

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი
სამაგისტრო ნაშრომი



გიორგი თაყაძე

**მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტის სტენდის პარამეტრების
შესწავლა**

ნაშრომი შესრულებულია მაგისტრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელი:

რევაზ შანიძე

თსუ-ს ასოცირებული პროფესორი, მაღალი ენერგიების
ფიზიკის ბირთვული მედიცინის მთავარი მეცნიერ მუშაკი

ედიშერ ცხადაძე

ფიზ-მათ. მეცნიერებათა დოქტორი
თსუ მეფის ლაბორატორიის ხელმძღვანელი

თბილისი 2022

სარჩევი :

ანოტაცია -----

რა არის კოსმოსური სხივები და მისი არსი -----

პირველადი კოსმოსური სხივები -----

მეორადი კოსმოსური სხივები -----

იდენტიფიკაცია -----

ენერგიის განაწილება -----

კოსმოსური სხივების შემადგენლობა -----

კოსმოსური სხივების სტენტი მაღალი ენერგიების ფიზკის ინსტიტუტში

ექსპერიმენტი -----

მიუონები და მათი გამზომვა სტენტზე -----

აკრძალული დაშლა და თეორიული დაშლის მაჩვენებელი -----

გამოყენებული ლიტერატურა -----

ანოტაცია

კოსმოსური სხივები არის მაღალი ენერგიის გამოსხივების ფორმა, რომელიც წარმოიქმნება ჩვენი მზის სისტემის გარედან. როდესაც ისინი მიაღწევენ დედამიწას, სხივები უჯახება ნაწილაკებს ზედა ატმოსფეროში და წარმოქმნის ნაწილაკების „ღვარი“, მათ შორის მიონებს.

ექსპერიმენტები ჩატარდა მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტის ლაბორატორიაში 3 არხიან დისკრიმინატორზე. გამოვიკვლიეთ სამუშაო დაბვა და ბნელი დენი. გაზომვები ჩავატარეთ 1000 დან 1800 ვოლტის ფარგლებში შესაბამისად მივიღეთ სამუშაო დაბვა 1400 ვოლტი.

შედეგებმა გვაჩვენა სტენტზე ფილტრების ცვლილების შედეგად როგორ სუსტდება მიუონების ნაკადის სტენტზე დამონტაჟებული რკინის ფირფიტების დახმარებით.

Cosmic rays are a form of high-energy radiation emitted from outside our solar system. When they reach Earth, the rays collide with particles in the upper atmosphere, creating a "shower" of particles, including muons.

Experiments were conducted in the laboratory of the Institute of High Energy Physics on 3-channel discriminators. We investigated the working voltage and dark current. We made measurements in the range of 1000 to 1800 volts respectively we got the working voltage of 1400 volts.

The results show how the muon flux is attenuated by replacing filters on the stent with iron plates mounted on the stent.

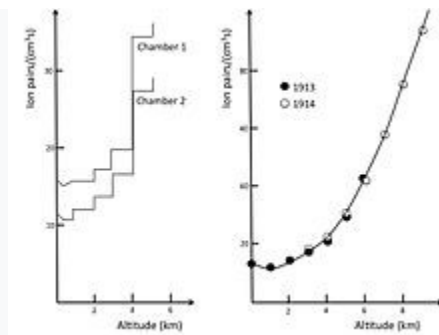
რა არის კოსმოსური სხივები და მისი არსი

კოსმოსური სხივები არის მაღალი ენერგიის პროტონები და ატომური ბირთვები, რომლებიც მოძრაობენ სივრცეში თითქმის სინათლის სიჩქარით. ისინი წარმოიქმნება მზისგან, მზის სისტემის გარედან ჩვენს გალაქტიკაში, და შორეული გალაქტიკებიდან.

დედამიწის—ზემოქმედების შედეგად, კოსმოსური სხივები წარმოქმნის მეორადი ნაწილაკების ღვარს, რომელთაგან ზოგიერთი აღწევს ზედაპირს. კოსმოსური სხივები აღმოაჩინა ვიქტორ ჰესმა 1912 წელს ბალონის ექსპერიმენტებში, რისთვისაც მას 1936 წელს მიენიჭა ნობელის პრემია ფიზიკაში. კოსმოსური სხივები დიდ ინტერესს იზიდავს პრაქტიკულად, მიკროელექტრონიკასა და სიცოცხლეს ატმოსფეროსა და მაგნიტური ველის დაცულობის მიღმა და მეცნიერულად, რადგან ყველაზე ენერგიული ულტრა მაღალი ენერგიის კოსმოსური სხივების ენერგიები უახლოვდება $3 \cdot 10^{20} \text{ eV}$, დაახლოებით 40 მილიონი ჯერ მეტი ენერგია ნაწილაკების, რომლებიც აჩქარებულია დიდი ჰადრონის კოლაიდერის მიერ. შეიძლება აჩვენოს, რომ ასეთი უზარმაზარი ენერგიების მიღწევა შესაძლებელია აქტიურ გალაქტიკის ბირთვებში აჩქარების ცენტრიდანული მექანიზმის საშუალებით. 50 J-ზე, ყველაზე მაღალი ენერგიის ულტრა მაღალი ენერგიის კოსმოსურ სხივებს (როგორცაა 1991 წელს დაფიქსირებული OMG ნაწილაკი) აქვთ ენერგია, რომელიც შედარებულია 90 კილომეტრი საათში (56 mph) ბეისბოლის კინეტიკურ ენერგიასთან. ამ აღმოჩენების შედეგად გაჩნდა ინტერესი კიდევ უფრო დიდი ენერგიების კოსმოსური სხივების გამოკვლევით. თუმცა კოსმოსური სხივების უმეტესობას არ გააჩნია ასეთი ექსტრემალური ენერგიები; კოსმოსური სხივების ენერგიის გადანაწილება პიკს აჭწევს 0,3 გიგაელექტოვოლტამდე ($4,8 \times 10^{11} \text{ ჯ.}$) 1909 წელს თეოდორ ვულფმა შეიმუშავა ელექტრომეტრი, მოწყობილობა, რომელიც გაზომავს იონების წარმოების სიჩქარეს ჰერმეტიკულ დალუქულ კონტეინერში და გამოიყენა იგი ეიფელის კოშკის თავზე უფრო მაღალი რადიაციის საჩვენებლად, ვიდრე მის ძირში. *Physikalische Zeitschrift*-ში გამოქვეყნებული მისი ნაშრომი ფართოდ არ იყო მიღებული. 1911 წელს დომენიკო პაჩინიმ დააფიქსირა იონიზაციის სიჩქარის ერთდროული ცვალებადობა ტბაზე, ზღვაზე და

ზედაპირიდან 3 მეტრის სიღრმეზე. პაჩინიმ რადიოაქტიურობის შემცირების შედეგად დაასკვნა, რომ იონიზაციის გარკვეული ნაწილი დედამიწის რადიოაქტიურობის გარდა სხვა წყაროების გამო უნდა იყოს.

1912 წელს ვიქტორ ჰესმა აიღო სამი გაძლიერებული სიზუსტის ვულფის ელექტრომეტრი 5300 მეტრის სიმაღლეზე თავისუფალი ბალონის ფრენით. მან აღმოაჩინა, რომ იონიზაციის სიჩქარე დაახლოებით ოთხჯერ გაიზარდა მიწის დონეზე მაჩვენებელზე. ჰესმა გამორიცხა მზე, როგორც გამოსხივების წყარო თითქმის სრული დაბნელების დროს ბუმბიტთ ასვლისას. როდესაც მთვარე ბლოკავს მზის ხილული გამოსხივების დიდ ნაწილს, ჰესმა მაინც გაზომა მზარდი რადიაცია მზარდ სიმაღლეებზე. მან დაასკვნა, რომ "დაკვირვების შედეგები, როგორც ჩანს, ყველაზე მეტად აიხსნება იმ დაშვებით, რომ ძალიან მაღალი შედგენადობის გამოსხივება შემოდის ზემოდან ჩვენს ატმოსფეროში." 1913–1914 წლებში ვერნერ კოლჰორსტერი და დასტურა ვიქტორ ჰესის ადრინდელი შედეგები 9 კმ სიმაღლეზე გაზრდილი იონიზაციის ენთალპიის სიჩქარის გაზომვით.



სურ_2

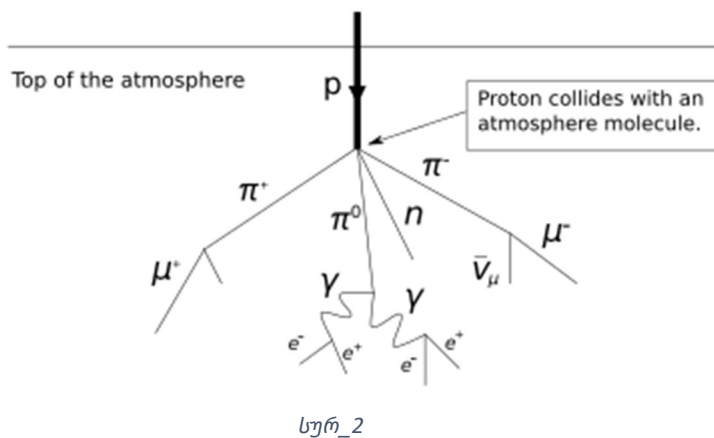
იონიზაციის ზრდა სიმაღლესთან ერთად, როგორც ეს გაზომეს ჰესმა 1912 წელს (მარცხნივ) და კოლჰორსტერის მიერ (მარჯვნივ).

პირველადი კოსმოსური სხივები

პირველადი კოსმოსური სხივები ძირითადად მზის სისტემის გარედან და ზოგჯერ ირმის ნახტომიდანაც კი მოდის. როდესაც ისინი ურთიერთქმედებენ დედამიწის ატმოსფეროსთან, ისინი გარდაიქმნება მეორად ნაწილაკებად. ჰელიუმის მასის თანაფარდობა წყალბადის ბირთვებთან, 28%, მსგავსია ამ ელემენტების პირველადი ელემენტარული სიმრავლის თანაფარდობის, 24%. დარჩენილი ფრაქცია შედგება სხვა უფრო მძიმე ბირთვებისგან, რომლებიც წარმოადგენს ტიპური ნუკლეოსინთეზის საბოლოო პროდუქტებს, ძირითადად ლითიუმს, ბერილიუმს და ბორს. ეს ბირთვები კოსმოსურ სხივებში გაცილებით დიდი რაოდენობით ($\approx 1\%$) ჩნდება, ვიდრე მზის ატმოსფეროში, სადაც ისინი მხოლოდ 10-11-ით არიან ისეთივე, როგორც ჰელიუმი. კოსმოსურ სხივებს, რომლებიც შედგება ჰელიუმზე მძიმე დატვირთული ბირთვებისგან, ეწოდება HZE იონები. HZE იონების მაღალი მუხტისა და მძიმე ბუნების გამო, მათი წვლილი კოსმოსში ასტრონავტების რადიაციის დოზაში მნიშვნელოვანია, მიუხედავად იმისა, რომ ისინი შედარებით მწირია.

ეს სიმრავლის სხვაობა არის მეორადი კოსმოსური სხივების წარმოქმნის შედეგი. ნახშირბადის და ჟანგბადის ბირთვები ვარსკვლავთშორის მატერიას ეჯახება ლითიუმის, ბერილიუმის და ბორის წარმოქმნის პროცესში, რომელსაც ეწოდება კოსმოსური სხივების დაშლა. სპალაცია ასევე პასუხისმგებელია სკანდიუმის, ტიტანის, ვანადიუმის და მანგანუმის იონების სიმრავლეზე კოსმოსურ სხივებში, რომლებიც წარმოიქმნება რკინისა და ნიკელის ბირთვების ვარსკვლავთშორის მატერიასთან შეჯახების შედეგად.

მაღალი ენერგიების დროს შემადგენლობა იცვლება და მძიმე ბირთვებს უფრო დიდი სიმრავლე აქვთ ზოგიერთ ენერგეტიკულ დიაპაზონში. ამჟამინდელი ექსპერიმენტები მიზნად ისახავს კომპოზიციის უფრო ზუსტ გაზომვას მაღალ ენერგიაზე.



პირველადი კოსმოსური ნაწილაკი ეჯახება ატმოსფეროს მოლეკულას და ქმნის ღვარს.

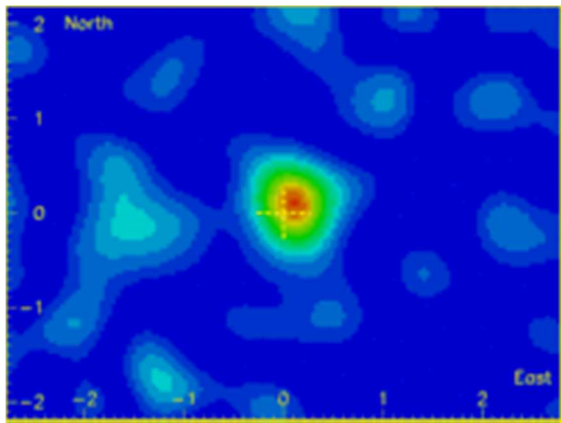
სატელიტურმა ექსპერიმენტებმა აღმოაჩინეს პირველადი კოსმოსური სხივების პოზიტრონების და რამდენიმე ანტიპროტონის მტკიცებულება, რაც შეადგენს პირველადი კოსმოსური სხივების ნაწილაკების 1%-ზე ნაკლებს. როგორც ჩანს, ეს არ არის დიდი აფეთქების დიდი რაოდენობით ანტიმატერიის პროდუქტი, ან მართლაც რთული ანტიმატერია სამყაროში. პირიქით, ისინი, როგორც ჩანს, შედგებიან მხოლოდ ამ ორი ელემენტარული ნაწილაკისგან, რომლებიც ახლად შექმნილნი არიან ენერგეტიკულ პროცესებში.

საერთაშორისო კოსმოსურ სადგურზე ამჟამად მოქმედი ალფა მაგნიტური სპექტრომეტრის (*AMS-02*) წინასწარი შედეგები აჩვენებს, რომ კოსმოსურ სხივებში პოზიტრონები ჩამოდიან მიმართულების გარეშე. 2014 წლის სექტემბერში, ახალი შედეგები თითქმის ორჯერ მეტი მონაცემით იყო წარმოდგენილი CERN-ში გამართულ მოხსენებაში და გამოქვეყნდა *Physical Review Letters*-ში. მოხსენებული იქნა პოზიტრონის ფრაქციის ახალი გაზომვა 500 გევ-მდე, რომელიც აჩვენებს, რომ პოზიტრონის ფრაქცია პიკს აღწევს მთლიანი ელექტრონი+პოზიტრონის მოვლენების მაქსიმუმ 16%-ზე, დაახლოებით 275 ± 32 გევ ენერგიაზე. უფრო მაღალ ენერგიებზე, 500 გევ-მდე, პოზიტრონების და ელექტრონების თანაფარდობა კვლავ იწყებს ვარდნას. პოზიტრონების აბსოლუტური ნაკადი ასევე იწყებს ვარდნას 500 გევ-მდე, მაგრამ პიკს აღწევს ელექტრონების ენერგიაზე გაცილებით მაღალი

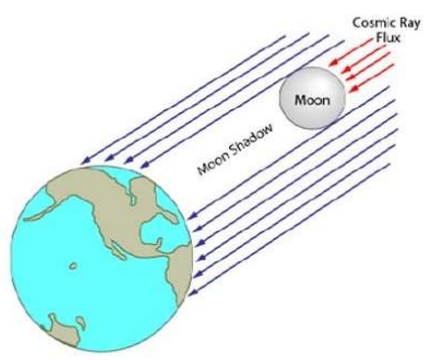
ენერგიით, რომელიც პიკს აღწევს დაახლოებით 10 გევ. ინტერპრეტაციის ეს შედეგები ვარაუდობენ, რომ გამოწვეულია პოზიტრონის წარმოქმნით ბნელი მატერიის მასიური ნაწილაკების განადგურების მოვლენებში. კოსმოსური სხივების ანტიპროტონებს ასევე აქვთ ბევრად უფრო მაღალი საშუალო ენერგია, ვიდრე მათი ნორმალური მატერიის ანალოგი (პროტონები). ისინი დედამიწაზე ჩადიან 2 გევ-ს დამახასიათებელი ენერგიით, რაც მიუთითებს მათ წარმოებაზე კოსმოსური სხივების პროტონებისგან ფუნდამენტურად განსხვავებულ პროცესში, რომლებსაც საშუალოდ აქვთ ენერგიის მხოლოდ მეექვსედი.

არ არსებობს მტკიცებულება რთული ანტიმატერიის ატომური ბირთვების, როგორცაა ანტიჰელიუმის ბირთვები (ანუ ანტიალფა ნაწილაკები), კოსმოსურ სხივებში. მათ აქტიურად ეძებენ. AMS-02-ის პროტოტიპი სახელწოდებით AMS-01 გაფრინდა კოსმოსში Space Discovery-ზე STS-91-ზე 1998 წლის ივნისში. ანტიჰელიუმის არ აღმოჩენის გამო AMS-01-მა დაადგინა ზედა ზღვარი 1.1×10^{-8} . ანტიჰელიუმის და ჰელიუმის ნაკადის თანაფარდობისთვის

მთვარე კოსმოსურ სხივებში

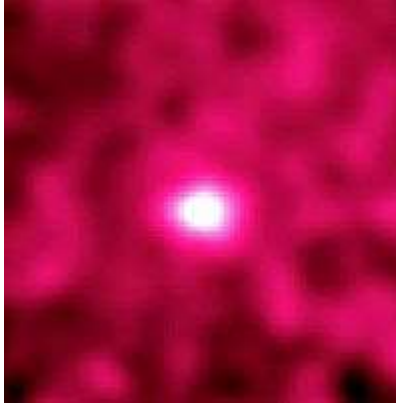


სურ_3



სურ_4

მთვარის კოსმოსური სხივის ჩრდილი, როგორც ჩანს მეორად მუონებში, რომლებიც აღმოჩენილია მიწისქვეშეთში 700 მ სიღრმეზე, Soudan 2 დეტექტორზე .



სურ_4

კომპტონის გამა გამოსხივების ობსერვატორიის მიერ დანახული მთვარე , გამა სხივებში 20 მეგ-ზე მეტი ენერგიით. ისინი წარმოიქმნება მის ზედაპირზე კოსმოსური სხივების დაბომბვის შედეგად.

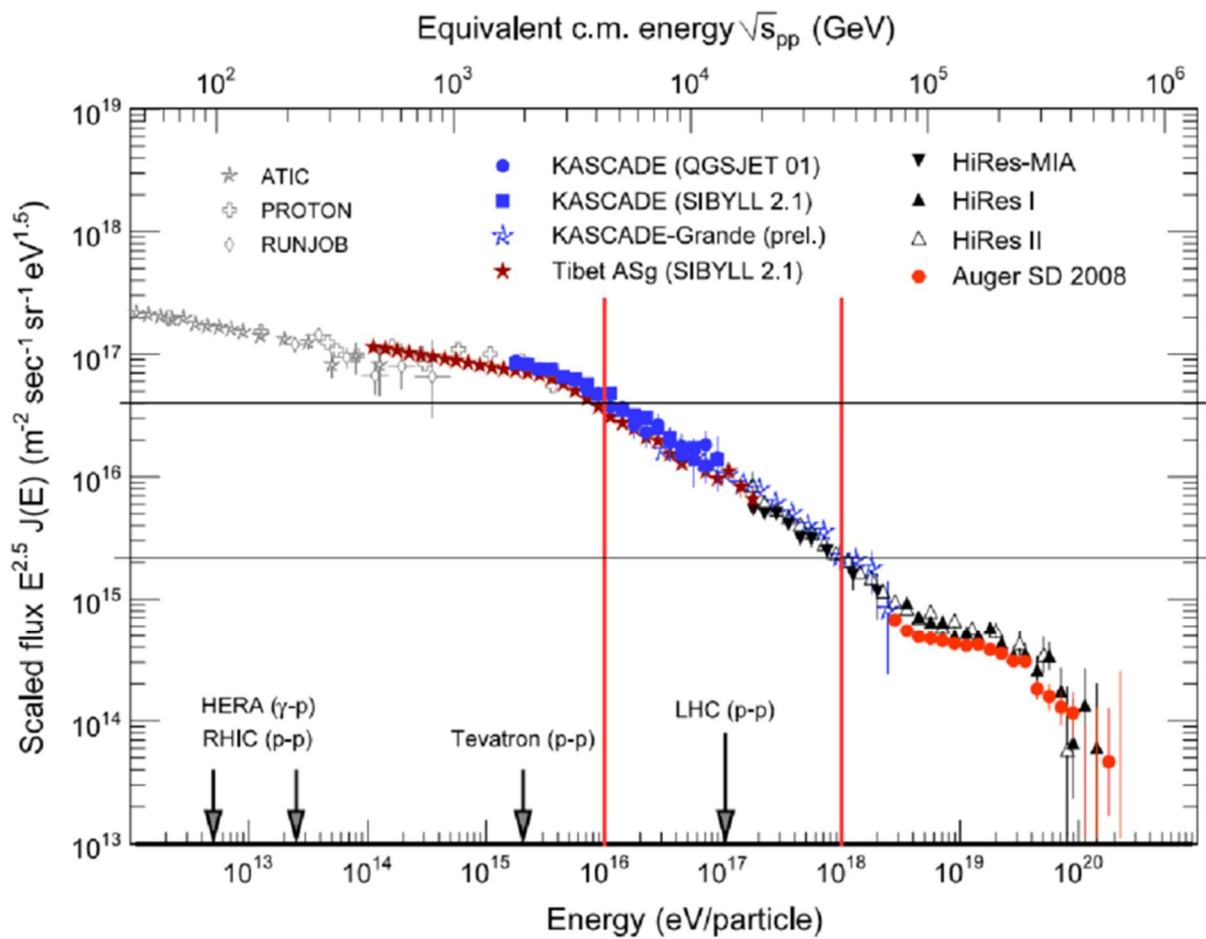
მეორადი კოსმოსური სხივები

როდესაც კოსმოსური სხივები დედამიწის ატმოსფეროში შედის , ისინი ეჯახებიან ატომებსა და მოლეკულებს , ძირითადად ჟანგბადსა და აზოტს. ურთიერთქმედება წარმოქმნის მსუბუქი ნაწილაკების კასკადს, ეგრეთ წოდებულ ჰაერის ღვარის მეორად გამოსხივებას, რომელიც წვიმს, მათ შორის რენტგენის სხივები , პროტონები, ალფა ნაწილაკები, პიონები, მიონები, ელექტრონები, ნეიტრინოები და ნეიტრონები. შეჯახების შედეგად წარმოქმნილი ყველა მეორადი ნაწილაკი აგრძელებს ბილიკებს პირველადი ნაწილაკების საწყისი გზის დაახლოებით ერთი გრადუსის ფარგლებში.

ასეთი შეჯახებისას წარმოქმნილი ტიპური ნაწილაკებია ნეიტრონები და დამუხტული მეზონები , როგორცაა დადებითი ან უარყოფითი პიონები და კაონები . ზოგიერთი მათგანი შემდგომში იშლება მიონებად და ნეიტრინოებად, რომლებსაც შეუძლიათ დედამიწის ზედაპირამდე მიღწევა. ზოგიერთი მაღალენერგეტიკული მიონი გარკვეულ მანძილზე აღწევს არალრმა მაღაროებში და ნეიტრინოების უმეტესობა გადის დედამიწას შემდგომი ურთიერთქმედების გარეშე. სხვები იშლება ფოტონებად და შემდგომში წარმოქმნიან ელექტრომაგნიტურ კასკადებს. აქედან გამომდინარე, ჰაერის ღვარებში, ფოტონების გვერდით, ელექტრონები და პოზიტრონები

ჩვეულებრივ დომინირებენ. ეს ნაწილაკები ისევე როგორც მიონები შეიძლება ადვილად აღმოჩინონ მრავალი ტიპის ნაწილაკების დეტექტორებით, როგორცაა დრუმლის კამერები, ბუმტუკების კამერები, ჩერენკოვის წყალი ან ცინტილაცია .დეტექტორები. ნაწილაკების მეორადი ღვარის დაკვირვება მრავალ დეტექტორში ერთდროულად არის იმის მანიშნებელი, რომ ყველა ნაწილაკი ამ მოვლენიდან მოვიდა.

კოსმოსური სხივები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მზის სისტემის სხვა პლანეტურ სხეულებზე, აღმოჩენილია არაპირდაპირი გზით, მაღალი ენერგიის გამა სხივების გამოსხივებაზე დაკვირვებით გამა-სხივების ტელესკოპით. ისინი გამოირჩევიან რადიოაქტიური დაშლის პროცესებისგან მათი უფრო მაღალი ენერგიით, დაახლოებით 10 მე-ზე მეტი.



იდენტიფიკაცია

1920-იან წლებში ტერმინი *კოსმოსური სხივები* გამოიგონა რობერტ მილიკანმა, რომელმაც გაზომა იონიზაცია კოსმოსური სხივების გამო, წყლის სიღრმეებიდან დიდ სიმაღლეებამდე და მთელს მსოფლიოში. მილიკანი თვლიდა, რომ მისი გაზომვები ადასტურებდა, რომ პირველადი კოსმოსური სხივები გამა სხივები იყო; ანუ ენერგიული ფოტონები. და მან შემოგვთავაზა თეორია, რომ ისინი წარმოიქმნება ვარსკვლავთშორის სივრცეში, როგორც წყალბადის ატომების შერწყმის ქვეპროდუქტები უფრო მძიმე ელემენტებში, და რომ მეორადი ელექტრონები წარმოიქმნება ატმოსფეროში კომპტონის გამა სხივების გაფანტვით. მაგრამ შემდეგ, 1927 წელს, ჯავადან ნიდერლანდებში მიცურვისას, იაკობ კლეიმ აღმოაჩინა მტკიცებულება, მოგვიანებით დადასტურდა მრავალ ექსპერიმენტში, რომ კოსმოსური სხივების ინტენსივობა იზრდება ტროპიკებიდან შუა განედებამდე, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ პირველადი კოსმოსური სხივები გადახრილია გეომაგნიტური ველის მიერ და ამიტომ უნდა იყოს დამუხტული ნაწილაკები და არა ფოტონები. 1929 წელს ბოტემ და კოლჰორსტერმა აღმოაჩინეს კოსმოსური სხივების დამუხტული ნაწილაკები, რომლებსაც შეეძლოთ 4,1 სმ ოქროს შეღწევა. ასეთი მაღალი ენერგიის დამუხტული ნაწილაკები ვერ წარმოიქმნება ფოტონებით მილიკანის მიერ შემოთავაზებული ვარსკვლავთშორისი შერწყმის პროცესიდან, 1920-იან წლებში ტერმინი *კოსმოსური სხივები* გამოიგონა რობერტ მილიკანმა, რომელმაც გაზომა იონიზაცია კოსმოსური სხივების გამო, წყლის სიღრმეებიდან დიდ სიმაღლეებამდე და მთელს მსოფლიოში. მილიკანი თვლიდა, რომ მისი გაზომვები ადასტურებდა, რომ პირველადი კოსმოსური სხივები გამა სხივები იყო; ანუ ენერგიული ფოტონები. და მან შემოგვთავაზა თეორია, რომ ისინი წარმოიქმნება ვარსკვლავთშორის სივრცეში, როგორც წყალბადის ატომების შერწყმის ქვეპროდუქტები უფრო მძიმე ელემენტებში, და რომ მეორადი ელექტრონები წარმოიქმნება ატმოსფეროში კომპტონის გამა სხივების გაფანტვით. მაგრამ შემდეგ, 1927 წელს, ჯავადან ნიდერლანდებში მიცურვისას, იაკობ კლეიმ აღმოაჩინა მტკიცებულება, მოგვიანებით დადასტურდა მრავალ ექსპერიმენტში, რომ კოსმოსური სხივების ინტენსივობა იზრდება ტროპიკებიდან შუა განედებამდე, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ პირველადი კოსმოსური სხივები გადახრილია გეომაგნიტური ველის მიერ და ამიტომ

უნდა იყოს დამუხტული ნაწილაკები და არა ფოტონები. 1929 წელს ბოტემ და კოლჰორსტერმა აღმოაჩინეს კოსმოსური სხივების დამუხტული ნაწილაკები, რომლებსაც შეეძლოთ 4,1 სმ ოქროს შეღწევა. ასეთი მაღალი ენერგიის დამუხტული ნაწილაკები ვერ წარმოიქმნება ფოტონებით მილიკანის მიერ შემოთავაზებული ვარსკვლავთშორისი შერწყმის პროცესიდან

ენერგიის განაწილება

ულტრამაღალი ენერგიის პირველადი კოსმოსური სხივების ენერგიისა და მისვლის მიმართულებების გაზომვა *სიმკვრივის შერჩევის* ტექნიკით და ჰაერის ფართო ღვარების *სწრაფი დროით* პირველად განხორციელდა 1954 წელს Rossi Cosmic Ray Group-ის წევრებმა მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში. ექსპერიმენტმა გამოიყენა თერთმეტი სცინტილაციის დეტექტორი, რომლებიც განლაგებულია წრეში 460 მეტრის დიამეტრით, ჰარვარდის კოლეჯის ობსერვატორიის აგასისის სადგურის ტერიტორიაზე. ამ სამუშაოდან და მთელ მსოფლიოში ჩატარებული მრავალი სხვა ექსპერიმენტიდან, ახლა ცნობილია, რომ პირველადი კოსმოსური სხივების ენერგეტიკული სპექტრი ვრცელდება 10^{20} -ზე eV. საჰაერო ღვარის უზარმაზარი ექსპერიმენტი, სახელწოდებით Auger Project, ამჟამად არგენტინის პამპასზე მდებარე ადგილზე ფიზიკოსთა საერთაშორისო კონსორციუმის მიერ მიმდინარეობს. პროექტს ჯერ ხელმძღვანელობდნენ ჯეიმს კრონინი, ჩიკაგოს უნივერსიტეტის 1980 წლის ნობელის პრემიის ლაურეატი ფიზიკაში და ალან უოტსონი ლიდისის უნივერსიტეტიდან, მოგვიანებით კი საერთაშორისო პიერ ოგერის თანამშრომლობის მეცნიერები. მათი მიზანია გამოიკვლიონ ყველაზე მაღალი ენერგიის პირველადი კოსმოსური სხივების თვისებები და მისვლის მიმართულებები. მოსალოდნელია, რომ შედეგებს მნიშვნელოვანი გავლენა ექნება ნაწილაკების ფიზიკასა და კოსმოლოგიაზე, თეორიული გამოგრიზენ-ზაცეპინი-კუზმინი ზღუდავს კოსმოსური სხივების ენერგიას დიდი მანძილიდან (დაახლოებით 160 მილიონი სინათლის წელი), რომელიც ხდება 10^{20} eV-ზე ზემოთ, სამყაროს დიდი აფეთქების წარმოშობის ნარჩენ ფოტონებთან ურთიერთქმედების გამო. ამჟამად პიერ აუგერის ობსერვატორია გადის განახლებას, რათა გაუმჯობესდეს მისი

სიზუსტე და მოიძიოს მტკიცებულება ყველაზე ენერგიული კოსმოსური სხივების ჯერ კიდევ დაუდასტურებელი წარმოშობის შესახებ.

მაღალი ენერგიის გამა სხივები ($>50 \text{ MeV}$ ფოტონები) საბოლოოდ აღმოაჩინეს პირველად კოსმოსურ გამოსხიებაში MIT-ის ექსპერიმენტით, რომელიც ჩატარდა OSO-3 თანამგზავრზე 1967 წელს. პირველადი დამუხტული ნაწილაკების 1%-ზე ბევრად ნაკლები. მას შემდეგ მრავალმა თანამგზავრმა გამა-სხივების ობსერვატორიამ მოახდინა გამა-სხივების ცის რუკა. უახლესი არის ფერმის ობსერვატორია, რომელმაც შექმნა რუკა, რომელშიც ნაჩვენებია გამა სხივების ინტენსივობის ვიწრო ზოლი, რომელიც წარმოიქმნება ჩვენი გალაქტიკის დისკრეტულ და დიფუზურ წყაროებში და მრავალი წერტილის მსგავსი ექსტრაგალაქტიკური წყარო, რომელიც განაწილებულია ციურ სფეროზე.

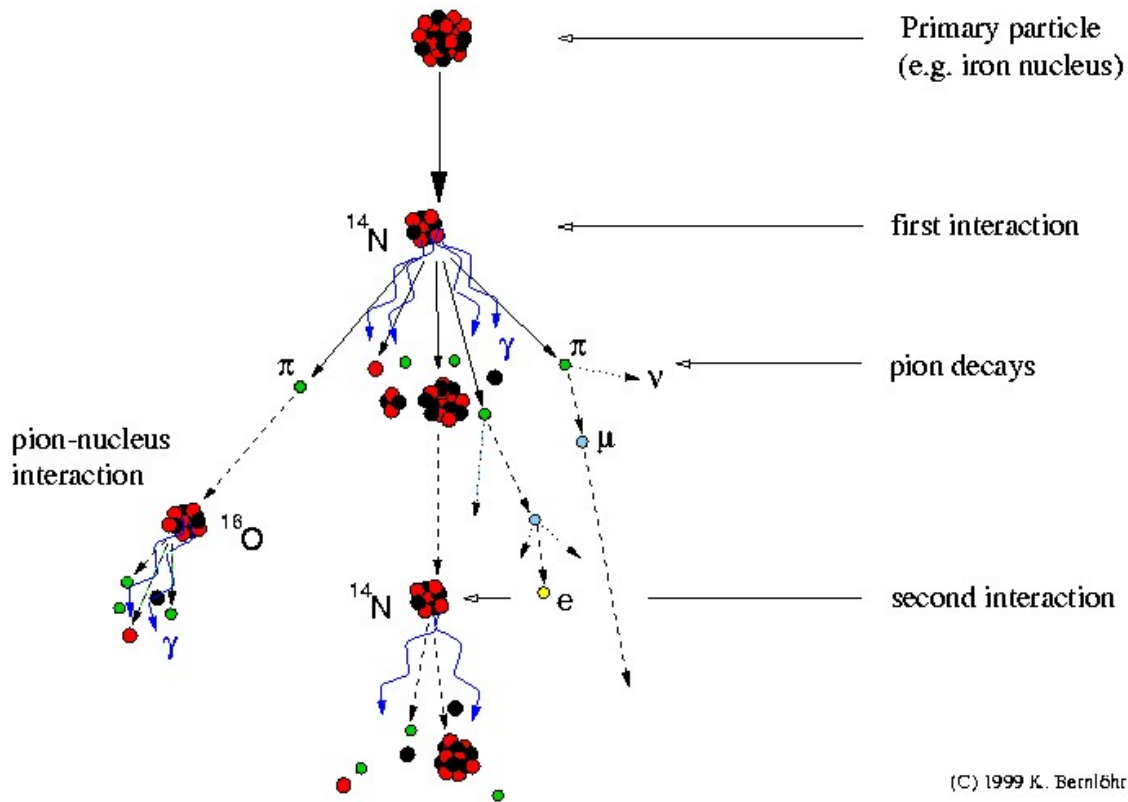
ტიპები

კოსმოსური სხივები შეიძლება დაიყოს ორ ტიპად:

- **გალაქტიკური კოსმოსური სხივები (GCR)** და **ექსტრაგალაქტიკური კოსმოსური სხივები** , ანუ მზის სისტემის გარეთ წარმოქმნილი მაღალი ენერგიის ნაწილაკები და
- **მზის ენერგეტიკული ნაწილაკები** , მაღალი ენერგიის ნაწილაკები (ძირითადად პროტონები), რომლებიც გამოიყოფა მზისგან, ძირითადად მზის ამოფრქვევისას .

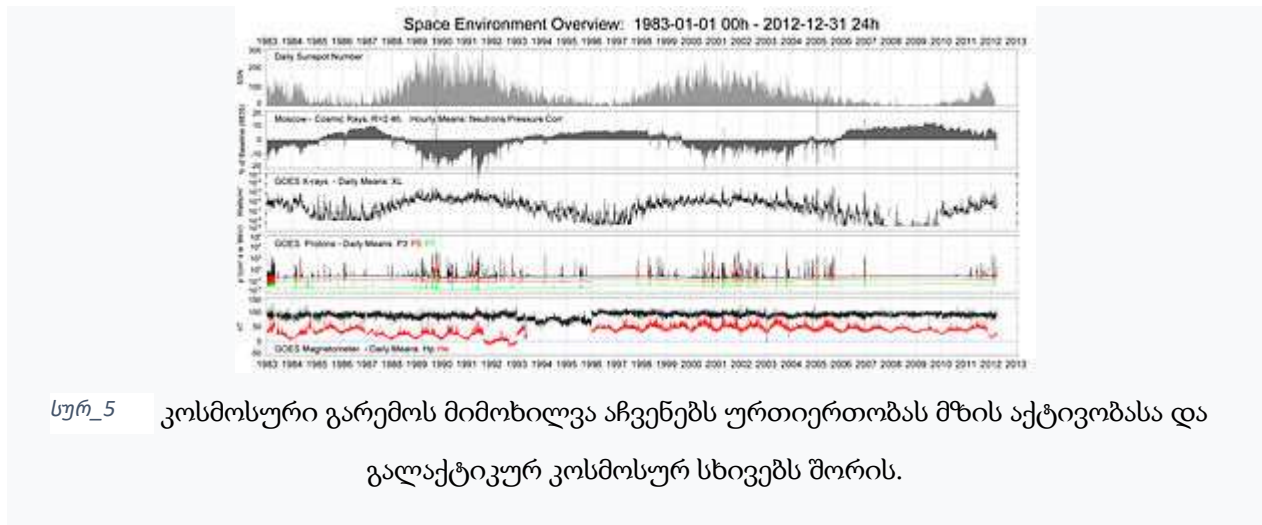
თუმცა, ტერმინი "კოსმოსური სხივი" ხშირად გამოიყენება მხოლოდ ექსტრამზის ნაკადის აღსანიშნავად.

Development of cosmic-ray air showers

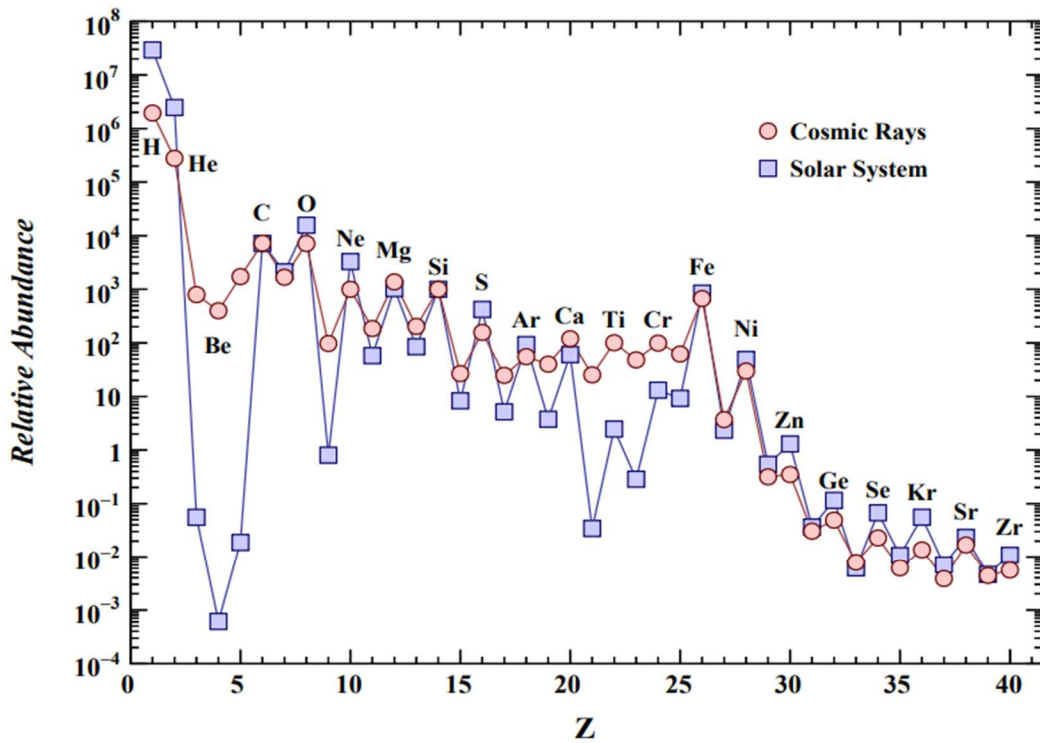


კოსმოსური სხივები წარმოიქმნება როგორც პირველადი კოსმოსური სხივები, რომლებიც თავდაპირველად წარმოიქმნება სხვადასხვა ასტროფიზიკურ პროცესებში. პირველადი კოსმოსური სხივები შედგება ძირითადად პროტონებისა და ალფა ნაწილაკებისგან (99%), მცირე რაოდენობით მძიმე ბირთვებით ($\approx 1\%$) და პოზიტრონებისა და ანტიპროტონების უკიდურესად მცირე პროპორციით. მეორადი კოსმოსური სხივები, რომლებიც გამოწვეულია პირველადი კოსმოსური სხივების დაშლით ატმოსფეროზე ზემოქმედებისას, მოიცავს ფოტონებს, ლეპტონებს და ჰადრონებს, როგორცაა ელექტრონები, პოზიტრონები, მიონები და პიონები. ამ უკანასკნელთაგან სამი პირველად აღმოაჩინეს კოსმოსურ სხივებში.

კოსმოსური სხივების შემადგენლობა



30. Cosmic Rays



სურ_6 Cosmic ray elemental abundances compared to abundances in present-day solar system material. Abundances are normalised to Si=10³. Cosmic ray abundances are from AMS-02 (H,He) [3,17], ACE/CRIS (Li-Ni) [18,19], and TIGER/SuperTIGER (Cu-Zr) [20,21]. Solar system abundances are from Table 6 of Ref. [22].

ატმოსფეროს ზედა ნაწილში შემომავალი კოსმოსური სხივების ნაკადი დამოკიდებულია მზის ქარზე, დედამიწის მაგნიტურ ველზე და კოსმოსური სხივების ენერგიაზე. მზიდან ≈ 94 AU დაშორებით, მზის ქარი განიცდის გადასვლას, რომელსაც ეწოდება შეწყვეტის შოკი, ზებგერითი სიჩქარიდან ქვებგერითამდე. რეგიონი შეწყვეტის შოკსა და ჰელიოპაუზას შორის მოქმედებს როგორც ბარიერი კოსმოსური სხივებისთვის, რაც ამცირებს ნაკადს ქვედა ენერგიაზე (≤ 1 გეე) დაახლოებით 90%-ით. თუმცა, მზის ქარის სიძლიერე არ არის მუდმივი და, შესაბამისად, დაფიქსირდა, რომ კოსმოსური სხივების ნაკადი დაკავშირებულია მზის აქტივობასთან.

გარდა ამისა, დედამიწის მაგნიტური ველი მოქმედებს კოსმოსური სხივების გადახრის მიზნით მისი ზედაპირიდან, რაც იწვევს დაკვირვებას, რომ ნაკადი აშკარად არის დამოკიდებული გრძედზე, განედისა და აზიმუტის კუთხეზე.

ყველა აღნიშნული ფაქტორის ერთობლივი ეფექტი ხელს უწყობს კოსმოსური სხივების ნაკადს დედამიწის ზედაპირზე. მონაწილე სიხშირეების შემდეგი ცხრილი აღწევს პლანეტამდე და დასკვნა ხდება მიწამდე მიმავალი დაბალი ენერგიის გამოსხივებიდან

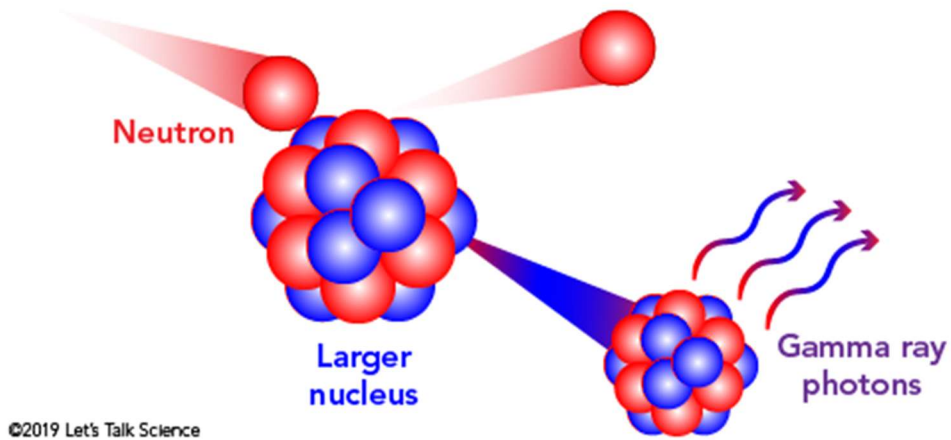
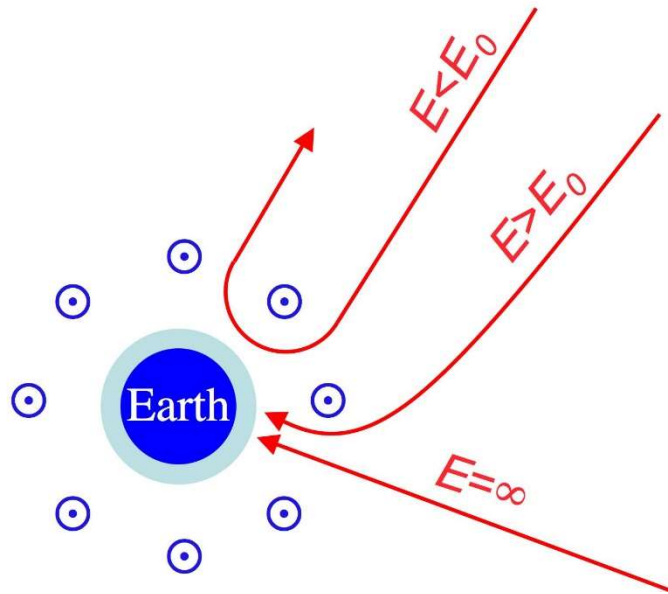
როგორ მუშაობს ნეიტრონების ელასტიური გაფანტვა?

ელასტიური შეჯახება არის ბილიარდის ბურთის მსგავსი შეჯახება, რომელიც იწვევს სამიზნე ბირთვს და გავლენას ახდენს ნეიტრონის გაზიარების კინეტიკურ ენერგიაზე. შეჯახება ელასტიურია, თუ შეჯახების შემდეგ ნეიტრონისა და ბირთვის კინეტიკური ენერგიის ჯამი უდრის ამ რაოდენობების ჯამს შეჯახებამდე. ეს ნიშნავს, რომ კინეტიკური ენერგია შენარჩუნებულია.

ენერგიის მაქსიმალური გადაცემა არის მაშინ, როდესაც გადადის მთლიანი ენერგიის დაახლოებით ნახევარი. ეს ხდება მაშინ, როდესაც ნეიტრონი ეჯახება თანაბარი მასის ბირთვს, კერძოდ წყალბადის ატომს.

როდესაც ნეიტრონი ეჯახება წყალბადის ბირთვს, თავად პროტონები მაიონებული ხდება. ეს იმიტომ ხდება, რომ მათი ენერგეტიკული დონე და მუხტი საშუალებას აძლევს მათ ურთიერთქმედონ მატერიის ელექტრონებთან. ნეიტრონები ბრუნდებიან და შენეულდებიან მსუბუქი ბირთვებით ელასტიური გაფანტვის გამო. სწორედ ამიტომ წყალბადით

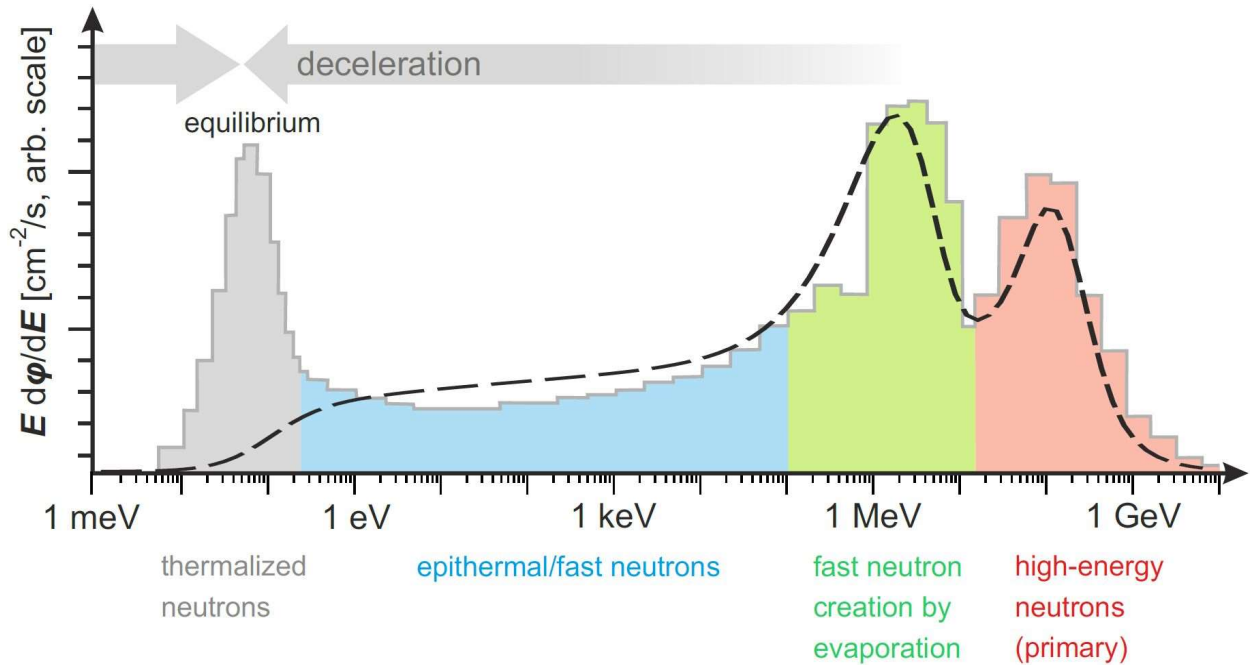
მდიდარი მასალები, როგორცაა წყალი (H_2O), პოლიეთილენი (C_2H_4)
და ბეტონი, კარგ იცავს ნეიტრონული გამოსხივებისგან.



Cosmic Ray Neutron Sensing (CRNS) არის ახალი ტექნიკა ნიადაგის ტენიანობის დასადგენად და პერსპექტიული ინსტრუმენტი ჰიდროლოგიური და გარემოსდაცვითი აპლიკაციებისთვის, ზომიერი ნეიტრონული დეტექტორების გამოყენებით ეპითერმული/სწრაფი ნეიტრონების ალბედოს ნაკადის გასაზომად. კოსმოსური გამოსხივება ყველგან არის დედამიწაზე და წარმოქმნის ნეიტრონებს, რომლებიც ურთიერთქმედებენ ატმოსფეროსა და მიწასთან. ეს ნეიტრონები ძირითადად წარმოიშვა მეორადი ნეიტრონების კასკადიდან, მაღალი ენერგიის პირველადი კოსმოსური სხივების ატმოსფეროსთან ურთიერთქმედების შედეგად. მეორადი ნეიტრონები აგრძელებენ ენერგიის დაკარგვას ატმოსფეროსა და ნიადაგის ბირთვებთან მრავალი შეჯახების დროს, რაც იწვევს ენერგიებს ეპითერმული და სწრაფი ენერგიის დიაპაზონში (1 eV-დან 10^5 eV). ასეთები ძალიან მგრძობიარეა წყალბადის მიმართ, რომელიც აქცევს ნეიტრონის დეტექტორებს Bonner Spheres-ის პრინციპის გამოყენებით ეფექტურ მარიონეტებად გარემო წყლის შემცველობის ცვლილებისთვის. დეტექტორი, როგორც წესი, დამონტაჟებულია მიწის ზედაპირიდან 1-2 მეტრის სიმაღლეზე, რაც უზრუნველყოფს მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ალბედოს ნეიტრონების შორი ველის რადიაციის მიმართ, რომლებმაც შემდგომ ათეულობით დეციმეტრამდე შეაღწიეს ნიადაგში. მაშასადამე, ნეიტრონების დათვლის მაჩვენებელი წარმოადგენს ფესვის ზონაში წყლის საშუალო შემცველობას რამდენიმე ათეულ ჰექტარზე. ბოლო წლებში განვითარებულმა განვითარებამ გამოიწვია მეთოდის უზარმაზარი წარმატება მისი დიდი ნაკვალევის, დაბალი შენარჩუნებისა და არაინვაზიური ხასიათის გამო.

მიწისზედა ნეიტრონების ენერგიის სპექტრი შეიძლება დაიყოს სამ რეჟიმად, მაღალენერგიულ ნეიტრონებს დაახლოებით 100 მევ, აორთქლების ნეიტრონებს დაახლოებით 1 მევ და დაბალი ენერგიის ნეიტრონებს, რომლებიც გარემოსთან თერმულ წონასწორობაში არიან (0,5 ევ-ზე ნაკლები). ეპითერმული და სწრაფი ნეიტრონები განსაკუთრებით მგრძობიარეა ენერგიის დაკარგვის მიმართ წყალბადთან ელასტიური შეჯახების შედეგად და აქვთ ენერგია 0,5 ევ-დან 100 კევ-მდე. ვინაიდან ნიადაგის ტენიანობა წყალბადის ერთ-ერთი ყველაზე დიდი წყაროა ხმელეთის სისტემებში, ის დიდ გავლენას ახდენს ატმოსფეროს ქვედა ნაწილში სწრაფი ნეიტრონების

არსებობაზე. ამრიგად, სწრაფი ნეიტრონების სიმკვრივის შედარებითი ცვლილებები მჭიდრო კავშირშია ნიადაგის ტენიანობის ცვლილებებთან.

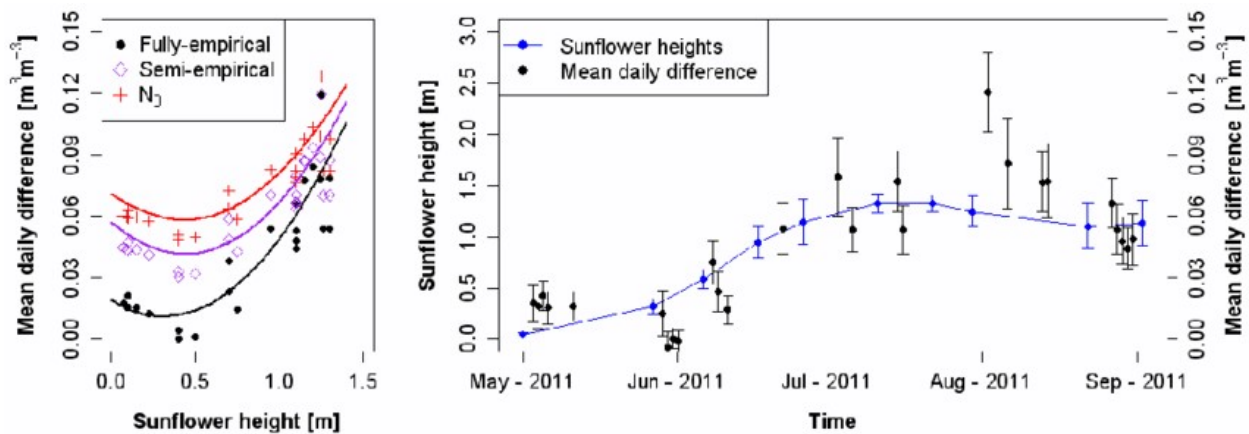


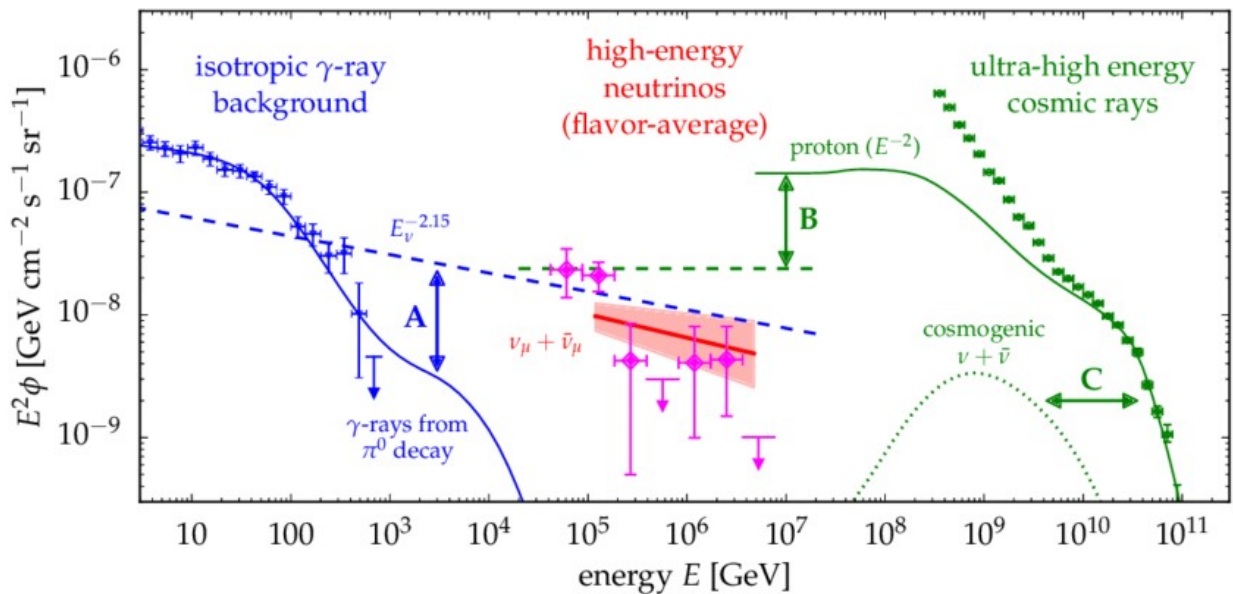
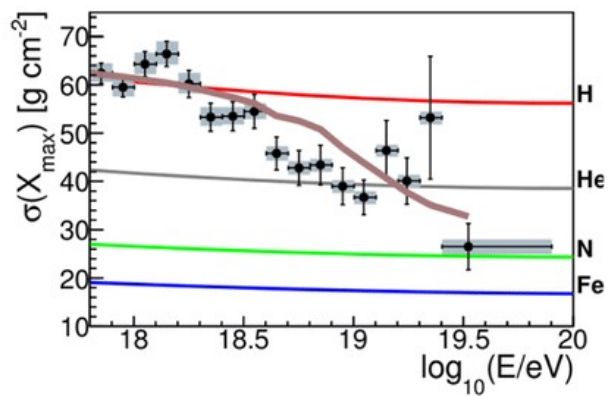
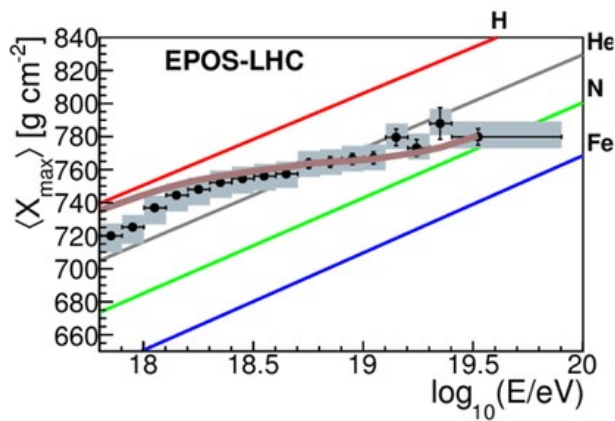
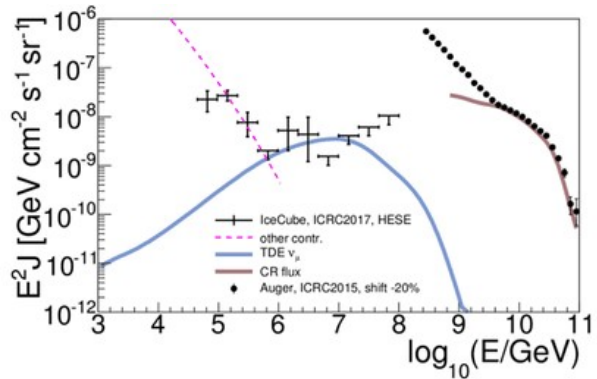
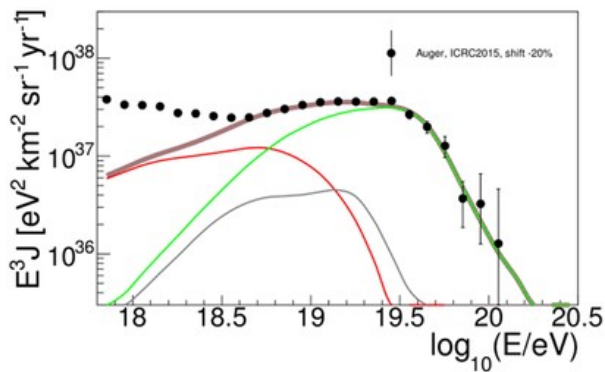
ნეიტრონები არ ტოვებენ კვალს მატერიაში მოგზაურობისას. ისინი ჯერ უნდა გარდაიქმნას მაღალ ენერგიულ იონებად ბირთვული რეაქციების საშუალებით, რათა გაზომვადი გახდნენ. ამ იონების კვალი საბოლოოდ აღმოჩენილია აირისებრ დეტექტორში, როგორცაა მავთულის კამერა ან პროპორციული მრიცხველი. ^3He -ის შემთხვევაში გადამყვანი და მთვლელი აირი იდენტურია, რაც იწვევს ძალიან მარტივ სისტემას: A მან შეავსო პროპორციული მრიცხველი. განივი განყოფილება და, შესაბამისად, პირველადი ბირთვული რეაქციის გარდაქმნის ალბათობა, უკუპროპორციულია ნეიტრონის კინეტიკური ენერგიის კვადრატული ფესვისა. შედეგად, მხოლოდ თერმოლიზებულ ნეიტრონებს აქვთ საკმარისად დაბალი ენერგიები, რათა შეხვდნენ კონვერტაციის რეაქციას საკმარისად მაღალი ალბათობით,

რომ ეფექტურად აღმოაჩინონ. ასე რომ, ერთი მხრივ, ნეიტრონული დეტექტორები ძირითადად მგრძობიარეა თერმული ნეიტრონების მიმართ. მეორეს მხრივ, მხოლოდ თერმული ნეიტრონების გაზომვა არ არის ძალიან სასარგებლო CRNS-ის მიზნებისთვის, რადგან მათი ადგილობრივი სიმკვრივე მხოლოდ სუსტად არის დამოკიდებული მიმდებარე მიწის ტენიანობაზე შორეულ ველზე. ამის საპირისპიროდ, უფრო მაღალი ენერგიული ნეიტრონების, ძირითადად ეპითერმული ნეიტრონების ადგილობრივი სიმკვრივე ძლიერ დამოკიდებულია ნიადაგის ტენიანობაზე. ამიტომ გარდაუვალია ნეიტრონული დეტექტორის შემოვლება მოდერატორით, სამწუხაროდ, ^3He -ის ხელმისაწვდომობა საკმაოდ შეზღუდულია ეგრეთ წოდებული ჰელიუმ-3 კრიზისის შემდეგ. დღეს, ათი წლის შემდეგ, ^3He -ზე დაფუძნებული ნეიტრონული მრიცხველები ჯერ კიდევ არსებობს, მაგრამ ისინი ძალიან ძვირია იმისათვის, რომ იყოს ხელმისაწვდომი ტექნოლოგია CRNS-ში მასობრივი დაფარვისთვის. მას შემდეგ მრავალი ძალისხმევა განხორციელდა ^3He -ზე დაფუძნებული ნეიტრონული დეტექტორების შემცვლელი ტექნოლოგიის შესაქმნელად. დიდი აღმოჩენის მოცულობისა და მასობრივი წარმოებისთვის მხოლოდ ^{10}B -ზე დაფუძნებული ნეიტრონული დეტექტორები შეიძლება შეიქმნას, როგორც კონვერტორი. თუმცა ზოგიერთმა შეცვალა ^3He -ის პროპორციული მრიცხველის მიღები პროპორციული მრიცხველის მიღებით 3-ჯერ უფრო დიდი მოცულობით და შეავსო $^{10}\text{BF}_3$ -ით. მე⁻³ შემთხვევისგან განსხვავებით მასზე დაფუძნებული ნეიტრონული დეტექტორები, $^{10}\text{BF}_3$ ემსახურება მხოლოდ როგორც ნეიტრონის გადამყვანს და არა როგორც მთვლელ გაზს, რომელიც უნდა დაემატოს. $^{10}\text{BF}_3$ ხსნარს ორი მინუსი აქვს ^3He -სთან შედარებით. BF_3 გაზი ძალიან ტოქსიკურია, რაც იწვევს შეშფოთებას CRNS-ში გამოყენების შესაძლებლობის შესახებ. გადიდებული მოცულობითაც კი, დათვლის სიჩქარე არის ^3He -ის დაყენების მხოლოდ 60%. შედარებით ცუდი ეფექტურობა ძირითადად გამოწვეულია იმით, რომ ბორის ტრიფტორიდი მოქმედებს მხოლოდ დაბალ (ნაწილობრივ) წნევაზე, დაახლოებით ერთი ატმოსფეროს ქვემოთ, როგორც მთვლელი აირი. ასევე ^{10}B ნეიტრონის გარდაქმნის ჯვარი მონაკვეთი არის მხოლოდ 72% 3 -თან შედარებით. განსხვავებული მიდგომაა მყარი ^{10}B , როგორც კონვერტორის გამოყენება მარტივი მთვლელი გაზთან ერთად. გარდაქმნის

იონები უნდა გაიქცნენ მიმდებარე აირში, რათა აღმოაჩინონ. ეს ზღუდავს ¹⁰B ფენის სისქეს მიკრომეტრამდე, რაც იწვევს თერმული ნეიტრონების კონვერტაციის ეფექტურობას დაახლოებით 5%-ს, ჰელიუმთან შედარებით ერთი მეათედი. შესაბამისად, ეფექტური დეტექტორისთვის ნეიტრონის ფრენის გზა უნდა გადაკვეთოს მრავალი გადამყვანი ფენა. ამ მოთხოვნის შესასრულებლად საკმაოდ განსხვავებული დიზაინი შემუშავდა და ოპტიმიზირებულია სხვადასხვა აპლიკაციებისთვის. ევროპული სპალაციის წყარო თავისი უზარმაზარი, ჯერ-ჯერობით ინსტრუმენტული არეალით გადავიდა დეტექტორების უმეტესობის აშენებაზე ბორის კარბიდის მყარი ფენების საფუძველზე.

იონები უნდა გაიქცნენ მიმდებარე აირში, რათა აღმოაჩინონ. ეს ზღუდავს ¹⁰B ფენის სისქეს მიკრომეტრამდე, რაც იწვევს თერმული ნეიტრონების კონვერტაციის ეფექტურობას დაახლოებით 5%-ს, ჰელიუმთან შედარებით ერთი მეათედი. შესაბამისად, ეფექტური დეტექტორისთვის ნეიტრონის ფრენის გზა უნდა გადაკვეთოს მრავალი გადამყვანი ფენა. ამ მოთხოვნის შესასრულებლად საკმაოდ განსხვავებული დიზაინი შემუშავდა და ოპტიმიზირებულია სხვადასხვა აპლიკაციებისთვის. ევროპული სპალაციის წყარო თავისი უზარმაზარი, ჯერ-ჯერობით ინსტრუმენტული არეალით გადავიდა დეტექტორების უმეტესობის აშენებაზე ბორის კარბიდის მყარი ფენების საფუძველზე.



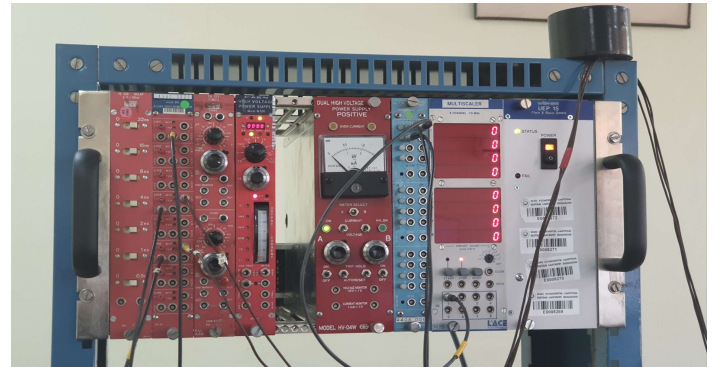


ექსპერიმენტი

ექსპერიმენტები ჩატარდა მაღალი ენერგიების ფიზიკის ინსტიტუტის ლაბორატორიაში, 3 არხიან დისკრიმინატორზე



სურ_7 სამ არხიანი დისკრიმინატორი



სურ_7 დისკრიმინატორი

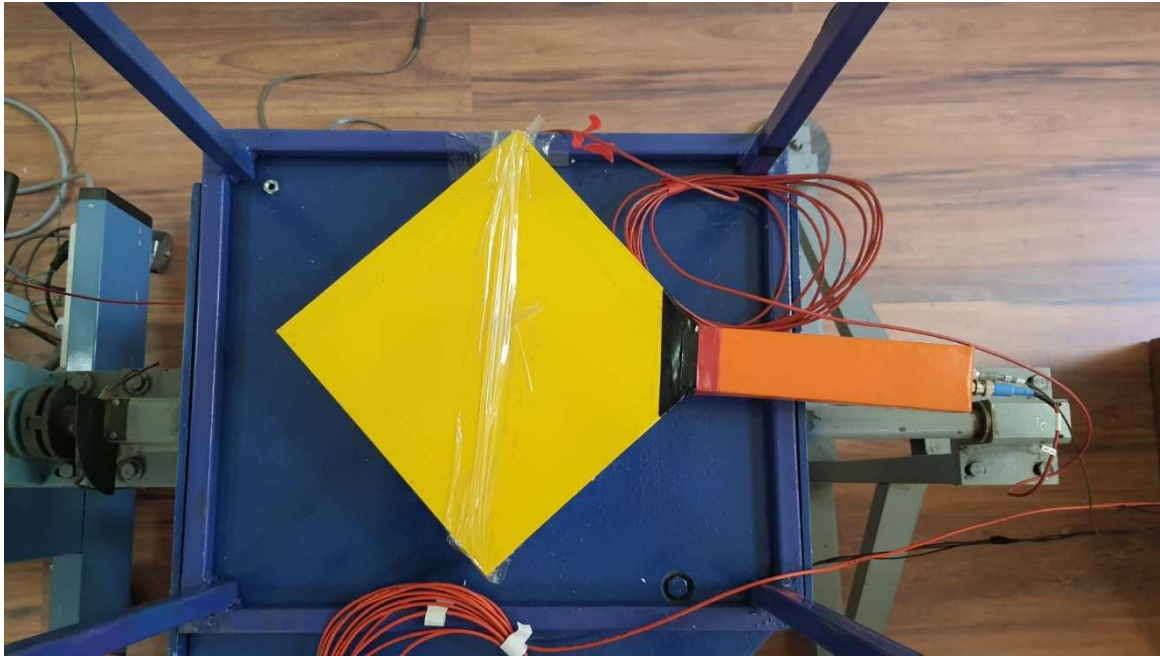
სანამ უშუალოდ ექსპერიმენტს დავიწყებდით გამოვიკვლიეთ შესაბამისი პარამეტრები როგორცაა სამუშაო ძაბვა და ბნელი დენი. სამუშაო ძაბვის დასადგენა ჩავატარე გაზომვები სხვადასხვა ძაბვაზე 50 ვოლტიანი ძაბვის იტერვალებით, ძირითადად 800-დან 2000-მდე ვოლტის ფარგლებში მუშაობს კოსმოსური სხივების დისკრიმინატორები, ჩვენს შემთხვევაში გაზომვები ჩავატარეთ 1000 დან 1800 ვოლტის ფარგლებში გაზომვებმა მოგვცა შედეგი რომ გამოჩენილიყო პლატო, გრაფიკის მიხედვით სამუშაო ძაბვა მივიღეთ რომ 1400 ვოლტი. დეტექტორზე ხდება მიუონების ნაკადის დეტექტირება და შემდგომ შედეგების დამუშავება სამუშაოს ჩასატარებლად. კოსმოსური ნაკადის მიიღება LACE SC 700 ტიპის მთვლელზე, გრაფიკული გამოსახულება მიიღება დისკრიმინატორზე სტაციონალური ოსცილოგრაფზე და ასევე არასტაციონალურ ოსცილოგრაფზე



სურ_8 მთვლელი

რათა მიღებული შედეგები გადაგვეტანა კომპიუტერში რათა დაგვემუშავებინა. ნაკადი

მიიღება ფოტოგამამრავლებიდან რომლის გამოსახულებაც ნაჩვენებია ფოტოზე.



სურ_9 ფოტოგამამრავლებელი

ფოტოგამრავლები (PMTs) კოსმოსური სხივების ნაკადისთვის გამოიყენება, როგორც სიგნალების წყარო, რომელიც აღმოჩენილია უშუალოდ PMT-ის მიერ (სკინტილატორის გარეშე).

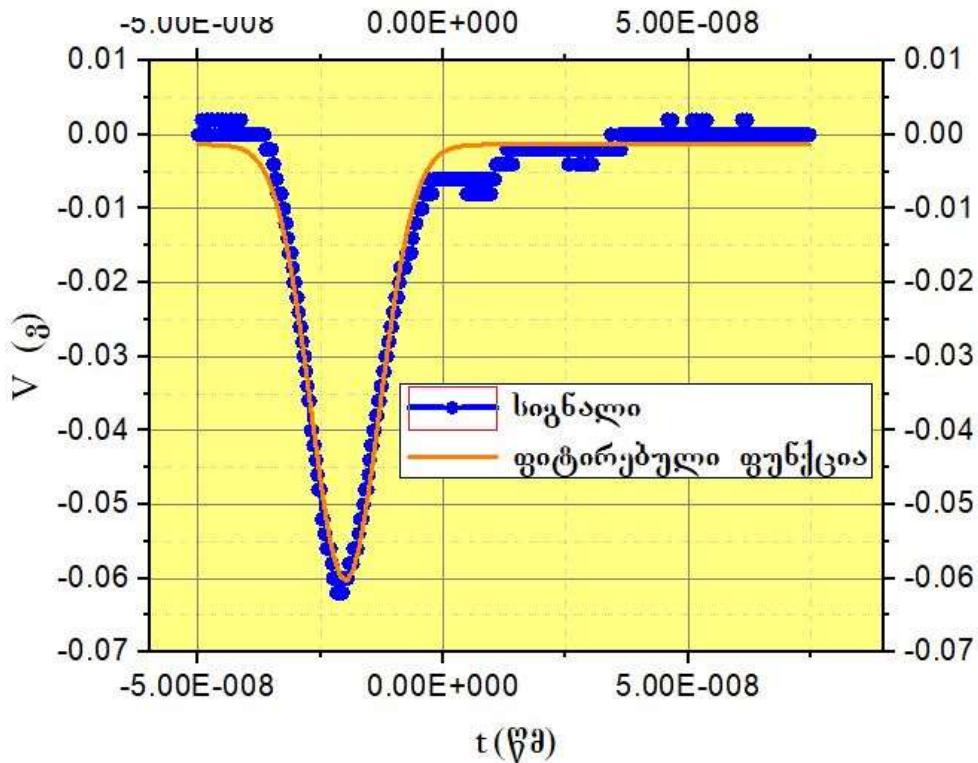
თანხვედრის სტენტი

მიუოენბის ნაკადის ფილტრაცია და თანხვედრას ვახდენთ სტენტის გამოყენებით, სტენტი ვიზუალური გამოსახულება ნაჩვენებია ფოტოზე. სურათ 8-ზე, სტენტი შედგება ხის ყუთისგან შემდგარი მართკუთხედის ფორმის, ფილტრაციისთვის გამოყენებულია რკინის ერთ სანტიმეტრიანი ფირფიტებისგან და ეს ფირფიტები ეყრდნობა ბორბლებიან „ურეკას“ რომელიც მოძრაობს სტენტლის შიდა მხარეს. იმისთვის რომ გაგვერკვია რა შედეგს მოგვცემდა

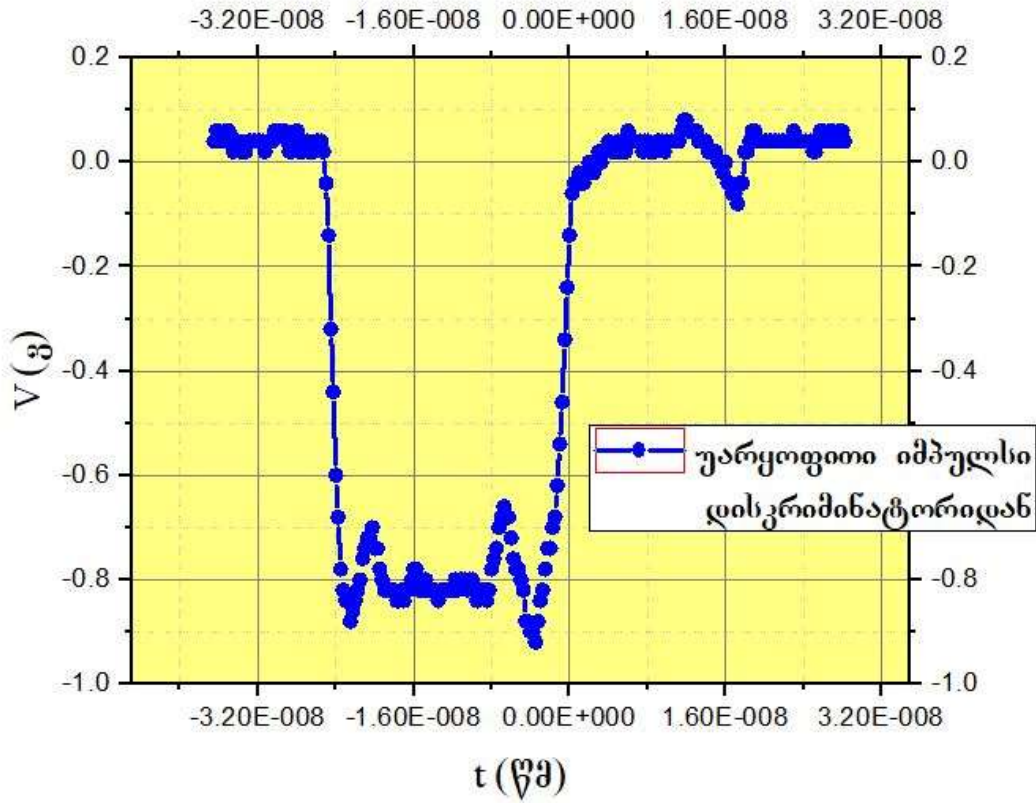
რეგისტრატორზე ყოველი ნაკადის შემდგომ თითო ფირფიტან ნაკადების მიმართლებით ნაცურებდით, შედეგები მოცემული ფოტოებში. შედეგებში ძაბვის დამოკიდებული დროაზეა ნაჩვენები,



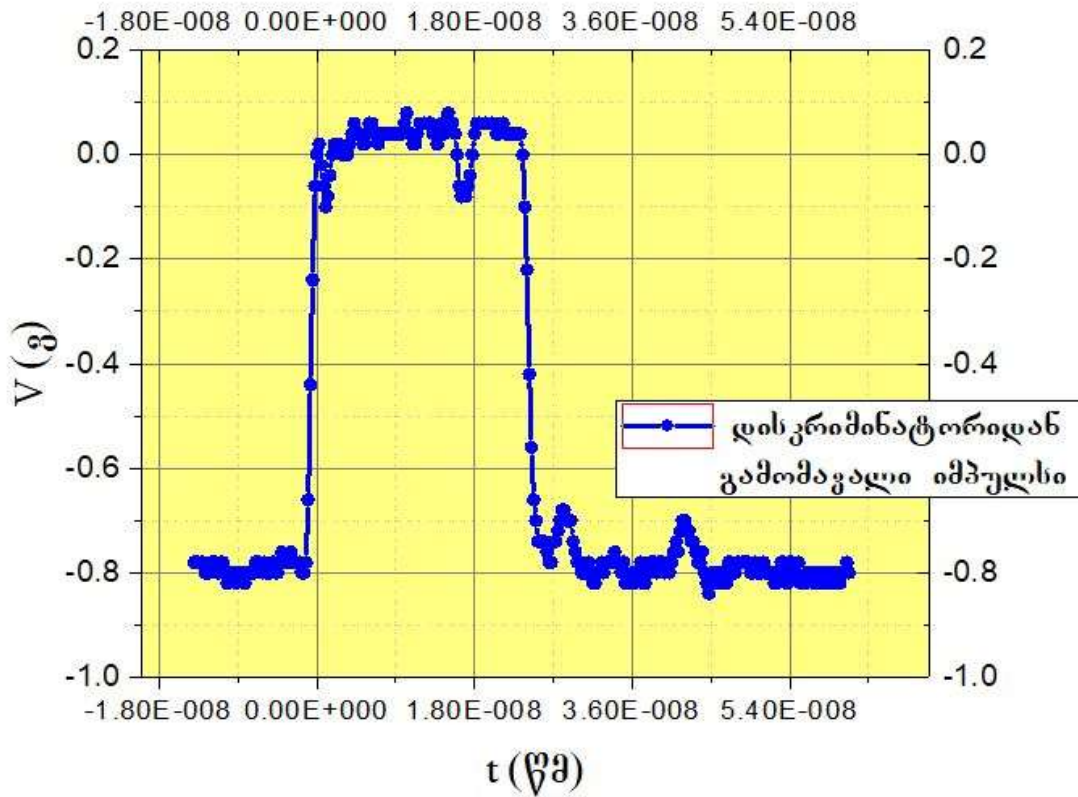
სურ_8 სტენტი



სურ_9 1000 ვოლტიდან 1800ვოლტამდე მიღებული შედეგები



სურ_10.1 1400 ვოლტზე მიღებული შედეგები ფირფიტების თანხვედრის შემთხვევაში



სურ_10.1 1400 ვოლტზე მიღებული შედეგები ფირფიტების თანხვედრის შემთხვევაში

მიუონები

მიუონი მიუონი არის ნაწილაკი, ელექტრული მუხტით $-1 e$ და სპინი $1/2$, მაგრამ გაცილებით დიდი მასით. ის კლასიფიცირებულია როგორც ლეპტონი. როგორც სხვა ლეპტონებს, მიონს არ აქვს რაიმე ქვესტრუქტურა - ანუ არ არის მიჩნეული, რომ იგი შედგება რაიმე მარტივი ნაწილაკებისგან. მიონი არის არასტაბილური სუბატომური ნაწილაკი საშუალო სიცოცხლის ხანგრძლივობით $2.2 \mu s$, ბევრად უფრო გრძელი ვიდრე ბევრი სხვა სუბატომური ნაწილაკი. ისევე როგორც არაელემენტარული ნეიტრონის დაშლისას (სიცოცხლის მანძილზე დაახლოებით 15 წუთი), მიონის დაშლა ნელია (სუბატომური სტანდარტებით), რადგან დაშლა ხდება მხოლოდ სუსტი ურთიერთქმედებით. იმის გამო, რომ მასის სხვაობა მიონსა და მისი დაშლის პროდუქტების სიმრავლეს შორის მცირეა, რაც უზრუნველყოფს დაშლის თავისუფლების რამდენიმე კინეტიკურ ხარისხს. მიუონის დაშლა თითქმის ყოველთვის წარმოქმნის მინიმუმ სამ ნაწილაკს, რომელიც უნდა შეიცავდეს იმავე მუხტის ელექტრონს, როგორც მიონი და ორი ტიპის ნეიტრონო. ისევე როგორც ყველა ელემენტარულ ნაწილაკს, მიონს აქვს საპირისპირო მუხტის შესაბამისი ანტინაწილაკი ($+1 e$), მაგრამ თანაბარი მასისა და სპინის: ანტიმიონი, მიონები აღინიშნება μ^- და ანტიმიონების მიერ μ^+ . მიონებს აქვთ მასა $105,66 \text{ MeV}/c^2$, რაც დაახლოებით 207-ჯერ აღემატება ელექტრონს.

მიუონების წყაროდ შეიძლება ჩაითვალოს დედამიწის ზედაპირზე ჩამოსული ირიბად იქმნება, როგორც კოსმოსური სხივების დედამიწის ატმოსფეროს ნაწილაკებთან შეჯახების ნაწილაკებში, დაახლოებით წუთში დედამიწის ზედაპირის ყოველ კვადრატულ მეტრს აღწევს დაახლოებით 10000 მიუონი; ეს დამუხტული ნაწილაკები წარმოიქმნება როგორც კოსმოსური სხივების პროდუქტი რომლებიც ატმოსფეროს ზედა ნაწილში მყოფ მოლეკულებს ეჯახება. რელატივისტური სიჩქარით მოგზაურობისას, მიონებს შეუძლიათ შეაღწიონ ათობით მეტრი კლდეებში და სხვა მატერიაში, სანამ შესუსტდებიან სხვა ატომების მიერ შთანთქმის ან გადახრის შედეგად. როდესაც კოსმოსური სხივის პროტონი ზემოქმედებს ატმოსფეროს ზედა ატომის ბირთვებზე, იქმნება პიონები. ისინი იშლება

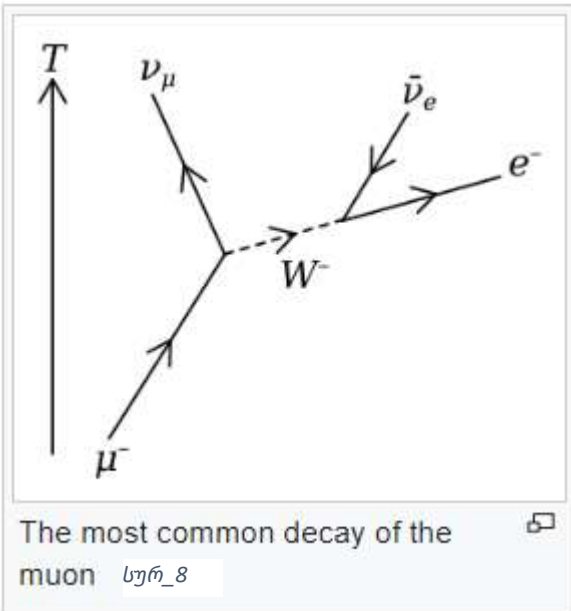
შედარებით მცირე მანძილზე (მეტრებში) მიონებად და მიონური ნეიტრინოებად . ამ მაღალენერგეტიკული კოსმოსური სხივების მიონები ჩვეულებრივ აგრძელებენ დაახლოებით იმავე მიმართულებით, როგორც თავდაპირველი პროტონი, სინათლის სიჩქარის მიახლოებითი სიჩქარით . მიუხედავად იმისა, რომ მათი სიცოცხლე რელატივისტური ეფექტების გარეშე საშუალებას მისცემს ნახევრად გადარჩენის მანძილს მხოლოდ დაახლოებით 456 მეტრი ($2,197 \mu\text{s} \times \ln(2) \times 0,9997 \times c$) მაქსიმუმ ფარდობითობის განსაკუთრებული დროის გაფართოების ეფექტი. საშუალებას აძლევს კოსმოსური სხივების მეორად მიონებს გადარჩეს დედამიწის ზედაპირზე ფრენისას, რადგან დედამიწის ჩარჩოში მიონებს აქვთ უფრო გრძელი ნახევარგამოყოფის პერიოდი მათი სიჩქარის გამო. მეორეს მხრივ, მიონის თვალსაზრისით, ეს არის სპეციალური ფარდობითობის სიგრძის შეკუმშვის ეფექტი, რომელიც იძლევა ამ შედეგის საშუალებას, რადგან მიონის ჩარჩოში მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა არ მოქმედებს, მაგრამ სიგრძის შეკუმშვა იწვევს დისტანციებს ატმოსფეროში და დედამიწა ამ დისტანციებზე გაცილებით მოკლე უნდა იყოს დედამიწის დასვენების ჩარჩოში. დედამიწაზე მოხვედრის შემდგომ მიუნის დაშლა ხდება და როგორ მიმდინარეობს ეს პროცესი, მიონები არასტაბილური ელემენტარული ნაწილაკებია და უფრო მძიმეა ვიდრე ელექტრონები და ნეიტრინოები, მაგრამ მსუბუქია ვიდრე ყველა სხვა მატერიის ნაწილაკი. ისინი იშლება სუსტი ურთიერთქმედების შედეგად . იმის გამო , რომ ლეპტონური ოჯახის რიცხვები შენარჩუნებულია მიონის დაშლის პროდუქტის ნეიტრინოდან ერთი უნდა იყოს მიონის ტიპის ნეიტრინო, ხოლო მეორე ელექტრონის ტიპის ანტინეიტრინო იმის გამო, რომ მუხტი შენარჩუნებული უნდა იყოს, მიონის დაშლის ერთ-ერთი პროდუქტი ყოველთვის არის მიონის იგივე მუხტის ელექტრონი. ამრიგად, ყველა მიონი იშლება მინიმუმ ელექტრონამდე და ორ ნეიტრინომდე. ზოგჯერ, გარდა ამ აუცილებელი პროდუქტებისა, წარმოიქმნება დამატებითი სხვა ნაწილაკები, რომლებსაც არ აქვთ წმინდა მუხტი და ნულის სპინი. მიონის დაშლის დომინანტური რეჟიმი არის უმარტივესი შესაძლო: მიონი იშლება ელექტრონამდე, ელექტრონის ანტინეიტრინომდე და მუონურ ნეიტრინომდე. ანტიმუონები, სარკისებურად, ყველაზე ხშირად იშლება შესაბამის ანტინაწილაკებამდე: პოზიტრონი , ელექტრონული ნეიტრინო და მიონური ანტინეიტრინო. ფორმულის თვალსაზრისით, ეს ორი დაშლა არის:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

მიონის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა, $\tau = \hbar / \Gamma$,

არის $2.196\,9811 \pm 0.000\,0022 \mu\text{s}$.



აკრძალული დაშლა

ზოგიერთი ნეიტრინო დაშლის რეჟიმი კინემატიკურად დაშვებულია, მაგრამ ყველა პრაქტიკული მიზნისთვის აკრძალულია სტანდარტულ მოდელში, თუნდაც იმის გათვალისწინებით, რომ ნეიტრინოს აქვს მასა და რხევა. ლეპტონის არომატის შენარჩუნებით აკრძალული მაგალითებია:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + e^+ + e^- .$$

სტანდარტულ მოდელში ნეიტრინო მასით, დაშლის მსგავსი $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu$ ტექნიკურად შესაძლებელია. ასეთი დაშლის რეჟიმებზე დაკვირვება იქნება ნათელი მტკიცებულება სტანდარტული მოდელის მიღმა არსებული (ფიზიკა სტანდარტული მოდელის მიღმა (BSM) ეხება თეორიულ განვითარებას, რომელიც საჭიროა სტანდარტული მოდელის ნაკლოვანებების ასახსნელად , როგორცაა სტანდარტული მოდელის ფუნდამენტური პარამეტრების ახსნის შეუძლებლობა, ძლიერი CP პრობლემა , ნეიტრინოს რხევები , მატერია-ანტიმატერიის ასიმეტრია .) თეორიებისთვის . ასეთი დაშლის რეჟიმების განშტოებათა ფრაქციების ზედა ზღვარი გაზომილი იყო 50 წელზე მეტი ხნის წინ დაწყებულ მრავალ ექსპერიმენტში.

თეორიული დაშლის მაჩვენებელი

მიონის დაშლის სიგანე , რომელიც გამომდინარეობს ფერმის ოქროს წესიდან , აქვს ენერჯის განზომილება და უნდა იყოს პროპორციული ამპლიტუდის კვადრატისა და,

შესაბამისად, ფერმის დაწყვილების მუდმივის კვადრატის (), ენერჯის შებრუნებული მეოთხე სიმძლავრის საერთო განზომილებით. განზომილებიანი ანალიზით ეს მივყავართ სარჯენტის წესს მეხუთე სიმძლავრის დამოკიდებულების შესახებ m_μ

$$\Gamma = \frac{G_F^2 m_\mu^5}{192\pi^3} I\left(\frac{m_e^2}{m_\mu^2}\right),$$

where $I(x) = 1 - 8x - 12x^2 \ln x + 8x^3 - x^4$,^[14] and:

$$x = \frac{2 E_e}{m_\mu c^2}$$

is the fraction of the maximum energy transmitted to the electron.

ელექტრონის დაშლის განაწილება

მიონის დაშლაში პარამეტრიზებულია ეგრეთ წოდებული მიშელის პარამეტრების გამოყენებით . ამ ოთხი პარამეტრის მნიშვნელობები ცალსახად არის ნაწინასწარმეტყველები ნაწილაკების ფიზიკის სტანდარტულ მოდელში , ამიტომ მიონის დაშლა წარმოადგენს სუსტი ურთიერთქმედების სივრცე-დროის სტრუქტურის კარგ გამოცდას . სტანდარტული მოდელის პროგნოზებიდან გადახრები ჯერ არ არის ნაპოვნი. მიონის დაშლისთვის , მიშელის პარამეტრების სტანდარტული მოდელის მნიშვნელობების მოსალოდნელი დაშლის განაწილება არის

$$\frac{d^2 \Gamma}{dx d \cos \theta} \sim x^2 [(3 - 2x) + P_\mu \cos \theta (1 - 2x)] \quad \text{სადაც} \quad \text{არის კუთხე მიონის პოლარიზაციის}$$

ვექტორს შორის და დაშლის-ელექტრონის იმპულსის ვექტორი და არის მიონების ფრაქცია, რომელიც წინდაწინ პოლარიზებულია. ელექტრონების ენერგიაზე ამ გამოხატვის ინტეგრირება იძლევა შვილობილი ელექტრონების კუთხური განაწილებას:

$$\frac{d\Gamma}{d \cos \theta} \sim 1 - \frac{1}{3} P_\mu \cos \theta.$$

The electron energy distribution integrated over the polar angle (valid for $x < 1$) is

$$\frac{d\Gamma}{dx} \sim (3x^2 - 2x^3).$$

იმის გამო, რომ მიმართულება,

რომლითაც ელექტრონი ემიტირებულია (პოლარული ვექტორი) უპირატესად სწორდება მიონის სპინის საპირისპიროდ (ღერძული ვექტორი), დაშლა არის სუსტი ურთიერთქმედებით პარიტეტის შეუნარჩუნებლობის მაგალითი. ეს არის არსებითად იგივე ექსპერიმენტული ხელმოწერა, როგორც გამოყენებული ორიგინალური დემონსტრირებისას . უფრო ზოგადად, სტანდარტულ მოდელში, ყველა დამუხტული ლეპტონი იშლება სუსტი ურთიერთქმედების შედეგად და ასევე არღვევს პარიტეტის სიმეტრიას.

გამოყენებული ლიტერატურა :

- 1) https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray#:~:text=Cosmic%20rays%20are%20high%2Denergy,galaxy%2C%20and%20from%20distant%20galaxies.
- 2) <https://www.antarcticglaciers.org/glacial-geology/dating-glacial-sediments-2/cosmic-rays/>
- 3) <https://www.vox.com/the-highlight/2019/7/16/17690740/cosmic-rays-universe-theory-science>
- 4) <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/what-are-cosmic-rays>
- 5) <https://en.wikipedia.org/wiki/Muon>
- 6) <https://indico.cern.ch/event/402462/attachments/806290/1104933/JournalClub.pdf>
- 7) <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Particles/neutrino2.html>

დეტექტორების ფიზიკის სასწავლო ლაბორატორია ედიშერ ცხადაძე