

სადოქტორო პროგრამის სახელწოდება – არაწრფივი მოვლენების ფიზიკა.

მისანიჭებელი აკადემიური ხარისხი: ფიზიკის დოქტორი, PhD in Physics

პროგრამის ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი არჩილ უგულავა.

ზოგადი დახასიათება: სამყაროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების აღწერისას დასაწყის ეტაპზე უკიდურესად სტაბილურ მდგომარეობათა აღწერით იფარგლებოდნენ. შემდგომ კი, ფიზიკის ბუნებრივმა განვითარებამ მიგვიყვანა პრინციპულად დინამიკური პრობლემის შესწავლამდე, ისეთებამდე, როგორც არის ერთი სტაბილური მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლა, ბმული მდგომარეობების დაშლა და/ან წარმოქმნა (ატომბირთვების, ატომების, ვარსკვლავთა და გალაქტიკათა) და ა.შ. ასეთ “დინამიკურ დონეზე” ფიზიკურ მოვლენათა შესწავლის სირთულე ადრეულ პერიოდში აიძულებდა მკვლევარებს გამოეყენებინათ სტაბილურ მდგომარეობათა სუსტი ველებით გამოწვეული სუსტი შემფოთებები. ასეთი გზით ვითარდებოდა ფიზიკის ისეთი მიმართულებები, როგორცაა ოპტიკა, აკუსტიკა, ელექტროდინამიკა და სხვა. ამგვარი მიდგომის ჩამოყალიბების მთავარი მიზეზი კი იყო ის, რომ ექსპერიმენტატორთა ხელთ იყო მხოლოდ სუსტი ველები (ოპტიკური, აკუსტიკური და ა.შ.).

შედეგად მივიღეთ, რომ სუპერპოზიციის პრინციპები, ანუ წარმოდგენა იმის შესახებ, რომ მიზეზთა ადიტიურობას მივყავართ შედეგთა ადიტიურობამდე, იქცა მიღებული და ბევრმა ჩათვალა ფიზიკური პროცესების გადაწყვეტის უნივერსალურ საშუალებად. ამგვარ პრობლემათა გადაჭრისას გამოიყენებოდა წრფივი (უფრო ზუსტად გაწრფივებული) დინამიკური მოდელები. ჯერ კიდევ მაშინ ნათელი იყო ამგვარი “წრფივი ფიზიკის” შეზღუდულობა და რომ მის “ბატონობას” ფიზიკაში დიდი დრო არ ეწერა.

გასული საუკუნის დასაწყისში მდგომარეობა ძირფესვიანად შეიცვალა – არაწრფივი პრობლემების რიცხვი, რომელთა გადაჭრის გადავადება აღარ შეიძლებოდა -- “ზვავისებურად” იზრდებოდა. თუ ადრე ეს პირობები დაკავშირებული იყო ძირითადად არაწრფივ მექანიკასთან (მაგ. სამი სხეულის ამოცანა), ოცდაათიან წლებში ამგვარ პრობლემათა გადაჭრა გადაუდებელი გახდა აკუსტიკაში, მყარი სხეულების ფიზიკაში, სტატისტიკურ ფიზიკაში და განსაკუთრებით კი იმხანად ახლად მოვლენილ რადიოტექნიკასა (ელექტრომაგნიტურ რხევათა გენერატორები და დეტექტორები) და მართვის ავტომატურ სისტემებში. მაგრამ იმხანად ფიზიკის სხვადასვა მიმართულებათა ამგვარი “არაწრფივი სირთულეები” ითვლებოდა ყოველი მიმართულებისთვის სპეციფიურად და არ ჩქარობდნენ შეექმნათ არაწრფივი ფიზიკის ზოგადი თეორიული მიდგომები.

მხოლოდ გასული საუკუნის 30-ან წლებში ჯეროვანი ყურადღება მიექცა ისეთ ფიზიკურ მოვლენებს, როდესაც დაიშორება არაადიტიური გამოძახილი ადიტიურ ზემოქმედებებზე (ანუ როდესაც საკითხის წრფივი გადაწყვეტები მიუღებელია) და რომ ასეთი სიტუაციები არის არა იშვიათი გამონაკლისი, არამედ პირიქით, გვხვდება ყოველ ნაბიჯზე. სხვადასხვა მიმართულების ფიზიკოსთა შორის თანდათან გამომუშავდა “არაწრფივი აზროვნება”, რასაც მოჰყვა არაწრფივი რხევების თეორიის შექმნა, რომელიც ინგლისურენოვან ქვეყნებში მოიხსენიება როგორც არაწრფივი დინამიკა ან უფრო ზოგადად – არაწრფივი მოვლენების ფიზიკა.

არაწრფივი მოვლენების თეორიის შექმნის სათავეებთან იდგნენ ა. პუანკარე, ვან-დერ-პოლი, ლ.ი. მანდელშტამი, ა.ა. ანდრონოვი. არაწრფივი რხევების თეორია განზოგადებული და მწყობრი მათემატიკური ფორმით წარმოადგინეს ნ.ნ. ბოგოლუბოვმა და მისმა მოწაფეებმა.

ბევრ ფიზიკოსს იმხანად საკვებით ბუნებრივად შესაძლებლად მიაჩნდა წრფივი ფიზიკის ფორმალური მეთოდების გადატანა ახლად წარმოშობილი არაწრფივი ამოცანების ამოსახსნელად. პრობლემები, რომელთა აღწერა შესაძლებელია სუსტად ურთიერთქმედ წრფივი ობიექტების “ენაზე” შეადგენენ კვაზიწრფივი (სუსტად არაწრფივი) ფიზიკის საგანს. ქვემოთ მოყვანილი სამეცნიერო მიმართულებები რადიოტექნიკა, მართვის ავტომატური სისტემები, აგრეთვე არაწრფივი ოპტიკა (ოპტიკური ჰარმონიკების გენერაცია, ლაზერებში კოჰერენტული გამოსხივების გენერაცია, სინათლის თვითფოკუსირება), პლაზმური არამდგრადობანი (დაშლითი და მოდულაციური არამდგრადობანი, ლანდაუს არაწრფივი

მიღება და გაძლიერება), სუსტი ჰიდროდინამიკური ტურბულენტობა და ა.შ. სწორედ კვაზიწრფივ სისტემებს განეკუთვნებიან.

ჭეშმარიტად არაწრფივი (და არა კვაზიწრფივი) მოვლენები წარმოიშვა კვაზიწრფივი მოვლენების სივრცეში მის შემდეგ, რაც ექსპერიმენტულად მისაღწევი გახდა იმდენად ძლიერი ზემოქმედების ველები, რომლებსაც უკვე ვეღარ ჩაითვლებოდნენ წრფივი სისტემის მცირე შეშფოთებად.

როდესაც ვიხილავთ მაკროსკოპულად დიდი რაოდენობის სუსტად ურთიერთქმედ “თითქმის წრფივ” ოსცილატორების ანსამბლს, ტრადიციული წარმოდგენების შესაბამისად შესაძლებელია a priori ამგვარ კვაზიწრფივ სისტემებში მოველოდეთ მახასიათებელ სიდიდეთა შემთხვევით ყოფაქცევას. ამგვარი დაშვება, გამოხატული შესაბამისი ჰიპოთეზის მეშვეობით (მაგალითად ცალკეულ ოსცილატორთა ფაზების ქაოტიზაციის ჰიპოთეზა), საშუალებას გვაძლევს შემოვიღოთ სისტემის სტატისტიკური აღწერა და ვიხელმძღვანელოთ სისტემის გასაშუალოებული მახასიათებელი სიდიდეებით. აღვნიშნოთ, რომ ასეთი განხილვისას მართალია არ ფიგურირებს “ძლიერი არაწრფივობა”, მაგრამ არ არის არც დინამიკური სტოქასტიზაცია. აქ არ გამოიკველება შემთხვევითობის წარმოქმნის მექანიზმები, იგი ჰიპოთეზის საშუალებით არის შენიღბული.

დინამიკური სისტემების სტოქასტური ყოფაქცევა სრულებითაც არ არის მრავალ დამოუკიდებელ მოძრაობათა ზედდების შედეგი. ეს მოვლენა აგრეთვე არ არის დამოკიდებული სტოქასტიზაციის შესახებ იმ გავრცელებულ წარმოდგენაზე, რომელიც ასოცირდება სისტემის მახასიათებელი სიდიდეების a priori-ულ მიახლოებით ცოდნასთან ან მათი ზუსტად ცოდნის შეუძლებლობასთან.

სიტყვათა გაერთიანება “დინამიკური სტოქასტიზაცია” ბევრ ჩვენგანს შეიძლება მოეჩვენოს წინააღმდეგობის შემცველად. მართლაც, სიტყვა “დინამიკა” გაიგება როგორც სისტემის ევოლუციის სრულიად დეტერმინირებული პროცესი, რომლის წარსული და მომავალი ცალსახად განისაზღვრება მოძრაობის განტოლებებით და საწყისი პირობებით. თუ სისტემა შედგება მრავალი დამო-უკიდებელი ქვესისტემისაგან, სტატისტიკური მიდგომა შეიძლება გაგებულ იქნას როგორც რთული, მაგრამ არსით არაშემთხვევითი მოძრაობა. მაგრამ მარტივ სისტემებში (მაგალითად ორი ურთიერთქმედი არაწრფივი ოსცილატორი) შესაძლებელია თუ არა სტოქასტური მოძრაობა? ბევრისთვის დღესაც მოულოდნელი აღმოჩნდება დადებითი პასუხი. მოძრაობა, რომელიც არაფრით არ განსხვავდება ჭეშმარიტად ქაოსურისაგან არის ძლიერად არაწრფივი დეტერმინირებული სისტემის კერძო შემთხვევა. ფიზიკურად ეს ნიშნავს შემდეგს: დავუშვათ, რომ ყოველი დეტერმინირებული ტრაექტორია არამდგრადია. ეს თავის მხრივ გამოიწვევს საწყისი პირობების შესახებ ინფორმაციის სრულ დაკარგვას, რაგინდ დიდი სიზუსტითაც არ უნდა მოიცემოდეს.

ასე, რომ სტოქასტურობა, ანუ დინამიკური სისტემის შემთხვევითი მოძრაობა არის ტრაექტორიათა არამდგრადობის შედეგი. ამგვარი ტრაექტორიების არსებობის დამტკიცება და სტატისტიკური თვისებების განსაზღვრა მოითხოვს არაწრფივი სისტემის დამახასიათებელი მოძრაობის დეტალურ შესწავლას. გასული საუკუნის 70-80-იან წლებში ჩამოყალიბდა მკაფიო წარმოდგენა სტოქასტურ მოძრაობაზე და მის კავშირზე მცირე თავისუფლების ხარისხის მქონე არაწრფივ სისტემებთან. განვითარების ამ გზაზე მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა აგრეთვე ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების საშუალებით ჩატარებულმა რიცხვითმა ექსპერიმენტებმა.

აღსანიშნავია, რომ არაწრფივ დინამიკურ სისტემების ქაოტიზაციასთან დაკავშირებული რიცხვითი ექსპერიმენტი იყო ერთ-ერთი პირველი სხვა რიცხვით ექსპერიმენტთა შორის. ფერმიმ, პასტამ და ულამმა დღეს უკვე უკიდურესად დაძველებულ, პირველი თაობის გამომთვლელ მანქანაზე ჩატარეს რიცხვითი ექსპერიმენტი ოსცილატორთა ჯაჭვში ენერჯის გადანაწილების (ანუ თერმალიზაციის) შესწავლის მიზნით. შემთხვევით აღმოჩნდა, რომ სისტემა, რომელსაც ისინი შეისწავლიდნენ იყო ინტეგრებადი და ამიტომ თერმალიზაცია არ იქნა დამზერელი. მიღებული შედეგი ამსხვრევდა იმ წარმოდგენებს, რომ ნებისმიერი მრავალრიცხოვანი სუსტად არაწრფივად ურთიერთქმედი სისტემა

სტოქასტიზირებადი უნდა ყოფილიყო. ამიტომ მიღებული უარყოფითი შედეგი თავის დროზე პარადოქსად იყო აღქმული.

არაწრფივი რხევები ყველაზე მარტივად წარმოიშვება მათემატიკურ საქანში ტვირთის საკმაოდ დიდი, მაგრამ საქანის სიგრძესთან შედარებით მცირე გადახრისას. წარმოქმნილი რხევები კვაზიწრფივი (ანუ სუსტად არაწრფივი) რხევები იქნება. მაგრამ საქანის მიმართ ჩვენი ყურადღება სხვა მიზეზით იქნება გამოწვეული. კერძოდ იმით, რომ საქანი ხასიათდება მოძრაობის ორი რეჟიმით: რხევითი რეჟიმით და ბრუნვითი რეჟიმით. ფაზურ სივრცეში პირველი მათგანი ხასიათდება ჩაკეტილი ფინიტური, ხოლო მეორე კი ტალღური ფორმის ინფინიტური მრუდებით. სხვადასხვა ტოპოლოგიის მქონე ეს მრუდები ერთმანეთისაგან განცალკევდება სასაზღვრო მრუდით, რომელსაც სეპარატრისა ეწოდება. ძლიერი არაწრფივობა, და აქედან გამომდინარე არამდგრადობაც, სწორედ სეპარატრისის მახლობლობაში წარმოიქმნება. კომპიუტერული სიმულაციის საშუალებით ნაჩვენები იქნა, რომ დინამიკური სტოქასტურობა წარმოიქმნება სეპარატრისის მახლობელ ტრაექტორიის თუნდაც სუსტი და ნელაცვლადი ძალით სეშფოთებისას. ამ შემთხვევაში ქაოსის ვიზუალიზაცია შესაძლებელია იმ წერტილთა სიმრავლით, რომელიც მიიღება შემფოთებული ფაზური ტრაექტორიის სეპარატრისისთან მრავალჯერადი გადაკვეთისას. როგორც ვხედავთ, აღნიშნული ქაოსურ წერტილთა სიმრავლე წარმოიშვება სრულიად დეტერმინირებული მექანიკური ამოცანის ამოხსნის პროცესში. იმ შემთხვევაში თუ შეუშფოთებელ ტრაექტორიას არ ავიღებთ სეპარატრისისთან ახლოს, მაშინ ზემოაღნიშნული ქაოსურ წერტილთა სიმრავლე (ე.ი. შემფოთებული ტრაექტორიის შეუშფოთებელთან თანაკვეთის წერტილთა სიმრავლე) რეგულარულ წერტილთა სიმრავლედ გადაიქცევა.

პროგრამის მიზანი: პროგრამის ძირითადი მიზანია საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისი, მაღალი კვალიფიკაციის მქონე სპეციალისტების მომზადება ფიზიკის არაწრფივი მოვლენების, კლასიკურ და კვანტურ სისტემებში ქაოსის წარმოშობისა და აღწერის დარგში. ამ პროცესში, პირველ რიგში გათვალისწინებული იქნება საქართველოში აღმოცენებული იმ სამეცნიერო სკოლების გამოცდილება, რომელთა წვლილიც აღიარებულია საერთაშორისო დონეზე.

ჩვენი უნივერსიტეტის დაბალი ტემპერატურების ფიზიკის ლაბორატორია აკად. გ. ხუციშვილის, აკად. თ. სანაძის და აკად. ლ. ბუიშვილის ხელმძღვანელობით მაგნიტური რეზონანსის პრობლემებზე დიდი ხნის განმავლობაში მუშაობდა. თავად ლ. ბუიშვილი, იყო რა კონდენსირებული გარემოს მაგნიტური მოვლენების ფიზიკის სპეციალისტი, არაწრფივი მექანიკისადმი დიდი ინტერესი და საკმაოდ ღრმა ცოდნა გააჩნდა – შეიძლება ითქვას, რომ არაწრფივი მექანიკა მისი სამეცნიერო “ჰობი” იყო. ეს გასაგები გახდება, თუ გავიხსენებთ, რომ ლ. ბუიშვილი ნ.ნ. ბოგოლუბოვის მოწაფის (პროფ. დ.ნ. ზუბარევის) მოწაფე იყო. ასეთი გზით იქცა ლ. ბუიშვილის “სამეცნიერო შთამომავლობის” ერთ ნაწილში არაწრფივი მექანიკა და მისი ტერმინოლოგია: ჯერადი ჰარმონიკები, მცირე მნიშვნელები, სეპარატრისა, ასიმპტოტიკური მიახლოება, ნელა ცვლადი ამპლიტუდების მეთოდი და ა.შ. კარგად ნაცნობ (ზოგიერთისთვის კი ძირითად) სამეცნიერო მიმართულებად. ამ თემაზე საგანდებოდ იმიტომ მიხდება საუბარი, რომ არაწრფივი მექანიკა ათწლეულების განმავლობაში, საუნივერსიტეტო პროგრამის მიხედვით მხოლოდ რადიოტექნიკის ჯგუფებისთვის ისწავლებოდა, რომლებიც სტუდენტთა სრული კონტინენტის უკიდურეს უმცირესობას წარმოადგენდნენ.

დაბალ ტემპერატურებზე (ჰელიუმის ტემპერატურაზე) ზოგიერთ პარამაგნიტურ სისტემაში (მაგ. ბირთვული მაგნიტური რეზონანსი ანტიფერომაგნიტურ $MnCO_3$ -ში) წარმოიქმნება რეზონანსული სიხშირის ე.წ. დინამიკური წანაცვლება (წანაცვლება, რომელიც გასწვრივი დამაგნიტებულობის პროპორციულია), რაც მაგნიტური რეზონანსის ამოცანას არაწრფივ ამოცანად აქცევს. დინამიკური წანაცვლება მაგნიტური რეზონანსის გაჯერების პროცესში იწვევს რეზონანსის აშლას, რაც ამნელებს რეზონანსის გაჯერებას. ამ სირთულის დასაძლევად ჩვენს მიერ შეთავაზებული იყო ე.წ. სტოქასტური გაჯერების მეთოდი. ეს

უკანასკნელი ხორციელდება მონოქრომატული დატუმბვის ნაცვლად რადიოსიხშირულ იმპულსთა პერიოდული სისტემით შეცვლით (პოლიქრომატული დატუმბვა). არაწრფივ პარამაგნიტურ სისტემაზე ამგვარი ზემოქმედების დროს ხორციელდება პრეცესიის სიხშირის “ხეტიალი” დატუმბვის სიხშირულ სპექტრში და შედეგად სპინ-სისტემა უწყვეტად შთანთქავს ენერგიას, რაც საბოლოოდ იწვევს მაგნიტური რეზონანსის გაჯერებას. ჩვენს მიერ იქნა დადგენილი სტოქსატური გაჯერების კრიტერიუმი (ანუ ის მოთხოვნები, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდნენ პერიოდულ იმპულსთა თანამიმდევრობის პარამეტრები, რათა განხორციელდეს რეზონანსის სტოქსატური გაჯერება).

ჰელიუმის პარამაგნიტური იზოტოპი He^3 ზედაბალ ტემპერატურაზე ($T \sim 10^{-3} K$) გადადის ზედენად ფაზაში, რომელიც თავის მხრივ ორი განსხვავებული ფაზისაგან შედგება. ამგვარ დაბალ ტემპერატურებზე აქაც წარმოიქმნება ბირთვული მაგნიტური რეზონანსის სიხშირის დინამიკური წანაცვლება. ჩვენს მიერ შესწავლილ იქნა სიხშირის დინამიკური წანაცვლებით გამოწვეული ქაოსური მოძრაობა, მიღებულ იქნა ქაოსის წარმოქმნის კრიტერიუმი, განხორციელდა ამგვარი ქაოსური მოძრაობის სტატისტიკური აღწერა. აღსანიშნავია, რომ იზოტოპი He^3 გამოიყენება კოსმოსურ ხომალდებზე, როგორც რადიოსიხშირული სიგნალების მიმღები და გამომსხივებელი. აქ იგი ზედენად ფაზაში იმყოფება. სიხშირის დინამიკურმა წანაცვლებამ შეიძლება გამოიწვიოს ზედენადი He^3 -ის დამაგნიტების სტოქსატური მოძრაობა და ამიტომ რადიოსიხშირული იმპულსების სერიაზე გამოძახილი ჩვეულებრივ ხმაურთან შეიძლება იქნას გაიგივებული (შერეული). ამიტომ ჩვენს მიერ მიღებული ქაოსის კრიტერიუმი ამ შემთხვევაში გვეუბნება თუ როგორი უნდა იყოს იმპულსთა პერიოდული სერიის პარამეტრები, რომ მისი გამოყენება შესაძლებელი იყოს კოსმოსურ ხომალდებთან რადიოკავშირის დასამყარებლად.

ამ პერიოდში დინამიური სტოქსატურობის მიმართულებით ჩვენს მიერ შესრულებულმა ნაშრომებმა ჩვენში საბოლოოდ ჩამოაყალიბეს არაწრფივი მოვლენების “ერთგული” მიმდევრები, რაც სათანადოდ აისახა ჩვენს შემდგომ საქმიანობაში. ჩვენი შესწავლის საგანი სწორედ არაწრფივი სისტემების შესწავლა იქნება – როგორც მდგრად ასევე ქაოსურ, როგორც კლასიკურ ასევე კვანტურ სისტემებში.

პროგრამით გათვალისწინებული კვლევების დროს აქცენტირება გაკეთდება რიცხვითი თვლების წარმოების უნარ-ჩვევების შექმნაზე, რათა გარდა მოცემული ფიზიკური სპეციალობისა დოქტორანტი დახელოვნდეს სხვადასხვა ტიპის რიცხვით გამოთვლებში.

პროგრამის მიმართულება – სადოქტორო პროგრამა წარმოდგენილი იქნება ორი ძირითადი მიმართულებით:

1. ძლიერ - არაწრფივი რეზონანსის მოვლენა კვანტურ სისტემებში.

კვლევების მიზანია:

რეზონანსის მოვლენა ძლიერ-არაწრფივად მერხვეი კლასიკური სისტემებისათვის შესწავლილია საფუძვლიანად. სისტემის ქმედება თავად “პოულობს” მის იმ მნიშვნელობას, რომლისთვისაც მდგრადი რეზონანსის რეჟიმი ხორციელდება. ღქმედების მცირე გადახრები (როგორც სტაციონარული ისე დროზე დამოკიდებული), მისი ამ რეზონანსული მნიშვნელობიდან კლასიკურ მექანიკაში აგრეთვე კარგადაა შესწავლილი. ჩვენი მიზანია ამ გადახრების კვანტური შესწავლა. ასეთ კვანტურ გადახრებს (ფლუქტუაციებს) რთული კვანტური არაექვიდისტანტური სპექტრი ახასიათებს, რომელიც ქაოსური განაწილებით ხასიათდება.

ჩვენ გვანტერესებს აგრეთვე ფერმი, პასტა, ულამის კვანტური პრობლემა. აქ ჩვენი მიზანია დავადგინოთ თუ რა არის ის მინიმალური რაოდენობა ოსცილატორებისა “კვანტურ ჯაჭვში”, რომელიც საკმარისია ამ სისტემაში ფაზების ქოტიზაციისათვის (თერმალიზაციისათვის).

2. კვანტური ქაოსის გამოვლინებანი სხვადასხვა ფიზიკურ პროცესებში.

კვლევების მიზანია:

კლასიკური მექანიკა მთლიანად ეფუძნება ტრაექტორიის ცნებას, დინამიკური სტოქს-ტურობა კი ტრაექტორიათა არამდგრადობას. კვანტურ მექანიკაში კი ჰაიზენბერგის პრინციპის არსებობის გამო ტრაექტორიის ცნება აზრს კარგავს და უკვე ამ ერთი მიზეზის გამო გაუგებარი ხდება თუ რა უნდა იყოს დინამიკური სტოქსტურობის კვანტური ანალოგი.

კვანტური მექანიკა იმთავითვე შეიქმნა როგორც მიკროსკოპული ბმული სისტემის (მაგ. ატომის) მექანიკა. ამიტომ კვანტურ მექანიკაში არამდგრადობა მხოლოდ ხელოვნურად შეიძლება იქნას შეტანილი. კვანტური მექანიკის ძირითადი განტოლება – შრედინგერის განტოლება წრფივი განტოლებაა ტალღური ფუნქციის მიმართ. ამიტომ ადვილი გასაგებია, რომ არაფრის მომტანი იქნება ემებო ტალღურ ფუნქციათა ევოლუციის ისეთი არამდგრადობა, როგორც ეს კლასიკური ტრაექტორიებისთვის იყო დამახასიათებელი.

ჩვენი კონცეფცია, რომელიც კვანტურ ქაოსს ეხება, მოსახერხებელია მათემატიკური საქანის მაგალითზე იქნას ახსნილი. განვიხილავთ შრედინგერის განტოლებას, რომელიც მათემატიკური საქანის ჰამილტონიანისთვის იქნება დაწერილი. ასეთ საქანს კვანტურ საქანს უწოდებენ. კვანტური მექანიკის მრავალი ამოცანა დაიყვანება კვანტური საქანის ამოცანაზე. ჩვენ უფრო დავაკონკრეტებთ და არაწრფივი რეზონანსის ამოცანის შემთხვევაზე შევჩერდებით, რომელიც ე.წ. უნივერსალურ ჰამილტონიანზე დაიყვანება. ჩვენი კონცეფცია კვანტური ქაოსის წარმოშობის შესახებ თეორიული ნაშრომია და, ამიტომ, ისევე როგორც ყველა თეორია, მოითხოვს ქსპერიმენტულ დასაბუთებას. აქედან გამომდინარე, ჩვენი მომავალი მუშაობის მიზანია ისეთი რეალური ფიზიკური სიტუაციების მოძებნა, შემდეგ კი ჩვენი თეორიის ამ სიტუაციებისათვის “მორგება”, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება კვანტური ქაოსის ექსპერიმენტული გამომჟღავნება. ამ მიზნით ჩვენ შევისწავლით მრავალატომიანი მოლეკულების შინაგან ტორსიალურ მოძრაობას. ანალოგიური ორი, ერთი მეორეში გარდამავალი რეჟიმი ახასიათებს აგრეთვე იზომერიზაციის უნარის მქონე მოლეკულებს (მაგ. $Li-SN \leftrightarrow SN-Li$). ჩვენ ვაპირებთ კვანტური ქაოსის დამზერის პირობები შევისწავლოთ ამ საინტერესო ქიმიური რეაქციისათვის.

კურსდამთავრებულის კვალიფიკაცია, ცოდნა და კომპეტენციები – იმისათვის, რომ დოქტორანტურის კურსის გავლის შემდეგ პიროვნება ჩამოყალიბდეს როგორც მაღალკვალიფიციური სპეციალისტი, აუცილებელია რათა მან გაიაროს შესაბამისი სპეციალური კურსები, ანუ დააგროვოს აუცილებელი რაოდენობის კრედიტები.

სადოქტორო პროგრამის სპეციალური კურსების დასახელება (სტუდენტმა უნდა დააგროვოს 50-60 ESTC კრედიტი):

1. სწავლების თანამედროვე მეთოდები – 10 კრედიტი (სავალდებულო);
2. საუნივერსიტეტო სასწავლო კურსები – 10 კრედიტი (არჩევითი);
3. პროფესორის ასისტენტობა – 10 კრედიტი (სავალდებულო);
4. სპეციფიკური დარგობრივი კურსი I: “არაწრფივი მექანიკა” – 10 კრედიტი (სავალდებულო);
5. სპეციფიკური დარგობრივი კურსი II: “არაწონასწორული სტატისტიკური ფიზიკა” – 10 კრედიტი (სავალდებულო);
6. დოქტორანტის კოლოკვიუმი I – 5 კრედიტი (სავალდებულო);
7. დოქტორანტის კოლოკვიუმი II – 5 კრედიტი (სავალდებულო);

პროგრამის ფარგლებში დოქტორანტის განკარგულებაში იქნება:

- პერსონალური კომპიუტერები;
- ელექტრონული ბიბლიოთეკა და მონაცემთა ბაზები;
- პროგრამული უზრუნველყოფა (Matlab, Matemática, Maple, etc.).

შედეგი: ი. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მქონე პიროვნება უნდა იყოს ჩამოყალიბებული მეცნიერი, რომელსაც შეეძლება არა მარტო დამოუკიდებლად განაგრძოს სამეცნიერო მოღვაწეობა, არამედ იყოს კვალიფიციური პედაგოგიც. სახელდობრ, მას უნდა ჰქონდეს უნარი, რათა ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სტუდენტებს წაუკითხოს ლექციები საკმარისად მაღალ დონეზე. მომავალ დოქტორს შეეძლება მოღვაწეობა გააგრძელოს არაწრფივი მოვლენების ფიზიკის, კლასიკურ და კვანტურ სისტემებში ქოასის წარმოშობისა და აღწერის მიმართულებების მქონე სამეცნიერო დაწესებულებებში, საქმიანობაში, რომელშიც ინტენსიურად იქნება გამოყენებული რიცხვითი თვლები. მიღებული სამეცნიერო გამოცდილების გათვალისწინებით მომავალ დოქტორს უნდა შეეძლოს 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.

წარმოდგენილ პროექტში, ზემოთ მოყვანილი თემების მიხედვით, შეიძლება ორი დოქტორანტის მიღება