1. სადოქტორო პროგრამის სახელწოდება: **ფიზიკა, Physics**

**პროგრამა შედგება ფიზიკის დარგობრივი მიმართულებების შესაბამისი მოდულებისაგან:**

1.1. თეორიული ფიზიკა / Theoretical Physics
1.2. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა / Elementary Particle Physics
1.2.1 ელემანტარული ნაწილაკების თეორია / Theory of Elementary Particles
1.2.2 ნაწილაკების ექსპერიმენტული ფიზიკა / Experimental Particle Physics
1.3. პლაზმის ფიზიკა / Plasma Physics
1.4 ასტროფიზიკა / Astrophysics
1.5. კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა / Condensed Matter Physics
1.6. მიკრო და ნანოელექტრონიკა / Micro- and Nano-Electronics
1.7. გამოყენებითი ელექტროდინამიკა და რადიოტექნიკა / Applied Electrodynamics and Radio-Engineering
1.8. არაწრფივი მოვლენების ფიზიკა / Nonlinear Phenomena Physics
1.9 ატომური და მოლეკულური ფიზიკა / Atomic and Molecular Physics
1.10 ბიოფიზიკა / Biophysics

2. მისანიჭებელი აკადემიურ ხარისხი: **ფიზიკის დოქტორი / PHD in Physics**

**შემოთავაზებული სპეციალობები:**
2.1 თეორიული ფიზიკა / Theoretical Physics
2.2 ელემანტარული ნაწილაკების ფიზიკა / Elementary Particle Physics
2.3 პლაზმის ფიზიკა / Plasma Physics
2.4 ასტროფიზიკა / Astrophysics
2.5 კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა / Condensed Matter Physics
2.6 მიკრო- და ნანო-ელექტრონიკა / Micro- and Nano-Electronics
2.7 გამოყენებითი ელექტროდინამიკა / Applied Electrodynamics
2.8 არაწრფივი მოვლენების ფიზიკა / Nonlinear Phenomena Physics
2.9 ატომის ფიზიკა / Atomic Physics
2.10 ბიოფიზიკა / Biophysics

3. სადოქტორო პროგრამის ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები:
**მოდული 1.1 -** თსუ ასოც. პროფ. **მერაბ გოგბერაშვილი;**
თსუ ა. რაზმაძის სახ. მათემატიკის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ-მკვლევარი **გიორგი ჯორჯაძე.**

**მოდული 1.2**
**1.2.1** თსუ პროფ. **მერაბ ელიაშვილი;**
ბონის უნივერსიტეტის პროფ. თსუ საპატიო დოქტორი **ულფ მაისნერი;**
ზიგენის უნივერსიტეტის პროფ. **თომას მანელი;**
ბონის უნივერსიტეტის პრივატ-დოცენტი **აკაკი რუსეცკი**
1.2.2 თსუ ასოც. პროფესორი **რევაზ შანიძე;**
თსუ მონაცემთა მოდელური ანალიზის ლაბორატორიის გამგე **მირიან ტაბიძე;**
თსუ მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ მკვლევარი **თამარ ჯობავა;**
კიოლნის უნივერსიტეტის პროფ., თსუ საპატიო დოქტორი **ჰანს შტროერი;**
იულიხის კვლევითი ცენტრის წამყვანი მეცნიერ-მკვლევარი დრ. **ანდრო კაჭარავა**

თსუ-ს ელემეტარული ნაწილაკების ლაბორატორიის გამგე **იური თევზაძე**

**მოდული 1.3** - თსუ პროფ., აკადემიკოსი **ნოდარ ცინცაძე**

**მოდული 1.4** - თსუ პროფ. **ნანა შათაშვილი**
თსუ ასოც. პროფ. **ალექსანდრე თევზაძე**

**მოდული 1.5** - თსუ პროფ. **ალექსანდრე შენგელაია**
**ივ. დუმონტი,** ვერსალის უნივერსიტეტი, საფრანგეთი
თსუ ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ
თანამშრომელი **გრიგოლ მამნიაშვილი**

**მოდული 1.6** - თსუ ასოც. პროფ. **ამირან ბიბილაშვილი**

**მოდული 1.7** - თსუ ემერიტუს პროფ. **რევაზ ზარიძე.**
თსუ ასოც. პროფ. **ოლეგ ხარშილაძე,**
თსუ ზსმფ-ის ფიზიკის დეპარტამენტის გამოყენებითი ელექტროდინამიკისა
და რადიოტექნიკის სასწავლო-სამეცნიერო ლაბორატორიის გამგე **ივანე**
**დარსაველიძე**

**მოდული 1.8** - თსუ პროფ. **არჩილ უგულავა;**
თსუ ასოც. პროფ. **რამაზ ხომერიკი.**

**მოდული 1.9** - თსუ პროფ. **თამაზ კერესელიძე;**
თსუ ასოც. პროფ. **ზაალ მაჭავარიანი.**

**მოდული 1.10** - თსუ **პროფ. თამაზ მძინარაშვილი;**
თსუ ასისტენტ პროფესორი **მარიამ ხვედელიძე;**
თსუ ზსმფ-ის ბიოფიზიკის ლაბორატორიის გამგე, სსიპ ი. ბერიტაშვილის
ცენტრის მთავარი მეცნ. თანამშრ., **დიმიტრი ხოშტარია;**
ერევნის სახელმწიფო უნივერსიტეტის, მოლეკულური ფიზიკის
დეპარტამენტის **ასოც. პროფ. ევგენი მამასახლისოვი.**

**4. პროგრამის მოცულობა:** 180 კრედიტი

**5. სწავლების ენა:** ქართული (მოდულები 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10)
ქართული / ინგლისური (მოდულები 1.1, 1.2)

**6. სადოქტორო პროგრამის საკვალიფიკაციო დახასიათება:**

**პროგრამის მიზანი:**

**მოდული 1.1**.

მოდული ეხება თანამედროვე თეორიული და მათემატიკური ფიზიკის, როგორიცაა გრავიტაცია და კოსმოლოგია (I), სიმების თეორია (II), თანამედროვე ამოცანებს.

(I) გრავიტაცია და კოსმოლოგია წარმოადგენენ თანამედროვე თეორიული ფიზიკის ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან და სწრაფად განვითარებად დარგებს. ითვლება, რომ ადრეული სამყაროს და შავი ხვრელების ფიზიკის პრობლემების გადაჭრა მიგვიყვანს

ველის ზოგადი თეორიის შექმნამდე, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს ტექნოლოგიურ გარღვევას ზოგადად მეცნიერების და ადამიანის პრაქტიკული მოღვაწეობის სხვა დარგებშიც. წარმოდგენილი თემატიკა მოიცავს თეორიული ფიზიკის ფართო სპექტრს, დაწყებული ელემენტარული ნაწილაკების თეორიიდან და დამთავრებული სამყაროს მსხვილმაშტაბოვანი არაერთგვაროვნებების მოდელებით. ძირითადი აქცენტები გაკეთდება დოქტორანტებისათვის თანამედროვე ველის თეორიის და მათემატიკური და რიცხვითი მეთოდების ღრმად სწავლებაზე, რაც საჭიროა თანამედროვე ფიზიკის ნებისმიერ დარგში მომუშავე თეორეტიკოსისათვის.

(II) ჰოლოგრაფული დუალობის ჰიპოთეზის მიხედვით სიმის თეორია AdS სივრცეში და ამ სივრცის საზღვარზე არსებული კონფორმული ველის თეორია ერთმანეთის ექვივალენტურია. ამ დუალობით ყალიბური ველის თეორია უკავშირდება სიმის თეორიას და ეს დუალობა ცნობილია AdS/CFT შესაბამისობის სახელით. შესაბამისობის ერთ-ერთი მთავარი თვისებაა დუალობა ძლიერ და სუსტ ბმებს შორის, რაც ძლიერად ბმული სისტემების არაპერტურბატიული აღწერის მძლავრ იარაღად იქცა. ამ საკითხის კვლევა თეორიული და მათემატიკური ფიზიკის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიმართულებაა ბოლო ორი ათწლეულის მანძილზე. მთავარი იარაღი რაც ამ კვლევებში გამოიყენება არის დუალურ თეორიათა ინტეგრებადობა.

- დოქტორანტებს ლექციებს წაუკითხავენ მსოფლიოს სხვადასხვა წამყვან სამეცნიერო ცენტრში მოღვაწე სპეციალისტები. საწყის ეტაპზე ფოლკსვაგენის გრანტის ფარგლებში პროგრამაში ჩართულები იქნებიან სომეხი და გერმანელი კოლეგებიც. სასწავლო კურსების ჩატარება იგეგმება თბილისში, ერევანსა და ბონში, ასევე ინტერნეტის საშუალებითაც.
- სწავლება იწარმოებს ქართულ და ინგლისურ ენებზე.

**პროგრამის ამ მოდულის ძირითადი მიზანია** საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი, მაღალი კვალიფიკაციის სპეციალისტის მომზადება თეორიული ფიზიკის სპეციალობით. წარმოდგენილი პროგრამა მოიცავს თეორიული ფიზიკის ფართო სპექტრს. ძირითადი აქცენტები გაკეთდება დოქტორანტებისთვის მათემატიკური და რიცხვითი მეთოდების ღრმად სწავლებაზე, რაც საჭიროა თანამედროვე ფიზიკის ნებისმიერ დარგში მომუშავე თეორეტიკოსისთვის.

<u>**მოდულის 1.1 სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები/თემები (120 კრედიტი):**</u>

ამ მოდულის სადოქტორო პროგრამა წარმოდგენილი იქნება სამი ძირითადი მიმართულებით:

- მათემატიკური ფიზიკის მეთოდები (Methods of Mathematical Physics).
- ფარდობითობის ზოგადი თეორია და გრავიტაციის ალტერნატიული მოდელები (General Relativity and Alternative Models of Gravitation).
- კვანტური ველები გამრუდებულ სივრცეებში (Quantum Fields in Curved Spaces).
- ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის კოსმოლიგიური ასპექტები (Cosmological Aspects of Elementary Particle Physics).
- ველის/სიმების თეორია (Fields/String Theory).

**მოდული 1.2** მოდული კომპლექსურია და ეხმაურება ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის თეორიულ და ექსპერიმენტულ ასპექტებს.

**<u>ქვემოდული 1.2.1</u>** ეხება კვანტური ველების (I) და ელემენტარული ნაწილაკების თეორიის (II) ამოცანებს.

(I) თემატიკა ძირითადად ეხება კვანტური ველების თეორიის საკითხებს და ამ თეორიის გამოყენებას ელემენტარული ნაწილაკებისა და კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის ამოცანებში. ცნობილია, რომ არსებობს ღრმა ანალოგია კვანტური ველების თეორიასა და სტატისტიკურ მექანიკას შორის. შესაბამისად, ველის თეორია ეფექტურად გამოიყენება როგორც რელატივისტური ნაწილაკების, ასევე მრავალნაწილაკიანი არარელატივისტური კონდენსირებული გარემოს შესწავლისას.

ამასთან ერთად, ფუნდამენტური ურთიერთქმედების თეორიის თანამედროვე განვითარების პროცესში შეიქმნა მთელი რიგი ახალი მიმართულებებისა, სადაც ძირითადი ცნებები და ობიექტები ჯერ-ჯერობით არ არიან შესწავლილი ცდებისა და დაკვირვებების გზით. ეს პირველ რიგში უკავშირდება ზემცირე მასშტაბებისა ან/და ზემაღალ ენერგიების მიღწევის სირთულეს. ამიტომ ეს ობიექტები ხშირად რჩებიან წმინდა მათემატიკური სპეკულაციების საგნად.

მეორეს მხრივ, კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის განვითარებამ შესაძლებელი გახადა ახალი ტიპის ნანო-მასალების შექმნა, სადაც გამოვლენილია რიგი უჩვეულო ფიზიკური მოვლენებისა. შეიძლება ითქვას რომ შესაძლებელი გახდა სრულიად ახალი, ე.წ. კვანტური მატერიის ხელოვნურად შექმნა, და რაც მნიშვნელოვანია ამ მატერიაში მოულოდნელად შეიძლება აღმოცენდეს ფიზიკური მოვლენების ახალი ფორმები (Emergent Phenomena) რომლებიც გარკვეულად წარმოადგენან ფუნდამენტური ურთიერთქმედებების თეორიებში შექმნილი ჰიპოტეტუტური ობიექტების ფიზიკურ რეალიზებას. აღსანიშნავია, რომ კვანტური მატერიის სხვადასხვა ტიპების არსებობა უკავშირდება ობიექტების სივრცულ განზომილებებს. ამის კლასიკური მაგალითია ისეთი კვაზი ორ-განზომილებიანი სისტემები, როგორიცაა ჰოლის ეფექტები და გრაფენი, ან ერთ-განზომილებიანი კვანტური მავთულები.

კვლევები ძირითადად წარმოადგენენ ორგანზომილებიანი კვანტური ველის თეორიის და მათემატიკური ფიზიკის აპარატის გამოყენებას დაბალ-განზომილებიანი სისტემების აღსაწერად. სამეცნიერო ინტერესების დიაპაზონი იძლევა საშუალებას დავაინტერესოთ სტუდენტები და ახალგაზრდა მკვლევარები თანამედროვე თეორიული ფიზიკის ფართე სპექტრით.

(II) ელემენტარული ნაწილაკების თეირიის, კვანტური ქრომოდინამიკის, ფორმულირება მესერზე წარმოადგენს დღესდღეობით ცნობილ ერთადერთ თეორიულ მიდგომას, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, აღვწეროთ ადრონების თვისებები უშუალოდ კვანტური ქრომოდინამიკის საფუძველზე, ყოველგვარი დაშვებების გარეშე. ეს ფორმულირება დამყარებულია კვანტური ქრომოდინამიკის გრინის ფუნქციების რიცხობრივ გამოთვლაზე მონტე-კარლოს მეთოდის გამოყენებით. რადგან რიცხვითი გამოთვლები ყოველთვის სასრული სისტემებისთვისაა შესაძლებელი, ამიტომ მესერს, რომელიც გამოთვლებში გამოიყენება, ყოველთვის სასრული მოცულობა აქვს. ბუნებრივად ისმის კითხვა, როგორ არის დაკავშირებული სასრულ მოცულობაში გამოთვლილი ადრონული მახასიათებლები ექსპერიმენტზე გაზომილ სიდიდეებთან, რომლებიც უსასრულო მოცულობაშია განმარტებული. ეს კითხვა განსაკუთრებით აქტუალურია გაფანტვის ამოცანებისათვის, რადგან უწყვეტი სპექტრი მხოლოდ უსასრულო მოცულობაში არსებობს.

როგორ აღმოჩნდა, მოცემული ამოცანის ამოხსნა შესაძლებელია ეფექტური ველის თეორიის მეთოდებით გამოყენებით სასრულ მოცულობაში. ეს მიმართულება ძალიან სწრაფად ვითარდება უკანასკნელი 2-3 წლის განმავლობაში. კერძოდ, ერთდროულად რამდენიმე კოლაბორაციის მიერ შესწავლილი იყო დრეკადი და არადრეკადი ორნაწილაკოვანი გაფანტვის

პროცესები, აგრეთვე დაიწყო სამი ნაწილაკის ამოცანის განხილვა სასრულ მოცულობაში. შეიძლება ითქვას რომ გაფანტვის პროცესების კვლევა დღესდღეობით ერთ-ერთ პრიორიტეტულ მიმართულებას წარმოადგენს კვანტურ ქრომოდინამიკაში მესერზე.

**ამ ქვემოდულის ძირითადი მიზანია** საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი, მაღალი კვალიფიკაციის სპეციალისტის მომზადება ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის სპეციალობით, კერძოდ თეორიაში, შესაბამისად, ძირითადი აქცენტები გაკეთდება დოქტორანტებისთვის მათემატიკური და რიცხვითი მეთოდების ღრმად სწავლებაზე.

**ამ ქვემოდულის სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები / თემებია (120 კრედიტი)**:

- კვანტური ველების თეორიის მეთოდები.
- კვანტური ქრომოდინამიკა მესერზე და ეფექტური ველის თეორიები.
- დაბალგანზომილებიანი სისტემები, გრაფენის ტიპის ორ-განზომილებიანი მესერების კვლევა.

<u>ქვემოდული 1.2.2</u> ეხება ამოცანებს, რომლებიც უკავშირდება თანამედროვე ექსპერიმენტულ კვლევებს ნაწილაკების ფიზიკაში, <u>კერძოდ:</u> ასტრონაწილაკებისა და ნეიტრინოს ფიზიკა (I), სპინის ფიზიკა და ედმ ძიება (II), ცერნის დიდ ადრონულ კოლაიდერზე მიმდინარე კვლევები (III).

(I) ასტრონაწილაკების ფიზიკა ფუნდამენტური კვლევების შედარებით ახალი დარგია, რომელიც კოსმოსში (ასტროფიზიკურ ობიექტებში) მიმდინარე მაღალი ენერგიის პროცესებს სწავლობს. ასეთი პროცესების ყველაზე მკაფიო გამოხატულებას წარმოადგენენ კოსმოსური სხივები, რომლის ნაწილაკების ენერგიის სპექტრი $10^{20}$ ევ-ს აღემატება, რაც გაცილებით მეტია ამაჩქარებელზე მიღებულ ენერგიებთან შედარებით. მაგალითისთვის, ყველაზე დიდი ამაჩქარებელზე, დიდ ადრონულ კოლაიდერზე პროტონების აჩქარება შესაძლებელია $7\times10^{12}$ ევ ენერგიამდე. მიუხედავად ინტენსიური ექსპერიმენტული კვლევისა, ჯერ-ჯერობით გაურკვეველია, თუ სად და როგორ ხდება ზემაღალი ენერგიების ნაწილაკების წარმოქმნა კოსმოსში. ამ კითხვაზე პასუხის გაცემის ერთ-ერთ პერსპექტიულ მეთოდს ასტრონაწილაკების ფიზიკა, კერძოდ კი მაღალი ენერგიების ნეიტრინული ასტრონომია წარმოადგენს. ახალი თაობის ნეიტრინული ტელესკოპი KMN3eT ამჟამად ხმელთაშუა ზღვის ფსკერზე შენდება დიდი საერთაშორისო თანამშრომლობის მიერ. ამ ევროპული სამეცნიერო თანამშრომლობის წევრია თბილის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტი). ძირითადი სამეცნიერო კვლევები, რომლებიც ამ სამეცნიერო ხელსაწყოს საშუალებით შესრულდება, მოიცავს მაღალი ენერგიების კოსმოსური ნეიტრინოების დიფუზური ნაკადების გაზომვას, კოსმოსური სხივების წყაროების კვლევას, ბნელი (უხილავი) მატერიის დაკვირვებას ნეიტრინოების საშუალებით და ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქების დროს წარმოქმნილი ნეიტრინულ ნაკადების რეგისტრაციას. აღსანიშნავია, რომ KM3NeT პროექტში გათვალისწინებულია კვლევები ნეიტრინულ ფიზიკაში, კერძოდ კი ატმოსფერული ნეიტრინოების საშუალებით ნეიტრინოების თვისებების შესწავლა. ამ კვლევებმა შესაძლებელია სტანდარტული მოდელის მიღმა არსებული ფიზიკის აღმოჩენისა და შესწავლის შესაძლებლობა მოგვცეს.

(II) ელემენტარული ნაწილაკებისა და მსუბუქი ბირთვების ელექტრული დიპოლური მომენტის (ედმ) არსებობა დაკავშირებულია ბუნების კანონების დისკრეტული გარდაქმნების (სივრცული P და დროითი T ინვერსიები) მიმართ სიმეტრიებთან, არღვევს რა ამ სიმეტრიებს. მეორეს მხრივ CP-ინვარიანტობის დარღვევის კვლევამ შესაძლებელია ფარდა ახადოს სამყაროში დამზერილი მატერიის ანტიმატერიასთან ნამატობის პრობლემას (ბარიოგენეზისი), რომელიც სამყაროს წარმოშობის

ქვაკუთხედია. ამდენად ამ ფენომენის კვლევას ფუნდამენტური მნიშვნელობა აქვს. ედმ-ის არსებობა ექსპერიმენტულად შეიძლება დადგენილ იქნას ძლიერ ელექტრულ ველში სპინის პრეცესიის შესწავლით. ამ ტიპის ექსპერიმენტის ნებისმიერი დადებითი შედეგი იქნება სენსაციური აღმოჩენა. ასეთი კვლევებისთვის გერმანიის ქ. იულიხის მდებარე COSY ამაჩქარებელი, რომელსაც შეუძლია პოლარიზებული პროტონებისა და დეიტრონების აჩქარება 3.7 GeV/c იმპულსამდე, არის უნიკალური დანადგარი. იულიხის კვლევით ცენტრში მიმდინარე ედმ ძიების ექსპერიმენტებში ჩართულია ქართველი ფიზიკოსების ჯგუფი. კვლევები მიმდინარეობს JEDI საერთაშორისო კოლაბორაციის ფარგლებში.

(III) CERN-ის დიდ ადრონულ კოლაიდერზე (LHC) ოთხი დიდი ექსპერიმენტი ტარდება (ATLAS, CMS, ALICE LCHb). ATLAS ექსპერიმენტი, რომელშიაც ქართველი ფიზიკოსები მონაწილეობენ თსუ-დან, წარმოადგენს მრავალ-მიზნობრივ პროტონ-პროტონული ურთიერთქმედებების შემსწავლელ დანადგარს. ATLAS ექსპერიმენტის ფიზიკის პროგრამაში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან და საინტერესო საკითხს წარმოადგენს ტოპ კვარკის ფიზიკა. დიდ ადრონულ კოლაიდერზე იმდენად ბევრი ტოპ კვარკი წარმოიქმნება, რომ მას „ტოპ კვარკის“ ფაბრიკასაც უწოდებენ. ტოპ კვარკი თავისი დიდი მასის გამო წარმოადგენს შესაფერის ობიექტს ელექტრო-სუსტი სიმეტრიის დარღვევის ბუნების დასადგენად, ფერმიონების მასების გენერაციის შესასწავლად და სხვა მასიური ნაწილაკების შესაძლო არსებობის დასამტკიცებლად. გარდა ამისა ტოპ კვარკის შემთხვევები იქნება ძირითადი ფონური შემთხვევები 1 ტევის მასშტაბში “ახალი ფიზიკის” –სტანდარტული მოდელის მიღმა ფიზიკის კვლევებში. ამრიგად ახალი ფიზიკური შედეგების მისაღებად საჭიროა ტოპ კვარკის შემთხვევების თვისებების დადგენა და დაბადების ალბათობის ზუსტი გაზომვა. ტოპ კვარკის ფიზიკის ერთ-ერთ ასპექტს წარმოადგენს ტოპ კვარკის იმავე მუხტის მსუბუქ კვარკებში (q=u,c)არომატის შემცვლელი ნეიტრალური დენებით (აშნდ) ინდუცირებული გადასვლების ძიება. სტანდარტულ მოდელში ასეთი გადასვლები აკრძალულია ხე დონეზე, ანუ ისინი არ ხორციელდება არც ნეიტრალური ყალიბური ბოზონების (Z,γ,g) მეშვეობით და არც სტანდარტული მოდელის ჰიგსის ბოზონის მეშვეობით და შესაბამისად ძლიერ ჩახშობილია სტანდარტულ მოდელში. ასე რომ აშნდ–თი გამოწვეული ტოპ კვარკის დაშლის ნებისმიერი დაკვირვება სტანდარტული მოდელს მიღმა ფიზიკის სიგნალის „მყისიერი მტკიცებულება“ იქნებოდა. ამრიგად, აშნდ-ით ინსპირირებული ტოპ კვარკის იშვიათი დაშლების დიდ ადრონულ ამაჩქარებელზე დამზერის შესაძლებლობის სისტემატიური შესწავლა ექსპერიმენტული თვალსაზრისით წარმოადგენს ძალიან მნიშვნელოვან ამოცანას. გამოკვლევების ერთ-ერთი მიმართულებაა აგრეთვე პროტონ-პროტონულ ურთიერთქმედებებში ტოპ ანტიტოპ კვარკულ წყვილებთან ერთად „უშუალოდ“ წარმოქმნილი მძიმე ვექტორული კვარკონიუმის ასოციატიურად დაბადების პროცესის კვლევა. კვარკონიუმი არის მძიმე კვარკისა (c ან b) და შესაბამისი ანტიკვარკის ბმული მდგომარეობა J/ψ ან ϒ ვექტორული მეზონები. ეს ტოპ კვარკის წყვილთან კვარკონიუმის ასოციატიური დაბადების გაზომვის პირველი მცდელობაა და წარმოადგენს ATLAS ექსპერიმენტის ფაზა 1-ის პიონერული გაზომვების გაგრძელებას: ვექტორული კვარკონიუმის ასოციატიური დაბადება W ან Z ბოზონთან. შემდგომ გაზომვებში არსებული მოდელები ცდილობდნენ აეხსნათ ATLAS ექსპერიმენტზე დამზერილი ამ პროცესების კვეთის სიმცირე ნაწინასწარმეტყველებთან შედარებით. ეს შეიძლება მიანიშნებდეს ამ პროცესების უცნობ წყაროზე და ტოპ კვარკის წყვილთან ვექტორული კვარკონიუმის ასოციატიური დაბადების გაზომვამ შეიძლება ნათელი მოჰფინოს ამ პრობლემას. ტოპ კვარკის წყვილთან ვექტორული კვარკონიუმის ასოციატიური დაბადების მნიშვნელოვანი გაზომვისათვის საჭიროა დამოუკიდებლად იქნას ჩატარებული კვარკონიუმის

ინკლუზიური და ტოპ კვარკის წყვილის გაზომვა ერთსა და იმავე ენერგიაზე. ასეთი გაზომვები ჩატარებულია LHC-ზე დაბალ ენერგიებზე; 13 ტევ ენერგიაზე ტოპის დაბადება კარგადაა შესწავლილი, მაგრამ J/ψ და ϒ დაბადება ჯერ კიდევ შესასწავლია როგორც 13 ტევ ენერგიაზე ასევე მომავალში დიდ ადრონულ ამაცქარებელზე განცოციელებულ უფრო მაღალ ენერგიებზე.

ATLAS ექსპერიმენტის უდიდესი პოტენციალი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მრავალი ქვედეტექტორის საიმედო მუშაობაზე. კერძოდ, ზემოთ ჩამოთვლილი კვლევების წარმატებით შესასრულებლად ATLAS-ს ესაჭიროება ძალიან კარგი ელექტრომაგნიტური და ადრონული კალორიმეტრები, რაც საშუალებას იძლევა ზუსტად გაიზომოს ელექტრონების, ფოტონების, იზოლირებული ადრონების ენერგია და მდებარეობა, ადრონული ჭავლები და განივი ნაკლული ენერგია; აგრეთვე ნაწილაკების იდენტიფიკაცია და რეკონსტრუქცია. ამიტომ ATLAS დეტექტორის ადრონული კალორიმეტრის გაუმჯობესება (განახლება) დიდი ადრონული ამაჩქარებლის გაზრდილი ნათების და ენერგიის პირობებში წარმოადგენს ძალიან მნიშვნელოვან ამოცანას.

ATLAS ექსპერიმენტის მსგავსი ფიზიკური პროგრამა ხორციელდება CMS ექსპერიმენტშიც, რომელშიაც ასევე მონაწილეობენ ქართველი ფიზიკოსები და შესაძლებელი იქნება ამ კვლევებში თსუ დოქტორანტების ჩართვა.

(IV) SM-სტანდარტული მოდელი კარგად აღწერს თითქმის ყველა ექსპერიმენტულ ფაქტს ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკაში. მიუხედავად ამისა, წლების განმავლობაში კეთდებოდა მინიშნებები SM-ის შესწორებაზე – გაფართოებაზე ხელოვნური ხერხების გამოყენების გარეშე. ე.ი. ამ ლოგიკის თანახმად უნდა არსებობდეს ფიზიკა SM–ის მიღმა - “ახალი ფიზიკა”, რომელიც გასცემს პასუხს იმ კითხვებს, რომელსაც ვერ პასუხობს SM. “ახალი ფიზიკის” არსებობის დადასტურებისა და შესაბამისი თეორიების შემოწმების ერთ-ერთი საშუალებაა ლეპტონური რიცხვის, ან ლეპტონური არომატის შენახვის კანონის დარღვევის შემოწმება, რომელიც დღემდე დამზერილი არაა დამუხტული ლეპტონებისათვის - დამზერილი არაა გადასვლა $\mu^+ \to e^-$ ნეიტრინოების გარეშე. ასეთი პროცესის დასაკვირვებლად საჭიროა დიდი ინტენსიობის $\mu^+$-მიუონების ნაკადები, რომლებიც მიიღებიან იაპონიაში (ცუკუბა) J-PARC (Japan Particles Accelerator Complex), KEK-ის (High Energy Accelerator Research Organization) ამაჩქარებელზე. ამ ამაჩქარებელზე ჩატარდება საერთაშორისო ექსპერიმენტი, რომელიც COMET-Cohernt Muon to Electron Transition, რომლის მიზანია “ახალი ფიზიკის” ($\mu^+ \to e^-$ გადასვლა) დაკვირვება.

**ამ ქვემოდულის ძირითადი მიზანია** საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი, მაღალი კვალიფიკაციის სპეციალისტის მომზადება ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის სპეციალობით, კერძოდ ექსპერიმენტში, შესაბამისად ძირითადი აქცენტები გაკეთდება ექსპერიმენტებიდან მიღებული ინფორმაციის ანალიზისა და მონაცემთა დამუშავების თანამედროვე მეთოდების ღრმა შესწავლაზე.

დოქტორანტებს გაცნობითი სახის ლექციებს წაუკითხავენ მსოფლიოს სხვადასხვა წამყვან სამეცნიერო ცენტრში მომუშავე სპეციალისტები.

**ამ ქვემოდულის სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები / თემებია (120 კრედიტი)**:

- ნეიტრინოს თვისებების და ასტროფიზიკურ ობიექტებში მიმდინარე მაღალი ენერგიის პროცესების შესწავლა KM3NeT ნეიტრინული ტელესკოპის საშუალებით.
- ელექტრული დიპოლური მომენტის ძიება იულიხის COSY ამაჩქარებელზე.

- ATLAS ექსპერიმენტის პროგრამის ფარგლებში ტოპ კვარკის ფიზიკის და ტაილ კალორიმეტრის მახასიათებლების კვლავები.
- ლეპტონური არომატის დარღვევის შესწავლა ექსპერიმენტ COMET-ში.

**მოდული 1.3** პროგრამა მოიცავს პლაზმის ფიზიკის თანამედროვე აქტუალურ ამოცანებს. ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ფერმის გაზის ძლიერ მაგნიტურ ველში დინამიკის მოდელი. სრულიად შეუსწავლელია ძლიერი მაგნიტური ველის არსებობისას როგორ იცვლება ჩანდრასეკარის კრიტერიუმი. არსებობს შესაძლებლობა იმისა, რომ ძლიერი მაგნიტური ველი შეცვლის გარემოს თვისებებს და ამის ბაზაზე წარმოიქმნება კვაზინაწილაკები. ლაბორატორიის პირობებში ძლიერი მაგნიტური ველის არსებობის დროს იქმნება ახალი ქვანტური ნანოსტრუქტურები, რომელთა შესწავლა საბოლოოდ მიგვიყვანს ახალი ტექნოლოგიის შექმნის შესაძლებლობამდე. ძირითადი შესწავლის ობიექტი ასევე იქნება გადაგვარებული ფერმის პლაზმის, გამტარებისა და ნახევარგამტარების კოლექტიური პროცესების შეწავლა, წრფივი და არაწრფივი სტრუქტურების გენერირების მექანიზმების დადგენა. ძალიან მნიშნელოვანია ნეიტრალურ ფერმის სითხეებში არაწრფივი მოვლენების შესწავლა. კერძოდ, $He^3$–ის ფერმის სითხეში დინამიური პროცესების შესწავლა. დღეისთვის ზემოთ ჩამოთვლილი პრობლემებოს კვლევის მიზანია არა მარტო ფიზიკური მოვლენების შეწავლა, არამედ ახალი მასალების შექმნის შესაძლებლობა. აღსანიშნავია, რომ ჩვენს მიერ გამოყვანილია ახალი კვანტური კინეტიკური განტოლება ასეთი მოვლენების აღსაწერად.

ბოლო წლებში დიდი ინტენსივობის კომპაქტური ლაზერების შექმნამ (ემ ველის ინტენსივობა $\geq 10^{22}$ ვტ/სმ$^2$ ) განაპირობა ის, რომ ასეთი ველების ზემოქმედების შედეგად გარემოში მყოფი ელექტრონების მოძრაობა რელატივისტურია, ასევე ასეთი ინტენსივობის რადიაციის პლაზმაზე ზემოქმედების შედეგად ხდება სპექტრის მნიშვნელოვანი გაგანიერება. ამ შემთხვევაში ემ ველი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც ფოტონთა გაზი, რომლის სიმკვრივე $\approx 10^{30}$სმ$^{-3}$. პლაზმაში ფოტონთა გაზი ნაწილაკების ერთობლიობაა და ფოტონი პლაზმაში ისე იქცევა, როგორც ნებისმიერი მატერიალური ნაწილაკი. ამიტომ ფოტონს პლაზმაში აქვს უძრაობის მასა. ფოტონთა გაზის პლაზმაში მოძრაობის აღსაწერად, ჩვენს მიერ მიღებული იქნა ახალი კინეტიკური განტოლება. ჩვენ ვაჩვენეთ, რომ ფოტონთა გაზის პლაზმასთან ურთიერთქმედებისას, გარდა განივი ფოტონებისა, იბადება ახალი ტიპის ფოტონები, ე. ი. იბადებიან გასწვრივი ფოტონები (ფოტონიკო). ფოტონთა გაზი-ძლიერი პლაზმა სისტემისათვის დაუმუშავებელია სხვადასხვა საკითხები, მაგალითად, საჭიროა შეიქმნას გასწვრივი ფოტონური გაზის წრფივი და არაწრფივი ტალღების გავრცელების თეორია, არაწრფივი სტრუქტურების თეორია. ასტროფიზიკური ობიექტების შესწავლამ დაგვანახა, რომ რელატივისტური ინტენსივობების მონოქრომატული ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედებით გარემოს თვისებები რადიკალურად იცვლება. ასეთივე სიტუაციაა ზემძლავრი ლაზერის გარემოსთან ურთიერთქმედების დროს. დღემდე რჩება უამრავი გამოსაკვლევი პრობლემა, როგორიც არის: ფილამენტების წარმოშობის მექანიზმის გაგება, ორ- და სამ-განზომილებიანი არაწრფივი სტრუქტურების შესწავლა, მაგნიტური ველის გენერაცია, გრიგლების წარმოშობის მიზეზების გარკვევა და მათი საშუალებით ელექტრონების აჩქარება.

**პროგრამის ამ მოდულის ძირითადი მიზანია** საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი, მაღალი კვალიფიკაციის მქონე სპეციალისტების მომზადება პლაზმის ფიზიკაში. ამ პროცესში, პირველ რიგში გათვალისწინებული იქნება საქართველოში აღმოცენებული იმ სამეცნიერო სკოლების გამოცდილება (თსუ, ანდრონიკაშილის ფიზიკის ინსტიტუტი), რომელთა წვლილიც აღიარებულია საერთაშორისო დონეზე და პრიორიტეტულ ხასიათს ატარებს. კვლევების დროს აქცენტირება გაკეთდება ახალგაზრდა სპეციალისტისათვის რიცხვითი თვლების წარმოების ჩვევების ჩამოყალიბებაზე, რათა გარდა მოცემული სპეციალობისა დახელოვნდეს სხვადასხვა ტიპის რიცხვითი თვლების კეთებაში.

**პროგრამის ამ მოდულის სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებებია (120 კრედიტი)**:

1. კოლექტიური პროცესების შესწავლა კვანტურ პლაზმასა და ფერმის ნეიტრალურ სითხეებში.
2. გასწვრივი ფოტონური გაზის წრფივი და არაწრფივი ტალღების გავრცელების თეორია.
3. მძლავრი მაგნიტური ველებისა და გრიგალური სტრუქტურების გენერაცია პლაზმაში - თეორია და მოდელირება

**მოდული 1.4** უახლესი ასტროფიზიკური დაკვირვებებიდან ცხადი ხდება, რომ ის განზოგადოებული მოდელები, რომლებშიც ასტროფიზიკური დინებები (და მათი ურთიერთქმედებები მაგნიტურ ველთან, როდესაც ასევე ჩართულია ბრუნვითი და სტრატიფიკაციის ეფექტები) მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ვარსკვლავთა/ასტროფიზიკური დისკების ატმოსფეროებში მიმდინარე წყნარი (გაცხელება/სტრუქტურების ფორმირება/დინების აჩქარება) და ასევე მოულოდნელი (მძლავრი, ფეთქებადი) მოვლენების ასახსნელად. დინებების და წანაწვლებით-ინდუცირებული მოდების ბმების კავშირი ენერგიის ტრანსფორმაციებთან, ისევე როგორც რეგულარული სტრუქტურების ფორმირებასთან, ასტროფიზიკურ პირობებში საკმარისად პირდაპირია. მძლავრი მაგნიტური და სიჩქარის ველების გენერირების ამოცანები ასევე პირდაპირ კავშირშია ვარსკვლავთა თუ დისკების ატმოსფეროების, თვით ასტროფიზიკური დისკებისა და ჭავლების (ჯეტების) მრავალმასშტაბიანი დინამიკის სპეციფიურ - ტრანზიენტული ენერგიის ტრანსფორმაციების - პროცესებთან. ამ მოვლენების აღსაწერად საჭიროა შესაბამისი, დროზე დამოკიდებულლი, დისიპაციური 3-განზომილებიანი განხილვები და მათი რიცხვითი მეთოდებით შესწავლა, სიმულაციური ექსპერიმენტების ჩატარება რეალისტური დაკვირვებითი მასალების აღსადგენად.

ამ მოდულის ძირითადი სამეცნიერო ამოცანებია მაგნიტო-სითხური და ტალღური ბმების განზოგადოებული მოდელის დეტალური ანალიზური და რიცხვითი კვლევა ენერგიის გარდაქმნის პროცესებისათვის სხვადასხვა ასტროფიზიკურ გარემოებში; გრიგალურ და წანაცვლებით-ინდუცირებულ არაწრფივ მოვლენებს, ასევე ბრუნვით და მრავალ-მასშტაბიან ეფექტებს, წანაცვლებით-ტურბულენტურ ეფექტებს ენიჭებათ გადამწყვეტი როლი ამ გარდაქმნებში, რათა საბოლოოდ გამოვლინდენ დიდ-მასშტაბიანი ველების და რეგულარული სტრუქტურების ფორმირების, დინების აჩქარებისა და გაცხელების სახით. შესაბამისად, პროგრამით გათვალისწინებული კვლევების დროს აქცენტირება გაკეთდება ახალგაზრდა სპეციალისტებისათვის რიცხვითი თვლების წარმოების ჩვევების ჩამოყალიბებაზე, რათა გარდა მოცემული ფიზიკის სპეციალობისა ისინი ასევე დახელოვდნენ სხვადასხვა ტიპის რიცხვითი თველბის კეთებაში.

**პროგრამის ამ მოდულის ძირითადი მიზანია:** საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი მაღალი კვალიფიკაციის სპეციალისტის მომზადება თეორიული ასტროფიზიკის ფართო სპექტრის მიმართულებებით.

**ამ მოდულის შემოთავაზებული სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები/თემები (120 კრედიტი):**

1. დიდ-მასშტაბიანი ველების და რეგულარული სტრუქტურების ფორმირება ასტროფიზიკურ გარემოებში.
2. ასტროფიზიკური დინებით ინდუცირებული გრიგალობისა და ტალღების ბმების მოვლენები დისკი-ჭავლი (ჯეტი) სისტემებში.
3. ვარსკვლავთა ატმოსფეროების მრავალმასშტაბიანი დინამიკა.

**მოდული 1.5** კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა დღეისათვის წარმოადგენს მეცნიერების ერთ-ერთ სწრაფად განვითარებად დარგს, რომელსაც ფუნდამენტურის გარდა დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს და მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ყოველდღიურ ცხოვრებაზე. დარგის შედეგები ინტენსიურად გამოიყენება მეცნიერების სხვა

მიმართულებებში და წარმოადგენს მათი სწრაფი განვითარების საფუძველს. უკანასკნელი ორი ათეული წლის განმავლობაში მრავალი ახალი მასალა იქნა აღმოჩენილი კონდენსირებული გარემოს ფიზიკაში. ამ მასალებს გააჩნიათ ძალიან საინტერესო, ადრე უცნობი ელექტრონული თვისებები, რომლებიც ცვლიან ჩვენს ფუნდამენტურ წამოდგენებს კონდენსირებული გარემოს შესახებ. ახალ მასალათა შორის განსაკუთრებით საყურადღებოა მაგალითად მაღალტემპერატურული ზეგამტარები, კოლოსალური მაგნიტური წინაღობის მქონე მასალები, ნანომაგნიტიკები და მაგნიტურად განზავებული ნახევარგამტარები. ეს მასალები, რომლებიც შემოთავაზებული კვლევის ობიექტებს წარმოადგენენ, მძლავრ ბიძგს მისცემენ მომავლის ტექნოლოგიების განვითარებას, ავლენენ რა გამოყენებისათვის მნიშვნელოვან პოტენციალს. ისინი უკვე იმკვიდრებენ საკუთარ ადგილს მნიშვნელოვან სფეროებში: მაღალტემპერატურული ზეგამტარები გამოიყენება ელექტრული დენის გადაცემისათვის უაღრესად მცირე დანაკარგებით, კოლოსალური მაგნიტური წინაღობის მქონე მასალები გამოიყენება ახალი თაობის მაგნიტური მეხსიერების მოწყობილობებში, ხოლო განზავებული მაგნიტური ნახევარგამტარები გამოცდას გადიან თანამედროვე ელექტრონიკაში, როგორც სპინზე დაფუძნებული ელექტრონული მოწყობილობები (სპინტრონიკა).

XXI საუკუნეში მეცნიერებს საქმე აქვთ ნანოზომების (ანგსტრემის რიგის) მქონე ობიექტებთან. მყარი სხეულების კრისტალოგრაფიული და მაგნიტური თვისებები დამოკიდებულია მათ მიკროსტრუქტურაზე და ზომებზე, ამიტომ მოცულობითი სხეულიდან ნანოზომის ნიმუშებზე გადასლისას ადგილი აქვს სრულიად ახალი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების ფორმირებას.

წარმოდგენილი მოდულის სადოქტორო პროგრამა მოიცავს კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის მიმართულებების ფართო სპექტრს. ძირითადი აქცენტები გაკეთდება თანამედროვე მასალების ექსპერიმენტულ და თეორიულ შესწავლაზე, დოქტორანტებისთვის კვლევების უახლესი მეთოდების ათვისებაზე. პროგრამის ხელმძღვანელების ფართო საერთაშორისო კონტაქტები საშუალებას აძლევენ დოქტორანტებს მონაწილეობა მიიღონ ექსპერიმენტებში როგორც თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ასევე უცხოეთის წამყვან ცენტრებში.

კვლევის ძირითადი მიმართულებებია ზეგამტარობა, მაგნეტიზმი, ზემაღალსიხშირული ფიზიკა და ტექნიკა, ნანოტექნოლიგიები, მაგნიტორეზონანსური მოვლენები. ასევე მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის მძლავრი ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებას ისეთ დარგებში როგორიცაა ეკოლოგია და არქეოლოგია.

- პროგრამის ფარგლებში სამეცნიერო კვლევები (ექსპერიმენტები) დაგეგმილია თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტისა და ვერსალის უნივერსიტეტში.
- დოქტორანტებს შესაძლებლობა ეძლევათ მიიღონ თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტისა და ვერსალის უნივერსიტეტის დოქტორის აკადემიური ხარისხები.
- სწავლება იწარმოებს ქართულ და ინგლისურ (ან ფრანგულ) ენებზე.

**პროგრამის ამ მოდულის მიზანია:** საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი მაღალი კვალიფიკაციის სპეციალისტის მომზადება კონდენსირებული ფიზიკის მიმართულებით.

**ამ მოდულის შემოთავაზებული სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები/თემები (120 კრედიტი):**

1. მაგნიტური ოქსიდების და ნახევარგამტარების დაბალგანზომილებიანი სტრუქტურები.
2. მაღალტემპერატურული ზეგამტარობა.
3. მაგნეტიზმი.
4. სპინტრონიკა.

5. პოლიკრისტალური და ნანოზომის მქონე  მაგნეტიკების შესწავლა მაგნეტორეზონანსული მეთოდებით

**მოდული 1.6** მიკროელექტრონიკა თანამედროვეობის წამყვანი სამეცნიერო-გამოყენებითი დარგია. სწორედ მასთანაა დაკავშირებული ადამიანის მიერ კოსმოსის ათვისების დაწყება, თანამედროვე კომპიუტერული სისტემების, ინტერნეტის, მობილური კაბშირგაბმულობის ქსელების შექმნა და სხვა. ნანოელექტრონიკა წარმოადგენს მიკროელექტრონიკის ლოგიკურ გაგრძელებას. მყარ სხეულოვანი საინფორმაციო ხელსაწყოები შემცირდნენ მიკროდან (10-6 მ) ნანო (10-9მ) ზომამდე. ნანოელექტრონიკაში ელემენტების ტიპიური ზომები შეადგენენ 10 – 100 ნმ-ს. მყარსხეულოვანი ელექტრონული ხელსაწყოს ზომის ნანომეტრული უბნის ზომასთან მიახლოებისას თავს იჩენს ელექტრონის კვანტური თვისებები. ნანოელექტრონიკა – მეცნიერების და ტექნიკის ის დარგია, რომელიც შეისწავლის და იკვლევს ნანომეტრული ზომის ელემენტებს, მათ შექმნას და გამოყენებას. ასეთი ხელსაწყოების ფუნქციონირების საფუძველი კვანტური ეფექტებია. აღსანიშნავია, რომ ნანოელექტრონიკის და ნანოტექნოლოგიის შექმნა არაა განპირობებული მხოლოდ ელემენტების გეომეტრიული ზომების შემცირებით ნანომასშტაბამდე. ძირითადი ფაქტორია ნანომასალებისთვის სრულიად ახალი, უნიკალური თვისებების გამოვლენა, რომელთა ახსნა კლასიკური ფიზიკის ფარგლებში შეუძლებელია და საჭიროებს კვანტური ფიზიკის ჩართვას.

**პროგრამის ამ მოდულის ძირითადი მიზანია** საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი, მაღალი კვალიფიკაციის მქონე სპეციალისტების მომზადება მიკრო და ნანოელექტრონიკაში. ამისათვის პირველ რიგში გამოყენებულ იქნება საქართველოში ამ მიმართულებით არსებული სკოლის გამოცდილება, რომელიც აღიარებულია საერთაშორისო დონეზე.

**ამ მოდულის შემოთავაზებული სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები/თემები (120 კრედიტი):**

1. იმს-ის ელემენტების შექმნის დაბალტემპერატურული ტექნოლოგიური პროცესების კვლევა და დამუშავება.

<u>კვლევის მიზანია:</u> GaAs-ზე შექმნილი ხელსაწყოები ხასიათდებიან მაღალსიხშირული დიაპა-ზონით და თანამედროვე კომუნიკაციის იმს-ების თითქმის 90% მათზეა შექმნილი. ისინი მიღებული არიან მაღალ ტემპერატურაზე (~5000C) და ნორმალურად ღია და ნორმალურად დახურული ველის ტრანზისტორები ფორმირებული არიან სხვადასხვა საფენზე სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პროცესში, რაც აუარესებს მის საიმედოვნების და ინტეგრაციის ხარისხს. ჩვენს შემთხვევაში მიიღება, გამოიკვლევა და შეისწავლება GAS-ზე ერთ საფენზე და ერთ ტექნოლოგიურ პროცესში მიღებული ნორმალურად ღია და ნორმალურად დახურული ველის ტრანზისტორები.

2. იონური ლეგირების პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები:

დიფუზირი პროცესები მიმდინარეობს მაღალ (~11500C) ტემპერატურაზე, რაც იწვევს ზემოთჩამოთვლილ უარყოფით ეფექტებს, აუარესებს მიღებული ხელსაწყოს პარამეტრებს და ამცირებს საიმედოვნებას. იონური ლეგირების პროცესის შესწავლა, როგორც თეორიუ-ლად, ასევე პრაქტიკულად უაღრესად აქტუალურია. ლეგირების შედაგად წარმოქმნილი რადიაციული დეფექტების გამოწვის პროცესების შესწავლა მოხდება არატრადიციული მეთოდებით. მაღალ ტემპერატურული გამოწვების ნაცვლად მოხდება ჩვენთან შემუშავებული დაბალ ტემპერატურული ფოტონური გამოწვებით. ფოტონების წყაროდ გამოყენებულ იქნება ჰალოგენური ნათება, რომელთა ინტენსიობის და განათების დროის ხანგრძლიობის რეგულირებით დადგინდება გამოწვის პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები.

3. ზომითი შეზღუდვებისა და ბალისტიკური ტრანსპორტის პროცესების კვლევა და დამუშავება.

<u>კვლევის მიზანია:</u> აარონოვ-ბომის ეფექტზე შექმნილი ინტერფერენციული ტრანზისტორი წარმოადგენს ნორმალურად დახურული ველის ტრანზისტორის ანალოგს. ინტერ-ფერენციული ტრანზისტორის ჩამკეტის მოპირდაპირე ნახევარწრეზე განსაზღვრული პერიოდის გოფრირებული ზედაპირის ფორმირებისას, ჩამკეტზე ძაბვის მოდების გარეშეც, მათში შეიქმნება ფერმის ენერგიებს შორის სხვაობა და მიიღება ტრანზისტორის გამოსავალზე ინტერფერენცია. ჩამკეტზე ძაბვის სიდიდის და ნიშნის მიხედვით შესაძლებელია ინტერფერენვიის ჩაქრობა ან გაძლიერება. ასეთი ტრანზისტორი ნორმალურად ღიაა, რომელიც წარმოადგენს კვლევის მიზანს. კონფორმული ზედაპირები შესაძლებელია მაღალეფექტური თერმოელექტრული გარდამქმნელებისა და გამაცივებლების შესაქმნელად. კონფორმული ზედაპირების გამოყენებით დიდ ფართზე გაზრდის ბალისტიკური დიოდის (პირველად შექმნა 1მმ$^2$ ფართზე ნობელის პრემიის ლაურიატმა ლეო ესაკიმ) მახასიათებლებს.

**მოდული 1.7** კომპიუტერულმა მოდელირებამ ფეხი მოიკიდა თანამედროვე მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროში: მეცნიერებაში, მედიცინაში, საინჟინრო დარგებში, სოციოლოგიაში, კომერციაში და ა. შ. სწორედ ამიტომაც შრომით ბაზარზე არის დიდი მოთხოვნა იმ სპეციალისტებზე, რომლებსაც გააჩნიათ უნარ-ჩვევები, ცოდნა და გამოცდილება კომპიუტერულ მოდელირებაში დასმული პრობლემის ოპტიმალური გადაწყვეტის მიზნით.

**ამ მოდულის კურსის მიზანი და ამოცანაა დაეუფლოს** ფიზიკური პროცესების მათემატიკურ მოდელირებას, სათანადო ალგორითმისა და კომპიუტერული პროგრამის შექმნას, მათ ვიზუალიზაციას და რიცხვითი ექსპერიმენტების ჩატარებას საუკეთესო პარამეტრების განსაზღვრის მიზნით. გააღრმაოს თავისი ცოდნა როგორც ფიზიკაში, ასევე კომპიუტერულ ტექნოლოგიებში. გამოიმუშაოს სამეცნიერო მუშაობის უნარ-ჩვევები.

**პროგრამის ამ მოდულის სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებებია (120 კრედიტი)**:

1. ელექტრომაგნიტური და სითბური ამოცანების მოდელირება.
2. გეოფიზიკური ამოცანების მოდელირება.
3. კოჰერენტული სტრუქტურების და ტურბულენტობის რიცხვითი მოდელირება და სიგნალების ანალიზი რადიოფიზიკის მეთოდებით.
4. არაწრფივი ტალღური პროცესების რიცხვითი მოდელირება გამოყენებითი ფიზიკის ამოცანებში.

**მოდული 1.8** როგოც წესი "არაწრფივი მოვლენების ფიზიკის" ინტერესის სფეროში, გამომდინარე იქიდან თუ სად იჩენს არაწრფივობა თავს, თანამადროვე ფიზიკის ხან ერთი ხან მეორე აქტუალური მიმართულება ხვდება. ბოლო წლების განმავლობაში ასეთი მიმართულებებია კვანტური ქაოსი და მისი გამოვლინება სხვადასხვა სახის არაწრფივ გარემოში, არაწრფივი პროცესები ნანოსტრუქტურებში. სულ ბოლო პერიოდში კი ჩვენი ინტერესი შეჩერდა არაურთიერთქმედი მაგნიტური ნანონაწილაკებისაგან შედგენილ მაკროსისტემებზე, რომლებიც მრავალფეროვანი კალორიული და მაგნიტოკალორიული თვისებებით ხასიათდებიან. ეს მრავალფეროვნება გამოწვეულია იმ შინაგანი მაგნიტური ანიზოტროპიით, რომლითაც მაგნიტური ნანონაწილაკი ხასიათდება და რომელიც არაწრფივ ხასიათს ატარებს. უნდა აღინიშნოს, რომ წარმოდგენილი თემატიკა ამავდროულად განეკუთვნება ფიზიკის სხვა მიმართულებებსაც, როგორებიცაა "მაგნეტიზმის ფიზიკა" და "ნანოტექნოლოგიურ კვლევები".

წინასწარი გამოკვლევის საფუძველზე გაირკვა, რომ აღნიშნული მიმართულებით კვლევა იშვიათი სპეცფუნქციების გამოყენებასთან არის დაკავშირებული. ამიტომ დოქტორანტისაგან, წინაპირობის სახით ფუნდამენტური ფიზიკის მაგისტრატურის

კურსით გათვალისწინებული ცოდნის გარდა, თეორიული ფიზიკის და მათფიზიკის საფუძვლიან ცოდნასაც მოითხოვს.

**ამ მოდულის შემოთავაზებული სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები/თემები (120 კრედიტი):**

1. ბრუნვითი იზომერიზაციის გამოკვლევა ჰილ-შრედინგერის განტოლების საფუძველზე (ხელმძღვანელი სრული პროფ ა. უგულავა).
2. ორი ბმული არაწრფივი ნანო-ელექტრომექანიკური ვიბრატორის რხევითი მახასიათებლების სრული გამოკვლევა (ხელმძღვანელი სრული პროფ ა. უგულავა).
3. სუპერპარამაგნიტური მაკროსისტემების კალორიული და მაგნიტოკალორიული თვისებების თეორიული გამოკვლევა (ხელმძღვანელი სრული პროფ ა. უგულავა) .
4. ლოკალიზებული არაწრფივი ტალღები ოპტიკურ და მაგნიტურ ნანოსტრუქტურებში (ხელმძღვანელი ასოც. პროფ. რ. ხომერიკი)

**მოდული 1.9** თანამედროვე ატომური ფიზიკის პერსპექტიულ და სწრაფად განვითარებად მიმართულებას წარმოადგენს ატომური ნაწილაკების (ელექტრონები, ფოტონები, ატომები, მოლეკულები და მათი იონები) დაჯახებისას მიმდინარე არადრეკადი პროცესების შესწავლა. ამ პროცესების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს მეცნიერებისა და ტექნიკის მრავალი დარგის განვითარებისათვის. ასე მაგალითად, პლაზმის ფიზიკისა და ქიმიის, ატმოსფეროს ზედა ფენების ფიზიკის, ასტროფიზიკის, ლაზერული ტექნიკის და ა. შ. განვითარება წარმოუდგენელია ატომური ნაწილაკების დაჯახებისას მიმდინარე ელემენტარული პროცესების შესწავლის გარეშე.

ცნობილია, რომ იონიზაციის პროცესებში ძირითადი წვლილი შეაქვს ერთჯერად და ორჯერად იონიზაციას. ელექტრონული დარტყმით გამოწვეული ერთჯერადი პროცესები ანუ, როგორც მათ ხშირად უწოდებენ, (e,2e) პროცესები საკმაოდ კარგადაა შესწავლილი როგორც ექსპერიმენტული, ისე თეორიული თვალსაზრისით. ამჟამად, (e,2e) პროცესებთან ერთად დღის წესრიგში დგას ორჯერადი იონიზაციის ანუ (e,3e) პროცესების შესწავლა. ამ მიმართულებას განსაკუთრებული სტიმული მისცა ექსპერიმენტული ტექნიკის განვითარებამ. კერძოდ, უკანასკნელ ათ წელიწადში შეიქმნა დეტექტორთა ახალი კლასი, დაიხვეწა თანხვედრის სქემების გამოყენების მეთოდები, რამაც შესაძლებელი გახადა პრეციზიული გაზომვების ჩატარება სხვადასხვა სამიზნეების გამოყენებით.

ელექტრონული დარტყმით ატომებისა და იონების ორჯერადი იონიზაციის თეორიული შესწავლა რთულ მატემატიკურ ამოცანას წარმოადგენს. მისი გადაჭრა დაკავშირებულია მრავალი სხეულის პრობლემასთან და მოითხოვს ელექტრონული კორელაციების გათვალისწინებას როგორც საწყის, ასევე საბოლოო მდგომარეობაში, აგრეთვე , იონიზაციის სხვადასხვა მექანიზმის მხედველობაში მიღებას.

სხვა დანარჩენ სამიზნეებს შორის ორელექტრონიანი ატომური ნაწილაკები, კერძოდ, ჰელიუმის ატომი და ჰელიუმისმაგვერი იონები წარმოადგენენ იდეალურ და უმარტივეს ობიექტებს ორჯერადი იონიზაციის პროცესების შესასწავლად. მათი მარტივი სტრუქტურა განაპირობებს საწყისი და საბოლოო მდგომარეობების აღმწერი ტალღური ფუნქციების შედარებით სიმარტივეს. მიუხედავად ამისა, ჰელიუმის ატომის ორჯერადი იონიზაციის პროცესების თეორიული შესწავლა, განსაკუთრებით საშუალო და დაბალ ენერგეტიკულ არეში, მოითხოვს ხანგრძლივი და შრომატევადი გამოთვლების ჩატარებას სწრაფადმთვლელ გამომთვლელ მანქანაზე.

ჩვენს მიერ შემუშავდა ვარიაციულ პრინციპზე დაფუძნებული ეფექტური მუხტების მიახლოების მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მნიშვნელოვნად გავამარტივოთ გამოთვლები, შევამციროთ რიცხვითი გამოთვლების დრო და იმავდროულად მივიღოთ კორექტული შედეგები. აღნიშნული მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია ელექტრონული დარტყმით გამოწვეული მრავალელექტრონიანი სამიზნეების ერთჯერადი, ორჯერადი და მრავალჯერადი იონიზაციის შესასწავლად.

მეორე თემა, რომელიც ჩვენ შეგვიძლია შევთავაზოთ დოქტორანტს დაკავშირებულია ორი მძიმე ნაწილაკის (ატომები და მათი იონები) დაჯახებისას მიმდინარე არადრეკადი პროცესების შესწავლასთან. ცნობილია, რომ ორი ნელი ატომის გაჯახებისას სწრაფად მოძრავი ელექტრონები ასწრებენ შეეგუონ ბირთვების ნელი მოძრაობით გამოწვეული ველის ცვლილებას. ამის გამო დამჯახებელი სისტემის განვითარებას აქვს ადიაბატური ხასიათი. ერთი თერმიდან მეორეზე გადასვლის ალბათობა მცირეა, გარდა იმ არეებისა, სადაც თერმები ერთმანეთს უახლოვდებიან ან ერწყმიან. ასეთ არეებში მიმდინარე არაადიაბატური ელექტრონული გადასვლების თეორიული შესწავლა მოითხოვს დამჯახებელი ნაწილაკების მიერ დაჯახების დროს შექმნილი კვაზიმოლეკულის ტალღური ფუნქციებისა და ენერგეტიკული თერმების ცოდნას.
ჩვენს მიერ დამუშავდა ორატომიანი კვაზიმოლეკულის ტალღური ფუნქციებისა და ენერგეტიკული თერმების გამოთვლის შედარებით მარტივი, ადვილად რეალიზებადი და ნათელი ფიზიკური აზრის მქონე მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ე.წ. კულონური სფეროიდალური ბაზისის გამოყენებას. ანიშნული მეთოდი საშუალებას გვაძლევს მაღალი სიზუსტით გამოვითვალოთ მსუბუქი ორატომიანი მოლეკულების ენერგეტიკული თერმები და ტალური ფუნქციები ბირთვებშორისი მანძილის ფართო არეში.

**პროგრამის ამ მოდულის ძირითადი მიზანია:** საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი მაღალი კვალიფიკაციის მქონე სპეციალისტის მომზადება ატომურ ნაწილაკთა დაჯახების თეორიაში.

**ამ მოდულის შემოთავაზებული სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები/თემები (120 კრედიტი):**

1. ჰელიუმის ატომის ორჯერადი იონიზაცია ელექტრონებით
   (ხელმძღვანელები: სრული პროფ. თ. კერესელიძე, ასოც. პროფ. ზაალ მაჭავარიანი);
2. მრავალელექტრონიანი ატომების ორჯერადი იონიზაცია ელექტრონებით
   (ხელმძღვანელები: სრული პროფ. თ. კერესელიძე, ასოც. პროფ. ზაალ მაჭავარიანი);
3. ჰელიუმის ატომის აგზნება-იონიზაცია ელექტრონებით
   (ხელმძღვანელები: სრული პროფ. თ. კერესელიძე, ასოც. პროფ. ზაალ მაჭავარიანი);
4. ორატომიანი მოლეკულების მახასიათებელი პარამეტრების გამოთვლა კულონურ სფეროიდალურ ბაზისში
   (ხელმძღვანელი: სრული პროფ. თ. კერესელიძე).

**მოდული 1.10** პროგრამა ეხება ბიოპოლიმერების (დნმ, ცილები), მათი კომპლექსების (მაგალითად ბაქტერიოფაგები) ბიოფიზიკურ კვლევებს, ისევე როგორც გათვალისწინებულია მიკრობების გამრავლების სიჩქარეზე სხვადასხვა ტიპის ფაქტორების (ე.წ. ანტიმიკრობული აგენტების) მოქმედების მექანიზმების დადგენა. შესასწავლი ობიექტები თავისი ბუნებით არის რთული აგებულების და მათი რთული შემადგენლობიდან გამომდინარე მათი სივრცული სტრუქტურაც მრავალფეროვანია პროგრამაში ყოველთვის ხაზგასმული იქნება. ასევე აღსანიშნავია, რომ ბიო-ობიექტებისათვის დამახასიათებელი მრავალფეროვანი სივრცული სტრუქტურული ორგანიზების და მისი დინამიზმის ცოდნა არის მეტად მნიშვნელოვანი, რაც პროგრამაში არის ასახული. პროგრამა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას ანიჭებს სტრუქტურული ცვლილების მექანიზმების განსაზღვრას და სრულფასოვნად შესწავლას თეორიული კვლევების ჩათვლით.
პროგრამის მიზანია ისეთ აქტუალური და მნიშვნელოვანი ობიექტების შესწავლა, როგორიცაა ნანონაწილაკები, რომლებიც უნდა იყოს გამოყენებადი ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერების, წამლების მიზნობრივად დაავადებულ ქსოვილთან (უჯრედთან) მიტანაში. პროგრამა ასევე ითვალისწინებს დღეს არსებულ წამყვან ნანოტექნოლოგიის დანერგვას, რომლის დროსაც უნდა შეიქმნას ეფექტური ნანონაწილაკები.
პროგრამის მიხედვით გათვალისწინებულია ბიონანონაწილაკების კვლევებში გამოყენებული იყოს არა მარტო ფიზიკის და ბიოლოგის, არამედ ქიმიური, მათემატიკური

მეთოდების მიდგომები, რაც უდავოდ დააჩქარებს კვლევების დროს წარმოქმნილ ბევრ პრობლემის სწრაფ და ეფექტურ გადაწყვეტას.
გათვალისწინებულია ელექტროპარამაგნიტური რეზონანსული მეთოდის გამოყენება სხვადასხვა წარმომავლობის, მათ შორის როგორც დაავადებებისთვის დამახასიათებელი, ასევე დიაგნოსტიკური სახის კვლევები. ასევე ხაზგასასმელია, რომ პროგრამით გათვალისწინებულია ეპრ მეთოდის და ფოტობიოლოგიურ მეთოდის ერთობრივი გამოყენება, ისევე როგორც შესაძლებელია ქართული ღვინის უნიკალური თვისებების გამოვლენა მოხდეს ეპრ მეთოდის გამოყენებით.
პროგრამა ასევე იძლევა საშუალებვას მოხდეს სტუდენტის მომზადება თეორიული ბიოფიზიკის კუთხითაც, რისთვისაც მათ წაეკითხებათ ლექციები სტატისტიკური ფიზიკის და ფაზური გადასვლის თერმოდინამიკის მეთოდების გამოყენების მიზნით.

- ზემოაღნიშნულთან ერთად, პროგრამის მიზანს წარმოადგენს ბიოლოგიური მაკრომოლეკულების, პირველ რიგში, გლობულური ცილების და მათი ანალოგების (ბიომიმეტიკური ინტერფაზური სისტემების), როგორც ატომ-მოლეკულური გარდაქმნების სარეაქციო გარემოს კომპლექსური შესწავლა ნანოსკოპურ დონეზე, რიგი ახლად მოდიფიცირებული ან უკვე კარგად აპრობირებული ექსპერიმენტული მეთოდების (მაგალითად, სწრაფი სკანირების ვოლტამეტრიის, დიფერენციული მასკანირებელი კალორიმეტრიის) გამოყენებით, თანამედროვე თეორიული წარმოდგენების (ამორფულ კონდენსირებულ გარემოში მუხტის გადასვლების თეორია, მოქნილი მატერიის თეორია, და სხვა) საფუძლზე.
- სტუდენტები ჩაღრმავებულად შეისწავლიან ბიომოლეკულების და შესაბამისი მოდელური ნანომეტრის განზომილების ანსამბლების ისეთ თერმოდინამიკურ, ფუნქციურ-კინეტიკურ და მექანიზმურ ასპექტებს, როგორებიცაა სტრუქტურული სტაბილობა და ფლექსიბილობა, ასევე, მათი შესაბამისი მახასიათებლების ტიუნინგის შესაძლებლობები მასტაბილებელი/მადესტაბილებელი ფიზიკური და ქიმიური ფაქტორების ზემოქმედების გამოყენებით.
- პროგრამის ფარგლებში სტუდენტები აგრეთვე პირველად გაეცნობიან ე.წ. „მოლტენ-გლობულის“ მდგომარეობას, ინტერფაზურ თვითაწყობას, ბიომოლეკულებში ნაწილაკების (ელექტრონების/ პროტონების) კვანტურ ტუნელირებას, კოლექტიურ (კოოპერატიულ) ეფექტებს (რელაქსაცია და გადასვლები), მინისებური მდგომარეობას (ვიტრიფიკაციას და ფრუსტრაციას), სპინურ გადასვლებს და სპინურ მინისებრ მდგომარეობას (1D და 2D კლასტერების სპინტრონიკა), ასევე, ყველა აქ ჩამოთვლილი ფაქტორის სინერგიულ (კონცერტულ) გავლენას კომპლექსურ გარემოში მიმდინარე მუხტების ტრასლოკაციისა და ქიმიური გარდაქმნების (კატალიზურ), სივრცულ დიფუზიურ და კვაზი-დიფუზიურ (ცილების განხვევა/დახვევის) პროცესებზე.

- დოქტორანტებს ლექციებს წაუკითხავენ მსოფლიოს სხვადასხვა წამყვან სამეცნიერო ცენტრში მოღვაწე ქართველი და სომეხი სპეციალისტები
- სასწავლო კურსების ჩატარება იგეგმება თბილისში ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ბაზაზე (მე-2 და მე11 კორპუსი). ასევე შესაძლებელია სწავლა განხორციელდეს ერევნის სახელმწიფო უნივერსიტეტშიც.
- ასევე პროგრამის განხორციელების ძირითად საბაზო ადგილს წარმოადგენს თსუ II კორპუსში განლაგებული ბიოფიზიკის ლაბორატორია (ოთახი 325). დოქტორანტების ხელმძღვანელობაში დ. ხოშტარიას გარდა ადგილზე აქტიურად ჩართული იქნება თსუ რ. აგლაძის ინსტიტურის უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი, ფიზ.-ქიმ. აკადემიური დოქტორი (ქ, პიტსბურგის უნივერსიტეტი, აშშ) ნიკოლოზ ნიორაძე, ასევე, კონსულტანტის რანგში, ი. ბერიტაშვილის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრის ბიოფიზიკის განყოფილების უფროსი მეცნ. თანამშრომელი ქიმ. მეცნ. დოქტ. თინათინ დოლიძე.

- პროგრამის გარკვეული კომპონენტები, უკვე აპრობირებული პრაქტიკის შესაბამისად, შესაძლებელია შესრულდეს სსიპ ი. ბერიტაშვილის ექსპერიმენტული ბიომედიციონის ცენტრის ბიოფიზიკის განყოფილებაში, დ. ხოშტარიას სამეცნიერო ხელმძღვანელობით მომუშავე სამეცნიერო ერთეულში (თბილისი, გოთუას 14, IX სართული), სადაც დოქტორანტების ხელმძღვანელობაში, დ. ხოშტარიას გარდა, ადგილზე ჩართული იქნება ფიზიკის აკად. დოქტორი მიხეილ შუშანიანი, ასევე, კონსულტანტის რანგში, მთავარი მეცნ. თანამშრომელი, განყოფილების გამგე, ბიოლოგიის აკადემიური დოქტ. მაია მახარაძე.
- პროგრამის განხორციელების დამატებით რესურსად ასევე მოიაზრება ის სამეცნიერო ცენტრები, რომლებთან დ. ხოშტარიას და მის თანამშრომლებს აკავშირებთ დიდი ხნის ნაყოფიერი სამეცნიერო თანამშრომლობა. მათ შორისაა:
  ა) ქ, პიტსბურგის უნივერსიტეტი, აშშ (პროფ. დევიდ ვალდეკი)
  ბ) ქ. ერლანგენის ფრიდრიჰ-ალექსანდერის უნივერსიტეტი, გერმანია (პროფ. რუდი ვან ელდიკი)

აგრეთვე სხვა სამეცნიერო ცენტრები, რომლებთან ამჟამად მიმდინარეობს ინტერსიური მოლაპარაკება სამეცნიერო და საგანმანათლებლო სფეროებში თანამშრომლობის შესახებ:
  გ) ქ, ვილდაუს უნივერსიტეტი, გერმანია (პროფ. ფრედ ლისდატი)
  დ) ქ. პალერმოს უნივერსიტეტი, იტალია (პროფ. ანტონიო კუპანე)

- სწავლება იწარმოებს ქართულ ენაზე. დასაშვებია ასევე სწავლება წარიმართოს ინგლისურ და რუსულ ენებზეც (შეთანხმების საფუძველზე).

**ამ მოდულის შემოთავაზებული სამეცნიერო-კვლევითი მიმართულებები/თემები (120 კრედიტი):**

- ბიოლოგიური ობიექტების მოწესრიგებული სივრცული სტრუქტურის კვლევები.
  გაცნობიერება იმისა, რომ ბიომოლეკულების სტრუქტურით განისაზღვრება მისი ფუნქცია და პირიქით - ბიოლოგიური მოლეკულის ფუნქცია განისაზღვრება მოლეკულის სტრუქტურით. ასეთ კვლევებში გამოყენებული იქნება ფიზიკის, ბიოლოგიის, ქიმიის თეორიული მიდგომები.
- ცილის მიერ დნმ-ის უბნის გამოცნობა
  შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს ცილის მიერ დნმ-ის გარკვეული უბნის ამოცნობის მოდელი, რომელიც ჩვენი აზრით გამოიხატება იმაში, რომ ამომცნობი ცილის სტრუქტურაში უნდა არსებობდეს მჟავე და ტუტე ამინომჟავეებით გამდიდრებული უბანები, რომელთა მონაწილეობა ხელს უწყობს დნმ-ის ლოკალური უბანების ამოცნობას, უნდა ხდებობეს დნმ-ის ჯაჭვების განცალკევება და დახურვა, რაც მოლეკულის გამორჩეულ უბანს შემდგომი (გენეტიკური) აქტივობისთვის არის აუცილებელი.
- ბაქტერიების გამრავლების პროცესების კვლევები
  ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნა ახალი მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად დაედო თხევად საკვებ არეში ბაქტერიების გამრავლების პროცესის თანხმლები ეფექტი, რაც გამოიხატება ბაქტერიების გამრავლებისას სითხის გაუმჭვირვალობის წარმოქმნის დამზერაში (ტურბიდიმეტრი).
  ხელსაწყო ითვალისწინებს ბაქტერიების გამრავლების პროცესში ე.წ. შემრევი მოწყობილობის არსებობას, სადაც შესაძლებელია მოხდეს საკვებ არეში ჩვენთვის საინტერესო ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების (წამლების) შერევა. გათვალისწინებულია, რომ დანადგარი შეიძლება გამოყენებული იყოს არა მარტო ბაქტერიულ უჯრედების შემთხვევაში, არამედ შესაძლებელია ზოგიერთი, ჩვენთვის საინტერესო ცოცხალ უჯრედების გამრავლების პროცესზე დასაკვირვებლადაც კი.
- ბაქტერიოფაგების კვლევა
  ბოლო პერიოდში დიდი ინტენსივობით მიმდინარეობს ანტიბიოტიკისაგან განსხვავებული ახალი საშუალებების ძიება, რომლებიც იქნება უფრო ეფექტური ბაქტერიებთან საბრძოლველად და რომლისთვისაც სულ ერთი იქნება ბაქტერიების მუტაციით გამოწვეული სირთულეები. ასეთ პერსპექტიულ საშუალებებს შორის განიხილავენ უკვე არსებულ ბიოლოგიურ ობიექტებს - ბაქტერიოფაგებს, რომლებიც ბუნებაში არსებობენ იმისთვის, რომ გაანადგურონ ბაქტერიები, მათ შორის საშიშნიც. ამიტომ აუცილებელია, რომ გვქონდეს მაქსიმალურად სრული ინფორმაცია ბაქტერიოფაგების ფიზიკო-ბიოლოგიური თვისებების შესახებ და გარკვეული ვიყოთ იმ

მექანიზმებში, რომლებიც მოქმედებს ბაქტერიულ უჯრედთან მისი ურთიერთქმედების დროს. ასეთი ინფორმაციის ქონა კი ცალსახად გვიჩვენებს ფაგების ბაქტერიების წინააღმდეგ საბრძოლველად გამოყენების ეფექტურობას. ბაქტერიული უჯრედის ულტრაბგერითი დეზინტეგრაციით განხორციელდება მემბრანული ფრაგმენტების მიღება, რომელთაც აქვთ შენარჩუნებული ბიოლოგიურად აქტიური რეცეფტორული სისტემა, რომლის მეშვეობითაც შესაძლ;ებელია დიდი სიზუსტით დავადგინოთ ფაგებით ბაქტერიის ინფიცირების ადრეული ეტაპების ბუნება.

- <u>წამლის გადამტანი ნანონაწილაკების კვლევა</u>

  ჩვენს მიზანს წარმოადგენს სხვადასხვა ტიპის  და შემადგენლობის (ფოსფოლიპიდური ლიპოსომების DPPC, PLGA ნაწილაკები და სხვა) წამლის გადამტანი ნანონაწილაკების სტაბილობის დადგენა სხვადსხვა გარე პარამეტრების (ფიზიკური თუ ქიმიური) ზემოქმედებისას.

- <u>კვლევები ელექტრონული პარამაგნიტური რეზონანსის საფუძველზე</u>

  1) ბავშვთა თანდაყოლილი სიყვითლის და ჰიპერბილირუბინემიის მკურნალობისას ფოტოთერაპიით ბილირუბინის ფოტოდაჟანგვის რადიკალური პროდუქტების უვნებელყოფა აქტიური ანტიოქსიდანტების გამოყენებით, გვერდითი მოვლენების თავიდან ასაცილებლად.

  2) მელანინის ფოტოქიმია და კანის დაცვა ულტრაიისფერი გამოსხივებისაგან, კანის სხვადასხვა მძიმე დაავადების მათ შორის მელანომის განვითარების პრევენციისათვის.

  3) ღვინის ანტიოქსიდანტური აქტივობის და ძირითადი ანტიოქსიდანტური ნაერთების განსაზღვრა ეპრ და ქრომატოგრაფიული მეთოდების.

- <u>ბიოპოლიმერების სტრუქტურის სტატისთიკური ფიზიკის და თერმოდინამიკისკვლევებში არსებული თეორიული ფიზიკის  მეთოდებით გამოყენება.</u>

  ბიოპოლიმერებში ფაზური გადასვლები  გამოიყენება მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზისას.

- <u>ნანოსკოპურ  ინტერფაზურ თვითაწყობად სისტემებში მუხტის მიმოცვლის კვანტური ასპექტების კვლევა ცილებისა და ბიომიმეტიკური კომპლექსების მონაწილეობით.</u>

  ეს მიმართულება წარმოადგენს უახლეს ინტერდისციპლინურ მიდგომათა ერთიანობას თანამედროვე ფუნდამენტური და გამოყენებითი ხასიათის კვლევებისთვის მოლეკულური ბიოფიზიკის, ქიმიური ფიზიკის, მოქნილი მატერიის ფიზიკისა და ბიონანოტექნოლოგიური დარგების (ბიოსენსორები, მზის ენერგიის გარდამქნნელები, ბიოელექტრონიკა, "ბიოსაწვავი" ელემენტები) გადაკვეთაზე.

- <u>ბიომოლეკულური მექანიზმების ჩაღრმავებული კვლევა  მუხტის (ელექტრონის, პროტონის) ტრანსლოკაციის და მოქნილი მატერიის  თეორიათა საფუძველზე.</u>

  აღნიშნული მიმართულება წარმოადგენს ყველაზე უფრო თანამედროვე ფუნდამენტურ კომპლექსურ მიდგომას, რომელიც გამიზნულია  ბიომოლეკულური მექანიზმების, პირველ რიგში მუხტის გადატანის პროცესების ატომისტურ ფიზიკურ დონეზე ჩაღრმავებული გაგებისთვის. ფუნდამენტურ დინეზე, იგი ეყრდნობა როგორც მუხტის ტრანსლოკაციის უკვე აღიარებულ მარკუს-დოღონაძე-ზუსმანის და სხვა ავტორების განზოგადებულ თეორიას, ასევე მოქნილი მატერიის ფიზიკის თეორიის ძირითად პრინციპებს (პალმერი, სტეინ-ნიუმანი, მატიუშოვი და სხვები).

- <u>გლობულური ცილების თერმული სტაბილობის მიკროკალომიტრული კვლევები ორგანული დანამატების თანაობისას მოქნილი მატერიის თეორიის თვალთახედვით.</u>

  მოცემული მიმართულება განიხილავს ბიომოლეკულების, მათ შორის, გლობულური ცილების სტაბილობის და მისი მართვის ფუნდამენტურ საკითხს, რაც ასევე მნიშვნელოვანია რიგი ბიფარმაცევტული და ბიოსამედიცინო  ქვედარგების განვითარების კუთხით.

**პროგრამის შედეგი:**

ა) **ცოდნა და გაცნობიერება** -  ფიზიკის დარგის/ზემოთ ჩამონთვლლის ქვედარგების და დარგთაშორისი სფეროების უახლეს მიღწევებზე დამყარებული ცოდნა, რაც არსებული ცოდნის გაფართოებისა თუ ინოვაციური მეთოდების გამოყენების საშუალებას იძლევა

(რეფერირებადი პუბლიკაციისათვის აუცილებელი სტანდარტის დონეზე). არსებული ცოდნის ხელახალი გააზრებისა და ნაწილობრივ გადაფასების გზით ცოდნის განახლებული ფარგლების გაცნობიერება;

**კერძოდ:**

**მოდული 1.1** "თეორიული ფიზიკის" მოდულის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება უნდა იყოს ჩამოყალიბებული მეცნიერი. რომელსაც შეეძლება: აწარმოოს მაღალი დონის სამეცნიერო კვლევა, მაღალი იმპაქტ ფაქტორის მქონე საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში სტატიების გამოქვეყნება და სხვადასხვა ტიპის სამეცნიერო ფორუმებზე მოხსენებების გაკეთება. ის ასევე უნდა იყოს კვალიფიციური პედაგოგი, რათა ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სტუდენტებს საკმაოდ მაღალ დონეზე წაუკითხოს ლექციები. მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა განაგრძოს ფიზიკის მიმართულებით ნებისმიერ სამეცნიერო დაწესებულებაში როგორც საქართველოში, ისე საზღვარგარეთ.

**მოდული 1.2** „ელემენტარული ნაწილაკების და კვანტური ველების" მოდულის ფიზიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება იქნება ჩამოყალიბებული მეცნიერი რომელსაც შეეძლება: აწარმოოს მაღალი დონის სამეცნიერო კვლევა, მაღალი იმპაქტ ფაქტორის მქონე საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში სტატიების გამოქვეყნება და სხვადასხვა ტიპის სამეცნიერო ფორუმებზე მოხსენებების გაკეთება. ის ასევე უნდა იყოს კვალიფიციური პედაგოგი, რათა ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სტუდენტებს საკმაოდ მაღალ დონეზე წაუკითხოს ლექციები. ელემენტარული ნაწილაკების თეორიის დოქტორანტებს დამატებით ექნებათ ველის თეორიის და მათემატიკური და რიცხვითი მეთოდების გამოყენების უნარი თანამედროვე ფიზიკის მომიჯნავე დარგებში. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის ექსპერიმენტის დოქტორანტებს დამატებით ექნებათ კომპიუტერული მოდელირების ფიზიკური და მათემატიკური საფუძვლების ცოდნა; რიცხვითი მეთოდებისა და პროგრამული ენების ცოდნა; რიცხვითი ექსპერიმენტების ჩატარების უნარ-ჩვევები. მომავალ დოქტორს შეეძლება დასაქმდეს ფიზიკის მიმართულებით ნებისმიერ სამეცნიერო დაწესებულებაში როგორც საქართველოში, ისე უცხოეთში.

**მოდული 1.3** "პლაზმის ფიზიკის" მოდულის ფიზიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება იქნება ჩამოყალიბებული მეცნიერი, რომელსაც შეეძლება არა მარტო დამოუკიდებლად განაგრძოს სამეცნიერო მოღვაწეობა, არამედ იყოს კვალიფიციური პედაგოგიც. სახელდობრ, მას ექნება უნარი, რათა ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სტუდენტებს წაუკითხოს ლექციები საკმარისად მაღალ დონეზე. მიღებული სამეცნიერო გამოცდილების გათვალისწინებით მომავალი დოქტორი შეძლებს აწარმოოს მაღალი დონის სამეცნიერო კვლევა და გამოაქვეყნოს პუბლიკაციები მაღალ იმპაქტ ფაქტორიან საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში, რაც საშუალებას მისცემს მონაწილეობა მიიღოს სხვადასხვა სახის საერთაშორისო პროგრამებში საზღვარგარეთის სასწავლო/სამეცნიერო ცენტრებთან ერთობლივად. მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა განაგრძოს ფიზიკის მიმართულებით ნებისმიერ სამეცნიერო დაწესებულებაში როგორც საქართველოში, ისე საზღვარგარეთ.

**მოდული 1.4** „ასტროფიზიკის" მოდულის ფიზიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება იქნება ჩამოყალიბებული მეცნიერი, რომელსაც შეეძლება არა მარტო დამოუკიდებლად განაგრძოს სამეცნიერო მოღვაწეობა, არამედ იყოს კვალიფიციური პედაგოგიც. სახელდობრ, მას ექნება უნარი, რათა ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სტუდენტებს წაუკითხოს ლექციები საკმარისად მაღალ დონეზე. მიღებული სამეცნიერო გამოცდილების გათვალისწინებით მომავალი დოქტორი შეძლებს აწარმოოს საერთაშორისო მოთხოვნების დონის სამეცნიერო კვლევა და გამოაქვეყნოს პუბლიკაციები მაღალ იმპაქტ ფაქტორიან საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში, რაც საშუალებას მისცემს მონაწილეობა მიიღოს სხვადასხვა სახის საერთაშორისო პროგრამებში

საზღვარგარეთის სასწავლო/სამეცნიერო ცენტრებთან ერთობლივად. მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა განაგრძოს ფიზიკის მიმართულებით ნებისმიერ სამეცნიერო დაწესებულებაში როგორც საქართველოში, ისე საზღვარგარეთ.

**მოდული 1.5** "კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის" მოდულის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება იქნება ჩამოყალიბებული მეცნიერი, რომელსაც ექნება კვლევის თანამედროვე მეთოდების ღრმა ცოდნა, უნარი დაგეგმოს და დამოუკიდებლად აწარმოოს საერთაშორისო სტანდარტების სამეცნიერო კვლევა. იგი უნდა იყოს ასევე მაღალი დონის პედაგოგი. ქონდეს უნარი ლექციები და პრაქტიკული მეცადინეობები ჩაუტაროს ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სტუდენტებს. სადოქტორო პროგრამის გავლისას, დოქტორანტი მიიღებს თანამედროვე ექპერიმენტის ჩატარებისათვის საჭირო ცოდნას და გამოცდილებას. ზემოთ განხილული დისციპლინების ცოდნა მნიშვნელოვნად წაადგება დოქტორანტს თავისი მეცნიერული მოღვაწეობისათვის.

**მოდული 1.6** ფიზიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება უნდა იყოს ჩამოყალიბებული მეცნიერი, რომელსაც შეეძლება არა მარტო დამოუკიდებლად განაგრძოს სამეცნიერო მოღვაწეობა, არამედ იყოს კვალიფიკეციური პედაგოგიც. კერძოდ, მას უნდა ჰქონდეს უნარი ბაკალავრის და მაგისტრატურის სტუდენტებს ჩაუტაროს პრაქტიკულ/სემინარები საკმაოდ მაღალ დონეზე. მიღებული სამეცნიერო გამოცდილებით მას შეეძლება დამოუკიდებლად ჩაატაროს მაღალი დონის ექსპერიმენტები და აწარმოოს სამეცნიერო კვლევები, გამოაქვეყნოს სამეცნიერო პუბლიკაციები მაღალ რეიტინგიან საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში, რაც საშუალებას მისცემს მონაწილეობა მიიღოს სხვადასხვა სახის საერთაშორისო პროგრამებში საზღვარგარეთის სასწავლო/სამეცნიერო ცენტრებთან ერთობლივად. მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა განაგრძოს ფიზიკის მიმართულებით ნებისმიერ სამეცნიერო დაწესებულებაში როგორც საქართველოში, ისე საზღვარგარეთ.

**მოდული 1.7** კურსდამთავრებულის დარგობრივი კვალიფიკაცია, ცოდნა, კომპეტენცია და უნარ-ჩვევები გამოიხატება იმაში, რომ მას გააჩნია:

- ზოგადი ფიზიკის, ელექტროდინამიკის, მათემატიკური ფიზიკის ღრმა ცოდნა;
- თანამედროვე გამოყენებითი ფიზიკის აქტუალური პრობლემების ამოხსნის უნარი;
- კომპიუტერული მოდელირების ფიზიკური და მათემატიკური საფუძვლებს ცოდნა;
- რიცხვითი მეთოდების, პროგრამული ენების, გრაფიკული პროგრამირების ცოდნა.
- თანამედროვე პროგრამული პაკეტების შექმნის პრინციპების ცოდნა;
- რიცხვითი ექსპერიმენტების და რთული პროცესების ოპტიმიზაციის უნარჩვევები;

**მოდული 1.8** ფიზიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება უნდა იყოს ჩამოყალიბებული მეცნიერი, რომელსაც შეეძლება არა მარტო დამოუკიდებლად განაგრძოს სამეცნიერო მოღვაწეობა, არამედ იყოს კვალიფიკეციური პედაგოგიც. კერძოდ, მას უნდა ჰქონდეს უნარი ბაკალავრის და მაგისტრატურის სტუდენტებს ჩაუტაროს პრაქტიკულ/სემინარები საკმაოდ მაღალ დონეზე. მიღებული სამეცნიერო გამოცდილებით მას შეეძლება დამოუკიდებლად ჩაატაროს მაღალი დონის თეორიული გამოთვლები და აწარმოოს სამეცნიერო კვლევები, გამოაქვეყნოს სამეცნიერო პუბლიკაციები მაღალ რეიტინგიან საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში, რაც საშუალებას მისცემს მონაწილეობა მიიღოს სხვადასხვა სახის საერთაშორისო პროგრამებში საზღვარგარეთის სასწავლო/სამეცნიერო ცენტრებთან ერთობლივად. მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა განაგრძოს ფიზიკის მიმართულებით ნებისმიერ სამეცნიერო დაწესებულებაში როგორც საქართველოში, ისე საზღვარგარეთ.

**მოდული 1.9** "ატომური და მოლეკულური ფიზიკის" მოდულის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება უნდა იყოს ჩამოყალიბებული მეცნიერი. რომელსაც შეეძლება: აწარმოოს მაღალი დონის სამეცნიერო კვლევა, მაღალი იმპაქტ ფაქტორის მქონე საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში სტატიების გამოქვეყნება და სხვადასხვა ტიპის სამეცნიერო ფორუმებზე მოხსენებების გაკეთება. ის ასევე უნდა იყოს

კვალიფიციური პედაგოგი, რომელიც შეძლებს ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სტუდენტებს მაღალ დონეზე წაუკითხოს ლექციები. მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა განაგრძოს ფიზიკის მიმართულებით ნებისმიერ სამეცნიერო დაწესებულებაში როგორც საქართველოში, ისე საზღვარგარეთ.

**მოდული 1.10** ბიოფიზიკის მოდულის კურსდამთავრებული ფიზიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება უნდა იყოს ჩამოყალიბებული მეცნიერი, რომელსაც ექნება საკმაო გამოცდილება იყოს მაღალი დონის მეცნიერი, როგორც ფიზიკის ასევე ბიოლოგიის მიმართულებით, ქიმიის და ნანოტექნოლოგიების მომიჯნავე მიმართულებების გადაკვეთაზე. დოქტორანტები ასევე შეიძენენ აუცილებელ უნარ-ჩვევებს, რათა საჭიროებისამებრ შეძლონ სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოს დამოუკიდებლად დაგემვა და წარმართვა, სამეცნიერო პუბლიკაციების მომზადება, საგრანტო პროექტების მომზადება, სამედიცინო-დიაგნოსტიკური, თუ სხვა ფიზიკა-ტევადი აპარატურის მართვა და ა.შ. დოქტორანტს შეეძლება არა მარტო დამოუკიდებლად განაგრძოს სამეცნიერო მოღვაწეობა, არამედ იყოს კვალიფიკეციური პედაგოგიც, როგორც ფიზიკის, ასევე ბიოლოგიის მიმართულებით. უნდა შეეძლოს ჩაუტაროს ლექციები ბაკალავრის და მაგისტრატურის სტუდენტებს პრაქტიკულ/სემინარები საკმაოდ მაღალ დონეზე. უნდა შეეძლოს აწარმოოს სამეცნიერო კვლევები, გამოაქვეყნოს სამეცნიერო პუბლიკაციები, მათ შორის მაღალ რეიტინგიან საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში, შეეძლოს მონაწილეობა მიიღოს სხვადასხვა სახის საერთაშორისო პროგრამებში საზღვარგარეთის სასწავლო/სამეცნიერო ცენტრებთან ერთობლივად.

**ცოდნის პრაქტიკაში გამოყენების უნარი** - ფიზიკის ზემოთჩამოთვლილ ქვედარგებში:

- დამოუკიდებელი სამეცნიერო და კვლევითი მუშაობის უნარჩვევები;
- ინოვაციური კვლევის დამოუკიდებლად დაგეგმვა, განხორციელება და ზედამხედველობა;
- შემუშავება ახლებური კვლევითი და ანალიტიკური, ექსპერიმენტული, რიცხვითი თვლების მეთოდებისა და მიდგომებისა, რომლებიც ახალი ცოდნის შექმნაზეა ორიენტირებული და აისახება საერთაშორისო რეფერირებად პუბლიკაციებში.

**დასკვნის უნარი**

- ახალი, რთული და წინააღმდეგობრივი იდეებისა და მიდგომების კრიტიკული ანალიზი, სინთეზი და შეფასება, რითაც ხდება ახალი მეთოდოლოგიის შემუშავება/განვითარების ხელშეწყობა ფიზიკის ზემოთჩამოთვლილ ქვედარგებში;
- პრობლემის გადაჭრისათვის სწორი და ეფექტური გადაწყვეტილების დამოუკიდებლად მიღება ფიზიკის ზემოთჩამოთვლილ ქვედარგებში.

**კომუნიკაციის უნარი** - ფიზიკის ზემოთჩამოთვლილ ქვედარგებში ახალი ცოდნის არსებულ ცოდნასთან ურთიერთკავშირში დასაბუთებულად და გარკვევით წარმოჩენა, ასევე საერთაშორისო სამეცნიერო საზოგადოებასთან თემატურ პოლემიკაში ჩართვა უცხოურ ენაზე.

**სწავლის უნარი** - ფიზიკის ზემოთ ჩამოთვლილ ქვედარგებში უახლეს მიღწევებზე დამყარებული ცოდნიდან გამომდინარე ახალი იდეების ან პროცესების განვითარების მზაობა სწავლისა და საქმიანობის, მათ შორის კვლევის პროცესში.

**ღირებულებები** - ღირებულებათა დამკვიდრების გზების კვლევა და მათ დასამკვიდრებლად ინოვაციური მეთოდების შემუშავება როგორც ფიზიკის ზემოთჩამოთვლილ ქვედარგებში, ასევე დარგთაშორის მიმართულებებში.

**დარგობრივი ცოდნის თანამედროვე მიღწევებზე დამყარებული ცოდნის საფუძვლები:**
დოქტორანტმა, უნდა წარმოადგინოს სასემინარო მოხსენება ***ფიზიკის*** იმ აქტუალურ საკითხებზე, რომელიც მის სამეცნიერო თემასთან პირდაპირ კავშირშია, ასევე მისი თემის შემადგენელი სამეცნიერო პრობლემის კვლევის თანამედროვე მდგომარეობაზე, ამასთან დოქტორანტის სასემინარო ნაშრომი არ უნდა იყოს დისერტაციის შემადგენელი ნაწილი. გამომდინარე აქედან, შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ დოქტორანტი სასემინარო თემის მომზადების დროს ეცნობა ფიზიკაში (თეორიული ფიზიკა / ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა / პლაზმის ფიზიკა / ასტროფიზიკა / კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა / მიკრო და ნანოელექტრონიკა / გამოყენებითი ელექტროდინამიკა და რადიოტექნიკა /არაწრფივი მოვლენების ფიზიკა / ატომური და მოლეკულური ფიზიკა / ბიოფიზიკა) უახლეს მიღწევებს, რაც აძლევს მას შესაძლებლობას გაიფართოვოს არსებული ცოდნა, გამოიმუშავოს კვლევითი და ანალიტიკური მეთოდები და ახლებური მიდგომები, დამოუკიდებლად მიიღოს პრობლემის გადაჭრისათვის სწორი გადაწყვეტილება. მოხსენების შემდეგ სტუდენტი შეძლებს ჩაერთოს გამართულ დისკუსიაში და დასაბუთებულად მიაწოდოს თავისი აზრი სამეცნიერო საზოგადოებას. ყოველივე აღნიშნულის შედეგად სწავლის საწყისვე ეტაპზე მას შეიძლება გამოუმუშავდეს *შემდეგი კომპეტენციები:*

***შესაბამისი სწავლის შედეგების რუკა***

| | **კომპეტენციები** |
|---|---|
| 1 | ცოდნა და გაცნობიერება |
| 2 | ცოდნის პრაქტიკაში გამოყენების უნარი |
| 3 | დასკვნის უნარი |
| 4 | კომუნიკაციის უნარი |
| 5 | დასკვნის უნარი |

**7. კურსდამთავრებულთა დასაქმების სფეროები:**

**მოდული 1.1** მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს თეორიული ფიზიკის მიმართულებების მქონე სამეცნიერო დაწესებულებაში, საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, უმაღლეს სასწავლებლებში, საქმიანობაში რომელშიც ინტენსიურად იქნება გამოყენებული ანალიზური და რიცხვითი გამოთვლები.

**მოდული 1.2** მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს მაღალი ენერგიების თეორიული და ექსპერიმენტული ფიზიკის მიმართულებების მქონე სამეცნიერო დაწესებულებებში, საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, უმაღლეს სასწავლებლებში, საქმიანობაში რომელშიც ინტენსიურად იქნება გამოყენებული ანალიზური და რიცხვითი გამოთვლებითვლები, ასევე ინდუსტრიაში, სადაც თანამედროვე ტექნოლოგიები გამოიყენება.

**მოდული 1.3** მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს პლაზმის ფიზიკის მიმართულებების მქონე სამეცნიერო დაწესებულებებში, საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, უმაღლეს სასწავლებლებში, საქმიანობაში რომელშიც ინტენსიურად იქნება გამოყენებული რიცხვითი თვლები.

**მოდული 1.4** მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს თეორიული ასტროფიზიკის მიმართულებების მქონე სამეცნიერო დაწესებულებებში, საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, უმაღლეს სასწავლებლებში, საქმიანობაში რომელშიც ინტენსიურად იქნება გამოყენებული რიცხვითი თვლები.

**მოდული 1.5** მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს სამეცნიერო დაწესებულებებში, საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, უმაღლეს სასწავლებლებში. ტელე-საკომუნიკაციო კომპანიებში, შეეძლება რადიოლოკაციური სისტემების მომსახურეობა შესაბამისი ტექნიკური უზრუნველყოფით.

**მოდული 1.6** მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს ელექტრონიკის, მიკრო და ნანოელექტრონიკის სამეცნიერო დაწესებულებში; საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, უმაღლეს სასწავლებლებში.

**მოდული 1.7** მეცნიერებისა და განათლების სფერო; სამეცნიერო - კვლევითი ლაბორატორიები და საკონსულტაციო ჯგუფები (პრობლემის ოპტიმალური გადაწყვეტა); პროგრამული პაკეტების შექმნა, კომპიუტერულ მოდელირება (Software Engineering). კომპიუტერული ტექნოლოგიების სადოქტორო დონეზე ცოდნა კურსდამთავრებულებს საშუალებას მისცემს დასაქმდნენ ფართე პროფილის დაწესებულებებში – ბანკებში, სავაჭრო ფირმებში, იურიდიული ექსპერტიზის თუ ეკონომიკურ ორგანიზაციებში და ა.შ.

**მოდული 1.8** მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს თეორიული ფიზიკის მიმართულებების მქონე სამეცნიერო დაწესებულებებში, საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, უმაღლეს სასწავლებლებში, საქმიანობაში რომელშიც ინტენსიურად იქნება გამოყენებული რიცხვითი თვლები.

**მოდული1.9** მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს თეორიული და ექსპერიმენტული ფიზიკის მიმართულებების მქონე სამეცნიერო დაწესებულებაში, საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, უმაღლეს სასწავლებლებში.

**მოდული 1.10** ბიოფიზიკის მოდულის კურსდამთავრებულები შეიძლება დასაქმდნენ როგორც სახელმწიფო, ისე კერძო სამეცნიერო, საგანმანათლებლო, სამედიცინო დაწესებულებაში და სხვა დაწესებულებებში. სახელმწიფო დაწესებულებებში უპირველეს ყოვლისა, იგულისხმება - არსებულ სამეცნიერო დაწესებულებეში ბიოფიზიკის მიმართულებით მუშაობის დაწყება. საგანმანათლებლოში - უმაღლესი და საშუალო სკოლებში პედაგოგიური მოღვაწეობა; სამედიცინო, ფარმაკოლოგიურ, ეკოლოგიური მიმართულების ლაბორატორიებში სამსახური, შესაბამისი პროფილის სამთავრობო სამინისტროები, სამმართველოები და სხვა.

**8. სადოქტორო პროგრამაზე მიღების წინაპირობები:**

**მოდული 1.1**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან მასთან გათანაბრებული ხარისხი,

(ii) უცხო ენის/ქართული ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე, შესაბამისად სწავლების ენისა (ქართული/ინგლისური);

(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**2–4 დოქტორანტის მიღება ქართულ ენოვან სწავლებაზე;**

**2-4 დოქტორანტის მიღება ინგლისურენოვანზე.**

*გასაუბრებაზე მისასალმებელია პროგრამის ხელმძღვანელების დასწრება სათათბირო ხმის უფლებით, მათ შორის დისტანციურადაც ონლაინ რეჟიმში.

**მოდული 1.2**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან მასთან გათანაბრებული ხარისხი,

(ii) უცხო ენის/ქართული ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე, შესაბამისად სწავლების ენისა (ქართული/ინგლისური);

(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია:**

**2–4 დოქტორანტის მიღება ქართულ ენოვან სწავლებაზე;**

**2-4 დოქტორანტის მიღება ინგლისურენოვანზე.**

**მოდული 1.3**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან მასთან გათანაბრებული ხარისხი,

(ii) უცხო ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე,
(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია 2 დოქტორანტის მიღება.**

**მოდული 1.4**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან მასთან გათანაბრებული ხარისხი,
(ii) უცხო ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე,
(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია 2 დოქტორანტის მიღება**

**მოდული 1.5**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან მასთან გათანაბრებული ხარისხი,
(ii) უცხო ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე,
(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია 4-6 დოქტორანტის მიღება**

**მოდული 1.6**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან მასთან გათანაბრებული ხარისხი,
(ii) უცხო ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე,
(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია 4 დოქტორანტის მიღება**

**მოდული 1.7**

(i) ფიზიკის ან მათემატიკის ან კომპიუტერული მეცნიერებების მაგისტრის ან ელექტრული ინჟინერიის ხარისხი.
(ii) უცხო ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე,
(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია 2 დოქტორანტის მიღება**

**მოდული 1.8**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან მასთან გათანაბრებული ხარისხი,
(ii) უცხო ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე,
(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია 3 დოქტორანტის მიღება**

**მოდული 1.9**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან მასთან გათანაბრებული ხარისხი,
(ii) უცხო ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე,
(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია 2 დოქტორანტის მიღება**

**მოდული 1.10**

(i) ფიზიკის მაგისტრის ან ბიოლოგიის მაგისტრის ან მაგისტრის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში ან მათთან გათანაბრებული ხარისხი,
(ii) უცხო ენის ცოდნა თსუ-ს მიერ დადგენილ დონეზე,

(iii) გასაუბრება ფაკულტეტის ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან *

**ამ მოდულზე შესაძლებელია 6 დოქტორანტის მიღება.**

*გასაუბრებაზე მისასალმებელია პროგრამის ხელმძღვანელების დასწრება სათათბირო ხმის უფლებით, მათ შორის დისტანციურადაც ონლაინ რეჟიმში.

## 9. სასწავლო კომპონენტი

<u>დოქტორანტურაში სასწავლო კომპონენტს ეთმობა 60 კრედიტი.</u>
დოქტორანტის სასწავლო კომპონენტი გულისხმობს შემდეგ სალექციო კურსებს (იხ. სასწავლო გეგმა):

**სასწავლო გეგმა მოდულებისათვის: 1.3-1.10**

| | **სასწავლო კურსის სახელწოდება** | **კრედიტი** | **წინაპირობა** | **საკონტაქტო და დამოუკიდებელი მუშაობის საათები** | **სემესტრი** |
|---|---|---|---|---|---|
| **სავალდებულო კურსები 45-40 კრედიტი** | | | | | |
| 1 | სწავლების მეთოდები | 5 | არ აქვს | | I-III სემესტრი |
| 2 | აკადემიური წერა (სალექციო კურსი სავალდებულოა მათთვის, ვისაც აკადემიური წერა და/ან კვლევის მეთოდები წინა საფეხურზე არ გა-უვლია); | 5 | არ აქვს | 48/77 ლექცია 15სთ, პრაქტიკუმი–30 სთ; შუალედური გამოცდა – 3სთ, დაკვნითი – 3სთ. შუალედური გამოცდებისთვის მზადება –5 სთ); დასკვნითი გამო-ცდისთვის მზადება – 15სთ. | შემოდგომა/ გაზაფხული |
| 3 | პროფესორის ასისტენტობა | 5 | სწავლების მეთოდები | | შემოდგომა/ გაზაფხული |
| 4 | დოქტორანტის სემინარი 1 | 15 | არ აქვს | | შემოდგომა/ გაზაფხული |
| 5 | დოქტორანტის სემინარი 2 | 15 | არ აქვს | | შემოდგომა/ გაზაფხული |
| **არჩევითი კურსები და სხვა სახის აქტივობა (უნდა აირჩიოს 15-20 კრედიტი)** | | | | | |
| 6 | მეცნიერების მენეჯმენტი | 5 | არ აქვს | 49/76 ლექცია 15 სთ, ჯგუფში მუშაობა –30 სთ; (მათ შორის 2 შუალედური გამოცდა 2x2=4 სთ. შუალედური გამოცდებისთვის მზადება – 4x4 = 8სთ. დასკვნითი გამოცდისთვის მზადება – 9 სთ. ჩაბარება – 3 სთ. | შემოდგომა/ გაზაფხული |
| 7. | ინფორმაციულ–საკომუნი-კაციო ტექნოლოგიების გა-მოყენება კვლევა/სწავლე-ბაში და ელექტრონული კურსების შექმნა | 10 | არ აქვს | 40/85 პრაქტიკული- 30 სთ, შუა-ლედური გამოცდა– 4 სთ; დასკვნითი გამოცდა – 6 საათი. | შემოდგომა/ გაზაფხული |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | შუალედური გამოცდის მომზადება – 16 სთ;<br>დასკვნითი გამოცდის მომზადება – 34 საათი | |
| 8. | საუნივერსიტეტო კურიკულუმის შემუშავების პრინციპები | 10 | არ აქვს | 40/210<br>საკონტაქტო საათი - 30<br>შუალედური გამოცდა – 4 სთ;<br>დასკვნითი გამოცდა – 6 საათი.<br>შუალედური გამოცდის მომზადება– 16 სთ;<br>დასკვნითი გამოცდის მომზადება – 34 საათი | შემოდგომა/ გაზაფხული |

**სასწავლო გეგმა მოდულებისათვის 1.1, 1.2 (სასწავლო კურსები / სემინარები განხორციელდება იმ ენაზე, რომელზეც დოქტორანტი აბარებს და სწავლობს; პროფესორის ასისტენტობა ფაკულტეტის პროგრამებზე ფიზიკის დარგის საგნებზე შესაბამისი სწავლების ენის მიხედვით)**

**სავალდებულო სასწავლო კომპონენტები (40 ECTS):**

| | |
|---|---|
| **სავალდებულო არჩევითი კურსები (კვლევის მეთოდოლოგია)*** | **5 ECTS** |
| ) კვლევის თანამედროვე მეთოდები ნაწილაკთა ფიზიკაში (Modern Particle Physics) | 5 ECTS |
| ) ძლიერი ურთიერთქმედების თანამედროვე საკითხები (Selected Topics in Strong Interactions) | 5 ECTS |
| ) მონაცემთა ანალიზის თანამედროვე მეთოდები (Advanced Data Analysis) | 5 ECTS |
| ) ველის კვანტური თეორიის აქტუალური საკითხები (Advanced Quantum Field Theory) | 5 ECTS |
| ) მათემატიკური ფიზიკის უახლესი მეთოდები (Modern Trends in Mathematical Physics) | 5 ECTS |
| ) კვლევის მეთოდები ასტრონაწილაკების ფიზიკაში (Astro-particle Physics) | 5 ECTS |
| *დოქტორანტი სავალდებულო არჩევით კურსს ირჩევს კვლევითი თემის მიხედვით პროგრამის ხელმძღვანელთან და ფიზიკის დეპარტამენტში ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურის წარმომადგენელთან შეთანხმებით. | |
| სემინარი 1 | **15 ECTS** |
| სემინარი 2 | **15 ECTS** |
| პროფესორის ასისტენტობა | **5 ECTS** |

**არჩევითი სასწავლო კომპონენტები (20 ECTS)*:**

| | |
|---|---|
| **გაღრმავებული სასწავლო კურსები:** | **5 ECTS** |
| ) გრავიტაცია | 5 ECTS |
| ) სკირმიონები | 5 ECTS |
| ) ინტერგებადი მოდელები სიმების თეორიაში | 5 ECTS |
| ) კოსმოლოგია | 5 ECTS |
| ) ფიზიკა სტანდარტულ მოდელში და მის მიღმა | 5 ECTS |
| ) ნეიტრინული ფიზიკა და ასტროფიზიკა | 5 ECTS |
| **გაღრმავებული მოკლე სასწავლო კურსები:** | **3 ECTS** |
| ) ინტეგრალები ტრაექტორიების გასწვრივ | 3 ECTS |
| ) რელატივისტური კინემატიკა | 3 ECTS |
| ) მაღალი ენერგიების ექსპერიმენტების მოდელირება GEANT4 საშუალებით | 3 ECTS |
| **პრაქტიკა - სავალდებულოა ინგლისურენოვანი მოდულისათვის, ხანგრძლივობა - მინიმუმ 1.5 თვე,** უცხოელ თანახელმძღვანელთან, ან სამეცნიერო ხელმძღვანელის მიერ | 7 ECTS |

| | |
|---|---|
| შერჩეულ საერთაშორისო კოლაბორაციაში. **შეფასების კრიტერიუმები იხილეთ დანართში 3** | |
| **დოქტორანტს არჩევით სასწავლო კომპონენტში 20 ECTS კრედიტი შეუძლია დააგროვოს ზემოთ ჩამოთვლილი სავალდებულო არჩევითი და არჩევითი სასწავლო კურსების/პრაქტიკის კომბინაციით*<br>*ქართულენოვანი პროგრამისათვის პრაქტიკა არაა რეკომენდირებული თუ არ არსებობს სპეციალურად გამოყოფილი დაფინანსება რომელიმე საგრანტო პროექტის საშუალებით; შედეგად დოქტორანტი ირჩევს იმ საგნებს, რომლებიც გაიხსნება ფაკულტეტზე არსებული რეგულაციების შესაბამისად.*<br>*არჩევანი თანხმდება სამეცნიერო / პროგრამის ხელმძღვანელთან* და ფიზიკის დეპარტამენტში ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურის წარმომადგენელთან. | |

დოქტორანტის ინდივიდუალური სასწავლო გეგმის შემუშავება ხორციელდება ყოველი სემესტრის დასაწყისში დოქტორანტის უშუალო ხელმძღვანელთან შეთანხმებით.

**10. კვლევითი კომპონენტი**

დოქტორანტურის კვლევითი კომპონენტი შეადგენს 120 კრედიტს:

**კვლევითი კომპონენტი: 120 კრედიტი**

| **სავალდებულო 120 კრედიტი** | | | |
|---|---|---|---|
| | **აქტივობის სახე** | **კრედიტი** | **სემესტრი** |
| 1. | სამეცნიერო-კვლევითი პროექტი_1 | 0 | შემოდგომა/გაზაფხული |
| 2. | სამეცნიერო-კვლევითი პროექტი_2 | 0 | შემოდგომა/გაზაფხული |
| 3. | სადისერტაციო ნაშრომი | 120 | შემოდგომა/გაზაფხული |

**სასწავლო და კვლევითი კომპონენტების განმარტებანი**

**პროფესორის ასისტენტობა** – დოქტორანტურაში სწავლის პერიოდში დოქტორანტი ვალდებულია ასისტენტობა გაუწიოს აკადემიურ პერსონალს და მონაწილეობა მიიღოს უნივერსიტეტის სასწავლო პროცესში.

პროფესორის ასისტენტობა გულისხმობს შემდეგს: სამუშაო ჯგუფის, ლაბორატორიული სამუშაოების, პრაქტიკუმების ჩატარება ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სტუდენტებისათვის; სალექციო კურსის წაკითხვა "საბავშვო უნივერსიტეტის" მსმენელებისათვის; შუალედური და საბოლოო გამოცდის საკითხების, ტესტების მომზადება; სტუდენტთა ნაშრომების გასწორება, საბაკალავრო, სამაგისტრო ნაშრომების რეცენზირება; ელექტრონული სასწავლო კურსის მომზადება სამეცნიერო ხელმძღვანელთან შეთანხმებით (ე. წ. LMS – Learning Management System – Moodle და სხვ.); საბაკალავრო ნაშრომების ხელმძღვანელობა; ტუტორობა და სხვა.

მიღებული კრედიტების რაოდენობა დამოკიდებული უნდა იყოს ჩატარებული საათების რაოდენობაზე და იმ დროზე, რომელიც მოანდომა დოქტორანტმა შესრულებულ სამუშაოს. **პროფესორის ასისტენტობის შეფასების სიტემა იხ. დანართი1.**

**პრაქტიკა** – დოქტორანტის მიერ გავლილი პრაქტიკის შეფასება მოხდება პრაქტიკის ანგარიშის ფორმით (პრაქტიკის განხორციელებასთან დაკავშირებულ საკითხებს არეგულირებს უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს სპეციალური დადგენილება „ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საგანმანათლებლო პროგრამებით გათვალისწინებული პრაქტიკის სახელმძღვანელოს დამტკიცების შესახებ".

**დოქტორანტის პრაქტიკის შეფასების კრიტერიუმები იხილეთ დანართში 3.**

**სემინარი** – ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნირებათა ფაკულტეტზე სხვადასხვა სადოქტორო პროგრამის გაერთიანების შედეგად იქმნება *„სადოქტორო სემინარი"*, რომელშიც

მონაწილეობენ შესაბამისი სადოქტორო პროგრამების ხელმძღვანელები (კოორდინატორები), სადისერტაციო ნაშრომების ხელმძღვანელები და დოქტორანტები.
მოცემული სადოქტორო პროგრამის *„სადოქტორო სემინარის“* მონაწილეები წარმოადგენენ მოხსენებებს ფიზიკის (თეორიული ფიზიკა / ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა / პლაზმის ფიზიკა / ასტროფიზიკა / კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა / მიკრო და ნანოელექტრონიკა / გამოყენებითი ელექტროდინამიკა და რადიოტექნიკა / არაწრფივი მოვლენების ფიზიკა / ატომური და მოლეკულური ფიზიკა / ბიოფიზიკა) საკითხებზე, სამეცნიერო პრობლემის კვლევის თანამედროვე მდგომარეობაზე დოქტორანტის სადოქტორო თემატიკის შესაბამისად.

**დოქტორანტის სასემინარო ნაშრომის შეფასების სისტემა იხ. დანართი 2.**

**აკადემიური წერა**–აკადემიური წერა ითვალისიწინებს დოქტორანტებს გამოუმუშავდეთ სამეცნიერო ტექსტის შექმნის უნარ-ჩვევები. გაეცნონ სამეცნიერო ნაშრომის შექმნის ხერხებს და საშუალებებს, კურსის ფარგლებში გარკვეული დრო ეთმობა კრიტიკული აზროვნების, კითხვისა და წერის უნარების ჩამოყალიბებას.

**სამეცნიერო - კვლევითი პროექტი** - სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის წინაპირობას წარმოადგენს სადისერტაციო ნაშრომთან დაკავშირებული მინიმუმ 2 სამეცნიერო-კვლევითი პროექტი. დოქტორანტი წინამდებარე პროექტის ბეჭდურ და ელექტრონულ ვერსიებს სამეცნიერო ხელმძღვანელის რეკომენდაციის საფუძველზე წარუდგენს ფაკულტეტს. სამეცნიერო-კვლევითი პროექტის ზეპირი განხილვა/პრეზენტაცია ჩატარდება პროგრამის ხელმძღვანელის, დოქტორანტის სამეცნიერო ხელმძღვანელის და შესაბამისი ფაკულტეტის წარმომადგენლების ჩართულობით.

პროგრამის დოქტორანტები ვალდებულები არიან ზუსტ და საბუნებიმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ყოველწლიურ სტუდენტურ და საფაკულტეტო კონგერენციაზე წარმოადგინონ სემინარისა და სამეცნიერო-კვლევითი პროექტის ფარგლებში მოხსენებები. კონფერენციებისათვის ფაკულტეტის მიერ სპეციალურად შექმნილ ვებ-გვერდებზე, დოქტორანტებმა უნდა ატვირთონ შესაბამისი მოხსენების თეზისები, რათა გაეცნოს ყველა დაინტერესებული მხარე.

## სწავლის შედეგების მიღწევის მეთოდები

<u>პროგრამის მიზნების და დასახული შედეგების მიღწევის უზრუნველყოფა ხორციელდება სწავლებისა და სწავლის შემდეგი მეთოდებით / საშუალებებით / მიდგომით:</u>

- სალექციო კურსები, პრაქტიკული, ჯგუფური მეცადინეობები;
- ინდივიდუალური და ჯგუფური დავალებები; სასწავლო პრაქტიკული სამუშაოები,
- მატერიალურ–ტექნიკური (ფიზიკის დეპარტამენტის, ზსმფ-ისა და თსუ სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტების შესაბამისი განყოფილებები, ლაბორატორიები, საგრანტო პროექტები) ,
- სასწავლო და სამეცნიერო მასალები როგორც ბიბლიოთეკებდიან, ასევე online წყაროებიდან;
- სასწავლო და კვლევით პროცესში კურსდამთავრებულებთან და დამსაქმებელთა რეკომენდაციებისა და მოთხოვნათა გათვალისწინება;
- საერთაშორისო სტანდარტებისა და უახლესი მოთხოვნების გათვალისწინება ფიზიკის დარგისადმი.
- დარგის და ქვედარგების წამყვანი სპეციალისტების და მათი გამოცდილების ჩართვა პროგრამაში.

- უახლესი სამეცნიერო და კვლევითი მეთოდების დაუფლება და დამოუკიდებელი კვლევითი უნარების განვითარება გამოცდილ მკველვარებთან ერთობლივ მუშაობაში/კვლევებში ჩართვით.
- სამეცნიერო სტატიების კვლაფიციურ დონეზე წაკითხვა და გადმოცემა სემინარებზე და ლექციებზე.
- სამეცნიერო მივლინებები მსოფლიოს წამყვან უნივერსიტეტებსა ცენტრებში.

<u>უფრო კონკრეტულად სხვადასხვა საგნობრივ კურსში გამოიყენება:</u>

- ზეპირსიტყვიერი (ლექცია)
- წიგნზე მუშაობის მეთოდი.
- წერითი მუშაობის მეთოდი, რომელიც გულისხმობს ამონაწერებისა და ჩანაწერების გაკეთებას.
- დისკუსია, მსჯელობა.
- პრობლემებზე დაფუძნებული სწავლება.
- სასემინარო/პრაქტიკული მუშაობის ახსნა-განმარტებითი და გამეორების მეთოდი; პრეზენტაცია, ილუსტრაცია..
- საშინაო დავალებების შესრულება და გადმოცემა კლასში.
- დედუქცია, ანალიზი, სინთეზი.
- პრაქტიკული-კვლევითი მეთოდები
- ვიდეომასალების ჩვენება, ილუსტრირება.

<u>ასევე კვლევისას და სემინარებზე/სამუშაო ჯგუფებში და პრაქტიკულ მოღვაწეობაში გამოიყენება შემდეგი მეთოდები:</u>

- დისკუსია, დებატები
- ჯგუფური მუშაობა
- შემთხვევის ანალიზი
- გონებრივი იერიში (Brain storming)
- ახსნა–განმარტებითი მეთოდი
- ქმედებაზე ორიენტირებული სწავლება
- დისტანციური სწავლების ელემენტები

**12. დოქტორანტის ცოდნის შეფასების სისტემა:**

(A) 91 -100 ფრიადი
(B) 81 -90 ძალიან კარგი
(C) 71 -80 კარგი
(D) 61 -70 დამაკმაყოფილებელი
(E) 51 - 60 საკმარისი
(FX) 41 - 50 ვერ ჩააბარა, სტუდენტს ეძლევა საბოლოო გამოცდის ერთხელ გადაბარების უფლება
(F) 0 – 40 ჩაიჭრა, სტუდენტმა კრედიტის მიღებისთვის თავიდან უნდა გაიაროს კურსი

სადისერტაციო ნაშრომის შეფასება ხდება საერთო/საუნივერსიტეტო სტანდარტის შესაბამისად:

| ქულები | შეფასება |
|---|---|
| summa cum laude | ფრიადი (შესანიშნავი ნაშრომი) |
| magna cum laude | ძალიან კარგი (შედეგი, რომელიც წაყენებულ მოთხოვნებს ყოველმხრივ აღემატება) |
| cum laude | კარგი (შედეგი, რომელიც წაყენებულ მოთხოვნებს) აღემატება |
| bene | საშუალო (შედეგი, რომელიც წაყენებულ მოთხოვნებს ყოველმხრივ აკმაყოფილებს) |

| | |
|---|---|
| rite | დამაკმაყოფილებელი (შედეგი, რომელიც, ხარვეზების მიუხედავად, წაყენებულ მოთხოვნებს მაინც აკმაყოფილებს) |
| *insufficienter* | არადამაკმაყოფილებელი (შედეგი, რომელიც წაყენებულ მოთხოვნებს მნიშვნელოვანი ხარვეზების გამო ვერ აკმაყოფილებს) |
| *sub omni canone* | სრულიად არადამაკმაყოფილებელი (შედეგი, რომელიც წაყენებულ მოთხოვნებს სრულიად ვერ აკმაყოფილებს) |

**13. სწავლებისა და სამეცნიერო კვლევების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა:**

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა; თსუ-ს სამეცნიერო ბიბლიოთეკა, კომპიუტერული ბაზები, რესურსცენტრები და სხვა.

**მოდული 1.1**

- პერსონალური კომპიუტერები
- ელექტრონული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები
- სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფა
- თსუ მღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტის, თსუ ე. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტისა და თსუ ა. რაზმაძის მათემატიკის ინსტიტუტის თეორიული ფიზიკის განყოფილების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა

**მოდული 1.2**

- პერსონალური კომპიუტერები
- ელექტრონული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები
- სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფა
- თსუ მღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტისა და ა.რაზმაძის მათემატიკის ინსტიტუტის თეორიული ფიზიკის განყოფილების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა,
- ბირთვული კვლევების ევროპულ ორგანიზაციაში არსებული კომპიუტერული სისტემები.
- იულიხის კვლევით ცენტრის ბირთვული ფიზიკის ინსტუტუტში არსებული კომპიუტერული სისტემები, COSY ამაჩქარებელი და კვლევითი ლაბორატირიები.

**მოდული 1.3**

- ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტის პლაზმის ფიზიკის განყოფილების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა,
- თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის "პლაზმის ფიზიკის" ქვემიმართულებების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა.
- თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტისა და ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტის ბიბლიოთეკები.
- სამაგიდო პერსონალური კომპიუტერები;
- ელექტრონული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები
- პროგრამული უზვრუნველყოფა (Matlab, IDL, C/C++, FORTRAN, Maple, etc.)

**მოდული 1.4**

- თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის "ასტროფიზიკის" ქვემიმართულებების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა.
- ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტის პლაზმის ფიზიკის განყოფილების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა,
- თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტისა და ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტის ბიბლიოთეკები.

- სამაგიდო პერსონალური კომპიუტერები;
- გამოთვლითი სუპერკომპიუტერი.
- ელექტრონული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები
- პროგრამული უზვრუნველყოფა (Matlab, IDL, C/C++, FORTRAN, Maple, etc.)

**მოდული 1.5**

- პერსონალური კომპიუტერები.
- იმპულსური ლაზერული დაფენის დანადგარი.
- მაგნეტო-ტრანსპორტი 2K-600K, 9 T.
- ატომურ-ძალური მიკროსკოპი.
- მაგნეტომეტრი 2K-1000K, 9 T.
- ფოტოლუმინესცენციის და ნანო-კათოდოლუმინსეცენციის დანადგარი.
- ელექტრონული პარამაგნიტური რეზონანსის (ეპრ) სპექტრობეტრი, "BRUKER" გერმანია.
- ბირთვული მაგნიტური რეზონანსის (ბმრ) სპექტრომეტრი.
- მრავალფუნქციური ფიზიკური თვისებების გამზომი ხელსაწყო "Cryogenic" closed cycle system, 1.6-300 K 5T ინგლისი.
- ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტის კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის განყოფილების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა,
- თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის “კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის” ქვემიმართულებების მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა.
- თსუ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტისა და ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტის ბიბლიოთეკები.
- სამაგიდო პერსონალური კომპიუტერები;
- ელექტრონული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები
- პროგრამული უზრუნველყოფა

**მოდული 1.6**

- პერსონალური კომპიუტერი;
- ტექნოლოგიური ვაკუუმური დანადგარები, სტრუქტურების და ტრანზისტორების პარამეტრების გამზომი დანადგარ-მოწყობილობები;
- ელექტრული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები;
- მიღებული შედეგების დასამუშავებლად პროგრამული უზრუნველყოფა.

**მოდული 1.7**

- პერსონალური კომპიუტერები
- ბიბლიოთეკა
- პროგრამული უზრუნველყოფები
- გამზომი ხელსაწყოები

**მოდული 1.8**

- პერსონალური კომპიუტერი;
- ელექტრული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები;
- მიღებული შედეგების დასამუშავებლად პროგრამული უზრუნველყოფა.

**მოდული 1.9**

- პერსონალური კომპიუტერები;
- ელექტრონული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები;
- სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფა.

**მოდული 1.10** სამეცნიერო კვლევებისათვის საჭირო მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა: ბიოფიზიკის ლაბორატორიულ ოთახებში, რომლებიც არის როგორც მე-2 ისევე მე-11 კორპუსში არსებობს ქვემოთ ჩამოთვლილი სამეცნიერო დანიშნულების ხელსაწყო დანადგარები. უნდა ითქვას, რომ არსებული ხელსაწყო დანადგარები იძლევა შესაძლებლობას შესრულდეს ექსპერიმენტული მიმართულების სადოქტორო სამუშაოები სრულფასოვნად. მიმართულებაზე არსებული მნიშვნელოვანი ხელსაწყო დანადგარების ჩამონათვალი:

1. მიკროკალორიმეტრი DASM-4A
2. ავტომატური, სკანირებადი მიკროვისკოზიმეტრი
3. ულტრაიისფერ/ ხილური სპექტროფოტომეტრი USB 2800
4. ულტრაიისფერ/ ხილური სპექტროფოტომეტრი Specord 40
5. მაღალბრუნიანი ულტრაცენტრიფუგა CP-25
6. მიკროცენტრიფუგები
7. pH მეტრები, როგორც დიდი მოცულობის ასევე მიკრო მოცულობის მჟავიანობის განსაზღვრისთვი
8. თურბიდიმეტრული დანადგარი
9. ბიოქიმიური ლაბორატორიული მოწყობილობები
10. ბიოლოგიური ფერმენტორი
11. უცხოური წარმოების ამაორთქლებელი
12. მაღალი სიზუსტის (0.1მგ) ანალიზური სასწორი
13. ეპრ დანადგარი

<u>თსუ ბიოფიზიკის ლაბორატორია (II კორპუსი, ოთახი 325):</u>

- პოტენციოსტატი-გალვანოსტატი AUTOLAB PGSTATI2SN METROHM
- პოტენციოსტატი-გალვანოსტატი EZSTAT BASIC
- უნივერსალური სატიტრაციო სისტემა RADIOMETER RTS-822
- პერსონალური კომპიუტერები (5 ერთ.)
- ელექტრო-პროექტორი (PC და ეკრანით)

<u>ასევე, ი. ბერიტაშვილის ცენტრის ბიოფიზიკის განყოფილებაში დ. ხოშტარიას და მისი სამეცნიერო ჯგუფის განკარგულებაში არსებული:</u>

- დიფერენციული კალორიმეტრი DASM-4
- დიფერენციული კალორიმეტრი DASM-4A (PC ინტერფეისის ბლოკით)
- სპექტროფოტომეტრი KARL ZEISS SPEKORD-75
- პერსონალური კომპიუტერები (3 ერთ.)

**14. პროგრამას ფინანსურად უზრუნველყოფს თსუ.**

1.1 და 1.2 მოდულების დამატებითი ფინანსური უზრუნველყოფა 2021 წლის ბოლომდე ხორციელდება ფოლკსვაგენის საქველმოქმედო ფონდისა (Ref.: 93 562) და შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის (ხელშეკრულება #04/48) მიერ საგრანტო პროექტების დამტკიცებული ბიუჯეტის შესაბამისად. დაფინანსება ეხება როგორც ქართულენოვან, ისე ინგლისურენოვან პროგრამას. <u>პრაქტიკა, უცხოელი რეცენზენტის მგზავრობა და ა.შ. დაფინანსდება ინგლისურენოვანი დოქტორანტის შემთხვევაში.</u>

ზემოთ მოცემული დამატებითი ფინანსური უზრუნველყოფა ასევე გულისხმობს:
ა) ფიზიკის დეპარტამენტის კომპიუტერული კლასისთვის კომპიუტერების შეძენის შესაძლებლობას, რომელიც ყველა მოდულის დოქტორანტებისათვის გამოყოფილი იქნება გარკვეულ საათებში სამუშაო ოთახის სახით.

ბ) გრანტის ფარგლებში ახალი ლიტერატურის შეძენის შესაძლებლობას პროგრამის შესაბამისი მოდულის ხელმძღვანელებთან/აკადემიურ პერსონალთან შეთანხმებით.
გ) ფიზიკის დეპარტამენტის სპეციალური კომისიის მიერ შერჩეული გარკვეული რაოდენობის დოქტორანტების (ყველა მოდულიდან) დაფინანსების შესაძლებლობას საზღვარგარეთ კონფერენციაზე მოხსენების გასაკეთებლად.

დანართი 1

## პროფესორის ასისტენტობის შეფასების სისტემა

| შესრულებული სამუშაო | დახარჯული დროის მოცულობა | კრედიტების რაოდენობა | შეფასება |
|---|---|---|---|
| სამუშაო ჯგუფი (სემინარი) | საკონტაქტო საათების რაოდენობა:<br>დამოუკიდებელი მუშაობის საათების რაოდენობა:<br>სულ: | | |
| ლაბორატორიული სამუშაო/პრაქტიკუმი | საკონტაქტო საათების რაოდენობა:<br>დამოუკიდებელი მუშაობის საათების რაოდენობა:<br>სულ | | |
| ზოგიერთი სალექციო თემის მომზადება | საკონტაქტო საათების რაოდენობა:<br>დამოუკიდებელი მუშაობის საათების რაოდენობა:<br>სულ: | | |
| შუალედური და საბო-ლოო გამოცდის საკითხების, ტესტების მომზადება | მომზადებული მასალის მოცულობა:<br>მასალის მომზადებაზე დახარჯული დრო<br>სულ: | | |
| სტუდენტთა ნაშრომების გასწორება | ნაშრომების რაოდენობა:<br>თითოეული ნაშრომის გასწორებაზე დახარჯული დრო:<br>სულ: | | |
| საბაკალავრო, სამაგისტრო ნაშრომების რეცენზირება | ნაშრომების რაოდენობა:<br>თითოეული ნაშრომის რეცენზირებაზე დახარჯული დრო:<br>სულ: | | |
| საბაკალავრო ნაშრომების ხელმძღვანელობა | ნაშრომების რაოდენობა:<br>თითოეული ნაშრომის ხელმძღვანელობაზე დახარჯული დრო:<br>სულ: | | |
| ელექტრონული სასწავლო კურსებისთვის მასალების მომზადება | მომზადებული მასალის მოცულობა:<br>მასალის მომზადებაზე დახარჯული დრო<br>სულ: | | |
| ლექცია "საბავშვო უნივერსიტეტში | საკონტაქტო საათების რაოდენობა:<br>დამოუკიდებელი მუშაობის საათების რაოდენობა:<br>სულ | | |
| სხვა | | | |
| **საბოლოო შეფასება:** თითოეული პუნქტი ფასდება 100 ქულით. საბოლოო ქულის დაანგარიშება ხდება კრედიტების რაოდენობის გათვალისწინებითა და შეწონილი საშუალოს გამოყენებით. | | | |

**დანართი 2.**

## დოქტორანტის სასემინარო ნაშრომის შეფასების სისტემა

დოქტორანტის სასემინარო ნაშრომი ფასდება 100 ქულიანი სისტემით. <u>მაქსიმუმ 60 ქულით ნაშრომს აფასებს ხელმძღვანელი</u> (ნაშრომის შეფასება 50 ქულა, საპრეზენტაციო მასალის შეფასება – 10 ქულა). დადებით შეფასებად ითვლება 31 ქულა.
<u>მაქსიმუმ 40 ქულით ფასდება ნაშრომის პრეზენტაცია.</u>
შეფასება მოიცავს ოთხ კომპონენტს: **დარგობრივი ცოდნა, მსჯელობა და არგუმენტაცია, აგებულება, ფორმა და ენობრივი გამართულობა.** თითოეული კომპონენტის ფარგლებში მოქმედებს შეფასების შემდეგი კრიტერიუმები:

### *ნაშრომის შეფასება ხელმძღვანელის მიერ –50 ქულა*

***დარგობრივი ცოდნა – 25 ქულა:***

**19-25 ქულა** – დოქტორანტი სრულყოფილად გადმოსცემს სემინარის საკითხთან დაკავშირებულ ძირითად ინფორმაციას; იცნობს შესაბამის ძირითად და დამხმარე ლიტერატურას; მართებულად იყენებს დარგობრივ ტერმინოლოგიას;

**13-18 ქულა** – დოქტორანტი გადმოსცემს საკითხთან დაკავშირებულ ინფორმაციას; იცნობს შესაბამის ძირითად ლიტერატურას; იყენებს დარგობრივ ტერმინოლოგიას;

**7-12 ქულა** – დოქტორანტი საკითხთან დაკავშირებულ ინფორმაციას გადმოსცემს არასრულად; იცნობს შესაბამისი ლიტერატურის მხოლოდ ნაწილს; არამართებულად იყენებს დარგობრივ ტერმინოლოგიას;

**0-6 ქულა** –არ არის დამუშავებული შესაბამისი ლიტერატურა; დარგობრივი ტერმინოლოგია არ არის გამოყენებული;

***მსჯელობა და არგუმენტაცია – (0-14 ქულა)***

დოქტორანტის მსჟელობა ლოგიკურად გამართული და არგუმენტირებულია – 0-7 ქულა
დასკვნები ადეკვატურია – 0-7 ქულა.

***აგებულება – (0-8 ქულა)***

ნაშრომის შეიცავს შესაბამისად გამართულ სატიტულო გვერდს და სარჩევს – (0-1 ქულა)
ნაშრომის შეიცავს შესავალს, რომელშიც გამოკვეთილია კვლევის მიზანი, საგანი და მეთოდი – (0-4 ქულა)
ნაშრომის ბოლოს გამოიყოფა ლოგიკური დასკვნა – (0-2 ქულა)
ნაშრომს დართული აქვს შესაბამისად გამართული გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა – (0-1 ქულა)

***ფორმა და ენობრივი გამართულობა (0-3 ქულა):***

ნაშრომი ენობრივად გამართულია, მასში თითქმის არ გვხვდება ენობრივი შეცდომები – (0-1 ქულა)
ნაშრომში ადეკვატურადაა დამოწმებული ყველა ციტატა – (0-1 ქულა)
ნაშრომში დაცულია მართლწერისა და სასვენი ნიშნების გამოყენების წესები – (0-1 ქულა).

**პრეზენტაციის შეფასება ხელმძღვანელის მიერ – 10 ქულა**

მასალების გაფორმების ვიზუალური მხარე 0-5 ქულა
სასემინარო ნაშრომთან შესაბამისობა – 0-5 ქულა

**პრეზენტაცია – 40 ქულა**

***დარგობრივი ცოდნა – 28 ქულა:***

**21-28 ქულა** – დოქტორანტი ნათლად და გასაგებად გადმოსცემს საკითხთან დაკავშირებულ ძირითად ინფორმაციას; მისი მსჯელობა ლოგიკური და თანამიმდევრულია; დასკვნები ადეკვატურია.

**14-20 ქულა** – დოქტორანტი გადმოსცემს საკითხთან დაკავშირებულ ინფორმაციას; მისი მსჯელობა ლოგიკურია.

**7-13 ქულა** – დოქტორანტი საკითხთან დაკავშირებულ ინფორმაციას გადმოსცემს არასრულად; მისი მსჯელობა არათანამიმდევრულია.

**0-6 ქულა** –საკითხი სუსტად არის დამუშავებული.

***პრეზენტაციის ვიზუალური მხარე – 7 ქულა***

**6-7 ქულა** – დოქტორანტი კარგად ფლობს თანამედროვე კომპიუტერულ ტექნიკას. მაღალ დონეზე აქვს წარმოდგენილი საპრეზენტაციო მასალა

**4-5 ქულა** – დოქტორანტი ფლობს თანამედროვე კომპიუტერულ ტექნიკას. წარმოდგენილი საპრეზენტაციო მასალა საშუალო დონისაა.

**2-3 ქულა** – დოქტორანტი ფლობს თანამედროვე კომპიუტერულ ტექნიკას. წარმოდგენილი საპრეზენტაციო მასალა ღარიბია.

**0-1 ქულა** – დოქტორანტი სუსტად ფლობს თანამედროვე კომპიუტერულ ტექნიკას. წარმოდგენილი საპრეზენტაციო მასალა სრულად ვერ ასახავს დარგის / თემატიკის თანამედროვე მდგომარეობის კვლევის შედეგებს

***კომუნიკაცია აუდიტორიასთან – 5 ქულა***

აქვს მჭიდრო კონტაქტი აუდიტორიასთან 0-3 ქულა;
იცავს რეგლამენტს 0-2 ქულა.

**დოქტორანტის სასემინარო ნაშრომის საბოლოო შეფასება:** მაქსიმალური შეფასება100 ქულა, დადებითი შეფასება 51 ქულა.

**დანართი 3.**

## პრაქტიკის შეფასება / კრიტერიუმები

- პრაქტიკის ხელმძღვანელის სარეკომენდაციო წერილი შეფასებით - 40 ქულა (აფასებს დოქტორანტის აქტივობას, დამოუკიდებელი მოღვაწეობის უნარ-ჩვევებს, ცოდნას, ანგარიშს).

- საბოლოო ანგარიში და პრეზენტაცია ფიზიკის სადისერტაციო მუდმივმოქმედ დარგობრივ კომისიასთან - 60 ქულა (პრაქტიკის საგნის/თემატიკის აქტუალობა, მიზანი და ამოცანები, სამეცნიერო და პრაქტიკული მნიშვნელობა, მიღებული ცოდნა/უნარ-ჩვევები, შედეგები, პრეზენტაციის ვიზუალური მხარე, კომუნიკაცია აუდიტორიასთან)