



საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია

ქართული ენციკლოპედიის ი. აბაშიძის სახელობის მთავარი სამეცნიერო რედაქცია

კვარკები

კვარკები, ფუნდამენტური ნაწილაკები, ძლიერად ურთიერთქმედი ელემენტარული ნაწილაკების – ჰადრონების შემადგენელი სტრუქტურული ნაწილები. $\frac{2}{3}$ სპინის მქონე ნაწილაკებია. აღმოჩენილია 6 სხვადასხვა სახეობის – არომატის – კვარკი, რ-თაც აერთიანებენ 3 ე. წ. „თაობად“. ყოველ თაობაში შედის ორი კვარკი: დადებითად დამუხტული ზედა და უარყოფითად დამუხტული ქვედა $\frac{2}{3}$ ზედა $\frac{2}{3}$ -ის მუხტია $(+\frac{2}{3})e$, ხოლო ქვედასი – ერთი e -ით ნაკლები: $(-\frac{1}{3})e$ (e ელემენტარული მუხტის სიდიდეა). $\frac{2}{3}$ მონაწილეობს ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებაში – შეუძლია გამოასხივოს ან შთანთქმას ფოტონი γ . ამ პროცესებში $\frac{2}{3}$ -ის არომატი და მუხტი არ იცვლება. მათი არომატის ცვლილება ხდება სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანი ე. წ. საშუალოდ $W^\pm$ და Z^0 ბოზონების გამოსხივებისას ან შთანთქმისას. ელექტრონეიტრალური Z^0 ბოზონის გამოსხივება $\frac{2}{3}$ -ის მუხტს, ცხადია, არ ცვლის.

$\frac{2}{3}$ -ის არსებობის შესახებ ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად ვარაუდი გამოთქვეს 1964 ამერ. მეცნიერებმა მ. გელმანმა და ჯ. ცვეიგმა. ბ. სტრუმინსკიმ, ნ. ბოგოლიუბოვმა და ა. თავხელიძემ (1965 იანვარი), მოგვიანებით კი იაპონელმა მეცნიერებმა მ. ჰანმა და ი. ნამბუმ (1965 აგვისტო) ივარაუდეს, რომ $\frac{2}{3}$ -ს უნდა ჰქონდეს დამატებითი კვანტური მახასიათებელი, რ-საც შემდგომში „ფერი“ ეწოდა. თითოეული კვარკი $\frac{2}{3}$ შეიძლება იმყოფებოდეს 3 სხვადასხვა „ფერად“ მდგომარეობაში, რ-საც პირობითად უწოდებენ წითელ, მწვანე და ლურჯ მდგომარეობას (იხ. აგრეთვე სტ. ელემენტარული ნაწილაკებისა და ბირთვის ფიზიკა). შესაბამისი ანტი-კვარკი $\bar{\frac{2}{3}}$ ასევე „ფერადია“. ი. ნამბუს ვარაუდით, კვარკის „ფერის“ შეცვლა ხდება გლუონის გამოსხივებისას ან შთანთქმისას, რაც არ ცვლის $\frac{2}{3}$ -ის არომატს. გლუონის გაცვლა (სულ არსებობს 8 სხვადასხვა „ფერის“ გლუონი γ) იწვევს $\frac{2}{3}$ -ს შორის ქრომოდინამიკურ („ფერად“) ურთიერთქმედებას. სამი სხვადასხვა „ფერის“ $\frac{2}{3}$ -ის ბმული მდგომარეობა იძლევა ბარიონს, რ-იც „უფეროა“. სხვადასხვა არომატების $\frac{2}{3}$ -ის

ასეთი „უფერო“ გაერთიანებები იძლევა სხვადასხვა ბარიონებს. „უფერო“ შეიძლება იყოს $q\bar{q}$ წყვილის გაერთიანებაც, რაც იძლევა მეზონს. თუმცა ჰადრონები (ბარიონები და მეზონები) „უფეროა“, ითვლება, რომ სწორედ მათ შიგნით „ფერადი“ q -ის არსებობა განაპირობებს ჰადრონებისთვის დამახასიათებელ ძლიერ („ბირთვულ“) ურთიერთქმედებას. „ფერად“ q -ს შორის g გლუონების გაცვლით მიმდინარე ქრომოდინამიკური ურთიერთქმედების დამახასიათებელი თავისებურებაა ე. წ. კონფაინმენტი („ფერის დატყვევება“): „ფერის“ მქონე ნაწილაკების ურთიერთდაშორებისას მათი ურთიერთმიზიდვა სულ უფრო ძლიერდება. როდესაც ამ მიზიდვის ენერგია საკმაოდ იზრდება, კვანტური ეფექტების შედეგად იზადება კვარკ-ანტიკვარკების $q\bar{q}$ წყვილები და ურთიერთქმედების ბონიდან გამოიტყორცნება ვიწრო ჰადრონული ჭავლები (ვჰჰ, «hadron jets») – „უფერო“ ჰადრონების ნაკადები [ახლადწარმოქმნილი კვარკი q და ანტიკვარკი $\bar{q}$ შეიძლება შეუერთდეს სხვა (მ. შ. ვირტუალურ) კვარკს ან ანტიკვარკს და წარმოქმნას ბარიონები ან მეზონები, რ-ებიც ვრცელდება თავდაპირველი „ფერადი“ ობიექტის – კვარკის ან გლუონის მოძრაობის მიმართულებასთან თანხვედრილი ღერძის მქონე ვიწრო კონუსში. კონუსის გაშლის კუთხე მცირდება ვჰჰ-ის ენერგიის ზრდასთან ერთად]. ამ პროცესს ჰადრონიზაცია ეწოდება. მისი დეტალები არ არის ბოლომდე შესწავლილი, რამდენადაც არ არსებობს კონფაინმენტის დამაჯერებელი ახსნა კვანტური ქრომოდინამიკის საფუძველზე (თუმცა ის დასტურდება კვანტურ-ქრომოდინამიკური კომპიუტერული გამოთვლებით მესერზე). ვჰჰ-ის მახასიათებლების გაზომვით მოიპოვებენ ინფორმაციას მისი „დედა-კვარკის“ თვისებების შესახებ, რაც q -ის რეალური არსებობის დასაბუთებად არის მიჩნეული.

q -ისათვის დამახასიათებელია ე. წ. ასიმპტოტური თავისუფლება – ჰადრონების შიგნით, ერთმანეთისგან მცირე მანძილზე, ისინი მოძრაობს ურთიერთქმედების გარეშე და იქცევა თავისუფალი ნაწილაკებივით.

ნ. ბოგოლიუბოვის, ა. თაყელოძის, ბ. სტრუმინსკის, ვ. მატვეევის, ნგუენ ვან ჰიუეს, ა. ლოგუნოვის, მ. მესტვირიშვილის, რ. მურადიანის, ვ. ვლადიმეროვისა და სხვათა შრომებში კვანთათვისუფალ q -ზე წარმოდგენების საფუძველზე შეიქმნა (1964) q -ის ურთიერთქმედების რელატივისტურად ინვარიანტული მოდელი, რ-მაც სწორად აღწერა ჰადრონების მრავალი თვისება. კერძოდ, ამ მოდელმა q -ის ფერადი მდგომარეობების შესაძლო რაოდენობა დაუკავშირა (1965) ნეიტრალური π^0 პიონის ორ ფოტონად დაშლის აღბათობას. ჰადრონთა კვარკულ სტრუქტურაზე წარმოდგენების ჩამოყალიბებაში დიდი როლი ითამაშა ჰადრონთა ლოკალური დენების ალგებრიდან გამომდინარე ჯამთა წესების შესწავლამ. ელექტრონების ნუკლონებზე ღრმად არადრეკადი გაბნევის ინკლუზიური პროცესების შესწავლისას 1968 სტენფორდის (აშშ) უნ-ტის ამჩქარებელზე SLAC იპოვეს მინიშნებები ნუკლონის შიგნით წერტილოვანი ხისტი დამუხტული ობიექტების არსებობაზე (ჯ. დ. ბიორკენი, აშშ).

ამ შედეგებზე დაყრდნობით, 1969 ა. თავხელიძემ, ვ. მატვეევმა და რ. მურადიანმა ჩამოაყალიბეს ე. წ. ავტომოდულობის პრინციპი და იპოვეს მაღალი ენერგიების პროტონ-პროტონული დაჯახებებისას წარმოქმნილი მიუონური წყვილების სპექტრის აღმწერი კანონი. ასევე 1969 აღმოჩენილი იქნა კვარკული თვლის წესები.

კ. (და ლეპტონები) წარმოადგენს ნივთიერების დღეისთვის ცნობილ უმცირეს სტრუქტურულ ერთეულებს. 2017 მონაცემებით, მათი შესაძლო (ჰიპოთეტური) სტრუქტურული ნაწილების ზომა არ აღემატება $0.5 \cdot 10^{-19}$ მ (ექსპერიმენტული შესწავლისთვის მისაწვდომი მინ. მანძილი). **კ**-ის დაშლა ლეპტონებად აკრძალულია ბარიონული რიცხვის მუდმივობის კანონით. ა. თავხელიძის ჰიპოთეზით (1988), ამ მუდმივობის კანონს შეიძლება ჰქონდეს დინამიკური, ყალიბრული ხასიათი, რაც ექსპერიმენტულად დამზერად შედეგებს მოგვცემდა.

ურთიერთქმედების ენერგიის დიდი წვლილის გამო **კ**-ის ბმული მდგომარეობების (მეზონების, ბარიონების) მასები ბევრად აღემატება შემადგენელი (ე. წ. ვალენტური) **კ**-ის მასათა ჯამს. განსხვავება განსაკუთრებით დიდია მსუბუქი **კ**-ით შედგენილი ჰადრონებისთვის. ა. ხელაშვილმა თანამშრომლებთან ერთად (ვ. ხმალაძე, ქ. ნატროშვილი, კ. კიკნაძე, ლ. ვაჩნაძე და სხვ.) შეისწავლა (1978–82) მძიმე **კ**-ით შედგენილი კვარკონიუმი. **კ**-ის თვისებებს იკვლევენ ე. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინ-ტის ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის განყ-ბაში. მნიშვნელოვანი შედეგები ჰადრონიზაციის პროცესის აღწერაში ეკუთვნის ო. ვ. ყანჩელს თანამშრომლებთან ერთად. ჯ. ჩქარეულმა, ზ. ბერეჟიანმა და სხვებმა ჯგუფთა თეორიის მეთოდებით პირველად (1980–85) შეძლეს **კ**-ისა და ლეპტონების თაობებში მასებისა და კვანტური შერევების აღწერა. დიდ ჰადრონულ კოლაიდერზე LHCb და ALICE ექსპერიმენტებში ინ-ტის თანამშრომელთა მონაწილეობით მიმდინარეობს მძიმე **კ** კვარკის, ასევე კვარკ-გლუონურ პლაზმაში ფაზური გადასვლების შესწავლა (იხ. აგრეთვე სტ. კვარკული ვარსკვლავი), რაც ჰადრონიზაციის შებრუნებულ პროცესს წარმოადგენს. **კ**-ისა და ჰადრონების ყოფაქცევას ცხელ და მკვრივ გარემოში იკვლევს ა. კვინიხიძე. ვ. კეკელიძემ, დ. მჟავიამ, ზ. წამალაიძემ და სხვებმა ბირთვული გამოკვლევების გაერთიანებულ ინ-ტში JINR (დუბნა, რუსეთი) და მსოფლიოს სხვა წამყვან ლაბორ-ებში შეასრულეს მაღალი სიზუსტის გაზომვები (1976–92) **კ**-ის მონაწილეობით მიმდინარე იშვიათი პროცესების თავისებურებების შესასწავლად.

2014 დიდ ჰადრონულ კოლაიდერზე LHCb ექსპერიმენტმა დაადასტურა 2007 შემჩნეული ახალი ე. წ. ეგზოტიკური ტიპის ჰადრონის – ტეტრაკვარკის არსებობა, რ-იც 4 სხვადასხვა არომატის (u, d, s, b) კვარკისგან შედგება. არსებობს სხვა ეგზოტიკური ნაწილაკების არსებობის მიმანიშნებელი მონაცემებიც. ეგზოტიკური ჰადრონების არსებობის შესაძლებლობა გააანალიზა ა. ხელაშვილმა.

კ-ის შესწავლისას მიღებული შედეგები დაჯამდა საქართველოში ჩატარებულ რამდენიმე საერთაშ. სემინარზე „Quarks“ (თბილ., 1982-86), ასევე საერთაშ. დონის სხვა სამუშაო შეკრებებზე. 1976 თბილისში ჩატარდა მაღალი ენერგიების ფიზიკაში უდიდესი ე. წ. „როჩესტერის“ საერთაშ. კონფერენცია.

ლიტ.: ვ ა შ ა კ ი ძ ე ი., ნ ი კ ო ბ ა ძ ე გ., თანამედროვე ფიზიკა ყველასათვის, თბ., 1999; М а т в е е в В. А., Т а в х е л и д з е А. Н., Квантовое число – цвет, цветные кварки и КХД (к 40-летию открытия квантового числа – цвет), Дубна, ОИЯИ, 2005; В о г о л у б о в N., Matveev V., Т а в к х е л и д з е А., „Coloured Quarks“, Advance in Science and Technology in the USSR, M., 1983; L o g u n o v A., M e s t v i r i s h v i l i M., Nguen Van Hieu, Proceedings of the International Conference on Particles and Fields, Rochester, 1967.

ი. ლომიძე
