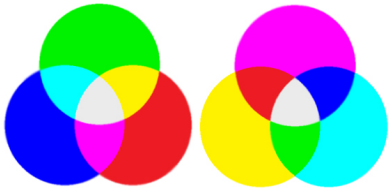
საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია

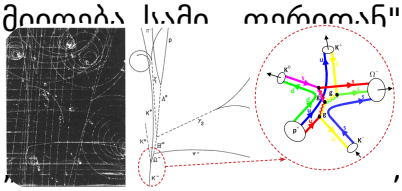
ქართული ენციკლოპედიის ი. აბაშიძის სახელობის მთავარი სამეცნიერო რედაქცია

ელემენტარული ნაწილაკებისა და ბირთვის ფიზიკა



კვარკების სამი „ფერი": წითელი, მწვანე და ლურჯი ფერები ზედდებისას იძლევა ნეიტრალურ (უფერო) კომბინაციას. ანტიკვარკების სამი „ანტიფერი" ასევე ანეიტრალებს ერთმანეთს. „ფერის" ზედდება შესაბამის „ანტიფერთან" აგრეთვე იძლევა უფერო კომბინაციას. გლუონებს გადააქვთ „ფერი" ერთი კვარკიდან მეორესთან. შესაბამისად, გლუონს შეიძლება ჰქონდეს „ფერი", რომელიც

მიიღება სამი ოერიოან"



,

9 შესაძლო ბუმტოგან კამერაში K – კომბინაციიდან ერთი მეზონის პროტონთან ერის „უფერო". მას დაჯახების შედეგად Ω – „ფერი" არ გადაეცემა და, როგორც ექსპერიმენტი აჩვენებს ურთიერთქმედებაში არ მონაწილეობს. ამიტომ უმუხტო ნაწილაკები კამერაში „ფერად" არ ტოვებს. მათი ტრაექტორია ნაჩვენებია წყვეტილით. უმუხტო ნაწილაკების ბუნების დადგენა ხდება ენერგიის, იმპულსის და სხვა მუდმივობის კანონების საფუძველზე. მარჯვენა ნახაზზე ნაჩვენებია Ω – ნაწილაკის დაბადების უმარტივესი კვარკული დიაგრამა (შეესაბამება შუა ნახაზზე წითელი წყვეტილით მინიშნებულ არეს). პროცესები მიმდინარეობს ძლიერი (ფერადი) ურთიერთქმედებით, გლუონების გაცვლით. კვარკები ნაჩვენებია მთლიანი ფერადი ხაზებით, გლუონები – კლაკნილი ორმაგი ფერადი ხაზებით.

ურთიერთქმედების ნაწილაკები კამერაში გადამტანი გლუონები 8 კვალს ფერადი" მდგომარეობაში მეიმლეება აოსებობდეს.

ნაწილაკის დასახელება		მასა[1]	მუხტი	სპინი	სიცოცხლის ხანგრძლივობა τ (ან/და სიგანე Γ)	უნიკალური მუხტები
ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ბოზონები	ფოტონი, γ	0 ($<1\cdot10^{-18}$ eV)	0 ($<1\cdot10^{-35}$ e)	ħ	სტაბილური	ელექტრომაგნიტური
	გლუონი, g	0	ელექტრული 0, „ფერადი“ ოქტეტი	ħ	თავისუფალი სახით არ დაფიქსირება	„ფერადი“ (მულტი)
	W	80,4 GeV	ელექტრული ±e, „სუსტი“	ħ	Γ=2,1 GeV	ელექტრომაგნიტური და „სუსტი“
	Z^0	91,2 GeV	ელექტრული 0, „სუსტი“	ħ	Γ=2,5 GeV	„სუსტი“
	გრავიტონი G (ჰიპოთეტური, ჯერ არ არის აღმოჩენილი)	0 ($<7\cdot10^{-22}$ eV)	0	2ħ	სტაბილური (?)	მსოფლიო გრავიტაციული
ჰიგსის ბოზონი H^0, H^+ (აღმოჩენილია 2012, ჯერ არ არის შესწავლილი)		125-126 GeV	ელექტრული 0, ±e (?)	0	$\tau\approx10^{-22}$ წმ	?
ლეპტონები	ელექტრონული ნეიტრინო ν_e	0 (<2 eV)	0	ħ/2	სტაბილური	„სუსტი“
	ელექტრონი e^-	0,511 მეV	e (−1,6·10^{-19} C)	ħ/2	სტაბილური ($\tau > 4{,}6\cdot10^{26}$ წ)	ელექტრომაგნიტური
	მიუონური ნეიტრინო ν_μ	0	0	ħ/2	სტაბილური	„სუსტი“
	მიუონი μ	105,7 მეV	e	ħ/2	$\tau\approx2{,}2\cdot10^{-6}$ წმ	ელექტრომაგნიტური
	ტაუონური ნეიტრინო ν_τ	0	0	ħ/2	სტაბილური	„სუსტი“
	ტაონი (ტაუ-ლეპტონი) τ	1776,8 მეV	e	ħ/2	$\tau\approx2{,}9\cdot10^{-13}$ წმ	ელექტრომაგნიტური
კვარკები	„ზედა“ u	1,7-3,3 მეV	+2/3e, „ფერადი“ ტრიპლეტი	ħ/2	თავისუფალი სახით არ დაფიქსირება	„ფერადი“ და ელექტრომაგნიტური
	„ქვედა“ d	4,1-5,8 მეV	−1/3e, „ფერადი“ ტრიპლეტი	ħ/2	თავისუფალი სახით არ დაფიქსირება	„ფერადი“ და ელექტრომაგნიტური
	„ჩარმული“ c	1270 მეV	+2/3e, „ფერადი“ ტრიპლეტი	ħ/2	თავისუფალი სახით არ დაფიქსირება	„ფერადი“ და ელექტრომაგნიტური
	„ეფერული“ s	80-130 მეV	−1/3e, „ფერადი“ ტრიპლეტი	ħ/2	თავისუფალი სახით არ დაფიქსირება	„ფერადი“ და ელექტრომაგნიტური
	„ტაბრული“ („ეფერული“) t	172 GeV	+2/3e, „ფერადი“ ტრიპლეტი	ħ/2	თავისუფალი სახით არ დაფიქსირება	„ფერადი“ და ელექტრომაგნიტური
	„ბრეგული“ („ფერადული“) b	4,1-4,7 GeV	−1/3e, „ფერადი“ ტრიპლეტი	ħ/2	თავისუფალი სახით არ დაფიქსირება	„ფერადი“ და ელექტრომაგნიტური

1 – ყველა ნაწილაკს შეესაბამება ანტინაწილაკი, რომელსაც საპირისპირო ნიშნის მუხტები აქვს. ფოტონის, Z0 და H0 ბოზონების და გრავიტონის ანტინაწილაკები ემთხვევა ნაწილაკებს. 2 – მასა გამოსახულია ენერგეტიკულ ერთეულებში, E = mc2 ფორმულის შესაბამისად. 3 – ელექტრომაგნიტური და "სუსტი" ურთიერთქმედება განიხილება, როგორც ერთიანი ელექტროსუსტი ურთიერთქმედების კერძო „სახეობები". 4 – ყველა ელემენტარული ნაწილაკი უნდა ურთიერთქმედებდეს გრავიტაციულადაც, მაგრამ, ლაბორატორიულ პირობებში ამ ურთიერთგმედების

პოლარიზებული ძეელმხილ ატომიერულ ნეიტრონების დანადგარი ბმულებით. რეაქტორი "კოლნიდა" (მცხეთა). 1981

ელემენტარული ნაწილაკებისა
და ბირთვის ფიზიკა, მეცნიერების დარგი, რ-იც შეისწავლის მატერიის შემადგენელი უმცირესი ნაწილაკების – ე ლ ე მ ე ნ ტ ა რ უ ლ ი ნ ა წ ი ლ ა კ ე ბ ი ს (ენ) და ძლიერად ურთიერთქმედი ნაწილაკების ბმული სისტემის (ატომბირთვის) თვისებებს, აგრეთვე მათი ურთიერთქმედებით გამოწვეული პროცესების კანონზომიერებებს.

პირველი ენ-ის – ელექტრონის – არსებობა 1897 დაადგინა ჯ. ჯ. ტომსონმა. 1932-იდან, ნეიტრონის აღმოჩენის შემდეგ, იწყება ბ ი რ თ ვ ი ს ფ ი ზ ი კ ი ს (ბფ), როგორც მეცნ. დამოუკიდებელი დარგის, განვითარება. დ. ივანენკოსა და ვ. ჰაიზენბერგის მიერ შემოთავაზებულ იქნა ბირთვის აგებულების ნეიტრონულ- პროტონული მოდელი – ბირთვის ტრად. (ნუკლონური) მოდელი. შემდგომში მნიშვნელოვანი გახდა მატერიის უმარტივესი შემადგენელი ნაწილაკების ძიება, მათი თვისებებისა და ურთიერთქმედების კანონების დადგენა. ამის შედეგად ჩამოყალიბდა თანამედროვე ფიზ. ერთ-ერთი ძირითადი დარგი – ე ლ ე მ ე ნ ტ ა რ უ ლ ი ნ ა წ ი ლ ა კ ე ბ ი ს ფ ი ზ ი კ ა (ენფ). XX ს. 50-იანი წლებიდან დაწყებული აღმოჩენილია რამდენიმე ასეული ენ. ამასთან დაკავშირებით, შეიცვალა წარმოდგენა ატომბირთვის აგებულების შესახებაც.

ენ მონაწილეობს ოთხი სახის ურთიერთქმედებაში – გრავიტაციულში, სუსტში, ელექტრომაგნიტურსა და ძლიერში. ენ-ებს, რებსაც ძლიერი ურთიერთქმედება არ ახასიათებს, ლ ე პ ტ ო ნ ე ბ ს უწოდებენ, ძლიერად ურთიერთქმედ ნაწილაკებს კი – ჰ ა დ რ ო ნ ე ბ ს. ენ-თა ძირითადი დამახასიათებელი თავისებურებაა მათი ურთიერთგარდაქმნა, რ-საც ისინი განიცდიან დაშლისას და ურთიერთქმედებისას. ეს პროცესები მიმდინარეობს მუდმივობის კანონების (ენერგია იმპულსის, იმპულსის მომენტის, ელექტრული მუხტის, ლეპტონური და ბარიონული რიცხვებისა და სხვ.) დაცვით.

ენფ-ის განვითარებისათვის მეტად მნიშვნელოვანი იყო XX ს. 60-იანი წლები, როდესაც გამოირკვა, რომ ჰადრონები შედგენილია უფრო ფუნდამენტური ნაწილაკების – კვარკებისაგან. თავისუფალი სახით კვარკები დამზერილი არ არის; თანამედროვე წარმოდგენებით, საქმე გვაქვს ე. წ. კ ო ნ ფ ა ი ნ მ ე ნ ტ ი ს მოვლენასთან – კვარკების „დატყვევებასთან" ჰადრონების შიგნით. ამ მოვლენის რაოდენობრივი ახსნა ჯერჯერობით არ არსებობს. ცნობილია კვარკების ექვსი სახეობა („არომატი"). თითოეული მათგანი სამი „ფერისაა". ეს ახ. კვანტური რიცხვი პირველად (1965) შემოიღეს ნ.ბოგოლიუბოვმა, ა. თავხელიძემ და ბ. სტრუმინსკიმ (სსრკ) და მ.- ი. ჰანმა და ი. ნამბუმ (აშშ). ამ შედეგისათვის, კვარკული თვლის წესებთან ერთად, ა. თავხელიძეს მიენიჭა ლენინური პრემია (1988).

„ფერი" პირობითი ტერმინია. არსებითად, „ფერი" თავისებური მუხტია. იგი კვარკების ურთიერთქმედების წყაროა. „ფერით" გამოწვეული ურთიერთქმედების თეორიის – კვანტური ქრომოდინამიკის (კქდ) შექმნა ენფ-ის უმნიშვნელოვანესი მონაპოვარია. ამჟამად ცნობილ ფუნდამენტურ ნაწილაკთა სიმრავლე (იხ. ცხრილი) მოიცავს 6 კვარკს (თითოეულს სამ „ფერად") და 6 ლეპტონს. ამას უნდა დაემატოს შ უ ა ლ ე დ უ რ ი ბ ო ზ ო ნ ე ბ ი, რ-თა მეშვეობით ხორციელდება ურთიერთქმედება ფუნდამენტურ ნაწილაკებს შორის. ესენია: ფოტონი (γ-კვანტი, ელექტრომაგნ. ურთიერთქმედების გადამტანი), W± და Z^0 ბოზონები (სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანი) და 8 გლუონი („ფერთა" ურთიერთქმედების გადამტანი ბოზონები). გარდა ამისა, თეორია მოითხოვს კიდევ რამდენიმე ნაწილაკის არსებობას, რ-ებიც ცდებით ჯერჯერობით აღმოჩენილი არ არის, მაგ., გ რ ა ვ ი ტ ო ნ ი (გრავიტაციული ურთიერთქმედების გადამტანი ბოზონი), ჰ ი გ ს ი ს ს კ ა ლ ა რ ე ბ ი (ე. წ. სტანდარტული მოდელის თანახმად, ეს ნაწილაკი არღვევს გაერთიანებული ელექტრო-სუსტი ურთიერთქმედების სიმეტრიას და წარმოქმნის ენ-თა მასებს) და სხვ. სულ, ანტინაწილაკების გათვალისწინებით, გვაქვს 60-ზე მეტი ფუნდამენტური ნაწილაკი.

შედარებით დაბალი ენერგიების პირობებში, როცა შეიძლება უგულებელვყოთ პროტონებისა და ნეიტრონების (ნუკლონების) ზომები და სტრუქტურა, ატომბირთვის შესწავლა დაიყვანება წერტილოვან ნუკლონთა ურთიერთქმედების (ბირთვული ურთიერთქმედების ძალების) და ამ ურთიერთქმედებითა და ნუკლონთა მახასიათებლებით (ელექტრული მუხტი, მასა, სპინი, მაგნ. მომენტი) განპირობებული ბირთვის თვისებების დადგენაზე. ბირთვებზე მიმდინარე რეაქციების შესწავლაც ამ ორ ძირითად მიზანს ემსახურება.

ბირთვული ძალები აიწერება ორი ტიპის მოდელით: ფენომენოლოგიური და ველის კვანტურ თეორიაზე (ვკთ) დამყარებული მოდელებით. იდეა იმის შესახებ, რომ ბირთვულ ძალებს განაპირობებს არანულოვანი მასის ნაწილაკების გაცვლა ნუკლონთა მიერ, წამოაყენა და დაამუშავა ჰ. იუკავამ 1935, ბფ-ის განვითარების ადრინდ. ეტაპზე. ეს იდეა ექსპერიმენტულად დადასტურდა მხოლოდ π-მეზონების (პიონების, 1947-48) და მძიმე

მეზონების, განსაკუთრებით, ვექტორული მეზონების აღმოჩენის შემდეგ (XX ს. 60-იანი წლების დასაწყისი). ამჟამად ბფ-ში ბირთვული ძალების ორივე მოდელს იყენებენ. არის იმის ცდები, რომ ეს ძალები დაუკავშირონ ნუკლონთა კვარკ-გლუონურ სტრუქტურას. იმის გამო, რომ ატომის ბირთვი მრავალნაწილაკოვანი კვანტურ-მექან. სისტემაა და მისი შესწავლისას ჩნდება მათ.

ხასიათის სიძნელეები, ბირთვის თეორიაში განიხილავენ ისეთ მოდელებს, რ-ებშიც იდეალიზებულია სისტემის დინამიკის ესა თუ ის მხარე. მაგ., წვეთურ ან ჰიდროდინამ. მოდელში წინ არის წამოწეული ბირთვისშიდა მოძრაობის კოლექტიური მხარე, გარსულ მოდელში კი – პაულის პრინციპით განპირობებული ერთნაწილაკოვანი მოძრაობანი. ბირთვის სხვა მოდელებს (განზოგადებული, ზედენადური, დამოუკიდებელი წყვილების, კლასტერული) ზემოხსენებულ ორ უკიდურეს მიდგომას შორის შუალედური ადგილი უკავია. განიხილება აგრეთვე ბირთვული რეაქციების მოდელები. ბირთვული რეაქციების პირველ მოდელში (1935) ბირთვის მოქმედება მასზე დაცემულ ბირთვულ ნაწილაკზე გამოხატული იყო მარტივი პოტენციალური ორმოთი. შემდეგ ნ. ბორმა შექმნა შ ე დ გ ე ნ ი ლ ი ბ ი რ თ ვ ი ს მ ო დ ე ლ ი. ამ ორი მოდელის ერთგვარი შეხამებაა ბირთვის ო პ ტ ი კ უ რ ი მ ო დ ე ლ ი. საშ. ენერგიების არეში იყენებენ ბირთვული რეაქციების პ ი რ დ ა პ ი რ დ ა დ ი ფ რ ა ქ ც ი უ ლ მ ო დ ე ლ ე ბ ს. ბფ-ის განვითარება საზოგადოების ყურადღების ცენტრში მოექცა, როდესაც აღმოაჩინეს და ახსნეს მძიმე ბირთვების გაყოფის მოვლენა (1939, ფ. შტრასმანი, ო. ჰანი; ლ. მაიტნერი, ო. ფრიში; 1940, გ. ფლიოროვი, კ. პეტრჟაკი) და დაიწყო ბირთვული ენერგიის პრაქტიკული (სამხედრო და სამეურნეო) გამოყენება. XX ს. 40-იანი წლების ბოლოდან დაიწყო თერმობირთვული სინთეზის რეაქციების შესწავლა და გამოყენება როგორც სამხედრო, ასევე მართვადი თერმობირთვული სინთეზის განხორციელების მიზნით. ს ა ქ ა რ თ ვ ე ლ ო შ ი ენ-ისა და ბფ-ის თეორიაში კვლევას საფუძველი ჩაუყარა ვ. მამასახლისოვმა XX ს. 30-იან წლებში. მის სახელთანაა დაკავშირებული იმ დროისათვის მეტად გაბედული იდეა ნიშანცვლადი ბირთვული პოტენციალისა და ბირთვის შიგნით ნუკლონთა ინდივიდუალურ მდგომარეობათა არსებობის შესახებ, რაც ერთგვარი წინამორბედია გარსული და ე. წ. კლასტერული მოდელებისა. მამასახლისოვის იდეა ბირთვში ნუკლონთა ასოციაციების (კლასტერების) არსებობის შესახებ გამოიყენეს და განავითარეს 1943 თვითონ ვ. მამასახლისოვმა და მისმა მოწაფეებმა (ი. ვაშაკიძე, თ. კოპალეიშვილი, გ. ჭილაშვილი, რ. ჯიბუტი და სხვ.). შემდგომ განვითარდა რამდენიმენუკლონიანი სისტემების შესწავლის მეთოდები, რ-ებიც წარმატებით იქნა გამოყენებული ბფ-ში, კერძოდ, ფადეევის განტოლებათა თეორიაში (ჯ. მებონია, გ. ჭილაშვილი, ა. ხელაშვილი); ჰარტრი–ფოკის თეორიაში (ი. ვაშაკიძე და სხვ.); ტრანსლაციურად ინვარიანტული ოსცილატორული ბაზისის თეორიასა (თ. მაჭარაძე და სხვ.) და ჰიპერსფერული ფუნქციების ბაზისის თეორიაში [შედეგები შეჯამდა რ. ჯიბუტისა და ნ. კრუპენიკოვას მონოგრაფიაში „ჰიპერსფერულ ფუნქციათა მეთოდი რამდენიმე სხეულის კვანტურ მექანიკაში" (თბ., 1984, რუს. ენაზე)]. შეიქმნა „ჰიბრიდული" მეთოდი და მისი გამოყენებით შესწავლილ იქნა დაშლის ტიპის ბირთვული რეაქციები (რ. ჯიბუტი და სხვ.).

შუალედური ენერგია, კვლევა საქართველოში 60-იანი წლების დასაწყისში ჩაისახა ბფ-ის ახ. დარგი – შუალედური და მაღალი ენერგიების ბფ. იგი შეისწავლის ბირთვზე მიმდინარე ისეთ პროცესებს, რ-თა დროსაც ბირთვულ სისტემას შეიძლება გადაეცეს 100 მეგევ-ზე მეტი ენერგია. მეცნ. ეს დარგი ვითარდებოდა ტრად. ბფ-ისა და ენფ-ის მიჯნაზე, შუალედური ენერგიების ბფ-ის ექსპერ. ბაზაა ე. წ. „მეზონური ფაბრიკები", რ-ებიც მოქმედებენ აშშ-ში, კანადაში, რუსეთში და სხვ. საქართველოში კვლევა შუალედური ენერგიების ბფ-ის დარგში დაიწყო მისი ჩასახვის მომენტიდანვე, თავდაპირველად საქართვ. მეცნ. აკად. ფიზიკის ინსტიტუტში (მაფი, 2006-იდან – ე. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინ-ტი) და შემდგომ, უფრო სისტემატურად, თსუ-ის ფიზიკის ფაკ-ტის თეორ. ფიზიკის კათედრაზე, შემდეგ კი ბირთვული ფიზიკის სამეცნ.-კვლ. ლაბორატორიაში [შემდგომ მაღალი ენერგიების ბირთვული ფიზიკის პრობლემური ლაბორატორია, 1974-იდან – თსუ-ის მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტი (მეფი), ატომბირთვების მიერ შუალედური ენერგიების გ-კვანტებისა და პიონების შთანთქმის პროცესების შესწავლით. ეს გამოკვლევები, რ-ებმაც ბიძგი მისცა ანალოგიურ გამოკვლევებს საზღვარგარეთ, ერთ-ერთი პირველი იყო ამ მიმართულებით. პირველად იყო ნაჩვენები, რომ ნუკლონნუკლონის ურთიერთქმედებისას განმზიდავი შუაგულის არსებობით გამოწვეული წყვილური კორელაციური ეფექტები ადვილად შეიძლება შენიღბული ან ჩახშული იყოს რეაქციის შედეგად ატომბირთვიდან გამოტყორცნილი ნუკლონების ურთიერთქმედების ეფექტებით საბოლოო მდგომარეობაში (თ. კოპალეიშვილი, რ. ჯიბუტი). ამასთან, ნაწინასწარმეტყველები იყო პიონების შთანთქმის ორნუკლონიან რეაქციებში ბირთვის სტრუქტურის ეფექტი (თ.კოპალეიშვილი, ი.მაჩაბელი და სხვ.), რ-იც ექსპერიმენტულად დადასტურდა ევრ. ბირთვულ გამოკვლევათა ცენტრში (CERN). შრომათა ამ ციკლს მიენიჭა პ. მელიქიშვილის სახ. პრემია (1973, თ. კოპალეიშვილი). პირველად მიაქციეს ყურადღება იმ გარემოებას, რომ არ შეიძლება ფოტობირთვული რეაქციების კვაზიდეიტრონული მოდელის უშუალო გამოყენება ნუკლონებზე პიონების ფოტოდაბადების ზღურბლის შესაბამის ენერგიაზე უფრო დაბალი ენერგიების გ-კვანტებისთვის, და განავითარეს კვაზიდეიტრონული სახეშეცვლილი მოდელი, რ-მაც აღწერა ექსპერ. მონაცემები. ეს შრომები შევიდა ბირთვების ფოტოგახლეჩის რეაქციებისადმი მიძღვნილ შრომათა ციკლში, რ-საც მიენიჭა სსრკ სახელმწ. პრემია (1977, თ. კოპალეიშვილი, რ. ჯიბუტი, სხვებთან ერთად). შემდგომ, ბირთვებთან პიონების ურთიერთქმედების შესწავლა წარიმართა მათი გაფანტვისა და გაფანტვა-შთანთქმის საერთო საკითხების თეორ. დამუშავების მიმართულებით.

ბირთვებთან პიონების ურთიერთქმედების კვლევა თ.კოპალეიშვილის მიერ გაგრძელდა დეიტრონზე (ა. მაჭავარიანთან ერთად) და He4 ბირთვზე (ვ. სხირტლაძესთან ერთად), გაფანტვის პროცესებში პიონებისათვის რელატივისტური ეფექტების შესწავლის მიზნით. პირველ შემთხვევაში გამოყენებული იყო ვკთ-ში შემუშავებული ლოგუნოვ–თავხელიძის კვაზიპოტენციალური მეთოდი, ხოლო მეორე შემთხვევაში – ე. წ. პირდაპირი ურთიერთქმედების რელატივისტური თეორია. ძირითადი შედეგი მდგომარეობს იმაში, რომ რელატივისტური კინემატიკის გათვალისწინება იმავე რიგის ეფექტს იძლევა, რასაც მრავალჯერადი გაფანტვის ეფექტი. ამ კვლევების შედეგები შეჯამებულია თ.

კოპალეიშვილის მონოგრაფიაში „პ-მეზონების ატომბირთვებთან ურთიერთქმედების თეორიის საკითხები", რ-საც მიენიჭა ნ. მუსხელიშვილის სახ. პრემია (1988). შესწავლილი იქნა აგრეთვე პიონების ორმაგი გადამუხტვის რეაქციები მცირენუკლონიან ბირთვებზე (რ. ჯიბუტი და სხვ.).

XX ს. 80-იანი წლებიდან საქართველოში მიმდინარეობს ჰადრონებისა და მცირეჰადრონიანი სისტემების კვარკული სტრუქტურის შესწავლა, თავდაპირველად, არარელატივისტური მიდგომით, ჯგუფთა თეორიის მეთოდების გამოყენებით (შრომებს მიენიჭა საქართვ. უმაღლესი და სპეც. საშ. განათლების სამინისტროს I პრემია, 1983, თ. ბაბუციძე, თ. კოპალეიშვილი, ი. მაჩაბელი, მ. ჩაჩხუნაშვილი). შემდგომში კვარკ-ანტიკვარკული სისტემების (მეზონების) შესწავლა გაგრძელდა ბეტე–სოლპიტერის განტოლების გამოყენებით; გაკეთდა დასკვნები კვარკ-კვარკული ურთიერთქმედებების კონფაინმენტული ნაწილის ლორენც-სტრუქტურის შესახებ (თ. კოპალეიშვილი, ა. არჩვაძე, თ. ბაბუციძე, ა. რუსეცკი, მ. ჩაჩხუნაშვილი). მიღებული შედეგები შემდგომში დადასტურდა და ფიქსირებული იქნა სხვადასხვა უცხოელი ავტორის შრომებში.

XX ს. 70-იან წლების დასაწყისში ბირთვულ გამოკვლევათა გაერთიანებულ ინ-ტში (ბგგი – დუბნა, რუსეთი) იწინასწარმეტყველეს და აღმოაჩინეს ნაწილაკთა კუმულაციური დაბადების ეფექტი მაღალი ენერგიების ბირთვების დაჯახებისას. ამ გამოკვლევებმა საფუძველი ჩაუყარა ახ. მიმართულებას – რელატივისტურ ბფ-ს, რამაც განაპირობა ბირთვებში მიმდინარე პროცესების რელატივისტური თვალსაზრისით განხილვის აუცილებლობა. ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი შრომები შეიქმნა ა. რაზმაძის სახ. მათემატიკის ინ-ტში, რ-ებიც დაჯამდა ვ. გარსევანიშვილის და ზ. მენთეშაშვილის მონოგრაფიაში „რელატივისტური ბირთვული ფიზიკა სინათლის ფრონტის ფორმალიზმში" (აშშ, 1993, ინგლ. ენაზე). შრომების ციკლისათვის ველის კვანტურ თეორიასა და რელატივისტურ ბფ-ში სინათლის ფრონტზე ავტორთა ჯგუფს მიენიჭა საქართვ. სახელმწ. პრემია (ა. ხელაშვილი, ვ. გარსევანიშვილი, მ.ნიორაძე, ზ. მენთეშაშვილი, 2009).

კვლევა ენ-ის თეორიის დარგში მიმდინარეობს მრავალი მიმართულებით (კვარკების თეორიის საკითხები, ჯგუფთა თეორიის გამოყენება მრავალკვარკიანი სისტემების შესასწავლად, შინაგანი სიმეტრიები, პარტონული მოდელის განვითარება და გამოყენება, კქდ, სხვადასხვა ჰადრონული პროცესის გამოკვლევა და სხვ.). ინკლუზიური პროცესების მასშტაბური თვისებების გამოვლინებათა ერთიანი აღწერისთვის ჩამოყალიბებულია ავტომოდელობის პრინციპი (ა. თავხელიძე სხვებთან ერთად), დადგენილია მაღალი ენერგიების ჰადრონების დიდ კუთხეებზე გაბნევის კანონზომიერება – კვარკული თვლის წესები, რ-ებიც ჰადრონების კვარკულ სტრუქტურას უშუალოდ ასაბუთებს (ა. თავხელიძე სხვებთან ერთად; ეს შედეგი რეგისტრირებულია, როგორც აღმოჩენა, N343, 1987). დადგინდა, რომ ენ-ის ურთიერთქმედების თანამედროვე თეორიის ფარგლებში შესაძლებელია ფერმიონული რიცხვის შენახვის კანონის დარღვევა, შეიქმნა საშ.

ენერგიების არეში ნუკლონებზე პიონების ფოტოდაბადების დისპერსიული თეორია (სსრკ სახელმწ. პრემია, 1973, ა. თავხელიძე სხვებთან ერთად), დადგინდა მაღალი და დაბალი ენერგიების არეში მიმდინარე პროცესების ფუნდამენტური კანონზომიერება – გლობალური დუალობა, რ-ის მოდიფიკაციები გამოიყენება ისეთი ეფექტების გამოსათვლელად, რ-თა გათვალისწინება შეუძლებელია შეშფოთების თეორიის ფარგლებში. კირალური სიმეტრიის დარღვევის ერთ-ერთი შესაძლო მექანიზმის საფუძველზე ქართვ. ფიზიკოსთა მიერ (ა. ხელაშვილი) მიღებულია ნულოვანი სპინის მეზონებისა და ოქტეტური ბარიონების მასათა სპექტრისა და მეზონების დაშლის თვისებების თვითშეთანხმებული აღწერა; ფერმიონ-ანტიფერმიონის ბმული მდგომარეობისათვის უსასრულოდ ზრდადი პოტენციალის შემთხვევაში შემოთავაზებულია რელატივისტური განტოლება და ამოხსნადი მოდელები, რ-ებსაც იყენებენ კვარკონიუმის სპექტროსკოპიაში (ა. ხელაშვილი და სხვ.), კვარკებისა და ლეპტონების თაობათა ერთიანი აღწერისთვის კი – ახ. ლოკალური *SU*(8) სიმეტრია. დეტალურად არის შესწავლილი ამ სიმეტრიიდან გამომდინარე ფიზ. შედეგები: კვარკებისა და ლეპტონების მასური თანაფარდობები, კვარკების შერევის კუთხეები და CP-ინვარიანტობის დარღვევის ფაზა, ნეიტრინოს მასები და სხვ. (ზ. ბერეჟიანი, ჯ. ჩქარეული და სხვ.).

ჰადრონული ინკლუზიური პროცესებისათვის განვითარებულია დიაგრამული ტექნიკა, რ-იც ჰადრონულ ფიზ. მოვლენათა ფართო წრის აღწერის საშუალებას იძლევა. შეიქმნა სწრაფი ჰადრონების ბირთვებთან ურთიერთქმედების რელატივისტურ სურათზე დაფუძნებული პარტონული მოდელი და მაღალენერგეტიკული ჰადრონული მრავლობითი პროცესების მოდელი, რ-შიც ქრომოდინამიკური მილების გაწყვეტის შედეგად იბადება მეორეული ჰადრონები (ო. ვ. ყანჩელი და სხვ.). განვითარებულია ენ-ის არაწრფივი კვარკული თეორია და ნაჩვენებია, რომ მათი ურთიერთქმედებები შეიძლება დაყვანილ იქნას კვარკების არაწრფივ ურთიერთქმედებაზე (დ. კურდღელაიძე). ლოგუნოვ–თავხელიძის კვაზიპოტენციალის მეთოდი გამოყენებული იქნა მაღალი ენერგიების ჰადრონების დრეკადი გაბნევის აღსაწერად, აღიწერა *PN* და *NN* გაფანტვის ექსპერ. მონაცემები მცირე და დიდი კუთხეების არეში (ვ. გარსევანიშვილი, ლ. სლეპჩენკო და სხვ.); კვანტური ქრომოდინამიკის ფარგლებში შესწავლილი იქნა ჰადრონებისა და ჭავლების წარმოქმნის ინკლუზიური და ღრმად არადრეკადი პროცესების კვეთების ასიმპტოტური ქცევა, აიხსნა Pτ დამოკიდებულებასთან დაკავშირებული სიძნელე ჰადრონულ დაჯახებებში გაბნევის ნებისმიერი კუთხეების შემთხვევაში (ლ. სლეპჩენკო სხვებთან ერთად). შემოთავაზებულია ნეიტრალური K°-მეზონების მასათა სხვაობის ნიშნის განსაზღვრის მეთოდი (ს. მატინიანი), რ-იც გამოყენებული იყო სსრკ-სა და აშშ-ში ჩატარებულ ექსპერიმენტებში. შემუშავებულია ნუკლონებისა და პიონების ელექტრომაგნ. ფორმფაქტორების განსაზღვრის მეთოდი გადაცემული იმპულსების დროისმაგვარ არეში; შესწავლილია ორმაგი მეზოატომების თვისებები, მიღებულია ფორმულა მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობის გამოსათვლელად, თეორიულად შესწავლილია მეზონების იშვიათი დაშლების ზოგიერთი არხი, რის საფუძველზეც განისაზღვრა მეზონების ელექტრომაგნ. რადიუსი (ფ. ტყებუჩავა სხვებთან ერთად). შემუშავებულია ბინარული პროცესების დინამ. ამპლიტუდების აგების ხერხი

ნებისმიერსპინიანი ნაწილაკებისთვის (მ. ჩავლეიშვილი).

ა.კვინიხიძემ (ბულგარელ დ. სტოიანოვთან ერთად) სამი რელატივისტური ნაწილაკის ამოცანა დაიყვანა ფადეევის ტიპის განტოლებაზე, რ-იც კარგად არის შესწავლილი არარელატივისტური სისტემებისათვის. მანვე (ავსტრალიელ ბ. ბლანკლაიდერთან ერთად) გამოიყვანა განტოლებები, რ-ებშიც ცხადად არის გათვალისწინებული ნაწილაკთა დაბადებისა და გაქრობის ეფექტები. ეს 3-განზომილებიანი განტოლებები შეიცავს გაცილებით უფრო მდიდარ ინფორმაციას, ვიდრე ნებისმიერი ცნობილი ანალოგიური განტოლებები, ამასთან, მათი ამოხსნა მოითხოვს ცნობილი მეთოდების მცირე მოდიფიცირებას. ამავე ავტორებმა გამოიყვანეს ანალოგიური 4-განზომილებიანი განტოლებები და გადაჭრეს დიდი ხნის ცნობილი ე.წ. ორმაგი თვლის პრობლემა. შეიმუშავეს კალიბრულად ინვარიანტული დენების აგების ზოგადი მეთოდი, რ-იც ცნობილი გახდა „gauging equations" სახელით. ეს მეთოდი და ა. კვინიხიძის მიერ მიღებული თეორიული გამოსახულებები ინტენსიურად გამოიყენება მსოფლიოს წამყვანი ჯგუფების მიერ, კერძოდ, კვარკების და ნუკლონების ფიზიკაში.

1967–73 წლებში სერპუხოვის (პროტვინო, რუსეთი) მაღალი ენერგიების ფიზ. ინ-ტში განავითარეს ახალი მიდგომა მაღალ ენერგიებზე მიმდინარე ენ მრავლობითი დაბადების პროცესების როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტული შესწავლისათვის. ამ ე. წ. ინკლუზიურ მიდგომაში, პროცესში დაბადებულ ათეულობით ნაწილაკთა შორის აკვირდებიან მხოლოდ ერთ ან რამდენიმე გარკვეულ ნაწილაკს, ხოლო დანარჩენი ნაწილაკებით ხდება გასაშუალოება. ასეთი მიდგომა უფრო შეესაბამება მაღალ ენერგიებზე მიმდინარე პროცესების თავისებურებებს და უფრო მკაფიოდ გამოავლენს ურთიერთქმედებათა ზოგად კანონზომიერებებს. ინკლუზიური პროცესების შესწავლის შედეგად დადგინდა მ ა ს შ ტ ა ბ უ რ ი ი ნ ვ ა რ ი ა ნ ტ ო ბ ა (ს კ ე ლ ი ნ გ ი), ენ სხვადასხვა ურთიერთქმედებათა საერთო მახასიათებლები, ჰადრონთა კვარკული სტრუქტურა და ცალკეული კვარკების თვისებები. ინკლუზიური მიდგომის შემუშავების, ინკლუზიური პროცესების თეორიული და ექსპერიმენტული შესწავლისათვის, ასევე მასშტაბური ინვარიანტობის აღმოჩენისათვის მ. მესტვირიშვილს სხვებთან ერთად მიენიჭა ლენინური პრემია (1986). თანამედროვე ენფ-ის კვლ. საგანია ფუნდამენტური ნაწილაკების საერთო საწყისების ძიება, სხვადასხვა ძალების გაერთიანება და ერთ ძირითად ურთიერთქმედებაზე დაყვანა, სივრცე-დროის სულ უფრო მცირე არეებში მიმდინარე მოვლენების კვლევა. ექსპერ. გამოკვლევათა ძირითადი მიმართულებაა სულ უფრო მაღალი ენერგიების ნაწილაკთა დაჯახებების შესწავლა, რაც სივრცე-დროის მცირე არეებს შეესაბამება. ამისთვის განვითარებულ ქვეყნებში აშენებენ ნაწილაკთა გიგანტურ ამჩქარებლებს. მაგ., სუსტი ურთიერთქმედების გადამტანი W და Z ბოზონები თავდაპირველად თეორიულად იქნა ნაწინასწარმეტყველები; მათი ექსპერ. აღმოჩენისათვის CERN-ში შეიქმნა ახალი პროტონ-ანტიპროტონული კოლაიდერი, რ-საც საკმარისი ენერგია ჰქონდა ამ ბოზონების დაბადებისთვის. 1983 ეს ნაწილაკები აღმოაჩინეს (ს. ვან დერ მეერი, კ. რუბია, ნობელის პრემია, 1984). სტანდარტული

მოდელის შესწავლა გაგრძელდა ელექტრონ-პოზიტრონულ კოლაიდერზე LEP, რ-იც სპეციალურად ამ მიზნისათვის შეიქმნა CERN-ში. ამ ამჩქარებელზე შესრულებულმა ექსპერიმენტებმა მაღალი სიზუსტით დაადასტურა თეორიის სამართლიანობა. ამჟამად უდიდესი ამჩქარებლებია CERN-ში, ბატავიაში (აშშ, ფერმის ნაციონალური ამჩქარებელი ლაბორატორია, FNAL), ჰამბურგში (გერმანია, გერმანული ელექტრონულ-სინქროტრონული ცენტრი DESY) და სხვ. ქართვ. ფიზიკოსთა მიღწევები ატომუენფ-ის ექსპერ. ფიზიკაში ამჩქარებლების გამოყენებით მოპოვებულია, ძირითადად, საერთაშ. ცენტრების ამჩქარებლებზე მომუშავე დიდ საერთაშ. კოლექტივებთან თანამშრომლობის ჩარჩოებში. საქართველო არის ბირთვულ გამოკვლევათა გაერთიანებული ინსტიტუტის (დუბნა, რუსეთი) წევრი-ქვეყანა (2010-იდან ბგგი-ში საქართველოს სრულუფლებიანი წარმომადგენელია ა. ხვედელიძე). 1958 ბგგი-ის ამჩქარებელზე შესრულებულ ექსპერიმენტებში ნეიტრონებზე პროტონების გაბნევის კვეთის დეტალური გამოკვლევის საფუძველზე ახ. მეთოდით დიდი სიზუსტით განისაზღვრა ენფ-ის ერთ-ერთი ფუნდამენტური პარამეტრი – პიონ-ნუკლონის ურთიერთქმედების კონსტანტა (ნ. ამაღლობელი სხვებთან ერთად).

XX ს. 50-იანი წლების მიწურულს ზ. მანჯავიძის და გ. ჩიქოვანის ხელმძღვანელობით მაფი-ში შემუშავდა და აიგო ახ. მარეგისტრირებელი ხელსაწყოები. სხვებისგან დამოუკიდებლად შეიქმნა ნაპერწკლოვანი კამერა (გ. ჩიქოვანი, ვ. მიხაილოვი, ვ. როინიშვილი). მნიშვნელოვანი ბირთვული რეაქტორი (მცხეთა). 1981. მიღწევა იყო ენ-ების რეგისტრაციის იმ ახ. პრინციპის შემუშავება, რ-ის საფუძველზეც აიგო სტრიმერული კამერა [ლენინური პრემია, 1970, გ. ჩიქოვანი, ვ. როინიშვილი, თ. ასათიანი, ა. ალიხანიანი (სომხეთი), სხვებთან ერთად]. გ. ჩიქოვანის ხელმძღვანელობით ჟენევაში აიგო ფართოღრეჩოიანი მაგნიტოსტრიქციული კამერები, რ-საც წარმატებით იყენებდნენ CERN-ში და სერპუხოვის (პროტვინო, რუსეთი) ამჩქარებელზე. 1976 მაფი-ში დასრულდა უნიკალური 5-მეტრიანი სტრიმერული კამერის აგება, რ-საც ძირითად დეტექტორად იყენებდნენ საერთაშ. თანამშრომლობის ექსპერიმენტ „რისკ-ში" (რელატივისტური იონიზაციური სტრიმერული კამერა). დანადგარის შექმნისა და ამ ექსპერიმენტში მისი დანერგვისათვის ზ. მანჯავიძეს (სხვებთან ერთად) მიენიჭა საქართვ. სახელმწ. პრემია (1983). მნიშვნელოვანი სამუშაოები ჩატარდა ჰადრონების სპექტროსკოპიის დარგში, რის შედეგად დამზერილი იყო H1, A3 და სხვა რეზონანსები (გ. ჩიქოვანი სხვებთან ერთად). საკავშ. თანამშრომლობის ჩარჩოებში მაფი მონაწილეობდა სერპუხოვის ამჩქარებელზე ბირთვების კულონურ ველში პიონების რადიაციული გაფანტვის შესწავლაში. ამ ცდებში პირველად იქნა შემჩნეული პიონის პოლარიზებადობა და გაიზომა დაშლის მუდმივა (ვ. როინიშვილი სხვებთან ერთად). სერპუხოვის ამჩქარებელზე თსუ-ის მეფიის ფიზიკოსთა ჯგუფი 1978–85 დააკვირდა ფარული უცნაურობისა და 1,96 გევ მასის მქონე უჩვეულოდ ვიწრო ახ. ბარიონულ რეზონანსს (საქართვ. სახელმწ. პრემია, 1986, ნ. ამაღლობელი, თ. გრიგალაშვილი, ვ. კეკელიძე, გ. ნიკობაძე, ვ. ჯორჯაძე და სხვ.). ამავე ჯგუფმა სხვებთან ერთად შეისწავლა Lc+ ბარიონის დაბადება, XX ს. 90-იან წლებში კი „EXCHARM" საერთაშ. თანამშრომლობის ჩარჩოებში განაგრძო L c+ და sh c0 ჩარმიანი რეზონანსების

დაშლის სხვადასხვა არხების შესწავლა. ნუკლონების გარდა, არსებობს სხვა სამკვარკიანი წარმონაქმნები. ერთ-ერთი ასეთი წარმონაქმნის, იზობარის წვლილი დეიტრონში ექსპერიმენტულად პირველად შეისწავლეს თსუ-ის მეფი-ში (მ. ნიორაძე და სხვ.) ბგგი-ის სინქროფაზოტრონზე, ბუშტოვანი კამერის გამოყენებით, დუბნაში მომუშავე საერთაშორისო კოლექტივთან ერთად. შეისწავლებოდა გადამუხტვის რეაქციები დეიტრონზე, ბირთვული რეაქციების მექანიზმი და ეგზოტიკური მდგომარეობები (დიბარიონული რეზონანსების ანომალიები) ბირთვულ ურთიერთქმედებებში. იგივე ჯგუფი მონაწილეობდა ექსპერიმენტებში იულიხის (გერმანია) კვლევათა ცენტრის ამჩქარებლებზე პოლარიზებული ნაკადების და პოლარიზებული სამიზნის გამოყენებით.

XX ს. 90-იან წლებში მეფი-ის ფიზიკოსთა ორი ჯგუფის მიერ (ი. თევზაძე სხვებთან ერთად და ლ. ჩხაიძე სხვებთან ერთად) დუბნის ამჩქარებლებზე მიღებული ექსპერ. მასალის დამუშავების საფუძველზე ჩატარდა რელატივისტური ნუკლონებისა და ბირთვების სხვადასხვა ბირთვებთან დაჯახების მექანიზმების კვლევა (ბირთვული მატერიის თვისებების შესწავლა დიდი სიმკვრივისა და მაღალი ტემპერატურის პირობებში) და დადგინდა ან დაზუსტდა ამგვარი პროცესების მახასიათებლები. ნოვოსიბირსკის (რუსეთი) ბირთვული ფიზიკის ინ-ტში ლ. ქურდაძის უშუალო მონაწილეობით XX ს. 70-იან წლებში მიღებულია მნიშვნელოვანი შედეგები: პირველად ექსპერიმენტულად შემოწმდა კვანტური ელექტროდინამიკის სამართლიანობის ფარგლები 3.1 გევ ენერგიამდე და დადგინდა, რომ მიუონი 6×10-17 მ მანძილებამდე ჯერ კიდევ წერტილოვანი ნაწილაკია (1971); პირველად ექსპერიმენტულად შემოწმდა კვანტური ქრომოდინამიკის ზოგიერთი წინასწარმეტყველება 2 გევ ენერგიებამდე (1972–79); რეკორდული სიზუსტით გაიზომა ρ, ω და φ-მეზონების დაბადების განივკვეთი ელექტრონულ-პოზიტრონული ანიჰილაციის პროცესებში, ρ-ω, ρ-φ და ω-φ ინტერფერენციის მოვლენა და მათი დაშლის იშვიათი არხები; დაბალენერგეტიკულ არეში 2E

XX ს. I ნახევარში დიდი ამჩქარებლების აგებამდე (1953, ბრუკჰეივენის ნაც. ლაბ., აშშ; 1955, ლოურენსის ნაც. ლაბ., აშშ; 1957, ბგგი, სსრკ) მაღალენერგიული ნაწილაკების ერთადერთი წყარო იყო კოსმოსური სხივებ-ი. ენ-თა ეს *წყარო* დღემდე ინარჩუნებს მნიშვნელობას – კოსმოსურ სხივებში ენ-თა ენერგია ხშირად ბევრად მაღალია, ვიდრე ამჩქარებლებით შეიძლება იქნას მიღებული. საქართველოში კოსმოსური სხივების შესწავლის დაწყება (1936) შეიძლება ჩაითვალოს ჩვენს ქვეყანაში ენფ-ის განვითარების დასაწყისად.

1949–50 წლებში იალბუზზე ზღვის დონიდან 3900 მ სიმაღლეზე მაფი-ის ახალგაზრდა თანამშრომელთა მიერ ე. ანდრონიკაშვილის ხელმძღვანელობით (მ. ბიბილაშვილი, ზ. მანჯავიძე, გ. ჩიქოვანი, გ. კახიძე, ვ. ცინცაძე და სხვ.) აიგო „ყინულოვანი ბაზა". 1950 აქ დაიწყო დაკვირვებები 20 სმ დიამეტრის ვილსონის კამერით. სსრკ-ში პირველად აღმოჩენილი იქნა ე. წ. უ ც ნ ა უ რ ი ენ-ების (K-მეზონები, L-ჰიპერონები) „ორკაპა

კვალები".

1953–60 დაკვირვებები გაგრძელდა 1800 მ სიმაღლეზე (იალბუზი), შეწყვილებული ვილსონის კამერებით, 10 გევ ენერგიაზე. მსოფლიოში პირველად შემჩნეული იქნა შ ±-ჰიპერონების კვალი.

1956–59 მაფი-ის თანამშრომლებმა სწრაფმოქმედი ერთმეტრიანი კონდენსაციური კამერის მეშვეობით შეისწავლეს KL 0-მეზონების თვისებები და პირველად დაადგინეს მათი დაშლის ზოგიერთი მოდის ალბათობა (დ. კოტლიარევსკი, ზ. მანჯავიძე და სხვ.).

1965 ცხრაწყაროს უღელტეხილზე ზღვის დონიდან 2500 მ სიმაღლეზე, მაფი-ის მაღალმთიან სადგურზე (1968-იდან გ. ჩიქოვანის სახ. სადგური „ცხრა*წყარო* ") ამოქმედდა დანადგარი „ცხრაწყარო" – 1000 ტ ელექტრომაგნიტის ღრეჩოში მოთავსებული ორი ვილსონის კამერა (2 მ × 1 მ × 0,4 მ ზომების), და იონიზაციური კალორიმეტრი – რამაც შესაძლებელი გახადა 1012 ევ ენერგიის მოვლენების შესწავლა. დამტკიცდა, რომ ორნაწილაკოვანი კორელაციები ადასტურებს ჰადრონის მულტიპერიფერიულ კლასტერულ მოდელს. ნაჩვენები იქნა, რომ ჰადრონის სტრუქტურის ჩამოსაყალიბებლად საჭირო დრო აღემატება ურთიერთქმედების ხანგრძლივობას.

1957–59 საქართველოში იწყება გამოყენებითი ბფ-ის განვითარება. ქ. მცხეთის მახლობლად, სოფ. მუხათგვერდის მიმდებარე ტერიტორიაზე, აშენდა ИРТ-2000 ტიპის საქართვ. მაფი-ის კვლევითი ბირთვული რეაქტორი (ბრ).

1960 იანვრიდან დაიწყო კვლევები ოთხ განყოფილებაში: „ნეიტრონოგრაფიის" (ხელმძღვ. ა. მანჯავიძე), „მყარი ტანის რადიაციული ფიზიკის" (ზ. სარალიძე), „დაბალტემპერატურული რადიაციული მასალათმცოდნეობისა" (ი. ნასყიდაშვილი) და „გამოყენებითი ბირთვული ფიზიკის" (თ. ცეცხლაძე). მაფიის ბრ-ზე მსოფლიოში პირველად დაიწყეს ნეიტრონების ბირთვული პრეცესიის ექსპერ. კვლევები. აიგო დანადგარი (1988, მ. წულაია და სხვ.) თბური პოლარიზებული ნეიტრონების გაბნევის გამოსაკვლევად პოლარიზებულ დაბალტემპერატურულ სამიზნეებზე. ამ კვლევების ჩასატარებლად ჩამოყალიბდა პოლარიზებულ-ოპტიკური ნეიტრონული კვლევების საკავშ. თანამშრომლობა „პონი", რ-ის ფარგლებში იკვლევდნენ ნეიტრონების ბირთვულ და მაღალსიხშირულ პრეცესიებს, ბირთვულ პროცესებში მუხტურსივრცული სიმეტრიის დარღვევას, ხისტ და არახისტ პროცესებს პოლარიზებული ნეიტრონებისა და ბირთვების ურთიერთქმედებისას. ბრ-ის გაჩერების შემდეგ, ბგგი-ის მიწვევით, ეს კვლევები გაგრძელდა დუბნაში ი. ფრანკის სახ. ნეიტრონული ფიზიკის ლაბორატორიაში იმპულსურ რეაქტორზე იბრ-2. აქ გადაიტანეს და მოდერნიზაციის შემდეგ აამოქმედეს დანადგარი „კოლხიდა" (მ. წულაია, 2010). მყარი ტანის განყ-ბაში სხვადასხვა მეთოდებით შეისწავლებოდა რადიაციული დეფექტების გავლენა მასალათა ოპტიკურ, კინეტიკურ,

დინამიურ და მექანიკურ თვისებებზე. დასხივების პირობებში ნივთიერების სტრუქტურის შეცვლის კვლევას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ბირთვული ენერგეტიკის განვითარებისთვის, კერძოდ, მომავალი თერმობირთვული რეაქტორების ასაგებად. დასხივების გავლენის შესწავლა ზეგამტარების თვისებებზე, რ-ებიც ამ დანადგარებში უნდა იქნას გამოყენებული, შესაძლებელია მხოლოდ დაბალი (თხევადი ჰელიუმის) ტემპერატურის პირობებში. ამ პირობებში ნივთიერებაზე რადიაციის მოქმედების შესასწავლად მაფი-ში შეიქმნა და ბრ-ის ერთ-ერთ ჰორიზონტალურ არხში დამონტაჟდა სსრკ-ში პირველი დაბალტემპერატურული (85–100 K) მარყუჟი. ბრ-ის ექსპერ. შესაძლებლობები უფრო გაფართოვდა, როცა მის ბაზაზე შეიქმნა ინდიუმგალიუმის რადიაციული კონტური, რ-იც წარმოადგენდა „სუფთა" (ნეიტრონებისაგან თავისუფალ) გ-გამოსხივების მძლავრ წყაროს. შედეგად, დაბალტემპერატურული რადიაციული მასალათმცოდნეობის დარგში საქართვ. მაფი აღიარებულ იქნა სსრკ მასშტაბით წამყვან დაწესებულებად. ამ კვლევების შედეგებს მსოფლიო სამეცნ. საზოგადოება ნაკლებად იცნობდა ბრ-ზე მიმდინარე სამუშაოების გასაიდუმლოების გამო. თ. ცეცხლაძე ხელმძღვანელობდა ბირთვულ-ქიმიური პროცესების კვლევას არამეტალურ მყარ სხეულებში. შეისწავლებოდა ბირთვულ რეაქციებში წარმოქმნილი ტრიტიუმის როგორც თბური, ასევე გამოსხივების ველში მიმდინარე დაჩქარებული დიფუზია. განისაზღვრებოდა კრისტალური მესრის დეფექტების როლი ამ პროცესებში. განყოფილებაში შეიქმნა თბური და სწრაფი ნეიტრონების აქტივაციური დეტექტორები, რ-ებშიც, დოზიმეტრულ პრაქტიკაში პირველად, გამოყენებულ იქნა ფ ე ნ ო ლ ფ ო რ მ ა ლ დ ე ჰ ი დ უ რ ი ფისები; შეიქმნა ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებში ტრიტიუმის მცირე კონცენტრაციების გასაზომი აპარატურა, რ-იც გამოიყენებოდა საქართველოს ნავთობის საბადოების დამუშავებისას მიწისქვეშა და გარედან ჩატუმბული წყლების მიგრაციის კონტროლის მიზნით, განისაზღვრებოდა ტრიტიუმის შემცველობა ატმოსფერულ ნალექებში. 1967–68 რეაქტორის სიმძლავრე გაზარდეს 2 მეგვტ -იდან 5 მეგვტ - მდე, აქტიურ ზონაში თბოგადაცემის პროცესის ინტენსიფიცირებით. ამას მიაღწიეს ე.წ. ორგანზომილებიანი ხელოვნური ხაოიანობის გამოყენებით, რ-იც შეიქმნა თბოგამომყოფი ელემენტების ზედაპირებზე (ვ.გომელაური). 1973–75 რეკონსტრუქციისას ალუმინის ავზი შეცვალეს კოროზიამედეგი უჟანგავი ფოლადისაგან დამზადებული ავზით; ახ. თბოგამომყოფი ბლოკების გამოყენებით ბრ-ის სიმძლავრე გაზარდეს 8 მეგვტ-მდე; რეაქტორზე შეიქმნა მძლავრი დაბალტემპერატურული კომპლექსი ახალი კრიოგენული დანადგარებისა და დაბალტემპერატურული მარყუჟების ბაზაზე; დამონტაჟდა მომატებული სიმძლავრის რადიაციული კონტური; გაიზარდა ბრ-ის გამაცივებელი სისტემის წარმადობა; განხორციელდა კრიოგენული სადგურის რეკონსტრუქცია, რ-იც, თხევადი აზოტის წარმოების გაზრდის გარდა, მიზნად ისახავდა თხევადი ჰელიუმის წარმოების გაზრდასაც. შედეგად, მაფი-ის ბრ გადაიქცა მძლავრ ბირთვულტექნოლოგიურ ექსპერიმენტულ კომპლექსად, რ-ზეც ტარდებოდა ფუნდამენტური კვლევები 10–400 K ტემპერატურულ შუალედში ინტენსიური ნეიტრონული ნაკადებისა და გ-გამოსხივების პირობებში.

1990 საზოგადოების ნაწილის ზეწოლით მაფი-ის ბრ დაიხურა. რადიოაქტიური მასალებისა და გამოუყენებელი ბირთვული საწვავის ნაწილი შეიძინა და საქართველოდან გაიტანა უზბეკეთის მეცნ. აკადემიამ თავისი კვლევითი ბრ-ის საჭიროებებისათვის; დარჩენილი ნაწილი შეიძინა ამერიკის შეერთებულმა შტატებმა. გაჩერებული ბრ-ის ინფრასტრუქტურის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად მაფი-ში, ატომური ენერგიის საერთაშორისო სააგენტოს (აესს) ტექნიკური და ფინანსური მხარდაჭერით, შემუშავდა პროექტი (შ. აბრამიძე, ზ. სარალიძე, ნ. ქათამაძე), რ-ის შესაბამისად, 2002 შესრულდა ბრ-ის ავზის ქვედა რადიოაქტიური ნაწილის და დაგროვილი მაღალი აქტივობის მქონე ნარჩენების დაბეტონება. აესს რეკომენდაციით, განიხილება მსოფლიოში მოქმედი სხვადასხვა კონსტრუქციისა და ტიპის დანადგარებზე საქართვ. ბრ-ზე გამოყენებული დაკონსერვების სქემის დანერგვის შესაძლებლობა. მიმდინარეობს მოლაპარაკება წყნარი ოკეანის ჩრდ.-დას. ნაც. ლაბორატორიასთან (აშშ-ის ენერგეტიკის დეპარტამენტი, The Pacific Northwest National Laboratory, PNNL, Richland, Washington, USA) საერთო სამეცნიეროკვლევითი სამუშაოების ჩატარების შესაძლებლობაზე. ქართველი ფიზიკოსების მიერ ენფ და ბფ დარგში მიღებულმა შედეგებმა (როგორც თეორ., ასევე ექსპერ. კვლევების მიმართულებით) განაპირობა ის ავტორიტეტი, რ-იც ჰქონდა საქართველოში ჩატარებულ საერთაშ. და საკავშ. კონფერენციებს, სიმპოზიუმებსა და სხვ. ღონისძიებებს. გამორჩეული პოპულარობით სარგებლობდა ზამთრის სკოლები მაღალი ენერგიების ენფ-ისა და ბფ-ში, მაღალ ენერგიებზე არადრეკად პროცესებში, ასევე მასალათა რადიაციულ ფიზიკაში, რ-ებიც სისტემ. ტარდებოდა მაფიის მაღალმთიან ბაზაზე (დაბა ბაკურიანი). 1976 თბილისში ჩატარდა XVII საერთაშ. კონფერენცია მაღალი ენერგიების ფიზიკაში (ე. წ. როჩესტერის კონფერენცია), რ-იც ორ წელიწადში ერთხელ ტარდება იმ ქვეყნებში, სადაც მეცნიერების ეს მიმართულება განსაკუთრებით არის განვითარებული.

ლიტ.: რ ო ი ნ ი შ ვ ი ლ ი ნ., ე. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტი, თბ., 2009; ხ ე ლ ა შ ვ ი ლ ი ა., ელემენტარულ ნაწილაკთა ფიზიკის განვითარების ძირითადი ეტაპები, კრ.: „. . . და იყო დღე ფიზიკისა", თბ., 2005; А н д р о н и к а ш в и л и Э., Начинаю с Эльбруса, Тб., 1980.

ნ. ამაღლობელი

თ. კოპალეიშვილი

ნ. როინიშვილი

რ. ჯიბუტი

ელემენტარული ნაწილაკებისა და ბირთვის ფიზიკის განვითარების ძირითადი ეტაპები

ძვ.წ. V ს. ბერძენმა ფილოსოფოსმა დემოკრიტემ ივარაუდა განუყოფელი ნაწილაკების (ატომების) არსებობა.

* 1887 გერმანელმა ფიზიკოსმა ჰ. ჰერცმა აღმოაჩინა გარე ფოტოეფექტი. * 1895 გერმანელმა ფიზიკოსმა ვ. რენტგენმა აღმოაჩინა რენტგენის სხივები. * 1896 ფრანგმა ფიზიკოსმა ა. ბეკერელმა აღმოაჩინა ბუნებრივი რადიოაქტივობა. * 1897 ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჯ. ჯ. ტომსონმა აღმოაჩინა ელექტრონი. * 1898 ფრანგმა ფიზიკოსებმა პ. კიურიმ და მ. სკლოდოვსკა-კიურიმ მიიღეს და შეისწავლეს პოლონიუმი და რადიუმი. * 1899 ინგლისელმა ფიზიკოსმა ე. რეზერფორდმა აღმოაჩინა ა- და ბ-გამოსხივება. * 1900 ფრანგმა ფიზიკოსმა პ. ვილარმა აღმოაჩინა გსხივები. გერმანელმა ფიზიკოსმა მ. პლანკმა წამოაყენა კვანტების ჰიპოთეზა. * 1902–03 ე. რეზერფორდმა და ინგლისელმა მეცნიერმა ფ. სოდიმ დაადგინეს რადიოაქტიური გარდაქმნების კანონი (წანაცვლების კანონი). * 1908 გერმანელმა ფიზიკოსმა ჰ. გაიგერმა ე. რეზერფორდთან ერთად გამოიგონა ცალკეული დამუხტული მიკრონაწილაკების მთვლელი. * 1928 მანვე გერმანელ ფიზიკოსთან ვ. მიულერთან ერთად გააუმჯობესა ეს ხელსაწყო (მას გაიგერ – მიულერის მთვლელი უწოდეს). * 1909 ჰ. გაიგერმა და ინგლისელმა ფიზიკოსმა ე. მარსდენმა აღმოაჩინეს ა-ნაწილაკების დიდი კუთხით გადახრა თხელ ფოლგაში გავლისას. ე. რეზერფორდმა და ინგლისელმა ფიზიკოსმა ტ. როიდსმა დაამტკიცეს, რომ ა-ნაწილაკი ჰელიუმის ორჯერ იონიზებული ატომია. * 1911 ე. რეზერფორდმა ივარაუდა ატომის შიგნით დადებითად დამუხტული ბირთვის არსებობა. * 1912 ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჩ. ვილსონმა გამოიგონა „ნისლოვანი კამერა" (ვილსონის კამერა). ავსტრიელმა ფიზიკოსმა ვ. ჰესმა აღმოაჩინა კოსმოსური სხივები. * 1913 დანიელმა ფიზიკოსმა ნ. ბორმა წამოაყენა ატომის კვანტური მოდელი. ამერიკელმა ფიზიკოსმა რ. მილიკენმა გაზომა ელექტრონის მუხტი. ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჰ. მოზლიმ ექსპერიმენტულად დაადგინა, რომ ბირთვის მუხტი განისაზღვრება ელემენტის რიგითი ნომრით. * 1919 ინგლისელმა მეცნიერმა ფ. ასტონმა ააგო მასსპექტროგრაფი და მისი მეშვეობით განაცალკევა ელემენტების იზოტოპები (მასსპექტროგრაფის მოქმედების პრინციპი 1907 წამოაყენა ჯ. ჯ. ტომსონმა). ე. რეზერფორდმა განახორციელა ხელოვნური ბირთვული რეაქცია N14 + a → p + O17 და დაამტკიცა, რომ ატომის ბირთვი შეიცავს პროტონებს (მანვე 1914 ივარაუდა ბირთვში პროტონების არსებობა). * 1922 ამერიკელმა ფიზიკოსმა ა. კომპტონმა გამოიკვლია რენტგენის სხივების გაბნევა ნივთიერების ელექტრონებზე და დაამტკიცა ფოტოტიბუნის არსებობა (ტერმინი შემოიღო ამერიკელმა ფიზიკოსმა გ. ლიუისმა 1929). * 1924 ავსტრიელმა ფიზიკოსმა ვ. პაულიმ ჩამოაყალიბა ბუნების ერთ-ერთი ფუნდამენტური კანონი, ე. წ. პაულის პრინციპი. გერმანელმა ფიზიკოსმა ვ. ბოთემ დაამუშავა იშვიათ მოვლენათა რეგისტრაციის ახალი მეთოდი – დამთხვევათა მეთოდი. * 1925 ჰოლანდიელმა ფიზიკოსებმა ს. გაუდსმითმა და ჯ. ულენბეკმა შემოიღეს სპინის ცნება. * 1926 იტალიელმა ფიზიკოსმა ე. ფერმიმ დაადგინა სპინისა და სტატისტიკის შესაბამისობა. * 1927 ფ. ასტონმა აღწერა ბირთვის ბმის ენერგიის

დამოკიდებულება ნუკლონთა რაოდენობაზე. * 1930 ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ე. ლოურენსმა და ნ. ილდეფსენმა ააგეს ციკლოტრონი. * 1931 ვ. პაულიმ ბ-დაშლის ელექტრონების სპექტრის ასახსნელად წამოაყენა ნეიტრინოს არსებობის ჰიპოთეზა. ამერიკელმა ფიზიკოსმა რ. ვან დე გრააფმა შექმნა ელექტროსტატიკური ამჩქარებელი (ვან დე გრააფის გენერატორი). * 1932 ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჯ. ჩედვიკმა აღმოაჩინა ნეიტრონი, რომლის არსებობა 1920 ივარაუდა რეზერფორდმა. საბჭოთა ფიზიკოსმა დ. ივანენკომ და გერმანელმა ფიზიკოსმა ვ. ჰაიზენბერგმა ივარაუდეს, რომ ატომბირთვი აგებულია პროტონებით და ნეიტრონებით. ამერიკელმა ფიზიკოსმა კ. ანდერსონმა აღმოაჩინა პოზიტრონი, ანუ ანტიელექტრონი (იწინასწარმეტყველა ინგლისელმა ფიზიკოსმა პ. დირაკმა 1931). ინგლისელმა ფიზიკოსებმა ჯ. დ. კოკროფტმა და ე. უოლტონმა განახორციელეს ბირთვული გარდაქმნა ხელოვნურად აჩქარებული პროტონებით. ამერიკელმა მეცნიერმა ჰ. იურიმ აღმოაჩინა დეიტერიუმი – წყალბადის მძიმე იზოტოპი. * 1933 ფრანგმა ფიზიკოსებმა ფ. ჟოლიო-კიურიმ და უ. ტიბომ ექსპერიმენტულად დაამტკიცეს ელექტრონისა და პოზიტრონის ანიჰილაცია. გერმანელმა ფიზიკოსმა ო. შტერნმა და ინგლისელმა ფიზიკოსმა ო. ფრიშმა გაზომეს პროტონის მაგნიტური მომენტი. ე. რეზერფორდმა და ინგლისელმა ფიზიკოსმა მ. ოლიფანტმა ექსპერიმენტულად დაამტკიცეს აინშტაინის $E=mc^2$ თანაფარდობის მართებულობა ბირთვული გარდაქმნებისას. * 1934 ფ. ჟოლიო-კიურიმ და ფრანგმა ფიზიკოსმა ი. ჟოლიო-კიურიმ აღმოაჩინეს ხელოვნური რადიოაქტივობა. ე. ფერმიმ ჩამოაყალიბა ბ-დაშლის თეორია და შემოიღო ახალი, ე. წ. სუსტი ურთიერთქმედება. ე. რეზერფორდმა, მ. ოლიფანტმა და გერმანელმა ფიზიკოსქიმიკოსმა პ. ჰარტეკმა აღმოაჩინეს წყალბადის ზემძიმე იზოტოპი – ტრიტიუმი. საბჭოთა ფიზიკოსმა პ. ჩერენკოვმა ს. ვავილოვის ხელმძღვანელობით აღმოაჩინა ნათება არასცინტილირებად სითხეებში რელატივისტური ნაწილაკების გავლისას (ჩერენკოვ-ვავილოვის ეფექტი). * 1935 იაპონელმა ფიზიკოსმა ჰ. იუკავამ დაამუშავა ბირთვულ ურთიერთქმედებათა თეორია და წამოაყენა ჰიპოთეზა მეზონის არსებობის შესახებ, რომლის გაცვლით ხორციელდება ურთიერთქმედება ნუკლონებს შორის (აღმოაჩინეს 1947). ამერიკელმა ფიზიკოსმა ა. დემპსტერმა აღმოაჩინა ურანის იზოტოპი U235. * 1937 კ. ანდერსონმა და ამერიკელმა მეცნიერმა სას. ნედერმაიერმა ვილსონის კამერის საშუალებით აღმოაჩინეს მიუონი. იტალიელმა ფიზიკოსებმა ე. სეგრემ და კ. პერიემ მოლიბდენის ბირთვის დეიტრონებით დაბომბვისას დაასინთეზეს პირველი ხელოვნური ელემენტი – ტექნეციუმი (იწინასწარმეტყველა რუსმა ქიმიკოსმა დ. მენდელეევმა, როგორც ეკა-მაგნიუმი). * 1938 გერმანელმა მეცნიერმა ჰ. ბეთემ და ინგლისელმა მეცნიერმა ჩ. კრიტჩფილდმა აღმოაჩინეს თერმობირთვული რეაქციების პროტონ-პროტონული ციკლი, როგორც ვარსკვლავთა ენერგიის წყარო. ჰ. ბეთემ და გერმანელმა ფიზიკოსმა კ. ვაიცზეკერმა აღმოაჩინეს ვარსკვლავთა ენერგიის კიდევ ერთი *წყარო* – ნახშირბად-აზოტური ციკლი. * 1939 გერმანელმა მეცნიერებმა ო. ჰანმა და ფ. შტრასმანმა აღმოაჩინეს ურანის ბირთვის გაყოფა ნეიტრონებით დასხივებისას. ა ვ ს ტ რ ი ე ლ მ ა ფიზიკოსმა ლ. მაიტნერმა და ო. ფრიშმა ახსნეს ო. ჰანისა და ფ. შტრასმანის ექსპერიმენტი. ლ. მაიტნერმა ამ მოვლენის ასახსნელად შემოიღო ცნება „ბირთვის გაყოფა". დასაბუთებულ იქნა დაყოფის ჯაჭვური ბირთვული

რეაქციის შესაძლებლობა (ჯაჭვური რეაქციის იდეა გამოთქვა ამერიკელმა ფიზიკოსმა ლ. სცილარდმა 1934). ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ლ. ალვარესმა და რ. კორნოგმა აღმოაჩინეს ჰელიუმის მსუბუქი იზოტოპი He3 (იწანასწარმეტყველა მ. ოლიფანტმა 1934). * 1940 ამერიკელმა ფიზიკოსმა დ. კერსტმა ააგო ბეტატრონი – ელექტრონების ციკლური ამჩქარებელი (1928 გამოიგონა ნორვეგიელმა მეცნიერმა რ. ვიდეროემ). ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ე. მაკმილანმა და ფ. ეიბლსონმა აღმოაჩინეს 93-ე ქიმიური ელემენტი – ნეპტუნიუმი. ამერიკელმა ფიზიკოსებმა დ. კორსონმა, კ. მაკ-კენზიმ და ე. სეგრემ ბისმუთზე ა-ნაწილაკების დასხივებით დაასინთეზეს 85-ე ქიმიური ელემენტი – ასტატიუმი. * 1941 ამერიკელმა მეცნიერმა გ. სიბორგმა და ე. მაკმილანმა დაასინთეზეს 94-ე ქიმიური ელემენტი – პლუტონიუმი. * 1942 ე. ფერმიმ განახორციელა მართვადი ბირთვული ჯაჭვური რეაქცია თავისივე ხელმძღვანელობით აგებულ რეაქტორში. * 1944 გ. სიბორგმა სხვებთან ერთად დაასინთეზა 95-ე და 96-ე ქიმიური ელემენტები – ამერიციუმი და კიურიუმი. * 1944–45 საბჭოთა ფიზიკოსმა ვ. ვექსლერმა (1944) და ე. მაკმილანმა (1945) წამოაყენეს ავტოფაზირების პრინციპი. * 1945 16 ივლისს ალამოგორდოს უდაბნოში (აშშ) განხორციელდა ექსპერიმენტული ბირთვული აფეთქება (დაყოფის ჯაჭვური რეაქცია). ამერიკელმა მეცნიერებმა ჯ. მარინსკიმ, ლ. გლენდენინმა და ჩ. კორიელმა დაასინთეზეს 61-ე ქიმიური ელემენტი – პრომეთიუმი. * 1946 ამერიკელმა მეცნიერმა გ. გამოვმა წამოაყენა „დიდი აფეთქების" მოდელი და დაამუშავა ქიმიურ ელემენტთა სინთეზის თეორია. * 1947–48 ინგლისელმა მეცნიერებმა ჩ. ლატესმა, ბ. მიუირჰელმა, ჯ. ოკიალინიმ და ს. პაუელმა აღმოაჩინეს პ-მეზონი. ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ჯ. როჩესტერმა და კ. ბატლერმა აღმოაჩინეს K-მეზონი. * 1948–50 ამერიკელმა ფიზიკოსმა ა. სნელმა, კანადელმა ფიზიკოსმა ჯ. რობსონმა და საბჭოთა ფიზიკოსმა პ. სპივაკმა ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად აღმოაჩინეს თავისუფალი ნეიტრონის ბ-დაშლა (იწინასწარმეტყველა ფ. ჟოლიო-კიურიმ 1934) და გაზომეს ნახევარდაშლის პერიოდი. შეიქმნა და განვითარდა ბირთვის გარსული და კოლექტიური მოდელები. * 1949 ამერიკელმა ფიზიკოსმა ი. პ. ვიგნერმა ჩამოაყალიბა ბარიონული რიცხვის შენახვის კანონი. გ. სიბორგმა და ამერიკელმა ფიზიკოსმა ს. ტომსონმა დაასინთეზეს 97-ე ქიმიური ელემენტი – ბერკლიუმი. * 1950 ამერიკელმა ფიზიკოსებმა რ. ბიორკლუნდმა, ვ. კრენდალმა, ბ. მოიერმა და სხვ. აღმოაჩინეს ნეიტრალური პ-მეზონი. გ. სიბორგმა სხვებთან ერთად დაასინთეზა 98-ე ქიმიური ელემენტი – კალიფორნიუმი. * 1951 ამერიკელმა ფიზიკოსმა მ. დოიჩმა აღმოაჩინა პოზიტრონიუმი. * 1952 აღმოაჩინეს ლეპტონური რიცხვის შენახვის კანონი. აშშ-ში განახორციელეს თერმობირთული სინთეზის ხელოვნური რეაქცია უმართავი აფეთქების სახით. * 1953 ამერიკელმა ფიზიკოსმა მ. გელ-მანმა და იაპონელმა ფიზიკოსმა კ. ნიშიჯიმამ შემოიღეს კვანტური რიცხვი უცნაურობა და აღმოაჩინეს უცნაურობის შენახვის კანონი. ამერიკელმა ფიზიკოსმა დ. გლეზერმა შექმნა ბუშტოვანი კამერა. წყალბადის ბომბის აფეთქების პროდუქტებში აღმოაჩინეს 99-ე (ფერმიუმი) და მე-100 (აინშტაინიუმი) ქიმიური ელემენტების იზოტოპები. * 1954 ობნინსკში (სსრკ) ამოქმედდა პირველი ატომური ელექტროსადგური. * 1955 ე. სეგრემ და ამერიკელმა ფიზიკოსმა ო. ჩემბერლენმა სხვებთან ერთად აღმოაჩინეს ანტიპროტონი. * 1955–58 გ. სიბორგმა სხვებთან ერთად დაასინთეზა 101-ე ქიმიური ელემენტი – მენდელეევიუმი. ამერიკელმა

მეცნიერმა რ. ჰოფშტადტერმა გაზომა პროტონის (1957) და ნეიტრონის (1958) ელექტრომაგნიტური ფორმფაქტორები. * 1956 ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ო. პიჩიონიმ, ბ. კორკმა და სხვ. აღმოაჩინეს ანტინეიტრონი. ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ფ. რეინესმა და კ. კოუენმა ექსპერიმენტულად აღმოაჩინეს ელექტრონული ანტინეიტრინო (იწინასწარმეტყველა ვ. პაულიმ 1931). ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ლიმ და იანგმა დაადგინეს სუსტ ურთიერთქმედებებში ლუწობის შენახვის კანონის დარღვევა, რაც ექსპერიმენტულად დაამტკიცა ამერიკელმა ფიზიკოსმა ც. ვუმ. ლ. ალვარესმა აღმოაჩინა ბირთვული სინთეზის μ კატალიზი (იწინასწარმეტყველა ამერიკელმა მეცნიერმა ფ. ფრანკმა 1947) * 1958 გერმანელმა ფიზიკოსმა რ. მესბაუერმა აღმოაჩინა ე. წ. მესბაუერის ეფექტი. * 1959 საბჭოთა ფიზიკოსებმა ს. ბელიაევმა, ვ. სოლოვიოვმა, ა. მიგდალმა შექმნეს ბირთვის ზედენადი მოდელი (საბჭოთა ფიზიკოსის ნ. ბოგოლიუბოვის 1958 წ. შექმნილი მეთოდის საფუძველზე). იაპონელმა ფიზიკოსებმა ს. ფუკუიმ და ს. მიამოტომ გამოიგონეს ნაპერწკლური კამერა. * 1960 ლ. ალვარესმა აღმოაჩინა რეზონანსები – ჰადრონები, რომლებიც განიცდიან ძლიერ დაშლას. * 1961 მ. გელ-მანმა და ამერიკელმა ფიზიკოსმა უ. ნეემანმა ჯგუფთა თეორიის საფუძველზე შემოიღეს ელემენტარულ ნაწილაკთა კლასიფიკაცია. * 1961–70 დუბნასა (სსრკ) და ბერკლიში (აშშ) ამჩქარებლებზე დაასინთეზეს 103-ე (ლოურენსიუმი) და 104-ე (რეზერფორდიუმი) ქიმიური ელემენტების სხვადასხვა იზოტოპი. * 1962 ამერიკელმა ფიზიკოსმა ლ. ლედერმანმა დაასაბუთა განსხვავება ელექტრონულ და მიუონურ ნეიტრინოებს შორის. * 1963 მ. გელ-მანმა და ამერიკელმა ფიზიკოსმა ჯ. ცვაიგმა წამოაყენეს ჰადრონების კვარკული მოდელი. * 1964 ა მ ე რ ი კ ე ლ მ ა ფიზიკოსებმა შ. გლეშოუმ და ჯ. ბიორკენმა შემოიღეს კვანტური რიცხვი „მომხიბლაობა", ანუ ჩარმი. ინგლისელმა მეცნიერმა პ. ჰიგსმა (ამერიკელი ფიზიკოსის ფ. ანდერსონის იდეებზე დაყრდნობით) ჩამოაყალიბა ელემენტარულ ნაწილაკთა მასის წ ა რ მ ო ქ მ ნ ი ს მექანიზმი ლოკალური კ ა ლ ი ბ რ უ ლ ი სიმეტრიის სპონტანური დ ა რ ღ ვ ე ვ ი ს ა ს , ს კ ა ლ ა რ უ ლ „ჰიგსის ველთან" უ რ თ ი ე რ თ ქ მ ე დ ე ბ ი ს შედეგად და იწანასწარმეტყველა ამ ველის კვანტი – ჰიგსის ბოზონი. ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ვ. ფითჩმა და ჯ. კრონინმა აღმოაჩინეს CP კომბინირებული ლუწობის (შემოიღო საბჭოთა ფიზიკოსმა ლ. ლანდაუმ 1957) დარღვევა K0 -მეზონების დაშლისას. ბრუკჰეივენის ნაციონალურ ლაბორატორიაში (ამერიკელი ფიზიკოსი უ. ფაულერი და სხვ.) აღმოაჩინეს ჰადრონი Ω-, რომლის არსებობა იწინასწარმეტყველა გელ-მანმა 1962.

* 1965 საბჭოთა ფიზიკოსებმა ნ. ბოგოლიუბოვმა, ბ. სტრუმინსკიმ, ა. თავხელიძემ და ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ი. ნამბუმ და მ.-ი. ჰანმა შემოიღეს კვანტური რიცხვი „ფერი". * 1966 ლ. ლედერმანმა დაასინთეზა ანტიდეიტრონები. საბჭოთა ფიზიკოსმა გ. ფლიოროვმა სხვებთან ერთად დაასინთეზა 102-ე ქიმიური ელემენტი – ნობელიუმი. * 1967 ამერიკელმა ფიზიკოსმა ს. უაინბერგმა და პაკისტანელმა ფიზიკოსმა ა. სალამმა ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად წამოაყენეს სუსტ და ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებათა ერთიანი მოდელი. საბჭოთა ფიზიკოსმა ა. სახაროვმა განიხილა სამყაროს ბარიონული ასიმეტრიის წარმოქმნის მექანიზმი. საბჭოთა ფიზიკოსებმა ა. ლოგუნოვმა და მ. მესტვირიშვილმა სხვებთან ერთად განავითარეს ახალი მიდგომა ელემენტარულ ნაწილაკთა ურთიერთქმედების შესასწავლად; ამ მიდგომას ამერიკელმა ფიზიკოსმა რ. ფეინმანმა

მოგვიანებით (1969) ინკლუზიური უწოდა. * 1968 ექსპერიმენტულად აღმოაჩინეს ნუკლონების შინაგანი სტრუქტურა. იტალიელმა მეცნიერმა გ. ვენეციანომ შექმნა ე. წ. ვენეციანოს მოდელი და ჩაუყარა საფუძველი სიმთა თეორიის განვითარებას. * 1970 შ. გლეშოუმ და სხვ. „მომხიბლავი" კვარკის ცნების შემოტანით მოახდინეს უაინბერგ – სალამის სუსტ და ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებათა თეორიის მოდიფიცირება და ააგეს ე. წ. სტანდარტული მოდელი. საბჭოთა ფიზიკოსმა ი. პროკოშკინმა სხვებთან ერთად დაასინთეზა ანტიჰელიუმის ბირთვი He3. გ. ფლიოროვმა დაასინთეზა 105-ე ქიმიური ელემენტის – დუბნიუმის იზოტოპები. * 1971 საბჭოთა ფიზიკოსებმა ი. გოლფანდმა და ე. ლიხტმანმა შემოიღეს სუპერსიმეტრიის კონცეფცია. * 1973 მ. გელმანმა და სხვ. წამოაყენეს გლუონების ჰიპოთეზა და განავითარეს ძლიერი ურთიერთქმედების კვანტურ-ქრომოდინამიკური(კქდ) მოდელი. იაპონელმა ფიზიკოსებმა მ. კობაიაშიმ და ტ. მასუკავამ ივარაუდეს მესამე თაობის კვარკების არსებობა ელექტროსუსტ ურთიერთქმედებაში CP სიმეტრიის დარღვევის ასახსნელად. ექსპერიმენტულად აღმოაჩინეს ნეიტრალური სუსტი დენი, რითაც დადასტურდა გლეშოუ–უაინბერგ–სალამის ელექტროსუსტი ურთიერთქმედების მოდელი. * 1974 ამერიკელმა ფიზიკოსებმა ბ. რიხტერმა და ს. ტინგმა აღმოაჩინეს „მომხიბლავი" კვარკ-ანტიკვარკის ბმული მდგომარეობა – ჩარმონიუმი. გ. ფლიოროვმა და დ. სიბორგმა სხვებთან ერთად დაასინთეზეს 106-ე ქიმიური ელემენტი – სიბორგიუმი. * 1975 ამერიკელმა ფიზიკოსმა მ. პერლმა აღმოაჩინა ტ-ლეპტონი. ამჩქარებელმზე SPEAR (აშშ) აღმოაჩნეს ჰადრონული ჭავლები, რაც იძლევა კვარკების თვისებების შესწავლის შესაძლებლობას. * 1976–89 დუბნასა (სსრკ) და დარმშტადტში(გერმანია) ამჩქარებლებზე დაასინთეზეს 107-ე ქიმიური ელემენტი – ბორიუმი. დარმშტადტში დაასინთეზეს 108-ედან 112-მდე ქიმიური ელემენტები: ჰასიუმი, მაიტნერიუმი, დარმშტადტიუმი, რენტგენიუმი და კოპერნიციუმი. * 1977 ე. ფერმის ლაბორატორიაში (FNAL, აშშ) ლ. ლედერმანმა და სხვ. აღმოაჩინეს „მშვენიერი" კვარკ-ანტიკვარკის ბმული მდგომარეობა – ბოტონიუმი. * 1979 ექსპერიმენტულად დადასტურდა გლუონის არსებობა (DESY, გერმანია). * 1980 შემოიღეს ახალი კვანტური რიცხვი „მშვენიერება". ა მ ე რ ი კ ე ლ მ ა ფიზიკოსებმა დ. პოლიტცერმა, დ. გროსმა და ფ. უილჩეკმა აჩვენეს, რომ კქდ აღწერს როგორც კვარკების ასიმპტოტურ თ ა ვ ი ს უ ფ ლ ე ბ ა ს ჰადრონში, ასევე (თ ვ ი ს ე ბ რ ი ვ ა დ) ჰადრონში კვარკების „დატყვევების" მოვლენას. * 1983 e+e– კოლაიდერზე (CESR, აშშ) აღმოაჩინეს B-მეზონი. CERN-ში (შვეიცარია) კ. რუბიამ და ს. ვან დერ მეერმა აღმოაჩინეს ვექტორული ბოზონები W ± და Z0. * 1987 საბჭოთა მეცნიერებმა მ. დანილოვმა და სხვ. აღმოაჩინეს B0d ↔ B0d ოსცილაციები. * 1989 Z0 ბოზონის სიგანის ზუსტი გაზომვით დადგინდა, რომ არსებობს ლეპტონების და კვარკების სამი თაობა. * 1995 აღმოაჩინეს t-კვარკი (FNAL, აშშ). * 1998 დანადგარზე სუპერ-კამიოკანდე (იაპონია) აღმოაჩინეს ატმოსფერული ნეიტრინოების ოსცილაციები(იწინასწარმეტყველა საბჭოთა მეცნიერმა ბ. პონტეკორვომ 1957). * 1998–2010 დუბნაში ფლიოროვის სახელობის ლაბორატორიაში დაასინთეზეს 113-ედან 118-ემდე ქიმიური ელემენტები. * 2000 FNAL-ში აღმოაჩინეს t-ნეიტრინო. * 2001 სადბერის ნეიტრინულ ობსერვატორიაში (SNO, კანადა) აღმოაჩინეს მზის ნეიტრინოების ოსცილაციები. * 2001–04 აღმოაჩინეს CP-სიმეტრიის დარღვევა ნეიტრალური B-მეზონების სისტემაში. * 2010 ბრუკჰეივენის ნაციონალურ ლაბორატორიაში დაასინთეზეს

ანტიჰელიუმის ბირთვი He4. * 2011 CERN-ში (შვეიცარია) მიიღეს კვარკ-გლუონური პლაზმა. * 2012 CERN-ში დეტექტორებზე ATLAS და CMS აღმოაჩინეს ჰიგსის ბოზონი.