



ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის
სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

გამოყენებითი ფიზიკა, გამოყენებითი ბირთვული ფიზიკა და რადიაციული
უსაფრთხოება

მედეა აბრამიშვილი

სამაგისტრო ნაშრომი

გარემოს რადიაციული ფონის მონიტორინგი გეიგერ-მიულერის
მთვლელისა და გამა-სპექტრომეტრის საშუალებით

ხელმძღვანელები:

ნუგზარ გუბაძე - ფიზიკის აკადემიური დოქტორი, ბირთვული ფიზიკის სასწავლო-სამეცნიერო
ლაბორატორიის გამგე.

რევაზ შანიძე - თსუ, ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ასოცირებული
პროფესორი, თსუ, მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტი, მთავარი მეცნიერ-თანამშრომელი.

თბილისი - 2019 წელი

სარჩევი

ანოტაცია	4
Abstract	4
1. შესავალი	5
2. რადიოაქტიურობა და მასთან დაკავშირებული სიდიდეები.....	7
2. 1 ბირთვების რადიოაქტიური გარდაქმნები.....	7
2. 2 რადიოაქტიური დაშლის კანონი.....	15
3. რადიაციის ზემოქმედება ბიოლოგიურ ობიექტებზე.....	20
4. რადიაციის დეტექტირების მეთოდები	23
4. 1 დეტექტორების მახასიათებლები.....	24
4.2 გეიგერ-მიულერის მთვლელის ეფექტიანობა	31
4.3 გამა-სპექტრომეტრი	32
4.3.1 ძირითადი პრინციპები.....	33
4.3.2 სპექტრომეტრია NaI(Tl) დეტექტორის საშუალებით.	35
4.3.3 სიგნალის ამპლიტუდის იდეალური სპექტრი	35
4.3.4 გაზომილი(აქტუალური) სპექტრი	37
4.3.5 გამა-სხივების ძირითადი ეფექტები.....	38
4.3.6 ენერგიის წრფივობა.....	40
5. გარემოს რადიაციული მონიტორინგი	41
5.1 გარემოს რადიაციის მონიტორინგი ევროკავშირის ქვეყნებში.....	42
5.2 გარემოს რადიაციის მონიტორინგის რუკა	42
5.3 გარემოს რადიაციის მონიტორინგის არასამთავრობო ქსელები.....	47
5.4 გარემოს რადიაციული ფონის მონიტორინგი საქართველოში	51
5.4.1 გარემოს ეროვნული სააგენტო რადიაციული დეტექტორების ქსელი	51
5.4.2 გარემოს რადიაციული ფონის მონიტორინგი არასამთავრობო სააგენტოს მიერ	52

5.5 გამა-სპექტრომეტრზე ჩატარებული გაზომვების შედეგები.....	58
6. დასკვნა	68
გამოყენებული ლიტერატურა:.....	69

ანოტაცია

სამუშაოს მიზანია საქართველოში გარემოს რადიაციული ფონის მონიტორინგი. ნაშრომში წარმოდგენილია რადიოაქტიური გამოსხივების სახეები, აღწერილია გეიგერ-მიულერის მთვლელისა და გამა-სპექტრომეტრის მუშაობის პრინციპები, რადიაციის ზეგავლენა ბიოლოგიურ ობიექტებზე, საუბარია მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნების დამოკიდებულებაზე რადიაციის მიმართ და მსოფლიო რადიაციულ ქსელებზე.

წარმოდგენილია საქართველოში არსებული მდგომარეობა რადიაციის მონიტორინგის კუთხით. ნაშრომში მოყვანილია ქ. ქუთაისში ჩემ მიერ დაყენებული გეიგერ-მიულერის მთვლელის (GMC 300+) მიერ დაფიქსირებული მონაცემთა ანალიზი.

სამაგისტრო ნაშრომზე მუშაობის პერიოდში გამოვიკვლიეთ საქართველოს სხვადასხვა ქალაქიდან/სოფლიდან აღებული მიწის სინჯები. შევისწავლეთ სპექტრები და გაკეთდა შესაბამისი დასკვნები. ამგვარი გაზომვები ჯერ კიდევ არ ფარავს ტერიტორიის უდიდეს ნაწილს და საქართველო მსოფლიო რუკაზე თეთრ ლაქად რჩება.

Abstract

The work aims to represent the importance of monitoring background radiation present in the environment. It also represents different types of radiation and explains how a Geiger-Muller counter and gamma-spectrometer work, radiation effects on biological objects. It discusses how developed countries treat radiation and gives information about global radiation network, as well as about radiation monitoring data collected in Georgia.

The following work includes data analyses of a Geiger-Muller counter (GMC 300+) installed by me in Kutaisi city.

While working we analyzed different soils from Georgian cities and villages, researched spectrums and proper conclusions were done. Such measurements do not yet cover the largest part of the territory and Georgia remains a white spot on the map of the world.

1. შესავალი

დღესდღეობით რადიაციის მიმართ მოსახლეობას, როგორც წესი, გააჩნია ორი რადიკალურად განსხვავებული შეხედულება, რომლებიც ერთნაირად საზიანოა როგორც მათი ჯანმრთელობისთვის, ისე მომავალი თაობისთვის. საზოგადოების ერთი ნაწილი შეპყრობილია რადიოფობიით, ავადმყოფური შიშით რადიაციული საშიშროებისადმი. რადგან სიტყვა რადიაცია ადამიანის ცხოვრებაში ჩაიბეჭდა, როგორც ძალიან დიდი საფრთხის შემცველი უბედურება, რომელსაც ნგრევა და ქაოსი მოაქვს - უხილავია, არ აქვს გემო და სუნია. ეს არცაა გასაკვირი, რადგან მათთვის რადიაცია ასოცირდება მხოლოდ ჩერნობილისა და ფუკუშიმას კატასტროფებთან ან ატომურ ბომბთან. მეორე ნაწილი კი, არაკომპეტენტურობის გამო, სრულად უგულებელყოფს მოსალოდნელ საშიშროებას. ამიტომ აუცილებელია საზოგადოების ინფორმირება რადიაციის სახეების, გამოსხივების წყაროების შესახებ. სამწუხაროდ, ადამიანების დიდმა ნაწილმა არ იცის, რომ მაიონებელი გამოსხივებით დასხივება შესაძლებელია საკვებით, საყოფაცხოვრებო თუ სხვა ნივთებით, რომლებიც შესაძლოა შეიცავდეს ბუნებრივ რადიოიზოტოპებს. რადიაცია დედამიწაზე არსებობდა ადამიანის გაჩენამდე, თავად ადამიანიც ძალიან მცირე ხარისხით რადიოაქტიურია. უკანასკნელი 50-60 წლის განმავლობაში გარემო საკმაოდ დაბინძურდა რადიოაქტიური ნივთიერებებით, რამაც გაზარდა რადიაციული ფონი. როდესაც ვლაპარაკობთ რადიაციულ ფონზე, იგულისხმება გარემოში არსებული რადიოაქტიობა, როგორცაა: კოსმოსური სხივები, დედამიწის ზედაპირიდან მომავალი რადიოაქტიობა (ძირითადად გამა-კვანტების სახით), მაგრამ კიდევ უფრო მეტია შენობებში. შესწავლილია, რომ აგურის შენობაში დასხივება ორჯერ მეტია, ვიდრე ხის შენობაში. რადიაცია ყოველთვის იყო და არის წყლებში, ჰაერში, საკვებში და სხვა. ყველაფერი ეს იძლევა დაახლოებით 0,1 რენტგენს წელიწადში და ეს სიდიდე მიღებულია დასაშვებ დოზად. ამას ემატება ხელოვნური რადიოაქტიობა, რომელიც ადამიანმა თავად შემოიტანა.

რადიოაქტიური ელემენტები ურანი და თორიუმი ბუნებაში იშვიათად წარმოქმნიან მადნებს, ისინი ძირითადად გაბნეულია და პრაქტიკულად ყველგან გვხვდება. თუმცა, მათი შემცველობა სხვადასხვა ქანებში მკვეთრად იცვლება, ზოგჯერ განსხვავება 100-ჯერ და მეტჯერაა.

ამდენად, როდესაც კარიერი, საიდანაც საშენ მასალას მოიპოვებენ არ კონტროლდება, შენობა შეიძლება აშენდეს მასალით, რომელიც დიდი რაოდენობის რადიუმს შეიცავს, რომლის დაშლის

შედეგად წარმოიქმნება რადონი. ბოლო წლებში მთელი მსოფლიოს ყურადღების ცენტრშია რადონის საკითხი. რადონი განუწყვეტლივ წარმოიქმნება იმ ნივთიერებებში, რომლებიც შეიცავენ რადიუმს. რადონი ინერტული გაზია, ადვილად გამოდის მყარი ნივთიერებიდან და გროვდება ჰაერში. სუნთქვის პროცესში რადონი და მისი დაშლის შედეგად მიღებული რადიოაქტიური ელემენტები (^{218}Po , ^{214}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi), თავისი ძლიერი გამოსხივებით აზიანებენ ფილტვების კედლებს, რაც სიმსივნის განვითარების წინა პირობაა. თვითონ რადონი ადვილად შეერევა სისხლში, ამდენად, მისი კონცენტრაცია სისხლში ძალიან სწრაფად იმატებს, შემდგომში სისხლს იგი გადააქვს მთელ ორგანიზმში და საშიში რადონობით გროვდება სხვადასხვა ორგანოებში. აქედან ჩანს, რომ საჭიროა საშენი მასალების კარიერების კონტროლი.

დღეისათვის არსებული მსოფლიო სტატისტიკით ყოველი მეათე ქალი მკერდის კიბოთია დაავადებული და მათ რიცხვს ყოველდღიურად 1000 ქალი ემატება. მეცნიერთა აზრით, ეს გამოწვეულია ქალების ხშირი ყოფნით სამზარეულოში, რომელიც მოპირკეთებულია კაფელით, მეტლახით, გრანიტით, მარმარილოთი და სხვა. ხშირია შემთხვევები, როდესაც ერთი ოჯახის წევრები ავადდებიან ავთვისებიანი სიმსივნით; ხშირად ამას გენეტიკას აბრალებენ, თუმცა, არაერთი შემთხვევა იყო, როცა მათი ბინის შემოწმების შემდეგ კედელში (სამშენებლო მასალებში) აღმოჩნდა კარიერიდან შემთხვევით მოხვედრილი რადიოაქტიური წყარო და სიმსივნის მიზეზიც სწორედ ეს იყო. ამერიკელ მეცნიერთა მონაცემებით ბინებში, რომლებშიც რადონის აქტიობაა 25 ბეკერელი კუბურ მეტრ ჰაერში, ყოველი 1000 მაცხოვრებელიდან 3-4 სიცოცხლეს ფილტვის კიბოთი ამთავრებს, თუ 200-250 ბეკერელია კუბურ მეტრ ჰაერში, მათი რიცხვი 30-40 - მდე იზრდება და ა.შ. ამდენად, განვითარებულ ქვეყნებში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება რადონის კონცენტრაციის განსაზღვრას საცხოვრებელ ბინებში, შესაბამისად საშენ მასალებში და სამშენებლო უბნებზე. მაგალითად, აშშ-ში ყოველი ბინის პასპორტში მითითებულია ჰაერში რადონის კონცენტრაციის დონე. რადონის შემცველობის ზრდასთან ერთად იკლებს ბინის ფასიც. არსებული ნორმების მიხედვით :

1. მშენებარე სახლებში დასაშვებია 100 ბკ/მ³.
2. აშენებულ ბინაში - 200 ბკ/მ³.
3. თუ ბინაში აქტიობა ძალიან დიდია და შეუძლებელია მისი დაყვანა 400 ბკ/მ³-ზე ნაკლებ მნიშვნელობამდე, მაცხოვრებლები გადაყვანილ უნდა იქნან სხვა საცხოვრებელ ბინაში. ასეთი ბინები განვითარებულ ქვეყნებში ექვემდებარება დანგრევას.

2. რადიოაქტიურობა და მასთან დაკავშირებული სიდიდეები

2.1 ბირთვების რადიოაქტიური გარდაქმნები

ცნობილია, რომ არასტაბილური და ყველა აღზნებულ მდგომარეობაში მყოფი ბირთვი თავისთავად, სპონტანურად განიცდის გარდაქმნას, რაც იწვევს ბირთვის შემადგენლობის და მისი შინაგანი ენერჯის ცვლილებას. ასეთ ბირთვულ პროცესს რადიოაქტიურობა ეწოდება და იგი რადიოაქტიური დაშლის კანონებს ემორჩილება. რადიოაქტიური პროცესების რიცხვს მიეკუთვნება α -დაშლა, β -დაშლა, γ - გამოსხივება, მძიმე ბირთვების სპონტანური გაყოფა და შემდგომში ნეიტრონების და პროტონების გამოსხივება.

ატომბირთვი უფრო მდგრადია იმ შემთხვევაში, როცა შეიცავს ნეიტრონებისა და პროტონების თითქმის თანაბარ რაოდენობას. როცა ხორციელდება ამ თანაფარდობის დარღვევა მეტობის ან ნაკლებობის მიმართულებით. ბირთვი ენერგეტიკულად არამდგრადია. იგი ხდება რადიოაქტიური. რადიოაქტიური დაშლის ბოლო ორი პროცესი (β^- , β^+) კასკადურ, ორსაფეხურიან პროცესებს მიეკუთვნება, რადგანაც დაგვიანებული ნეიტრონების (ან პროტონების) გამოსხივება ბირთვის მიერ ელექტრონის (ან პოზიტრონის) წინასწარი გამოსხივების შემდეგ წარმოებს. ამასთან დაკავშირებით ნეიტრონის გამოსხივებისას შვილობრივი ბირთვი, რომელიც მიიღება რადიოაქტიური დაშლის შედეგად ზოგიერთ შემთხვევაში, წარმოადგენს ბირთვს, რომელსაც ისეთი რაოდენობის პროტონები და ნეიტრონები აქვს, რომ შეესაბამება მდგრად მდგომარეობას. თუ ეს მდგომარეობა არ მიიღწევა ერთი დაშლის დროს, გვექნება მწკრივი რადიოაქტიური დაშლებისა, რომელიც საბოლოოდ გვამღევეს ისევ მდგრად მდგომარეობას.

რადიოაქტიური გარდაქმნები შეიძლება განხორციელდეს რამდენიმე გზით და მათგან მიიღება ე.წ. რადიოაქტიური წყაროები.

1. **α - დაშლა.** α - პროცესების დროს ბირთვი გამოასხივებს მონოქრომატულ ${}^4_2\text{He}$ ჰელიუმის ბირთვებს (α - ნაწილაკებს), ამიტომ α -დაშლა გამოიწვევს ბირთვის მასური რიცხვის შემცირებას ოთხი ერთეულით, ხოლო მუხტის – ორით. მაგალითად, როცა ხდება ${}^{238}_{92}\text{U}$ დაშლა

α -გამოსხივების საშუალებით იგი გადადის ${}_{90}^{234}\text{Th}$. α -დაშლა დამახასიათებელია პერიოდული სისტემის იმ ელემენტებისთვის, რომელთა $A > 200$ და $Z > 82$ ე.ი. მძიმე ბირთვებისათვის. ამ ბირთვების შიგნით ფორმირდება α -ნაწილაკი, თუ სრულდება შემდეგი ენერგეტიკული პირობა:

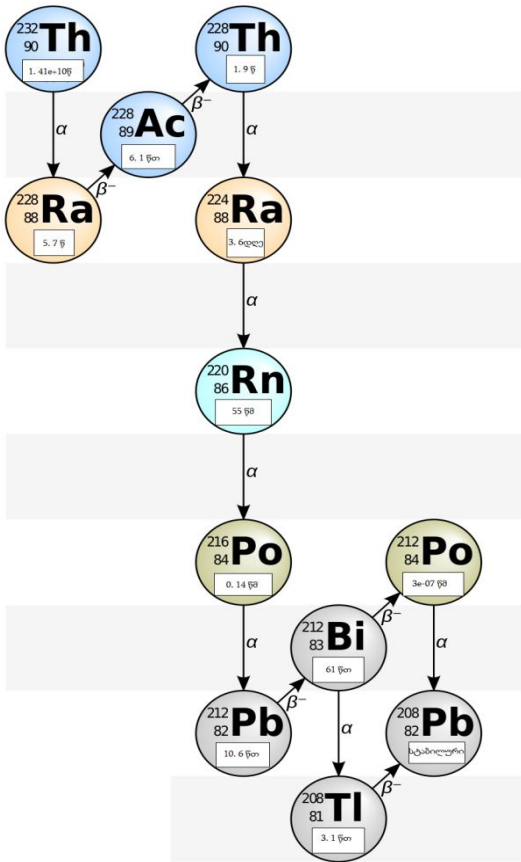
$$M(A, Z) > M(A - 4, Z - 2) + M({}_2^4\text{He})$$

ე.ი. მოცემული ბირთვის მასა მეტი უნდა იყოს შვილობრივი ბირთვის მასა + α ნაწილაკი. დღეისათვის ამჩქარებლების საშუალებით მიღებულია 300-მდე α -აქტიური ბირთვი, რომელთა უმეტესობა განლაგებულია ტრანსურანული ელემენტის იქით. $Z > 82$. არსებობს კიდევ (140-160) მასური რიცხვების ზონაში მცირე ჯგუფი α -აქტიური ბირთვებისა. ბუნებრივ პირობებში დედამიწაზე არსებობს ~ 40 იზოტოპი, რომლებიც გაერთიანებულ არიან სამ რადიოაქტიურ ოჯახში. ისინი იწყება ${}^{236}\text{U}$ ($A=4n$), ${}^{238}\text{U}$ ($A=4n+2$), ${}^{235}\text{U}$ ($A=4n+3$). მათ შეიძლება მივაკუთვნოთ ${}^{237}\text{Np}$ ($A=4n+1$), რომელიც დედამიწის გაჩენიდან უკვე დაიშალნენ, მაგრამ შეიძლება მათი მიღება ხელოვნურად გამოსხივების ენერჯის მიხედვით შეიძლება რადიოაქტიური დაშლა. პროცესი ბირთვებისათვის სქემატურად აღიწეროს ე.წ. „დაშლის სქემის“ მიხედვით, რომელზედაც აღინიშნება საწყისი და საბოლოო ბირთვების სიმბოლოები, დაშლის პერიოდი, ენერგეტიკული დონეების ენერჯიებით, სპინებით, სიცოცხლის ხანგრძლივობით და სხვა პარამეტრები, კერძოდ, საერთო დაშლის მიმართ. კონკრეტული გადასვლის პროცენტით. ძირითად მდგომარეობაში გადასვლის ხაზი უფრო მეტი პროცენტით, ე.ი. ინტენსივობით გამოირჩევა.

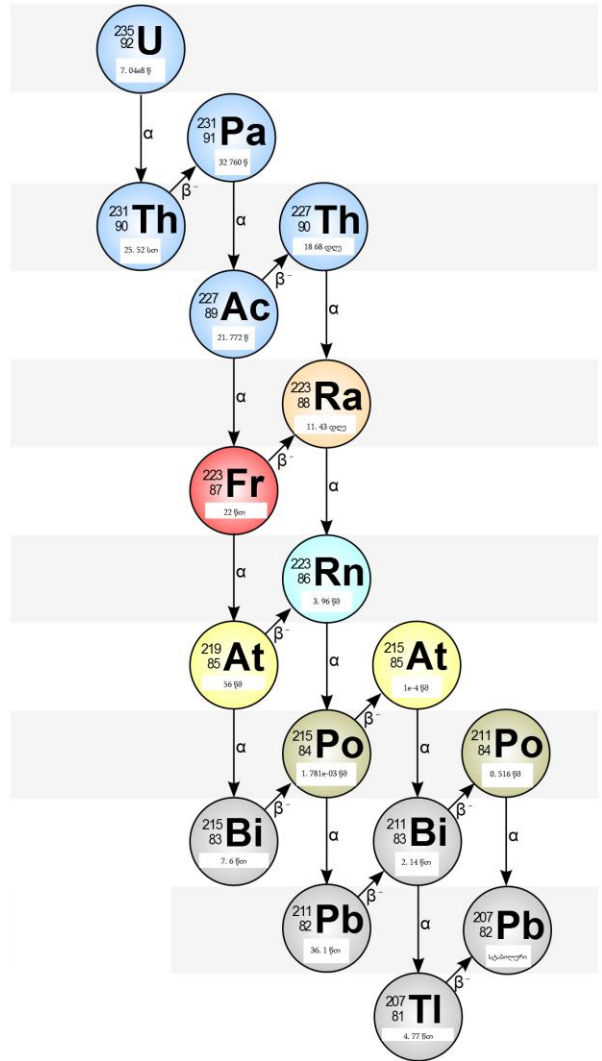
ბირთვული ფიზიკიდან ცნობილია, რომ α -ნაწილაკების ენერჯიით მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, ხოლო დაშლის პერიოდები კი ცვლილების უზარმაზარ დიაპაზონში დევს. მაგ. ${}^{212}\text{Po}$ ($E_\alpha = 8.78$ მევ) პერიოდი შეადგენს $T_{1/2} = 3.04 \cdot 10^{-7}$ წმ, ხოლო იზოტოპ

${}_{90}^{232}\text{Th}$, რომლის α -ნაწილაკს გააჩნია ენერჯია $E_\alpha = 3.98$ მევ. პერიოდი შეადგენს $1.41 \cdot 10^{10}$ წელს.

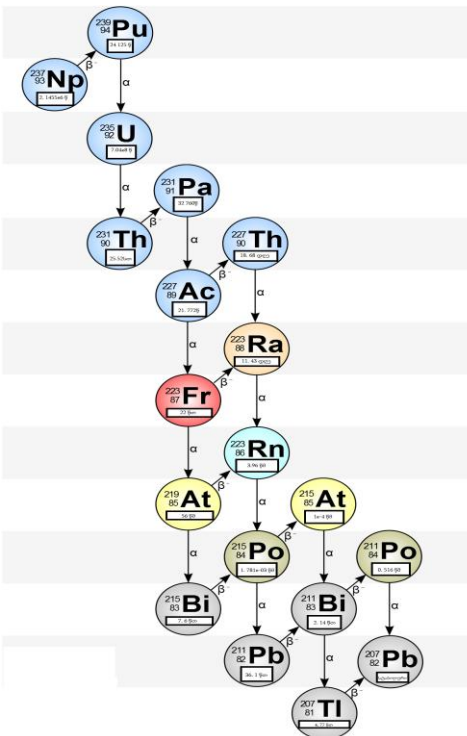
ე.ი. მაშინ როცა ენერჯია შეიცვალა სულ ორჯერ, პერიოდები განსხვავდება 24 რიგით.



$^{232}_{90}\text{Th}$ -ის დაშლის სქემა



$^{235}_{92}\text{U}$ -ის დაშლის სქემა



$^{239}_{94}\text{Pu}$ -ის დაშლის სქემა

სურ. 1 ზოგიერთი რადიოაქტიური ელემენტის დაშლის სქემა.

ჯერ ემპირიულად, ხოლო შემდეგ კვანტური მექანიკის საფუძველზე, ერთი და იგივე ელემენტის ლუწ-ლუწი ნუკლიდებისათვის დადგენილ იქნა გეიგერ-ნეტოლის ფორმულა:

$$Lg\lambda = A l g E_{\alpha} + B$$

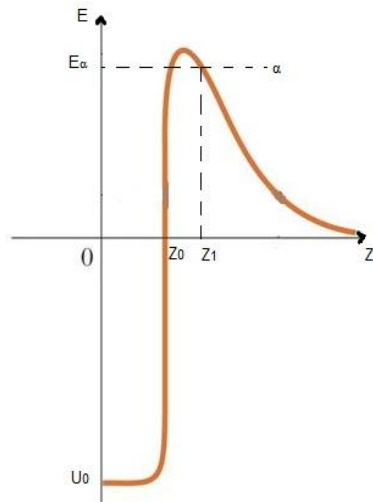
სადაც A და B კონსტანტებია, λ - მუდმივაა. α - რადიოაქტიური ბირთვების გავრცელება ძლიერადაა დამოკიდებული სწორედ ბირთვების სიცოცხლის ხანგრძლივობაზე და ენერგიაზე. ჯერ ერთი იმისათვის, რომ დაშლა არ მოხდეს საჭიროა ენერგია იყოს დადებითი, ხოლო ეს კი იმ ბირთვებისთვისაა, რომელთა პერიოდები $10^{-12} < T_{1/2} < 10^{16}$ შორისაა მოთავსებული. ქვედა ზღვარი სწორედ რადიოაქტიობას განსაზღვრავს, ხოლო ზედა $T_{1/2} = 10^{16}$. ჩვენს მიერ დამზერის შესაძლებლობას.

როცა $Z > 50$ α - დაშლის ენერგია მაშინ იქნება დადებითი როცა გვექნება ნეიტრონების დიდი დეფიციტი, ამიტომ აქ α -რადიოაქტიობა არ დაიშორება.

α - დაშლის თეორია დამყარებულია ჰიპოთეზაზე, რომ ბირთვის შიგნით შეიძლება ჩამოყალიბდეს α -ნაწილაკი, ხოლო მისთვის დედობრივი ბირთვი წარმოადგენს პოტენციალურ ორმოს, რომელიც შემოსაზღვრულია პოტენციალური ბარიერით. კვანტური მექანიკის თანახმად

α - ნაწილაკს შეესაბამება ბრტყელი ტალღა,

რომელმაც შეიძლება გააღწიოს პოტენციალურ ბარიერს გვირაბის ეფექტის საშუალებით.

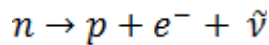


სურ. 2

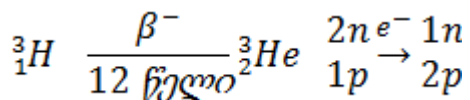
ამავე დროს α - ნაწილაკის ენერჯიაა 5-10 მევ, ხოლო ბარიერის სიმაღლე კი 25-30 მევ. ბრტყელი ტალღა ეცემა რა ბარიერს მარცხნიდან (ბირთვის შიგნით) ნაწილობრივ აირეკლება, ნაწილი კი გააღწევს.

აღსანიშნავია, რომ დაწყებული მასური რიცხვიდან 232 მძიმე ბირთვებში იწყება დაშლის ახალი კონკურენციული პროცესი სპონტანური დაშლა, რომლის დროსაც მძიმე ბირთვი იშლება დაახლოებით ორ ნატეხად იგი პირველად აღმოჩენილ იქნა ურანზე. დაშლის პერიოდები და შესაბამისად ალბათობაც მცირეა მაგ. $^{232}_{92}\text{U}$ სპონტანური დაშლის მიმართ პერიოდი აქვს $8 \cdot 10^{13}$ წელი, ხოლო -დაშლის მიმართ კი 74 წელი. შემდეგ უფრო მძიმე ნუკლიდებისათვის პერიოდები სპონტანური დაშლის მიმართ მცირდება. მაგალითად, იზოტოპი $^{252}_{98}\text{Cf}(T_{\frac{1}{2}}) = 665$ წელია, ხოლო α - დაშლის მიმართ მისი პერიოდი სულ 2.5 წელია. ერთ-ერთი ხელოვნურად სინთეზირებული ნუკლიდი კურჩატოვიუმის ($A=260, Z=104$) პერიოდი სპონტანური დაშლის მიმართ შეადგენს სულ 0.3 წმ. აქედან, მნიშვნელოვანი დასკვნა: – სწორედ სპონტანური დაშლის პროცესი დაუდებს ზღვარს ახალი ელემენტების სინთეზირების შესაძლებლობებს.

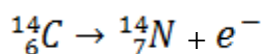
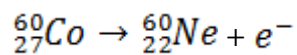
β -წყაროები. როგორც ცნობილია არსებობს სამი ტიპის β -დაშლა: – ელექტრონების გამოსხივება, პოზიტრონების გამოსხივება, ელექტრონების ჩაჭერა. მაშინ ნეიტრონების გარდაქმნით პროტონად, ელექტრონად და ანტინეიტრონოდ მიმდინარეობს შემდეგი რეაქცია:



ამ დროს ბირთვის მუხტი და შესაბამისად ატომური ნომერი იცვლება და შვილობრივი ბირთვის მუხტი მატულობს ერთი ერთეულ $\Delta Z = +1$ ელექტრონული β^- - დაშლის უმარტივესი მაგალითია (თუ არ ჩავთვლით ნეიტრონის დაშლას) ტრიტიუმის β^- - დაშლა, რომელიც სქემატურად არ გამოისახება.



ხოლო, უფრო მძიმე ბირთვების დაშლა (რომლებიც დღეისათვის მრავლად მიიღება ამაჩქარებლებლზე და ბირთვულ რეაქტორებზე) ფართოდაა ცნობილი ბირთვულ ფიზიკაში:



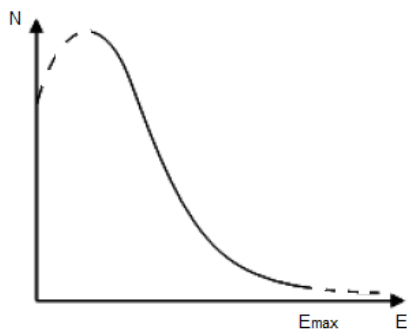
β- დაშლის დროს ბირთვის ენერგეტიკული პირობა ასე ჩაიწერება:

$$H(A, Z) > H(A, Z + 1) + Me$$

ენერგია, რომელიც გამოიყოფა ამ დროს

$$E_{\beta} = [H(A, Z) - H(A, Z + 1)]C^2$$

გამოტყორცნილი ელექტრონების ენერგეტიკული სპექტრის შესწავლამ მაგნიტური β სპექტრომეტრების საშუალებით იმ დროისათვის მოგვცა სრულიად მოულოდნელი შედეგი: β- სპექტრი აღმოჩნდა უწყვეტი (და არა მონოქრომატული, როგორც α - დაშლის დროს), სადაც ელექტრონების ენერგია იცვლება ნულიდან E_{max} - მდე. სწორედ ამ დროს იქნა შემოტანილი

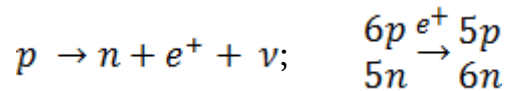
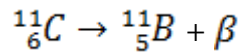


ჰიპოთეზური ნაწილაკი ნეიტრინო, რომელსაც მიაქვს სწორედ ენერგიის ნაწილი. ამ ნაწილაკის შემოტანით გადარჩა ენერგიის შენახვის კანონი

სურ. 3

და მომენტის შენახვის კანონიც $(n\frac{1}{2}) \rightarrow (p\frac{1}{2}) + (e^{-})(\frac{1}{2}) + \bar{\nu}(\frac{1}{2})$ გარდა β⁺- პოზიტრონულ დაშლას. მისი მექანიზმი შემდეგია: ბირთვის ერთ-ერთი პროტონი გარდაიქმნება ნეიტრონად, პოზიტრონად და ნეიტრინოდ. ნეიტრონი რჩება ბირთვის შიგნით ხოლო პოზიტრონი და

ნეიტრონო კი გამოსხივდება. β^+ - გარდაქმნების დროს მასური რიცხვი არ იცვლება, ხოლო $\Delta Z = -1$ მცირდება ერთი ერთეულით. უმარტივესი მაგალითია:



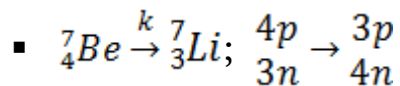
β^- – დაშლის ანალოგურად β^+ – დაშლის ენერგეტიკული პირობა ჩაიწერება ასე:

$$M(A, Z + 1) > M(A, Z) + Me$$

β^+ – დაშლის ენერგეტიკული პირობა ჩაიწერება ასე:

$$E_\beta = [M(A, Z) - M(A, Z - 1) - 2Me]C^2$$

3. ელექტრონული ჩაჭერა (ანუ k – ჩაჭერა). გარკვეული აზრით ეს პროცესი საწინააღმდეგოა β^- – დაშლის. ელექტრონული ჩაჭერის დროს ატომის ბირთვი ჩაიჭერს ერთ-ერთი ატომური ორბიტიდან ელექტრონს და გამოასხივებს ნეიტრონს. ყველა ალბათურად ეს პროცესი მიმდინარეობს ბირთვთან ყველაზე ახლო მყოფ k-შირიდან. ელექტრონის ჩაჭერის შედეგად ერთ-ერთი პროტონი გარდაიქმნება ნეიტრონად. ამიტომ, რიგობრივი ნომერი, ისევე როგორც β^+ – დაშლის დროს მცირდება ერთი ერთეულით, მაგ.:



პოზიტრონული დაშლა და k ჩაჭერა კონკურენციული პროცესებია და შეიძლება ერთდროულად მიმდინარეობდა.

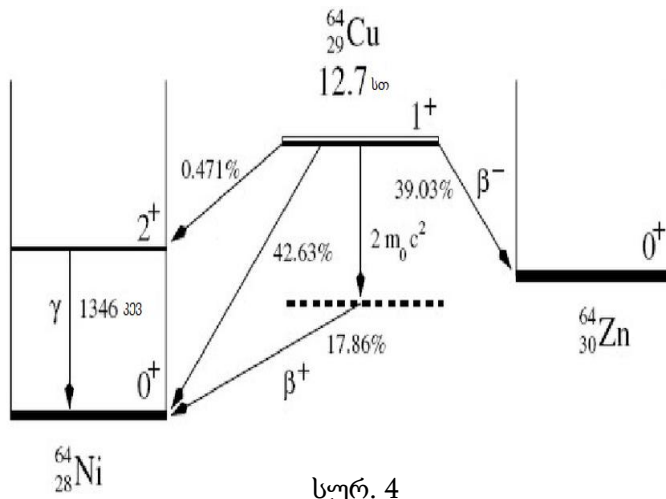
k- ჩაჭერის ენერგეტიკული პირობა ჩაიწერება ასე:

$$M(A, Z) < M(A, Z + 1) + Me$$

ხოლო ენერგია

$$E_k = [M(A, Z + 1) - M(A, Z)]c^2$$

ზოგიერთი რადიოაქტიური იზოტოპის ერთი ნაწილი განიცდის დაშლის ერთ სახეს, ხოლო მეორე სხვა ტიპისას. ზოგიერთი იზოტოპი განიცდის β - დაშლის სამივე ტიპს α -დაშლასთან ერთად.



სურ. 4

ყველა შემთხვევაში დედობრივი ბირთვი ძირითად მდგომარეობაში უშუალოდ ან უმეტეს დროს ქმნის შვილობრივი ბირთვის ალზნებულ დონეებს, რომლებიც

შემდგომში γ -კვანტების გამოსხივებით ისევ გადადის ძირითად მდგომარეობაში.

γ – სხივები წარმოადგენენ ყველაზე მოკლე ტალღის სიგრძის მქონე ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას, რომლებიც წარმოიქმნებიან ალზნებულ ბირთვული რადიოაქტიური დაშლების შედეგად და აგრეთვე ბირთვული რეაქციების დროს ბირთვული ფიზიკის განვითარების საწყის ეტაპზე. ასე უწოდეს სხივებს, რომლებიც გამოსხივდებიან β^\pm და α – დაშლებთან ერთად და არ გადაიხრებიან მაგნიტურ ველებში. შემდგომი გამოკვლევების დროს დადგენილ იქნა, რომ γ -კვანტები წარმოიქმნებიან მხოლოდ ბირთვებში და მათი ენერგიები დამოკიდებულია ბირთვების ალზნებული დონეების ენერგეტიკულ დონეებს შორის სხვაობაზე. თვით ტერმინი ზოგჯერ მთლად არაკორექტულად გამოიყენება ნებისმიერი ბუნების ელექტრომაგნიტური გამოსხივების დასახასიათებლად, როცა მათი ენერგიები >100 კევ. მაგ. როცა დამუხრუჭებითი

გამოსხივების ენერგია (მაგ. რენტგენის სხივები) როცა მათი ენერგია < 100 კეე. იწოდება რენტგენულ სხივებად, ხოლო როცა > 100 კეე γ -კვანტებად. ასეთი მცირე ტალღის სიგრძეების გამო ($0.001\text{Å} - 1\text{Å}$) ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ტალღური თვისებები γ -კვანტების შემთხვევით სუსტად გამოიხატება. ამიტომ, იგი განიხილება, როგორც კორპუსკულური თვისებების მქონე გამოსხივება. γ -კვანტის ძირითადი მახასიათებელია მისი ენერგია $E_\gamma = h\nu$. რადიოაქტიური დაშლების დროს ენერგეტიკული დიაპაზონი შეადგენს $(10+3000)$ კეე ფარგლებში, ხოლო ბირთვული რეაქციების დროს იგი აღწევს ~ 20 მეე მნიშვნელობას. რადგანაც ბირთვი კვანტომექანიკური სისტემაა, ამიტომ სისტემის ენერგეტიკულ დონეებს შორის სხვაობები $E_\gamma = E_i - E_f$ განსაზღვრავენ სწორედ γ -გამოსხივება მკაცრად მონოქრომატულია. მოცემული იზოტოპის γ -გამოსხივების სპექტრი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა გზით მოხდა კონკრეტული ბირთვის აღზნება. მაგ. რადიოაქტიური დაშლების დროს ადგილი აქვს ენერგეტიკულად უფრო მცირე აღზნებასთან, ვიდრე ბირთვული რეაქციების დროს. რადიოაქტიური დაშლის დროს აღზნების ენერგია < 3 მეე, ამიტომ, ბირთვიდან ნუკლონის გამოსვლა არ ხდება.

2.2 რადიოაქტიური დაშლის კანონი

ბუნებრივი რადიოაქტიურობა არის ერთი სახის ბირთვის სხვა სახის ბირთვად თავისთავადი გარდაქმნა, რასაც თან ახლავს სხვადასხვა ნაწილაკების გამოსხივება. რადიოაქტიური ბირთვების გარდაქმნისას ელემენტის აქტიურობა დროის განმავლობაში მცირდება. შემცირების ხარისხი დამოკიდებულია თვით რადიოაქტიური ბირთვის გვარობაზე.

ამდენად, რადიოაქტიური ბირთვის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელად მიღებულია ნახევარდაშლის პერიოდი T - დროის განსაზღვრული ინტერვალი, რომლის განმავლობაშიც აქტიურობა ორჯერ მცირდება. თუ გვაქვს ერთი და იგივე რადიოაქტიური იზოტოპის ატომები, ეს ნიშნავს იმას, რომ თანამედროვე ფიზიკის თვალსაზრისით მათ ყველა ძირითადი პარამეტრი ერთნაირი აქვთ. ამიტომ, თითქოს ლოგიკურია დავუშვათ, რომ ისინი ყველა ერთსა და იმავე დროში დაიშლება. სინამდვილეში გვაქვს სრულიად საწინააღმდეგო სურათი. ზოგიერთი

ბირთვი იშლება სწრაფად, ზოგიერთი უფრო გვიან, არიან ისეთებიც, რომლებიც ცოცხლობენ დიდი დროის განმავლობაში. რატომ ხდება ასე, ცნობილი არ არის, რადგან არ არსებობს ბირთვში მიმდინარე პროცესებზე უშუალო დაკვირვების მეთოდები. აქედან გამომდინარე, შეუძლებელია ვთქვათ ესა თუ ის ბირთვი როდის დაიშლება. მაგრამ, შესაძლებელია ცალსახად დავადგინოთ, რომ მილიონი ატომიდან რა დროის განმავლობაშიც დაიშლება ნახევარი, დარჩენილი 500 000 განახევრდება იგივე დროში და ა. შ. გამომდინარე აქედან, ნახევარდაშლის პერიოდის გავლის შემდეგ საწყისი ბირთვების N_0 რაოდენობიდან დარჩება

$$N = \frac{N_0}{2} \text{ დაუშლელი ბირთვი. } t=nT \text{ დროის შემდეგ დარჩება:}$$

$$N = N_0 \frac{1}{2^n}$$

რადგანაც $n = \frac{t}{T}$, ამიტომ საბოლოოდ შეგვიძლია ჩავწეროთ რადიოაქტიური დაშლის

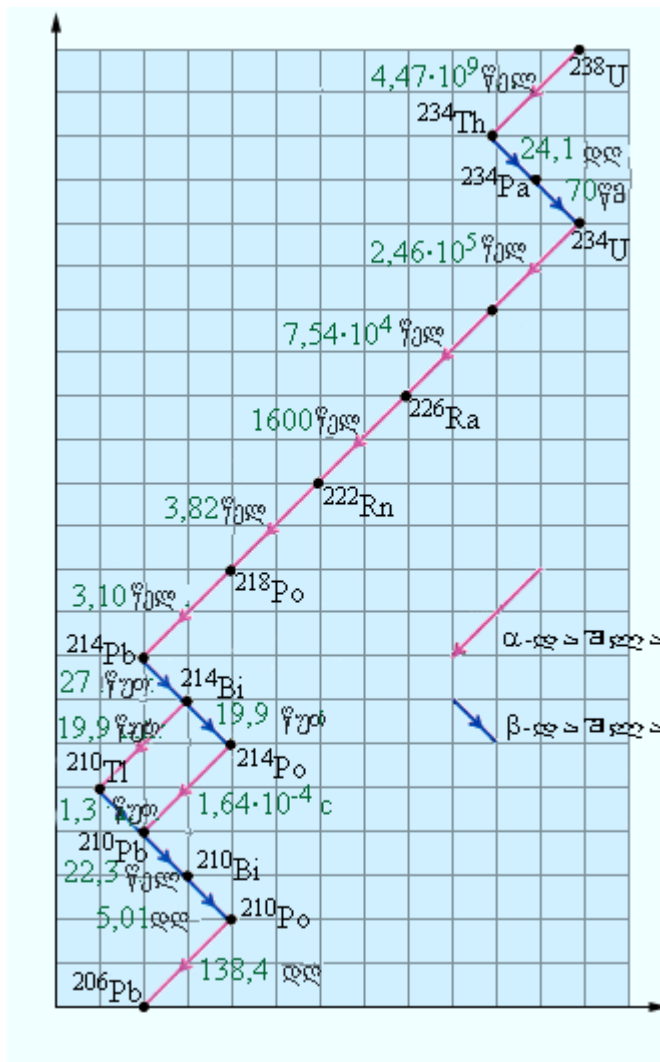
ძირითადი კანონი.

$$N = N_0 e^{-t/T}$$

სადაც: N_0 - რადიოაქტიური ატომების რაოდენობაა საწყის მომენტში, N - დროის t ინტერვალის შემდეგ დარჩენილი ბირთვების რაოდენობა, T - რადიონუკლიდის ნახევარდაშლის პერიოდი, რომელიც მოცემული რადიოაქტიური ბირთვებისათვის არის მუდმივი და მოყვანილია ცხრილში №1.

ბირთვები	გამოსხივებული ნაწილაკი	T-ნახევარდაშლის პერიოდი	ნაწილაკის ენერგია მეგ
$^{92}\text{U}^{238}$	α	4.50×10^9 წელი	4.20
$^{90}\text{Th}^{234}$	β	24.1 დღე	0.19
$^{91}\text{Pa}^{234}$	β	1.18 წუთი	2.32
$^{92}\text{U}^{234}$	α	2.5×10^5 წელი	4.768
$^{90}\text{Th}^{230}$	α	8.0×10^4 წელი	4.68
$^{88}\text{Ra}^{226}$	α	1620 წელი	4.777
$^{86}\text{Rn}^{222}$	α	3.82 დღე	5.486
$^{84}\text{Po}^{218}$	α	3.05 წუთი	α : 5.51
$^{82}\text{Pb}^{214}$	β	26.8 წუთი	0.7
$^{83}\text{Bi}^{214}$	β	19.7 წუთი	α : 5.51
$^{84}\text{Po}^{214}$	α	1.64×10^{-4} წამი	7.683
$^{82}\text{Pb}^{210}$	β	22.3 წელი	0.017
$^{83}\text{Bi}^{210}$	β	6.0 დღე	1.155
$^{84}\text{Po}^{210}$	α	138.3 დღე	5.300
$^{82}\text{Pb}^{206}$	-----	სტაბილური	-----

ნახევარდაშლის პერიოდს აქვს სხვადასხვა დროითი შუალედები, რაც კარგად ჩანს ცხრილიდან. ყველაზე დიდი ნახევარდაშლის პერიოდი აქვს ურან-238-ს, α და β რადიოაქტიური დაშლისას შვილობრივი ბირთვი შეიძლება ასევე არასტაბილური აღმოჩნდეს. ურან-238-ის ოჯახი, 14 თანმიმდევრული დაშლისგან შედგება (8 α და 6 β -დაშლისგან). ეს სერია ტყვიის სტაბილური იზოტოპის წარმოქმნით სრულდება.



სურ. 5

მაიონებელი გამოსხივების რაოდენობრივი შეფასებისათვის გამოიყენება შემდეგი ძირითადი ცნებები და ერთეულები:

რადიონუკლიდის აქტიურობა - A. აქტიურობა ეს არის წყაროში დროის მცირე ინტერვალში სპონტანური ბირთვული გარდაქმნის მოსალოდნელი რიცხვების $-\Delta N$ შეფარდება, ამ დროის ინტერვალთან $-\Delta t$.

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

აქტიურობის ერთეულად SI - სისტემაში მიღებულია ბეკერელი (ბკ), ერთი ბეკერელი - ეს არის ერთი დაშლა ერთ წამში, $1\text{ბკ}=1\text{დაშლა/წმ}$. აქტიურობის სისტემის გარეშე ერთეულად გამოიყენება კიური (კი) ერთი კიური- ეს არის ერთი გრამი ^{226}Ra -ის აქტიურობა

$$1 \text{ კი} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ ზკ.}$$

ექსპოზიციური დოზა- X. რენტგენისა და გამა გამოსხივების რაოდენობრივ ზომად მიღებულია ექსპოზიციური დოზა, რომელიც განისაზღვრება გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად მცირე მოცულობის მქონე ჰაერის Δm მასაში წარმოქმნილი მეორადი ნაწილაკების ΔQ მუხტით:

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

ექსპოზიციური დოზა იზომება სისტემის გარეშე ერთეულით - რენტგენი (რ). ერთი რენტგენი - ეს არის რენტგენის ან γ - კვანტებით დასხივების ისეთი დოზა, რომლის დროსაც 1 სმ³ მშრალ ატმოსფერულ ჰაერში $0^{\circ}C$ - ის და 760 მმ. ვწყ. სვ. წნევის დროს წარმოიქმნება 1CGSE ჯამური მუხტის მქონე ერთ-ერთი ნიშნის მატარებელი იონები. 1რ ექსპოზიციურ დოზას შეესაბამება $2,08 \cdot 10^9$ წყვილი იონი.

მაიონებელი გამოსხივების ენერჯის შთანთქმა წარმოადგენს პირველად პროცესს, რომელიც საწყისია დასხივებულ ქსოვილში ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნებისა და რომელსაც მივყავართ დაკვირვებად რადიაციულ ეფექტამდე. ამიტომ, ბუნებრივია, აღნიშნული რადიაციული ეფექტი შევადაროთ შთანთქმულ ენერჯიას ან შთანთქმულ დოზას (5).

შთანთქმული დოზა D - ეს არის ძირითადი დოზიმეტრიული ერთეული და იგი ტოლია მაიონებელი გამოსხივების მიერ ელემენტარულ მოცულობაში არსებული ნივთიერებისადმი გადაცემული ΔE - საშუალო ენერჯის ფარდობისა ამ ნივთიერების მასასთან Δm .

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

შთანთქმული დოზის ერთეულად SI-სისტემაში მიღებულია გრეი (გრ).

$$1 \text{ გრ} = 1 \text{ ჯკ/კგ}$$

შთანთქმული დოზის სისტემის გარეშე ერთეულად გამოიყენება რადი (რად).

$$1 \text{ რადი} = 100 \text{ ერგი/გ; რადგან } 1 \text{ ჯკ} = 10^7 \text{ ერგი ამიტომ, } 1 \text{ გრ} = 100 \text{ რად.}$$

ეფექტური დოზა - სიდიდეს, რომელიც ახასიათებს ადამიანზე გამოსხივების ზემოქმედების ზომას მისი ორგანოების რადიომგრძობელობის გათვალისწინებით ეწოდება ეფექტური დოზა.

იგი წარმოადგენს ორგანოებსა და ქსოვილებში ექვივალენტური დოზების შესაბამის ხარისხის კოეფიციენტზე ნამრავლების ჯამს:

$$E = \sum_T W_T \cdot H \cdot BA$$

სადაც H-ექვივალენტური დოზაა ორგანოსა და ქსოვილში, W_T კი ამ ორგანოს ან ქსოვილისათვის ხარისხის კოეფიციენტი.

3. რადიაციის ზემოქმედება ბიოლოგიურ ობიექტებზე

განსხვავებულ ორგანიზმებსა და ქსოვილებს გამოსხივებისადმი სხვადასხვა მგრძობელობა ახასიათებთ. ამიტომ, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება იმას, თუ კერძოდ რომელი ორგანო მოხვდა მაიონებელი ზემოქმედების ქვეშ. რადიაციის მიმართ განსაკუთრებით მგრძობიარეა სისხლმზადი ორგანოები, გონადები, ფილტვები, ფარისებრი ჯირკვალი, კუჭი. რადიაციის ზემოქმედება ორგანიზმებზე მათი რადიომგრძობელობის მიხედვით (იხ.ცხრილი №2).

ცხრილი №2

ქსოვილი ან ორგანო	W_T (ზვ)
გონადები	0,2
ძვლის წითელი ტვინი	0,12
ფილტვები	0,12
კუჭი	0,12
ფარისებრი ჯირკვალი	0,05
კანი	0,01

ცოცხალ და არაცოცხალ მატერიაზე ნებისმიერი სახის გამოსხივების მოქმედების შედეგად რადიოაქტიური გამოსხივება კარგავს თავის ენერგიას, ხოლო მატერიაში მთელი რიგი რთული გარდაქმნები მიმდინარეობს. დიდი დოზებით დასხივების შემთხვევაში შეიძლება

გამოიწვიოს „სიკვდილი დასხივების ქვეშ“. ხანგრძლივი მოქმედების მცირე დოზები იწვევენ ნერვულ ცვლილებებს, სიმსივნეთა წარმოშობას დასხივებიდან წლების შემდეგ.

ნებისმიერ ბიოლოგიურ ობიექტზე რადიაციის პირველადი მოქმედება იწყება გამოსხივების ენერჯის შთანთქმით, რაც იწვევს ცვლილებებს მოლეკულურ დონეზე. გამოსხივების გავლენით იცვლება უჯრედების კომპონენტების უმრავლესობა, მათ რიცხვში მაკრომოლეკულებიც და სხვა.

ცხრილი №3

##	ბიოლოგიური სახე	წლიური დოზა რენტგენში
1.	ადამიანი	250-300
2.	ძაღვები	250-300
3.	თაგვები	600-1300
4.	ვირთხები	700-900
5.	ფრინველები	800-1200
6.	თევზები	8000-20000
7.	მწერები	10000-100000
8.	მცენარეები	1000-150000
9.	ვირუსები	600000-800000
10.	მიკრობები	100000- მილიონამდე

შესწავლილია აგრეთვე მაიონებელი რადიაციის მოქმედება მყარ ორგანულ ნივთიერებებზე, აგრეთვე წყალსა და დაბალ და მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა წყალხსნარებზე .

განასხვავებენ მაიონებელი რადიაციის ზემოქმედების ორ სახეს:

1. პირდაპირი - როცა ზიანდება მოლეკულა, რომელმაც უშუალოდ ენერჯია შთანთქა.
2. არაპირდაპირი - რაშიც ყველაზე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წყლის რადიოლიზს, ანუ წყლის დაშლას ჟანგბადისა და წყალბადის ატომებად და თავისუფალ OH რადიკალებად.

H₂O-ს თავისუფალი ატომები და OH რადიკალები ერთმანეთთან და წყლის მოლეკულებთან რეაგირებენ, რის შედეგადაც წარმოიქმნება მეტად აქტიური წყალბადის ზეჟანგი პერჰიდროლი. იგი მოქმედებს უჯრედის შემადგენელ ნაწილებზე და ცვლის მათ ბუნებას.

როგორც აღვნიშნეთ, მცირე დოზებით დედამიწის ყოველი მოზინადრე განიცდიდა და განიცდის მაიონებელ გამოსხივებას, სახელდობრ კოსმოსური სხივების და იმ რადიოაქტიური სხივების ზემოქმედებას, რომლებიც შედიან ორგანიზმის შემადგენლობაში და გარემოში. მაიონებელ გამოსხივებას ფართოდ იყენებენ ბიოლოგიურ კვლევებში, მედიცინაში და სხვა. იგი საფუძვლად დაედო სხივურ თერაპიას, რენტგენოდიაგნოსტიკას და რადიოიზოტოპურ თერაპიას.

ცოცხალი უჯრედი რთული ორგანიზმია, რომელსაც მისი ცალკეული ნაწილების დაზიანების შემთხვევაშიც კი, არა აქვს ნორმალური მოქმედების უნარი. როდესაც ალფა ნაწილაკი გაივლის უჯრედში, იგი იწვევს მისი მოლეკულების და ატომების აღზნებას და იონიზაციას, ასე, რომ ალფა ნაწილაკი თუ არ დაანგრევს უჯრედს, ისეთ ცვლილებებს გამოიწვევს, რომ როგორც წესი, უჯრედი თავის თავს ბოლომდე ძნელად თუ აღადგენს. გამოსხივების საშიშროება გაძლიერებულია იმითაც, რომ იგი არავითარ მტკივნეულ შეგრძნებებს არ იწვევს, სასიკვდილო დოზების დროსაც კი. გამოსხივებისადმი განსაკუთრებით მგრძობიარეა ბირთვები, რომლებიც სწრაფად იყოფიან. ამიტომ, პირველ რიგში, გამოსხივება ძვლის ტვინს აზიანებს, რის გამოც სისხლის წარმოქმნის პროცესები ირღვევა. თუ დაზიანდა უჯრედის ის ნაწილი, რომელიც არეგულირებს უჯრედების გამრავლებას, მაშინ იწყება უჯრედების არაკონტროლირებადი გამრავლება, რის შედეგადაც უჯრედები ხდებიან კანცეროგენულნი, აღარ ემორჩილებიან „ცენტრის ბრძანებას“ და მოქმედებენ ორგანიზმის საწინააღმდეგოდ.

მართალია არსებობს იმუნური სისტემა, რომელიც აცილებს ორგანიზმს არასასურველ სხეულებს, მაგრამ ტრაგედია იმაშია, რომ იმუნური სისტემა თავის მხრივ ასევე რადიციის მსხვერპლი ხდება.

რადიოაქტიური დასხივების პროცესი არავითარ შეგრძნებებს არ იწვევს. ამდენად, დღიდან მისი აღმოჩენისა, დაიწყო სერიოზულ დასხივებათა შემთხვევები და პირველ რიგში - თავად სპეციალისტებისა. საწყის ეტაპზე ეს გამოიხატა კანის დამწვრობით, რომელიც 10-20 წლის შემდეგ გადადიოდა სიმსივნეში. შედეგად, გახშირდა სიკვდილიანობის შემთხვევები.

განსაკუთრებით საშიშია რადიაციის ზემოქმედების შედეგები გენეტიკურ კოდზე. არსებობს მცდარი შეხედულება რადიაციის მცირე დოზების უვნებლობასთან დაკავშირებით. კანადელი მეცნიერის ე. პეტკაუს შრომებმა (ამ გამოკვლევების შედეგად მას მიენიჭა ნობელის პრემია) ეს შეხედულებები სრულიად შეცვალა - „თუ ჩვენ გადავურჩით რადიაციის ზემოქმედების შედეგებს, ჩვენი შთამომავლობა ვერ გადაურჩება“. არ იქნება უადგილო წარმოვიდგინოთ რამდენად საშიშია რადიაციის დამანგრეველი ზემოქმედება გენეტიკურ კოდზე.

4. რადიაციის დეტექტირების მეთოდები

ნაწილაკთა რეგისტრაციის ძირითადი მეთოდები თვალთ უხილავი ნაწილაკების დამზერა, მით უმეტეს რომ ისინი თითქმის სინათლის სიჩქარით მოძრაობენ, ერთი შეხედვით რთული ამოცანა უნდა იყოს. თანამედროვე ტექნოლოგიების საშუალებით არა მარტო მათი დარეგისტრირება შესაძლებელი, არამედ ტრაექტორიის აღდგენა მიკრონების სიზუსტითაც კი ხდება. 100-წლიანი განვითარების გზაზე დეტექტორულმა ფიზიკამ ამ ამოცანის გადასაწყვეტად მრავალი მეთოდი შეიმუშავა. სამრეწველო ტექნოლოგიების დახვეწის პარალელურად ისინი მუდმივად სრულყოფის პროცესშია. თუ გადავხედავთ არსებულ და უკვე ისტორიას მიზარებულ დეტექტორთა ჩამონათვალს, შეიძლება რამდენიმე მიმართულება გამოვყოთ ნაწილაკთა დეტექტირების იდეის მიხედვით. უხილავი ნაწილაკების პირველი კვალი, რომელმაც მეცნიერთა ყურადღება მიიქცია, ეს მათ მიერ გამოწვეული ნათებაა - გამოსხივებას ნივთიერების მოლეკულა ან ატომი გადაჰყავს აღზნებულ მდგომარეობაში, შემდგომში აღზნებული ატომი გამოსხივებს ფოტონს, რომლის ტალღის სიხშირე ხილულ სპექტრსაც მოიცავს და, ამგვარად, ნათება თვალთაც კი დაიმზირება. ამას მოჰყვა სიბნელეში ფოტომულსიების დაშუქების მოვლენის აღმოჩენა. ამჯერად, ნაწილაკის გავლამ ემულსიის ნივთიერების ქიმიური შემადგენლობის გარდაქმნა გამოიწვია. გარემოს იონიზაციის მოვლენა უკვე სხვადასხვანაირად იქნა გამოყენებული ნაწილაკთა კვალის (ტრეკის) დასაფიქსირებლად - ვილსონის და ბუშტოვან კამერებში იონიზაციის ადგილებზე გარემოს ნივთიერების აგრეგატული მდგომარეობის შეცვლა იწვევდა ვიზუალიზაციას. ნაპერწკლოვანი კამერა ამ ადგილებზე გაზურ გარღვევას იძლეოდა, სტრიმერული კი ნაპერწკლებს, რომელთა გარღვევამდე მიყვანა აღარ ხდებოდა. ნახევარგამტარულ დეტექტორებში დამატებითი

ელექტრონ-იონური ხვრელების წარმოქმნით ფიქსირდება ნაწილაკის გავლის ადგილი, გაზური გაძლიერების დეტექტორებში, რომლებიც დიდი მრავალფეროვნებით გამოირჩევა, ნაწილაკის ტრეკის გასწვრივ წარმოქმნილი ელექტრონები ელექტრონ-იონურ ღვარებად გარდაიქმნება და მიღებული დენის იმპულსი ტრეკის კოორდინატებს იძლევა. სრულიად სხვა ბუნებისაა ჩერენკოვის გამოსხივება, რომელიც პირველად სწორედ ვიზუალურად იქნა დამზერილი, შემდეგ კი ტექნოლოგიურად დაიტვირთა. გარდამავალი გამოსხივებაც ექსპერიმენტული ფიზიკის განვითარებაში შემჩნეული მოვლენაა. ნივთიერებაში გამავალი ნაწილაკის მიერ ენერჯის კარგვამ კალორიმეტრიას დაუდო საფუძველი და ამგვარად ნაწილაკის კოორდინატის გარდა მისი ენერჯის შესახებაც გახდა შესაძლებელი ინფორმაციის მიღება. ქვემოთ მოყვანილია ელემენტარულ ნაწილაკთა რეგისტრაციის სხვადასხვა მეთოდებისა და შესაბამისი დეტექტორების აღწერები, სამუშაო მახასიათებლები, მოყვანილია მათი შექმნის დროს გამოყენებული ძირითადი ტექნოლოგიური გადაწყვეტები. რადგან დეტექტორის პირველი დანიშნულებაა გამავალი ელემენტარული ნაწილაკის კოორდინატისა და ენერჯის მაღალი სიზუსტით განსაზღვრა, ამ მიზნის მისაღწევად თავად გამზომი ხელსაწყო, ანუ ეს დეტექტორი უნდა იყოს მაღალი სიზუსტით დამზადებული. ამას კი განაპირობებს რამდენიმე ფაქტორი: გამოყენებული მასალის მაღალი სიზუსტე, ხარისხი და ერთგვაროვნება, დეტექტორის აწყობის პროცესში მუშაობის მაღალი კულტურა - სისუფთავე, ტექნოლოგიის დაცვა, მაღალი ინდივიდუალური პასუხისმგებლობა; გამოსაყენებელი მასალის ხარისხის კონტროლი დეტექტორის აწყობის ეტაპამდე, ასევე აწყობილი ელემენტებისა და სრული დეტექტორის ყოველმხრივი ტესტირება, ყოველი მათგანის „პასპორტიზაცია“.

4.1 დეტექტორების მახასიათებლები

სანამ კონკრეტული დეტექტორების აღწერას შევუდგებოდეთ, საჭიროა მიმოვიხილოთ ზოგადი პარამეტრები, რომელთა შეჯერებით ხდება მათი არჩევა კონკრეტული ამოცანისათვის. დეტექტორების შესწავლის პროცესში ეს ჩამონათვალი უფრო გასაგები გახდება.

მგრძობიარობა - დეტექტორის უნარი მოგვცეს გამოსხივების შესახებ ინფორმაცია. მაღალი მგრძობიარობის მისაღწევად საჭიროა დეტექტორის აქტიური არე იყოს დასარეგისტრირებელი გამოსხივების მიმღები გარემო. პროცესი შეიძლება წარიმართოს

გარემოს იონიზაციის გზით, ლუმინესცენციის გამოწვევით, ქიმიური გარდაქმნით, კრისტალურ სტრუქტურაში გამტარობის შეცვლით და ა.შ. მგრძობიარობაზე გავლენას ახდენს დეტექტორის სამუშაო არის შედგენილობა და სიმკვრივე, გეომეტრია, გარემოს ტემპერატურული, წნევითი პირობები. მაღალი მგრძობიარობა შეიძლება იყოს დეტექტორიდან საჭირო სიგნალის მიღებაში ხელის შემშლელიც - ე.წ. ხმაურის გამო. მეორეს მხრივ, მგრძობიარე გარემომდე ნაწილაკმა შეიძლება ვერ მიაღწიოს მის გზაზე განთავსებული მშთანთქმელი ნივთიერებების გამო. სცინტილატორული მთვლელის მაგალითზე: გამოსხივებისადმი მგრძობიარობა შეგვიძლია ვცვალოთ პლასტიკურ მასაში დანამატების შემადგენლობით და რაოდენობით; თხელი ზომის ფილა ცუდი მგრძობიარეა; ასევე შეიძლება მგრძობიარობა გაფუჭდეს ფოტოგამამრავლებლისა და სცინტილატორის სპექტრალური შეუსაბამობით; ცუდად შეფუთულ მთვლელში მაღალი ხმაურის გამო მიმღები ელექტრონიკა საჭირო სიგნალს ვერ გამოყოფს; ასევე მიმღები ელექტრონიკის ზღურბლის ფოტოგამამრავლებლიდან მიღებულ სიგნალთან შეთანხმება საჭირო, რათა სუსტი სიგნალების მიმართაც მთვლელი მგრძობიარე იყოს და ა.შ.

ეფექტურობა - ეს უმთავრესი მახასიათებელია. ეს არის დეტექტორის მიერ რეგისტრირებულ ნაწილაკთა რიცხვის შეფარდება სამუშაო არეში გამავალ დასარეგისტრირებელ ნაწილაკთა რიცხვთან. იდეალურ შემთხვევაში იგი უნდა იყოს 100%. მოცემული კონკრეტული დეტექტორის ეფექტურობა დამოკიდებულია მგრძობიარობაზე და სამუშაო პირობებზე. მაგალითად, მავთულიანი მთვლელის ეფექტურობა იზრდება ძაბვის ზრდით, შემდეგ გარკვეული ძაბვებისთვის მყარდება სტაბილური სამუშაო რეჟიმი, როცა ეფექტურობა უცვლელია, მეტი ძაბვისათვის მთვლელი შეიძლება დაზიანდეს. ამ სამუშაო რეჟიმის სიგანე დეტექტორის მუშაობის სტაბილურობის საფუძველია. იგი პერიოდულად მოწმდება დეტექტორებში და კლების შემთხვევაში დეტექტორი უნდა შეკეთდეს ან შეიცვალოს. კოორდინატული სიზუსტე ტრეკული, კოორდინატული დეტექტორების მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. ამ სიდიდეზეა დამოკიდებული ელემენტარული ნაწილაკის ტრეკის, ურთიერთქმედების წვეროს აღდგენის სიზუსტე, მისი იმპულსის გამოთვლის ცდომილება, რაც შემდგომში ფიზიკური პროცესის შესახებ დასკვნების გაკეთების საიმედოობასთან არის დაკავშირებული. მაღალი კოორდინატული სიზუსტის მიღების საწყისი პირობაა დეტექტორის შექმნის პროცესში მექანიკური სიზუსტეების დაცვა, სასიგნალო ელემენტების განლაგების ზუსტი რუკის შედგენა.

მკვდარი დრო - ძველი ტრეკული დეტექტორების მნიშვნელოვანი მახასიათებელი იყო. ეს არის დროის მონაკვეთი, როცა დეტექტორი ურთიერთქმედების დასარეგისტრირებლად არაა მზად. თანამედროვე დეტექტორები ისეა მოწყობილი, რომ ერთ ელემენტზე სიგნალის მიღების პროცესი არ იწვევს მთელი დეტექტორის გათიშვას, იგი მგრძნობიარე რჩება თუნდაც შემდეგი ურთიერთქმედებების ჩასაწერად, ანუ შემთხვევების ზედღებვას დეტექტორი ნორმალურად აღიქვამს და გარკვეულ დონემდე არ ჰკარგავს საჭირო ინფორმაციებს. ნულოვანი მკვდარი დროს მქონე დეტექტორი ფოტომულსიაა.

ენერგეტიკული გარჩევისუნარიანობა ახასიათებს დეტექტორებს, რომლებშიც ნაწილაკის მიერ შეტანილი შემფოთება მათი ენერგიის შესაბამისად ხდება. ეს პარამეტრი გვეუბნება, თუ რამდენად ახლოს შეიძლება იყოს ენერგეტიკული სპექტრის ორი ხაზი, რომელთაც დეტექტორი გაარჩევს და არ აღიქვამს, როგორც ერთს. სიდიდე გამოისახება პროცენტულად და ასახავს ენერგეტიკული განაწილების სპექტრში განაწილების ნახევარსიმაღლეზე ენერგიის შეფარდებას პიკურ მნიშვნელობასთან

$$(E) : \eta(E) = \Delta E / E \cdot 100\%$$

პირველ რიგში η -ს განსაზღვრავს დეტექტორის სამუშაო გარემოს იონიზაციის ხარისხი. ენერგეტიკული კარგების გამო დეტექტორის გარემოს გადაეცემა ინფორმაცია, რომელიც სათანადო გათვლების შემდეგ დამცემი ნაწილაკის ენერგიის შეფასების საშუალებას იძლევა. ატომის ბირთვის ფიზიკისა და ნაწილაკების ფიზიკის ისტორია თავისი არსით არის რეგისტრაციის ახალი მეთოდებისა და ძველის სრულყოფის ისტორია. დღეისათვის ფიზიკოსების არსენალში არაერთი ცალკეული მარეგისტრირებელი დანადგარი არსებობს, რომელიც წარმოადგენს სხვადასხვა დეტექტორების კომბინაციას და ითვლება თანამედროვე ტექნიკური შესაძლებლობების ნიმუშად, ზოგიერთი მათგანი კი ყველაზე სრულყოფილ მოწყობილობად, რაც კი შექმნა კაცობრიობამ.

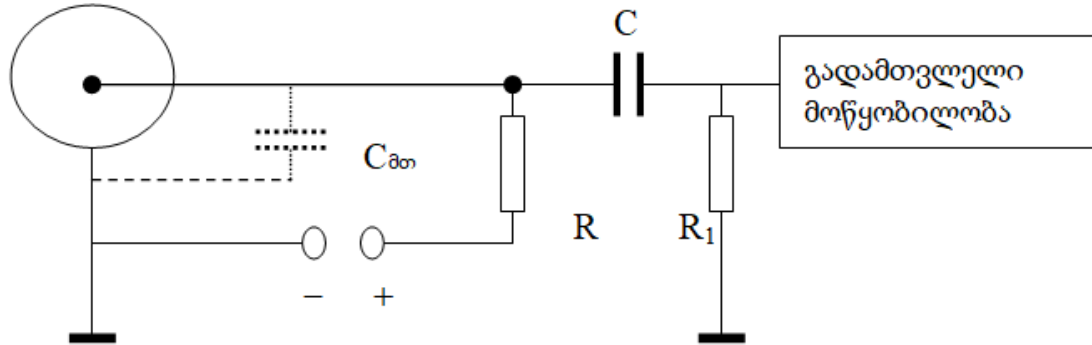
დეტექტორები ემსახურებიან როგორც ნაწილკთა არსებობის ფაქტის დაფიქსირება-რეგისტრაციას, ასევე მათი ენერგიის, იმპულსის, მოძრაობის ტრაექტორიების და სხვა მახასიათებლების განსაზღვრას. ხშირად გამოიყენება ისეთი დეტექტორები, რომლებიც მაქსიმალურად მგრძნობიარენი არიან კონკრეტული ნაწილაკის მიმართ და არ გრძნობენ იმ დიდ ფონს, რომელსაც ქმნიან სხვა ნაწილაკები. ერთ-ერთი ყველაზე ზოგადი საერთო პრინციპი, რაც აერთიანებს რეგისტრაციის მეთოდებს, მდგომარეობს შემდეგში: დამუხტული ნაწილაკი

მოდრაობს რა დეტექტორის ნეიტრალურ გარემოში (გაზი, სითხე, მყარი სხეული, ამორფული თუ კრისტალური), ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ხარჯზე იწვევს ამ გარემოს ატომების აღზნებასა და იონიზაციას. ამგვარად, ნაწილაკის მოძრაობის გზაზე წარმოიქმნება თავისუფალი მუხტები (ელექტრონები და იონები) და აღზნებული ატომები. თუ გარემო მოქცეულია ელექტრულ ველში, მაშინ მასში აღიძვრება ელექტრული დენი, რომელიც ფიქსირდება მოკლე ელექტრული იმპულსის სახით. პირობითად, დეტექტორებს, რომელთათვისაც ეს პრინციპია გამოყენებული, უწოდებენ იონიზაციურს. აღზნებული ატომების დაბრუნებისას ძირითად მდგომარეობაში გამოსხივდება ფოტონები, რომლებიც შეიძლება დარეგისტრირდეს ოპტიკური ფეთქა-ნათებების სახით ხილულ, ან ულტრაიისფერ არეში. ეს პრინციპი გამოიყენება სცინტილაციურ დეტექტორებში. უმუხტო ნაწილაკების (გამაკვანტი, ნეიტრონი, ნეიტრინო) დეტექტირება ხდება დეტექტორის ნივთიერებაზე მათი ზემოქმედების შედეგად წარმოქმნილი მეორადი დამუხტული ნაწილაკების მეშვეობით. სწრაფად დაშლადი-მცირე სიცოცხლის ხანგრძლივობის მქონე ნაწილაკების აღრიცხვას დეტექტორები ხშირ შემთხვევაში ვერ „ასწრებენ“. ასეთ პირობებში მათი აღრიცხვა მიმდინარეობს დაშლის პროდუქტების მიხედვით. ბირთვული გამოსხივების რეგისტრაციისთვის შექმნილია სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოები: საიონიზაციო კამერები, პროპორციული მთვლელები, გეიგერ-მიულერის მთვლელები, სცინტილაციური დეტექტორები, დიფუზიური, ბუშტოვანი და ნაპერწკლოვანი კამერები და ა. შ.

ამჟამად, ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ორი ტიპის მთვლელები: გაზით ავსებული და კრისტალური მთვლელები.

გაზით ავსებული მთვლელები გამოსხივების სხვადასხვა სახის მიმართ კარგი მგრძობიარობის, სიმარტივის და სიიარის წყალობით გამოსხივების რეგისტრაციის ყველაზე გავრცელებულ ხელსაწყოებს წარმოადგენენ. ასეთი მთვლელი, როგორც წესი, წარმოადგენს მინის თხელკედლიან ცილინდრულ კამერას, შიგნიდან დაფარულს ლითონის თხელი ფენით, ზოგიერთ შემთხვევაში კი დამზადებულს თვით ლითონისგან. კამერის ღერძის გასწვრივ გაჭიმულია ლითონის ძაფი. კამერა ივსება ინერტული გაზით, უფრო ხშირად არგონით და მცირე რაოდენობის მინარევებით. მთვლელების შესავსებად გამოყენებულ გაზებს უნდა ჰქონდეთ ელექტრონების „მიწებების“ (მიერთების) დაბალი კოეფიციენტი, რათა თავისუფალმა ელექტრონებმა გადაიტანონ უარყოფითი მუხტი მთვლელში. ძაფი წარმოადგენს ანოდს, კამერის კედლები - კათოდს. მოკლე განარბენიანი ნაწილაკების (ალფა-ნაწილაკები, ელექტრონები_

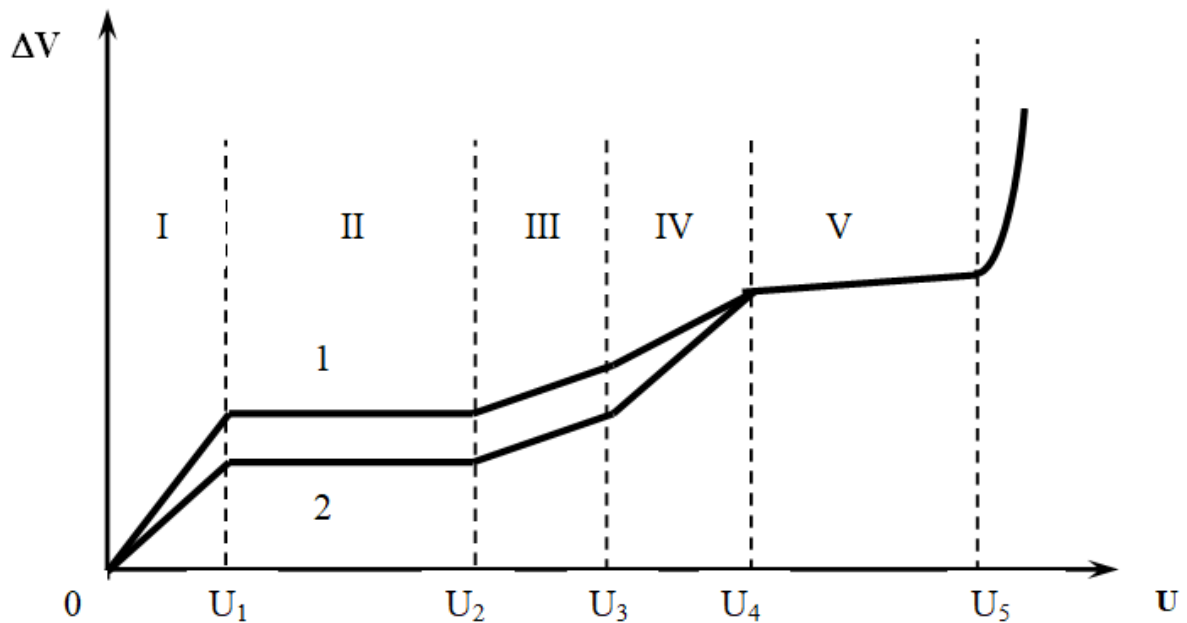
რეგისტრაციისთვის მთვლელის რეზერვუარს უკეთდება თხელი აპკით ან ქარსით დაფარული ფანჯარა, რომლის გავლითც ნაწილაკები მთვლელის მუშა მოცულობაში ხვდებიან.



მთვლელის წრედში ჩართვის სქემა.

სურ. 6

სურ. 6-ზე მოცემულია გაზით ავსებული მთვლელის ელექტრულ წრედში ჩართვის სქემა. ძაფი - ანოდი დატვირთვის R წინაღობის გავლით მიერთებულია მაღალი ძაბვის U წყაროსთან. ბირთვული გამოსხივების ნაწილაკი მთვლელში მოხვედრისას იწვევს გაზის იონიზაციას. მოდებული ძაბვის მოქმედებით ელექტრონები მიემართებიან ანოდისკენ, დადებითი იონები კი - კათოდისკენ და წარმოქმნიან ელექტრული დენის იმპულსს წრედში და ძაბვის ΔV იმპულსს R წინაღობაზე. ძაბვის ეს იმპულსი C კონდენსატორის გავლით მიეწოდება გამზომი მოწყობილობების შესავალს. ტევადობა $C_{\text{მთ}}$ -როგორც წესი, თვით მთვლელის ტევადობაა და შეადგენს დაახლოებით 10პფ-ს. გაზური განმუხტვა ეწოდება გაზში იონური დენის გავლას.



მთვლელის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

სურ. 7

ნახ. 7-ზე გამოსახულია გაზური განმუხტვის ე.წ. ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი, რომელიც გვიჩვენებს იონური დენის, ან იმპულსის ΔV ამპლიტუდის დამოკიდებულებას ელექტროდებზე მოდებულ U ძაბვაზე გაზში მაიონებელი გამოსხივების მუდმივი ინტენსიობის პირობებში. 1 და 2 მრუდები შეესაბამება ნაწილაკებს, რომლებიც მთვლელის შიგნით ქმნიან სხვადასხვა ინტენსიობის საწყის იონიზაციას. ეს მახასიათებელი შეიძლება დაიყოს რამდენიმე უბნად. პირველ უბანზე მიმდინარეობს ორი კონკურენტული პროცესი: იონების წარმოქმნა და მათი რეკომბინაცია. ყველა წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილაკი ვერ აღწევს ელექტროდებს. დადებითი იონების და ელექტრონების ნაწილი დაჯახებების დროს რეკომბინირდება. ძაბვის ზრდასთან ერთად იზრდება იონების და ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე, ამიტომ, მათი რეკომბინაციის ალბათობა მცირდება და სულ უფრო მეტი დამუხტული ნაწილაკი აღწევს შესაბამის ელექტროდს.

მე-2 უბანზე იონური დენი პრაქტიკულად მუდმივია, რადგანაც ელექტროდებს თითქმის ყველა პირველადი იონი აღწევს, მუხტის სხვა წყრო კი გაზში არ არის. ამ უბანს ნაჯერობის უბანი ეწოდება. საიონიზაციო კამერები ამ უბანში მუშაობენ. ძაბვის შემდგომი გაზრდით პირველადი იონიზაციის შედეგად წარმოქმნილი ელექტრონები ველის გავლენით იმდენად

ჩქარდებიან, რომ ორ მომდევნო დაჯახებას შორის მანძილზე ასწრებენ ისეთი კინეტიკური ენერჯის შექმნას, რომელიც საკმარისია გაზის სხვა ატომების იონიზაციისთვის, ე.ი წარმოიქმნება მეორადი იონების რაღაც რაოდენობა, ხდება ე.წ. გაზური გაძლიერება. ამ მე-3 უბანზე იმპულსის ამპლიტუდა პირველადი იონიზაციის პროპორციულად იზრდება და აქ მომუშავე მთვლელებს პროპორციულ მთვლელებს უწოდებენ. მათი ძირითადი ღირსება ის არის, რომ იძლევიან გამოსხივებული ნაწილაკის ენერჯის გაზომვის შესაძლებლობას, რადგან იმპულსის სიდიდე საწყისი იონიზაციის ინტენსიურობის და აქედან გამომდინარე, ნაწილაკის ენერჯის პროპორციულია. მოდებული ძაბვის შემდგომი ზრდით ეს პროპორციულობა თანდათანობით ირღვევა და მე-4 უბნის ბოლოს იმპულსის სიდიდე პირველადი იონიზაციის სიდიდისგან დამოუკიდებელი ხდება. ამ მე-4 უბანს შემოსაზღვრული პროპორციულობის უბანს უწოდებენ. მე-5 უბანზე გაზური გაძლიერება იმდენად მაღალია, რომ მთვლელებში აღიძვრება თავისთავადი განმუხტვა. ძაბვათა ამ უბანს გეიგერ-მიულერის უბანს უწოდებენ. ამ უბნის ზევით ხდება გაზის უწყვეტი გარღვევა და პროცესი უმართავი ხდება. მარტივი გაზებით ავსებულ მთვლელებში გეიგერ-მიულერის უბანში მუშაობისას დადებითი იონები გადიას მთელ გზას კათოდამდე და ნეიტრალდებიან მის მახლობლად კათოდის ლითონიდან ამოგლეჯილი ელექტრონებით. ამ დამატებითმა ელექტრონებმა შეიძლება გამოიწვიონ მომდევნო განმუხტვა, თუ არ იქნა მიღებული ზომები მის ჩასაქრობად, ან თავიდან ასაცილებლად. ამ მიზნის მისაღწევად მთვლელისთვის, რომ ნახ.1-ზე მოცემულ სქემაშია ჩართული, მთვლელის ანოდის წრედში რთავენ R წინაღობას. ასეთი წინაღობის არსებობისას მთვლელებში განმუხტვა წყდება მაშინ, როცა ანოდსა და კათოდს შორის ძაბვა, ანოდზე ელექტრონების დაგროვების გამო, მცირდება იმ სიდიდეზე უფრო მეტად, რომელიც საჭიროა განმუხტვის შესანარჩუნებლად. ასეთ მთვლელებს არათვითქრობადს უწოდებენ. ამჟამად არათვითქრობად მთვლელებს იშვიათად იყენებენ, რადგანაც შექმნილია მაღალი დონის თვითქრობადი მთვლელები. ცხადია, რომ მთვლელებში მაიონებელი ნაწილაკის გავლის შედეგად წარმოქმნილი განმუხტვის შესაწყვეტად საჭიროა იმ მიზეზების აღმოფხვრა, რომლებიც ამ განმუხტვის შენარჩუნებას ხელს უწყობს. ასეთი მიზეზი ორია. ერთი მათგანი აგანმუხტვის დროს წარმოქმნილი ულტრაიისფერი გამოსხივება. ამ გამოსხივების ფოტონები განმუხტვის პროცესში ორმაგ როლს ასრულებენ. მათი დადებითი როლია თვითქრობად მთვლელებში განმუხტვის გავრცელება მთვლელის ძაფის გასწვრივ, ხოლო უარყოფითი - კათოდიდან ფოტოელექტრონების ამოგლეჯა, რაც განმუხტვის შენარჩუნებას იწვევს, კათოდიდან მეორადი ელექტრონების გჩენის მეორე მიზეზს წარმოადგენს

დიდი ენერგიების დადებითი იონების ნეიტრალიზაცია კათოდთან. გამორთულად მომუშავე მთვლეელში განმუხტვა უნდა შეწყდეს პირველი ღვარის შემდეგ. განმუხტვის სწრაფი ჩაქრობის ყველაზე მეტად გავრცელებული მეთოდია მთვლეელის შემავსებელი ძირითადი გაზისთვის განმუხტვის ჩაქრობის უნარის მქონე სხვა გაზის დამატება. ამგვარად, შევსებულ მთვლელებს თვითქრობადს უწოდებენ. ამრიგად, მთვლეელის შევსების დროს ინერტულ გაზებს უმატებენ რომელიმე ორგანულ მრავალატომიან გაზს, იონიზაციის დაბალი პოტენციალით და ელექტრონების „მიწებების“ მცირე კოეფიციენტით. ასეთი გაზების მოლეკულები შთანთქავენ განმუხტვის თანმხლებ ულტრაიისფერ გამოსხივებას, ინერტული გაზების დადებით იონებთან დაჯახებისას ანეიტრალეზენ მათ და გადაჰყავთ ისინი ალგუნებული მდგომარეობიდან ძირითადში. შედეგად, მთვლეელის კათოდზე მოდიან არა ინერტული გაზების იონები, არამედ ორგანული ნივთიერებების იონები ნეიტრალდებიან. სპირტის მოლეკულის დარჩენილი ენერგია შეიძლება დახარჯულიყო ორი გზით - ფოტონის გამოსხივებაზე ან ელექტრონის ამოგლეჯაზე, თუმცა არცერთი ეს პროცესი არ ხორციელდება, რადგანაც სპირტის მოლეკულის სიცოცხლის ხანგრძლივობა დისოციაციამდე სულ რაღაც 10-13 წმ-ია. გამოსხივების მიმართ სიცოცხლის ხანგრძლივობა შეადგენს 10-7 წმ-ს, ის დრო კი, რომელიც საჭიროა კათოდამდე იონის ისეთ მანძილამდე მისაღწევად, რაც საკმარისია ელექტრონის ამოსაგლეჯად, 10-12 წმ-ია. აქედან ცხადია, რომ სპირტის ალგუნებული მოლეკულა მანამდე დაიშლება შემადგენელ ნაწილებდ - ცალკეულ ატომებად, ან უფრო მცირე მოლეკულებად, სანამ მოასწრებს ფოტონის გამოსხივებას ან კათოდთან მისვლას. სწორედ ამგვარად მრავალატომიანი ორგანული გაზების გამოყენებით, აღწევენ განმუხტვის ჩაქრობას პირველი ღვარის შემდეგ.

4.2 გეიგერ-მიულერის მთვლეელის ეფექტიანობა

მთვლეელის ხარისხის განმსაზღვრელ ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მახასიათებელს წარმოადგენს მის მიერ სხვადასხვა გამოსხივების რეგისტრაციის ეფექტიანობა. რეგისტრაციის ეფექტიანობის ქვეშ გულისხმობენ მთვლეელის მუშა მოცულობაში ნაწილაკის, ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივების კვანტის გავლისას მისი რეგისტრაციის ალბათობას. იგი განისაზღვრება, როგორც აღრიცხული ნაწილაკების ან კვანტების რაოდენობის ფარდობა მთვლეელში გასული ნაწილაკების სრულ რაოდენობასთან.

ცნობილია, რომ ალფა ნაწილაკს გაზში გავლისას შეუძლია რამდენიმე ათასი იონთა წყვილის წარმოქმნა. რადგანაც თავისთავადი განმუხტვის მთვლელებში განმუხტვა იწყება მის მუშა მოცულობაში იონწყვილთა ერთი წყვილის გაჩენითაც კი, ამიტომ ალფა ნაწილაკების და დიდი კუთრი იონიზაციის მქონე სხვა დამუხტული ნაწილაკებისთვის ეფექტიანობა პრაქტიკულად 100%-ს აღწევს.

მომე დამუხტული ნაწილაკების რეგისტრაციისთვის, რა თქმა უნდა, აუცილებელია ისეთი პირობების შექმნა, რომ მათ მოახერხონ მთვლელის მუშა მოცულობაში შეღწევა, რადგან მათი განარბენი მყარ ნივთიერებებში ძალიან მცირეა. ამისთვის, მთვლელის ფანჯრის საფარი აკვის ფენა რაც შეიძლება თხელი უნდა იყოს.

ბირთვულ პროცესებში წარმოქმნილი სწრაფი ელექტრონების სიჩქარეები უმეტეს შემთხვევაში სინათლის სიჩქარეს უახლოვდება და ისინი ალფა-ნაწილაკზე გაცილებით ნაკლებ კუთრ იონიზაციას წარმოქმნიან. ამის გამო, მათი რეგისტრაციის ეფექტიანობა 100%-ზე ნაკლებია, მაგრამ, როგორც წესი, აჭარბებს 95%-ს.

გამა-გამოსხივება მთვლელში რეგისტრირდება მხოლოდ მეორადი ელექტრონების ხარჯზე, რომლებიც მის მუშა მოცულობაში ხვდებიან. როგორც ცნობილია, გამა-კვანტის ნივთიერებასთან ურთიერთქმედების დროს მეორადი ელექტრონის წარმოქმნის ალბათობა ბევრადაა დამოკიდებული როგორც ნივთიერების ატომურ ნომერზე, ასევე მის სიმკვრივეზე. აქედან გამომდინარე, ეს პროცესი ბევრად უფრო დიდი ალბათობით მიმდინარეობს მთვლელის კედლებში, ვიდრე მუშა გაზში. ამიტომ, გამა-სხივის რეგისტრაცია ძირითადად ხდება მთვლელის კედლებში წარმოქმნილი მეორადი ელექტრონების ხარჯზე. ამასთან, მთვლელის კედლების სისქე არ უნდა იყოს ზედმეტად დიდი, რადგანაც წარმოქმნილ მეორად ელექტრონებს ნივთიერებაში გააჩნიათ გარკვეული განარბენი და ყოველთვის ვერ ახერხებენ გამოსვლას მთვლელის მუშა მოცულობაში. გამა-კვანტების რეგისტრაციის ეფექტიანობა შეადგენს დაახლოებით 1%-ს.

4.3 გამა-სპექტრომეტრი

რადიაციის გაზომვის ერთ-ერთი ამოცანაა რადიაციის (მაგალითად α ან β ნაწილაკების, γ -რადიაციის) ენერჯის გაზომვა, ან სხვა სიტყვებით რადიაციის ენერჯის სპექტრის დადგენა.

დეტექტორებს, რომლებსაც შუძლიათ ენერგიის გაზომვა სპექტრომეტრული დეტექტორები ეწოდებათ.

4.3.1 ძირითადი პრინციპები

სპექტრომეტრულ დეტექტორებში ენერგიის დადგენა ელექტრული სიგნალის (პულსის) ამპლიტუდის ანალიზის საშუალებით ხდება. ასეთ დეტექტორებს ხშირად ელექტრული პულსის სიდიდის სპექტრომეტრებსაც უწოდებენ. სპექტრომეტრებში გამოსავალი ელექტრული სიგნალის ამპლიტუდა დეტექტირებული რადიაციის ენერგიის პროპორციული უნდა იყოს. ასეთი დეტექტორები, როგორც წესი, შედგება რადიაციის დეტექტორისგან და ელექტრული კვების წყაროსგან, წინასწარი გამამლიერებლისგან, გამამლიერებლისგან და პულსის სიდიდის ანალიზატორისგან. პულსის სიდიდის სპექტრი წარმოადგენს შემთხვევების რიცხვის დამოკიდებულებას ამ შემთხვევების შესაბამისი ელექტრონული პულსის ამპლიტუდის სიდიდეზე. ასეთი სპექტრი, როგორც წესი, მრავალარხიანი ანალიზატორის საშუალებით მიიღება.

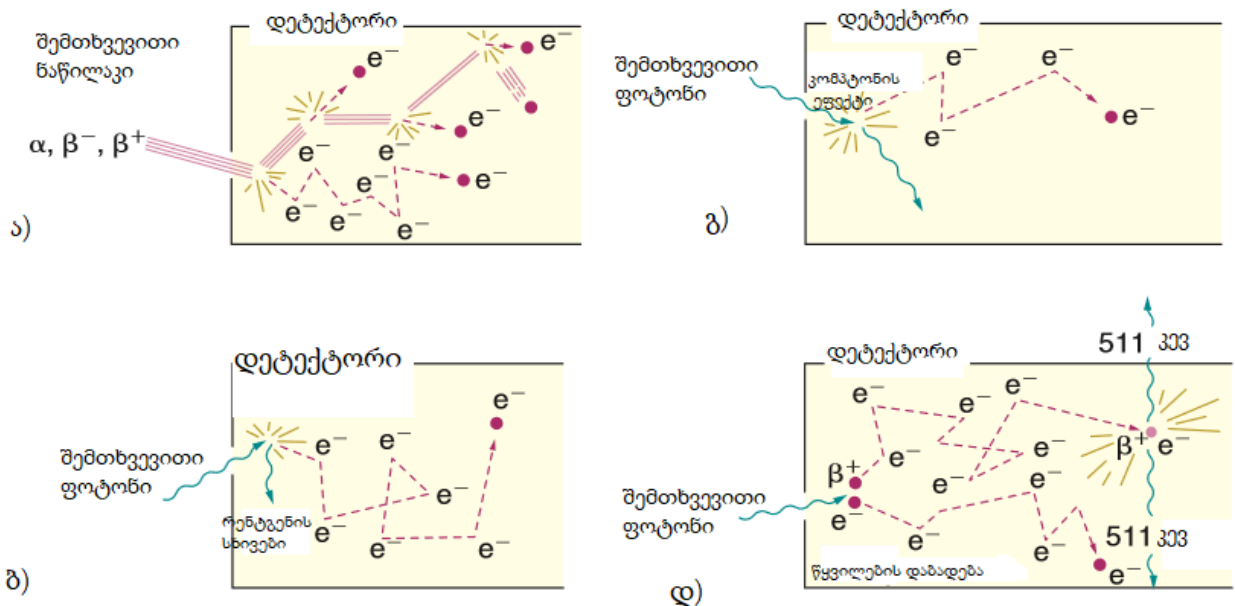
რადიაციის წყაროდან რეგისტრირებული სპექტრი დამოკიდებულია როგორც რადიაციის ენერგიაზე, ასევე რადიაციის დეტექტორის ტიპზე და დეტექტორში რადიაციის ენერგიის გამოყოფის მექანიზმზე. მნიშვნელოვანია გვახსოვდეს, რომ ელექტრული სიგნალის ამპლიტუდა, იქნება ეს პროპორციული კამერა, სცინტილაციური თუ ნახევარგამტარული დეტექტორი, დეტექტორის აქტიურ არეში გამოყოფილი ენერგიის პროპორციულია, რაც შესაძლებელია ნაწილაკის ან გამოსხივების სრულ ენერგიაზე ნაკლები იყოს.

იმ შემთხვევაში, როცა საქმე გვაქვს ნაწილაკების რადიაციასთან (მაგალითად α და β ნაწილაკები) დეტექტორში ენერგის გადაცემა იონიზაციური შემთხვევების ხარჯზე ხდება, როცა ნაწილაკის ენერგია დეტექტორის ატომურ ელექტრონებს გადაეცემათ. ამ ელექტრონებიდან ზოგიერთი საკმარის ენერგიას იღებს იმისთვის, რომ მეორადი იონიზაცია გამოიწვიოს. ნაწილაკების რადიაციით გამოწვეული იონიზაციის 80% სწორედ მეორად ელექტრონებზე მოდის. დეტექტორიდან მიღებული ელექტრონული სიგნალის ამპლიტუდა განისაზღვრება იონიზაციის სიდიდით. ის, თუ ენერგიის რა რაოდენობა გამოიყოფა დეტექტორში დამოკიდებულია დეტექტორის ტიპზე. მაგალითად, ენერგიის განხილულ დიაპაზონში (10 მევ-

ენერგიამდე), სცინტილაციურ და ნახევარგამტარულ დეტექტორებში, როგორც წესი, სრული ენერგია გამოიყოფა, რადგანაც ამ დეტექტორების აქტიური ზონის სიმკვრივე საკმარისია იმისთვის, რომ ნაწილაკი მასში გაჩერდეს, ე.ი. მთელი კინეტიკური ენერგია დეტექტორის ნივთიერებას გადასცეს. გაზურ დეტექტორებში, დაბალი სიმკვრივის გამო, ნაწილაკი შესაძლებელია არ გაჩერდეს და შესაბამისად ასეთ დეტექტორში ნაწილაკის მთელი ენერგიის გაზომვა ვერ მოხდება.

ფოტონების შემთხვევაში (X და γ რადიაცია), ენერგიის გადაცემა ძირითადად ფოტო-ეფექტის, კომპტონ-ეფექტის და ელექტრონ-პოზიტრონული წყვილის გაჩენის ხარჯზე ხდება. ამ პროცესებში საწყისი რადიაციის ენერგიის ნაწილი ელექტრონების (პოზიტრონებს) კინეტიკურ ენერგიაში გადადის, რაც დეტექტორის ნივთიერების მეორად იონიზაციას იწვევს.

იმისათვის, რომ დეტექტორში პირველადი ფოტონის სრული ენერგია გაიზომოს საწყისი ფოტონის ენერგია სრულად უნდა გადაეცეს ელექტრონებს. ეს, როგორც წესი, რამდენიმე პროცესში ხდება. მაგალითად, კომპტონის პროცესში გაბნეულ ფოტონს, თუ ის მეორად ურთიერთქმედებას არ განიცდის დეტექტორის ნივთიერებაში, დეტექტორიდან მიღებულ ელექტრონულ სიგნალში კვალი არ შეაქვს.



სურ. 8

მე-8 სურათზე მოცემულია რადიაციის ენერჯის გამოყოფა დეტექტორში. ა) ენერჯის გადაცემა საწყისი რადიაციის ნაწილაკებიდან ატომურ ელექტრონებზე, რომლებიც წითელი რგოლებით არის აღნიშნული. წყვეტილი ხაზით ნაჩვენებია პირველად იონიზაციაში დაბადებული ელექტრონების ურთიერთქმედება ელექტრონებთან. ა-დ რადიაციის ენერჯის გადაცემა მაღალი ენერჯის ფოტონის შემთხვევაში ხორციელდება ფოტო-ელექტრული ეფექტის(ბ), კომპტონის გაბნევის (გ) და ელექტრონ-პოზიტრონული წყვილის დაბადების (დ) საშუალებით.

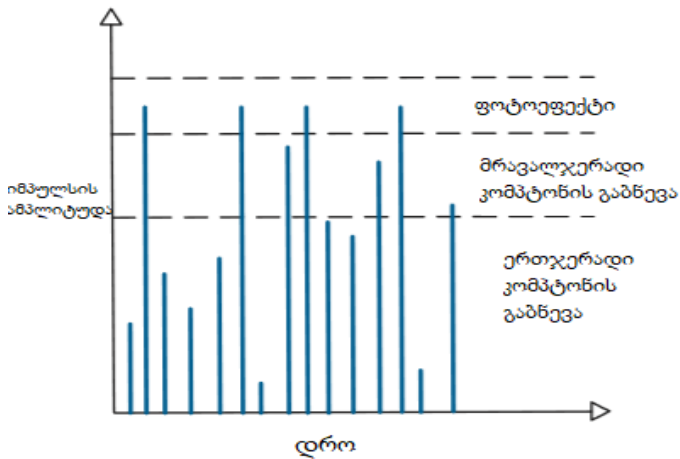
4.3.2 სპექტრომეტრია $NaI(Tl)$ დეტექტორის საშუალებით.

ყველაზე გავრცელებულ სპექტრომეტრულ დეტექტორს ბირთვულ მედიცინაში წარმოადგენს სცინტილაციური დეტექტორი, რომელიც შედგება $NaI(Tl)$ კრისტალისგან და ფოტო-გამამრავლებლისგან, თუმცა ფოტო-დეტექტორის როლში შეიძლება ნახევარგამტარული ფოტო-დეტექტორი, მაგალითად, სილიციუმის ფოტო-გამამრავლებელი გამოიყენებოდეს. ამ დეტექტორების ფართოდ გავრცელება მისი მახასიათებლების და ფასის ფარდობის მნიშვნელობით არის განპირობებული. ეს დეტექტორები თითქმის მთლიანად ფოტონების ენერჯის (X და γ რადიაცია) გასაზომად გამოიყენება და ამ თავშიც ამ გაზომვებს განვიხილავთ, ძირითადად სცინტილაციური სპექტრომეტრის მაგალითზე.

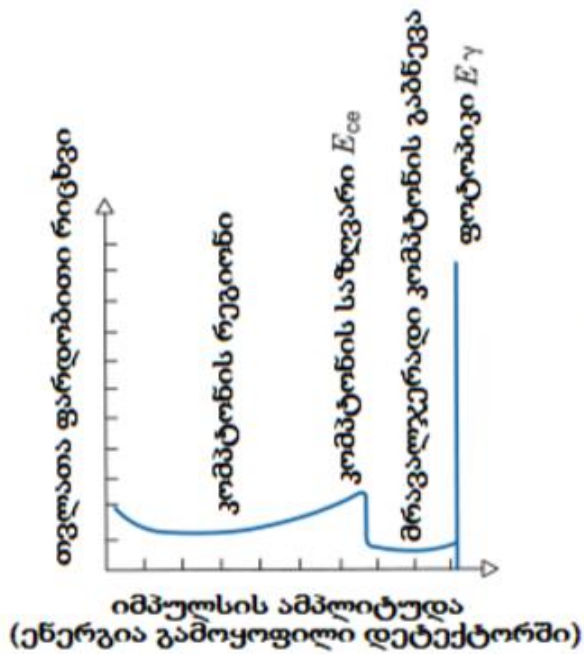
4.3.3 სიგნალის ამპლიტუდის იდეალური სპექტრი

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც რადიოპრეპარატი მონოენერჯიული γ -გამოსხივებით მოთავსებულია სპექტრომეტრული დეტექტორის წინ. დავუშვათ, რომ გამოსხივებული ფოტონების ენერჯია 1.02 მევ-ზე ნაკლებია, ე.ი. მათ არ შეუძლიათ ელექტრონ-პოზიტრონული წყვილის წარმოქმნა. ამ შემთხვევაში ფოტონის დეტექტორში ურთიერთქმედების ძირითადი პროცესებია ფოტოეფექტი და კომპტონის გაბნევა. ფოტოეფექტის შემთხვევაში ფოტონის ენერჯია E_γ სრულად გადაეცემა ატომურ ელექტრონს და დეტექტორის სიგნალის (პულსის) ამპლიტუდა ელექტრონის ენერჯის პროპორციული იქნება. ამ პროცესს ახლავს ასევე მახასიათებელი X -გამოსხივება, რომელიც შთაინთქმება დეტექტორში. კომპტონის გაბნევის დროს ელექტრონს ფოტონის ენერჯის E_γ ნაწილი გადაეცემა. იდეალურ სპექტრომეტრულ დეტექტორში ელექტრული სიგნალის პულსის სიდიდე ასევე ერთი მნიშვნელობით

დახასიათდება, რომელსაც ენერგიის სპექტრში ერთი ვიწრო ხაზი შეესაბამება. ასეთი იდეალური სპექტრი მოყვანილია სურათზე 2(ა). რადიაციის ენერგიის E_γ შესაბამის ვიწრო ხაზს ეწოდება ფოტოპიკი. ეს პიკი მოცემულია სურათზე 2(ბ).



ა)



ბ)

სურ. 9 ა) დეტექტორიდან მიღებული სიგნალები (პულსები) სხვადასხვა პროცესს შეესაბამება.

ბ) სიგნალების რიცხვის დამოკიდებულება სიგნალის (პულსის) სიდიდეზე.

რადიაციის ენერგიას E_γ შეესაბამება ფოტოპიკის მნიშვნელობა, რომელიც დეტექტორში საწყისი ფოტონის სრული ენერგიის გამოყოფას შეესაბამება.

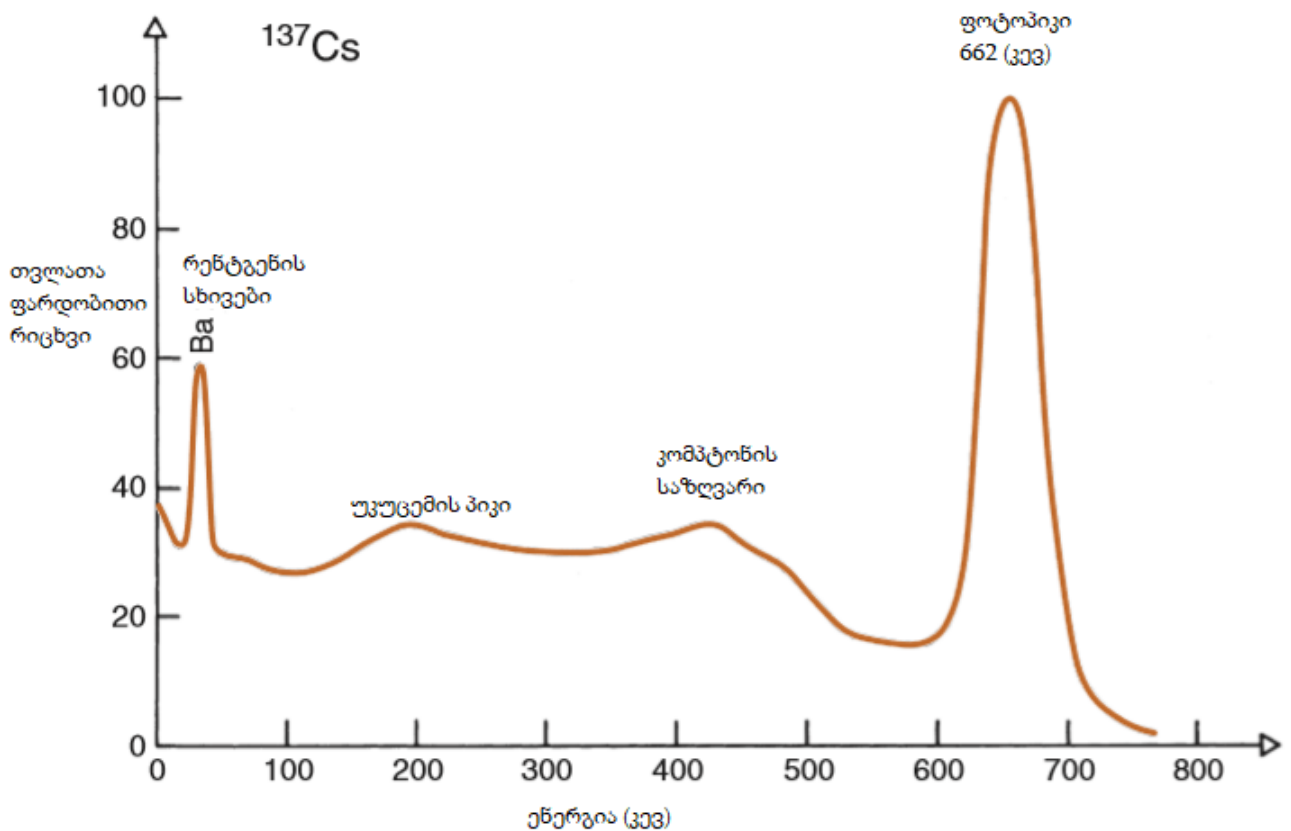
კომპტონის გაბნევის პროცესში ელექტრონზე გადაცემული ენერგია უწყვეტი განაწილებით ხასიათდება, რომლის მაქსიმუმი განისაზღვრება ფორმულით:

$$E_{ce} = \frac{E_{\gamma}^2}{E_{\gamma} + 0.2555}$$

სადაც E_{ce} კომპტონის ელექტრონის ენერგიაა, ხოლო E_{γ} - საწყისი ფოტონის ენერგია. კომპტონის ელექტრონის ენერგიის მაქსიმუმი შეესაბამება ფოტონის 180° -ზე გაბნევას. შესაბამისად, კომპტონის ელექტრონის ენერგია (E) მოთავსებული იქნება $0 < E < E_{ce}$ ინტერვალში. შესაბამისი ინტერვალი მოცემულია სურათზე 9(ბ) როგორც 'კომპტონის არე', რომლის კიდეს 'კომპტონის კიდე' ეწოდება. კომპტონის კიდე და ფოტოპიკს შორის მოთავსებულია არეში შემთხვევები, რომლებიც მრავალჯერად კომპტონის გაბნევას შეესაბამება.

4.3.4 გაზომილი(ექსპერიმენტული) სპექტრი

სცინტილაციური სპექტრომეტრით გამოზილი სპექტრი საგრძნობლად განსხვავებული იქნება იდეალური სპექტრისგან. რადიოპრეპარატის სპექტრი, რომელიც 662 კეე ენერგიის ფოტონებს (რადიონუკლიდი ^{137}Cs) და ბარიუმის დაახლოებით 30 კეე ენერგიის X სხივებს იძლევა, მოყვანილია სურათზე 10. სპექტრი მიღებული იყო მრავლარხიანი ანალიზატორის საშუალებით, რომლის არხის სიგრძე 0,1 ვოლტს შეადგენდა, ხოლო სიგნალის გაძლიერების კოეფიციენტი ისე იყო შერჩეული, რომ 662 კეე ენერგიას ელექტრული სიგნალის (პულსის) ამპლიტუდის 6.62 ვ მნიშვნელობა შეესაბამებოდა. ამგვარად, ჰორიზონტალურ ღერძზე 0-8 ვ ინტერვალს ენერგიის 0-800 კეე ინტერვალი შეესაბამება.

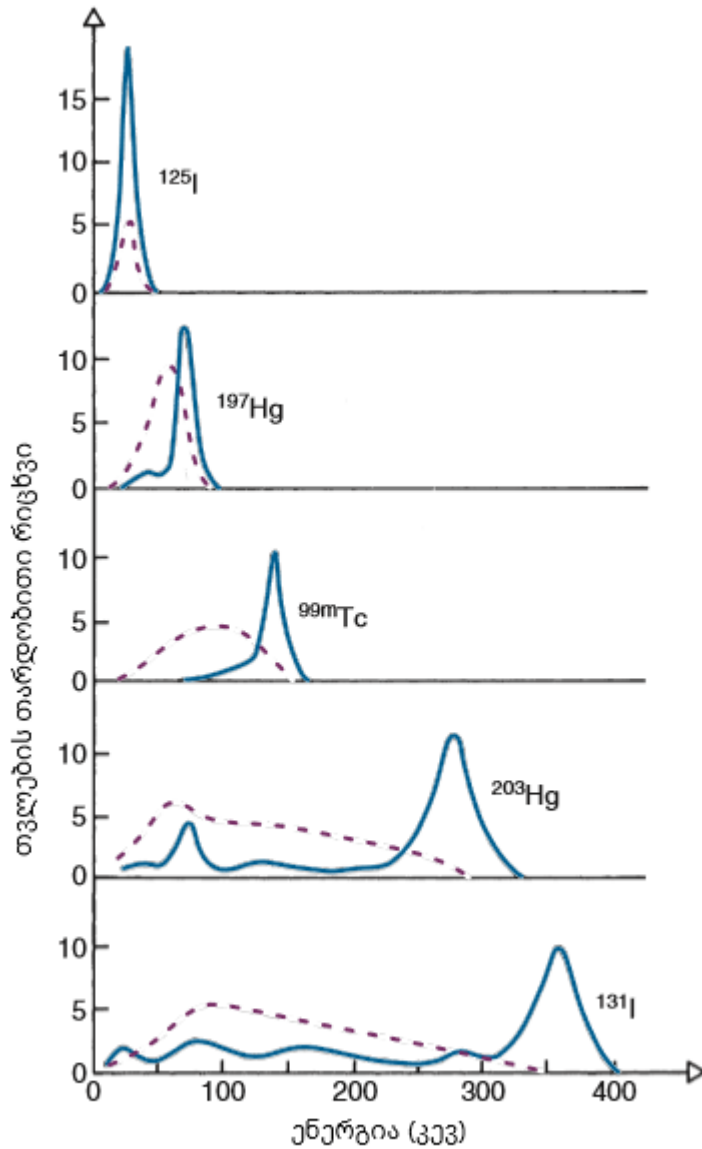


სურ.10 662 კეე ენერგიის ფოტონების (რადიონუკლიდი ^{137}Cs) და ბარიუმის დაახლოებით 30 კეე ენერგიის X სხივების სცინტილაციური დეტექტორით გაზომილი (პრაქტიკული) სპექტრი. (შეადარეთ იდეალურ სპექტრს, რომელიც მოყვანილია სურათზე 2).

4.3.5 გამა-სხივების ძირითადი ეფექტები

სურათზე. 11 გამოსახულია სპექტრების პიკის სიმაღლეები რადიონუკლიდებისა, რომლებიც ასხივებენ სხვადასხვა ენერგიის გამა-სხივებს. უწყვეტი ხაზები შეესაბამება გაბნეულ გამა-სხივებს, ხოლო წყვეტილი კი-გაუბნეველს. ზოგადად ფარდობითი რიცხვი შემთხვევებისა კომპტონის რეგიონში ფოტოპიკთან შედარებით იზრდება გამა-სხივების ენერგიის ზრდასთან ერთად. ასევე გამას ენერგიის ზრდასთან ერთად შედარებით მარტივდება ობიექტზე გაბნევისა და ფოტოპიკის გარჩევა. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ გამა-კვანტის ენერგიის ზრდასთან ერთად კომპტონის გაბნევის დროს თავად გამა-კვანტის ენერგიაც იზრდება. მაგალითად, 100 კეე

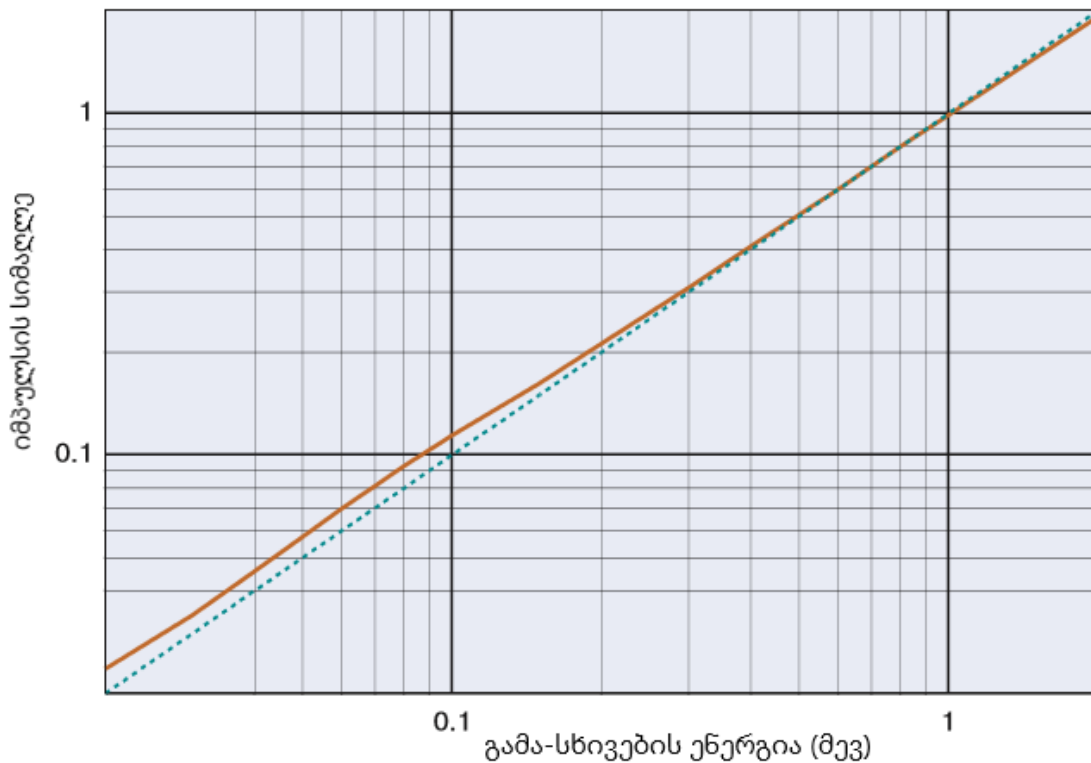
და 500 კეე ენერგიების კომპტონის გაბნევა 90 გრადუსზე იძლევა 84 და 253 კეე-ის მქონე გაბნეულ ფოტონებს. ასევე ენერგეტიკული გარჩევისუნარიანობაც NaI(Tl) დეტექტორებისა იზრდება გამა-სხივების ენერგიის ზრდასთან ერთად, რაც საშუალებას იძლევა ერთმანეთისგან განცალკევდეს გაბნეული და გაუბნეველი ფოტონები.



სურ. 12

4.3.6 ენერგიის წრფივობა

ენერგიის წრფივობა ეხება გამოსული იმპულსის ამპლიტუდისა და დეტექტორის მიერ შთანთქმული ენერგიის პროპორციულ დამოკიდებულებას. სურათზე. 12 ნაჩვენებია ტიპური დამოკიდებულება იმპულსის სიმაღლესა და გამა-გამოსხივების ენერგიისა სისტემისთვის, რომელიც დაკალიბრებულია Cs-137-ით (662 კეე). NaI(Tl) მომუშავე დეტექტორები ძირითადად წრფივ დამოკიდებულებას იძლევა 0.2-2 მევი ენერგიების დიაპაზონში. თუმცა, პრობლემა მაშინ იჩენს თავს, როცა მაღალ ენერგიაზე (Cs-137-ზე) დაკალიბრებულ სპექტრომეტრს იყენებენ შედარებით დაბალი ენერგიების გასაზომად (მაგ, I-125 ან mTc-99) ან პირიქით. თანამედროვე სპექტრომეტრებსა და გამა-კამერებს ხშირად აქვთ დილაკები კალიბრებისთვის, რომლებიც დაყენებულია განსაზღვრული რადიონუკლიდებისთვის და ითვალისწინებენ ნებისმიერ ენერგეტიკულ არაწრფივობას. ენერგიის წრფივობა ასევე მნიშვნელოვანი ფაქტორია დეტექტორის გარჩევისუნარიანობისთვის.



სურ. 13

5. გარემოს რადიაციული მონიტორინგი

გასული საუკუნის მე-2 ნახევარში რადიაციის მძლავრი ხელოვნური წყაროები შეიქმნა, ატომური იარაღის, ბირთვული რეაქტორებისა და ატომური ელექტროსადგურების სახით. მოგვიანებით ამას დაემატა ხელოვნური რადიონუკლიდების წარმოება სხვადასხვა მიზნებისთვის, განსაკუთრებით კი მედიცინისთვის. ასეთი წყაროები გარემოს რადიაციული დაბინძურების პოტენციურ საფრთხეებს წარმოადგეს. სამწუხაროდ, ახლო წარსულში გარემოს მნიშვნელოვან რადიაციულ დაბინძურებას ადგილი ჰქონდა ჩერნობილისა და ფუკუშიმას ატომურ ელექტროსადგურებზე მომხდარი ავარიების დროს. გარემოს რადიაციული დაბინძურება ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული და შესაძლებელია წყაროსგან ძალიან შორს დიდი ტერიტორია მოიცვას. შესაბამისად თანამედროვე სამყაროში გარემოს რადიაციული მონიტორინგი მოსახლეობის რადიაციისაგან დაცვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს. ბუნებრივია, რომ სხვადასხვა ქვეყანაში რადიაციული მონიტორინგი არსებულ ტექნიკურ, ტექნოლოგიურ და ადამიანურ რესურსებს ემყარება. თანამედროვე დეტექტორებისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების განვითარებას მოჰყვა რადიაციის მონიტორინგის არასამთავრობო ქსელების გაჩენაც, სადაც შესაძლებელია უწყვეტი ინფორმაციის მიღება იმ გარემოში, სადაც დგას დეტექტორი და ხორცილდება რადიაციული მონიტორინგი.

ამ თავის პირველ ნაწილში მოკლედ არის აღწერილი გარემოს რადიაციული მონიტორინგი ევროკავშირის ქვეყნებში, მეორე ნაწილში რადიაციული მონიტორინგის არასამთავრობო ქსელები, ხოლო მომდევნო ორი ნაწილი ეხება გარემოს რადიაციის მონიტორინგს საქართველოში. თავის ბოლოს მოყვანილია სამაგისტრო ნაშრომში მიღებული შედეგები.

5.1 გარემოს რადიაციის მონიტორინგი ევროკავშირის ქვეყნებში

ევროკავშირის ქვეყნებში გარემოს რადიაციის მონიტორინგს დიდი ყურადღება ექცევა და ხორციელდება სამთავრობო დაწესებულებების (სააგენტოების) მიერ. მონიტორინგის შედეგები ევროკავშირის ქვეყნების მოსახლეობისთვის ხელმისაწვდომია დაყოვნების გარეშე, ე.ი. თითქმის რეალურ დროში. შედეგების ნახვა შესაძლებელია ინტერნეტში, შესაბამისი გარემოს რადიაციის მონიტორინგის რუკის საშუალებით. 1995 წელს ევროპულმა კომისიამ შექმნა ევროპის რადიოლოგიური მონაცემთა გაცვლის პლატფორმა (EURDEP-European Radiological Data Exchange Platform). თავდაპირველად პლატფორმაში ექვსი ქვეყანა ჩაერთო: ირლანდია, დიდი ბრიტანეთი, ნორვეგია, შვედეთი, ფინეთი და გერმანია. მომდევნო წლებში მონაწილე ქვეყნების რიცხვი ეტაპობრივად იზრდებოდა. მონაცემების მიღება ხდება 38 ევროპული ქვეყნის 40 ორგანიზაციიდან და მოიცავს 5000-ზე მეტ ავტომატურ სადგურს, რომლებიც რეალურ დროში (ონლაინ რეჟიმში) ახორციელებენ გარემოს რადიაციის მონიტორინგს. რადიაციული ფონი იზომება ჰაერში, წყალსა და ნიადაგში.

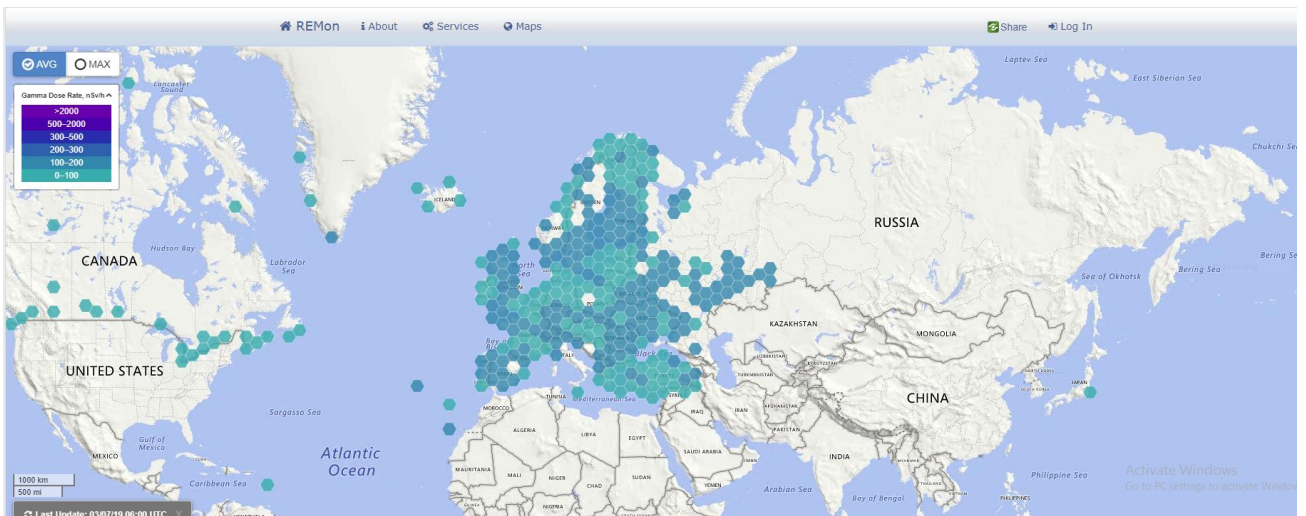
ამჟამად ევროკავშირის ქვეყნებისთვის EURDEP პლატფორმის გამოყენება აუცილებელია და რეგულირდება ევროკომისიის 87/600 გადაწყვეტილებით და ევროატომის რეკომენდაციით 2000/473/. ევროკავშირის არაწევრ ქვეყნებს შეუძლიათ ნებაყოფლობით შეუერთდნენ EURDEP-პლატფორმას და თავიანთი მონაცემები გადაიტანონ შესაბამის რუკაზე.

5.2 გარემოს რადიაციის მონიტორინგის რუკა

ევროკავშირის გარემოს რადიაციული მონიტორინგის ვებ-გვერდიდან ხელმისაწვდომია საჯარო რუკები, რომლების საშუალებით მონიტორინგის ინფორმაცია მარტივი ფორმით მიეწოდება მოსახლეობას. რუკა აჩვენებს ბოლო 24 საათის განმავლობაში გარემოში გამა-რადიაციის გაზომვების საშუალო მაჩვენებლებისა და მაქსიმუმის მნიშვნელობებს. რუკაში გამოყენებულია თანამედროვე ვებ-დიზაინი, რომელიც საშუალებას იძლევა შედეგებს გაეცნოთ სხვადასხვა ელექტრონული მოწყობილობის საშუალებით (დესკტოპი, ტაბლეტი, სმარტფონი).

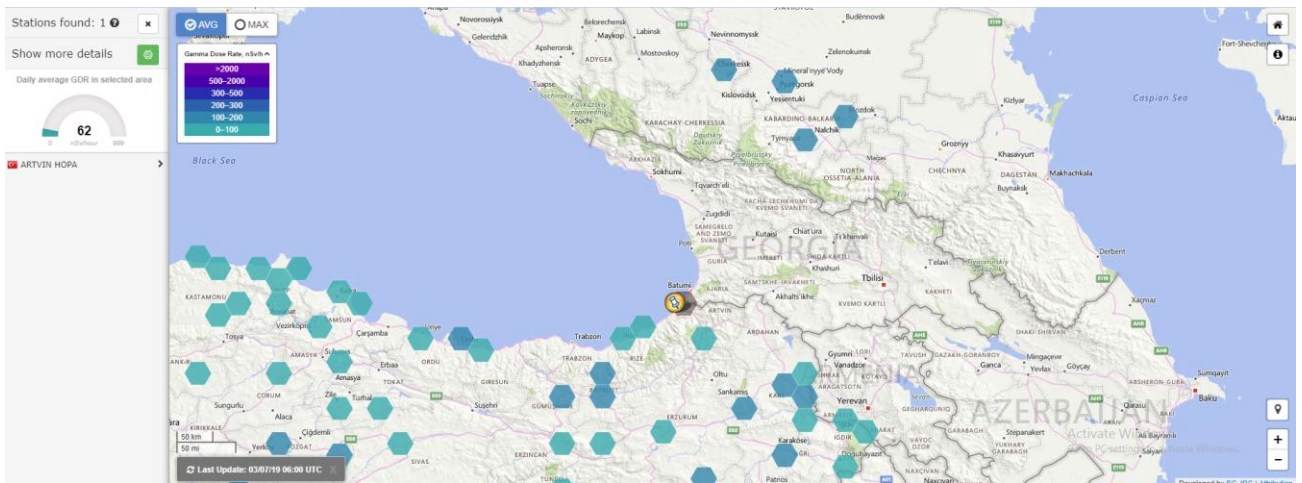
გარემოს რადიაციის მონიტორინგის ე. წ. მარტივი რუკა მოყვანილია სურათზე 1. რუკა დაყოფილია ექვსკუთხედად, რომლებიც მონიტორინგის „ერთეულს აღნიშნავს“. მონიტორინგის ერთეული ფარავს 10x10 კმ²-ის ფართობს და მასში განლაგებულია ერთი ან

რამდენიმე დეტექტორი, რომელიც ზომავს გამა-რადიაციის დოზას. დოზა მოცემულია ერთეულებში ნანოზივერტი/საათში (ნზვ/სთ). ინტერაქტულ რუკაზე შესაძლებელია მონიტორინგის ერთეულში არსებული დეტექტორებიდან გარემოს რადიაციის დოზების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის და ბოლო 24 საათის განმავლობაში დოზის საშუალო და მაქსიმალური მნიშვნელობების ნახვა.

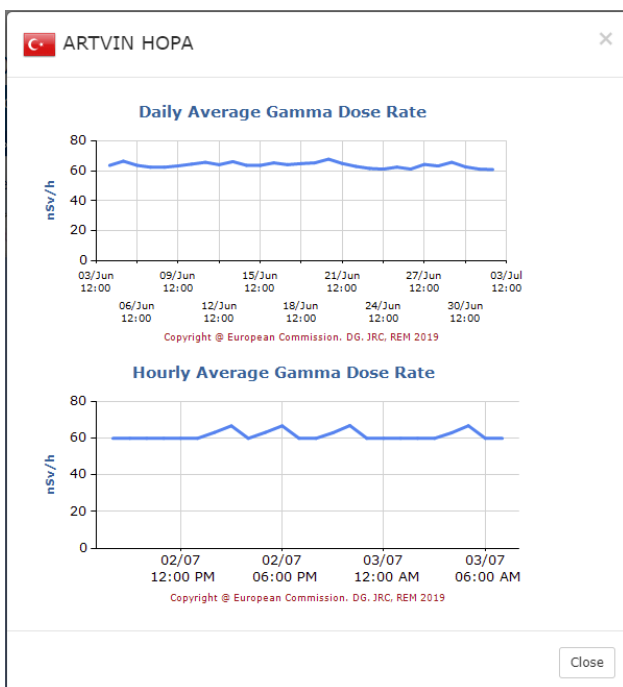


სურ.14 გარემოს რადიაციის მონიტორინგის ევროკავშირის რუკა, რომელიც EURDEP - პლატფორმის ბაზაზეა შემნილი.

მე-15 სურათზე მოცემულია იგივე რუკა გაცილებით დიდ მასშტაბში, რომელიც საქართველოს და მის მეზობელ ქვეყნებს მოიცავს. EURDEP-ის მონიტორინგის ქსელს ინფორმაციას აწვდიან ჩვენი მეზობელი ქვეყნები - თურქეთი და რუსეთი, რომლებიც არ შედიან ევროკავშირში. რუკაზე მონიშნულია საქართველოს ტერიტორიის მახლობლად არსებული მონიტორინგის არე, რომელშიც 1 დეტექტორი დგას (აღნიშნულია, როგორც ARTVIN HOPA - ჩვენგან რუკის ზედა მარცხენა ნაწილი). რუკაზე შესაძლებელია რადიაციის დოზის საშუალო დღიური (AVG) და მაქსიმალური (MAX) მნიშვნელობების ნახვა (ამ შემთხვევაში ეს მნიშვნელობები ემთხვევა და შეადგენს 60 ნზვ/სთ), ასევე რადიაციის დოზის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი, რომელიც მონიტორზე გამოდის დეტექტორზე მაუსის დაწკაპუნების შემდეგ (იხ. სურ. 16).



სურ. 15 EURDEP გამზომი სადგურების განლაგება საქართველოს ახლოს. თითოეული ექვსკუთხედი აღნიშნავს მონიტორინგის ერთეულს, რომელზეც განლაგებულია გამა-დეტექტორი.

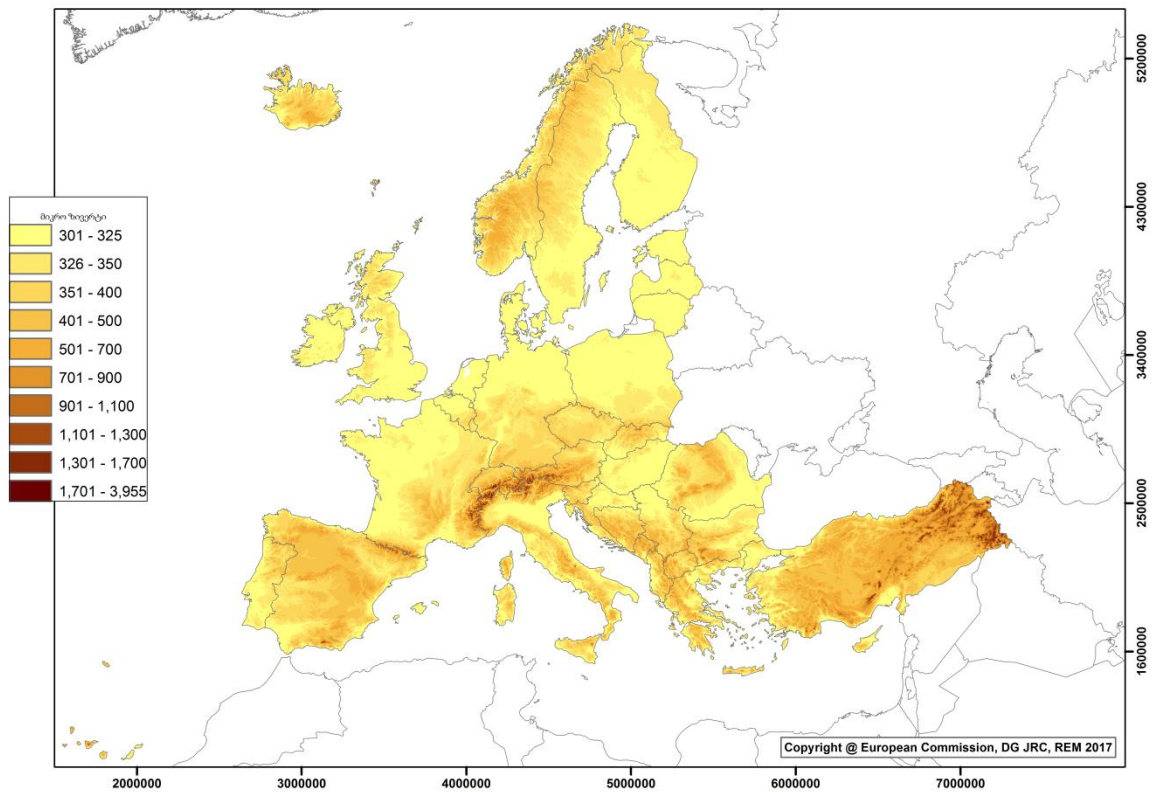


სურ. 16 ARTVIN HOPA-ს დეტექტორის გაზომვის შედეგების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. პირველ გრაფიკზე ნაჩვენებია საშუალო დღიური დოზის ცვლილება ბოლო ერთი თვის განმავლობაში (3 ივნისიდან 3 ივლისამდე). როგორც გრაფიკიდან ჩანს, რადიაციის საშუალო დღიური დოზა ერთი თვის განმავლობაში თითქმის მუდმივი სიდიდეა და დაახლოებით 60 ნსვ/სთ შეადგენს. მეორე სურათზე მოცემულია გარემოს რადიაციის საშუალო დოზის საშუალო მნიშვნელობა

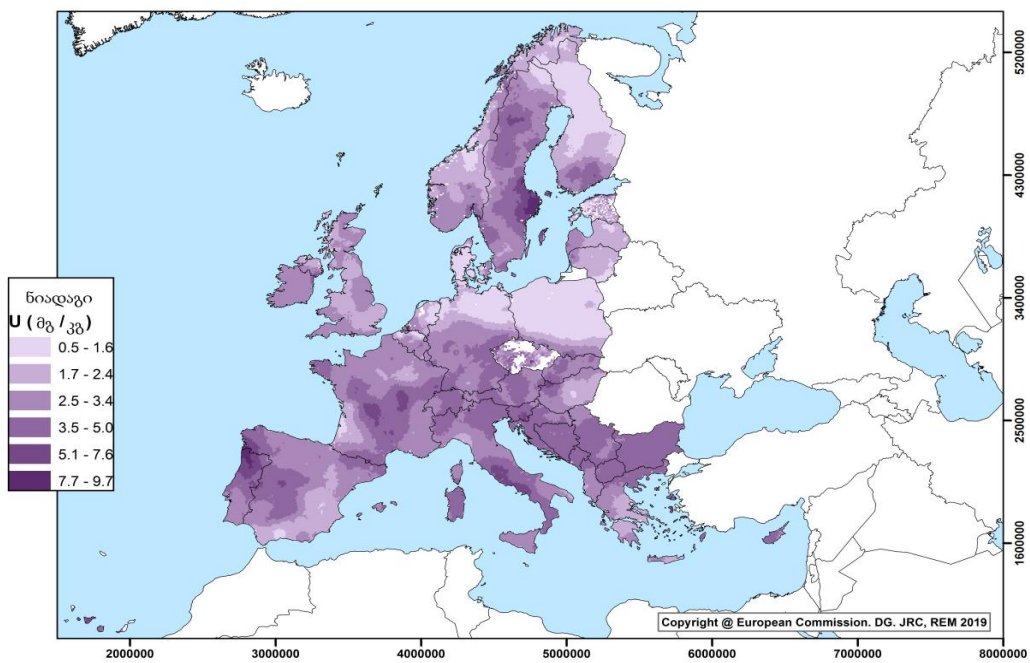
საათების მიხედვით. ამ შემთხვევაშიც არ შეინიშნება მნიშვნელობის ცვლილება და საშუალო საათობრივი დოზა დაახლოებით 60 ნსვ/სთ შეადგენს.

გარემოს რადიაციის მონიტორინგის დეტექტორები ძირითადად გამა-რადიაციის მთვლელებს წარმოაგენენ, რომლებშიც დოზის გამოთვლა ხდება გამა-რადიაციის საშუალო მნიშვნელობისთვის. ბუნებრივი გამა-რადიაციის ძირითად წყაროებს მიეკუთვნება ბუნებრივი

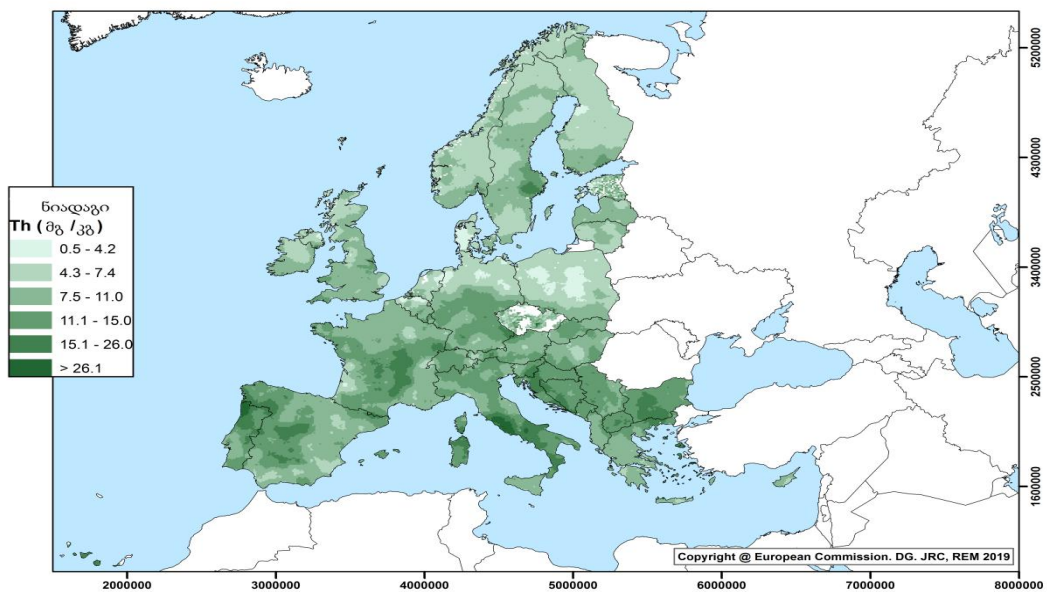
რადიოქტიური ბირთვების შემცველი ნივთიერებების გამოსხივება და კოსმოსური სხივების შედეგად წარმოქმნილი გამოსხივება, რომელიც კოსმოსური სხივების ნაწილაკების (ძირითადად პროტონების) ატმოსფეროში შემავალ ბირთვებთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება. აღსანიშნავია, რომ ევროკომისიის ვებ-გვერდი შეიცავს გარემოს რადიაციის ევროპულ ატლასს, რომელშიც შედის 12 რუკა - თითოეულ მათგანზე მოცემულია კონკრეტული რადიაციული წყაროების განაწილება ევროპის ტერიტორიაზე. 4 რუკა ამ ატლასიდან მოყვანილია ამ ნაშრომში (იხ. სურათები 4-7).



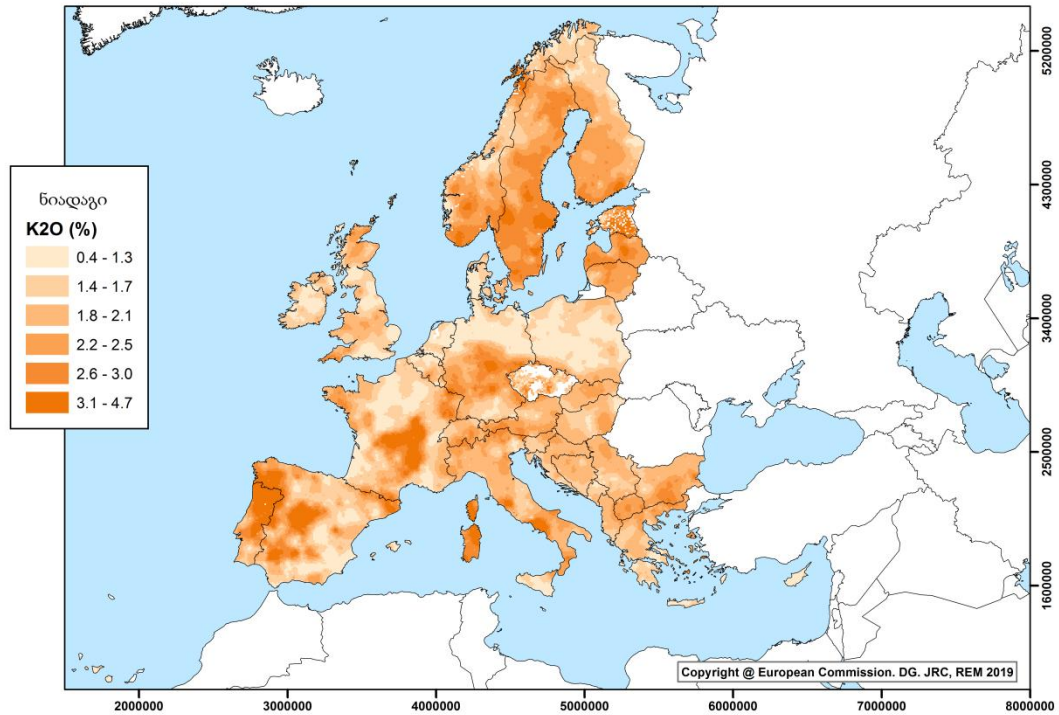
სურ. 17 ევროპაში კოსმოსური სხივებიდან მიღებული რადიაციის წლიური დოზა



სურ. 18 ურანის კონცენტრაცია ნიადაგში. ევროპა, იანვარი, 2019 წ.



სურ. 19 თორიუმის კონცენტრაცია ნიადაგში. ევროპა, იანვარი, 2019 წ.



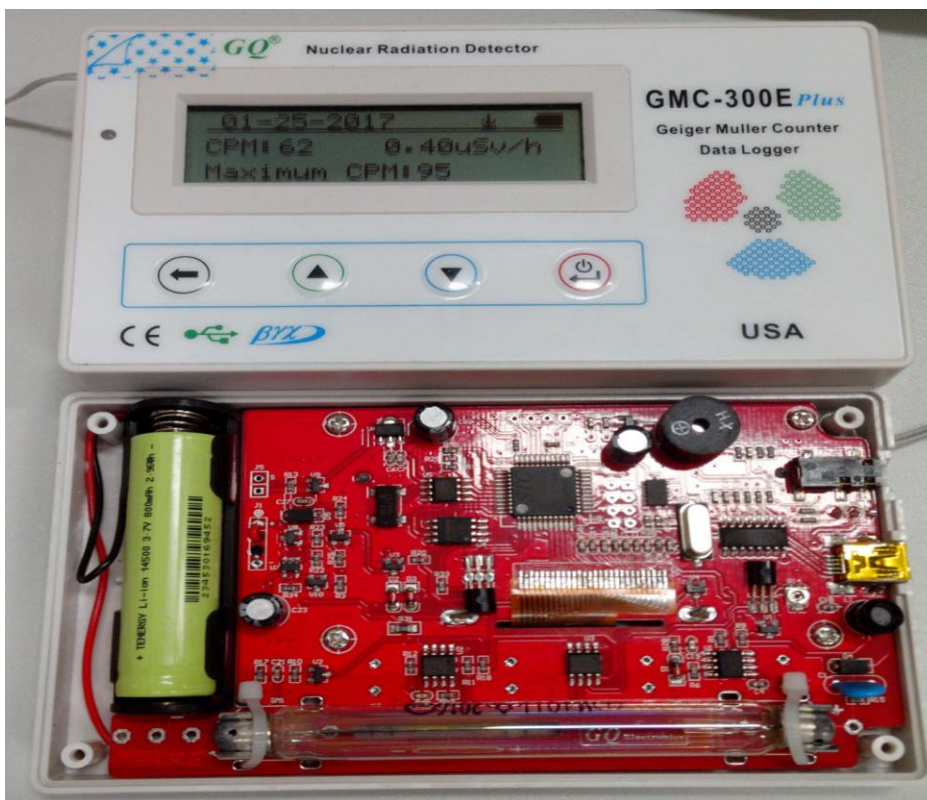
სურ. 20 კალიუმის კონცენტრაცია ნიადაგში. ევროპა, იანვარი, 2019 წ.

კალიუმი საკმაოდ გავრცელებული ელემენტია. ბუნებრივი კალიუმი შედგება 3 იზოტოპისაგან. ორი მათგანი სტაბილურია: ^{39}K (იზოტოპური გავრცობა 93,258 %) და ^{41}K (6,730 %). მესამე იზოტოპია ^{40}K (0,0117 %) წარმოადგენს ბეტა-აქტიურს ნახევარდაშლის პერიოდი $1,251 \times 10^9$ წელი. ბუნებრივი კალიუმის ყოველ გრამში 1 წმ-ის განმავლობაში იშლება საშუალოდ 32 ბირთვი ^{40}K , რის გამოც, მაგალითად ადამიანის 70 კგ. ორგანიზმში ყოველ წამში ხდება დაახლოებით 4000 რადიოაქტიული დაშლა. ითვლება რომ ^{40}K არის გეოთერმული ენერჯის ერთ-ერთი მთავარი წყარო მიწის წიაღში.

5.3 გარემოს რადიაციის მონიტორინგის არასამთავრობო ქსელები

რადიაციის დეტექტორების ხელმისაწვდომობამ და თანამედროვე ინფორმაციულმა ტექნოლოგიებმა შესაძლებელი გახადა გარემოს რადიაციის არასამთავრობო ქსელების შექმნა. გარემოს რადიაციულ ფონის მონიტორინგს სახელმწიფო სააგენტოების გარდა აწარმოებს

მრავალი არასამთავრობო ორგანიზაცია, მათ შორის რადიაციის გამზომი დეტექტორების მწარმოებელი სხვადასხვა კომპანია. ამჟამად ამ ტიპის ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული მონიტორინგის ქსელია www.gmcmep.com. ეს ქსელი აგებულია გეიგერ-მიულერის მთვლელების საშუალებით, რომლებსაც აწარმოებს კომპანია GQ-Electronics. კომპანია რამდენიმე ტიპის დეტექტორს აწარმოებს, მათ შორის GMC-300 სერიის დეტექტორებია, რომლებიც შედარებით დაბალი ფასით გამოირჩევა. ამ დეტექტორის გარე პანელი და აგებულება მოცემულია სურათზე 21, ხოლო მისი მახასიათებლები კი-ცხრილში №4.



სურ. 21 GMC 300+ ტიპის მთვლელის გარე პანელი და ელექტრული აგებულება

ამ ქსელს აქვს რამდენიმე დადებითი მხარე:

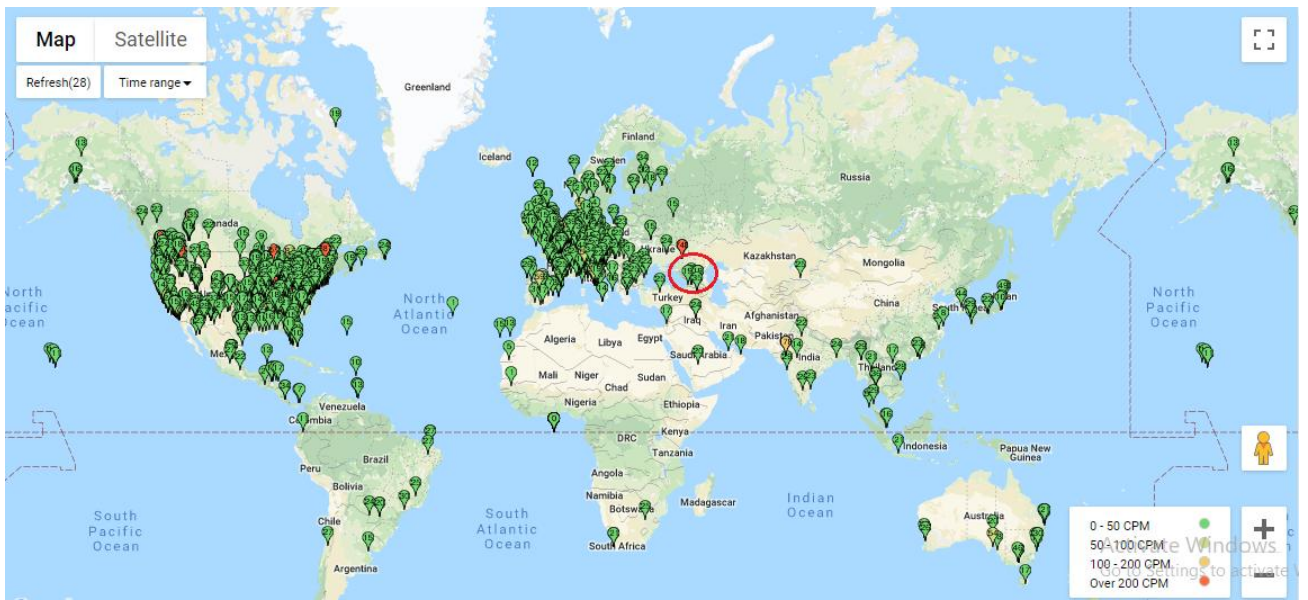
- 1) მონიტორინგის ხელმისაწვდომობა;

2) შესული ინფორმაცია მსოფლიოს მასშტაბით ვრცელდება და ჩვენ შეგვიძლია ვნახოთ მონაცემთა დინამიკა, ჩავატაროთ კომპიუტერული ანალიზი. ბევრი მონაცემის შემთხვევაში სტატისტიკური ანალიზის ჩატარებაც არის შესაძლებელი;

ცხრილი №4

GMC 300E Plus-ის მახასიათებლები:

გაზომილი შთანთქმული დოზის ჩვენების დიაპაზონი, $\mu\text{Sv/h}$	0.00-დან 327.99-მდე	გასული ინდიკაცია	დროის 99 წელი (მაქსიმუმი)
ექსპოზიციური დოზის ჩვენების დიაპაზონი, mRem/h	0.00-დან 32.99-მდე	რადიაციის დეტექტირება	β, γ, x
რეგისტრირებული გამა გამოსხივების ენერჯის დიაპაზონი, მევ	0.1-დან 1.25-მდე	დეტექტირებული გამოსხივების დიაპაზონი	0.1 ~ 3 მევ
რეგისტრირებული ბეტა გამოსხივების ენერჯია, მევ	0.25-დან 3.5-მდე	ინსტრუმენტის ფონი	< 0,2 იმპულსი/წამი
რეგისტრირებული x სხივების ენერჯია, მევ	0.03-დან 3.0-მდე	სამუშაო ძაბვა	6ვ - 9ვ
სიგნალის დონეები, CPM	0-დან 65 535-მდე (უწყვეტად)	მონაცემთა სიგნალი PP	პორტის 0ვ -1.0ვ
სიგნალის დონეები, $\mu\text{Sv/h}$	0.00-დან 327.6-მდე (უწყვეტად)	ჩვენების ტიპი	LCD წერტილოვანი მატრიცა (ნათების უნარის მქონე)
სიგნალის დონეები, mRm/h	0.00-დან 32.76-მდე (უწყვეტად)	მეხსიერება ბორტზე	64K Byte მეხსიერება მონაცემთა შენახვისთვის
დღის ინდიკაცია	YYYY-MM-DD (უწყვეტად)	მოხმარებადი სიმძლავრე	25mW – 125mW (დამოკიდებულია თვლის სიჩქარეზე)
დროის ინდიკაცია	HH-MM-SS (უწყვეტად)	კვების წყარო	3.7V Li-ion ბატარეა / USB არხებიდან ან მანქანის DC ადაპტერიდან



სურ. 22 მსოფლიო ქსელის gmcmap-ის სადგურები.

თითოეული სადგურიდან ქსელში მონაცემების ატვირთვა ხდება კომპიუტერული პროგრამების საშუალებით, რომელთა ჩამოტვირთვა შესაძლებელია GQ-Electronics ვებ-გვერდიდან. პროგრამის საშუალებით ხდება ინფორმაციის ატვირთვის დროის ინტერვალის შერჩევა. თითოეულ დეტექტორთან დაკავშირებულია მონაცემების ფაილი, რომელშიც ბოლო რამდენიმე დღის მონაცემების ნახვაა შესაძლებელი.

History Data

Date (GMT-7:00)	CPM	ACPM	uSv/h	Latitude	Longitude
2019-07-04 07:25:41	24	17.80	0.120000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 07:20:39	17	17.60	0.085000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 07:15:36	20	19.40	0.100000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 07:10:33	13	20.10	0.065000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 07:05:30	24	21.10	0.120000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 07:00:41	21	20.80	0.105000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 06:55:25	19	19.50	0.095000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 06:50:22	20	20.80	0.100000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 06:45:19	23	21.00	0.115000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 06:40:02	19	18.50	0.095000	42.261864	42.70313584
2019-07-04 06:34:59	16	18.90	0.080000	42.261864	42.70313584

სურ. 23 gmcmap-ქსელის მონაცემების ფაილი.

ფაილი შეიცავს ინფრომაციის გადაცემის დროს (წელი-თვე-დღე საათი-წუთი-წამი), დეტექტორის მონაცემებს (cpm – counts per minute, თვლების რიცხვი წუთში), გასაშუალებული თვლების რიცხვი აღნიშნული დროის ინტერვალში, რადიაციის დოზა, რომელიც მოცემულია ერთეულებში მიკროზივერტი/სთ და რადიაციის დეტექტორის განლაგების გეოგრაფიული კოორდინატები (განედი და გრძედი) (იხ. სურ. 20).

5.4 გარემოს რადიაციული ფონის მონიტორინგი საქართველოში

5.4.1 გარემოს ეროვნული სააგენტო რადიაციული დეტექტორების ქსელი

საქართველოში გარემოს რადიაციის მონიტორინგს აწარმოებს გარემოს ეროვნული სააგენტო. მონიტორინგის შედეგების ნახვა შესაძლებელია ვებ-გვერდზე: <http://meteo.gov.ge/radiation>.

სააგენტოში ატმოსფერულ ჰაერში γ -გამოსხივების ექსპოზიციური დოზის სიმძლავრეს ზომავენ 15 ქალაქში (იხ. სურ. 24). სააგენტოს მიერ აწყობილი ქსელიდან შესაძლებელია ყოველ 2 დღეში 1 მონაცემის მიღება.

სურ. 24 მონაცემები გარემოს ეროვნული სააგენტოს საიტიდან

რადიაციული ფონი მიმდინარე მონაცემებით. (15 სადგურის მონაცემები)

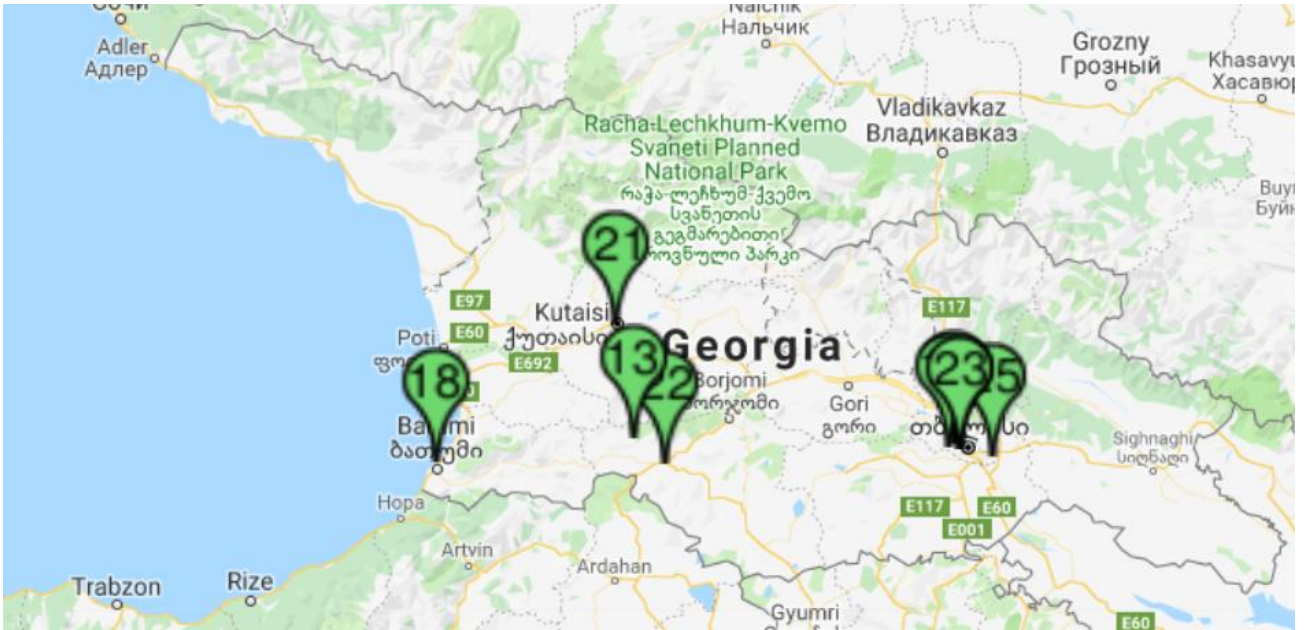
სადგური	ატმოსფერულ ჰაერში γ -გამოსხივების ექსპოზიციური დოზის სიმძლავრე (მკრ/სთ)	
	ფაქტიური	დასაშვები
ფოთი	9	30
ქუთაისი	11	30
საჩხერე	12	30
ზესტაფონი	12	30
ფასანაური	12	30
ბათუმი	9	30
ახალციხე	11	30
გორი	14	30
თბილისი	10	30
თელავი	12	30
ლაგოდეხი	10	30
ახალქალაქი	15	30
დედოფლისწყარო	10	30
ბოლნისი	13	30
მესტია	18	30



სურ. 25-ზე ნაჩვენებია მიწისპირა ატმოსფერულ ჰაერში გამა-გამოსხივების ექსპოზიციური დოზის სიმძლავრის გამზომი სადგურები.

5.4.2 გარემოს რადიაციული ფონის მონიტორინგი არასამთავრობო სააგენტოს მიერ

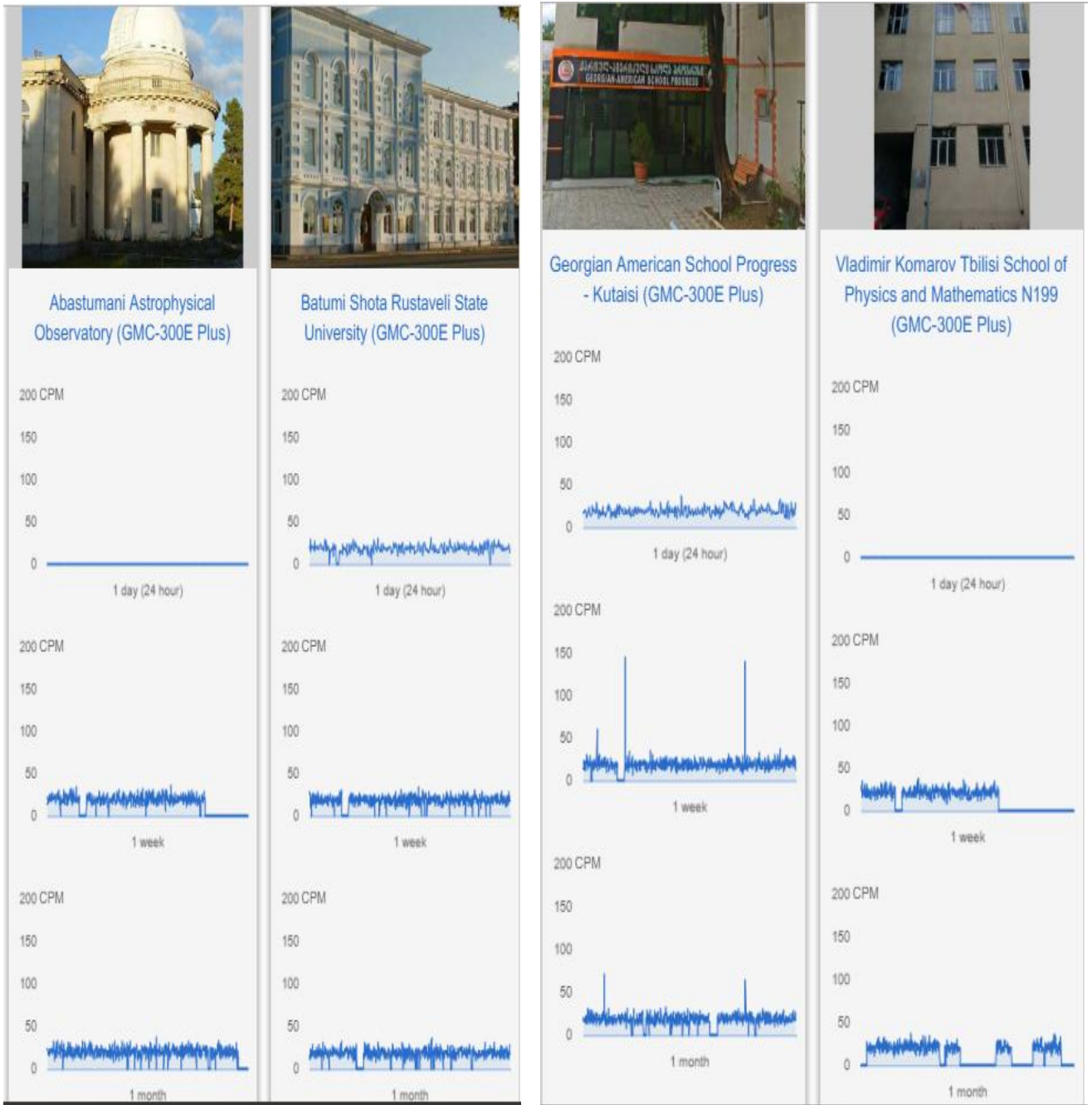
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტისა და არასამთავრობო ორგანიზაცია „სამოქალაქო საბჭო თავდაცვისა და უსაფრთხოების საკითხებში“ ერთობლივი ძალისხმევით საქართველოში შეიქმნა გარემოს რადიაციის მონიტორინგის არასამთავრობო ქსელი, რომელშიც ძირითადად საქართველოს აკადემიურ დაწესებულებებში განლაგებული რადიაციის დეტექტორებია ჩართული. ამჟამად ამ ქსელში ჩართულია 7 გეიგერ-მიულერის მთვლელი. ინფორმაცია ამ ქსელში ჩართული სადგურების შესახებ მოცემულია ცხრილში №5. იგივე სადგურები ჩართულია რადიაციის მონიტორინგის www.gmcmmap.com - ქსელში (იხ. სურათი 26).



სურ. 26 Gmcmmap მსოფლიო ქსელში ჩართული სადგურები საქართველოში

აქედან ქალაქ ქუთაისში დეტექტორი ჩემს მიერაა დამონტაჟებული. ბირთვული და რადიაციული გაურცელებლობის ქსელის საიტზე საერთაშორისო ქსელიდან მოწოდებული ინფორმაცია მუშავდება, იგება გრაფიკები და ინახება შესაბამისი სადგურის ფაილში.

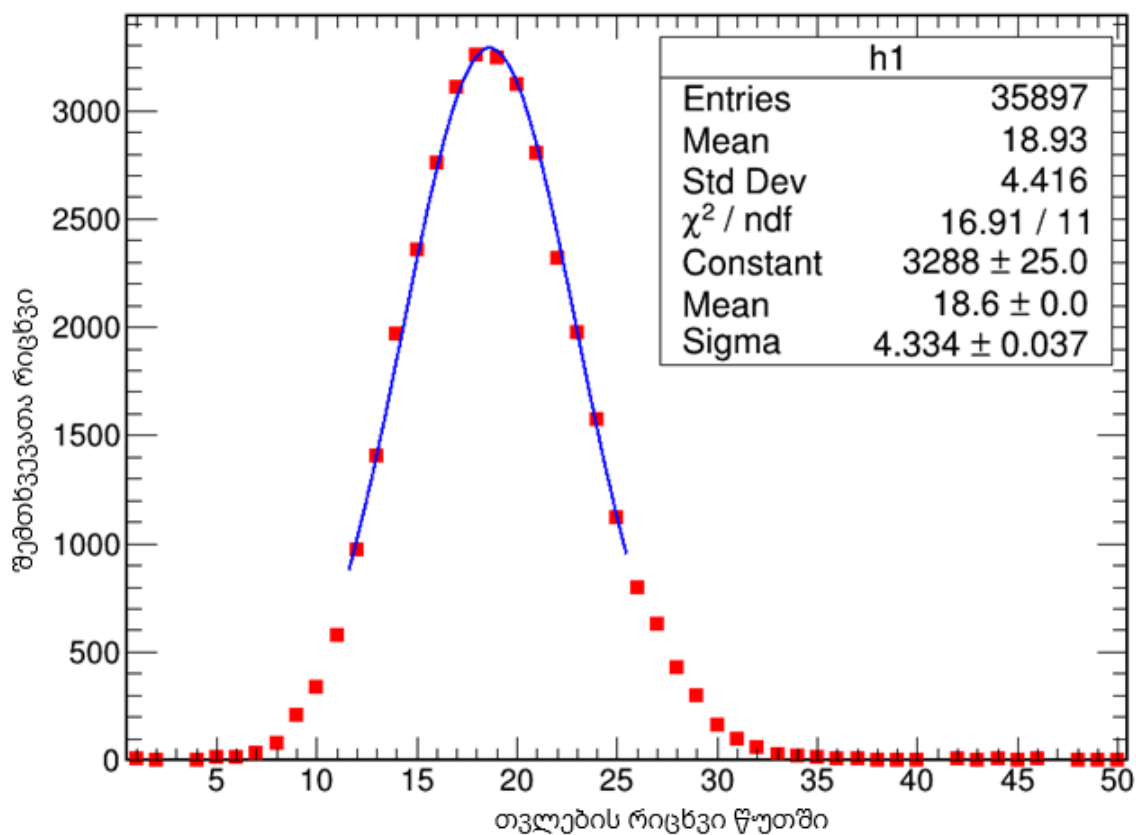
მონაცემების შენახვა ხდება csv - ფორმატის ფაილში. ეს ფორმატი (comma-separated values) საშუალებას იძლევა მონაცემები ჩაიტვირთოს excel-ის ტიპის პროგრამებში. ეს ფაილი Linux უტილიტა awk-ს საშუალებით შეიძლება ტექსტურ ფაილად გარდაიქმნას და მონაცემთა ანალიზის სხვადასხვა პროგრამით, მაგალითად ROOT-ით დამუშავდეს.



სურ. 27 ბირთვული და რადიაციული გაურცელებლობის ქსელის გრაფიკები რამდენიმე სადგურიდან

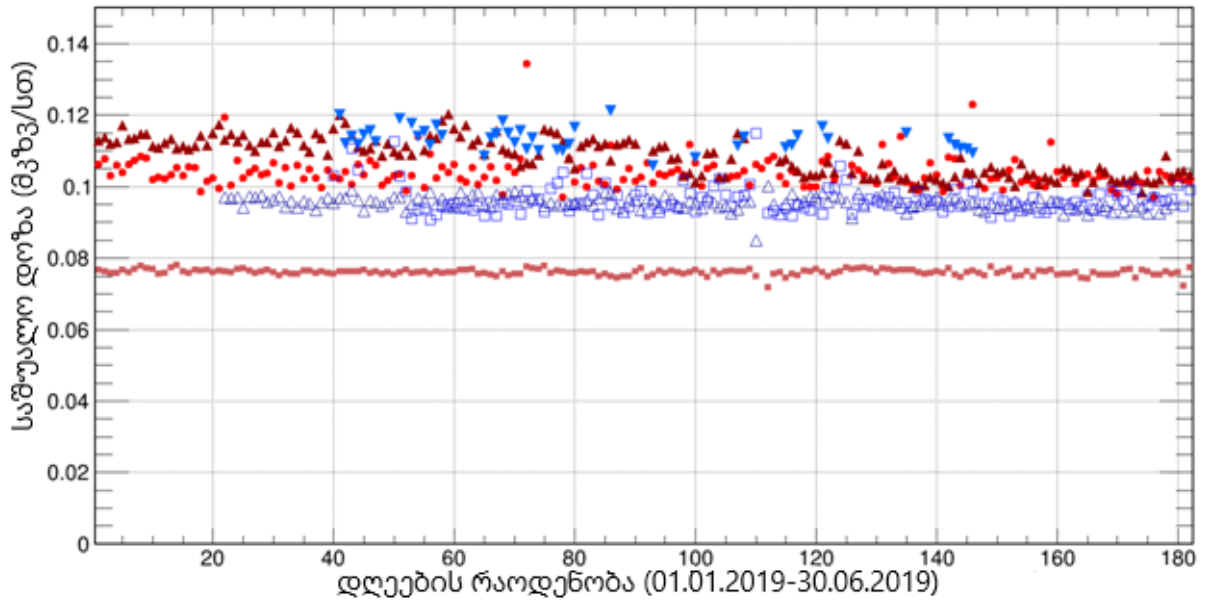
საქართველოს არასამთავრობო ქსელში განლაგებული დეტექტორები

	ქალაქი	გეოგრაფიული კოორდინატები		ტიპი	ჩართვის დრო	კალიბრაცია მკზვ/სთ 1 თველაზე	საშ. დოზა (მკზვ/სთ)
		გრძედი	განედი				
1	თბილისი	41.709128	44.77683180	GMC600	2018/09/01		0.076
2	თბილისი	41.717245	44.7193407	GMC300E	2018/10/20	0.005	0.104
3	აბასთუმანი	41.753905	42.81981873	GMC300E	2018/10/20	0.005	0.108
4	ბათუმი	41.649648	41.62752893	GMC300E	2018/01/20	-	0.095
5	ახალციხე	41.639288	43.00129294	GMC300E	2018/12/14	0.005	0.113
6	ქუთაისი	42.261864	42.70313584	GMC300E	2019/02/09	0.005	0.096
7	თბილისი	41.726344	44.73906137	GMC300E	2019/05/23	-	0.107



სურ. 28 ქუთაისის სადგურის დეტექტორის მონაცემები.

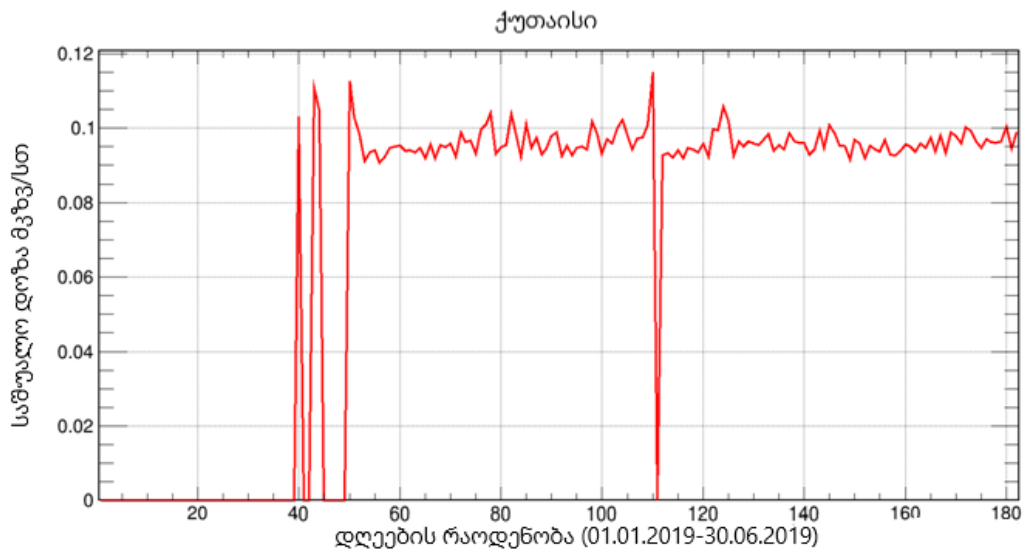
ქუთაისის სადგური ამუშავდა 2019 წლის 9 თებერვალს. სადგურის მონაცემების ნახვა შესაძლებელია როგორც gmcmap-ქსელიდან, ასევე საქართველოს არასამთავრობო ქსელიდან. მონაცემები ყოველ ხუთ წუთში გადაეცემა მონიტორინგის ქსელს.



სურ. 29

სურ. 29 გარემოს რადიაციის საშუალო დღიური დოზა 2019 წლის პირველ ნახევარში. მონაცემები აღებულია არასამთავრობო ქსელში ჩართული 6 დეტექტორიდან. მე-7 დეტექტორის ქსელში ჩართვა ახლახან მოხდა, ამიტომ მისი შედეგები გრაფიკზე მოყვანილი არ არის.

ცალკე არის ნაჩვენები ქუთაისის დეტექტორი (იხ. სურ. 30).

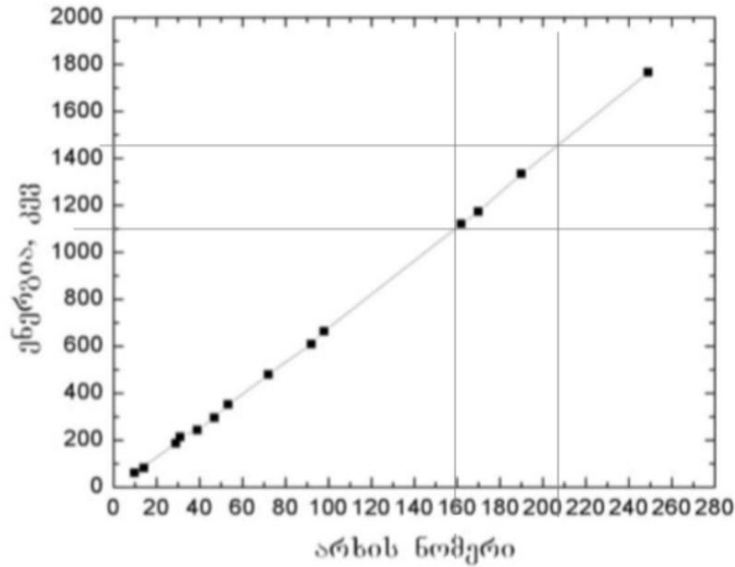


სურ.30

5.5 გამა-სპექტრომეტრზე ჩატარებული გაზომვების შედეგები

ბუნებრივი რადიოაქტიობის ძირითად წყაროებს, როგორც წინა თავებში იყო აღნიშნული, კალიუმის(^{40}K), თორიუმის(^{232}Th) და ურანის(^{238}U) იზოტოპები შეადგენენ. ამ იზოტოპებისა და მათი დაშლის რადიოაქტიური პროდუქტები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ რადიაციის დოზაში, რომელსაც ყოველწლიურად ვიღებთ - მათ შორის საკვების საშუალებით, რომლებშიც რადიოაქტიური იზოტოპები ნიადაგიდან ხვდება. მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, სათანადო გაზომვების საშუალებით, შექმნილია ნიადაგში ბუნებრივი რადიოიზოტოპების კონცენტრაციის რუკები. ევროკავშირის ქვეყნებისთვის მსგავსი რუკები მოყვანილია ამ ნაშრომში (იხ. სურ. 17-20). სამწუხაროდ, რადიოიზოტოპების კონცენტრაცია საქართველოს ნიადაგებში ჯერ კიდევ არ არის სისტემატურად შესწავლილი. ასეთი შესწავლა დიდ დროსა და ძალისხმევას მოითხოვს და აღემატება სამაგისტრო ნაშრომის მოთხოვნებს. მოცემულ ნაშრომში წარმოდგენილია გაზომვები, რომლებიც ფიზიკის დეპარტამენტში არსებულ გამა-სპექტრომეტრის მრავალარხიანი ანალიზატორის საშუალებით ჩატარდა. გამა-სპექტრომეტრში გამოყენებულია NaI(Tl) კრისტალური სცინტილატორი. მისი გარჩევისუნარიანობა არ აღემატება 7-10%.

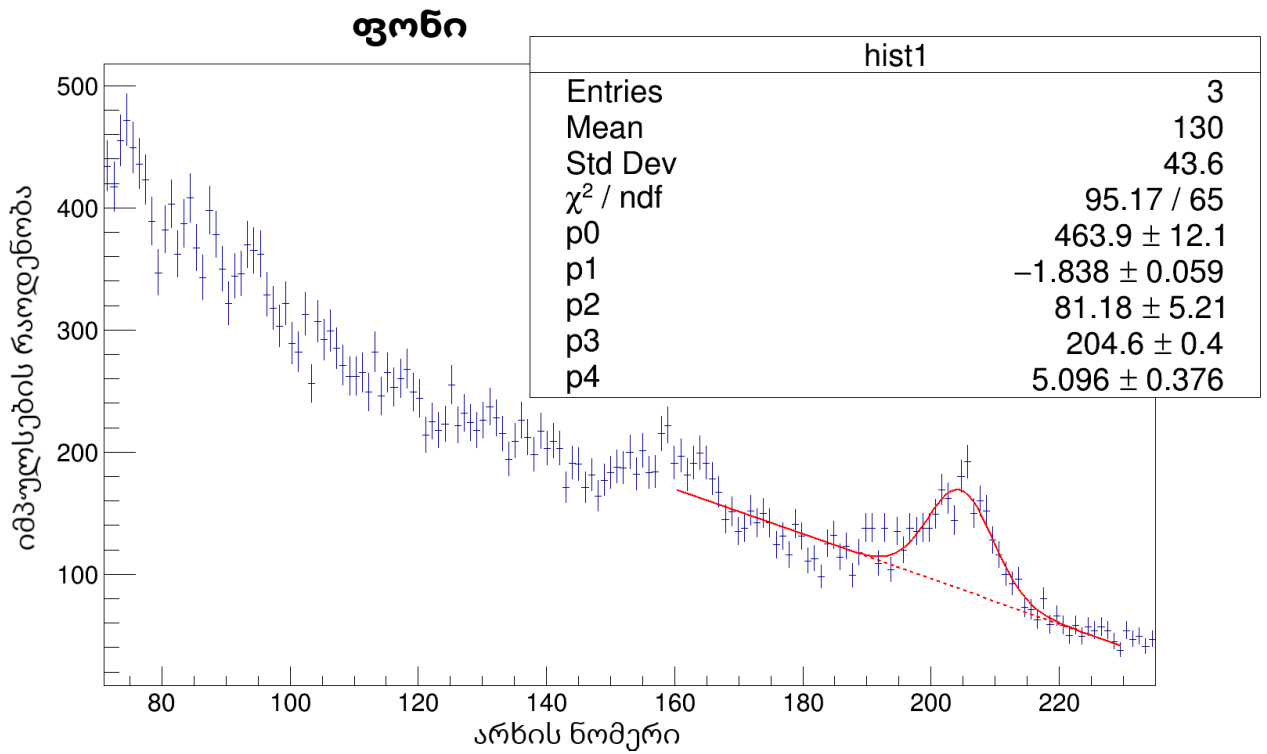
სამაგისტრო ნაშრომზე მუშაობის პერიოდში გამოვიკვლიეთ მიწის სინჯები საქართველოს სხვადასხვა ქალაქიდან, როგორებიცაა: თბილისი, მცხეთა, ბორჯომი, ბაკურიანი, წალკა, წალენჯიხა, ხარაგაული, ზუგდიდი, ბაღდათი, საჩხერე, ვანი. თითოეული ადგილიდან აღებული მიწის სინჯის მასა შეადგენდა 800 გ-ს. სინჯები მოთავსებული იყო 0.5 ლ მოცულობის ქილაში. მიწის სინჯების რადიოაქტიური იზოტოპების დადგენის მიზნით, თითოეული ნიმუში გაზომილი იყო გამა-სპექტრომეტრზე 4000 წმ-ის განმავლობაში. ანალიზატორის არხის ნომერსა და გამა-კვანტის ენერგიას შორის დამოკიდებულების დასადგენად გამოყენებული იყო კალიბრაციის მრუდი, რომელიც მოცემულია სურათზე 31.



სურ. 31

როგორც სურათიდან ჩანს, ეს დამოკიდებულება წრფივია.

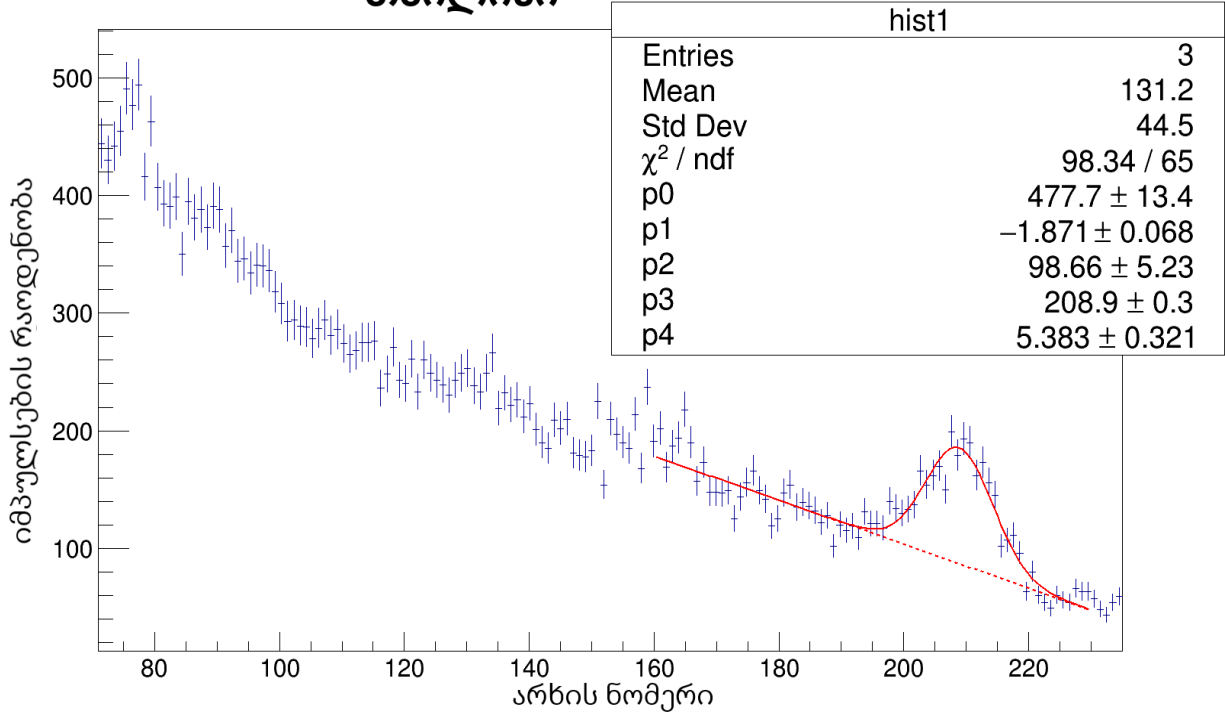
ნიმუშების გაზომვის წინ, დადგენილი იყო ლაბორატორიაში არსებული გამა ფონი. ფონის გაზომვის შედეგები მოყვანილია ნახაზზე. 1. ნახაზიდან კარგად ჩანს სიგნალი, რომლის პარამეტრების დასადგენად სიგნალის შემცველი არე ფიტირებული იყო ორი ფუნქციის ჯამით. წრფივი ფუნქცია (პარამეტრები P_0, P_1) აღწერდა შემთხვევების განაწილების ყოფაქცევას, ხოლო გაუსის ფუნქცია (პარამეტრები P_2, P_3, P_4) - სიგნალის მახასიათებლებს. პარამეტრი P_3 , სიგნალის ცენტრალურ მნიშვნელობას შეესაბამება, ხოლო P_4 აღნიშნავს სტანდარტულ გადახრას. ფიტირების მონაცემები მოყვანილია ნახაზზე. 1 და ცხრილში №6. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ეს ფუნქცია კარგად აღწერს სიგნალის არეს (χ^2 მნიშვნელობა 95.15/65 დამაკმაყოფილებელია). სიგნალის ცენტრალურ მნიშვნელობას კალიბრაციის მრუდზე შეესაბამება დაახლოებით 1460 კეე, რაც მიანიშნებს, რომ ეს სიგნალი კალიუმის ^{40}K იზოტოპით არის გამოწვეული. სხვა მკვეთრად გამოხატული სიგნალი ფონურ გაზომვაში არ დაიკვირვება.



ნახ. 1

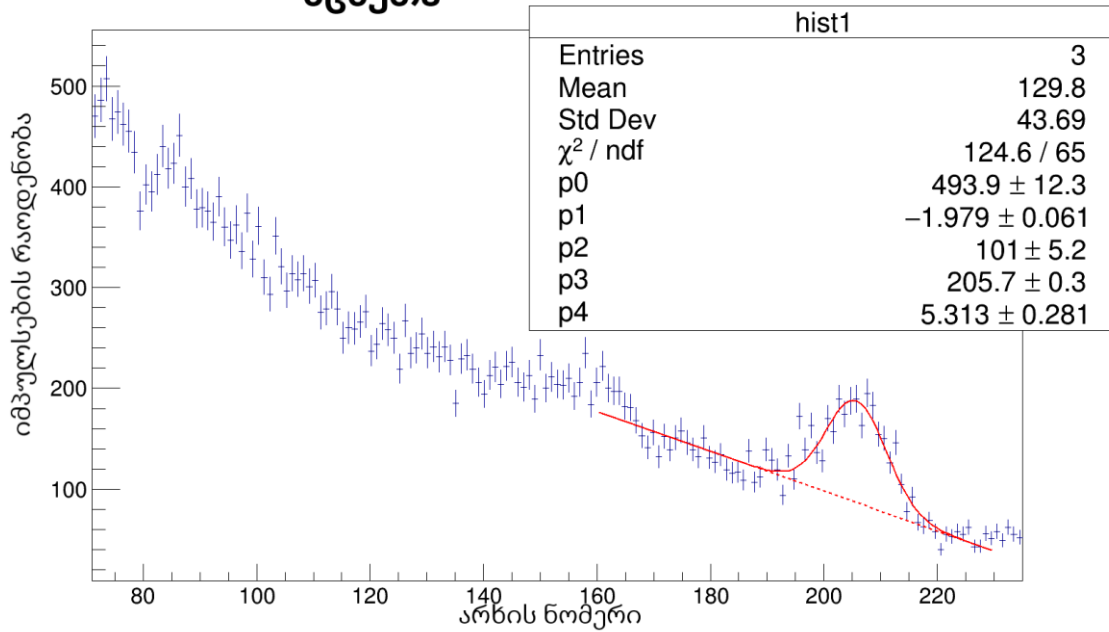
საქართველოს 11 ადგილიდან აღებული მიწის სინჯების ნიმუშების გაზომვები მოყვანილია ნახაზებზე 2-12. მათ სპექტრებში ასევე ერთი გამორჩეული სიგნალი დაიმზირება, რომელიც ისეთივე მეთოდით აღიწერა, როგორც ფონის შემთხვევა. გაზომვების შედეგები მოყვანილია ცხრილში №6.

თბილისი



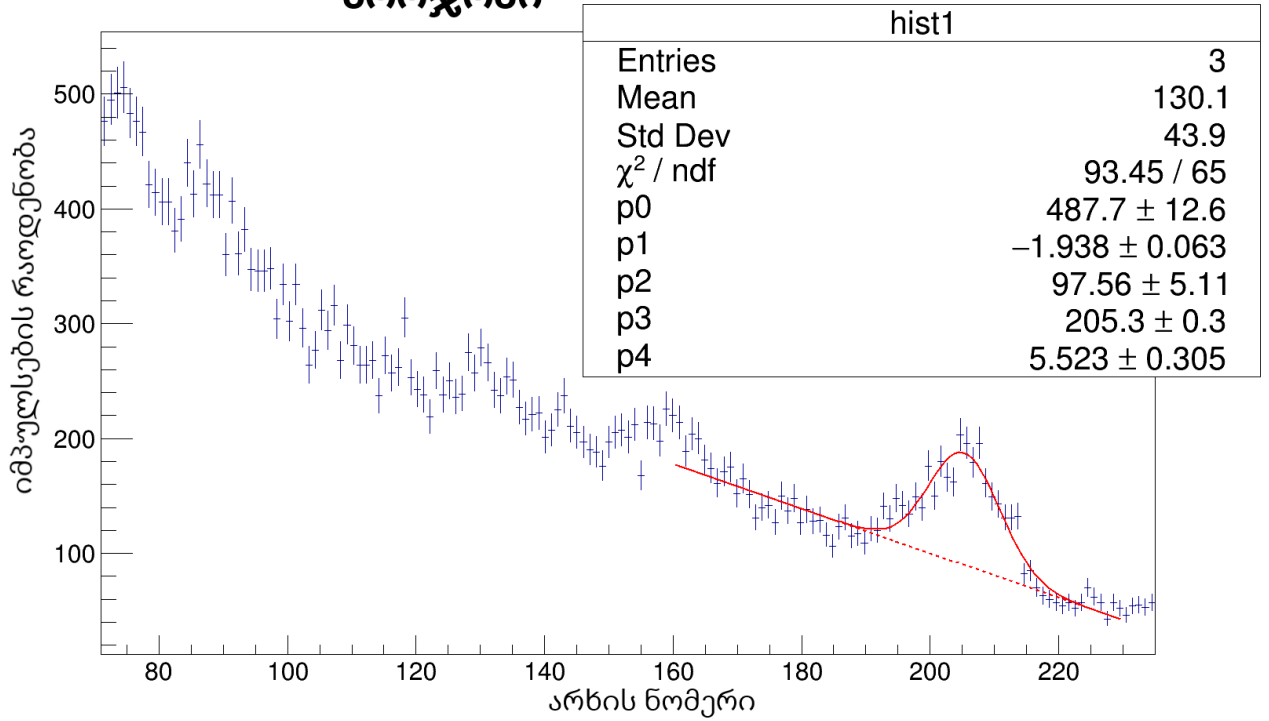
ნახ. 2

მცხეთა



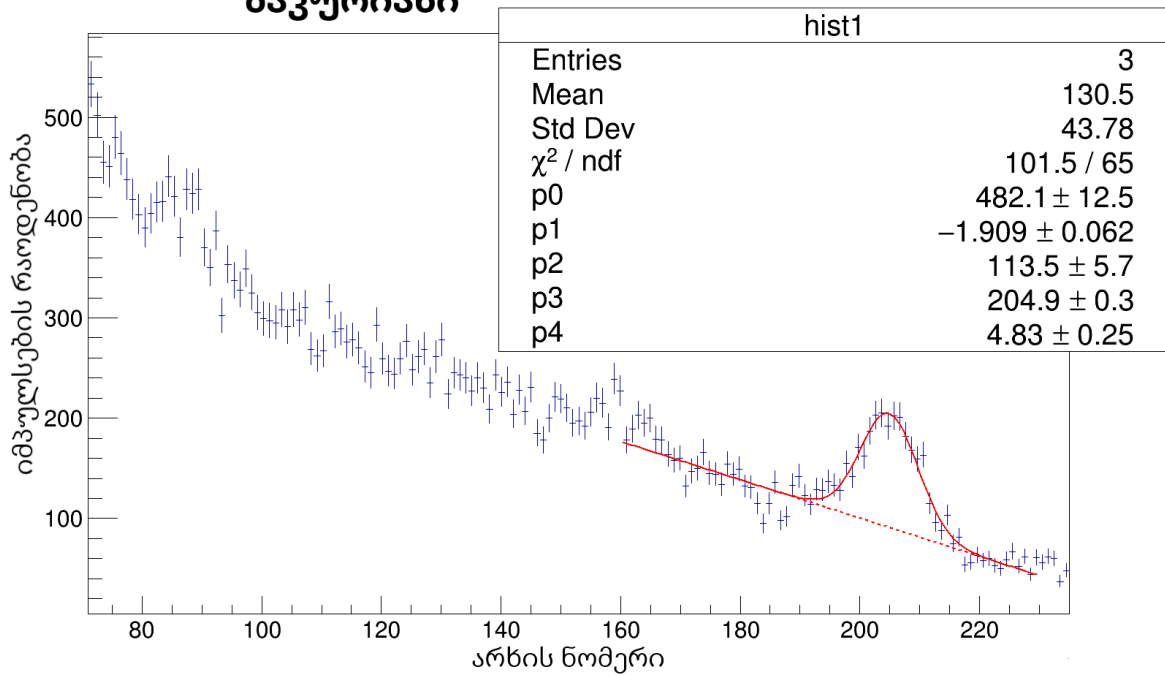
ნახ. 3

ბორჯომი



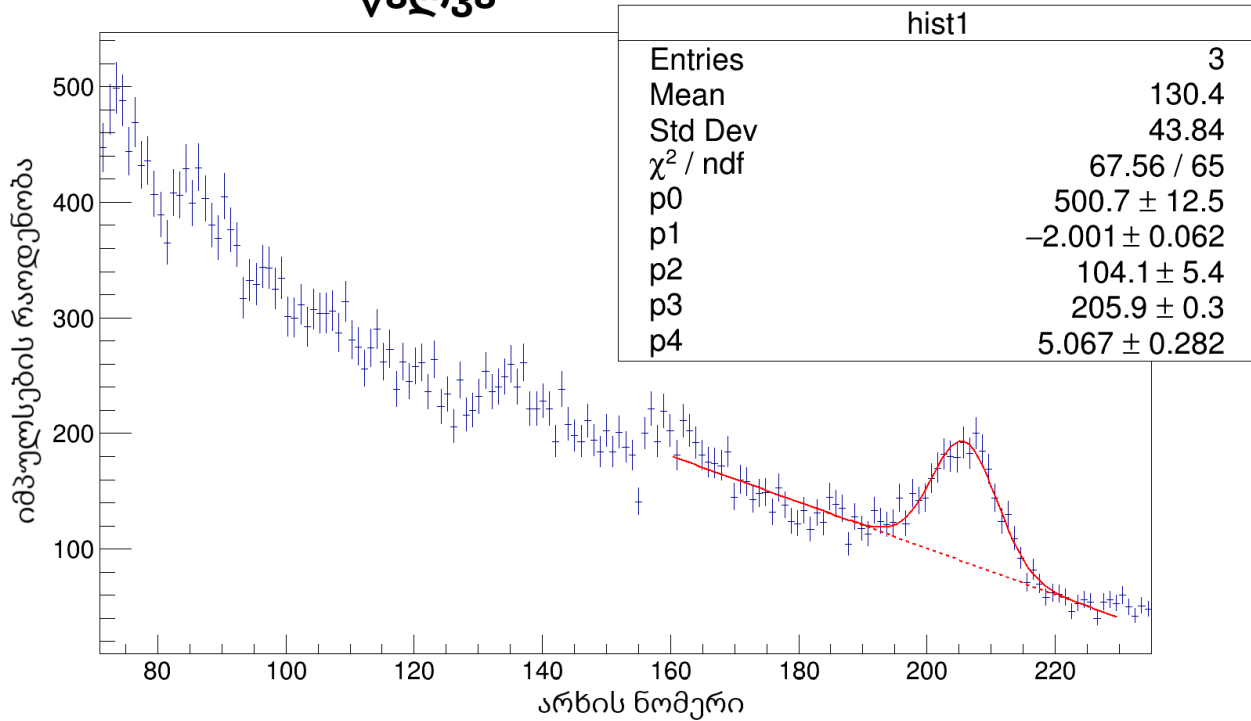
ნახ. 4

ბაკურიანი



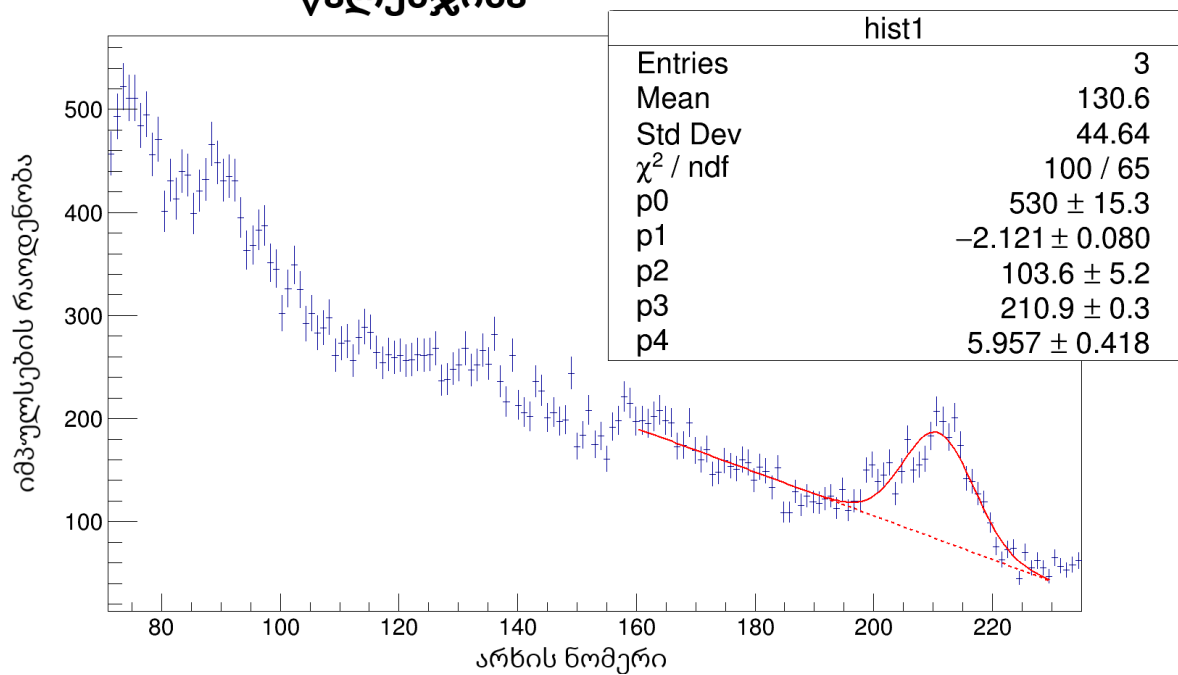
ნახ. 5

წალკა



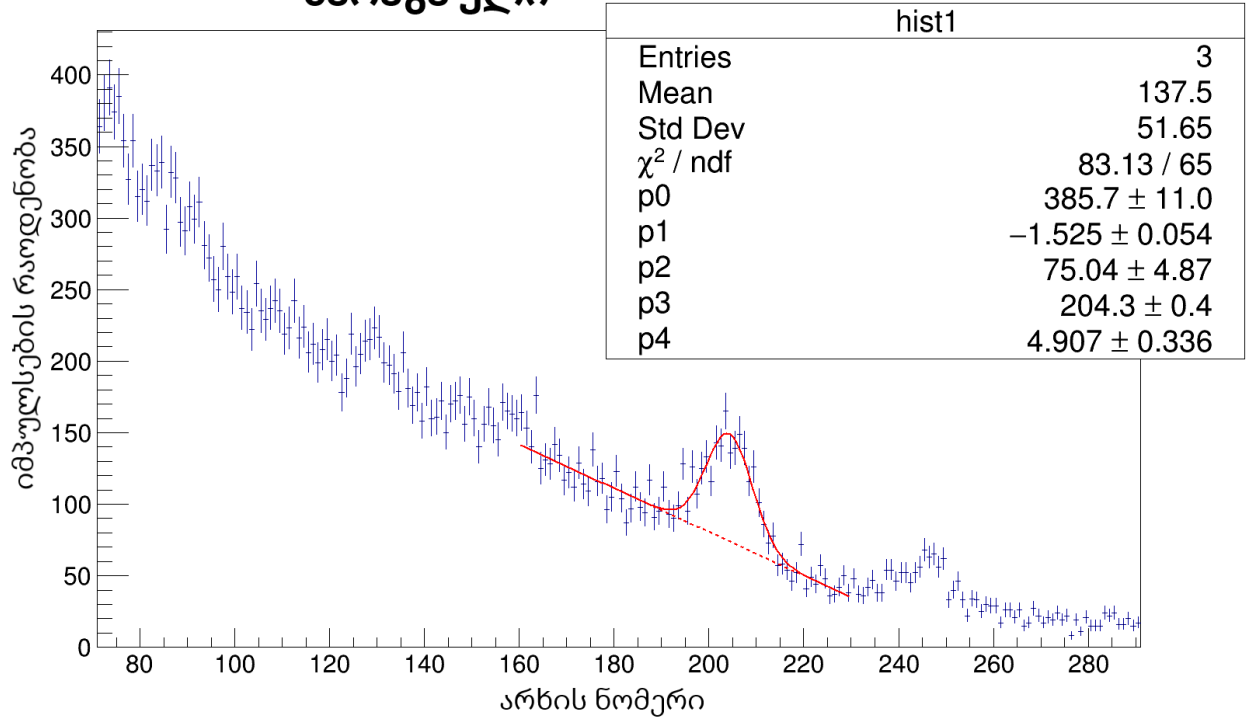
ნახ. 6

წალენჯიხა



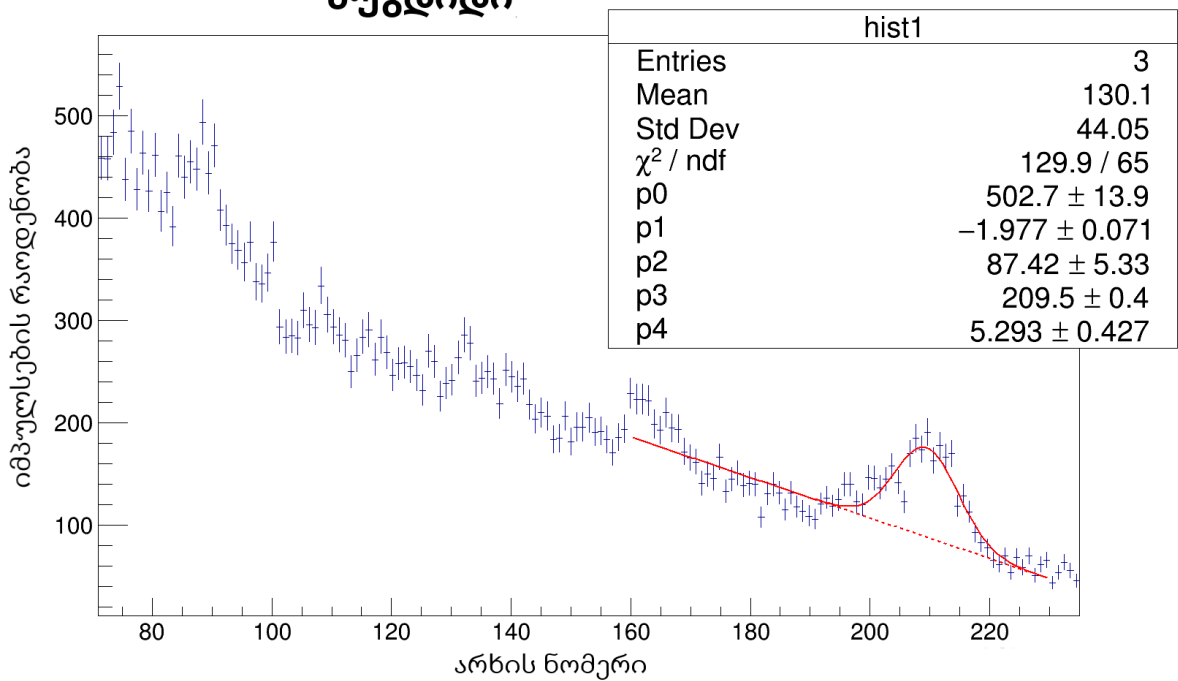
ნახ. 7

ხარაგაული



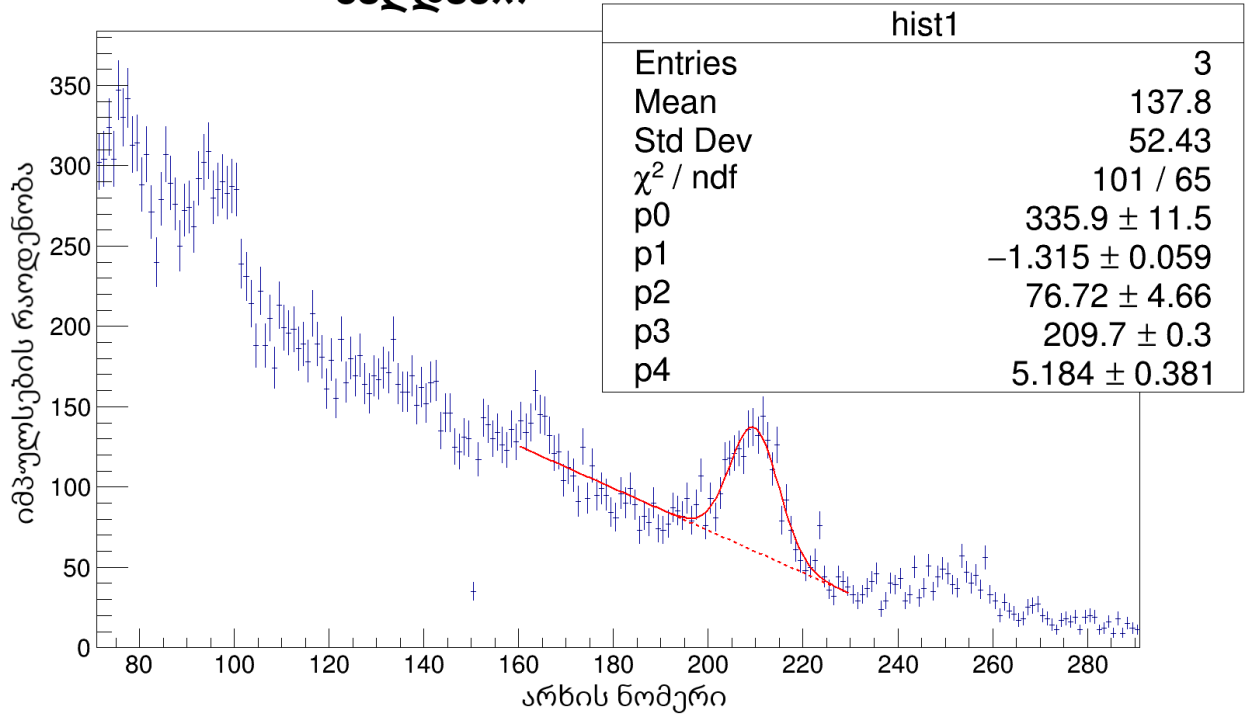
ნახ. 8

ზუგდიდი



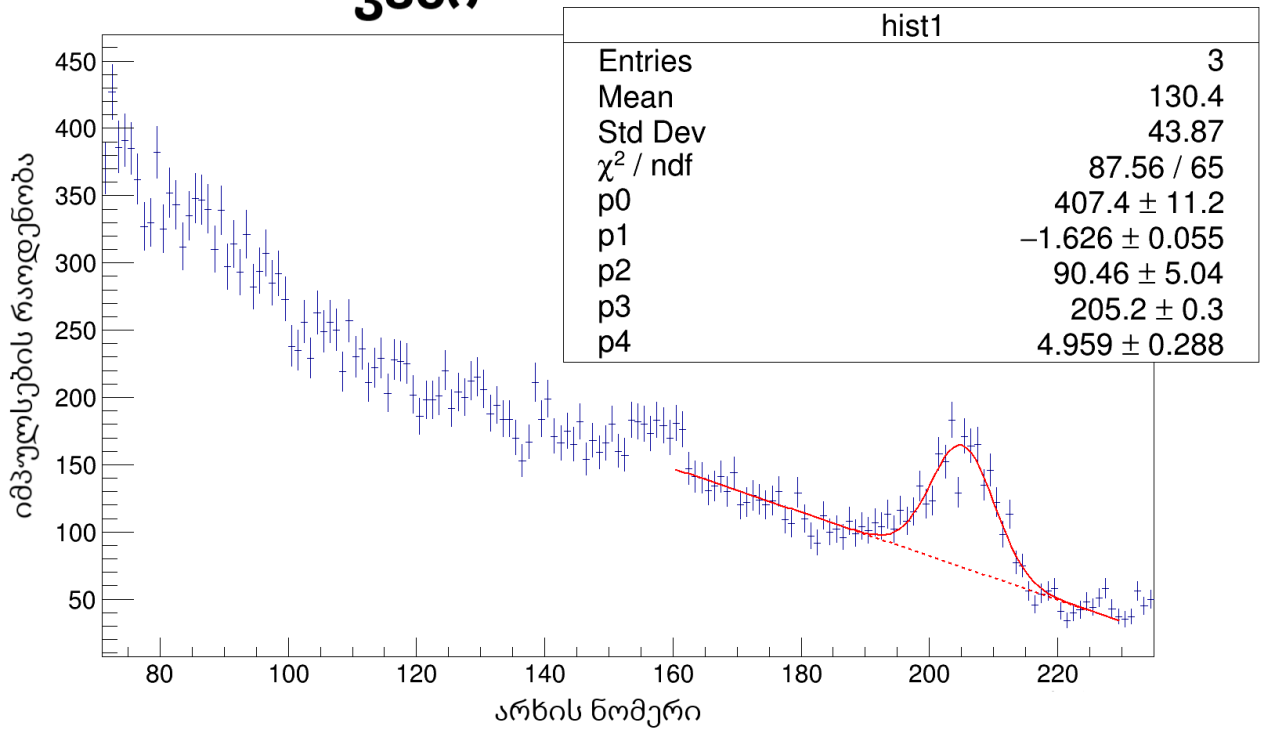
ნახ. 9

ბაღდათი



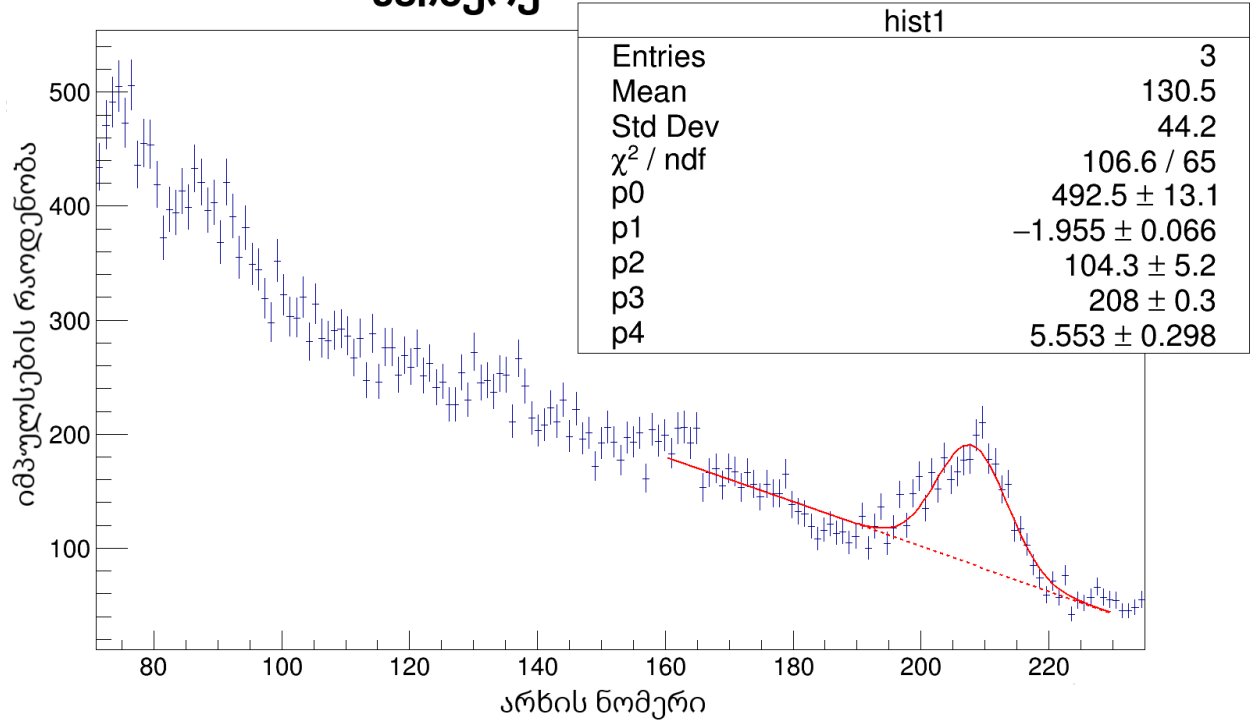
ნახ. 10

ვანი



ნახ. 11

საჩხერე



სურ. 12

	სინჯის ადგილის ადგილი	P ₂ ნორმალიზაცია	P ₃ სიგნალის ცენტრალური მნიშვნელობა	P ₄ სტანდარტული გადახრა	ფარდობა ფონთან
1	ფონი	81.18	204.6	5.096	1.0
2	თბილისი	98.66	208.9	5.383	1.25
3	მცხეთა	101	205.7	5.313	1.27
4	საჩხერე	104.3	208	5.553	1.34
5	ბაღდათი	76.72	209.7	5.184	0.95
6	ვანი	103	208.9	5.533	1.32
7	წალკა	104.1	205.9	5.067	1.28
8	წალენჯიხა	103.6	210.9	5.957	1.38
9	ზუგდიდი	87.42	209.5	5.293	1.10
10	ხარაგაული	75.04	204.3	4.907	0.91
11	ბორჯომი	97.56	205.3	5.523	1.25
12	ბაკურიანი	113.5	204.9	4.83	1.37

კალიუმის იზოტოპის ⁴⁰K შესაბამისი შემთხვევების რიცხვი გამოთვლილი იყო ფორმულით:

$$\sqrt{2\pi \cdot \sigma} \cdot P_2$$

როგორც ცხრილიდან ჩანს, მაქსიმალური გადახრა ფონური მნიშვნელობიდან 38%-ს არ აღემატებოდა. გაზომვის შედეგები არ იძლევა საშუალებას დადგინდეს კალიუმის კონცენტრაცია (მასა) აღნიშნულ სინჯებში. კონცენტრაციის გასაზომად საჭიროა სპექტრომეტრის ეფექტურობის ცოდნა ან კალიუმის რაოდენობის გადათვლა აღებულ სინჯებში. ასეთი გაზომვების ჩატარება აუცილებელი იქნება მომავალში. ევროკავშირის ქვეყნებში კალიუმის შემცველობა ნიადაგში მერყეობს 0.5-5%-ს შორის (იხ. სურ. 20).

6. დასკვნა

მე-20 საუკუნის 40-იანი წლებიდან ატომი „ჩადგა ადამიანის სამსახურში“, შეიქმნა ბირთვული იარაღი, აშენდა ბირთვული რეაქტორები და ატომური ელექტროსადგურები, თავისი უდიდესი ენერგეტიკული შესაძლებლობებით. ბირთვული ტექნოლოგიები სულ უფრო მეტ ადგილს იკავებს მედიცინაში და მრეწველობაში. სწორედ ამიტომ, მეოცე საუკუნეს მოიხსენიებენ „ატომის საუკუნედ“.

თუმცა, პროგრესს მოჰყვა საკმაოდ დიდი უარყოფითი თანმდევი. ატომური ენერჯის გამოყენებამ სამხედრო მიზნით, ადამიანთა მასობრივი მსხვერპლი გამოიწვია. ყველასთვის ცნობილია იაპონიის ქალაქების ხიროსიმასა და ნაგასაკის დაბომბვის შედეგები, გარდა ამისა, გამოიცადა არაერთი ბირთვული იარაღი და შესაბამისად მოხდა არაერთი კატასტროფაც ატომურ ელექტროსადგურებზე, რამაც მილიონობით სიცოცხლე შეიწირა და მკვეთრად გაზარდა გარემოს რადიაციული ფონი. ამიტომ აუცილებელი გახდა გარემოს რადიაციული ფონის მონიტორინგი და ბუნებრივი რადიოაქტიური წყაროების დეტალური შესწავლა.

სამაგისტრო ნაშრომზე მუშაობისას მკაფიოდ გამოჩნდა, რომ აუცილებელია მონიტორინგის, მონაცემთა დამუშავების გაგრძელება და მიწის სინჯებზე სისტემატური გაზომვების ჩატარება, რათა რადიაციის მონიტორინგის მსოფლიო რუკაზე საქართველოც სრულფასოვან ქვეყნად ჩანდეს და წვლილი შეჰქონდეს მსოფლიო რადიაციულ კვლევებში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. მ. კავილაძე, „რა არის რადიაცია და როგორ გარემოში ვცხოვრობთ?“ „ნეკერი“, თბილისი, 2002.
2. ზურაბ შავგულიძე, „გამოყენებითი ბირთვული ფიზიკა“.
3. ჯემალ მებონია, „ბირთვული ფიზიკა“ 2003 წ.
4. ედიშერ ცხადაძე, „ელემენტარულ ნაწილაკთა დეტექტორები, 2016 წ.
5. მ. გოჩიტაშვილი, ნ.გუბაძე, ვ.ჯაში, ვ.კიკვაძე, გ.ივანოვი „გამა-სპექტრომეტრის დიფერენციალური და ინტეგრალური მახასიათებლების შესწავლა“, GESJ: Physics 2017 | No.2(18)
6. М.И. Корсунский “Атомное ядро” ОГИИ Москва 1949 г
7. Nicholas Tsoulfanidis, Sheldon Landsberger, “Measurement & Detection of radiation”, 2015 y.
8. Simon R. Cherry, James A.Sorenson, Michael E. Phelps, “Physics in nuclear medicine”, 2012 y.
9. Claus Grupen, “Introduction to radiation protection”, 2010 y.
10. <https://remon.jrc.ec.europa.eu/>
11. <https://radmon.org/index.php>
12. <http://gmcmap.com/>
13. <http://meteo.gov.ge/>
14. <http://nonproliferation.ge/ka/>