



## საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია

ქართული ენციკლოპედიის ი. აბაშიძის სახელობის მთავარი სამეცნიერო რედაქცია

### ველის კვანტური თეორია

ველის კვანტური თეორია, კ ვ ა ნ ტ უ რ ი ვ ე ლ ე ბ ი ს თ ე ო რ ი ა, უსასრულო რაოდენობის თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემების, ანუ ფიზიკური ველების, კვანტური თეორია; წარმოიშვა როგორც კვანტური მექან. განზოგადება ელემენტარულ ნაწილაკთა დაბადების, შთანთქმისა და ურთიერთგარდაქმნების პროცესების აღსაწერად. მას ფართოდ იყენებენ აგრეთვე კონდენსირებული გარემოს, ატომბირთვისა და მიკროსამყაროს ფიზ. სხვა დარგებში. ვ. კ. თ. კვანტური სისტემების შესწავლის ძირითადი თეორ. მეთოდია. ვ. კ. თ-ის ზოგადი და უპირველესი ამოცანაა ფიზ. ველების დაკვანტვა. ნაწილაკთა ცვლადი რიცხვის მქონე სისტემების დაკვანტვის მეთოდი („მეორეული დაკვანტვა“) შემოთავაზებულ იქნა ინგლ. ფიზიკოსის პ. დირაკის მიერ (1927). იგი მნიშვნელოვნად განავითარა საბჭოთა ფიზიკოსმა ვ. ფოკმა (1932). პირველი დასრულებული ვ. კ. თ. იყო კვანტური ელექტროდინამიკა – ელექტრონულ-პოზიტრონული და ფოტონური ველების ურთიერთქმედების კვანტური თეორია. რელატივისტურად კოვარიანტული სახით იგი ჩამოყალიბდა XX ს. 40-იანი წწ. დასასრულს იაპონელი ფიზიკოსის ს. ტომონაგას, ამერ. ფიზიკოსების ჯ. შვინგერის, რ. ფეინმანის, ფ. ჯ. დაისონისა და სხვათა ფუნდამენტური გამოკვლევების შედეგად. ს ა ქ ა რ თ ვ ე ლ ო შ ი ვ. კ. თ-ის პრობლემებით დაინტერესება XX ს. 50-იანი წწ-იდან იწყება. კვლევები მიმდინარეობდა თსუ-ში (ამჟამად ივ. ჯავახიშვილის სახ. თსუ), თსუ-ის მაღალი ენერგიების ფიზ. ინ-ტში, საქართვ. მეცნ. აკად. ე. ანდრონიკაშვილის სახ. ფიზ. ინ-ტსა და საქართვ. მეცნ. აკად. ა. რაზმაძის სახ. მათ. ინ-ტში. შესწავლილ იქნა ვაკუუმის პოლარიზაციის საკითხები არანრფივი ველის თეორიის მოდელებში, მისი გავლენა ნუკლონებისა და მეზონების ურთიერთქმედებაზე (მ. მირიანაშვილი), კრიტიკულად გაანალიზდა რენორმირებული მუხტის სასრულობის პრობლემა სხვადასხვა მიახლოებითი მეთოდის გამოყენების არეში როგორც ზოგადი დისპერსიული წარმოდგენებით (მ. მირიანაშვილი), ისე კვანტური ელექტროდინამიკის ფუნქციონალური ფორმულირების საფუძველზე (ნ. პოლიევქტოვ-

ნიკოლაძე). ჩატარდა მაკროსკოპულ გარემოში კვანტური ელექტროდინამიკის ფორმულირების ერთ-ერთი პირველი ცდა (ნ. პოლიევქტოვ-ნიკოლაძე). ნუკლონებზე - მემონების ფოტოდაბადების პროცესებისთვის დისპერსიულ თანაფარდობათა დამტკიცების საფუძველზე შეიქმნა ამ პროცესთა თეორია (ა. თავხელიძე, ა. ლოგუნოვი). მნიშვნელოვანი შედეგებია მიღებული  $\pi$ -მემონებისა და ნუკლონების სტატ. მოდელების დაკვანტვაში (ა. თავხელიძე). პრინციპული მნიშვნელობა აქვს ვ. კ. თ-ში ბმული მდგომარეობების შესწავლის კვანტიზაციის მეთოდს (ა. თავხელიძე, ა. ლოგუნოვი). ეს მეთოდი განაზოგადებს ორი ნაწილაკის ურთიერთქმედების პოტენციალის ცნებას, ამასთან თანხმობაშია რელატივისტური კვანტური თეორიის ყველა ძირითად პრინციპთან და ამავე დროს საშუალებას იძლევა ორი ნაწილაკის ამოცანა ჩამოვაცალიბოთ სამგანზომილებიანი ფორმით. მიღებულია ერთდროიანი კვანტიზაციის განტოლებები ფერმიონებისათვის და შესწავლილია მათი თვისებები უსასრულოდ ზრდადი გულების შემთხვევაში (ა. ხელაშვილი). ჩამოყალიბებულია ბმული მდგომარეობის ამოცანა ნულოვანი სიბრტყის ვ. კ. თ-ში, რაც ბუნებრივად აღწერს ჰადრონთა კვარკ-გლუონურ შედგენილ მოდელს სინათლის ფრონტის ცვლადადში (ვ. გარსევანიშვილი, ა. თავხელიძე, ა. კვინიხიძე, ზ. მენტეშაშვილი, ლ. სლუჰინკო, ა. ხელაშვილი). განზოგადებულია კვანტიზაციის მეთოდი სამ- და მრავალნაწილაკოვანი სისტემებისათვის (ა. თავხელიძე, ა. კვინიხიძე, ა. ხელაშვილი), შესწავლილია კვანტიზაციის განტოლებების ამონახსნთა თვისებები სინგულარული პოტენციალების გამოყენებისას (ვ. გოგოხია). ვ. კ. თ-ის უზოგადეს აქსიომებზე დაყრდნობით წამოყენებულ იქნა ე. წ. ავტომოდელობის პრინციპი (ა. თავხელიძე და სხვ.), რაც ხსნის ღრმად არადრეკად და ინკლუზიურ პროცესებში დამზერილ მასშტაბურ თვისებებს. შედგენილი ნაწილაკების ფორმფაქტორებისთვის ამ პრინციპის მიყენებით დადგინდა მათი ასიმპტოტური ქცევის დამოკიდებულება შემადგენელ ნაწილაკთა რაოდენობაზე - ე. წ. კვარკული თვლის წესი (ა. თავხელიძე და სხვ.). ამ წესის გამოყენებით მიღებულ იქნა დიდი განივი იმპულსების გადაცემით მიმდინარე ინკლუზიური და ექსკლუზიური პროცესების კვითები (ა. თავხელიძე, ლ. სლუჰინკო). ნულოვან სიბრტყეზე კვანტიზაციის ფორმულირების საფუძველზე დასაბუთებულია კვარკული თვლის წესები ვ. კ. თ-ში (მ. მარგველაშვილი, ა. ხელაშვილი), ნაპოვნია კვანტურ-ქრომოდინამიკური შესწორებები (ლ. სლუჰინკო და სხვ.). მათემატიკურად მკაცრი ინტეგრალური წარმოდგენების გამოყენებით შესწავლილია ფორმფაქტორთა ავტომოდელური ქცევა (ა. თავხელიძე, ა. კვინიხიძე, ბ. მაღრაძე). კვარკებისთვის „ფერის“ შემოღებისა (ა. თავხელიძე, ნ. ბოგოლიუბოვთან და ბ. სტრუმინსკისთან ერთად) და კვანტური ქრომოდინამიკის წარმატებების შედეგად დიდი ყურადღება მიექცა არააბელური ყალიბრული თეორიების პრინციპული საკითხების შესწავლას. გამოკვლეულია გლუონის პროპაგატორის ინფრანითელი ქცევა და მიღებულია შვინგერ-დაისონის განტოლებათა ცხადი ამონახსნი, რ-იც შეესაბამება კვარკონიუმების სპექტრებში დამზერილი წრფივად ზრდადი და კულონური პოტენციალების სუპერპოზიციას (ლ. ვანნაძე, ნ. კიკნაძე, ქ. ნატროშვილი, ა. ხელაშვილი, ვ. ხმალაძე). გლუონის ასეთი პროპაგატორის გამოყენებით შესწავლილია კვარკის პროპაგატორის ანალიზური თვისებები (ვ. გოგოხია) და გლუონური და კვარკული კონდენსატები (ქ. ნატროშვილი, კ.

ტურაშვილი, ა. ხელაშვილი, ვ. ხმალაძე). შესწავლილია აგრეთვე ეფექტური კირალური ლაგრანჟიანების რენორმირების საკითხები სიმეტრიის დარღვევის შემთხვევისათვის და მიღებულია დაბალი ენერგიების ზღურბლური თეორემების შესწორებები კირალური სიმეტრიის ზღვარში (ა. ხელაშვილი, ვ. ხმალაძე). შესწავლილია ყალიბრული და კირალური ველების დაკვანტვის საკითხები სინგულარული ლაგრანჟიანების ზოგადი კლასებისათვის (ს. გოგილიძე, მ. ელიაშვილი, ფ. ტყეხუჩავა, ნ. ჩიტაია), ნულოვანი მოდების პრობლემები (ნ. კიკნაძე, გ. ჩეჩელაშვილი) და კოლექტური ცვლადების გამოყენების საკითხი ძლიერი ბმის თეორიების დაკვანტვისას (ა. შურღაია). p-მეზონების ელექტროდაბადების შექცეული პროცესებისათვის დამტკიცებულია კვანძობლური თეორემა და ნაჩვენებია კირალური დენების ალგებრის გამოყენების შესაძლებლობა სუსტი და ელექტრომაგნ. რეაქციებისათვის რეალური ზღურბლიდან დაშორების შემთხვევაში (ფ. ტყეხუჩავა). განვითარებულია არაპერტურბატული (შეშფოთებათა თეორიის მიღმა მოქმედი) მეთოდები და მიღებულია სოლიტონური ტიპის ამონახსნები ვ. კ. თ-ის კირალურ მოდელებში, ე. წ. ს კ ი რ მ ი ს მოდელებში (ნ. კიკნაძე, გ. ლავრელაშვილი, ა. ხელაშვილი). ვ. კ. თ-ის პრინციპებიდან გამომდინარე, დადგინდა სასრული ენერგიების ჯამთა წესები (ა. თავხელიძე, ა. კვინიხიძე და სხვ.), რაც საფუძვლად დაედო მაღალ და დაბალ ენერგეტ. არეებში მიმდინარე პროცესების ფუნდამენტური კანონზომიერების – გ ლ ო ბ ა ლ უ რ ი დ უ ა ლ უ რ ო ბ ი ს – დასაბუთებას. ამ მეთოდის შემდგომმა განვითარებამ განაპირობა სიმებისა და სუპერსიმების მოდელების შესწავლის აუცილებლობა. სიმების პროტოტიპია ლიუვილის განტოლებაზე დამყარებული ორგანზომილებიანი მოდელი, რ-იც ინტერპრეტირებულია, როგორც რელატივისტურ ნაწილაკთა სისტემა (გ. ჯორჯაძე). შესწავლილია სუპერგრაფიტაციის ეფექტური ლაგრანჟიანების სტრუქტურა სუპერსიმის მოდელის კვანტური შესწორებების გათვალისწინებით (მ. ვაშაკიძე). განხილულია მონოპოლის ტიპის ამონახსნები ვ. კ. თ-ის სხვადასხვა მოდელებში (მ. სერებრიაკოვი). შესწავლილია კვატერნიონულ და ოქტონიონურ ველებზე დამყარებული მოდელების სტრუქტურა (დ. კურდღელაიძე, ჯ. ჩქარეული). ვ. კ. თ-ის ზოგად პრინციპებზე დაყრდნობით მიღებულია დისპერსიული თანაფარდობები სხვადასხვა პროცესის ამპლიტუდებისათვის (ა. თავხელიძე, მ. მესტვირიშვილი). მიღებულია მკაცრი შეზღუდვები ამპლიტუდათა ქცევაზე ენერგიებისა და გაფანტვის კუთხეების მიხედვით (მ. მესტვირიშვილი), ანალიზური თვისებები და ასიმპტოტური შეფასებები განზოგადებულია ღრმად არადრეკადი (ინკლუზიური) პროცესებისათვის (მ. მესტვირიშვილი, ა. ლოგუნოვთან ერთად). გამოკვლეულია სუპერყალიბრული და კირალური მოდელების როლი ცხელი სამყაროს ევოლუციის ადრინდ. სტადიაში ფაზური გადასვლებისას და სხვა კოსმოლოგიური პრობლემები (ზ. ბერეჟიანი, მ. ელიაშვილი, ზ. კაკუშაძე, გ. ლავრელაშვილი, ო. ვ. ყანჩელი, ჯ. ჩქარეული). სუპერსიმების თეორიის განვითარებამ ერთიანი კვანტური ველების სიმეტრიების თეორ. სქემაში ბუნებრივად ჩაიყოლა გრაფიტაციული ურთიერთქმედებები. მნიშვნელოვანი ნაშრომებია შესრულებული სუპერგრაფიტაციის თეორიაში (გ. დვალი, ზ. კაკუშაძე), სადაც მოდელების რენორმირება მიიღწევა მაღალ სივრცულ განზომილებებში (10 ან 26). მაღალი განზომილებების გამოყენებამ ვ. კ. თ-ის ახ. ტოპოლოგიური და ფიზ. შესაძლებლობები გამოავლინა (გ. გაბადაძე, გ. დვალი, მ.

გოგბერაშვილი, ზ. კაკუშაძე, ჯ. ჩქარეული). განსაკუთრებით აღსანიშნავია გ. დვალის მიერ (სხვებთან ერთად) დამატებითი განზომილებების ფიზ. აზრის ახსნა (ე. წ. ADD თეორია). ამ ნაშრომებმა არსებითად შეცვალა ჩვენი წარმოდგენები ნიუტონისა და აინშტაინის გრავიტაციის თეორიაზე. ამასთან, შეიქმნა სამყაროს გეომეტრ. სტრუქტურის ახ. კონცეფციები, რამაც მძლავრი ბიძგი მისცა მემბრანების (საზოგადოდ, D-ბრანების) სურათის განვითარებას (ზ. ბერეჟიანი, გ. გაბადაძე, მ. გოგბერაშვილი, გ. დვალი, ზ. კაკუშაძე). დღევანდელი ვ. კ. თ. მოიცავს ელემენტარულ ნაწილაკთა სამყაროს ყველა არსებით ფიზ. მოვლენას. განვითარდა შავი ხვრელებისა და ბნელი მატერიის თეორიები. შეიქმნა წარმოდგენები ე.წ. სარკულ სამყაროზე (ზ. ბერეჟიანი). კოსმოლოგიის პრობლემებში ნეიტრინოს როლის გამომხეურებაში არსებითი მნიშვნელობა აქვს დიდი გაერთიანებისა და სუპერგრავიტაციის თეორ. მოდელების დამუშავებას და მათ გაღრმავებას (ზ. ბერეჟიანი, გ. დვალი, ჯ. ჩქარეული). ამ მიმართულებებთან ერთად ვითარდებოდა ვ. კ. თ-ის ტოპოლოგიური მოდელები დაბალ სივრცულ (სამზე ნაკლებ) განზომილებებში, სადაც კვლევა ღრმად გადაეჭაჭვა კონდენსირებული გარემოს ფიზ. პრინციპულ საკითხებს, როგორცაა წილადმნიშვნელოვანი სტატისტიკები (მ. ელიაშვილი, ნ. კიკნაძე, გ. ციციშვილი, ა. ხელაშვილი), ჰოლის კვანტური ეფექტი, მაღალტემპერატურული ზეგამტარობა (მ. ელიაშვილი, გ. ციციშვილი, გ. ი. ჯაფარიძე). ამ გზაზე ფართოდ გამოყენებულმა ჩერნ-საიმონსის ტიპის ტოპოლოგიურმა მოდელებმა, სუპერსიმების თეორიასთან ერთად, მიგვიყვანეს არაკომუტატური კვანტური მექან. აღმოჩენამდე და არაკომუტატური გეომ. სივრცეების შესწავლის აუცილებლობამდე. კვლევები ამ მიმართულებით ინტენსიურად მიმდინარეობს (მ. ელიაშვილი, გ. ციციშვილი, გ. ჯორჯაძე).

ლიტ.: Б о г о л ю б о в Н. Н., Ш и р к о в Д. В., Введение в теорию квантованных полей, 4 изд., М., 1985; И н д у р а й н Ф., Квантовая хромодинамика, М., 1986; И ц и к с о н К., З ю б е р Ж.Б., Квантовая теория поля, М., 1984; Общие принципы квантовой теории поля, М., 1987; A r k a n i - H a m e d N., D i m o p o u l o s S., D v a l i G., Large Extra Dimensions: a New Arena for Particle Physics, «Physics Today», 2002, vol.55, №2; K a k u M., Quantum Field Theory, Oxford University Press, 1993; W e i n b e r g S., Quantum Theory of Fields, «Cambridge University Press», I, II, III (1995, 1996, 2000).

**ა. ხელაშვილი**

---