საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია

ქართული ენციკლოპედიის ი. აბაშიძის სახელობის მთავარი სამეცნიერო რედაქცია

იზოტოპები

იზოტოპები (ბერძნ. isos – ტოლი, ერთნაირი, მსგავსი და topos – ადგილი), ერთი განსაზღვრული ქიმიური ელემენტის ატომების (ნუკლიდების) სახესხვაობები, რომელთა ბირთვი შეიცავს პროტონების ერთნაირ და ნეიტრონების განსხვავებულ რაოდენობას. ამიტომ ი-ის (ნეიტრალური ატომების) ელექტრონული გარსი შეიცავს ელექტრონების ერთნაირ რაოდენობას. შედეგად, ი-ს ახასიათებს იდენტური ქიმ. თვისებები და უკავია ერთი და იგივე ადგილი ელემენტთა პერიოდულ სისტემაში (ი-ის ბირთვული თვისებები განსხვავებულია). განასხვავებენ სტაბილურ (მდგრად) და რადიოაქტიურ ი-ს. ი-ის რადიოაქტიური დაშლის ტიპი, აგრეთვე სპინი, მაგნ. დიპოლური მომენტი და ბირთვის ზოგიერთი სხვა თვისება დამოკიდებულია ბირთვში პროტონებისა და ნეიტრონების რაოდენობის თანაფარდობაზე. ი. სტაბილურია ამ თანაფარდობის მხოლოდ გარკვეული მნიშვნელობებისათვის (ნახ.).

ტერმინი ი. 1910 შემოიღო ინგლ. ფიზიკოსმა ფ. სოდიმ. ი-ის დასახელება და სიმბოლოები ანალოგიურია ქიმ. ელემენტის (ქე) დასახელებისა და სიმბოლოების. როგორც წესი, ქე-ის სიმბოლოს მარცხნივ და ქვევით მიუთითებენ რიგით ნომერს Z (ქე-ის ატომბირთვში პროტონების რაოდენობა), მარცხნივ და ზევით კი – მასურ რიცხვს A (ატომბირთვში პროტონების და ნეიტრონების საერთო რაოდენობა). მაგ., ქლორის ი. არის $^{35}_{17}Cl$ და $^{37}_{17}Cl$. გამონაკლისია წყალბადის ი. მასური რიცხვებით 1, 2 და 3, რ-თაც ერთმანეთისგან განსხვავებული დასახელებები და სიმბოლოები აქვს: პროთიუმი H, ანუ $^{1}_{1}H$ (სტაბილური), დეიტერიუმი D, ანუ $^{2}_{1}H$ (სტაბილური) და ტრიტიუმი T, ანუ $^{3}_{1}H$ (რადიოაქტიური).

ი-ის არსებობა აღმოაჩინეს ურანის რადიოაქტიური დაშლის ექსპერიმენტული კვლევისას (1900–07). მოგვიანებით, ინგლ. ფიზიკოსებმა ჯ. ტომსონმა და შემდგომ ფ. ასტონმა

აღმოაჩინეს ნეონის Ne, ქლორის Cl, ვერცხლისწყლის Hg და სხვ. ქე-ის სტაბილური ი. 1934 ფრანგმა ფიზიკოსებმა ი. კიურიმ და ფ. ჟოლიო-კიურიმ ხელოვნურად მიიღეს აზოტის N, ფოსფორის P და სილიციუმის Si რადიოაქტიური ი., რითაც პირველად აჩვენეს ახ. ნუკლიდების სინთეზის შესაძლებლობა. 1940-თვის უკვე განხორციელებული იყო დედამიწაზე არსებული ყველა ქე-ის იზოტოპური ანალიზი. დღეისთვის ცნობილია 81 ბუნებრივი ქე-ის 275 სტაბილური იზოტოპი და 118 ბუნებრივი და ხელოვნური ქე-ის დაახლ. 1500-მდე რადიოაქტიური იზოტოპი.

სტაბილური ი-ის მაქსიმალური რაოდენობა (10) აქვს კალას Sn; არსებობს ისეთი ქე (მაგ., ოქრო Au, იოდი I და სხვ.), რ-თაც მხოლოდ თითო სტაბილური იზოტოპი გააჩნია. ეს განსხვავება განპირობებულია ნუკლიდის ბირთვში პროტონებისა და ნეიტრონების რაოდენობით: ბირთვები, რ-ებიც შეიცავს პროტონების და/ან ნეიტრონების ე.წ. მაგიურ რიცხვს (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126; ბოლო რიცხვი მხოლოდ ნეიტრონებს შეესაბამება), უფრო მდგრადია, ვიდრე მათი „მეზობელი“ ბირთვები (იხ. ნახაზზე მდგრადობის არე). მიმდინარეობს სამეცნ. კვლევები (ლივერმორი, ბერკლი, აშშ; დარმშტადტი, გერმანია; RIKEN, იაპონია; დუბნა, რუსეთი და სხვ.) ახალი ზემძიმე ქე-ის ი-ის სინთეზის განსახორციელებლად, რ-თა მიზანია ე. წ. „სტაბილობის კუნძულის“ არსებობის ჰიპოთეზის შემოწმება: ნუკლიდები პროტონების მაგიური რიცხვით Z=126, შესაძლოა, საკმარისად მდგრადი აღმოჩნდეს.

რადიოაქტიური ი-ის ნახევარდაშლის პერიოდი $T_{1/2}$ (ი-ის სიცოცხლის საშ. ხანგრძლივობა $t=T_{1/2}/\ln 2$) ფართო საზღვრებში იცვლება. მაგ., ლითიუმის იზოტოპს $^{4}_{3}Li$ აქვს $T_{1/2}=0{,}9\times10^{-22}$ წმ, ხოლო ტელურს $^{238}_{52}Te$ – $T_{1/2}=2{,}2\times10^{24}$ წ.

დედამიწაზე გავრცელებული ი-ის უმრავლესობა შორეულ წარსულში მიმდინარე ბირთვულ პროცესებში წარმოიშვა. ი-ის წარმოშობას, ბუნებაში მათ გავრცელებასა და პროცენტულ თანაფარდობას ხსნის თანამედროვე წარმოდგენები სამყაროსა და ასტრონომიული ობიექტების ევოლუციაზე (იხ. კოსმოლოგია). ამ წარმოდგენების შემოწმება ტარდება მ.შ. დიდ ჰადრონულ კოლაიდერზე მიმდინარე ექსპერიმენტებში, რ-ებშიც მონაწილეობენ ქართვ. ფიზიკოსებიც. ბუნებრივი ქე-ის იზოტოპური შემადგენლობა დედამიწაზე, როგორც წესი, არ განიცდის მნიშვნელოვან ცვლილებებს გარემოში მიმდინარე ქიმ. და ფიზ. პროცესების შედეგად, მაგრამ იცვლება რადიოაქტიური დაშლის პროცესში. Z>82 მქონე ყველა იზოტოპი რადიოაქტიურია და წარმოიქმნება უფრო მძიმე ი-ის რადიოაქტიური დაშლების ჯაჭვის შედეგად. ი-ის მასური რიცხვი A a-დაშლისას მცირდება 4-ით, ხოლო b- და g-დაშლისას არ იცვლება.

ატმოსფეროსა და დედამიწის ქერქში შემავალი მსუბუქი ქე-ის იზოტოპური შემადგენლობა უმნიშვნელოდ ვარირებს მიმდინარე პროცესების (ნივთიერებების აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილება – აორთქლება, გახსნა, დიფუზია და სხვ.) გამო. ბიოსფეროში

ინტენსიურად მიგრირებული ზოგიერთი ქე-ის (წყალბადი H, ნახშირბადი C, აზოტი N, ჟანგბადი O, გოგირდი S) იზოტოპური შემადგენლობა იცვლება ცოცხალ ორგანიზმებში ნივთიერებათა ცვლის პროცესებში. ნამარხ ყინულებში (ანტარქტიდასა და არქტიკაში მოპოვებულ ყინულის კერნებში) ჟანგბადის ი-ის $^{18}_{8}O$/ $^{16}_{8}O$ ფარდობის საფუძველზე ხდება პალეოკლიმატური პირობების რეკონსტრუქცია. დიდი $T_{1/2}$ მქონე ი-ის პროცენტული შემადგენლობის საფუძველზე ადგენენ გეოლოგიური ნიმუშების, ასევე, მეტეორიტებისა და სხვა ციური სხეულების ასაკს (მაგ., ურან-ტყვიის ან კალიუმ-არგონის ი-ის პროცენტულ შემადგენლობაზე დაყრდნობით); არქეოლ. მასალების დათარიღებისათვის ზომავენ ნახშირბადის ი-ის $^{14}_{6}C$/$^{12}_{6}C$ ფარდობას და სხვ. სტაბილურ და რადიოაქტიურ ი-ს ფართოდ იყენებენ მეცნ. და ტექ. სხვადასხვა დარგში, ასევე სამხედრო მიზნებით. სტაბილური და რადიოაქტიური ი-ის შემცველ პრეპარატებს მოიხმარენ ზოგიერთი დაავადების დიაგნოსტიკისა და მკურნალობისთვის (კომპიუტერულ ტომოგრაფიაში კონტრასტის ფონზე იოდის $^{127}_{53}I$ სტაბილურ იზოტოპს, პოზიტრონულ-ემისიურ ტომოგრაფიაში ფტორის $^{18}_{9}F$ იზოტოპს და სხვ.). კობალტის და ცეზიუმის რადიოაქტიური ი. $^{60}_{27}Co$ და $^{137}_{24}Cs$ g-გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს და ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა მიზნისათვის. ატომურ ენერგეტიკაში ბირთვულ „საწვავად“ იყენებენ ურანისა და პლუტონიუმის $^{233}_{92}U$, $^{235}_{92}U$, $^{239}_{94}Pu$, $^{241}_{94}Pu$ რადიოაქტიურ ი-ს. $^{232}_{92}U$ იზოტოპი გამოიყენება კოსმოსური აპარატების ენერგეტიკულ დანადგარებში.

საქართველოში მნიშვნელოვან გამოკვლევებს ი-ის შესწავლასა და გამოყენებაში საფუძველი ჩაეყარა გასული საუკუნის 40-იანი წლების ბოლოს, სოხუმის მახლობლად მდებარე გასაიდუმლოებულ ორ სამეცნ.-კვლ. ინ-ტში, გერმ. მეცნიერების, მ. ფონ არდენეს და გ. ჰერცის, ხელმძღვანელობით, სადაც მიმდინარეობდა სამუშაოები ურანის $^{235}_{92}U$ და $^{238}_{92}U$ ი-ის განცალკევების პრობლემებზე შესაბამისი სამრეწვ. ტექნოლოგიების შესაქმნელად. 1950-იდან ამ ბაზაზე ჩამოყალიბდა სოხუმის ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი. აქ მოღვაწეობდნენ შ. ბურდიაშვილი (ფილტრებისა და დიფუზიური მანქანების შექმნა, სტალინური პრემია, 1951), რ. დემირხანოვი (ლითიუმის ი-ის ელექტრომაგნიტური განცალკევება, სტალინური პრემია, 1953), ქ. ორჯონიკიძე (მაღალი სიზუსტის მას-სპექტრომეტრი ი-ის მასის დეფექტის გასაზომად, სტალინური პრემია 1953) და სხვ. სოხუმის ფიზ.-ტექ. ინ-ტში ი. გვერდწითელის თაოსნობით დაიწყო სტაბილური ი-ის (ბორის, ჟანგბადის, ნახშირბადის, აზოტის და სხვ.) განცალკევების, ი-ით ნიშანდებული ნაერთების სინთეზისა და მათი ხარისხის კონტროლის ანალიზური მეთოდების დამუშავება.

XX ს. 50-იანი წლების ბოლოს ჰელიუმის იზოტოპების განცალკევების კრიოგენულ მეთოდებზე პ. კაპიცას ხელმძღვანელობით მუშაობდა რ. ბაბლიძე.

1962 სოხუმის ფიზ.-ტექ. ინ-ტის ბაზაზე თბილისში დაფუძნდა სტაბილური ი-ის ინ-ტი (ამჟამად საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრი), სადაც ხორციელდებოდა მსუბუქი ქე-ის იზოტოპური ნარევიდან ცალკეული ი-ის გამოყოფისა და

სხვა იზოტოპით გამდიდრების სამუშაოები. ცენტრის კვლევის ძირითადი მიმართულებებია მაღალგამდიდრებული და მაღალი სისუფთავის ნახშირბადის $^{13}_{6}C$, აზოტის $^{15}_{7}N$, ბორის $^{10}_{5}B$ და $^{11}_{5}B$, ჟანგბადის $^{17}_{8}O$ და $^{18}_{8}O$ და სხვა სტაბილური ი-ის წარმოება, რ-იც ეფუძნება დაბალტემპერატურული რექტიფიკაციისა და ი-ის გაცვლის ქიმიურ მეთოდებს (ე. ოზიაშვილი, ფ. ასათიანი, გ. თევზაძე; სახელმწ. პრემია 1982). ცენტრის სამეცნ.-ტექნოლ. და საწარმოო პროდუქცია განკუთვნილია ატომური ენერგეტიკის, მიკროელექტრონიკის, მედიცინის, სოფლის მეურნეობისა და სხვ. დარგებისათვის. 1960–90 ცენტრი იყო ერთადერთი სტრუქტურა ევრაზიაში სტაბილური ი-ის წარმოების სფეროში.

XX ს. 60-იან წლებში მნიშვნელოვანი შედეგები წყალბადის ი-ის შესწავლაში მიღებული აქვს თ. ცეცხლაძეს (იხ. აგრეთვე სტ. ელემენტარული ნაწილაკებისა და ბირთვის ფიზიკა).

XX ს. 50–70-იან წლებში თსუ-ში მსუბუქი ქე-ის ი-ის თვისებებს თეორიულად იკვლევდნენ ვ. მამასახლისოვი, ი. ვაშაკიძე, გ. ჭილაშვილი და სხვ.

1974-იდან საქართვ. მეცნ. აკადემიის ფიზიკის ინსტიტუტში ჰელიუმის მსუბუქი $^{3}_{2}He$ იზოტოპის ზედენადობას, აგრეთვე სხვა თვისებებს იკვლევდნენ გ. ვაჩნაძე, ი. მამალაძე, ჯ. სანიკიძე, ჯ. წაქაძე, გ. ხარაძე და სხვ. უფრო ადრე, 1946-იდან $^{4}_{2}He$ იზოტოპის ზედენადობას იკვლევდა ე. ანდრონიკაშვილი.

1960-იან წლებში თსუ-ის ფიზიკის ფაკ-ტზე გ. მირიანაშვილის, ა. ბურჭულაძისა და ვ. კოკოჩაშვილის ძალისხმევით დაარსდა რადიონახშირბადის სამეცნ.-კვლ. ლაბორ. არქეოლოგიური სინჯების აბსოლუტური ასაკის განსაზღვრისთვის (ამ დანიშნულების რიგით მეორე სამეცნ.-კვლ. ლაბორ. სსრკ-ში). 1975–2003 თსუ-ის რადიონახშირბადის ლაბორ., ბრატისლავის უნ-ტის ბირთვული ფიზიკის კათედრასთან კოლაბორაციაში, იკვლევდა კოსმოგენური და ანთროპოგენული რადიონუკლიდების, კერძოდ, $^{14}_{6}C$ იზოტოპის დროით ვარიაციებს 1900–80 პერიოდში (წარსულში მზის აქტივობის ვარიაციების შესაფასებლად) და სხვა რადიოეკოლოგიურ პრობლემებს. 1995–2003 ს. ფაღავამ, ვ. რუსეცკიმ და სხვებმა, სლოვაკ კოლეგებთან ერთად, შეისწავლეს სტრონციუმის $^{90}_{38}Sr$, ცეზიუმისა $^{137}_{55}Cs$ და პლუტონიუმის $^{239,\ 240}_{94}Pu$ ი-ის განაწილება შავი და კასპიის ზღვების სანაპირო ზოლში, წყალსა და ბიოტაში. 2007–09 შესწავლილ იქნა რადონის $^{222}_{86}Rn$ იზოტოპის განაწილება თბილ. სხვადასხვა უბნებში – ვერა, მთაწმინდა, კალა, სოლოლაკი, კრწანისი, ასევე დელისისა და ვეძისის ერთ- და ორსართულიანი საცხოვრებელი სახლების ნაწილში (აღმოჩნდა, რომ $^{222}_{86}Rn$ კონცენტრაცია აქ 1,5–2,5-ჯერ აღემატება ე.წ. „სამოქმედო დონეს“ – 148bკ/მ^{3}). ამავე იზოტოპის გავრცელებას შავი ზღვის სანაპირო ზოლსა და დას. საქართვ. რეგიონის თერმულ წყლებში იკვლევდა ნ. კეკელიძე (თსუ-ის თანამშრომლებთან ერთად), ხოლო ა. ამირანაშვილი, ვ. ჩიხლაძე და სხვ. (მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინ-ტი) – თბილისის შემოგარენში.

თსუ-ის ფიზ. ფაკ-ტზე XX ს. 70-იანი წლებიდან მოქმედებს იზოტოპური ანალიზის ლაბორ. (ვ. ნაბიჭვრიშვილი, ქ. მენთეშაშვილი, თ. შენგელაია, ვ. ჯაში და სხვ.), სადაც მაღალი სიზუსტის თანამედროვე გამზომი აპარატურით ტარდება ნიმუშების იზოტოპური ანალიზი, კერძოდ, კვების პროდუქტებში, საშენ მასალებსა და ნიადაგის ნიმუშებში $^{137}_{55}Cs$ ცეზიუმის იზოტოპის კონცენტრაციის გაზომვა (რაც ძალზე აქტუალური იყო ჩერნობილის ატომურ სადგურზე 1986 კატასტროფის შემდეგომ პერიოდში), ხელსაწყოების ყალიბრება და სხვ.

1976 თსუ-ის ფიზ. ფაკ-ტის გამოყენებითი ბირთვ. ფიზ. ლაბორ. ბაზაზე შეიქმნა სსრკ-ში პირველი რესპუბლიკური მას-სპექტრომეტრული ცენტრი (ხელმძღვ. მ. კავილაძე; 2006-იდან – ბირთვული ფიზ. სასწ.-სამეცნ. ლაბორ., გამგე ნ. გუბაძე), სადაც ტარდებოდა და ტარდება ელემენტური და იზოტოპური პრეციზიული ანალიზი მას-სპექტრომეტრული მეთოდებით – სეტყვის მარცვლისა და ბირთვის ანალიზი (წყალბადის HD/H_2 ფარდობების შესწავლა); გოგირდის იზოტოპური ფარდობების $^{32}_{16}S/\ ^{34}_{16}S$ დადგენა საქართვ. სიღრმულ და ზედაპირულ წყლებში; სიღრმული აირების (რადონი, წყალბადი, ჰელიუმი, ნეონი) და აეროზოლების ელემენტური და იზოტოპური შემადგენლობის განსაზღვრა მიწისძვრის წინმსწრები მოვლენების შესწავლასთან დაკავშირებით; ნახშირბადისა და ჟანგბადის იზოტოპური ფარდობების დადგენა სხვადასხვა ობიექტებში; ნავთობში არსებული მინარევების იზოტოპური და ელემენტური ანალიზი; მეტეორიტებში ლითიუმისა და ბორის იზოტოპური ფარდობების $^{6}_{3}Li/\ ^{7}_{3}Li$ და $^{10}_{5}B/\ ^{11}_{5}B$ დადგენა და მეტეორიტის ნივთიერების ელემენტური შემადგენლობის განსაზღვრა (მეთოდმა პირველად გახადა შესაძლებელი მეტეორიტის მიკრომოცულობებში 10^{-15}– 10^{-14}გ დონეზე მსუბუქი ქე-ების იზოტოპური შემადგენლობის განსაზღვრა: მ. კავილაძე, ნ. გუბაძე, ქ. ხაბულიანი, ლ. ცაგურიშვილი); რადიოაქტიური ი-ის შემცველობის განსაზღვრა საშენ მასალებში, საკვებ პროდუქტებში, სასმელ წყალში, ნიადაგში, საყოფაცხოვრებო ნივთებში და სხვ.

2008 თ. კერესელიძის ხელმძღვანელობით თსუ-ში ჩამოყალიბდა აიდაჰოს (აშშ) უნ-ტთან ერთობლივი მულტიდისციპლინური სამეცნ.-კვლ. ინ-ტი, სადაც მიმდინარეობს ურბანულ გარემოში ადამიანის ჯანმრთელობაზე რადონის $^{222,220,219}_{86}Rn$ ი-ით და მათი რადიოაქტიური დაშლის პროდუქტებით (პოლონიუმი $^{218,216,215,214,210}_{84}Po$, ბისმუტი $^{214,212,211,210}_{83}Bi$, ტყვია $^{208,207,206}_{82}Pb$, თალიუმი $^{207}_{81}Tl$) განპირობებული რისკების შეფასება, ასევე ნახშირბადის $^{14}_{6}C$ იზოტოპის მეთოდით ორგანული წარმოშობის არქეოლოგიური, გეოლოგიური, პალეობოტანიკური და პალეოგეოგრაფიული სინჯების აბსოლუტური ასაკის განსაზღვრის მეთოდოლოგიის სრულყოფა.

1983–2011 თსუ-ის ფიზ. ფაკ-ტზე მიმდინარეობდა კოსმოგენური ნახშირბადის $^{14}_{6}C$ იზოტოპის კონცენტრაციის გაზომვები ხეების 1600–1940 წლების პერიოდის შესატყვის წლიურ რგოლებში. ამ კვლევებმა გამოავლინა (ვ. ბოჭორიშვილი, პ. კერესელიძე, ზ. ლომთათიძე, რ. მეცხვარიშვილი, ი. ჟორჟოლიანი, ს. წერეთელი და სხვ.) გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობის 22-წლიანი ციკლურობა მზის აქტივობის მაუნდერის

მინიმუმის პერიოდში (1645–1715). დადგინდა, რომ $^{14}_{6}C$ იზოტოპის გავრცელება საიმედო ინფორმაციას იძლევა წარსულ ეპოქებში მზის აქტივობის შესაფასებლად.

რადიოაქტიურ ი-ს ფართოდ იყენებენ საქართველოს ჯანმრთელობის დაცვის სისტემაში. ფარისებრი ჯირკვლის კეთილთვისებიანი და ავთვისებიანი სიმსივნეების დიაგნოსტიკა და მკურნალობა ხორცილდება იოდის $^{131}_{53}I$ იზოტოპის ფარმაკოლოგიური პრეპარატით (ტაბლეტები), საუნივერსიტეტო კლინიკის „მაღალი სამედიცინო ტექნოლოგიების ცენტრის“ (გენ. დირექტორი გ. ინგოროყვა) ონკოლოგიის დეპარტამენტში (ხელმძღვ. დ. ლომიძე). გულის, თირკმელების, ძვლების პათოლოგიის დიაგნოსტიკისთვის, ასევე გინეკოლოგიური და სხვ. დაავადებების სამკურნალოდ იყენებენ ტექნეციუმის $^{99}_{43}Tc$ იზოტოპს ($T_{1/2}$ =211,1 ათ. წ). ფ. თოდუას სახ. სამედიცინო ცენტრში – კლინიკური მედიცინის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში მიოკარდის სისხლმომარაგების შეფასებისთვის იყენებენ აგრეთვე ტექნეციუმის Tc ($T_{1/2}$ =6 სთ) და თალიუმის $^{201}_{81}Tl$ ($T_{1/2}$ =73 სთ) ი-ს: მიოკარდის დაზიანების ადგილებში ი-ის დაგროვება დატვირთვისას დაქვეითებულია მოსვენებულ მდგომარეობასთან შედარებით.

ა. ცივაძის ხელმძღვანელობით (მოსკოვი, რუსეთის მეცნ. აკად. ფიზ. ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინ-ტი) შემუშავდა და წარმოებაში დაინერგა ლითიუმის, კალიუმის, კალციუმისა და მაგნიუმის ი-ის განცალკევების ახალი ექსტრაქციული მეთოდები ეკოლოგიურად უსაფრთხო, მაღალეფექტური ტექნოლოგიური პროცესების გამოყენებით. შესწავლილია ამ პროცესების ფიზ.-ქიმ. საფუძვლები.

ნ. კვარაცხელია იკვლევდა ი-ის გამოყენებას და რადიონუკლიდების მიგრაციის საკითხებს მიწათმოქმედებასა და ნიადაგმცოდნეობაში.

ლიტ.: სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი, თბ., 2015; А с т о н Ф., Учение о радиоактивности и современность, М., 1973; Т р и ф о н о в Д. Н., К р и в о м а з о в А. Н., Л и с н е в с к и й Ю. И., Химические элементы и нуклиды, М., 1980; K a v i l a d z e M., G u b a d z e N., et al., About a complex method of observations at the Rn, H, He, Ne, organic gases and heavy elements from aerosols in order to predict the earthquakes, Dubna, 2000; K a v i l a d z e M. Sh., G u b a d z e N. V., Determination of Li and B isotopic composition in the microvolumes of meteorites by a highly sensitive, precise metod, «International Journal of Mass–Spectrometry and Ion process», 1997, vol. 161; Tsereteli S. et al., Study of Variations of Cosmic Ray Intensities over the Last Several Centuries by Determination of Cosmogenic Radiocarbon Concentration, «Bulletin of the Georgian Academy of Sciences», 2005, №2.

ი. ლომიძე