე ელემენტის გამოყენებით, რომელიც შეიცავს ორ პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიულ მესერს. ამგვარი ელემენტის აღწერილობა მოყვანილია ამ ანგარიშის ამოცანაში 1-ში. ნახაზზე მოყვანილია პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიულ ელემენტზე დიფრაქციის სქემატური სურათი, პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული გამოსახულებათა სტოქსის სპექტროპოლარიმეტრის ფოტო (პოლარიმეტრი აღჭურვილია Starlight Express Trius SX-36 CCD კამერით) და სპექტროპოლარიმეტრის ოპტიკური სქემა.



ოპტიკური ელემენტის ჩაწერისათვის გამოვიყენეთ ორგანული პოლარიზაციულად მგრძნობიარე მასალა ორკომპონენტური კომპოზიციის სახით. როგორც სინათლის შთამნთქმელი კომპონენტი, ჩვენ ავირჩიეთ ჩვენს მიერ სინთეზირებული ძალზედ ეფექტური ბისაზოსაღებარი ოთხი იონოგენური ჯგუფით ტეტრანატრიუმის მარილის სახით (MPY4Na-დიმერი). მასალის პოლიმერულ მატრიცად გამოყენებული იყო ქარხნულად დამზადებული გარუჯული ფოტოჟელატინის ფირი. ფოტოანიზოტროპული მასალა აჩვენებს გამოხატულ მგრძნობელობას სინათლის წრფივად პოლარიზებული ჩამწერი სხივის მიმართ ტალღის სიგრძით 445 ნმ. უნდა აღინიშნოს, რომ არეგისტრირებული მასალის ჰიდროფილური ბუნების გათვალისწინებით, მათზე დაფუძნებული ელემენტები გაშრობის შემდეგ დაცული უნდა იყოს საფარი მინით ატმოსფერული ტენიანობისგან.

CCD გამოსახულებათა სერია გადაღებულია სინათლის პოლარიზაციის სხვადასხვა მდგომარეობისთვის, როგორც წრიული, ასევე წრფივი ტესტირებისთვის. ელემენტის მუშა სპექტრული დიაპაზონია 500-1600 ნმ. ელემენტის ზოგადი დიფრაქციული ეფექტურობა ტალღის სიგრძეზე 532 ნმ ახლოსაა 75%-ს, 635 ნმ - 60%-ს, 1150 ნმ - 20%-ს და 1550 ნმ - 8%-ს. ეს მიღწეული იქნა მაღალეფექტური და სტაბილური ჩამწერი მასალისა და ოპტიმალური კონფიგურაციის პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული ელემენტის გამოყენებით. პოლარიმეტრის კალიბრებისთვის, განხორციელდა Vega-ს დაკვირვებები სტანდარტული V ფილტრის მეშვეობით. პოლარიმეტრი დამონტაჟდა რეფრაქტორზე 10 სმ დიამეტრით და ფოკუსური სიგრძით 1 მ.

ჩვენ ჩავატარეთ მზის სპიკულების სატესტო სპექტროპოლარიმეტრიული დაკვირვებები H α და He I D3 ზოლში სხვადასხვა ქრომოსფერულ სიმაღლეებზე საქართველოს ეროვნული ასტროფიზიკური ობსერვატორიის 53 სმ-იან კორონაგრაფზე

დამონტაჟებული ინოვაციური პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული გამოსახულების სტოქსის სპექტროპოლარიმეტრის გამოყენებით.

ექსპერიმენტულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ ლაბორატორიული მოდელის ცდომილება დაახლოებით 10-2, რაც ადასტურებს ასეთი პოლარიმეტრის დიდ პოტენციალს სხვადასხვა ასტრონომიულ ობიექტის დაკვირვებისთვის, მათ შორის მზის აქტიური წარმონაქმნების სპექტროპოლარიმეტრიული დაკვირვებისთვის, როგორებიცაა მზის სპიკულები და პროტუბერანცები. პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული გამოსახულებათა სტოქსის სპექტროპოლარიმეტრი კომპაქტურია, მსუბუქი და მისი დაყენება შესაძლებელია როგორც დედამიწის დიდ, ასევე მცირე, ასევე კოსმოსურ ტელესკოპებზე.

მიღებული შედეგები მოხსენებული იყო SPIE Optics&Photonics სიმპოზიუმის ფარგლებში ჩატარებულ კონფერენციაზე „Astronomical Optics: Design, Manufacture, and Test of Space and Ground Systems IV“ და გამოქვეყნდა კონფერენციის მასალებში სრული სტატიის სახით: *B.Kilosanidze, G.Kakauridze, I.Chaganava, T.Kvernadze, G. Kurkhuli, L. Oriol, M. Piñol, Qi-Huo Wei. “Application of the polarization-holographic imaging Stokes spectropolarimeter in astronomy.” In Astronomical Optics: Design, Manufacture, and Test of Space and Ground Systems IV, SPIE Proceedings, Vol. 12677, pp. 295-303, 2023).*

2.2.

1) დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიის მეთოდების მეცნიერულ და პრაქტიკულ ამოცანებში გამოყენება (*ფიზიკური ოპტიკა, ტექნოლოგია და ინჟინერია*)).

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. **ვლადიმერ ტარასაშვილი** - პროექტის ხელმძღვანელი, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები, მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი, ექსპერიმენტული დანადაგრის შექმნა; **ანა ფურცელაძე** - თეორიული მოდელები, მონაცემთა დამუშავება და ანალიზი; **ვალენტინა შავერდოვა** - მარეგისტრირებელი არეების მიღება და კვლევის მეთოდების შექმნა; **სვეტლანა პეტროვა** - ფიზიკურ-ქიმიური ტექნოლოგიური სამუშაოები.

დასრულებული კვლევითი პროექტის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

- გამჭოლი და ამრეკლი ტიპის 3D ჰოლოგრამების მიღების შესაძლებლობის თეორიული კვლევა.

- 3D ჰოლოგრამიდან აღდგენილი ინფორმაციის ელიფსომეტრული მულტიპლექსური ანალიზი; ვექტორულ-მორფოლოგიური პარამეტრების მისაღები მეთოდის შემუშავება.
- რეკონსტრუირებულ ტალღურ ფრონტზე აპოსტერიორული ელიფსომეტრული ექსპერიმენტების ჩატარების შესაძლებლობის თეორიული პირობების განსაზღვრა.
- დამაბულობის ველში განთავსებული ნანოობიექტის მიერ ფორმირებული ველის პოლარიზაციის ხარისხის განსაზღვრა; ანალიტიკური გამოსახულების მიღება.

ანიზოტროპულ-გიროტროპული ნანოსტრუქტურების მორფოლოგიური მახასიათებლების მულტიპლექსური პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიული ანალიზის და 3D ვიზუალიზაციის აქტუალობა განპირობებულია ნანოსტრუქტურების სიღრმისეული შესწავლით და პრაქტიკული გამოყენების აუცილებლობით. ამ ხრივ განსაკუთრებით საინტერესოა პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრამების მულტიპლექსური ბუნება **(მრავალსახოვანი) – სამგანზომილებიანი გამოსახულების რეგისტრაციის მეთოდი, მრავალი ტიპის ჰოლოგრამების ჩაწერით ერთ მატარებელზე**, ანუ უნარი, მათი საშუალებით განხორციელდეს სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების მქონე ანიზოტროპულ-გიროტროპული ობიექტების (პოლარიზაციული ნანოსტრუქტურების) მულტიპლექსური პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიული ანალიზი – ანალიტიკური მეთოდების ერთობლიობა, რომელიც საშუალებას იძლევა რეკონსტრუირებული ობიექტის ტალღის ველების მულტიპლექსური ანალიზის საფუძველზე ერთდროულად (ერთი ანალიზის დროს, ამასთან ერთ მატარებელზე) განისაზღვროს ნანოსტრუქტურების როგორც ანიზოტროპული, ასევე გიროტროპული მახასიათებლები და ჰოლოგრაფირებადი ობიექტის პოლარიზაციის სხვადასხვა მდგომარეობა, მათ შორის მატარებლის გამოსხივების (ემისიის) სხვადასხვა სიხშირეზე. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე პოლარიზაციულად მგრძნობიარე ლუმინესცირებად არეებში **ჩვენ მიერ** პირველად იქნა შემუშავებული პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული სპექტრული პორტრეტის კონცეფცია (ცნება), რომელიც წარმოადგენს რეკონსტრუირებულ (ფანტომურ) ობიექტზე ანიზოტროპულ-გიროტროპული ობიექტის დენისიუტის მულტიპლექსური ჰოლოგრამის სხვადასხვა ფიზიკური ხასიათის პოლარიზაციის სპექტრების ერთობლიობას. ეს შესაძლებელს ხდის ინფორმაციის მოპოვებას არა მხოლოდ კოლოიდური სისტემების ქიმიური შემადგენლობის შესახებ, არამედ ნაონაწილაკების შესახებ, რომლებიც შესაძლოა იყოს ნივთიერებაში (ანალიტში)

ზაზგასმით აღვნიშნავთ, რომ ჩვენ მიერ (A. Putseladze, V. Tarasashvili, V. Shaverdova S. Petrova „Polarization memory of Denisyuk holograms formed in unpolarized light,” *J. of Appl. Spectroscopy*, Vol. 81, No. 1, 2014. DOI: [10.1007/s10812-014-9887-8](https://doi.org/10.1007/s10812-014-9887-8)) თეორიულად და ექსპერიმენტულად ნაჩვენები იყო, რომ პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული რეგისტრაცია სრულად არაპოლარიზებული სინათლის წყაროს გამოყენებით შესაძლებელს ხდის შემდგომი რეკონსტრუქციისას, ნებისმიერი პოლარიზაციის მქონე ტალღით, აღადგენილი იქნას საობიექტო ველის იდენტური ტალღა, განათებული იმავე ტალღით. აქედან გამომდინარე მულტიპლექსური პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიული ანალიზის რეალიზაციისათვის აუცილებელია, რომ პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული რეგისტრაცია ანალიტზე (მატარებელზე) განხორციელდეს არაპოლარიზებული სინათლის

წყაროს გამოყენებით. აქვე აღვნიშნავთ, რომ უაღრესად მნიშვნელოვანია და ხელსაყრელი შემოთავაზებული მეთოდის ექსპრესიულობისა და პროდუქტიულობის გამოყენება ობიექტებისათვის, რომლებიც წარმოადგენს რთულ კოლოიდურ სისტემებს, მათი იდენტიფიკაციის, კლასიფიკაციის, დიაგნოსტიკისა და ხარისხის კონტროლის პროცესში.

3. -----

4. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები

4.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა

1. პროექტი „აზოსაღებარშემცველი შუქმგრძნობიარე პოლარული პოლიმერები“ (Polar Polymers with Light-sensitive Azobenzene Moieties). კვლევის ფოკუსში მოქცეულია შემდეგი დარგები და მიმართულებები: ორგანული სინთეტიკური და პოლიმერული ქიმია, ფოტონიკა და ქიმიური ფიზიკა. DAAD Georgia-ს მიერ ორგანიზებული ქართველ მეცნიერთა მობილობის მხარდაჭერის პროგრამა (EU fellowships for Georgian researchers, 2023. (57655523) Personal reference number: 91862656). დონორი ევროკომისია. სამეცნიერო კვლევის განხორციელების ადგილი: სარაგოსას უნივერსიტეტის ნანომეცნიერებისა და მასალების ინსტიტუტი (ესპანეთი).

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

კოლაბორაციულ პროექტში ჩართული წევრები:

1. **ირაკლი ჩაგანავა**, ქიმიის დოქტორი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ვლადიმერ ჭავჭავაძის სახელობის კიბერნეტიკის ინსტიტუტის პოლარიზაციულ-პოლოგრაფიული კვლევების ლაბორატორიის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი. პროექტის ბენეფიციარი და ძირითადი შემსრულებელი.

2. **პროფ. ლუის ორიოლ (Luis Oriol Langa)**, ქიმიის დოქტორი. სარაგოსის უნივერსიტეტის ნანომეცნიერებისა და მასალების ინსტიტუტი. მომწვევი ინტერდისციპლინარული კვლევითი სამეცნიერო ჯგუფი CLiP Lab ხელმძღვანელი. პროექტის განხორციელებისათვის კვლევით ბაზისა და რესურსებით უზრუნველყოფა, კონსულტაცია.

3. **პროფ. მილაგროს პინიოლი (Milagros Piñol Lacambra)**, ქიმიის დოქტორი. სარაგოსის უნივერსიტეტის ნანომეცნიერებისა და მასალების ინსტიტუტი. მომწვევი ორგანიზაციის დეპარტამენტის წამყვანი პროფესორი. კოლაბორანტ ჯგუფთან კოორდინაცია და კონსულტაცია.

**გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი
თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)**

პროექტი ემსახურება მეტად პერსპექტიული ტექნოლოგიის განვითარებას ოპტიკისა და ფოტონიკის დარგში, კერძოდ პოლარიზაციული-ჰოლოგრაფიის სფეროში, რომლისთვისაც საკვანძო მნიშვნელობის მქონეა სინათლესთან ურთიერთმქედის მედიუმის ფოტოანიზოტროპული თვისებების გაუმჯობესების უზრუნველყოფა. მიმდინარე სამუშაოს ფარგლებში ამჟამად განხორციელდა მიზნობრივი მასალის შუქმგრნობიარე მაღალეფექტური აპრობირებული კომპონენტის MY-26 დასინთეზება მისი მარაგების დეფიციტის ნიველირებისათვის. დამზადდა ახალი ტიპის საკვლევი მასალების მაღალპოლარული კომპოზიციების სერია ჰიდროფილური აზოოლიგომერის (PAZO) მაღალმოლეკულურ პოლიმერთან (PVP1.3M) შეუღლებით კომპონენტებს შირის სუპრამოლეკულური ურთიერთქმედების საფუძველზე. ექსპერიმენტულად დადგინდა კომპონენტების კონცენტრაციის ზედა და ქვედა ზღვრები, რა დროსაც ხდება მასალის ჰიდროგელურ ფაზაში გადასვლა. მიუხედავად იმისა, რომ პროექტში დასახული მიზნებისათვის კომპოზიციის სწორედ ასეთი მდგომარეობა გახლავთ ყველაზე სასურველი ლაბორატორიულ ჭურჭელში მიღებული ჰიდროგელი სამწუხაროდ არაერთგვაროვნებით გამოირჩევა მონაწილე მაკრომოლეკულების სტიქიური აგრეგაციის გამო მანამ სანამ ისინი ერთმანეთში სრულ დიფუნდირებას მოასწრებდნენ, ამ გარემოების შედეგად მიღებული ჰიდროგელისაგან მექანიკურად ერთგვაროვანი პოლიმერული ფირის დამზადება მეტად არატექნოლოგიურია. თუმცა აღნიშნული ჰიდროგელური კომპოზიცია იძლევა საშუალებას დისოცირებულ იქნეს მაღალპოლარულ გამხსნელში, თავისუფლად დატანილიქნას ოპტიკურ სარჩულზე თანაბარი ფენით და გამხსნელის ფრთხილი აორთქლების შემდეგ წარმოიქმნას სასურველი ფოტოანიზოტროპული კომპოზიცია არსებითად მაღალი მახასიათებლებით როგორიცაა: პოლარობა, ჰომოგენურობა, ამორფულობა და მიღწევადი ფოტოანიზოტროპია.

პროექტის დასკვნით ნაწილში, სარაგოსას უნივერსიტეტში, ასევე დასინთეზდა კომპონენტის ახალი სამი ვარიანტი, ისინი ეფუძვნებიან ადრე მოკვლეულ მაღალეფექტური აზოქრომოფორი MY-26 ფორმულას. მათ საფუძველზე სატესტო მასალების სერიები დამზადებულ და შესწავლილ იქნებიან საქართველოში.

5. პატენტები:

5.2. ეროვნული პატენტები

1) საპატენტო თემატიკის სათაური

1. მოწყობილობა პოლარიზაციის მდგომარეობისა და მისი ცვლილების განსაზღვრისთვის და მისი გამოყენება ელიფსომეტრიაში.

2) გამომგონებელი/ები და პატენტმფლობელი/ები

1. ბარბარა კილოსანიძე,

გიორგი კაკაურიძე,
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,
შოთა რუსთველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდი

3) პატენტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. P 2023 7555 B

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. B.Kilosanidze, G. Kakauridze, I. Chaganava, T.Kvernadze, G. Kurkhuli, L. Oriol, M. Piñol, Qi-Huo Wei
2. H. Yu, M. Jiang, H. Yun, Y. Zhu, Y. Qi, Z. Zhou, I. Chaganava, QH. Wei
3. H. Chen, M. Jiang, Y. Guo, I. Chaganava, QH. Wei
4. I.Chaganava, G.Kakauridze, B.Kilosanidze, LOriol, M. Piñol
5. V. Tarasashvili, Anna. Purtseladze, S. Petrova, IV. Shaverdova, M. Tarasashvili

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. Application of the polarization-holographic imaging Stokes spectropolarimeter in astronomy ([doi: 10.1117/12.2677357](https://doi.org/10.1117/12.2677357))
2. Diffraction-limited flat reflective microlenses by plasmonic photopatterning of molecular orientations (<https://doi.org/10.1364/JOSAB.503277>)
3. Nematic-Isotropic Phase Transition in Thin Slabs of Liquid Crystal with Topological Defect Arrays (<https://doi.org/10.1039/D3SM01156A>)
4. Photoanisotropy in a non-azobenzene composition with an extended operating range.
5. Diagnostics of luminescent recording media based on polarized scattering spectra of hologram sensors formed in the substance analyzed.

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Proc. SPIE 12677, Astronomical Optics:Design, Manufacture, and Test of Space and Ground Systems IV, 126770U (2023)
2. JOSA B, 40(11), pp. 2796-2800 (2023).
3. Soft Matter, 2023•pubs.rsc.org
4. Laser Science (JW4A-14). Optica Publishing Group (under review).
5. Applied Optics/გაგზავნილია, სარეგისტრაციო №507994.

4) გვერდების რაოდენობა

1. 9

2. 5
3. 7
4. 2
5. 10

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. წარმოდგენილია ინოვაციური პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული გამოსახულების სტოქსის სპექტროპოლარიმეტრი. ასეთი პოლარიმეტრის ძირითადი მანალიზებელი ელემენტი არის ინტეგრალური პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული დიფრაქციული ელემენტი, რომელიც იძლევა შემომავალი სინათლის პოლარიზაციის მდგომარეობის რული ანალიზის საშუალებას რეალურ დროში.

ელემენტი შლის შემომავალ სინათლეს დიფრაქციულ რიგებად, რომელთა ინტენსივობა იცვლება სინათლის წყაროს პოლარიზაციის მდგომარეობიდან გამომდინარე. დიფრაქციის რიგების ინტენსივობების ერთდროული გაზომვა გამოსახულებების შესაბამის წერტილებში ან უბნებში, ჩვენ ვიღებთ რეალურ დროში სინათლის წყაროს სტოქსის გამოსახულებები, რაც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს წერტილოვანი ან გაბნეული კოსმოსური ობიექტების სრული პოლარიზაციის მდგომარეობა სხვადასხვა სპექტრული არისთვის და ასევე ცვლადი პოლარიზაცია. სამუშაო აპერტურა შეიძლება იყოს 0,5 სმ-დან 5 სმ-მდე დიამეტრში. წარმოდგენილია ელემენტების მდგრადობისა და დიფრაქციული ეფექტურობის გაუმჯობესების კვლევების შედეგები. სტანდარტული ვარსკვლავის მიერ პოლარიზაციის მდგომარეობის გაზომვები ჩატარდა სპექტროპოლარიმეტრის დასაკალიბრებლად. განხორციელდა ზოგიერთი ასტრონომიული ობიექტის პოლარიმეტრიული გაზომვები. შედეგად მიღებულია ცდომილება დაახლოებით 10-2. პოლარიზაციულ-ჰოლოგრაფიული გამოსახულების სტოქსის სპექტროპოლარიმეტრს არ გააჩნია მექანიკურად მოძრავი ან ელექტრონულად მართვადი ოპტიკური ელემენტები, არ აქვს შიდა არეკვლები და არის უნივერსალური, კომპაქტური, მდარებით იაფი და მსუბუქი.

2. ამ კვლევაში ჩვენ ვაჩვენეთ, რომ ბრტყელი ამრეკლავი მიკროლინზები სხვადასხვა f-რიცხვით და ფოკუსური მანძილით შეიძლება შეიქმნას პანჩარატნამ-ბერის (PB) ფაზის მანიპულირებით, რომელიც მიღებულია სინათლის მიერ ქოლესტერული თხევადი კრისტალების არეკვლისას და დამზადებულია მაღალი ხარისხით პლაზმური ფოტომასალას ტექნიკის გამოყენებით. ჩვენ გავზომეთ ამ მიკროლინზების წერტილოვანი გავრცელების ფუნქციები და ვაჩვენეთ, რომ ისინი შეზღუდულია დიფრაქციით. ამ მიდგომის უპირატესობა ბრტყელი მიკრო-ოპტიკური მოწყობილობების წარმოებისთვის არის ის, რომ ის იძლევა ერთდროულად დიფრაქციით შეზღუდული ხარისხის და დამზადების დაბალ ღირებულებას.

3. ჩვენ ვიკლევთ ნემატურიდან იზოტროპულ ფაზაზე გადასვლას ნემატური თხევადი კრისტალების თხელ ფენებში ტოპოლოგიური დეფექტის მასივების ფოტოპროექტირებული დირექტორი ველებით მუდმივი შეთბობის სიჩქარის პირობებში და ვაჩვენებთ, რომ გარდამავალ კინეტიკაზე მნიშვნელოვნად მოქმედებს როგორც შეთბობის სიჩქარე, ასევე ამ ტოპოლოგიური სიძლიერე. კონკრეტულად, $\pm 1/2$ დეფექტური მასივებით, იზოტროპული დომენები გამოდიან დეფექტის ბირთვებიდან, როდესაც შეთბობის სიჩქარე მაღალია, ხოლო

შემთხვევითი ადგილებიდან, როდესაც შეთბობის სიჩქარე დაბალია. ± 1 დეფექტის მასივებით, იზოტროპული დომენები ყოველთვის ჩნდება დეფექტის ბირთვებიდან, მიუხედავად შეთბობის სიჩქარისა. გარდა ამისა, იზოტროპული დომენების ჯამური ფართობი იზრდება T ტემპერატურასთან ერთად მარტივი სიმძლავრის კანონის $(T-T')^{\gamma}$ შესაბამისად, სადაც γ მაჩვენებელი არის დაახლოებით 1 უმეტეს შემთხვევაში და არის $2/3 \pm 1$ დეფექტის მასივებისთვის. დაბალი შეთბობის სიჩქარის პირობებში, როდესაც იზოტროპული დომენები მიმაგრებულია დეფექტის ბირთვებზე. ჩვენ ამ ფენომენს მივაწეროთ ზედაპირულ დაძაბულობასა და ნაყარი თავისუფალი ენერგიის ურთიერთქმედებას.

4. აზობენზოლებს აქვთ მნიშვნელოვანი სამოქმედო შეზღუდვები სპექტრის მოკლე ტალღის სიგრძის არეში. ეს კვლევა მიზნად ისახავს მგრძნობელობის მქონე ახალი არააზობენზოლური კომპოზიციების იდენტიფიცირებას მხოლოდ ულტრაიისფერი და წაკითხვა მთელ ხილულ დიაპაზონში.

5. სტატია ეძღვნება ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიული ინფორმაციის მატარებლების, კერძოდ ღვინის პროდუქტების დიაგნოზს და იდენტიფიკაციას პოლარიზაციის ჰოლოგრაფიული სპექტროსკოპიის მეთოდების გამოყენებით. პირველად შემუშავდა ტექნიკა გაფანტული პოლარიზებული სინათლის (დეპოლარიზაციის სპექტრების) გაზომვისა და ანალიზისთვის გაანალიზებულ სუბსტანციაში წარმოქმნილ პოლარიზებულ-ჰოლოგრაფიულ საინფორმაციო სენსორებზე. რადგან ისინი შეიცავს ცალსახა ინფორმაციას არა მხოლოდ მედიის ქიმიური შემადგენლობის, მათი კომპონენტების პროცენტული მაჩვენებლის შესახებ (როგორც ლუმინესცენცია და შთანთქმის სპექტრები), არამედ ასევე გაფანტული ნანონაწილაკების ანიზოტროპულ-გიროტროპული სტრუქტურული პარამეტრების შესახებ, რომლებიც შეიძლება იყოს საანალიზო გარემოში. აღწერილია პოლარიზებული გაფანტვისა და აგზნების სპექტრების გაზომვის მეთოდები, რომლებიც განხორციელდა ჰოლოგრაფიული მასალების სხვადასხვა ნიმუშებზე, აგრეთვე მიღებული სპექტრული მონაცემების დამუშავებისა და წარმოდგენის მეთოდები. პირველად, შემოთავაზებულია სხვადასხვა ფიზიკური ხასიათის ჰოლოგრამის სენსორების პოლარიზაციის სპექტრების გამოყენება ჰოლოგრაფიული მასალების დიაგნოსტიკისთვის, კლასიფიკაციისა და იდენტიფიკაციისთვის. (სპექტრულ-ჰოლოგრაფიული პორტრეტის კონცეფცია).

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8. 2. უცხოეთში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. Qi-Huo Wei

2) მოხსენების სათაური

1. Application of the polarization-holographic imaging Stokes spectropolarimeter in astronomy

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. SPIE Optical Engineering + Applications, Conference Astronomical Optics: Design, Manufacture, and Test of Space and Ground Systems IV, 2023 წლის აგვისტო, სან დიეგო, კალიფორნია, ა.შ.შ.

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

ნანოკომპოზიტების ლაბორატორია (ლაბორატორიის გამგე ფიზ. მათ. მეც. კანდიდატი შალვა კეკუტია)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით
1. მულტიფუნქციონალური მაგნიტური ნანოსისტემისა და გრაფენის ოქსიდის სინთეზი. (ნანოტექნოლოგია).

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

შალვა კეკუტია (ხელმძღვანელი); ჯანო მარხულია (ჯანო მარხულიას სამეცნიერო კვლევების ერთ-ერთი მიმართულებაა მაგნიტური ნანოსუსპენზიების სინთეზი, მათი შემდგომი მოდიფიცირება სხვადასხვა სახის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით და მიღებული ნანოკომპოზიტური მასალების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლა, ასევე ფარმაკოკინეტიკური და ბიოსამედიცინო კვლევები); ვლადიმერ მიქელაშვილი (ვლადიმერ მიქელაშვილის სამეცნიერო კვლევების ერთ-ერთი მიმართულებაა მაგნიტური ნანოსუსპენზიების სინთეზი, მათი შემდგომი მოდიფიცირება სხვადასხვა სახის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით და მიღებული ნანოკომპოზიტური მასალების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლა, ასევე ფარმაკოკინეტიკური და ბიოსამედიცინო კვლევები, მას გააჩნია ასევე პედაგოგიური გამოცდილება (საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი - ასოცირებული პროფესორი), რაც დაეხმარება პროექტს შედეგების დესიმინაციაში სტუდენტებთან); ლიანა სანებლიძე (ლიანა სანებლიძეს ევალება მაგნიტური ნანოსუსპენზიების სინთეზი, მათი შემდგომი მოდიფიცირება სხვადასხვა სახის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით და მიღებული ნანოკომპოზიტური მასალების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლა, ასევე ფარმაკოკინეტიკური და ბიოსამედიცინო კვლევები); ნინო მაისურაძე (ნინო მაისურაძის ძირითადი ვალდებულებაა სინთეზირებული მულტიფუნქციონალური ნანოსისტემების ბიოსამედიცინო ეფექტების დადგენა); რევაზ კოხრეიძე (რევაზ კოხრეიძე ემსახურება

თანამედროვე დანადგარებით მდიდარ ნანოკომპოზიტების ლაბორატორიას ფიზიკური, ქიმიური და ბიოსამედიცინო მოწყობილობების გამართვას); ნიკოლოზ ჩხაიძე (ნიკოლოზ ჩხაიძე ახორციელებს მიღებული შედეგების თეორიულ ინტერპრეტაციას).

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. მულტიფუნქციონალური მაგნიტური ნანოსისტემისა და გრაფენის ოქსიდის სინთეზი. (ნანოტექნოლოგია).

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023-2027

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

შალვა კეკუტია (ხელმძღვანელი); ჯანო მარხულია (ჯანო მარხულიას სამეცნიერო კვლევების ერთ-ერთი მიმართულებაა მაგნიტური ნანოსუსპენზიების სინთეზი, მათი შემდგომი მოდიფიცირება სხვადასხვა სახის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით და მიღებული ნანოკომპოზიტური მასალების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლა, ასევე ფარმაკოკინეტიკური და ბიოსამედიცინო კვლევები); ვლადიმერ მიქელაშვილი (ვლადიმერ მიქელაშვილის სამეცნიერო კვლევების ერთ-ერთი მიმართულებაა მაგნიტური ნანოსუსპენზიების სინთეზი, მათი შემდგომი მოდიფიცირება სხვადასხვა სახის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით და მიღებული ნანოკომპოზიტური მასალების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლა, ასევე ფარმაკოკინეტიკური და ბიოსამედიცინო კვლევები, მას გააჩნია ასევე პედაგოგიური გამოცდილება (საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი - ასოცირებული პროფესორი), რაც დაეხმარება პროექტს შედეგების დესიმინაციაში სტუდენტებთან); ლიანა სანებლიძე (ლიანა სანებლიძეს ევალება მაგნიტური ნანოსუსპენზიების სინთეზი, მათი შემდგომი მოდიფიცირება სხვადასხვა სახის ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით და მიღებული ნანოკომპოზიტური მასალების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლა, ასევე ფარმაკოკინეტიკური და ბიოსამედიცინო კვლევები); ნინო მაისურაძე (ნინო მაისურაძის ძირითადი ვალდებულებაა სინთეზირებული მულტიფუნქციონალური ნანოსისტემების ბიოსამედიცინო ეფექტების დადგენა); რევაზ კოხრეიძე (რევაზ კოხრეიძე ემსახურება თანამედროვე დანადგარებით მდიდარ ნანოკომპოზიტების ლაბორატორიას ფიზიკური, ქიმიური და ბიოსამედიცინო მოწყობილობების გამართვას); ნიკოლოზ ჩხაიძე (ნიკოლოზ ჩხაიძე ახორციელებს მიღებული შედეგების თეორიულ ინტერპრეტაციას).

**გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი
თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)**

ტექნოლოგიების ფართო სპექტრის განვითარებამ, რომელიც დაფუძნებულია ნანოზომის მასალების გამოყენებაზე მედიცინასა და ბიოლოგიაში, ახალი შესაძლებლობები გააჩინა მთელი რიგი დაავადებების დიაგნოზირებისა და მკურნალობისათვის.

ნანონაწილაკების უნიკალური თვისებები ნანოპრეპარატების გამოყენების ახალ პერსპექტივას ქმნის სხვადასხვა დაავადებების, მათ შორის ონკოლოგიური დაავადებების სამკურნალოდ. ნანომედიცინის სფეროში კვლევის მნიშვნელოვანი ნაწილი ეძღვნება მაგნიტური ნანონაწილაკების, გრაფენის ოქსიდისა და ბორის ნიტრიტის ნანოწარმონაქმნების გამოყენებით ფუნდამენტურად ახალი სამკურნალწამლო საშუალებების შემუშავებას, როგორც წამლის გადამტანი ქსოვილებსა და სამიზნე უჯრედებში.

ბიოსამედიცინო დანიშნულების ნანომასალების ფართო სპექტრიდან, ზემოთ ხსენებული მასალების ნნწ-ების შემცველი კოლოიდური დისპერსიები წარმოადგენს ძალზე პოპულარულ და პერსპექტიულ მასალებს საინტერესო ფიზიკურ-ქიმიური და ფარმაცოკინეტიკური თვისებების გამო [3].

Fe_3O_4 ნნწ-ების მიღების ფართოდ ცნობილი მეთოდია თანადალექვის მეთოდი. სასურველი ზომის, ფორმის და საჭირო ფიზიკური, ქიმიური და ფარმაცოკინეტიკური მახასიათებლების მქონე რკინის ოქსიდის ფუნქციონალური ნანონაწილაკების მიღება დამოკიდებულია მათი სინთეზის დროს გამოყენებული მარილების სახეობაზე, ორ და სამვალენტო იონების ოდენობის თანაფარდობაზე, რეაქციის ტემპერატურაზე, pH სიდიდეზე, რეაქციის მსვლელობის გარემოზე (ვაკუუმი, ინერტული აირის გარემო, ერთგვაროვნება), გარემოს იონურ ძალაზე და რეაქციის სხვა პარამეტრებზე (მაგ: შერევის სისწრაფეზე, თანადალექვის სიჩქარეზე, შემოგარსვაზე, შეუღლებაზე, დეკანტაციაზე) და ა.შ.

პირველ პერიოდში განხორციელდა არსებული კონტროლირებადი თანადალექვის მეთოდის ავტომატიზირებული უწყვეტი ტექნოლოგიური ხაზის (უტხ) გაფართოება/მოდერნიზაცია ფუნქციონალური მნწ სინთეზის გასაუმჯობესებლად. კერძოდ, მაგნიტური ნანოსითხის (მნს) სტაბილიზაციისა და მონოდისპერსიულობის გასაუმჯობესებლად, ასევე სინთეზის აღწარმოებადობის ასამაღლებლად არსებულ უტხ-ში მოხდა ჩვენს მიერ შექმნილი მოდერნიზებული ელექტროჰიდრავლიკური განმუხტვის დანადგარის, ულტრაბგერითი რეაქტორის (ულტრაბგერითი დისპერგირება), ინერტული აირის (შლენკის ხაზის, აზოტის გენერატორით NITRO-GENTM), ტუმბოიანი შპრიცის (UTMY Syringe pump, UT-620) და დეკანტაციის სისტემების ჩართვა. მსგავსი მიდგომა ხელს შეუწყობს ბიოსამედიცინო დანიშნულების აღწარმოებადი ფუნქციონალური ნნწ-ების სინთეზის მასშტაბირებასა და მიღებული მასალების კომერციალიზაციას.

აქედან გამომდინარე, ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მულტიფუნქციონალური ნნწ-ების სინთეზის ინოვაციური ტექნოლოგიის უნიკალურობა და უპირატესობა არსებულ ანალოგებთან შედარებით მდგომარეობს იმაში, რომ ის საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ ბიოსამედიცინო გამოყენების ნნწ-ების სინთეზის, მოდიფიცირებისა და

მულტიფუნქციონალიზაციის ცალკეული პროცედურები ერთ ტექნოლოგიურ ციკლში კონკრეტული ამოცანის შესაბამისი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების მქონე ნაწილის ტემპების მისაღებად.

ამგვარად, რკინის ოქსიდის ნაწილაკების მონოდისპერსიულობის ასამაღლებლად ჩვენ შევიმუშავეთ მეთოდი, სადაც ნაწილაკების სინთეზის ერთ-ერთ ეტაპზე ვიყენებთ ელექტროჰიდრაულიკურ ეფექტს. როგორც გვიჩვენებს კვლევები, შემოთავაზებული მიდგომა მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ნაწილაკების თვისებებს. ელექტროჰიდრაულიკურ ეფექტთან დაკავშირებული მძლავრი ოსცილაციები დამატებით ახორციელებს ქიმიურად სინთეზირებული ნაწილაკების ჰომოგენიზაციას. სამუშაოს ფარგლებში მოხდა ამ საპილოტე



სურ. 1 მოდერნიზებული ელექტროჰიდრაულიკური დანადგარი მნს-ის დამუშავების პროცესში.

დანადგარის მოდერნიზება დენის და ძაბვის სენსორებით, რომლითაც ხდება განმუხტვის ძირითადი პარამეტრების ერთდროული მონიტორინგი ოსცილოგრაფის მეშვეობით (სურ. 1).

სინთეზის ყველა პროცესი უნდა განხორციელდეს ინერტულ ატმოსფეროში, კლასიკური შლენკის ხაზის ტექნიკის გამოყენებით, რომელიც გერმანელმა ქიმიკოსმა ვილჰელმ შლენკმა (Wilhelm Schlenk) შეიმუშავა მე-20 საუკუნის დასაწყისში. ის წარმოადგენს მინის ორ პარალელურ მილს, რომელსაც აქვს ამ ორი მინის მილსა და დამაკავშირებელი არხი დაბოლოებული ინდივიდუალური ჩამკეტ/გამხსნელი ვენტილებით (სურ. 2).

უპირველესად შლენკის ხაზი გამოიყენება რეაქტიული ნივთიერებების დეაირიზაციაზე დაახლოებით 30 წთ ვაკუუმში ოთახის ტემპერატურაზე უფრო მაღალ



მნიშვნელობაზე მექანიკური შერევის პირობებში. შემდეგ ხსნარი იგივე პირობებში გამოიფრქვევა აირადი აზოტით. უნდა აღინიშნოს, რომ Schlenk-ის ხაზის ტექნიკის

სურათი 2. დამონტაჟებული შლენკის ხაზი.

გამოყენებით ქიმიური რეაგენტების დეგაზირება და სინთეზის მთელი პროცესის განმავლობაში მექანიკური შერევის პირობებში მისი მოქმედება აუცილებელია $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ თანაფარდობის შესანარჩუნებლად.



სურათი 3. აზოტის გენერატორი NYTRO - GEN™

შლენკის ხაზი იკვებება აზოტის გენერატორით NYTRO - GEN™. უტხ შლენკის ხაზთან ერთდება ვაკუუმის შლანგების მეშვეობით, ამისათვის უნდა გაიხსნას ვაკუუმური ხაზის ვენტილი და ვენტილი მოწყობილობაზე, რათა მოხდეს სისტემიდან ჰაერის გაწოვა (ვაკუუმის შექმნა). შემდეგ უნდა გადაიკეტოს ვაკუუმური ხაზის ვენტილი და სისტემა გამოიქრევეს ინერტული აირით, აირის ბალონის რედუქტორისა და ინერტული აირის ხაზის ვენტილების მიმდევრობითი გაღებით (სურ. 4).



სურათი 4. შლენკის ხაზის მიერთება უტხ-თან. მოდერნიზებული უტხ.

მოდერნიზებული უტხ ასევე დატვირთულია ტუმბოიანი შპრიცით (სურ. 5).



სურათი 5. ტუმბოიანი შპრიცი.

ტუმბოიანი შპრიცი (UTMI Syringe Pump, UT-620) არის მოწყობილობა, რომელიც შექმნილია კონკრეტული ხსნარის (NH_4OH) კონტროლირებადი მიწოდებისთვის შპრიცის საშუალებით ავტომატურ რეჟიმში ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობის უზრუნველსაყოფად.

ამავე პერიოდში ჩვენს მიერ შეძენილი იქნა: იონიზატორი Sartorius, ARIUM[®]MINI და



სურათი 6. იონიზატორი

ბიდისტილატი BY-HYDRO STILL 4.1(სურათი 7).



სურათი 7. ბიდისტილატი.

სამუშაოს ფარგლებში განსახორციელებული რკინის ოქსიდის შემცველი ნანოსუსპენზიების მომზადების მეთოდიკა მდგომარეობს რკინის ორ და სამ ვალენტიათა მარილების ქიმიურ თანადალექვაში ტუტე გარემოში. თანადალექვის შედეგად მიიღება რკინის ოქსიდის (ჩვენ შემთხვევაში მაგნეტიტის - Fe_3O_4) ნანონაწილაკების შემცველი სუსპენზია, რომელიც შემდგომ ექვემდებარება pH-ის რეგულირების, ელექტროჰიდრაულიკური ან ულტრაბერითი დამუშავების, შემოგარსვის და ფუნქციონალიზაციის პროცედურებს. ყოველ კონკრეტულ ეტაპზე (ნანონაწილაკების სინთეზი, შემოგარსვა, ფუნქციონალიზაცია) ჩვენ ვიყენებთ ნანოსუსპენზიის გამორეცხვის პროცედურას, რომელიც გულისხმობს სინთეზის შედეგად წარმოქმნილი არასასურველი რეაქციის პროდუქტების (ამონიუმის ქლორიდისა და სულფატის) და ჭარბი ტუტის, ასევე შესაძლო რკინის იონების, ელექტროჰიდრაულიკური დამუშავების შემთხვევაში კი ელექტროდიდან ამოვლეული ლითონის ნაწილაკებისგან გამორეცხვას.



სურათი 8. დეკანტაციის სისტემა

იმის გამო, რომ საქმე გვაქვს მაგნიტურ ნანოსუსპენზიებთან, ბევრად ხელსაყრელია გამორეცხვა მოვახდინოთ მუდმივი ან ელექტრო მაგნიტების მეშვეობით. რკინის ოქსიდის სუსპენზიის მუდმივ მაგნიტზე დეკანტაციის გზით ზემოთაღნიშნული არასასურველი პროდუქტების მოცილება ხდება ჩვენს მიერ შემუშავებული გამორეცხვის სისტემის მეშვეობით. პროცედურა მეორდება მანამ, სანამ არ მივიღებთ სასურველ ფიზიოლოგიური ნიშნულის $pH=7.4$ ნანოსითხეს.

გამორეცხვა დეკანტაციით ასევე საჭიროა მიღებული მაგნიტური ნანონაწილაკების რომელიმე ბიოლოგიურად აქტიური სურფაქტანტით შემოგარსვის შემდგომ. ზოგჯერ საჭიროა მოვაცილოთ ჭარბი სურფაქტანტის რაოდენობა, რომლითაც არ შემოიგარსა ნანონაწილაკი და გახსნილია სუსპენზიაში. ასევე, სურფაქტანტი მოქმედებს ხსნარის საერთო pH -ზე და საჭიროა pH -ის რეგულირება. ყოველივე ამისათვის, ჩვენ შევქმენით ოპტიმიზირებული დეკანტაციის სისტემა, რომელიც კარგად ესადაგება ჩვენს მიერ პროექტირებულ ავტომატური უწყვეტი ტექნოლოგიის ხაზს.

სისტემა მუშაობს შემდეგნაირად: რეაქტორის ყელში ჩაშვებულია შესაბამისი მინის მილაკი, რომელიც უზრუნველყოფს სუფთა დისტილირებული წყლის შეყვანას და გამორეცხილი სითხის გამოტანას პერისტალტიკური ტუმბოების დახმარებით, რომლებიც იმართება ცენტრალური კომპიუტერიდან. გამორეცხვის შემდგომ მიღებული ხსნარი გადადის ტექნოლოგიური ციკლის შემდგომ ეტაპზე.

არსებული უტხ-ს მოდერნიზება, კერძოდ მასში ელექტროჰიდრავლიკური დანადგარის, ულტრაბერითი რეაქტორის, syringe pump-ის დეკანტაციისა და ინერტული აირის სისტემების (შლენკის ხაზის) ჩართვა, შესაძლებელს გახდის უფრო ეფექტური გავხადოთ სინთეზის პროცესი და მივიღოთ მაღალდისპერსიული, მცირე რადიუსული განაზნევის, მულტიფუნქციონალიზირებული ნანონაწილაკების შემცველი აღწარმოებადი ნანოსისტემის სინთეზის ეფექტური პლატფორმა.

ასევე ავლნიშნავთ, რომ ბოლო დროს ჩვენს მიერ შეძენილია Litesizer 500 particle analyzer (Anton Paar, Graz, Austria), რომელიც ზომავს ნანოსისტემის ჰიდროდინამიურ დიამეტრსა და მეტა პოტენციალს. ასევე ხელსაწყო FTIR Thermo Scientific™ Nicolet™ iS™ 5, რომელიც ავლენს სხვადასხვა მოლეკულების კავშირებს ნანონაწილაკების ზედაპირზე.

5. პატენტები:

5.2. ეროვნული პატენტები

1) საპატენტო თემატიკის სათაური

1. NCFluid

2) გამომგონებელი/ები და პატენტფლობელი/ები

1. ლიანა სანებლიძე

2. ჯანო მარხულია

3. საქართველო სსიპ შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდი

4. შალვა კეკუტია

5. ვლადიმერ მიქელაშვილი

3) პატენტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. AM 2023 121863 A

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. ვლადიმერ მიქელაშვილი, შალვა კეკუტია, ჯანო მარხულია, ლიანა სანებლიძე, ნინო მაისურაძე, მანფრედ კრიჩაუმი და ლასლო ალმასი.

2. ჯანო მარხულია, შალვა კეკუტია, ვლადიმერ მიქელაშვილი, ლიანა სანებლიძე, თამარ ცერცვაძე, ნინო მაისურაძე, ნინო ლელაძე, ზოლტ ციგანი და ლასლო ალმასი.

3. ლევან ჩხარტიშვილი, შიო მაქაცარია, ნიკა გოგოლიძე, ოთარ ცაგარეიშვილი, თამაზ ბაციკაძე, მატლახ მირზაევი, შალვა კეკუტია, ვლადიმერ მიქელაშვილი, ჯანო მარხულია, თამაზ მინაშვილი, ქეთევან დავითაძე, ნათია ბარბაქაძე, თამარ დგებუაძე, ქეთევან კოჩიაშვილი, რუსუდან ცისკარიშვილი და როინ ჭეღია.

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI

1. ლიმონჩუკავით მჟავით მოდიფიცირებული რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკების სინთეზი და დახასიათება, მომზადებული ელექტროჰიდრაულიკური განმუხტვის დამუშავებით.

<https://doi.org/10.3390/ma16020746>.

2. დოქსორუბიცინით დატვირთული მაგნიტიტის ნანონაწილაკების სინთეზი, დახასიათება და ინ ვიტრო ციტოტოქსიურობის შეფასება ძუძუს კიბოს სამჯერ უარყოფით უჯრედებზე. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15061758>.

3. ბორის კარბიდის და ნიტრიდის მატრიცის ნანოკომპოზიტების მიღება ნეიტრონისგან დასაცავად და თერაპიაში გამოყენებისთვის. <https://doi.org/10.3390/condmat8040092>

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. Materials 2023, 16, 746.

2. Pharmaceutics 2023, 15, 1758.

3. Condens. Matter 2023, 8, 92.

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

1. შვეიცარია, ბაზელი, MDPI

2. . შვეიცარია, ბაზელი, MDPI

3. . შვეიცარია, ბაზელი, MDPI

5) გვერდების რაოდენობა

1. 12 გვ.

2. 21 გვ.

3. 27 გვ.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. რკინის მარილებისგან ქიმიური თანადალექვა 1:1.9 სტოქიომეტრიული თანაფარდობით NH_4OH საფუძველზე ულტრაბერითი ზემოქმედებით (სონოლიზი) დაბალ ვაკუუმ გარემოში გამოყენებული იქნა ლიმონმჟავით დაფარული Fe_3O_4 ნანონაწილაკების კოლოიდური სუსპენზიების მისაღებად. შემოგარსვამდე ნანონაწილაკები მუშავდებოდა ელექტროჰიდრაულიკური განმუხტვით მაღალი დენით (რამდენიმე ათეული ამპერი) თხევად გარემოში იმპულსური მუდმივი დენის გამოყენებით. მაგნიტიტის ნანონაწილაკები XRD-ით მიიღეს კრისტალიტის საშუალო დიამეტრით $D = 25\text{--}28$ ნმ ნაწილაკების ზომები 25 ნმ, როგორც ეს გაზომილია რენტგენის მცირე კუთხის გაბნევით. მაგნიტომეტრიამ აჩვენა, რომ ყველა ნიმუში იყო სუპერპარამაგნიტური. ელექტროჰიდრაულიკური დამუშავების შემდეგ ლიმონმჟავითი დაფარული ნიმუშების გაჯერების დამაგნიტებამ აჩვენა უფრო მაღალი მნიშვნელობა (58 ემუ/გ), ვიდრე შემოუგარსავი ნიმუშებმა (50 ემუ/გ). ულტრაიისფერი ხილული სპექტროსკოპია და ფურიეს ტრანსფორმაციის ინფრაწითელი სპექტროსკოპია აჩვენებს ლიმონმჟავას არსებობას და შეკავშირებას მაგნიტიტის ზედაპირზე კარბოქსილატური იონების ქემოსორბციით. DLS და ზეტა პოტენციალებიდან მიღებული ჰიდროდინამიკური ზომები იყო 93 და 115 ნმ, -26 და -32 მკ ლიმონმჟავითი დაფარული ნანონაწილაკებისთვის და 226 ნმ და 21 მკ შიშველი ნანონაწილაკებისთვის, შესაბამისად. ჰიდრაულიკური განმუხტვის დამუშავებამ გამოიწვია ლიმონმჟავას უფრო მაღალი დაფარვა და ნაწილაკების უკეთესი დისპერსია. შემუშავებული მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნანონაწილაკების სინთეზში ბიოსამედიცინო გამოყენებისთვის.

2. ამ კვლევაში ჩვენ გამოვიკვლიეთ დოქსორუბიცინით (DOX) დატვირთული მაგნიტური ნანოსითხის ციტოტოქსიკურობა თავის სიმსივნური ეპითელიუმის 4T1 უჯრედებზე და MDA-MB-468 ადამიანის სამმაგ ნეგატიურ სარძევე ჯირკვლის კიბოს (TNBC) უჯრედებზე. სუპერპარამაგნიტური რკინის ოქსიდის ნანონაწილაკები სინთეზირებული იყო სონოქიმიური თანადალექვის გამოყენებით ელექტროჰიდრაულიკური განმუხტვის დამუშავების (EHD) გამოყენებით ავტომატურ ქიმიურ რეაქტორში, მოდიფიცირებული ლიმონმჟავით და დატვირთული DOX-ით. მიღებულმა მაგნიტურმა ნანოსითხებმა აჩვენეს ძლიერი მაგნიტური თვისებები და შეინარჩუნეს დალექვის სტაბილურობა ფიზიოლოგიურ pH პირობებში. მიღებული ნიმუშები დახასიათდა რენტგენის დიფრაქციის (XRD), გამჭოლი ელექტრონული მიკროსკოპის (TEM), ფურიეს ტრანსფორმაციის ინფრაწითელი სპექტროსკოპიის, UV-სპექტროფოტომეტრიის, დინამიური სინათლის გაფანტვის (DLS), ელექტროფორეზული სინათლის გაფანტვის (ELS), ვიბრაციული ნიმუშის მაგნიტომეტრიის (VSM) გამოყენებით. MTT მეთოდის გამოყენებით ინ ვიტრო კვლევებმა გამოავლინა DOX-ით დატვირთული ლიმონმჟავით მოდიფიცირებული მაგნიტური ნანონაწილაკების სინერგიული ეფექტი კიბოს უჯრედების ზრდისა და პროლიფერაციის ინჰიბირებაზე სუფთა DOX-ით მკურნალობასთან შედარებით. წამლისა და მაგნიტური ნანოსისტემის კომბინაციამ აჩვენა წამლის მიზანმიმართული მიწოდების პერსპექტიული პოტენციალი, დოზის ოპტიმიზაციის შესაძლებლობით გვერდითი ეფექტების შესამცირებლად და კიბოს უჯრედებზე ციტოტოქსიური ეფექტის გასაძლიერებლად. ნანონაწილაკების ციტოტოქსიური ეფექტები მიეკუთვნებოდა რეაქტიული ჟანგბადის სახეობების წარმოქმნას და DOX-ით გამოწვეული აპოპტოზის გაძლიერებას. დასკვნები გვთავაზობს ახალ მიდგომას კიბოს საწინააღმდეგო პრეპარატების თერაპიული ეფექტურობის გასაძლიერებლად და მათთან დაკავშირებული გვერდითი ეფექტების შესამცირებლად. მთლიანობაში, შედეგები აჩვენებენ DOX-ით დატვირთული ლიმონმჟავით მოდიფიცირებული მაგნიტური ნანონაწილაკების პოტენციალს, როგორც სიმსივნის თერაპიის პერსპექტიულ სტრატეგიას და გვაწვდიან ინფორმაციას მათი სინერგიული ეფექტების შესახებ.

3. ბორის 10B იზოტოპის მიერ (ეპი)თერმული ნეიტრონების ძალიან მაღალი ჩაჭერის კვეთა ხდის ელემენტარულ ბორს და მის ნაერთებს და კომპოზიტებს პერსპექტიულ მასალად, რომლებიც ინტენსიურად ურთიერთქმედებენ ნეიტრონულ დასხივებასთან. თავის ნანოსტრუქტურული ფორმით, ბორით მდიდარი მასალები ავლენენ თვისებებს, რომლებიც აუმჯობესებენ რადიაციულ მახასიათებლებს. ამასთან დაკავშირებით, შემოთავაზებულია ახალი ტექნოლოგიები ნანოკომპოზიტების სინთეზისთვის ბორის კარბიდის B4C და ექვსკუთხა ბორის ნიტრიდის h-BN მატრიცებით. პირველად, ბორის კარბიდ-ვოლფრამი და ექვსკუთხა ბორის ნიტრიდი-(რკინა, მაგნიტი) კომპოზიტები მიიღეს, შესაბამისად, B4C და W და h-BN კომპონენტების ფენიანი/სენდვიჩის სტრუქტურების სახით, რომლებიც დაფარულ/ჩართული იყო ნანოჯგუფის მაგნიტური კლასტერებით რკინა Fe-ით ან მაგნეტიტით Fe₃O₄. მათი ქიმიური/ფაზური შემადგენლობის, სტრუქტურის/მორფოლოგიის და ზოგიერთი სხვა თვისების შესწავლა მიგვიყვანს დასკვნამდე, რომ განვითარებული B4C–W და h-BN–(Fe,Fe₃O₄) კომპოზიტები სასარგებლო იქნება ბორის საფუძველზე ნეიტრონების დაცვის მნიშვნელოვანი პრობლემების გადასაჭრელად და BNCT (ბორ-ნეიტრონის ჩაჭერის

თერაპია), როგორცაა გამა-გამოსხივების შესუსტება, რომელიც თან ახლავს ნეიტრონების შთანთქმას 10B ბირთვით და 10B ბირთვების მიზანმიმართული მიწოდება, როგორც BNCT თერაპიული აგენტები, სიმსივნის ქსოვილებში კონტროლის გამოყენებით, შესაბამისად გარე მაგნიტური ველით.

ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების ლაბორატორია (ლაბორატორიის გამგე ფიზ. მათ. მეც. კანდიდატი ნიკოლოზ მარგიანი)

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით
1. ახალი თაობის თერმოელექტრული კობალტიტებისა და მაღალტემპერატურული ზეგამტარი მასალების ფუნქციონალური მახასიათებლების გაუმჯობესება სხვადასხვა დოპანტებისა და დანამატების გამოყენებით

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

1. 2023–2027

3) პროექტის შესრულებაში მონაწილე პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ნიკოლოზ მარგიანი — კვლევების ხელმძღვანელი;

2. ვახტანგ ჟღამაძე — ელექტროფიზიკური გაზომვები;

3. იამზე ქვარცხავა — სინთეზი

4. გიორგი კახნიაშვილი — ზოლ-გელ სინთეზის ჯგუფის ხელმძღვანელი;

5. გიორგი მუმლაძე — სინთეზი, მენეჯმენტი;

6. მაია ბალახაშვილი — სინთეზი;

7. ნათია მარგიანი — ლაბორანტი;

8. ლანა შამანაური — ზოლ-გელ სინთეზი.

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. ახალი თაობის თერმოელექტრული კობალტიტებისა და მაღალტემპერატურული ზეგამტარი მასალების ფუნქციონალური მახასიათებლების გაუმჯობესება სხვადასხვა დოპანტებისა და დანამატების გამოყენებით

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2023–2027

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ნიკოლოზ მარგიანი — კვლევების ხელმძღვანელი;
2. ვახტანგ ჟღამაძე — ელექტროფიზიკური გაზომვები;
3. იამზე ქვარცხავა — სინთეზი
4. გიორგი კახნიაშვილი — ზოლ–გელ სინთეზის ჯგუფის ხელმძღვანელი;
5. გიორგი მუმლაძე — სინთეზი, მენეჯმენტი;
6. მაია ბალახაშვილი — სინთეზი;
7. ნათია მარგიანი — ლაბორანტი;
8. ლანა შამანაური — ზოლ–გელ სინთეზი.

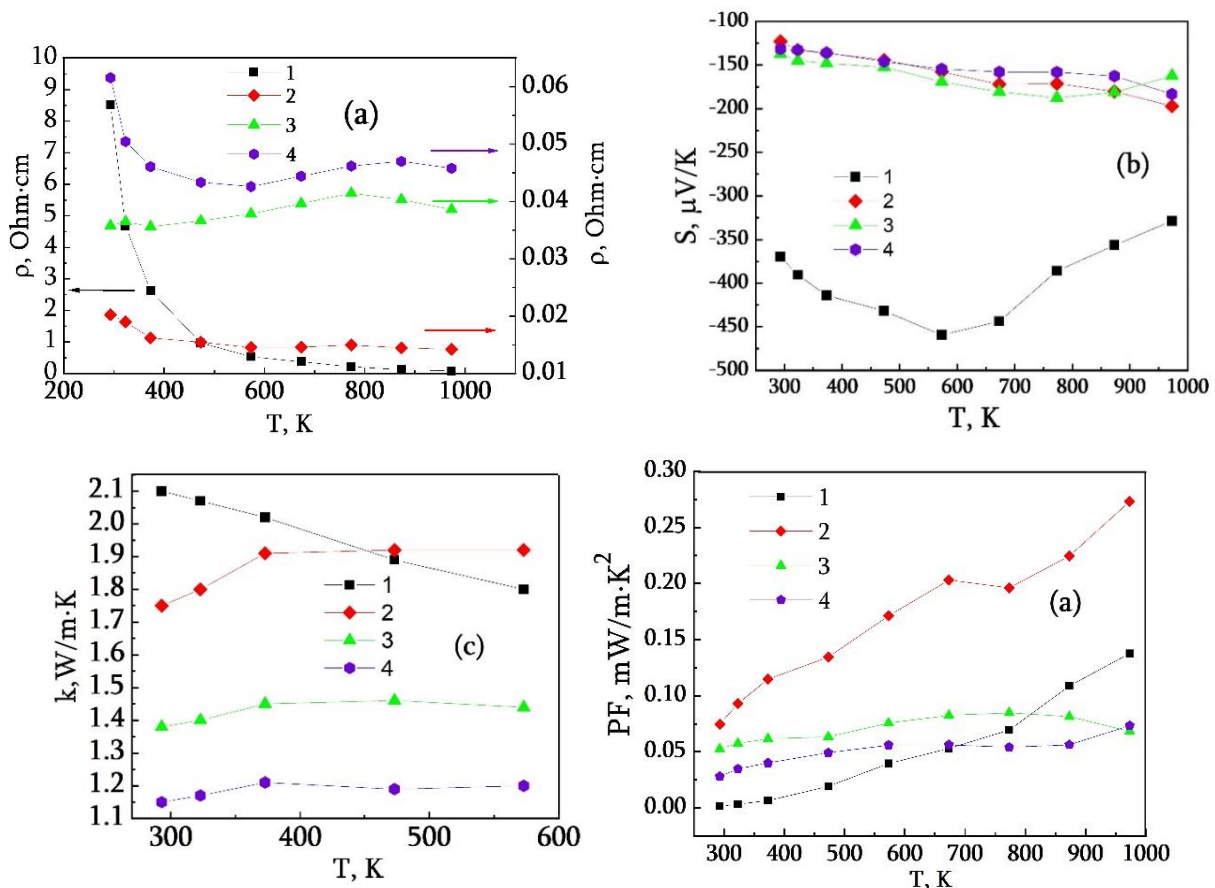
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

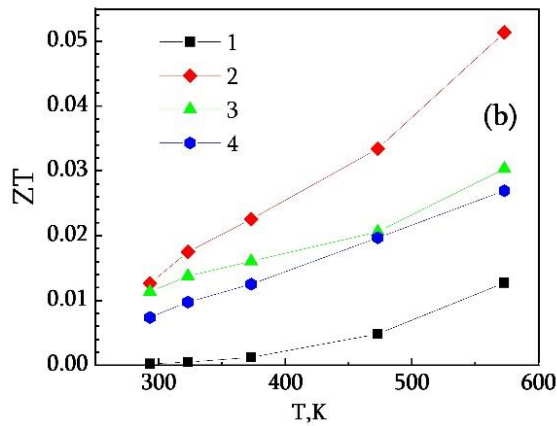
1. პრაქტიკულ შედეგზე ორიენტირებული თერმოელექტრობის კვლევისას საჭიროა აქცენტების განაწილება p და n ტიპის თერმოელექტრიკებზე, ვინაიდან გაფანტული სითბოსგან ელექტროენერგიის მისაღებად თერმოელექტროგენერატორებში (TEG) გამოიყენება p და n ბლოკების კომბინაცია.

ვინაიდან p ტიპის თერმოელექტრიკებზე მუშაობა ძირითადად საგრანტო თემატიკებში იყო კონცენტრირებული, პროგრამული თემატიკისთვის გამოყოფილი დრო მიმდინარე წელიწადს დავუთმეთ n ტიპის თერმოელექტრიკების შესწავლას, კერძოდ, კალციუმის მანგანატის — CaMnO_3 -ის თერმოელექტრული პარამეტრების გაუმჯობესებას დოპირებისა და კოდოპირების მეშვეობით.

ზოლ-გელ ტექნოლოგიით დამზადდა საყრდენი და დოპირებული ნიმუშების შემდეგი სერია: CaMnO_3 (N1, საყრდენი) და დოპირებული $\text{Ca}_{0.9}\text{Lu}_{0.05}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.03}\text{MnO}_3$ (N 2), $\text{Ca}_{0.9}\text{Er}_{0.05}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.03}\text{MnO}_3$ (N 3) და $\text{Ca}_{0.9}\text{Lu}_{0.025}\text{Er}_{0.025}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.03}\text{MnO}_3$ (N 4). სინთეზისთვის პრეკურსორ მასალებად ავიღეთ CaCO_3 , $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Lu_2O_3 , Er_2O_3 , და $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. ხსნარში ჰომოგენიზაციისა და პირველადი ქიმიური რეაქციის ჩასატარებლად გამოვიყენეთ ISTC GE-2776 პროექტის ფარგლებში შეძენილი მაგნიტური შემრევი (სტირერი SMHS-3, Nabitex Scientific GmbH) ტემპერატურის რეგულირებით. რეჟიმის ოპტიმიზაციისთვის ჩატარებულმა უამრავმა ცდამ მიგვიყვანა 80°C ტემპერატურასა და 30–40 წუთის მანძილზე შერევის პროცედურამდე, რის შედეგადაც ცილდებოდა ზედმეტი ნესტი და ნარევი მიდიოდა გელის კონდიციამდე. მიღებული გელი გამოიწვებოდა 500 გრადუსზე, ხოლო მიღებული ფხვნილოვანი მასა თერმულად მუშავდებოდა უკვე იმავე რეჟიმში, რაც მყარფაზური მეთოდით მიღებული სუბსტანცია.

ოთახის ტემპერატურიდან 973 K ტემპერატურამდე შუალედში გაიზომა კუთრი წინაღობისა $\rho(T)$ და ზეეზვის კოეფიციენტის $S(T)$ ტემპერატურული დამოკიდებულებები ლაბორატორიაში აწყობილი, KEITHLEY DMM6500 მულტიმეტრით აღჭურვილი ტექნიკური ხაზის მეშვეობით. $300 - 573\text{ K}$ შუალედში გაიზომა $k(T)$ თბოგამტარობის ტემპერატურული სვლა „Hot Disk TPS 500 thermal constants analyzer“ ხელსაწყოთი. ამ გაზომილი პარამეტრების საფუძველზე გამოითვალა სიმძლავრის ფაქტორის – $PF=S^2/\rho$ და ვარგისიანობის მაჩვენებლის – $ZT=S^2T/\rho k$ მნიშვნელობები. ქვემოთ მოყვანილია ჩამოთვლილი დამოკიდებულებების ამსახველი მრუდები.





როგორც მრუდებიდან ჩანს, დოპირებული ნიმუშების კუთრი წინააღმდეგობა გაცილებით მცირეა საყრდენთან შედარებით, რაც აიხსნება Ca^{2+} -ის ნაწილობრივი ჩანაცვლებით $\text{Lu}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ ით, რასაც მივყავართ მუხტის მატარებლების კონცენტრაციის ზრდამდე.

რაც შეეხება ზეებეკის კოეფიციენტს, სურათზე ვხედავთ ყველა ნიმუშისთვის მის უარყოფით მნიშვნელობას, რაც დასტურია n ტიპის თერმოელექტრიკის არსებობისა. საყრდენ ნიმუშს უფიქსირდება ამ პარამეტრის საკმაოდ დიდი მნიშვნელობა მოდულით 573 K-ზე, რაც შეესაბამება საყრდენი ეგზემპლარის დიდ კუთრ წინააღმდეგობას. მუხტის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად, რაც თანმდევია დოპირების ზრდისა, ზეებეკის კოეფიციენტის მოდული მცირდება მნიშვნელოვნად. 293 და 973 K შუალედში დოპირებული ნიმუშების S სვლა ერთნაირია, რაც აიხსნება ელექტრონული დოპირების თანაზომადი დონით. რაც შეეხება თბოგამტარობას, მისი მინიმალური მნიშვნელობა უფიქსირდება $N4$ ნიმუშს, რისი მიზეზიცაა მცირე სიმკვრივე და ფონონების ნამატი გაბნევა სტრუქტურის მარცვლებსა და მეორად ფაზებზე. ვინაიდან თერმოელექტრიკების შემაფასებელი მთავარი პარამეტრები PF და ZT -ია, დასკვნის სახით შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ მათი უმაღლესი მნიშვნელობა გააჩნია $N2 \text{ Lu}_2\text{O}_3$ და $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ -ით კოდოპირებულ ნიმუშს, საყრდენზე 2-ჯერ და 4-ჯერ მეტი, შესაბამისად, რაც ეთანადება ლიტერატურულ მონაცემებს.

აღნიშნული კვლევები დასრულდა ახლახანს, ამ დღეებში. მომზადდა 1 და მზადდება 1 პუბლიკაცია რეიტინგულ ჟურნალებში წარსადგენად.

3. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

3.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. ბორატების შემცველი გრაფენ/კერამიკული თერმოელექტრული კომპოზიტები — ნაბიჯი კომერციალიზაციისკენ, ფიზიკა, ინჟინერია და ტექნოლოგიები, AR-22-470;

2. ბორაქსით დოპირების ზეგავლენა ფენოვანი კობალტიტების თერმოელექტრულ მახასიათებლებზე, ფიზიკა, ინჟინერია და ტექნოლოგიები, PHDF-22-442
3. BN და TiN ნანოჩანართების ზეგავლენა $Y(LRE)Ba_2Cu_3O_y$ ($LRE=Sm$ და Eu) მტზ-ის მიკროსტრუქტურასა და ზეგამტარ თვისებებზე, ფიზიკა, ინჟინერია და ტექნოლოგიები, YS-22-175

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2022–2024
2. 2022–2024
3. 2022–2024

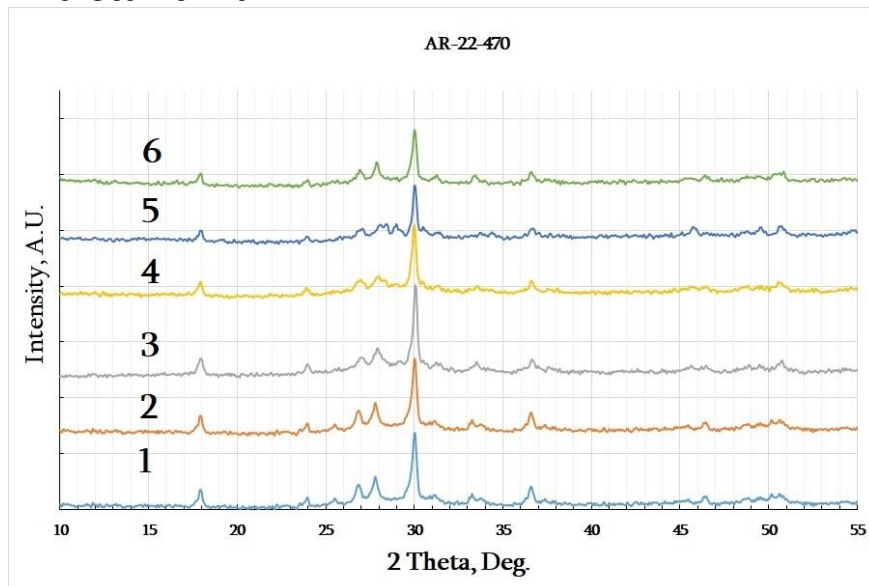
3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. ნიკოლოზ მარგიანი – ხელმძღვანელი, იამზე ქვარცხავა – მკვლევარი, ვახტანგ ჟღამაძე – მკვლევარი, ზურაბ ადამია – მკვლევარი, გიორგი მუმლაძე – დამხმარე პერსონალი
2. იამზე ქვარცხავა – გრანტის მიმღები;
3. გიორგი მუმლაძე – გრანტის მიმღები

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. საგრანტო პროექტის: “ბორატების შემცველი გრაფენ/კერამიკული თერმოელექტრული კომპოზიტები — ნაბიჯი კომერციალიზაციისკენ” (ფიზიკა, ინჟინერია და ტექნოლოგიები, AR-22-470) საანგარიშო პერიოდში ჩატარდა პროექტის პირველი პერიოდის გეგმა–გრაფიკით გათვალისწინებული თერმოელექტრული მასალების სინთეზი და სინთეზირებული ნიმუშების თერმოელექტრული, სტრუქტურული და მიკროსტრუქტურული (SEM) მახასიათებლების კვლევა. პროექტით დასახული მიზნის მისაღწევად მყარფაზური რეაქციის მეთოდით მიღებულ იქნა როგორც არადოპირებული (საყრდენი), აგრეთვე ბორაქსით ($Na_2B_4O_7$) დოპირებული, გრაფენის (Gr) ჩანართებიანი $Bi_2Sr_2Co_2O_y$ ნიმუშები, ანუ ბორაქსით დოპირებული $Bi_2Sr_2Co_2O_y/Gr$ კომპოზიტები. კერძოდ, თავდაპირველად აიწონა შემდეგი შედგენილობის მქონე ნიმუშები: (1)-საყრდენი $Bi_2Sr_2Co_2O_y$, (2)- $Bi_2Sr_{1.98}[Na_2B_4O_7]_{0.01}Co_2O_y$, (3)- $Bi_2Sr_{1.95}[Na_2B_4O_7]_{0.025}Co_2O_y$, (4)- $Bi_2Sr_{1.92}[Na_2B_4O_7]_{0.04}Co_2O_y$, (5)- $Bi_2Sr_{1.88}[Na_2B_4O_7]_{0.06}Co_2O_y$, (6)- $Bi_{1.95}[Na_2B_4O_7]_{0.025}Sr_2Co_2O_y$. ამრიგად, (2)–(5) ნიმუშებში განხორციელდა სტრონციუმის პოზიციების დოპირება (ნაწილობრივი ჩანაცვლება) ბორაქსით, ხოლო (6) ნიმუშში ბორაქსმა ნაწილობრივ ჩანაცვლა ბისმუტის პოზიციები. აწონილი კაზმები თავდაპირველად გადაიფქვა ხელით, აქატის როდინში, შემდგომ კი ჰომოგენიზაციის მიზნით დამუშავდა (დაიფქვა) პლანეტარულ წისქვილში (Fritsch Pulverisette 7 Premium line). ჰომოგენიზირებული კაზმების კალცინირება ჩატარდა 780–805 °C ტემპერატურულ ინტერვალში, 22 საათის განმავლობაში, შუალედური გადაფქვით. კალცინირების დასრულების შემდგომ კაზმებს (საყრდენი ნიმუშის გამოკლებით) დაემატა 0.8 წონითი % გრაფენი.% (გრაფენის ფანტელის საშუალო სისქე: 12 ნმ: 30–50 მონოფენა). ამის შემდგომ პრეკურსორები კვლავ დაიფქვა

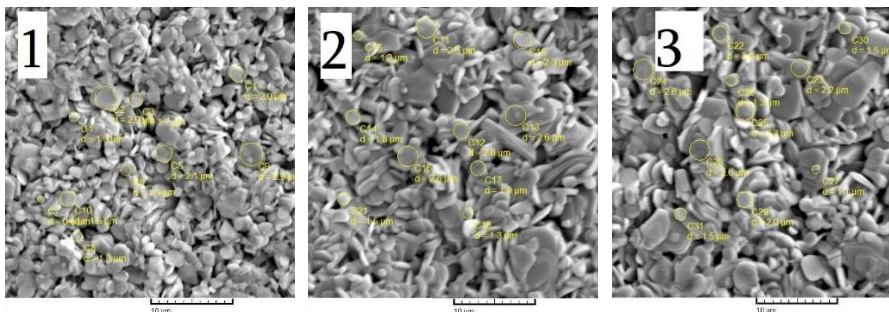
პლანეტარულ წისკვილში. დაფუძვლი პრეკურსორები დაიწნება აბეზად 220 მეგაპასკალი წნევის ქვეშ. საბოლოოდ, აბეზი გამოიწვა 21 საათის განმავლობაში, 810°C ტემპერატურაზე. სურ.1-ზე წარმოდგენილია საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y/\text{Gr}$ კომპოზიტების რენტგენოგრამები.

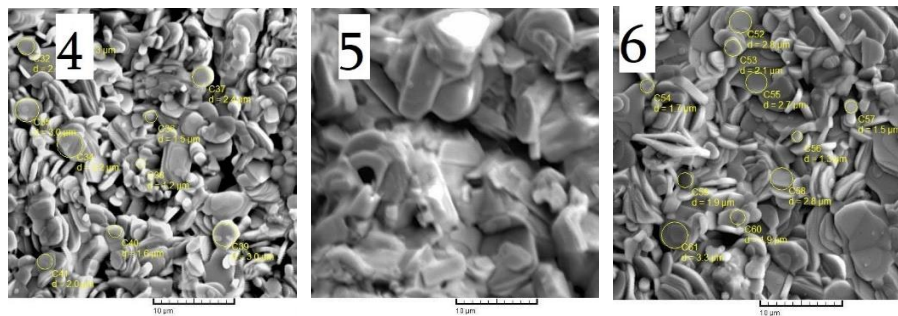


სურ.1. საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y/\text{Gr}$ კომპოზიტების რენტგენოგრამები. (1)-საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, (2)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.98}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.01}\text{Co}_2\text{O}_y$, (3)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Co}_2\text{O}_y$, (4)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.92}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.04}\text{Co}_2\text{O}_y$, (5)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.88}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.06}\text{Co}_2\text{O}_y$, (6)- $\text{Bi}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$.

დანამატების მცირე შემცველობის შედეგად რენტგენოგრამები მსგავსია და დანამატებთან დაკავშირებული დამატებითი პიკები არ წარმოიქმნება.

სურ.2 ასახავს საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y/\text{Gr}$ კომპოზიტების მასკანირებულ ელექტრონულ მიკროსკოპზე (SEM) გადაღებულ მიკროფოტოგრაფიებს. (1)-საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, (2)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.98}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.01}\text{Co}_2\text{O}_y$, (3)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Co}_2\text{O}_y$, (4)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.92}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.04}\text{Co}_2\text{O}_y$, (5)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.88}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.06}\text{Co}_2\text{O}_y$, (6)- $\text{Bi}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$.





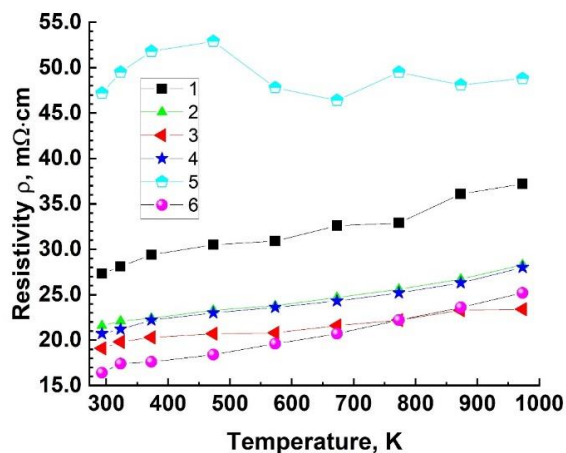
სურ.2. საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y/\text{Gr}$ კომპოზიტების ზედაპირების მიკროფოტოგრაფიები. (1)-საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, (2)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.98}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.01\text{Co}_2\text{O}_y$, (3)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.025\text{Co}_2\text{O}_y$, (4)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.92}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.04\text{Co}_2\text{O}_y$, (5)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.88}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.06\text{Co}_2\text{O}_y$, (6)- $\text{Bi}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.025\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$.

მიკროფოტოგრაფიების თანახმად, ფირფიტისებრი მარცვლების ზომები ნიმუშიდან ნიმუშამდე მცირედ იცვლება (N 5 ნიმუშის გამოკლებით) და მერყეობს $1.8 \div 2$ მკმ-ის ფარგლებში. დანარჩენებისაგან სრულიად განსხვავებულია N 5 ნიმუში. ამ ნიმუშის შემადგენელი უსწორმასწორო მარცვლების საშუალო ზომა მკვეთრად, 5 მკმ-დე იზრდება. იზრდება ასევე ფორების ზომები. ამასთან დაკავშირებით აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ N 5 ნიმუში დოპირებულია (სხვებთან შედარებით) ბორაქსის მეტი რაოდენობით. ვიზუალურად ეს ნიმუში ნაწილობრივ გაღებულობის შთაბეჭდილებას ტოვებდა, რაც, ჩვენი აზრით, გამოწვეულია ჭარბი ბორაქსის გაღებობით, რამაც უნდა განაპირობოს კომპოზიტის შემადგენელი ელემენტების დიფუზიის უნარის ამაღლება, შეცხოვადობის გაუმჯობესება და მარცვლების ზომების ზრდა. დათვლილ იქნა სინთეზირებული ნიმუშების სიმკვრივე და შედარდა $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ სისტემის თეორიულ სიმკვრივეს (ცხრილი 1).

ცხრილი 1.

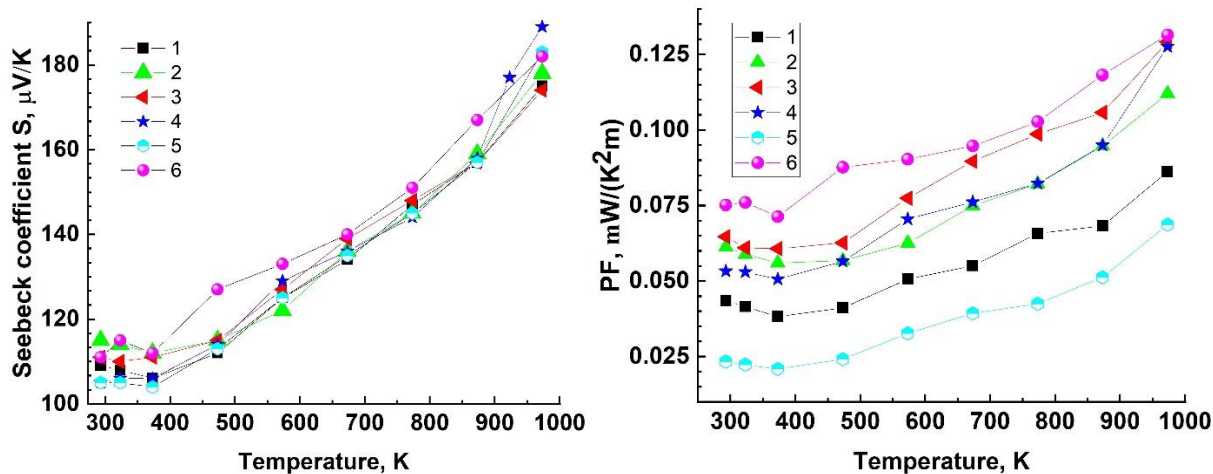
შედგენილობა	სიმკვრივე, გ/სმ ³	% თეორიული სიმკვრივიდან: 6.81 გ/სმ ³
(1)-საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$	5.12	75.20
(2)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.98}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.01\text{Co}_2\text{O}_y$	5.47	80.32
(3)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.025\text{Co}_2\text{O}_y$	6.17	90.60
(4)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.92}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.04\text{Co}_2\text{O}_y$	6.03	88.55
(5)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.88}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]0.06\text{Co}_2\text{O}_y$	6.18	90.75
(6)-	5.75	84.43

ცხრილის მონაცემები ნათლად მეტყველებს, რომ ბორაქსით (Na₂B₄O₇) დოპირებული Bi₂Sr₂Co₂O_y/Gr კომპოზიტების სიმკვრივე მნიშვნელოვნად იზრდება, რაც მეტად ხელსაყრელია კომპოზიტების კუთრი წინაღობის შესამცირებლად, ანუ ელექტრული გამტარებლობის გასაუმჯობესებლად. სურ.3-ზე ნაჩვენებია საყრდენი და ბორაქსით (Na₂B₄O₇) დოპირებული Bi₂Sr₂Co₂O_y/Gr კომპოზიტების კუთრი წინაღობის ტემპერატურული დამოკიდებულება.



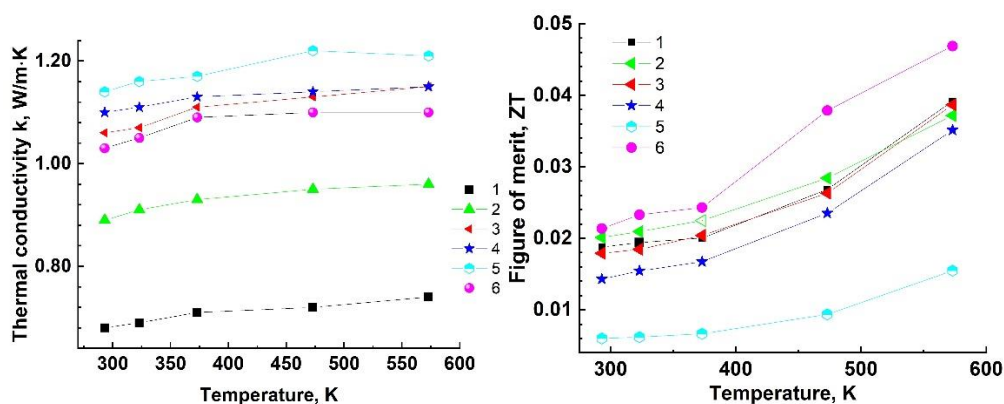
სურ.3. საყრდენი და ბორაქსით (Na₂B₄O₇) დოპირებული Bi₂Sr₂Co₂O_y/Gr კომპოზიტების კუთრი წინაღობის ტემპერატურული დამოკიდებულება. (1)-საყრდენი Bi₂Sr₂Co₂O_y, (2)-Bi₂Sr_{1.98}[Na₂B₄O₇]_{0.01}Co₂O_y, (3)-Bi₂Sr_{1.95}[Na₂B₄O₇]_{0.025}Co₂O_y, (4)-Bi₂Sr_{1.92}[Na₂B₄O₇]_{0.04}Co₂O_y, (5)-Bi₂Sr_{1.88}[Na₂B₄O₇]_{0.06}Co₂O_y, (6)-Bi_{1.95}[Na₂B₄O₇]_{0.025}Sr₂Co₂O_y.

სურ.4. აღწერს საყრდენი და ბორაქსით (Na₂B₄O₇) დოპირებული Bi₂Sr₂Co₂O_y/Gr კომპოზიტების ზეებევის კოეფიციენტისა (S) და სიმძლავრის ფაქტორის (PF) ტემპერატურულ დამოკიდებულებას.



სურ.4. საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y/\text{Gr}$ კომპოზიტების ზეგბევის კოეფიციენტისა (S) და სიმძლავრის ფაქტორის (PF) ტემპერატურული დამოკიდებულება. (1)-საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, (2)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.98}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.01}\text{Co}_2\text{O}_y$, (3)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Co}_2\text{O}_y$, (4)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.92}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.04}\text{Co}_2\text{O}_y$, (5)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.88}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.06}\text{Co}_2\text{O}_y$, (6)- $\text{Bi}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$.

ზეგბევის კოეფიციენტის ტემპერატურული სვლა მცირედაა დამოკიდებული დოპირების დონეზე. ეს კოეფიციენტი დადებითაა 300–970 K ტემპერატურულ დიაპაზონში, რაც მეტყველებს მასალის p-ტიპის გამტარებლობაზე. სიმძლავრის ფაქტორის (PF) მნიშვნელობა კი მკვეთრად, 50 %-ით უმჯობესდება დოპირების შედეგად, რაც განპირობებულია დოპირებული ნიმუშების მცირე (საყრდენ ნიმუშთან შედარებით) კუთრი წინააღობით. სურ. 5-ზე წარმოდგენილია საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y/\text{Gr}$ კომპოზიტების თბოგამტარობის კოეფიციენტისა (k) და ვარგისობის მაჩვენებლის (ZT) ტემპერატურული დამოკიდებულებები.



სურ.5. საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y/\text{Gr}$ კომპოზიტების თბოგამტარობის კოეფიციენტისა (k) და ვარგისობის მაჩვენებლის (ZT) ტემპერატურული დამოკიდებულება. (1)-საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, (2)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.98}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.01}\text{Co}_2\text{O}_y$, (3)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Co}_2\text{O}_y$, (4)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.92}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.04}\text{Co}_2\text{O}_y$, (5)- $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.88}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.06}\text{Co}_2\text{O}_y$, (6)- $\text{Bi}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$.

დოპირება მკვეთრად ზრდის თბოგამტარობის კოეფიციენტს, თუმცა წინააღობის შემცირების ეფექტი დოპირების შედეგად უზრუნველყოფს ვარგისობის მაჩვენებლის 20 %-ით გაუმჯობესებას N 6 ნიმუშში.

მომდევნო პუნქტში განხილულია დოქტორანტურის ინდივიდუალური პროექტის ფარგლებში (PHDF-22-442: ბორაქსით დოპირების ზეგავლენა ფენოვანი კობალტიტების თერმოელექტრულ მახასიათებლებზე) მიღებული შედეგები, რომლებიც აღწერს $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ თერმოელექტრულ სისტემაზე ბორაქსის- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ზეგავლენას (გრაფენის გარეშე!). საინტერესოა, შევაფასოთ, გააჩნია თუ არა ბორაქსისა და გრაფენის დანამატების ერთდროულად გამოყენებას სინერგიული ეფექტი. ამ მიზნით ცხრილში N1 შეჯამებულია სიმძლავრის ფაქტორისა (PF) და ვარგისობის მაჩვენებლის (ZT) მნიშვნელობები ბორაქსითა და გრაფენით თანადოპირებისა და მხოლოდ ბორაქსით დოპირების პირობებში. ცხადია,

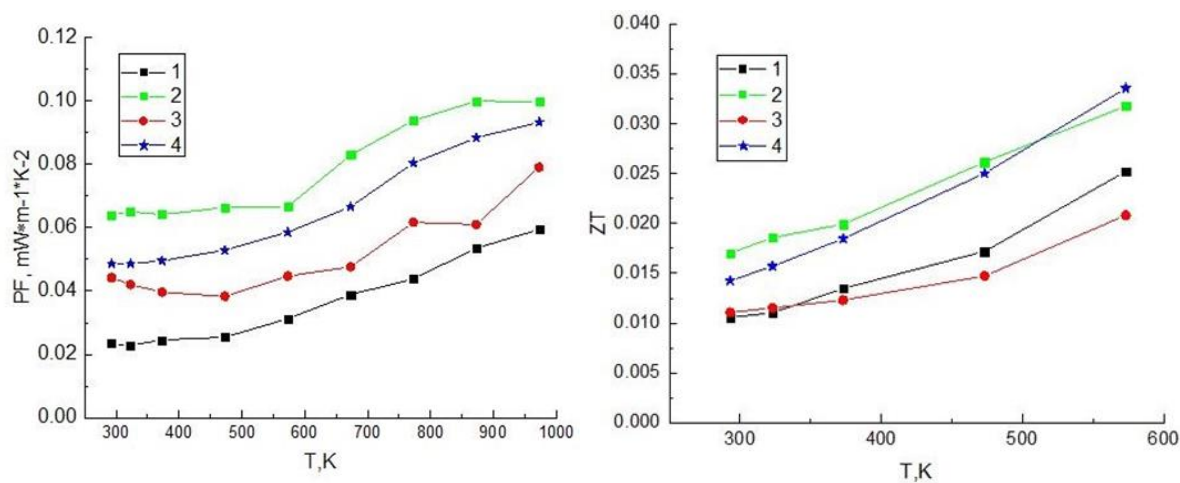
მხოლოდ ბორაქსით დოპირების შედეგების შეჯამებისას ვისარგებლეთ მომდევნო პუნქტის მონაცემებით.

ცხრილი N1

შედგენილობა	PF (973 K ტემპერატურაზე)	ZT (573 K ტემპერატურაზე)
ბორაქსითა და გრაფენით თანადოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$	0.13	0.047
მხოლოდ ბორაქსით დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$	0.10	0.033

ცხრილში მოცემული მახასიათებლები, რომლებიც ასახავენ მასალის თერმოელექტრულ ეფექტურობას, მეტყველებენ სინერგიული ეფექტის არსებობაზე ბორაქსისა და გრაფენის დანამატების ერთდროულად გამოყენებისას.

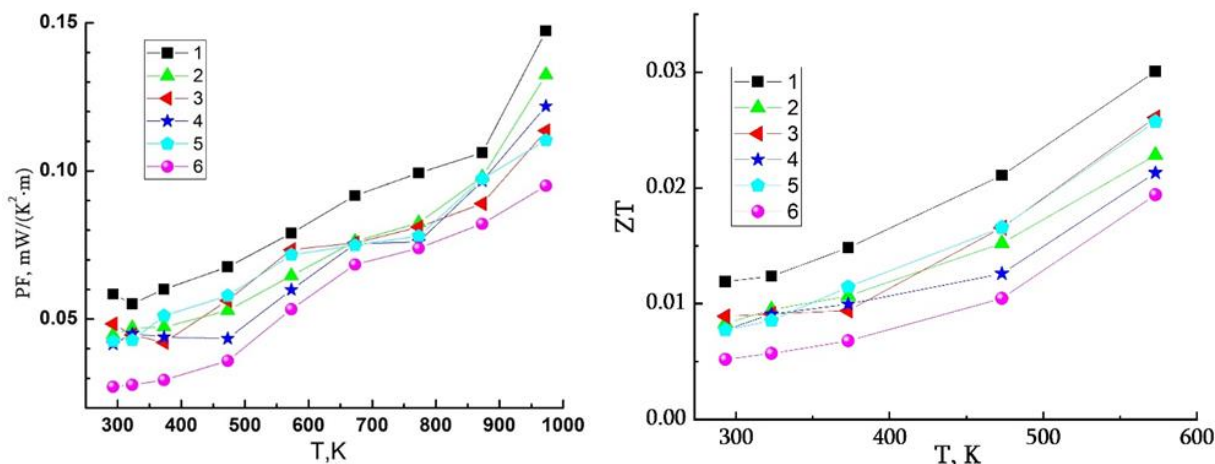
2. საანგარიშო პერიოდში ჩატარდა დოქტორანტურის ინდივიდუალური პროექტის (PHDF-22-442: ბორაქსით დოპირების ზეგავლენა ფენოვანი კობალტიტების თერმოელექტრულ მახასიათებლებზე) გეგმა-გრაფიკით გათვალისწინებული ბორაქსით დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ და $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ თერმოელექტრული მასალების კონცენტრაციული სერიების სინთეზი და სინთეზირებული ნიმუშების თერმოელექტრული, სტრუქტურული და მიკროსტრუქტურული (SEM) მახასიათებლების კვლევა. მასალების სინთეზი განხორციელდა მყარფაზური რეაქციის მეთოდით, მუფელის ღუმელებში. ხელით გადაფუთი დოპანტები პრეკურსორებს ჩაემატა თერმული დამუშავების, ანუ სინთეზის დაწყებამდე. სიმოკლის მიზნით, მოგვყავს მხოლოდ სიმძლავრის ფაქტორისა (PF) და ვარგისობის მაჩვენებლის (ZT) ტემპერატურული დამოკიდებულებები ბორაქსით დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ და $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ შედგენილობებისათვის. კერძოდ, სურ. 1-ზე მოცემულია საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ თერმოელექტრიკებისათვის მიღებული შედეგები.



სურ.1. საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ ნიმუშების სიმძლავრის ფაქტორისა (PF) და ვარგისობის მაჩვენებლის (ZT) ტემპერატურული დამოკიდებულება. 1–საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$. 2– $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Co}_2\text{O}_y$. 3– $\text{Bi}_{1.9}[\text{Pb}(\text{BO}_2)_2]_{0.1}\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Co}_2\text{O}_y$. 4– $\text{Bi}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$.

დასკვნა: ჩატარებული ფიზიკურ–ტექნოლოგიური სამუშაოს შედეგად მიღწეულია სიმძლავრის ფაქტორისა და ვარგისობის მაჩვენებლის გაუმჯობესება $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ შედგენილობის მქონე მასალებში. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მიღებული შედეგების საფუძველზე თერმოელექტრული მახასიათებლების შემდგომი გაუმჯობესების რესურსი სრულიად რეალურია დოპანტის ოპტიმალური კონცენტრაციის უზუსტესი დადგენით (საჭიროებს დოპირებული ნიმუშების კონცენტრაციული სერიების დამატებით სინთეზს, როცა დოპანტის კონცენტრაცია გაიზრდება უკიდურესად მცირე ბიჯით). ცხადია, ეს მეტად შრომატევად, მასშტაბურ ფიზიკურ–ტექნოლოგიურ კვლევას წარმოადგენს, რომლის მოცულობა სცდება წინამდებარე საგრანტო პროექტის ფარგლებს.

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ სისტემისაგან განსხვავებით, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ –ით დოპირება მკვეთრად აუარესებს $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ შედგენილობის თერმოელექტრული ეფექტურობის მახასიათებლებს–სიმძლავრის ფაქტორს (PF) და ვარგისობის მაჩვენებელს (ZT) (სურ.2)

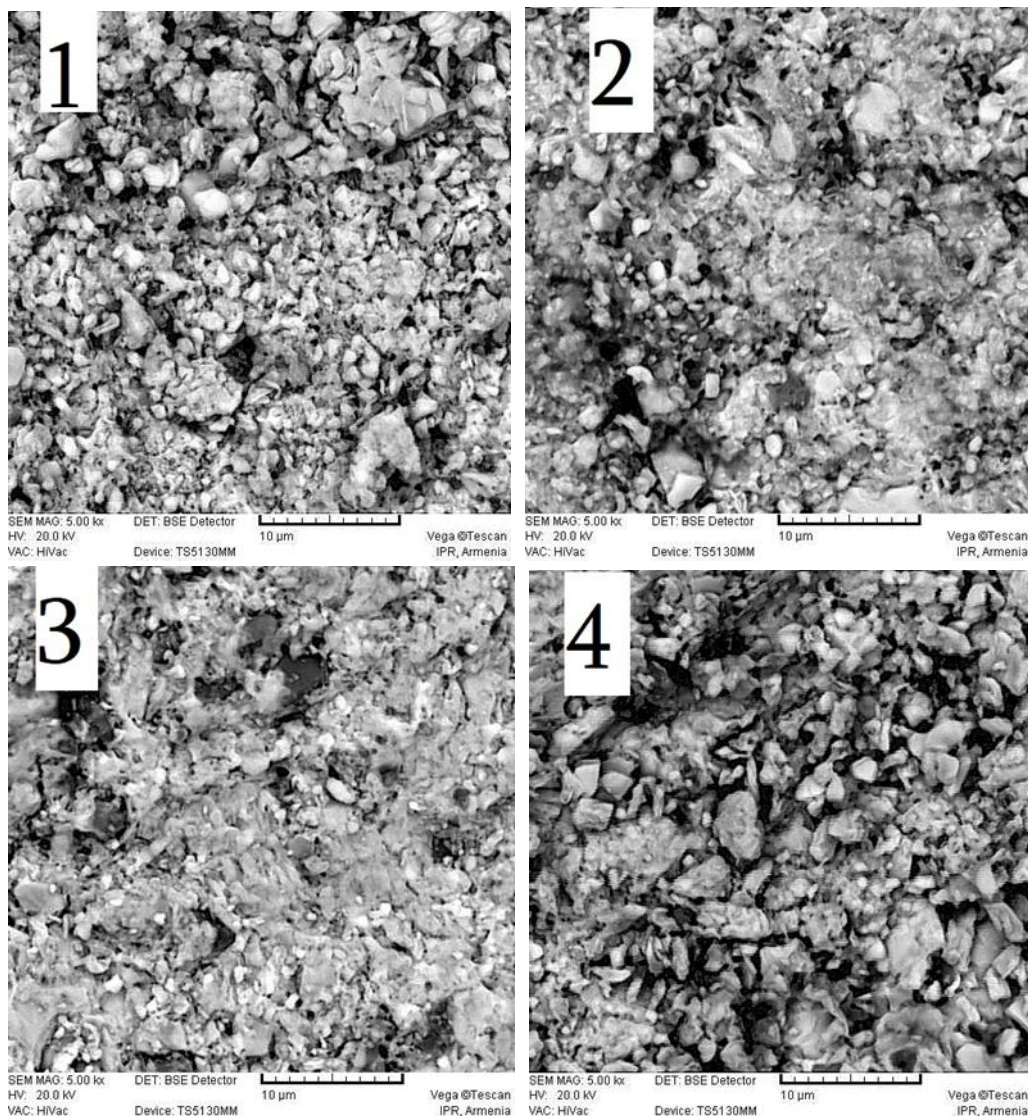


სურ.2. საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ ნიმუშების სიმძლავრის ფაქტორისა (PF) და ვარგისობის მაჩვენებლის (ZT) ტემპერატურული დამოკიდებულება.

1–საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$. 2– $\text{Bi}_{1.96}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.02}\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$. 3– $\text{Bi}_{1.94}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.03}\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 4– $\text{Bi}_{1.92}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.04}\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$. 5– $\text{Bi}_2\text{Ca}_{1.96}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.02}\text{Co}_2\text{O}_y$. 6– $\text{Bi}_2\text{Ca}_{1.96}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.02}\text{Co}_2\text{O}_y$.

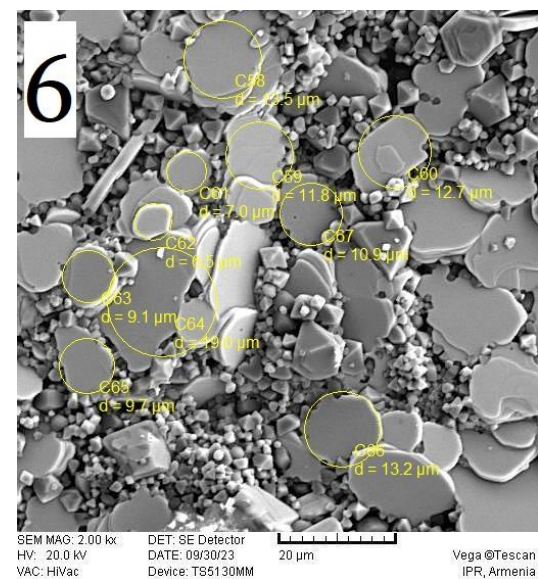
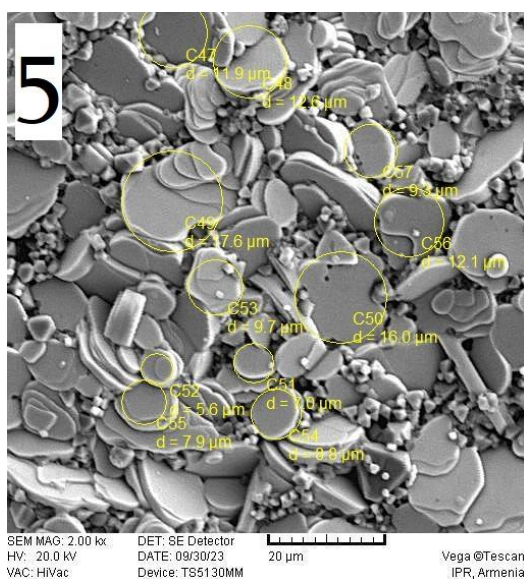
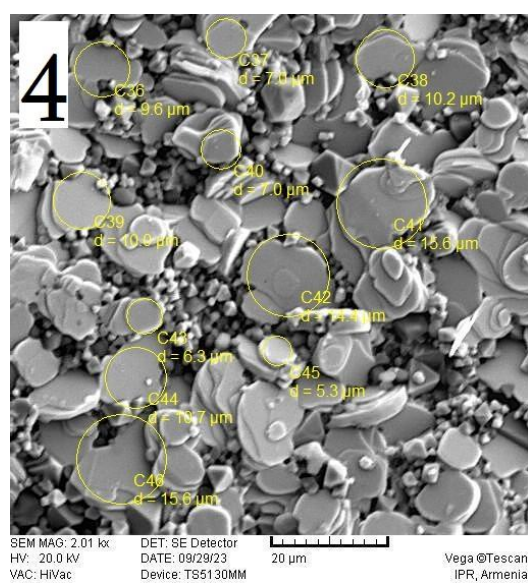
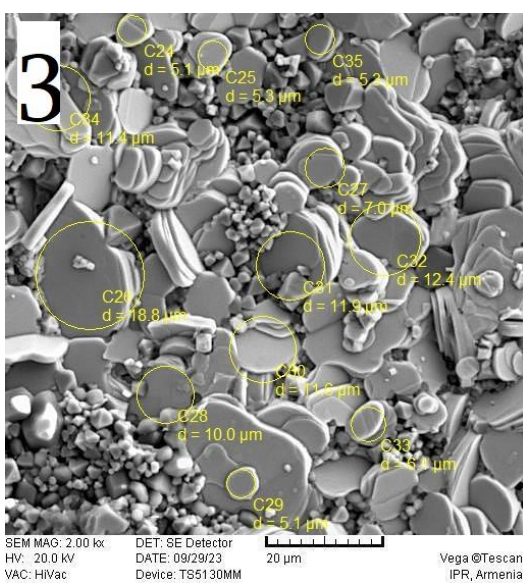
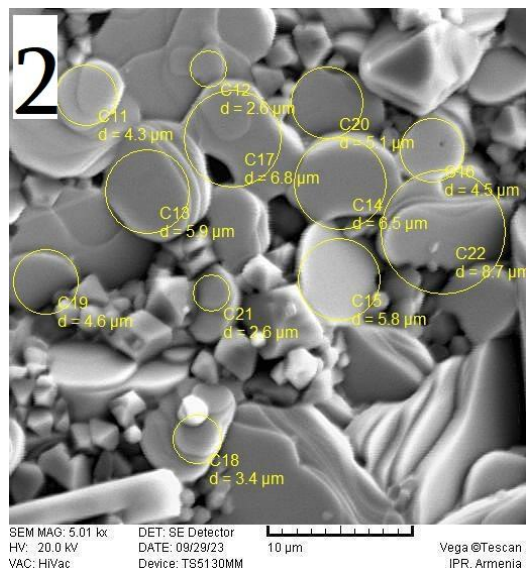
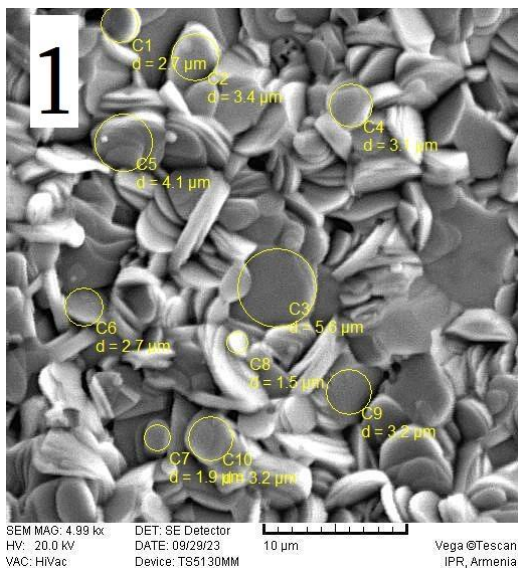
საკვლევი მასალების რენტგენოგრაფიული ანალიზის თანახმად, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ და $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ მასალის დოპირება ბორაქსით არ განაპირობებს ახალი, დოპანტთან დაკავშირებული პიკების აღმოცენებას, რადგან დოპანტის შემცველობა უკიდურესად დაბალია (რენტგენოგრამები არ მოგვყავს სიმოკლის მიზნით). ჩატარდა ბორაქსით დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ და $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ თერმოელექტრული მასალების საფუძვლიანი, დეტალური მიკროსტრუქტურული კვლევა და ელემენტური ანალიზი მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპის VEGA TS5130MM და მასთან ერთად ენერგოდისპერსული რენტგენული

(მემ/ედრ) მიკროანალიზის სისტემის INCA Energy 300 გამოყენებით. სურ.3-ზე 5000x გამაღიძებლობით მოცემულია ბორაქსით დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ ნიმუშების მიკროფოტოგრაფიები.



სურ.3. საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ თერმოელექტრიკების მიკროფოტოგრაფიები. 1–საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$. 2– $\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Co}_2\text{O}_y$. 3– $\text{Bi}_{1.9}[\text{Pb}(\text{BO}_2)_2]_{0.1}\text{Sr}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Co}_2\text{O}_y$. 4– $\text{Bi}_{1.95}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.025}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$.

სურათიდან ნათელია რომ მარცვლების ზომები 1–5 მიკრომეტრის რიგისაა. საკვლევ ნიმუშებს შორის შედარებით ნაკლები ფოროვნებით გამოირჩევა ნიმუში N 3. ეს დადასტურდა აგრეთვე ამ ნიმუშების სიმკვრივის გაზომვის შედეგად: ნიმუში N 3-ის სიმკვრივე თეორიული მნიშვნელობის 83 %-ს აღემატება და მაქსიმალურია სინთეზირებულ მასალებს შორის. სურ.4-ზე 5000x გამაღიძებლობით მოცემულია საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ თერმოელექტრიკების მიკროფოტოგრაფიები.

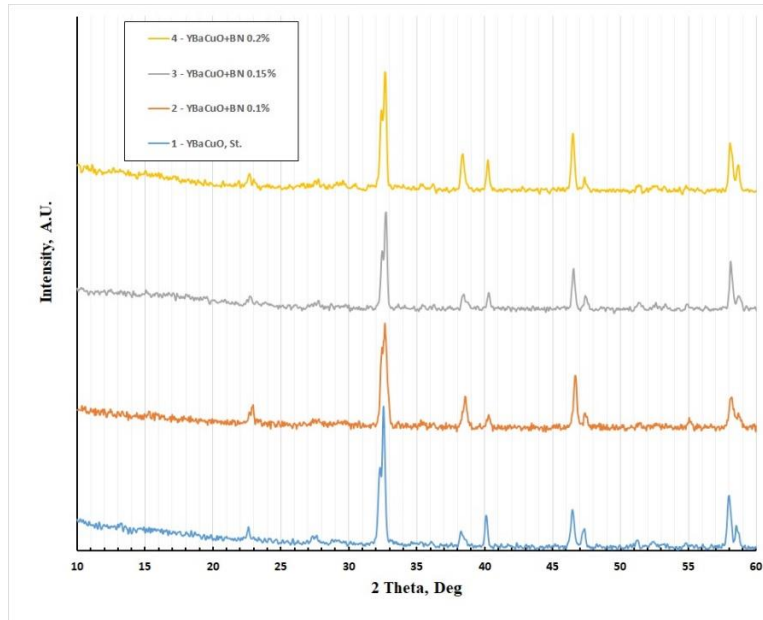


სურ.4. საყრდენი და ბორაქსით ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ თერმოელექტრიკების მიკროფოტოგრაფიები: 1 — საყრდენი $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 2 — $\text{Bi}_{1.96}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.02}\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 3 — $\text{Bi}_{1.94}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.03}\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 4 — $\text{Bi}_{1.92}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.04}\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ 5 — $\text{Bi}_2\text{Ca}_{1.96}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.02}\text{Co}_2\text{O}_y$ 6 — $\text{Bi}_2\text{Ca}_{1.96}[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7]_{0.02}\text{Co}_2\text{O}_y$

სურათიდან ნათელია, რომ ბორაქსით დოპირება ზრდის $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ სისტემის მარცვლების ზომებს. ნიმუშების მიკროელემენტურმა ანალიზმა, რომლის ამსახველი დეტალური მასალა აქ არ მოგვყავს სიმოკლის მიზნით, დაადასტურა სინთეზირებული თერმოელექტრული ნიმუშების შედგენილობათა მისაღები თანხვედრა სტექიომეტრულ, ჩვენს მიერ გაანგარიშებულ შედგენილობებთან.

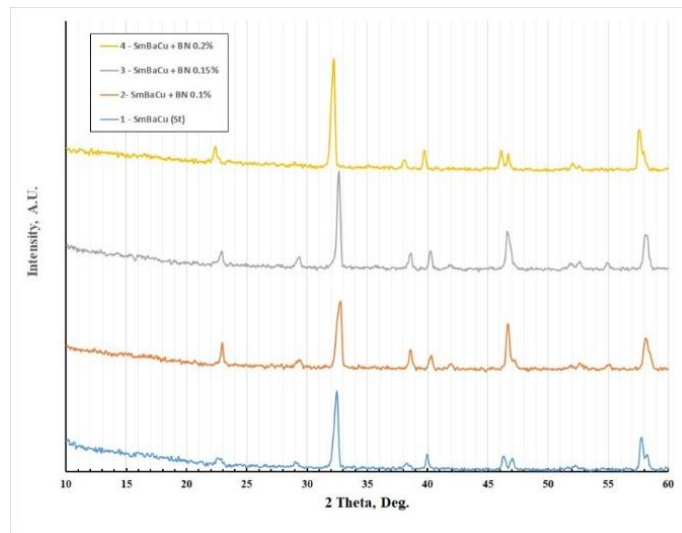
3.

ახალგაზრდა მეცნიერთა საგრანტო პროექტში (YS-22-175: BN და TiN ნანოჩანართების ზეგავლენა $\text{Y}(\text{LRE})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (LRE=Sm და Eu) მტზ-ის მიკროსტრუქტურასა და ზეგამტარ თვისებებზე) საანგარიშო პერიოდის ამოცანას წარმოადგენდა $\text{Y}(\text{Sm})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ზეგამტარი სისტემების შესწავლა მათზე ბორის ნიტრიდის BN ნანოზომის დანამატების შესწავლის კუთხით. ჩატარდა 2 სისტემის — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ და $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ სინთეზი მყარფაზური ტექნოლოგიის გამოყენებით. Y_2O_3 , Sm_2O_3 , BaCO_3 და CuO რეაქტივების შესაბამისი რაოდენობებით. კალცინირების (პრეკურსორი ნარევიდან ნარჩენი ნესტისა და ნახშირორჟანგის მოცილება) შემდეგ, უშუალოდ დატაბლეტებამდე და აბების საბოლოო გამოწვამდე, ჩაემატა ბორის ნიტრიდის წონითი პროცენტების 3 ვარიაცია — 0.1%, 0.15%, 0.2%. ბორის ნიტრიდის საჭირო რაოდენობა წინასწარ გადაიფქვა პლანეტარულ წისქვილში Fritsch Pulverisette 7 Premium Line სუბმიკრონულ მასშტაბამდე. დაიწნეხა 10 მმ დიამეტრის მქონე ნიმუშები აბების სახით, რამდენიმე ეგზემპლარი თითოეული კონცენტრაციული სერიიდან — ელექტროფიზიკური გაზომვებისთვის, SEM მიკროსკოპიისთვის და XRD ანალიზისთვის. XRD ანალიზმა გვიჩვენა, რომ 1–2–3 ზეგამტარი სისტემისთვის დამახასიათებელი ყველა პიკი არის გამოკვეთილი, რაც დასტურია სინთეზის პროცესის სწორი წარმართვისა.



გარდა ამისა, აშკარაა ზესტექიომეტრული დანამატის, როგორც პინინგის ცენტრების ზეგავლენა ბმულზე — პროგრესი განიცადა თანაურმა პიკებმა, რაც ზეგამტარი ბმულის სტაბილურობას განაპირობებს.

ყურადღების ღირსია $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ სისტემის პიკების ანალიზი.

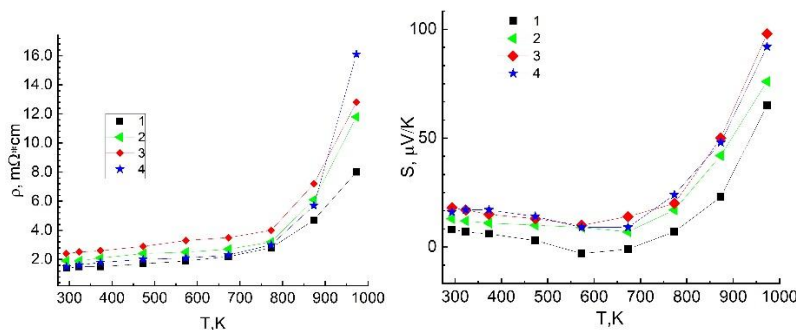


აშკარად ჩანს BN დანამატის გავლენა პიკების წანაცვლებაზე.

კერძოდ, გამომდინარე ჩვენი შედეგების თანმდევი, დეტალური ცხრილებიდან, რომლებშიც მოცემულია პიკების კუთხეები და სიბრტყეთშორისი მანძილები, დანამატის უმცირესი შემცველობისას (0.1%) აშკარაა ძირითადი პიკების მარჯვნივ (დიდი კუთხისკენ) წანაცვლება. დანამატის მასური წილის ზრდასთან ერთად 0.15%-დე წანაცვლება მცირდება, ხოლო დანამატის მაქსიმალური კონცენტრაციისას (0.2%) სურათი კარდინალურად იცვლება: დაიმზირება წანაცვლება მარცხნივ, მცირე კუთხისკენ. ეს ფიზიკურ-ტექნოლოგიური თვალსაზრისით საინტერესო შედეგი დამატებითი, კომპლექსური შესწავლის საგანია და

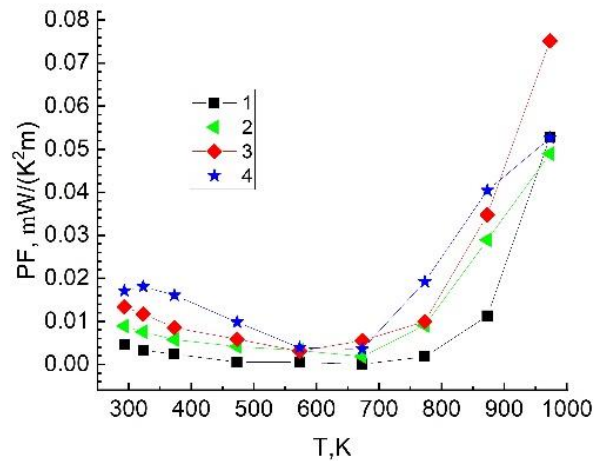
სცილდება წინამდებარე პროექტის ფარგლებს. მიუხედავად ამისა, ჩვენი შედეგებიდან და აგრეთვე ლიტერატურული მასალიდან გამომდინარე, შესაძლებელია შემდეგი ვარაუდის გამოთქმა: ცნობილია, რომ Sm-ის კათიონების ნაწილი იკავებს Ba-ის პოზიციებს და სტანდარტული ნიმუშის რეალური შედგენილობაა $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{O}_7$. ბორის შემცველი დანამატის შეტანისას სავარაუდოა სპილენძის პოზიციების ნაწილობრივი ჩანაცვლება შედარებით მცირე იონური რადიუსის მქონე ბორით (ეს შედეგი ჩვენს მიერ დამზერილ იქნა ბისმუტის ფუძიან ზეგამტარ კუპრატში). ეს განაპირობებს პიკების მარჯვნივ (დიდი კუთხისკენ) წანაცვლებას. ბორის შემცველი დანამატის კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა შესაძლოა, ამუხრუჭებდეს Sm-ის მიერ Ba-ის პოზიციების დაკავებას. შესაბამისად, დიდი იონური რადიუსის მქონე ბარიუმის მიერ ნაკლები რადიუსის მქონე სამარიუმის გამოდევნა Ba-ის პოზიციებიდან გამოიწვევს პიკების წანაცვლებას მარცხნივ. ამასთან, ეს ეფექტი აღემატება სპილენძის პოზიციების ბორით ნაწილობრივი ჩანაცვლების ეფექტს, რაც დაიმზირება მე-4 ნიმუშში (0.2% BN). SEM/EDX ანალიზმა აჩვენა ნიმუშთა ოპტიმალური მორფოლოგია. მიკროკრისტალები იყო კარგად ჩამოყალიბებული, მჭიდროდ ჩალაგებული, საზღვრებს შორის შუალედების მინიმალური რაოდენობებით. EDX ანალიზი ადასტურებს საბოლოო პროდუქტის კარგ შესაბამისობას თეორიულ ფორმულასთან Y, Sm, Ba და Cu ელემენტებზე გათვლით. როგორც დასკვნა, შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ BN, როგორც პინინგის ცენტრების როლის შემსრულებელი, თავის ფუნქციას ოპტიმალურად ავლენს 0.1–0.15 % მასური პროცენტული შემცველობისას.

დაბოლოს, განვიხილოთ ფიზიკურ-ტექნოლოგიური თვალსაზრისით საყურადღებო შედეგი, რომელიც მიღებულ იქნა ბორის ნიტრიდის დანამატიანი $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ სისტემის კვლევისას. თერმოელექტრულ კობალტიტებსა და კუპრატულ ზეგამტარებს სტრუქტურული კუთხით საერთო თვისება გააჩნიათ – ფენოვან სტრუქტურებს წარმოადგენენ. კუპრატული ზეგამტარების თერმოელექტრული თვისებები მცირედაა გამოკვლეული. ჩვენს მიერ შესწავლილ იქნა ბორის ნიტრიდის დანამატიანი $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ნიმუშების კუთრი წინაღობისა და ზეებეკის კოეფიციენტის ტემპერატურული დამოკიდებულება და ამის საფუძველზე გამოთვლილ იქნა სიმძლავრის ფაქტორი–PF. ქვემოთ ნახაზზე ნაჩვენებია სინთეზირებული ნიმუშების კუთრი წინაღობისა (ρ) და ზეებეკის კოეფიციენტის (S) ტემპერატურული სვლა.



ბორის ნიტრიდის დანამატიანი $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ სისტემის კუთრი წინაღობისა და ზეებეკის კოეფიციენტის ტემპერატურული დამოკიდებულება. 1–საყრდენი $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$, 2– $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y+0.1$ წონითი % BN, 3– $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y+0.15$ წონითი % BN, 4– $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y+0.2$ წონითი % BN.

გრაფიკებზე წარმოდგენილი შედეგების თანახმად, 300–800 K ტემპერატურულ ინტერვალში ნიმუშებს თერმოელექტრიკებთან შედარებით გაცილებით მცირე, (2–4) 10^{-3} ომ·სმ კუთრი წინაღობა ახასიათებთ, ხოლო 800 K–ზე ზევით კი ρ მკვეთრად იზრდება. მსგავსი ხასიათი გააჩნია ზეებეკის კოეფიციენტის ტემპერატურულ ყოფაცეცვასაც. S-ის მნიშვნელობა დოპირებულ მასალაში უმჯობესდება და 100 მიკროვოლტი/K-ს აღწევს 973 K ტემპერატურაზე. ეს დაახლოებით 2–ჯერ ნაკლებია კობალტის ფუძიან თერმოელექტრიკებთან შედარებით. მიუხედავად ამისა, დაბალი კუთრი წინაღობის შედეგად, სიმძლავრის ფაქტორის მნიშვნელობა 973 K ტემპერატურაზე ოდნავ თუ ჩამოუვარდება იმავე მახასიათებელს კობალტიტებში (იხ. ქვედა ნახაზი).



ბორის ნიტრიდის დანამატიანი $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ სისტემის სიმძლავრის ფაქტორის ტემპერატურული დამოკიდებულება. 1–საყრდენი $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$, 2– $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y+0.1$ წონითი % BN, 3– $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y+0.15$ წონითი % BN, 4– $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y+0.2$ წონითი % BN.

დასკვნის სახით უნდა აღინიშნოს, რომ თერმოელექტრული ფენომენის შესწავლა მაღალტემპერატურულ კუპრატულ ზეგამტარებში საინტერესოა როგორც ფუნდამენტური კვლევის, ასევე გამოყენებითი თვალსაზრისითაც, რადგან არაა გამორიცხული, რომ სათანადო დოპირების შედეგად მიღწეულ იქნას თერმოელექტრული მახასიათებლების მაღალი მნიშვნელობები კუპრატულ ზეგამტარებში.

4. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები

4.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა

1. კობალტის ფუძიანი ოქსიდური მასალების თერმოელექტრული კონვერტაციის ეფექტურობის გაუმჯობესება დოპირებითა და მიკროსტრუქტურის მოდულაციით, ფიზიკა, ინჟინერია და ტექნოლოგიები, GE-2776, საერთაშორისო სამეცნიერო –ტექნოლოგიური ცენტრი — ISTC, სათაო ოფისი — ასტანა, ყაზახეთი

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2022–2025

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

ქართული ჯგუფი:

1. გიორგი მუმლაძე — პროექტის მენეჯერი;
2. ნიკოლოზ მარგიანი — კვლევების კოორდინატორი, სინთეზის ჯგუფის ხელმძღვანელი;
3. იამზე ქვარცხავა — მკვლევარი;
4. ვახტანგ ჟღამაძე — მკვლევარი;
5. მაია ბალახაშვილი — მკვლევარი;
6. ნათია მარგიანი — ლაბორანტი;
7. ზურაბ სიყმაშვილი — ბუღალტერი;

სომხური ჯგუფი:

1. ასტხიკ კუზანიანი — სუბ-მენეჯერი;
2. არმენ კუზანიანი — მკვლევარი;
3. გიორგი ბადალიანი — მკვლევარი.

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1)

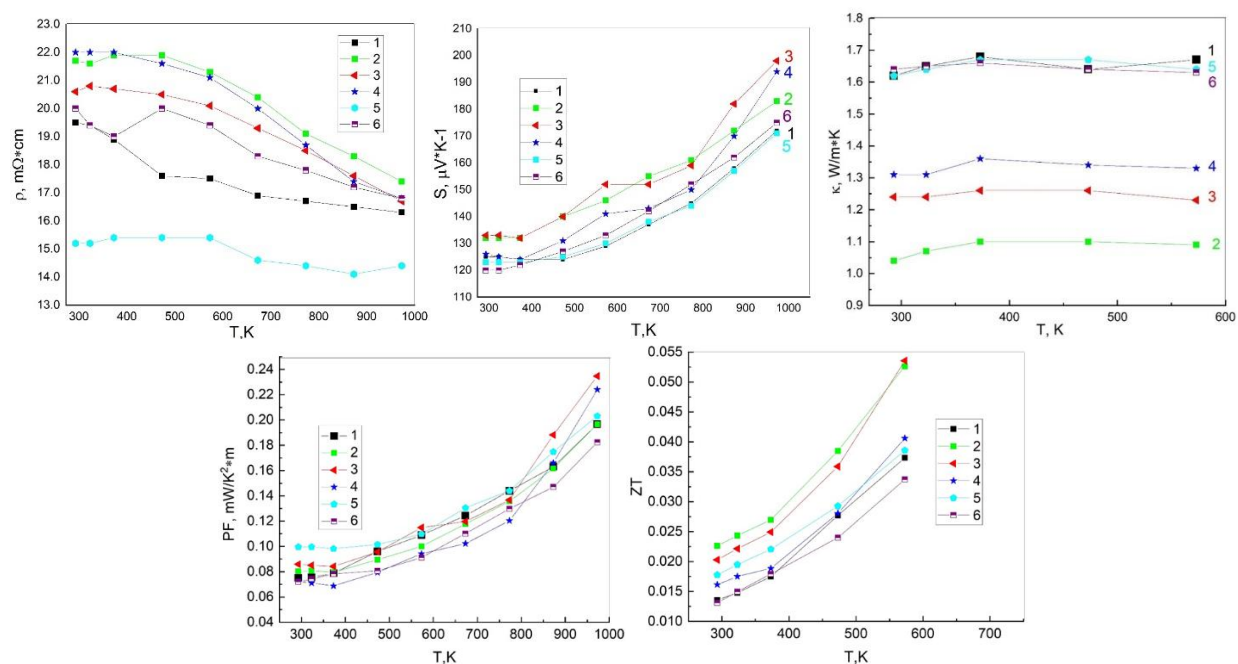
ა) შესწავლილია $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_y$ სისტემის თერმოელექტრულ მახასიათებლებზე Bi-ით დოპირებისა და ორმაგი დოპირების (Bi, B) გავლენა. მომზადდა ნიმუშების შემდეგი სერია: $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_y$ (საყრდენი), $\text{Ca}_{2.7}\text{Bi}_{0.3}\text{Co}_4\text{O}_y$, $\text{Ca}_{2.7}(\text{Bi}_{0.275})(\text{BiBO}_3)_{0.025}\text{Co}_4\text{O}_y$, $\text{Ca}_{2.7}(\text{Bi}_{0.25})(\text{BiBO}_3)_{0.05}\text{Co}_4\text{O}_y$, $\text{Ca}_{2.95}(\text{BiBO}_3)_{0.05}\text{Co}_4\text{O}_y$ და $\text{Ca}_{2.9}(\text{BiBO}_3)_{0.1}\text{Co}_4\text{O}_y$. სინთეზისთვის გამოვიყენეთ მრავალეტაპიანი ზოლ-გელ მეთოდი CaCO_3 , $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ და BiBO_3 პრეკურსორების გამოყენებით. $\rho(T)$ და ზეეზის კოეფიციენტი $S(T)$ გაიზომა ლაბორატორიაში კონსტრუირებულ, KEITHLEY DMM6500 მულტიმეტრით აღჭურვილ მოწყობილობაზე ოთახის ტემპერატურიდან 973 K (700 °C) ტემპერატურულ შუალედში. აგრეთვე გაიზომა ნიმუშების თბოგამტარობა 293–573 K შუალედში Hot Disk TPS 500 ხელსაწყოს მეშვეობით. გაზომილი პარამეტრების გამოყენებით გამოვითვალეთ ნიმუშთა სიმძლავრის ფაქტორი (PF) და ვარგისიანობა (ZT).

აღმოჩნდა, რომ BiBO_3 -ით დოპირებულ N5 ნიმუშს გააჩნდა უდაბლესი კუთრი წინაღობა დანარჩენებთან შედარებით. BiBO_3 -ით დოპირება, აგრეთვე Bi და B-ით კო-დოპირება ზრდის კუთრი წინაღობის მნიშვნელობას საყრდენ ნიმუშთან შედარებით. ჩვენი დასკვნით, ამის მიზეზია ნამატი ელექტრონების „შემოსვლა“ ორვალენტურიანი Ca^{2+} ის სამვალენტურიანი Bi^{3+} ით ნაწილობრივი ჩანაცვლებისას, როცა მუხტის ხვრელური მატარებლების კონცენტრაცია მცირდება, შედეგად კი ვიდებთ $\rho(T)$ -ს მომატებულ მნიშვნელობას. რაც შეეხება N5 ნიმუშის დაბალ კუთრ წინაღობას, ეს აიხსნება იმით, რომ BiBO_3 -ის წილი არაა საკმარისი მუხტის მატარებელთა კონცენტრაციის საგრძნობი შემცირებისთვის. N1 საყრდენი და N5 ნიმუშების წინაღობების მნიშვნელობები 700 °C -ზე არის $16.3 \text{ m}\Omega \times \text{cm}$ და $14.4 \text{ m}\Omega \times \text{cm}$,

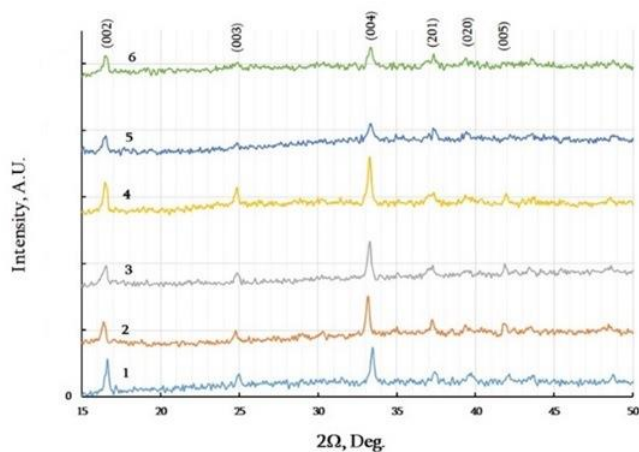
რაც შესაძარებლად დაბალია ლიტერატურაში მსგავსი ტექნოლოგიის გამოყენებით მომზადებული ნიმუშის $16 \text{ m}\Omega \times \text{cm}$ ნიმუშზე 800°C ტემპერატურის დროს [Sotelo, A.; Constantinescu, G.; Rasekh, S. H.; Torres, M. A.; Diez, J. C.; Madre, M. A. Improvement of thermoelectric properties of $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ using soft chemistry synthetic methods. J. Eur. Ceram. Soc. 2012, 32, 2415–2422, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2012.02.012>].

აღნიშნული დოპირების პროცესის შედეგად ზეებეკის კოეფიციენტი გაიზარდა 6 (N2), 15 (N3) და 13%-ით (N4) 700°C -ზე საყრდენ ნიმუშთან შედარებით. მრუდებიდანაც ჩანს, რომ S იზრდება 400 K -ის ზემოთ, რაც დასტურია ყველა ნიმუშის p-ტიპის გამტარობისა.

გაზომილ პარამეტრებზე დაყრდნობით გამოვთვალეთ სიმძლავრის ფაქტორი $\text{PF} = S^2/\rho$ და $\text{ZT} = S^2T/\rho\kappa$ ვარგისობის მაჩვენებელი, რაც უმთავრესი სიდიდეებია თერმოელექტრიკების შესაფასებლად. N3 კოდოპირებულ ნიმუშს გააჩნდა საუკეთესო $\text{PF} = 0.24 \text{ mW/K}^2 \times \text{m}$ 700°C -ზე, რაც 19 %-ით მეტია საყრდენზე. ამ უკანასკნელის PF კი ეთანადება ლიტერატურულ მონაცემს (იხილე ზემოთ მოყვანილი წყარო). რაც შეეხება ვარგისობის მაჩვენებელს, იგი გამოვთვალეთ $300\text{--}573 \text{ K}$ შუალედში (ვინაიდან თბოგამტარობის მზომი ჩვენი ხელსაწყოს ზედა ტემპერატურული ზღვარია 573 K). ZT-ს მაქსიმალური მნიშვნელობა დოპირებული N2 და კოდოპირებული N3 ნიმუშებისთვის აღწევს 0.053 -ს 300°C -ზე, რაც მიახლოებით 43 %-ით მაღალია საყრდენზე. ეს მონაცემი ეთანადება ლიტერატურულს [C.S. Huang, F.P. Zhang, X. Zhang, Q.M. Lu, J.X. Zhang, Z.Y. Liu. Enhanced thermoelectric figure of merit through electrical and thermal transport modulation by dual-doping and texture modulating for $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9 + \delta$ oxide materials, Journal of Alloys and Compounds, vol. 687, 2016, pp. 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.06.051>]. N5 და საყრდენი N1-ის ZT სიდიდე ერთმანეთის თანაზომადია 300 გრადუსზე. BiBO_3 -ის შეტანა დოპირების მაღალი დონით (N6) ამცირებს ვარგისობის მაჩვენებელს.



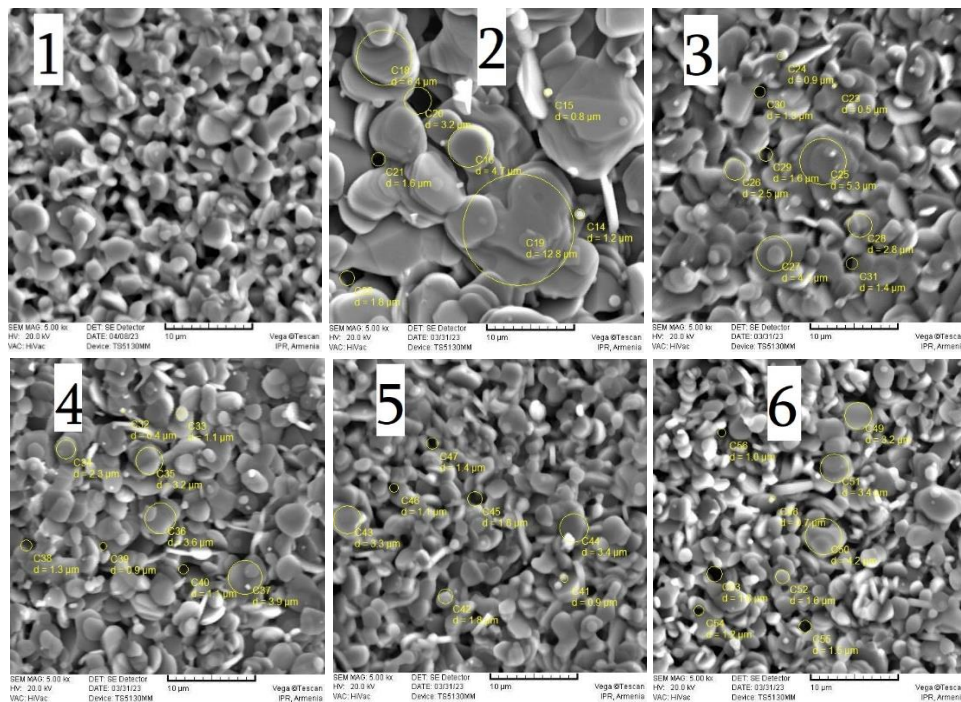
Ca₃Co₄O_y ნიმუშთა საყრდენი და დოპირებული 1–6 სერიის კუთრი წინაღობის, ზეებეკის კოეფიციენტის, სიბოგამტარობის, სიმძლავრის ფაქტორისა და ვარგისობის მაჩვენებლის ტემპერატურული დამოკიდებულებების მრუდები.



ნიმუშთა სერიის XRD მრუდები: 1–Ca₃Co₄O_y, 2–Ca_{2.7}Bi_{0.3}Co₄O_y, 3–Ca_{2.7}(Bi_{0.275})(BiBO₃)_{0.025}Co₄O_y, 4–Ca_{2.7}(Bi_{0.25})(BiBO₃)_{0.05}Co₄O_y, 5–Ca_{2.95}(BiBO₃)_{0.05}Co₄O_y, 6–Ca_{2.9}(BiBO₃)_{0.1}Co₄O_y

ნახაზზე ჩანს თერმოელექტრიკებისთვის დამახასიათებელი ყველა ტიპური პიკი [Improved High-Temperature Thermoelectric Properties of Dual-Doped Ca₃Co₄O₉, Uzma Hira, Syed Shahbaz Ali, Shoomaila Latif, Nini Pryds, and Falak Sher. ACS Omega 2022 7 (8), 6579-6590, DOI: 10.1021/acsomega.1c05721], ოღონდ უნდა აღინიშნოს ბორის შემცველი ფაზების თვალთშესამჩნევი პიკების არარსებობა, რაც აიხსნება დოპანტის მცირე რაოდენობით. ბისმუტშემცველი ნიმუშების პიკები ოდნავ წანაცვლებულია მცირე კუთხეებისკენ, რაც აიხსნება Ca²⁺ პოზიციების ნაწილობრივი ჩანაცვლებით შედარებით დიდი რადიუსის Bi³⁺ კათიონებით.

მიკროსტრუქტურა და ელემენტური ანალიზი შესწავლილ იქნა VEGA TS5130MM/ INCA Energy 300 სისტემის გამოყენებით. ნიმუშებს აქვთ აშკარად გამოხატული ფირფიტისებრი მარცვლოვანი აგებულება გამოხატული ანიზოტროპიით. შესამჩნევია, რომ საყრდენ ნიმუშთან შედარებით, დოპირებული ნიმუშების მარცვალთა ზომები და ფორები გაზრდილია. ფორების ზრდა იწვევს ელექტროგამტარობის დათრგუნვას, ოღონდ — თბოგამტარობის შემცირებასაც ამასთან ერთად. ელემენტური ანალიზის შედეგად გამოთვლილი შემადგენლობები (არ მოგვყავს დიდი მოცულობის გამო) შეესაბამება ნომინალურს.

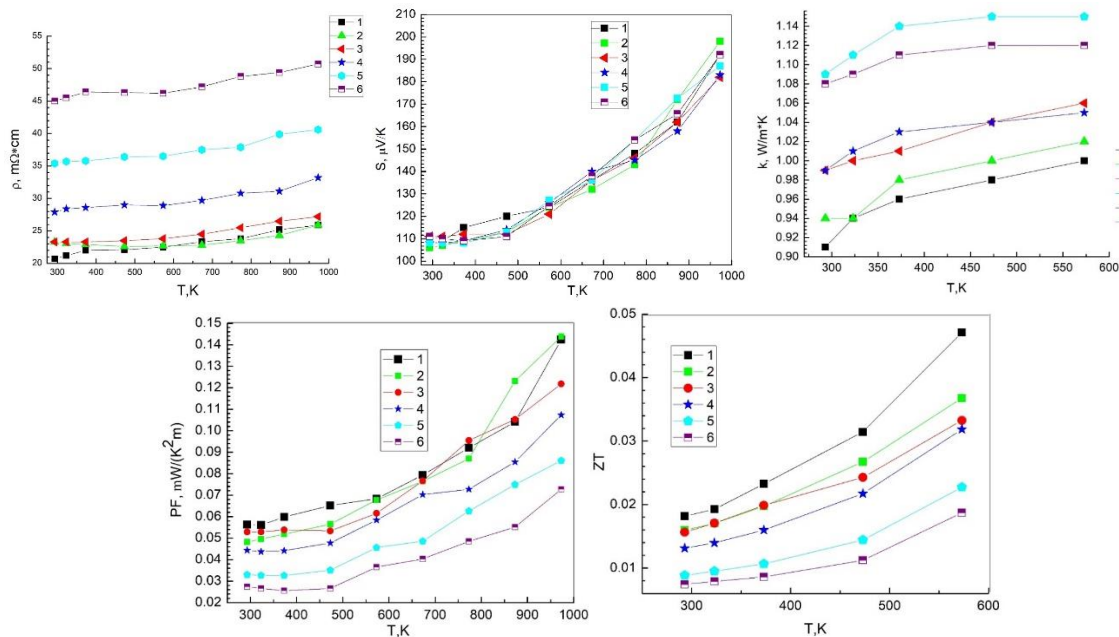


ნიმუშთა SEM გამოსახულებები: 1– $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_y$, 2– $\text{Ca}_{2.7}\text{Bi}_{0.3}\text{Co}_4\text{O}_y$, 3– $\text{Ca}_{2.7}(\text{Bi}_{0.275})(\text{BiBO}_3)_{0.025}\text{Co}_4\text{O}_y$, 4– $\text{Ca}_{2.7}(\text{Bi}_{0.25})(\text{BiBO}_3)_{0.05}\text{Co}_4\text{O}_y$, 5– $\text{Ca}_{2.95}(\text{BiBO}_3)_{0.05}\text{Co}_4\text{O}_y$, 6– $\text{Ca}_{2.9}(\text{BiBO}_3)_{0.1}\text{Co}_4\text{O}_y$

ბ) ანალოგიური კვლევები ჩატარდა BiBO_3 -ით დოპირებულ Bi-Sr-Co-O სისტემაზეც. შეირჩა ასეთი სერია: 1– $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, 2– $\text{Bi}_{1.975}(\text{BiBO}_3)_{0.025}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, 3– $\text{Bi}_{1.95}(\text{BiBO}_3)_{0.05}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, 4– $\text{Bi}_{1.90}(\text{BiBO}_3)_{0.1}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, 5– $\text{Bi}_{1.85}(\text{BiBO}_3)_{0.15}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$, 6– $\text{Bi}_{1.80}(\text{BiBO}_3)_{0.2}\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$.

სინთეზი ამ შემთხვევაში ჩატარდა მყარფაზური მეთოდით, ხოლო მისი შედეგების ანალიზის შემდგომ — ზოლ-გელ ტექნოლოგიითაც. პრეკურსორებად ავიღეთ Bi_2O_3 , SrCO_3 , Co_3O_4 და BiBO_3 . მყარფაზური ტექნოლოგიის ასპექტები ცნობილია და სიმოკლისთვის აქ არ მოგვყავს. ერთადერთი, უნდა აღინიშნოს, რომ პრეკურსორების გამოსაწვავი ნარევის ჰომოგენიზაციისთვის გამოვიყენეთ Fritsch Pulverisette 7 Premium line პლანეტარული წისქვილი. აქაც, როგორც (ა)–ში, იმავე რეჟიმებში გავზომეთ და გამოვთვალეთ $\rho(T)$, $S(T)$, $k(T)$, $PF(T)$ და $ZT(T)$ დამოკიდებულებები.

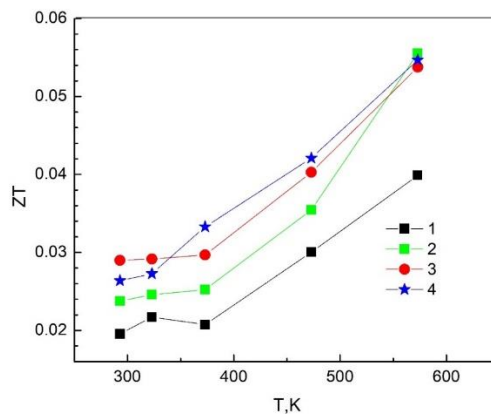
ქვედა ნახაზზე წარმოდგენილია გაზომილ-გამოთვლილი დამოკიდებულებების მრუდები აღნიშნული სერიისთვის.



კუთრი წინაღობის შესახებ შეიძლება ითქვას, რომ ის მონოტონურად იზრდება N 3-6 ნიმუშებში სავარაუდოდ Bi, Sr და Co₃O₄ მაღალი წინაღობის მქონე მინარევების მიზეზით. ზეეგის კოეფიციენტი იზრდება ტემპერატურასთან ერთად (რაც დასტურია p-ტიპის გამტარობის ყველა ნიმუშში) და ახლოა „ჩაწული“ ერთმანეთთან. PF(T) დამოკიდებულება გვაჩვენებს, რომ საყრდენი და მცირედდოპირებული ნიმუშები ფლობენ შედარებით მაღალ სიმძლავრის ფაქტორს. დოპირების ზრდა იწვევს მეორადი ფაზების წარმოქმნას მეტი კუთრი წინაღობით, რაც საგრძნობლად დასცემს PF-ს შესაბამის ნიმუშებში.

რაც მთავარია, ZT(T) დამოკიდებულების ანალიზისას ვხედავთ ამ პარამეტრის მნიშვნელოვან ვარდნას BiBO₃ დოპანტის შეტანისას. ამ შედეგის ფონზე გადაწყვეტით დამატებით ჩაგვეტარებინა ანალოგიური ექსპერიმენტი 4–ნიმუშიან სერიაზე: Bi₂Sr₂Co₂O_y, Bi_{1.995}(BiBO₃)_{0.005}Sr₂Co₂O_y, Bi_{1.985}(BiBO₃)_{0.015}Sr₂Co₂O_y, and Bi_{1.975}(BiBO₃)_{0.025}Sr₂Co₂O_y უკვე ზოლ–გელ ტექნოლოგიის გამოყენებით.

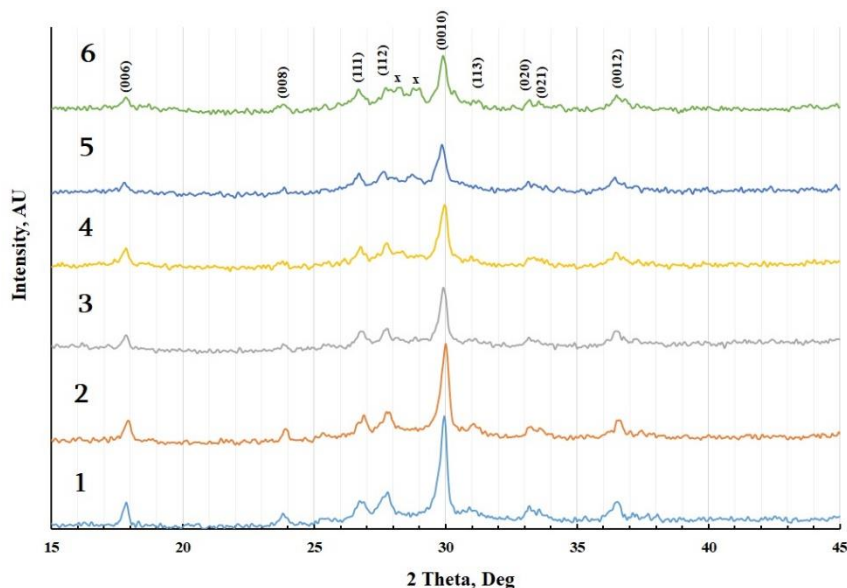
სიმოკლისთვის მოგვყავს ZT(T) დამოკიდებულების სახე აღნიშნული სერიისთვის:



როგორც ჩანს, ვარგისობის მაჩვენებლის თვალსაზრისით ზოლ–გელ მეთოდმა გაამართლა მყარფაზურ ტექნოლოგიასთან შედარებით, რაც აისახა იმაში, რომ დოპირებულ ნიმუშებს

გააჩნია ამ პარამეტრის გაცილებით მაღალი მნიშვნელობა საყრდენ ნიმუშთან შედარებით. ამის მიზეზია დოპირებულ ეგზემპლარებში შემცირებული თბოგამტარობისა და გაზრდილი ელექტრონული გამტარებლობისა N_2 ნიმუშში ($BiBO_3$ დოპანტის უმცირესი შემცველობისას). ZT პარამეტრი დოპირებული ნიმუშებისთვის აღწევს 0.055–ს 573 K ტემპერატურაზე, რაც 38%-ით მაღალია საყრდენ ნიმუშებთან შედარებით.

ზემოთ მოყვანილი შედეგები თანხვდება XRD დაკვირვების შედეგებს.



XRD მრუდები მყარფაზური რეაქციით მიღებული სერიისთვის: 1– $Bi_2Sr_2Co_2O_y$, 2– $Bi_{1.975}(BiBO_3)_{0.025}Sr_2Co_2O_y$, 3– $Bi_{1.95}(BiBO_3)_{0.05}Sr_2Co_2O_y$, 4– $Bi_{1.90}(BiBO_3)_{0.1}Sr_2Co_2O_y$, 5– $Bi_{1.85}(BiBO_3)_{0.15}Sr_2Co_2O_y$, 6– $Bi_{1.80}(BiBO_3)_{0.2}Sr_2Co_2O_y$. x აღნიშნავს მეორად ფაზას.

ყველა XRD პიკი შეესაბამება ლიტერატურულ მონაცემებს. მეორადი ფაზა ჩნდება დოპირების მაღალი დონის პირობებში, რაც აშკარად ჩანს დიაგრამაზე. გარდა ამისა, დოპირების ზრდასთან ერთად მცირდება ტიპური თერმოელექტრული პიკების ინტენსიობა. ეს დასტურია იმისა, რომ $BiBO_3$ -ით დოპირებული კრისტალური კომპოზიცია „ინგრევა“ დოპანტის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად.

5. პატენტები:

5.2. ეროვნული პატენტები

1) საპატენტო თემატიკის სათაური

1. გაუმჯობესებული სიმძლავრის ფაქტორის მქონე თერმოელექტრული კომპოზიტი
2. გაუმჯობესებული სიმძლავრის ფაქტორის მქონე თერმოელექტრული კერამიკა

2) გამომგონებელი/ები და პატენტმფლობელი/ები

1. ნიკოლოზ მარგიანი, ვახტანგი ჟღამაძე, იამზე ქვარცხავა, გიორგი მუმლაძე, ლევან გაბისონია

2. ნიკოლოზ მარგიანი, იამზე ქვარცხავა, გიორგი მუმლაძე, ვახტანგი ჟღამაძე, ნათია მარგიანი, რევაზ კოხრიძე

3) პატენტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. GE U 2023 2145 Y

2. GE U 2023 2157 Y

6. ბექდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში—————

7. ბექდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში—————

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. ნ. მარგიანი, გ. მუმლაძე, ი. ქვარცხავა, ვ. ჟღამაძე, ა. კლინდიუკი, ი. ხომერიკი

2) მოხსენების სათაური

1. Thermoelectric Performance of Bi₂Sr₂Co₂O_y Layered Cobaltite Doped and Co-doped with Na₂B₄O₇ and Pb(BO₂)₂

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. 23–25 ნოემბერი, 2023, თსუ, თბილისი, საქართველო

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

8. 2. უცხოეთში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. გ. ზადალიანი, გ. კახნიაშვილი, ი. ქვარცხავა, ა.ა. კუზანიანი, ა.ს. კუზანიანი, ნ. მარგიანი, გ. მუმლაძე

2. ა.ა. კუზანიანი, ნ. მარგიანი, გ. მუმლაძე, ი. ქვარცხავა, ვ. ჟღამაძე, გ. ზადალიანი, ა.ს. კუზანიანი

3. ი. ქვარცხავა, გ. კახნიაშვილი, ნ. მარგიანი, გ. მუმლაძე, ვ. ჟღამაძე, ა. გიგინეიშვილი

4. ნ. მარგიანი, გ. მუმლაძე, ა. კლინდიუკი, ვ. ჟღამაძე, ი. ქვარცხავა, გ. ზადალიანი

2) მოხსენების სათაური

1. BiBO₃-ით დოპირებული Bi₂Sr₂Co₂O_y თერმოელექტრული კერამიკის მორფოლოგიისა და ელემენტური კომპოზიციის კვლევა

2. B₄C-დანამატისანი Bi₂Sr₂Co_{1.8}O_y თერმოელექტრიკის სიმძლავრის ფაქტორის ზრდა

3. BiBO₃-ით დოპირებული, ზოლ-გელით დამუშავებული Bi₂Sr₂Co₂O_y კობალტიტის თერმოელექტრული თვისებების გაუმჯობესება

4. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ და $\text{Pb}(\text{BO}_2)_2$ -ით დოპირებული $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ კერამიკის თერმოელექტრული თვისებები

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. 12–15 სექტემბერი, აშტარაკი, სომხეთი
2. 12–15 სექტემბერი, აშტარაკი, სომხეთი
3. 11–17 ოქტომბერი, 2023, ფეთჰი, თურქეთი
4. 11–17 ოქტომბერი, 2023, ფეთჰი, თურქეთი

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულია)

ხელმძღვანელი პირის ხელმოწერა



წარმოდგენის თარიღი /----/-----/2023 წ./

9. კვლევის შედეგების კომერციალიზაციის პოტენციალი			
№	კვლევის შედეგის/პროდუქტის დასახელება	კომერციული დანიშნულება და პერსპექტივა	შენიშვნა (არსებობის შემთხვევაში)
1	ქოლესტერულ თხევად კრისტალზე დაფუძნებული ფოტოქრომული ჭკვიანი ფანჯარა	ფოტოქრომული მინები, რომელთა საუძველზე შესაძლებელია დამზადდეს ბუნებრივი და ხელოვნური განათების წყაროების საშუალებით მართვადი ფანჯრები, დისპლეები, საინფორმაციო ტაბლოები, გადაწყობადი ოპტიკური ფილტრები და სელექტიური სარკეები.	მათი დამზადება შესაძლებელია საქართველოში.
2	ტემპერატურულად მართვადი ქოლესტერულ თხევადკრისტალურ სარკეზე დაფუძნებული ჭკვიანი ფანჯრის გამოყენებით შენობებში შემომავალი მზის ენერგიის რეგულაცია	თერმოქრომული მინები, რომელთა საფუძველზე შესაძლებელია დამზადდეს გარემოს ტემპერატურით მართვადი ჭკვიანი ფანჯრები, რომლებიც დაბალ ტემპერატურებზე იქნებიან გამჭვირვალეები და სითბოს და შემოუშვებენ შენობებში, ხოლო მაღალ ტემპერატურებზე აირეკლავენ მზის გამოსხივების გარკვეულ რაოდენობას, რაც მნიშვნელოვნად შეამცირებს შენობებში გაგრილების საჭიროებისათვის გამოყენებულ ელექტრო ენერგიას.	მათი დამზადება შესაძლებელია საქართველოში.
3	კრისტალური სმექტიკური G ფაზური ჩამომრჩენი ოპტიკური ინფორმაციის რეალურ დროში სივრცულ-დროითი მოდულაციისათვის	ახალი სახეობის ფაზური ფირფიტები (ფაზური ჩამომრჩენი), რომელთა გამოყენებით შესაძლებელი იქნება მღვრიე და გამბნევი გარემოში გამოსახულებების სიმკვეთრის გაზრდა. აღნიშნული ფაზური ფირფიტების გამოყენება შესაძლებელია მედიცინაში, ასტრონომიაში, გარემოს დაბინძურების კონტროლში, სამხედრო სფეროში.	მათი დამზადება შესაძლებელია საქართველოში.
4	თუთიის ოქსიდის ნანომასალა	ულტრაიისფერი ფოტოდეტექტორისთვის	ამჟამად შესაძლებელია შეზღუდული რაოდენობით წარმოება
5	პოლარიზაციულ-პოლოგრაფიული დიფრაქციული ელემენტის საფუძველზე შემუშავებული პოლარიზაციის მდგომარეობის სენსორი პოლარიზაციის მდგომარეობის, მისი ხარისხის, ასევე მისი განაწილების სხვადასხვა ობიექტის	სენსორის საფუძველზე შემუშავებულ ახალ უნივერსალურ, მარტივ, ზუსტ და რეალურ დროში მომუშავე სპექტროპოლარიმეტრულ მეთოდს აქვს კომერციალიზაციის დიდი პერსპექტივა, რადგან ინფორმაცია ობიექტის მიერ გაბნეული, არეკლილი ან გამოსხივებული სინათლის პოლარიზაციის მდგომარეობის შესახებ ასრულებს სულ უფრო მზარდ როლს დისტანციური ზონდირების,	პოლარიზაციულ-პოლოგრაფიული დიფრაქციული ელემენტის საფუძველზე შემუშავებული პოლარიზაციის მდგომარეობის სენსორი

	ზედაპირზე ყოველგვარი სკანირების გარეშე, ამ განაწილების დისპერსიის გათვალისწინებით.	ელიფსომეტრიის, ასტროპოლარიმეტრიის, ბიოლოგიის, მედიცინის და სხვა ამოცანებში.	პოლარიზაციის მდგომარეობის, მისი ხარისხის, ასევე მისი განაწილების სხვადასხვა ობიექტის ზედაპირზე ყოველგვარი სკანირების გარეშე, ამ განაწილების დისპერსიის გათვალისწინებით.
6	ანიზოტროპულ-გიროტროპული კოლოიდური სისტემების დიაგნოსტიკა მულტიპლექსური პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიის მეთოდებით.	შემოთავაზებული ინოვაციური მეთოდები პოლარიზაციული ჰოლოგრაფიული და ლუმინესცენტური მეთოდების კომბინაციაა, რაც მნიშვნელოვნად აფართოებს პოლარიზაციული ჰოლოგრაფიული მეთოდის ფარგლებს, ზრდის აქტუალობასა და ინტერდისციპლინარულობას. მეთოდები შეიძლება გამოყენებული იქნას ოპტიკური, ასტრობიოლოგიური, ბიოლოგიური და გეოქიმიური კვლევებისთვის: თვისობრივი ანალიზისთვის სამრეწველო პროდუქციის, ნედლეულისა და მედიკამენტების კლასიფიკაციისთვის. პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური მეთოდების უპირატესობაა მეთოდის უნივერსალურობა – იგი გამოიყენება ლუმინესცენტური და არალუმინესცენტური ნანოსტრუქტურების შესასწავლად. ზემოთქმული განაპირობებს კომერციულ დანიშნულებას, ხელმისაწვდომობას და კონკურენტუნარიანობას ანალოგებთან შედარებით.	ანიზოტროპულ-გიროტროპული კოლოიდური სისტემების დიაგნოსტიკა მულტიპლექსური პოლარიზაციულ-ლუმინესცენტური ჰოლოგრაფიის მეთოდებით.
7	Bi(Pb)SrCaCuO — 2223 და 2212 ფაზური შემადგენლობის, დაქარბული მეთოდით სინთეზირებული ზეგამტარი მასალის ტექნოლოგია (ფხვნილი, ტაბლეტები)	ზეგამტარი „სამიზნეები“, ზეგამტარი ლენტები, PIT (Powder in Tube) ტექნოლოგიით დამზადებული სადენები და სხვა.	
8	p (ფენოვანი კობალტიტები) და n ტიპის (კალციუმის მანგანატი) გაუმჯობესებული პარამეტრების თერმოელექტრიკების ტექნოლოგია (ფხვნილი, ტაბლეტები)	თერმოელექტროგენერატორი (TEG)	

--	--	--	--

10. საექსპერტო მოღვაწეობა (არსებობის შემთხვევაში)			
№	საექსპერტო აქტივობის სახე	სამუშაოს დამკვეთი (მომსახურების მიმღები) ორგანიზაცია	სამუშაოს დაწყებისა და დასრულების თარიღი
1	რევაზ გრიგოლია: სტატიების რეცენზირება სამეცნიერო ჟურნალებში	International Journal of Approximate Reasoning, Soft Computing, Mathematics	დღემდე
2	გია პეტრიაშვილი: ამერიკის ოპტიკური საზოგადოების (OSA) რევიუერი.	ამერიკის ოპტიკური საზოგადოება (OSA)	2008–დან დღემდე
3			

11. ახალგაზრდა მეცნიერთა სამეცნიერო მუშაობის ხელშეწყობა;		
№	აქტივობის სახე	მონაწილე ახალგაზრდა მეცნიერთა რაოდენობრივი მაჩვენებელი
1	აკადემიური დოქტორები – გიორგი მუმლაძე, ვერა ჯელაძე, გიორგი კაკულაშვილი, ცოტნე კაკულია დოქტორანტები: რამაზ ლიპარტელიანი, ფრიდონ ალშიბაია, ნინო მაისურაძე, გია ქუთელია, ია ქვარცხავა. სამეცნიერო პროექტებში მონაწილეობა	9
2		
3		

12. სამეცნიერო ნაშრომების და მკვლევართა სამეცნიერო პროდუქტიულობის მაჩვენებელი							
სამეცნიერო გამოცემები რომელიც, ინდექსირებულია Web of Science, Scopus, Google Scholar- ის და სხვ. ბაზაში							
№	ავტორი/ავტორები	ნაშრომის სახელწოდება	სამეცნიერო გამოცემები დასახელება და ნომერი/ტომი; წელი; გამომცემლობა, URL	Web of	Scopus	Google Scholar	სხვა (მიუთითე)
1	Giorgadze, G., Khimshiashvili, G.	Three-Point Charges on a Flexible Arc.	J. Math. Sci. 275, 712–717;2023, https://doi.org/10.1007/s10958-023-06711-8		0.6		SJR 0.314 H-INDEX 41
2	Kakulashvili G.	Schwarz-Christoffel Mapping and Generalised Modulus of a Quadrilateral.	Analysis, Applications, and Computations. ISAAC 2021. Trends in Mathematics. Kähler, U., Reissig, M., Sabadini, I., Vindas, J. (eds) Birkhäuser, Cham; 2023; https://doi.org/10.1007/978-3-031-36375-7_29		0.5		SJR 0.217 H-INDEX 21
3	G.Giorgadze, G.Kakulashvili	On the Heun Equation Induced from Schwarz-Cristoffel Mapping	Bulletin of TICMI, Vol. 27, No. 2, 99–105, 2023		0.4		SJR 0.111 H-INDEX 5
4	G. Donadze, T. Pirashvili	On low dimensional cohomology of crossed module	Advanced Studies: Euro-Tbilisi Mathematical Journal 16(4), 2023, pp. 143-173		0.4		SJR 0.145 H-INDEX 3
5	G. Bolotashvili	Solving the Linear Ordering Problem Using the Facets (NP=P)	Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., vol. 17, no. 1, 2023		0,5		SJR 0.203 H-INDEX 13
6	Revaz Grigolia	<i>Involutive symmetric Gödel spaces, their algebraic duals, and logic.</i>	Arch. Math. Logic, 62 , pp. 789 – 809, (2023). https://doi.org/10.1007/s00153-023-		9	13	

			00866-6				
7	V.Jeladze, L.Shoshiashvili, B.Partsvania	An Investigation into the Impact of 5G EMFs on a Honey Bee	<i>IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW)</i> , Ukraine, 2022, pp. 477-481, doi: 10.1109/UkrMW58013.2022.10037045 .	30	30		
8	G. Gelashvili, D. Gelenidze, D. Jishiashvili, Z. Shiolashvili, N.Makhatadze, A. Jishiashvili, V. Gobronidze	Photocatalytic activity of ZnO nanomaterials with different morphologies.	Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures Vol. 18, No. 3, July - September 2023, p. 1085 - 1092	30	30	30	
9	Khutsishvili I., Giorgadze T., Gogichaishvili Sh., Melikishvili Z., Bregadze V.	DNA as a basis for the reduction of silver and gold ions and for photo-induced processes in silver nanoparticles	Eur. Chem. Bull. 12(1), 275-281 (2023), https://www.eurchembull.com/uploads/paper/fe9f3ec5d7c67786d73b554549f411e.pdf	Cite Score - 1.6; SJIR - 0.247; SNIP - 0.471			
10	Melikishvili Z. Medoidze T., Jaliashvili Z., Kinkladze V., Gamkrelidze A.	Description of Time-Dependent Light Transmission through Human Palm Using Optical Spectroscopy and Formalism of Path Integrals: a Pilot Study	BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 17 (1), 124-128 (2023), http://science.org.ge/bnas/vol-17-1.html	Cite Score - 0.5; SJIR - 0.203; SNIP - 0.264			
11	Khutsishvili Irine, Giorgadze Tamar, Gogichaishvili Shota, Melikishvili Zaza, Bregadze Vasil	Stabilization of Reduced Gold Atoms on the Basis of DNA	Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Vol. 17, #2, 2023 http://science.org.ge/bnas/vol-17-2.html	Cite Score - 0.5; SJIR - 0.203; SNIP - 0.264			
12	Gia Petriashvili, Andro Chanishvili, Nino Ponjavidze, Ketevan Chubinidze, Tamara Tatrishvili, Elene Kalandia, Ana Petriashvili, Tamar Makharadze	Crystal Smectic G Phase Retarder for the RealTime Spatial-Temporal Modulation of Optical Information	Chemistry & Chemical Technology, Vol. 17, No 4, 2023, Lviv Polytechnic National University, http://science2016.lp.edu.ua/chcht	30			
13	Omar Mukbaniani, Tamara Tatrishvili, Nikoloz	FRIEDEL-CRAFTS REACTION OF VINYLTRIMETHOXYSILANE WITH STYRENE AND COMPOSITE MATERIALS ON THEIR BASE	Chem. Chem. Technol., 2023, Vol. 17, No. 2. DOI: https://doi.org/10.23939/chcht17.02.325		30		

	Kvinikadze, Tinatin Bukia, Zurab Pachulia, Nana Pirtskheliani, Gia Petriashvili.					
14	B.Kilosanidze, G.Kakauridze, I.Chaganava, T.Kvernadze, G. Kurkhuli, L. Oriol, M. Piñol, Qi-Huo Wei	Application of the polarization-holographic imaging Stokes spectropolarimeter in astronomy	SPIE Proceedings, Vol. 12677, pp. 295-303, 2023	I.F. - 0.37; Citation 33,336; Impact Score 0.7		
15	H Yu, M Jiang, H Yun, Y Zhu, Y Qi, Z Zhou, I Chaganava, QH Wei	Diffraction-limited flat reflective microlenses by plasmonic photopatterning of molecular orientations.	JOSA B, 40(11), 2796-2800 (2023)	I.F. - 1.9; Citation 8,833; Impact Score 4.3	h5-index 45	
16	H Chen, M Jiang , Y Guo, I Chaganava , QH Wei	Nematic-Isotropic Phase Transition in Thin Slabs of Liquid Crystal with Topological Defect Arrays	Soft Matter, 2023•pubs.rsc.org	I.F. - 3.4; Citation 24,538; Impact Score 6.4		
17	I.Chaganava, G.Kakauridze, B.Kilosanidze, LOriol, M. Piñol	Photoanisotropy in a non-azobenzene composition with an extended operating range	In Laser Science (JW4A-14). Optica Publishing Group (under review).	Impact Score 1.1		
18	V. Tarasashvili, A. Purtseladze, S. Petrova, V. Shaverdova, M.Tarasashvili	Diagnostics of luminescent recording media based on polarized scattering spectra of hologram sensors formed in the substance analyzed	Applied Optics (under review)	I.F. - 1.905; Impact Score 1.1; Citation 722;	h5-index 55	
19	Makatsaria, G., Manjavidze, N.	Analysis of BVP for Some Elliptic Systems on a Complex Plane, DOI: 10.1007/978-3-031-36375-7_17	Analysis, Applications, and Computations. ISAAC 2021. Trends in Mathematics. Kähler, U., Reissig, M., Sabadini, I., Vindas, J. (eds) Birkhäuser, Cham.	30	30	
20	N. Fokina, M. Elizbarashvili	Broadening of Maser Emission Line by the Limit Cycle Arising Due to	9th International New York conference on evolving trends in interdisciplinary	30	30	

		the Stark dynamical frequency shift of spin triplet levels, ISBN: 978-1-955094-52-8	research & practices, Proceedings book, pp. 16-24 (2023)			
21	Di Nola, A., Grigolia, R. & Vitale, G.	Involutive symmetric Gödel spaces, their algebraic duals and logic, https://doi.org/10.1007/s00153-023-00866-6	Arch. Math. Logic, 62, pp. 789 – 809, (2023).	30	30	
22	B.Chikvinidze, M.Mania, R.Tevzadze	Functional Equations for the Stochastic Exponential, DOI: 10.1142/S0219493723500417	Stochastics and Dynamics, Vol.23, No. 6, (2023), 2350041. ISSN:0219-4937	30	30	
23	M.Mania, R.Tevzadze	Martingale Transformations of Brownian Motion with Application to Functional Equations, DOI:10.1080/17442508.2022.2084341	Stochastics and stochastic reports, 2023, Vol. 95, N. 3, 377–395. ISSN:0219-4937	30	30	
24	G. Jandieri, N. Tugushi	Transformation of the Spatial Spectrum of Scattered Radioon in the conductive Equatorial Ionosphere”, https://doi.org/10.3390/electronics12132759	Electronics vol. 12, pp. 2759-2770, 2023, Basel, Switzerland, MDPI, EISSN 2079-9292	30	30	
25	G. Jandieri, N. Tugushi	Statistical Characteristics of the Temporal Spectrum of Scattered Radiation in the Equatorial Ionosphere”, https://doi.org/10.30564/jees.v5i1.5442	Journal of Environmental & Earth Sciences vol. 5, # 1, pp. 85-94, 2023	30	30	
26	G.V. Jandieri, S.Q. Barnovi, S.E. Mukhashavria	Some Peculiarities of the Angular Spectrum of Radio Waves Scattered in the Polar Ionospheric Plasma	PIERS 2023 in Prague Progress In Electromagnetics Research Symposium	30	30	
27	G.V. Jandieri, N.F. Mchedlishvili, N.K. Tugushi	Compensation Effect in the Conductive Polar Ionosphere	PIERS 2023 in Prague Progress In Electromagnetics Research Symposium	30	30	
28	George Jandieri, Nika Tugushi	Temporal spectrum of Scattered Electromagnetic Waves in the Equatorial Ionosphere	IC-MSQUARE (11th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences), https://doi.org/10.1063/5.0163064		30	
29	V.Jeladze, A.Tielens, T.No zadze, G.Kor kotadze, B.Partsvania, R.Zaridze	Estimation of the Specific Absorption Rate for a Honey bee Exposed to Radiofrequency Electromagnetic Fields from 2.5 to 100 GHz. DOI: 10.1109/DIPED59408.2023.10269454	Proceedings of International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory, DIPED, 2023, 2023-September, pp. 180–185		30	

30	V.Jeladze, L.Shoshiashvili, B.Partsvania	An Investigation into the Impact of 5G EMFs on a Honey Bee. doi:10.1109/UkrMW58013.2022.10037045 ISBN 9798350331530	. 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, UkrMW 2022 - Proceedings, 2022, pp. 477–481			30	
31	I.Nakhushrishvili, G.Mikadze	On high-temperature oxidation of alloy FeCr(La): Reduction of the effective diffusion area.	Bulletin of Georgian Nat. Acad. Sci., Vol. 17, N. 1, ISSN - 0132 - 1447			30	
32	G.Bokuchava, I.Nakhushrishvili, K.Barbakadze	Some thermoelectric parameters of alloy p-Si0.7Ge0.3.	Bulletin of Georgian Nat. Acad. Sci., Vol. 17, N.			30	
33	I.Nakhushrishvili, R.Tkhinvaleli, G.Kakhniashvili	Current Topics on Chemistry and Biochemistry, 2023, vol.9, 31-46. ISBN: 978-93-5547-941-9 (Print) 978-93-5547-942-6 (eBook), DOI: 10.9734/bpi/ctcb/v9	Bhopal, India, Book Publisher International			30	
34	G.Bokuchava, I.Nakhushrishvili, K.Barbakadze	Fundamental Research and Application of Physical Science, 2023, vol.3, ISBN: 113-126. 978-81-19102-66-2 (Print) 978-81-19102-62-4 (eBook), DOI: 10.9734/bpi/fraps/v4	Bhopal, India, Book Publisher International			30	
35	I.Nakhushrishvili, R.Kokhraidze, G.Kakhniashvili, I.Javakhishvili	Progress in Chemical Science Research, 2023, vol. 9, 175-186. ISBN: 978-81-19102-32-7 (Print) 978-81-19102-39-6 (eBook), DOI: 10.9734/bpi/pcsr/v9	Bhopal, India, Book Publisher International			30	
36	I.Nakhushrishvili, Z.Adamia, I.Stepnadze	Recent Progress in Science and Technology, 978-81-960791-2-3 (Print) 978-81-960791-7-8 (eBook) https://doi.org/10.9734/bpi/pcsr/v9/19272D	Bhopal, India, Book Publisher International			30	
37	Gia Petriashvili, Andro Chanishvili, Nino Ponjavidze, Ketevan Chubinidze, Tamara Tatrishvili, Elene Kalandia, Ana Petriashvili, Tamar Makharadze	Crystal Smectic G Phase Retarder for the RealTime Spatial-Temporal Modulation of Optical Information.	Chemistry & Chemical Technology, Vol. 17, No 4, ISSN 1996-4196		30		
38	I.Nakhushrishvili, G.Kakhniashvili, I.Kvartskhava, A.Gigineishvili	Dependence of the Seebeck coefficient on specific and universal electrolytic conductivities of Bi2Sr2Co1.8Oy thermoelectric	Journal of Materials Science Research and Review, Vol. 6, N 4,		30		

		doped with strontium borate and graphene. . e-ISSN: 2321-6212, p-ISSN: 2347-2278 https://www.sdiarticle5.com/review-history/104810				
39	G.Bokuchava, K.Barbakadze, I.Nakhutsrishvili	On the thermoelectric alloy n-SixGe1-x DOI: 10.15406/mseij.2023.07.00204	Material Science & Engineering, Vol. 7, N 2		30	
40	G.Bokuchava, I.Nakhutsrishvili, K.Barbakadze	Monolithic module based on Si0.7Ge0.3 alloy for thermoelectric generator ISSN: 0976-3376	AJ Science and Technology, Vol. 14, N 7			30
41	K.Barbakadze, G.Kakhniashvili, Z.Adamia, I. Nakhutsrishvili	Determination of electronic quality factor, universal electrical conductivity, effective mass and mobility of charge carriers of alloy n-SixGe1-x .e-ISSN: 2321-6212, p-ISSN: 2347-2278	Jornal of Materials Science Research and Review, Vol. 6, N 4			30

13. სამეცნიერო ერთეულში დასაქმებულ მკვლევართა სამეცნიერო პროდუქტიულობის მაჩვენებელი (ციტირების ინდექსის საფუძველზე)

№	სახელი და გვარი	Web of Science		Scopus		Google Scholar		სხვა (მიუთითეთ)	
		ციტირების ინდექსი	h -ინდექსი	ციტირების ინდექსი	h -ინდექსი	ციტირების ინდექსი	h -ინდექსი	ციტირების ინდექსი	h -ინდექსი
1	გრიგორ გიორგაძე	66	4	113	6	300	10		
2	გიორგი ბოლოთაშვილი	38	1	39	2	92	4		
3	გურამ დონაძე	108	5	97	6	161	7		
4	მაია ელიზბარაშვილი	6	1	9	1	16	3		
5	რევაზ გრიგოლია	284	8	221	9	618	23		
6	ვაგნერ ჯიქია	2	1	2	1	6	2		
7	გიორგი	-	-	12	2	-	-		

	მაქაცარია								
8	გოდერძი ფრუიძე	30	2	26	2	53	3		
9	ფრიდონ ალშიბაია	0	0	0	0	0	0		
10	რამაზ ლიპარტელიანი	2	1	3	0	4	2		
11	ვახტანგ ჟღამაძე	15	3	15	3	27	3		
12	რევაზ თევზაძე	206	8	252	8	565	10		
13	გიორგი ჯანდიერი	308	9	371	11	644	14		
14	თეიმურაზ ცაბაძე	47	3	64	4	91	4		
15	თამაზ სულაბერიძე	22	4	17	3	36	4		
16	ბესიკ ჩიქვინიძე	11	2	11	2	23	3		
17	ცოტნე კუტალია	0	0	0	0	2	1		
18	ივანე წერეთელი	–	–	9	1	–	–		
19	ბაკურაძე როლანდ	4	1	3	1	15	3		
20	ნაირა ბექაური	0	0	0	0	0	0		
21	დავით იოზაშვილი	0	0	0	0	0	0		
22	ირაკლი სხირტლაძე	7	2	0	0	4	2		
23	ზაირა ბერიკიშვილი	0	0	0	0	0	0		
24	გიორგი კაკულაშვილი	–	–	2	0	–	–		
25	ერეკლე ხუროძე	–	–	–	–	–	–		
26	გოდერძი ლეჟავა	1	1	1	0	1	1		
27	ოთარ თავდიშვილი	4	1	2	0	5	2		
28	თეა თოდუა	2	1	1	0	4	1		
29	რაფიელ თხინვალელი	1	0	1	0	2	1		

30	რევაზ ქურდიანი	28	3	33	3	60	3		
31	ირინე კამკამიძე	0	0	1	0	1	1		
32	ირაკლი ჯავახიშვილი	0	0	0	0	1	1		
33	ნათელა ბახტაძე	0	0	0	0	0	0		
34	ბესარიონ ფარცვანია	29	4	26	4	65	6		
35	ვერა ჯელაძე	29	3	43	4	66	5		
36	თენგიზ ზორიკოვი	89	2	90	2	162	5		
37	თეიმურაზ გოგოლაძე	27	2	30	3	50	3		
38	გია ქუთელია	-	-	-	-	-	-		
39	ირაკლი ავალიშვილი	1	1	0	0	1	1		
40	დავით ჯიშიაშვილი	102	5	90	5	170	8		
41	ზეინაბ შიოლაშვილი	41	3	26	2	157	6		
42	არჩილ ჭირაქაძე	72	4	21	2	97	5		
43	ნინო მახათაძე	25	3	11	2	38	3		
44	ალექსანდრე ჯიშიაშვილი	13	2	8	2	16	2		
45	გიორგი მუმლაძე	16	2	28	4	51	4		
46	თორნიკე გაგნიძე	6	2	12	2	14	2		
47	ხათუნა წეროძე	0	0	0	0	0	0		
48	ორესტ კვიციანი	5	1	3	0	-	-		
49	შალვა კეკუტია	41	3	52	4	70	5		
50	ვლადიმერ მიქელაშვილი	25	2	19	3	38	3		
51	ლიანა სანებლიძე	22	2	17	3	35	3		
52	რევაზ კობრეიძე	7	2	6	2	12	2		
53	ნიკოლოზ ჩხაიძე	14	2	29	3	47	4		

54	ნინო მაისურაძე	1	1	10	2	10	2		
55	ზაზა მელიქიშვილი	76	4	60	4	146	6		
56	ტარიელ ებრაღიძე	148	6	117	6	181	6		
57	თამაზ მედოიძე	39	4	32	4	65	5		
58	ზაზა ჯალიაშვილი	33	4	34	4	58	4		
59	ნადია ებრაღიძე	47	3	51	3	67	4		
60	გიორგი ქაჩლიშვილი	-	-	1	1	-	-		
61	ვერიკო ქინქლაძე	2	1	3	1	10	2		
62	ნიკოლოზ მარგიანი	46	3	49	4	87	5		
63	მაია ბალახაშვილი	-	-	1	0	2	1		
64	იამზე ქვარცხავა	4	1	8	1	18	2		
65	გიორგი კახნიაშვილი	-	-	3	1	28	2		
66	ლანა შამანაური	-	-	8	1	9	2		
67	ბარბარა კილოსანიძე	225	8	255	9	324	10		
68	ირაკლი ჩაგანავა	144	7	218	10	192	9		
69	ვლადიმერ ტარასაშვილი	37	3	19	3	53	4		
70	ანა ფურცელაძე	35	3	24	3	68	4		
71	იური მშვენიერაძე	25	3	28	3	28	3		
72	ვალენტინა შავერდოვა	143	6	33	3	232	7		
73	ვლადიმერ დადივაძე	-	-	-	-	-	-		
74	ანდრო ქანიშვილი	897	15	861	14	1157	16		
75	ელენე	615	11	590	11	926	13		

	ციციშვილი								
76	ოლეგ გოგოლინი	234	9	141	7	557	13		
77	ქეთევან ჩუბინიძე	42	4	31	4	56	5		
78	რუსიკო ჯანელიძე	4	1	2	1	3	1		
79	ზურაბ ვარდოსანიძე	42	3	26	3	103	5		
80	თინათინ ლაფერაშვილი	6	1	5	1	3	1		
81	ირაკლი ნახუცრიშვილი	18	1	15	2	26	3		
82	ლია კუტალაძე	1	1	2	1	2	1		
83	ვახტანგ ედილაშვილი	6	1	1	0	3	1		
84	იუჯინ ბლაგიძე	19	2	9	2	43	4		
85	სვეტლანა თავზარაშვილი	39	3	40	3	57	3		
86	ნინო ფონჯავიძე	35	4	42	4	46	4		
87	ცისანა ზურაბიშვილი	41	4	50	4	61	5		
88	გია პეტრიაშვილი	1057	17	1090	17	1464	19		
89	ლალი დევაძე	51	4	60	4	85	5		
90	ჯანო მარხულია	23	2	17	3	31	2		
91	ნინო სეფაშვილი	51	4	60	4	82	5		
92	მანანა არეშიძე	1	1	1	1	2	1		
93	შორენა ახოზაძე	-	-	1	0	3	1		
94	ელენე კალანდია	2	1	1	0	4	1		
95	ლიანა შარაშიძე	5	1	5	1	20	3		
96	ნანა იმნაიშვილი	-	-	-	-	-	-		
97	თინათინ ბუკია	10	2	22	3	29	3		
98	თამარ მახარაძე	-	-	19	2	53	5		

ხელმძღვანელი პირის ხელმოწერა



წარმოდგენის თარიღი /----/-----/2023წ./