

## ელემენტალური ნაწილაკები

მეცნიერებმა **ელემენტალური ნაწილაკების** არსებობა აღმოაჩინეს ბირთვული პროცესების შესწავლის დროს, ამიტომ XX საუკუნის შუამდე ელემენტალური ნაწილაკების ფიზიკა შეადგენდა ბირთვული ფიზიკის ნაწილს. ამჟამად ფიზიკის ეს ნაწილები ახლოსაა მაგრამ დამოუკიდებელია, რომლებსაც ბევრი საერთო განსახილველი პრობლემა და კვლევის მეთოდი აქვთ. **ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკის მთავარი ამოცანა არის - ელემენტარული ნაწილაკების ბუნების, თვისებებისა და ურთიერთგარდაქმნების კვლევა**.

წარმოდგენას იმის შესახებ, რომ სამყარო შედგება **ფუნდამენტური ნაწილაკებისაგან**, აქვს დიდი ხნის ისტორია. პირველად აზრი უმცირესი ნაწილაკების არსებობის შესახებ, რომელთაგანაც შედგება ყველა არსებული საგანი, გამოთქვა 400წ. ჩვენს ერამდე ბერძენმა ფილოსოფოსმა **დემოკრიტემ**. მან ამ ნაწილაკებს ატომები ანუ დაუყოფადი ნაწილაკები უწოდა. მეცნიერებამ ატომებზე წარმოდგენის გამოყენება დაიწყო მხოლოდ XIX საუკუნის დასაწყისში, როცა ამის საფუძველზე შესაძლო გახდა მთელი რიგი ქიმიური მოვლენების ახსნა. XIX საუკუნის 30-ან წლებში ელექტროლიზის თეორიაში, რომელიც განავითარა **მ.ფარადეიმ**, გაჩნდა იონის ცნება და მოხდა ელემენტარული მუხტის გაზომვა. XIX საუკუნის ბოლო დაგვირგვინდა რადიოაქტივობის მოვლენის აღმოჩენით (1996 წ. ა. **ბეკერელი**), ასევე ელექტრონების (1897 წ. **ჯ. ტომსონი**) და α-ნაწილაკების (1999 წ. **ე. რეზერფორდი**) აღმოჩენით. 1905 წელს ფიზიკაში წარმოიშვა წარმოდგენა ელექტრომაგნიტური ველის ქვანტებზე – ფოტონებზე (**ა. აინშტაინი**).

1911 წელს აღმოჩენილ იქნა ატომის ბირთვი (**ე. რეზერფორდი**) და საბოლოოდ იქნა დამტკიცებული, რომ ატომებს აქვთ რთული აგებულება. 1919 წელს **რეზერფორდმა** რიგი ელემენტების ატომების ბირთვების გახლეჩის პროდუქტებში აღმოაჩინა პროტონები. 1932 წელს **ჯ. ჩედვიკმა** აღმოაჩინა ნეიტრონი. გახდა ნათელი, რომ ატომების ბირთვებს, ისევე როგორც თვით ატომებს, აქვთ რთული აგებულება. წარმოიშვა ბირთვის აგებულების პროტონ-ნეიტრონული თეორია **ვ. ჰაიზენბერგი**(**ვ. ჰაიზენბერგი**). იმავე 1932 წელს კოსმოსურ სხივებში აღმოჩენილი იქნა პოზიტრონი **კ. ანდერსონი**. პოზიტრონი არის დადებითად დამუხტული ნაწილაკი, რომელსაც იგივე მასა და იგივე მუხტი (მოდულით) აქვს რაც ელექტრონს. პოზიტრონის არსებობა იწინასწარმეტყველა **პ. დირაკმა** 1928 წელს. ამ წლებში აღმოჩენილი და გამოკვლეული იქნა პროტონებისა და ნეიტრონების ურთიერთგარდაქმნა და ნათელი გახდა, რომ ეს ნაწილაკებიც არ წარმოადგენენ ბუნების უცვლელ ელემენტალურ "აგურებს". 1937 წელს კოსმოსურ სხივებში აღმოჩენილი იქნა 207 ელექტრონული მასის მქონე ნაწილაკი და ეწოდათ ***მიუმეზონები*** (**μ-მეზონი**). შემდეგ 1947–1950 წლებში აღმოჩენილი იქნა ***პიონები*** (ანუ **π-მეზონები**), რომლებიც, თანამედროვე ხედვით, ბირთვებში ნუკლონებს შორის ურთიერთქმედებას ახდენენ. მომდევნო წლებში ახლადაღმოჩენილი ნაწილაკების რიცხვის ზრდა დაიწყო. ამას ხელი შეუწყო კოსმოსური სხივების შესწვლამ, ამაჩქარებელი ტექნიკის განვითარებამ და ბირთვული რეაქციების შესწავლამ.

დღეისათვის ცნობილია დაახლოებით 400 სუბბირთვული ნაწილაკი, რომელსაც ელემენტალურ ნაწილაკებს უწოდებენ. უმრავლესობა ამ ნაწილაკთაგან **არასტაბილურია**. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ ფოტონი, ელექტრონი, პროტონი და ნეიტრინო. ყველა დანარჩენი ნაწილაკი გარკვეული დროის შემდეგ განიცდის სხვა ნაწილაკებად **თავისთავად** გარდაქმნას. არასტაბილური ელემენტალური ნაწილაკები ძლიერ განსხვავდებიან ერთმანეთისგან სიცოცხლის ხანგრძლივობით. ყველაზე ხანგრძელი ნაწილაკი არის ნეიტრონი. მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა 15 წუთია. სხვა ნაწილაკები გაცილებით ნაკლებ ხანს "ცოცხლობენ". მაგალითად, μ-მეზონის საშუალო ხანგრძლივობა 2,2·10<sup>-6</sup> წმ-ია, ნეიტრალური π-მეზონისა – 0,87·10<sup>-16</sup> წმ. ბევრ მასიური ნაწილაკის – პიპერონის – საშუალო სიცოცხლის ხანგრძლივობა 0,87·10<sup>-16</sup> წმ-ის რიგისაა.

არსებობს რამოდენიმე ათეული ნაწილაკი, რომელთა სიცოცხლის ხანგრძლივობა აღემატება 10<sup>-17</sup> წმ-ს. მიკროსამყაროს მასშტაბებისთვის ეს მნიშვნელოვანი დროა. ასეთ ნაწილაკებს უწოდებენ ***ფარდობითად სტაბილურებს***. უმეტესობა **ხანმოკლე** ელემენტალური ნაწილაკების სიცოცხლის ხანგრძლივობა 10<sup>-22</sup>–10<sup>-23</sup> წმ რიგისაა.

ურთიერგარდაქმნის უნარი – ეს ყველაზე მნიშვნელოვანი თვისებაა ყველა ელემენტალური ნაწილაკისთვის. მათ შეუძლიათ დაიბადნონ და განადგურდნენ (გამოსხივდნენ და შთაინთქან). ეს ასევე ეხება სტაბილურ ნაწილაკებსაც მხოლოდ იმ სხვაობით, რომ სტაბილური ნაწილაკების გარდაქმნა ხდება არა თავისთავად, არამედ სხვა ნაწილაკებთან ურთიერთქმედებისას. მაგალითად გამოდგება ელექტრონისა და პოზიტრონის ***ანიჰილაცია*** (ანუ **გაქრობა**), რასაც მაღალი ენერგიის მქონე ფოტონების დაბადება ახლავს. შეიძლება წარიმართოს უკუპროცესიც – ელექტრონულ-პოზიტრონული წყვილის ***დაბადება***, მაგალითად, საკმაოდ მაღალენერგიული ფოტონის ბირთვთან დაჯახების დროს. ასეთი სახიფათო ორეული, როგორიც ელექტრონისთვის არის პოზიტრონი, ჰყავს ასევე პროტონს. მას ***ანტიპროტონი*** ეწოდება. ანტიპროტონის ელექტრული მუხტი უარყოფითია. დღეისათვის ***ანტინაწილაკები*** მოეძებნა ყველა ნაწილაკს. ნაწილაკის თავის ანტინაწილაკთან შეხვედრისას ხდება მათი ანიჰილაცია, ანუ ორივე ნაწილაკი ქრება, გარდაიქმნება რა გამოსხივების ქვანტად ან სხვა ნაწილაკებად.

ანტინაწილაკი აღმოაჩნდა ნეიტრონსაც კი. ნეიტრონი და ანტინეიტრონი განსხვავდებიან მხოლოდ მაგნიტური მომენტის და ე.წ. ბარიონული მუხტის ნიშნებით. შესაძლებელია ანტინივთიერების ატომების არსებობა. მათი ბირთვები შედგება ანტინუკლონებისგან, ხოლო გარსი – პოზიტრონებისგან. ანტინივთიერების ნივთიერებასთან ანიჰილაციისას უძრაობის ენერგია გარდაიქმნება გამოსხივების ქვანტების ენერგიად. ეს უზარმაზარი ენერგია, გაცილებით მეტია იმაზე, რაც გამოიყოფა ბირთვული ან თერმობირთვული რეაქციების დროს.

დღეისათვის ცნობილ ელემენტალური ნაწილაკების მრავალფეროვნებაში იკვეთება კლასიფიკაციის მეტნაკლებად მწყობრი სისტემა. ქვემოთ ცხრილში წარმოდგენილია ზოგიერთი ცნობა  $10^{-20}$  წმ-ზე მეტი სიცოცხლის ხანგრძლივობის მქონე ელემენტალურ ნაწილაკთა თვისებებზე. ელემენტალური ნაწილაკების მახასიათებელ მრავალ თვისებათა შორის ცხრილში მოყვანილია მხოლოდ ნაწილაკის მასა (ელექტრონულ მასებში), ელექტრული მუხტი (ერთეული მუხტის ერთეულებში) და იმპილსის მომენტი (ე.წ. სპინი) პლანკის მუდმივის  $\hbar = h / 2\pi$  ერთეულებში. ცხრილში მოტანილია აგრეთვე ნაწილაკების საშუალო სიცოცხლის ხანგრძლივობა.

ჯგუფი		ნაწილაკის დასახელება	სიმბოლო		მასა (ელექტრონუ ლ მასებში)	ელექტრულ ი მუხტი	სპინ ი	სიცოცხლის ხანგრძლივობ ა (ს)
			ნაწილაკ ი	ანტინაწილაკ ი				
ფოტონები		ფოტონი	$\gamma$		0	0	1	სტაბილურია
ლექტონები		ნეიტრინო ელექტრონულ ი	$\nu_e$	$\sim \nu_e \bar{\nu} \sim e$	0	0	1 / 2	სტაბილურია
		ნეიტრინო მიუონური	$\nu_\mu$	$\sim \nu_\mu \bar{\nu} \sim \mu$	0	0	1 / 2	სტაბილურია
		ელექტრონი	$e^-$	$e^+$	1	-1 1	1 / 2	სტაბილურია
		მიუ-მეზონი	$\mu^-$	$\mu^+$	206,8	-1 1	1 / 2	$2,2 \cdot 10^{-6}$
ადრონებ ი	მეზონები	პი-მეზონი	$\pi^0$		264,1	0	0	$0,87 \cdot 10^{-16}$
			$\pi^+$	$\pi^-$	273,1	1 -1	0	$2,6 \cdot 10^{-8}$
		K-მეზონი	$K^+$	$K^-$	966,4	1 -1	0	$1,24 \cdot 10^{-8}$
			$K^0$	$\sim K_0 \bar{K} \sim 0$	974,1	0	0	$\approx 10^{-10} - 10^{-8}$
		ეტა-ნულ- მეზონი	$\eta^0$		1074	0	0	$\approx 10^{-18}$
	ბარიონებ ი	პროტონი	p	$\sim p \bar{p} \sim$	1836,1	1 -1	1 / 2	სტაბილურია
		ნეიტრონი	n	$\sim n \bar{n} \sim$	1838,6	0	1 / 2	898
		ლამბდა- ჰიპერონი	$\Lambda^0$	$\sim \Lambda_0 \bar{\Lambda} \sim 0$	2183,1	0	1 / 2	$2,63 \cdot 10^{-10}$
		სიგმა- ჰიპერონები	$\Sigma^+$	$\sim \Sigma_+ \bar{\Sigma} \sim +$	2327,6	1 -1	1 / 2	$0,8 \cdot 10^{-10}$
			$\Sigma^0$	$\sim \Sigma_0 \bar{\Sigma} \sim 0$	2333,6	0	1 / 2	$7,4 \cdot 10^{-20}$
			$\Sigma^-$	$\sim \Sigma_- \bar{\Sigma} \sim -$	2343,1	-1 1	1 / 2	$1,48 \cdot 10^{-10}$
		ქსი- ჰიპერონები	$\Xi^0$	$\sim \Xi_0 \bar{\Xi} \sim 0$	2572,8	0	1 / 2	$2,9 \cdot 10^{-10}$
			$\Xi^-$	$\sim \Xi_- \bar{\Xi} \sim -$	2585,6	-1 1	1 / 2	$1,64 \cdot 10^{-10}$

		ომეგა-მინუს- ჰიპერონი	Ω <sup>-</sup>	$\sim\Omega-\Omega\sim$	3273	-1 1	1 / 2	0,82·10 <sup>-11</sup>
--	--	--------------------------	----------------	-------------------------	------	------	-------	------------------------

ცხრილი

ელემენტალური ნაწილაკები ერთიანდებიან სამ ჯგუფად: ***ფოტონები, ლეპტონები ადრონები.***

**ფოტონების** ჯგუფს მიეკუთვნება ერთადერთი ნაწილაკი – ფოტონი, რომელიც წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების მატარებელს.

შემდგომი ჯგუფი შედგება მსუბუქი ნაწილაკებისგან – **ლეპტონებისგან**. ამ ჯგუფში შედის ნეიტრინოების ორი სახეობა (ელექტრონული და მიუონური), ელექტრონი და μ-მეზონი. ლეპტონებს განეკუთვნება კიდევ რიგი ნაწილაკებისა, რომლებიც არ არის ცხრილში მითითებული. ყველა ლეპტონს აქვს სპინი 1212

მესამე დიდ ჯგუფს შეადგენენ მძიმე ნაწილაკები, რომელთაც **ადრონები** ეწოდებათ. ეს ჯგუფი იყოფა ორ ნაწილად. შედარებით მსუბუქი ნაწილაკები ქმნიან ***მეზონების*** ქვეჯგუფს. მათ შორი ყველაზე მზუბუქები არიან დადებითად და უარყოფითად დამუხტული, ასევე ნეიტრალური π-მეზონები მასებით 250 ელექტრონული მასის რიგისა. პიონები არიან ბირთვული ველის ქვანტები, მსგავსად იმისა, როგორც ფოტონები არის ელექტრომაგნიტური ველის ქვანტები. ამ ქვეჯგუფში შედის კიდევ ოთხი K-მეზონი და ერთი η-მეზონი. ყველა მეზონს აქვს ნულის ტოლი სპინი.

მეორე ქვეჯგუფი – ***ბარიონები*** – მოიცავს შედარებით მძიმე ნაწილაკებს. იგი ყველაზე ფართოა. ბარიონებს შორის ყველაზე მსუბუქებია ნუკლონები – პროტონები და ნეიტრონები. მათ მოსდევთ ე.წ. ჰიპერონები. ცხრილს ასრულებს ომეგა-მინუს-ჰიპერონი, რომელიც 1964 წელს იქნა აღმოჩენილი. ეს არის მზიმე ნაწილაკი 3273 ელექტრონული მასით. ყველა ბარიონს აქვს სპინი 1212.

უკვე აღმოჩენილი და აღმოჩენადი ადრონების სიმრავლემ მეცნიერებს უბიძგა იმ აზრისკენ, რომ ყველა ისინი აგებულინი არიან რაღაც სხვა უფრო ფუნდამენტური ნაწილაკებისგან. 1964 წ. ამერიკელმა ფიზიკოსის [მ. გელ-მანის](#) მიერ წამოყენებული იქნა ჰიპოთეზა, რომელიც დამტკიცდა შემდგომი კვლევებით, რომ ყველა მძიმე ნაწილაკი – ადრონი – აგებულია უფრო ფუნდამენტური ნაწილაკებით, რომელთაც ***კვარკები*** ეწოდათ. კვარკული ჰიპოთეზის საფუძველზე არამარტო გაგებული იქნა უკვე არსებული ადრონების სტრუქტურა, არამედ ნაწინასწარმეტყველები იქნა ახლების არსებობა. გელ-მანის თეორია უშვებდა სამი კვარკისა და სამი ანტიკვარკის არსებობას, რომლებიც ერთურთს სხვადასხვა კომბინაციებით უერთდებიან. ასე მაგალითად, ყოველი ბარიონი შედგება სამი კვარკისგან, ანტიბარიონი კი სამი ანტიკვარკისგან. მეზონები შედგება კვარკი-ანტიკვარკის წყვილებისგან.

კვარკების ჰიპოთეზის მიღებით შესაძლებელი გახდა ელემენტალური ნაწილაკების მწყობრი სისტემის შექმნა. თუმცა ამ ჰიპოთეტური ნაწილაკების ნაწინასწარმეტყველები თვისებები საკმაოდ მოულოდნეი აღმოჩნდა. კვარკების ელექტრული მუხტი გამოხატული უნდა იყოს წილადი რიცხვებით, რომლებიც ტოლია ელექტრონული მუხტის 2323-სა და 1313 -ის. მაღალი ენერგიების ამაჩქარებლებზე და კოსმოსურ სხივებში თავისუფალ მდგომარეობაში კვარკების მრავალგზისი მიება წარუმატებელი აღმოჩნდა. მეცნიერები თვლიან, რომ თავისუფალი კვარკების დაუკვირვებლობის ერთ-ერთი მიზეზი არის, შესაძლოა,მათი ძალიან დიდი მასები. ეს ხელს უშლის კვარკების დაბადემას იმ ენერგიებზე, რომლებიც მიიღწევა თანამედროვე ამაჩქარებლებზე. მიუხედავად ამისა, სპეციალისტების უმეტესობა, ამჟამად, დარწმუნებულია, ადრონების შიგნით არსებობენ კვარკები.

***ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები.*** პროცესები, რომლებშიც ელემენტალური ნაწილაკები მონაწილეობენ, ძლიერ განსხვავდებიან ენერგიებითა და მათი მიმდინარეობის მახასიათებელი დროებით. თანამედროვე შეხედულებების თანახმად, ბუნებაში ხორციელდება ოთხი ტიპის ურთიერთქმედება, რომლებიც სხვა უფრო მარტივ ტიპზე არ დაიყვანება. ესენია: ***ძლიერი, ელექტრომაგნიტური, სუსტი*** და ***გრავიტაციული***. ურთიერთქმედების ამ სახეებს **ფუნდამენტურს** უწოდებენ.

**ძლიერი** (ანუ **ბირთვული**) **ურთიერთქმედება** – ყველაზე ინტენსიურია. ის განაპირობებს განსაკუთრებულ მედეგ კავშირს ატომბირთვებში პროტონებსა და ნეიტრონებს შორის. ძლიერ ურთიერთქმედებაში მონაწილეობა შეუძლიათ მხოლოდ მძიმე ნაწილაკებს – ადრონებს (მეზონებს და ბარიონებს). ძლიერი ურთიერთქმედება მჟღავნდება 10<sup>-15</sup> მ და ნაკლები რიგის მანძილებზე. ამიტომ მას უწოდებენ ახლომოქმედს.

**ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება.** მასში შეუძლიათ მონაწილეობა ყველა დამუხტულ ნაწილაკს, ასევე ფოტონებს – ელექტრომაგნიტური ველის ქვანტებს. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება პასუხისმგებელია, კერძოდ, ატომებისა და მოლეკულების არსებობაზე. ის განაპირობებს ნივთიერების ბევრ თვისებას მყარ, თხევად და აირად მდგომარეობაში. პროტონების კულონური განზიდვა იწვევს დიდი მასური რიცხვის ბირთვების არამდგრადობას. ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება



განაპირობებს ნივთიერების ატომებისა და მოლეკულების მიერ ფოტონების გამოსხივებისა და შთანთქმის პროცესებს და მიკრო– და მაკროსამყაროს მრავალ სხვა ფიზიკურ პროცესს.

**სუსტი ურთიერთქმედება** – განაპირობებს მიკროსამყაროში ყველაზე ნელი პროცესების მიმდინარეობას. მასში ნებისმიერ ელემენტალურ ნაწილაკს შეუძლია მონაწილეობის მიღება, გარდა ფოტონებისა. სუსტი ურთიერთქმედება პასუხისმგებელია ნეიტრინოებისა ან ანტინეიტრინოების მონაწილეობით მიმდინარე პროცესებზე, მაგალითად, ნეიტრონის β-დაშლა

$${}^1_0\mathrm{n}\rightarrow {}^1_1\mathrm{p}+{}^0_{-1}\mathrm{e}+{}^0_0\bar{\nu}_\mathrm{e},$$

ასევე დიდი სიცოცხლის ხანგრძლივობის ( $\tau\geq 10^{-10}$  წმ) მხოწე უნეიტრინო დაშლის პროცესები.

**გრავიტაციული ურთიერთქმედება** ახასიათებს უკლებლივ ყველა ნაწილაკს, მაგრამ ელემენტალური ნაწილაკების მასების სიმცირის გამო მათ შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალები უგულვებელყოფითად მცირეა და მიკროსამყაროში მიმდინარე პროცესებში მათი როლი უმნიშვნელოა. გრავიტაციული ძალები გადამწყვეტ როლს თამაშობენ უზარმაზარი მასების მქონე კოსმოსური ობიექტების (ვარსკვლავები, პლანეტები და ა.შ.) ურთიერთქმედების დროს.

XX საუკუნის 30-იან წლებში წარმოიშვა ჰიპოთეზა იმის შესახებ, რომ ელემენტალური ნაწილაკების სამყაროში ურთიერთქმედება ხორციელდება რაიმე ველის ქვანტების გაცვლის მეშვეობით.

ურთიერთქმედებამ, რომელიც ხორციელდება ნაწილაკების მიერ მიმოცვლის გზით, მიიღო ***გაცვლითი ურთიერთქმედების*** სახელწოდება. ასე, მაგალითად, დამუხტულ ნაწილაკებს შორის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება წარმოიქმნება ელექტრომაგნიტური ველის ფოტონების – ქვანტების გაცვლის შედეგად.

გაცვლითი ურთიერთქმედების თეორიამ აღიარება ჰპოვა მას შემდეგ, რაც 1935 წ. იაპონელმა ფიზიკოსმა **ჰ. იუკავამ** თეორიულად აჩვენა, რომ ატომბირთვებში ნუკლონებს შორის ძლიერი ურთიერთქმედება შეიძლება აიხსნას, თუ დავუშვებთ, რომ ნუკლონები ცვლიან ჰიპოთეტურ ნაწილაკებს, რომელთაც მეზონები ეწოდა. იუკავამ გამოთვალა ამ ნაწილაკების მასა, რაც დაახლოებით 300 ელექტრონული მასის ტოლი აღმოჩნდა. ამ მასის ნაწილაკები შემდგომ მართლაც იქნა აღმოჩენილი. ამ ნაწილაკებს უწოდეს π-მეზონები (პიონები). დღესდღეობით ცნობილია სამი სახის პიონები: π<sup>+</sup>, π<sup>-</sup> и π<sup>0</sup>.

1957წ. თეორიულად იქნა ნაწინასწარმეტყველები მძიმე ნაწილაკების, ეგრეთწოდებული ***ვექტორული ბოზონების*** W<sup>+</sup>, W<sup>-</sup> და Z<sup>0</sup> არსებობა, რომლებიც სუსტი ურთიერთქმედების გაცვლით მექანიზმს განაპირობებენ. ეს ნაწილაკები აღმოაჩინეს 1983 წელს მაღალი ენერგიების პროტონებისა და ანტიპროტონების შემხვედრ სხივებზე ამაჩქარებელზე ჩატარებული ექსპერიმენტების დროს. ვექტორული ბოზონების აღმოჩენა იყო ელემენტალური ნაწილაკების ფიზიკის მნიშვნელოვანი მიღწევა. ამ არმოჩენამ დააგვირგვინა იმ თეორიის წარმატება, რომელმაც გააერთიანა ელექტრომაგნიტური და სუსტი ურთიერთქმედება ერთიან ე.წ. ***ელექტროსუსტ ურთიერთქმედებად***. ეს ახალი თეორია განიხილავს ელექტრომაგნიტურ ველსა და სუსტი ურთიერთქმედების ველს როგორც ერთი ველის სხვადასხვა შემადგენელს, რომელშიც ქვანტთან ერთად მონაწილეობენ ვექტორული ბოზონები.

ამ აღმოჩენის შემდეგ თანამედროვე ფიზიკაში მნიშვნელოვნად გაიზარდა რწმენა იმისა, რომ ურთიერთქმედების ყველა სახე მჭიდრო ურთიერთკავშირშია და არსებითად რაღაც ერთიანი ველის სხვადასხვა გამოვლინებაა. თუმცა ყველა ურთიერთქმედების გაერთიანება ჯერჯერობით მიმზიდველ სამეცნიერო ჰიპოთეზად რჩება.

ფიზიკოს-თეორეტიკოსები მნიშვნელოვან ძალისხმევას ხარჯავენ, რათა ერთიან საფუძველზე განიხილონ არა მარტო ელექტრომაგნიტური და სუსტი არამედ ძლიერი ურთიერთქმედებაც. ამ თეორიამ ***დიდი გაერთიანების***სახელწოდება მიიღო. მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ გრავიტაციულ ურთიერთქმედებასაც უნდა ჰყავდეს თავისი გადამტანი, ***გრავიტონად*** წოდებული, ჰიპოთეტური ნაწილაკი. მაგრამ ეს ნაწილაკი ჯერ არ არის არმოჩენილი.

დღესდღეობით ითვლება დამტკიცებულად, რომ ერთიანი ველი, რომელიც ურთიერთქმედებათა ყველა სახეს აერთიანებს, შეიძლება არსებობდეს მხოლოდ ნაწილაკების ძალიან დიდი ენერგიების დროს, რომლის მიღწევა თანამედროვე ამაჩქარებლებზე შეუძლებელია. ასეთი მაღალი ენერგიები ნაწილაკებს შეიძლება ჰქონოდეთ მხოლოდ სამყაროს არსებობის ძალიან ადრეულ ეტაპებზე, რომელიც ე.წ. ***დიდი აფეთქების*** (Big Bang) შედეგად წარმოიქმნა. კოსმოლოგია – მეცნიერება სამყაროს ევოლუციის შესახებ – ვარაუდობს, რომ დიდი აფეთქება მოხდა 18 მილიარდი წლის წინ. სამყაროს ევოლუციის სტანდარტულ მოდელში იგულისხმება, რომ აფეთქების შემდგომ პირველ პერიოდში ტემპერატურა აღწევდა 10<sup>32</sup> K, ხოლო ნაწილაკების ენერგია *E* = *kT* აღწევდა 10<sup>19</sup> გევ მნიშვნელობას. ამ პერიოდში მატერია არსებობდა კვარკებისა და ნეიტრინოების ფორმით, ამასთან ურთიერთქმედების ყველა ტიპი გაერთიანებული იყო ერთიან ძალურ ველად. სამყაროს თანდათანობითი გაფართოებისას ნაწილაკთა ენერგია მცირდებოდა და ურთიერთქმედებათა ერთიან ველს ჯერ გამოეყო გრავიტაციული ურთიერთქმედება (როცა ნაწილაკების ენერგიები ≤ 10<sup>19</sup> გევ), ხოლო შემდეგ ძლიერი ურთიერთქმედება გამოეყო ელექტროსუსტს (ნაწილაკების ენერგიები ≤ 10<sup>14</sup> გევ). 10<sup>9</sup> გევ რიგის ენერგიის დროს ყველა ოთხი ურთიერთქმედება აღმოჩნდნენ დაყოფილნი. ამ პროცესებთან ერთად მიმდინარეობდა მატერიის უფრო რთული ფორმების, ნუკლონების, მსუბუქი ბირთვების, იონების, ატომებისა და სხვ. ფორმირება. კოსმოლოგია თავის მოდელში, ეყრდნობა რა ელემენტალური ნაწილაკებისა და ასევე ბირთვული

და ატომური ფიზიკის კანონებს, ცდილობს თვალი გაადევნოს სამყაროს ევოლუციას მისი განვითარების სხვადასხვა ეტაპებზე დაწყებული დიდი აფეთქებიდან დღევანდებამდე.

## კვარკი

კვარკებზე დაწვრილებით საუბარი სცილდება პოპულარული ასტრონომიის თემას, თუმცა მაინც შეგიქმნით ამ ერთდროულად არსებულ და თან არ არსებულ ელემენტარულ ნაწილაკზე გარკვეულ წარმოდგენას.

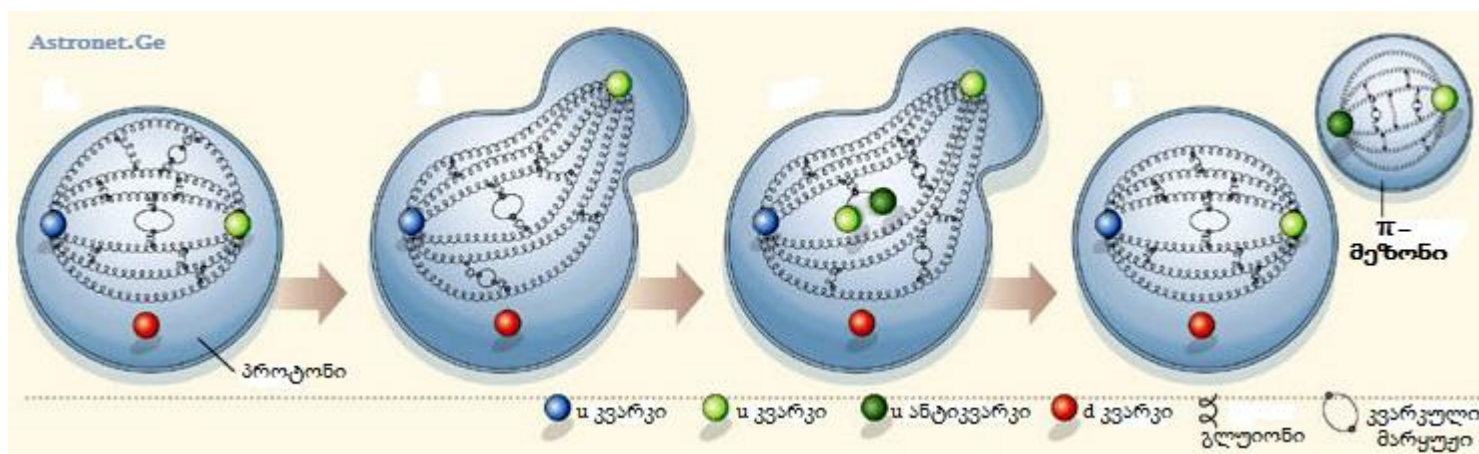
ფუნდამენტური ნაწილაკი სტანდარტულ მოდელში, აქვს მუხტი, არ დაიმზირება თავისუფალ მდგომარეობაში. კვარკები, წერტილოვანი [ნაწილაკებია](#) –  $0,5 \times 10^{-19}$  მ. მასშტაბებამდე, რაც დაახლოებით 20 ათსჯერ ნაკლებია პროტონის ზომაზე. კვარკებისგან შედგება ადრონები, კერძოდ, პროტონი და ნეიტრონი. დღევანდელი დღისთვის კვარკების 6 "სორტია"(ან არომატი) ცნობილი. ძლიერი ურთიერთქმედებიდან გამომდინარე ითვლება, რომ კვარკებს, დამატებით, აქვს შიდა სტრუქტურა, ე.წ. "ფერი". ყოველ კვარკს გააჩნია შესაბამისი ანტინაწილაკი, ანტიკვარკი ([ანტინივთიერება](#)).

ჰიპოთეზა იმის შესახებ, რომ ადრონები სპეციფიური სუბერთეულებით არის აწყობილი, პირველად მ. გელმანმა (Murray Gell-Mann), მისგან დამოუკიდებლად კი ჯ. ცვეიგმა (George Zweig) 1964 წელს წამოაყენეს.

სიტყვა "კვარკი", ნასესხიბი იქნა გელმანის მიერ, ჯ.ჯოისის რომანიდან "ფინეგანის მოგონება (ქელები. დაუზუსტებელი ინფო. [astronet.ge](#))", სადაც ერთ-ერთ ეპიზოდში ისმის ფრაზა " Three quarks for Muster Mark!" (რაც ასე შეიძლება გადაითარგმნოს: "სამი კვარკი ბატონი .....-თვის). თვითონ სიტყვა "quark"-ი ამ ფრაზაში, სავარაუდოდ, არის მიბაძვა ზღვის ფრინველების ხმისა. არის სხვა ვერსიაც (რ. იაკობსონი), რომლის აზრით, ჯოისმა ეს სიტყვა აიღო გერმანულიდან, ვენაში ცხოვრების დროს. გერმანულში სიტყვა Quark-ს აქვს ორი მნიშვნელობა: 1) ხაჭო, 2) უაზრობა. გერმანულში კი ეს სიტყვა მოხვდა დასავლეთ სლავურიდან (ჩეხურად- "*tvaroh*", პოლონურად- "*tworog*").

ჯ. ცვეიგი მათ ტუზებს ეძახდა, თუმცა ეს სახელი ვერ დამკვიდრდა, ალბათ იმიტომ, რომ ტუზი ოთხია, პირველად კი სამი კვარკი იყო ცნობილი.

ძლიერი ურთიერთქმედების უჩვეულო თვისებაა – კონფაინმენტი, კვარკების "დატყვევება" ადრონებს შიგნით. რაც უფრო მეტად ცდილობს კვარკი მოშორდეს მეზობელ კვარკებს, მით მეტად იზრდება მათ შორის მიზიდულობა, ძლიერი ურთიერთქმედებით და არა გრავიტაციულით, რა თქმა უნდა.



ადრონიზაცია.

ტიპიურ პროტონ-პროტონულ შეჯახებებში მაღალ ენერგიებზე, კვარკი, იღებს რა ძლიერ დარტყმას, პროტონიდან ამოვარდება ძალიან დიდი იმპულსით. წარმოქმნილი გლიუონური სიმი, ჩვეულებრივ, რამოდენიმე ადგილას წყდება და მის ადგილზე ადრონების დიდი რაოდენობა ჩნდება. ხშირ შემთხვევაში ეს არის უმსუბუქესი მეზონები – პიონები, კაონები და სხვა. პროტონების ასეთ გარდაქმნას ადრონებად, ადრონიზაცია ეწოდება. მეცნიერებმა ჯერჯერობით ვერ ისწავლეს ადრონიზაციის პროცესის ზუსტი გამოთვლა. ამიტომ თეორიასა და ექსპერიმენტებს შორის კავშირი არ არის ისეთი პირდაპირი, როგორც ელექტრონ-პოზიტრონული შეჯახებებისას. ამის გამო, მეცნიერები იყენებენ ადრონიზაციის მოდელირებას, მოდელირების შესაბამისი პროგრამები დიდ როლს თამაშობს ექსპერიმენტული მონაცემების დეტალურ დამუშავებაში).

ხშირად, არასპეციალისტები ამასთან დაკავშირებით კითხულობენ: რატომ ვართ დარწმუნებულნი, რომ კვარკები არსებობენ, თუ მათ თავისუფალ მდგომარეობაში ვერასოდეს "ვიხილავთ". იქნებ ეს მათემატიკური აბსტრაქციაა და პროტონი სულაც არ შედგება კვარკებისგან? კვარკებთან დაკავშირებით ღიად რჩება შემდეგი კითხვები: რატომ არის ზუსტად სამი ფერი, ზუსტად სამი თაობა, შემთხვევითია თუ არა კვარკების თაობათა და ფერთა ერთნაირი რიცხვი, შემთხვევითია თუ არა ამ რიცხვის დამთხვევა ჩვენი სამყაროს სამგანზომილებიანობასთან, რატომაა კვარკებს შორის მასის ასეთი არათანაბარი გადანაწილება, რისგან შედგებიან თვითონ კვარკები?

ადრონები და კვარკები, ასევე სიმეტრია კვარკებსა და ლეპტონებს(არ მონაწილეობენ ძლიერ ურთიერთქმედებაში, მაგ: [ელექტონი](#)) შორის, იწვევს ეჭვს, რომ კვარკებიც კიდევ უფრო უმარტივესისგან შედგებიან. ამ ჰიპოთეტურ შემადგენელს პრეონები უწოდეს. ექსპერიმენტებიდან გამომდინარე, ითვლება, რომ კვარკები ნამდვილად არ არის წერტილოვანი, ისინიც რაღაცისგან შედგება. ასეთი თეორიების შექმნის მცდელობა ექსპერიმენტებისგან დამოუკიდებლად ხდება. ჯერჯერობით, სერიოზული ამ მიმართულებით არაფერი მომხდარა.

ამ პრობრემლისადმი განსხვავებული მიდგომა დიდი გაერთიანების თეორიის შექმნაშია. ამ თეორიისგან მიღებული სარგებელი არა მარტო ძლიერი და სუსტი ურთიერთქმედებების გაერთიანებაში იქნებოდა, არამედ ლეპტონებისა და კვარკების ერთი საერთო ფორმულით აღწერაშიც(იხილეთ [უცნაური ვარსკვლავები](#); [ელემენტარული ნაწილაკების სტანდარტული მოდელი](#) )

