



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	25 СЕП 2007
ОРГАНИЗЈЕД:	БРОЈ
0603	9/987

Vremenske varijacije fonske linije na 846,8 keV

- DIPLOMSKI RAD -

Mentor:

Dr IŠTVAN BIKIT

Kandidat:

KOTUŠ SRĐAN

Novi Sad, 2007

Ovom prilikom želim da se zahvalim svima koji su mi pomogli da uradim ovaj diplomski rad. Kao prvo to su profesor dr Miodrag Krmar koji mi je pomogao oko izbora teme i obrade podataka i dr Tijana Prodanović koja mi je sve vreme pomagala u izradi rada. Takođe bih želeo da se zahvalim kolegama sa instituta za fiziku u Zemunu koji su mi pomogli pri izradi periodograma, profesoru dr Jaroslavu Slivki čiji sam program koristio pri obradi podataka i mom mentoru dr Ištvanu Bikitu i svima sa katedre za nuklearnu fiziku i profesorima sa ostalih katedri! Pored toga zahvaljujem se i svojim roditeljima, kolegama i svim svojim prijateljima koji su bili uz mene dok sam studirao i pisao diplomski rad.

Kotuš Srdjan
20.09.2007.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Kosmičko zračenje.....	2
2.1. Primarno kosmičko zračenje.....	2
2.1.1. Galaktičko kosmičko zračenje.....	3
2.1.2. Solarna komponenta kosmičkog zračenja.....	4
2.1.3. Sastav primarnog kosmičkog zračenja.....	5
2.1.4. Energetski spektar kosmičkog zračenja.....	6
2.1.5. Mehanizmi ubrzavanja kosmičkog zračenja.....	9
2.2. Sekundarno kosmičko zračenje.....	12
2.2.1. Nuklearno aktivna grupa.....	12
2.2.2. Tvrda komponenta.....	13
2.2.3. Meka komponenta.....	15
2.2.4. Mioni.....	15
3. Dobijanje podataka.....	17
4. Obrada podataka.....	20
5. Rezultati.....	25
6. Zaključak.....	27
7. Literatura.....	28

1. Uvod

Ideja iza ovog diplomskog rada je bila da se ispita moguća promena fluksa kosmičkog zračenja usled npr. rotacije Sunca, ili usled nekog drugog efekta (neke vrste solarne aktivnosti). Usled interakcije kosmičkog zračenja sa atomima koji se nalaze u atmosferi nastaju razne čestice, među njima su i mioni koji zbog dugog vremena života i malih radijativnih gubitaka dospevaju do površine zemlje. Mioni pri interakciji sa gvozdenom zaštitom u kojoj se nalazi detektor utiču na stvaranje fonske linije na 846.8 keV koja se može videti na spektru koji se beleži. Ova linija nastaje emitovanjem γ fotona sa prvog pobuđenog nivoa ^{56}Fe , koje se pobuđuje putem (n, n') nuklearne reakcije na jezgrima ^{56}Fe , gde neutroni koji se neelastično rasejavaju na jezgrima gvožđa mogu nastati interakcijom visokoenergetskih miona unutar gvozdene zaštite. Identifikacija vremenskih varijacija i moguće periodičnosti u intenzitetu ove linije ukazala bi na varijacije u fluksu solarnog kosmičkog zračenja usled nekog poznatog ili čak nepoznatog efekta kao i potvrđila pretpostavka da ova fonska linija zaista jeste indukovana kosmičkim zračenjem. Fonska linija na 846.8 keV je deo šuma merenja u detektoru s obzirom da potiče iz zaštite detektora, a ne iz samog izvora. Zbog toga je u cilju ispitivanja ove linije bilo bitno koristiti izvore (uzorke) male aktivnosti da bi taj fon što više došao do izražaja. Idealno bi bilo koristiti prazan detektor, ali pošto se ovaj detektor stalno koristi za neka druga merenja, a bio je potreban period merenja od bar godinu dana, morala su se koristiti već postojeća merenja obavljena u neke druge svrhe a koja su imala niske aktivnosti kao što su na primer prehrambeni proizvodi.

U radu su korišćeni spektri mereni u periodu od 22.03.1996. do 02.10.1997. godine. Spektri su sumirani po nedeljama da bi dobili spektar koji je meren dovoljno dugo (veća razlika između intenziteta linije i šuma) i da se od intenziteta te sumirane linije oduzme intenzitet šuma, a potom napravi njen periodogram ove linije i ispitaju moguće varijacije njenog intenziteta i samog fluksa kosmičkog zračenja.

Analizi izloženoj u ovom diplomskom radu je prethodio rad [1] u kojem su sa niskim nivoom poverenja uočeni periodi od 42 i 28 dana. Period od 28 dana je bitan jer se poklapa sa periodom rotacije Sunca, pa je povezan sa varijacijama solarnog kosmičkog zračenja. U ovom diplomskom radu je prvo uočen period od 62 dana koji je takođe imao nizak nivo poverenja. Selekцијом podataka i ponovnim računanjem periodograma uočen je nov period od 48 ± 3 dana koji ima sigurnost veću od 99 %, ali taj period nije fizički povezan ni sa trenutno poznatim solarnim varijacijama ni sa varijacijama kosmičkog zračenja.



2. Kosmičko zračenje

Prva saznanja o kosmičkom zračenju potiču još iz 1912. godine, kada je austrijski fizičar Victor Hess letom balonom ka višim slojevima atmosfere merio intenzitet prirodnog zračenja na raznim visinama. Za to je korišćen hermetički zatvoren elektroskop i mereno je vreme potrebno za njegovo razelektrisanje. Prilikom izlaganja elektroskopa, ionizućem zračenju, dolazi do njegovog pražnjenja, gde je brzina pražnjenja srazmerna sa intenzitetom zračenja. Hes je utvrdio da se brzina pražnjenja elektroskopa do 600 metara nadmorske visine blago smanjivala, ali je nakon te visine počela sve brže i brže da raste. Hes je izvršio merenje do visine od 4800 metara i utvrdio da se na toj visini elektroskop prazni 4 puta brže nego na nivou mora. To znači da sa visinom raste prirodni fon zračenja. Tako je opovrgнута prepostavka da kompletan prirodni fon zračenja potiče od radionuklida koji ulaze u sastav zemljишta i stena. Godine 1926. je konačno usvojen zaključak o postojanju kosmičkog zračenja nakon serije Milikenovih merenja na različitim nadmorskim visinama.

Kasnijim eksperimentima, u kojima je dostizana veća visina, utvrđeno je da je na 8400 metara ionizacija 10 puta veća nego na nivou mora. Korišćenjem veštačkih satelita je utvrđeno da intenzitet zračenja raste do 22 kilometara visine gde dostiže maksimalnu vrednost, posle koje se relativno brzo smanjuje i da postaje potpuno konstantan tek nakon visine od 60 kilometara, bez ikakve promene sa porastom daljine.

Kosmičko zračenje delimo na primarno i sekundarno. Primarno kosmičko zračenje je ono koje nastaje direktnim ubrzavanjem nanelektrisanih čestica nekim mehanizmom. Ono se najviše sastoji od pozitivnih čestica – potpuno ogoljenih jezgara, od vodonikovog pa sve do teških elemenata, ali u njega spadaju i visokoenergetski elektroni. Energije ovih čestica se kreću od desetak MeV pa sve do 10^{14} MeV (10^{20} eV). Sekundarno kosmičko zračenje nastaje interakcijom primarnog kosmičkog zračenja sa česticama i jezgrima neke sredine (npr. Zemljina atmosfera, međuzvezdana sredina, ...). Na Zemlji sekundarno kosmičko zračenje nastaje interakcijom sa jezgrima, najčešće azota i kiseonika, u gornjim slojevima atmosfere. Tada nastaje veliki broj različitih čestica, hiperona, nukleona, mezona itd. Novonastale čestice nastavljaju da interaguju u atmosferi pri čemu nastaju nove čestice i proces se lavinski nastavlja sve do površine zemlje. Primarno kosmičko zračenje obično ne uspeva da se probije duboko u atmosferu. Srednji slobodni put visokoenergetskog protona u odnosu na interakciju u atmosferi je oko 1/13 ukupne debljine atmosfere, što znači da primarno kosmičko zračenje, kao i svi nukleoni i teža jezgra veoma retko uspevaju da stignu do nižih slojeva atmosfere. Do nivoa mora dospevaju samo lake čestice, pretežno mioni i elektroni. Po svom sastavu primarno i sekundarno kosmičko zračenje na nivou mora se potpuno razlikuju [2].

2.1. Primarno kosmičko zračenje

Primarno kosmičko zračenje je uglavnom korpuskularno, gde čestice ili jezgra imaju izuzetno visoke energije. Prva saznanja o njemu prikupljena su relativno jednostavnim mernim tehnikama: detektorima tragova, Gajger-Milerovim brojačima, ionizacionim komorama itd. postavljenim na visoke planine ili u balone. Detektori tragova su bili postavljeni u homogena magnetna polja, što je omogućavalo da se odredi

impuls nanelektrisanih čestica na osnovu zakrivljenosti putanje. Na osnovu dužina tragova i sposobnosti prolaska kroz atenuatore, procenjivana je i energija detektovanih čestica. Priroda kosmičkog zračenja u velikoj meri zavisi i od geografske širine na kojoj se vrši merenje. Merenjem energija čestica primarnog kosmičkog zračenja koje dospeju do površine Zemlje, utvrđeno je da do polova mogu da stignu protoni sa energijama većim od $2,5 \text{ GeV}$, dok je na ekvatoru najniža energija protona iz kosmičkog zračenja iznad 15 GeV , jer na polovima čestice primarnog kosmičkog zračenja lakše prodiru kroz Zemljino magnetno polje.

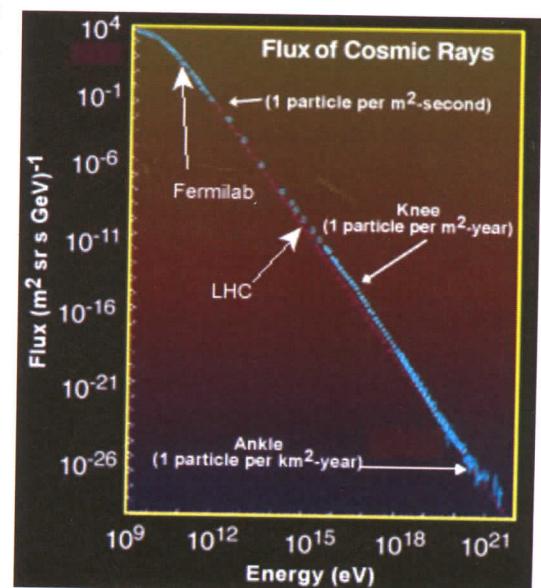
Po svom poreklu primarno kosmičko zračenje može biti vangalaktičko, galaktičko i solarno. Čestice kosmičkog zračenja koje poseduju najvišu energiju potiču iz izvora koji se nalaze van naše galaksije. Ali kako fluks kosmičkog zračenja opada sa kvadratom rastojanja, udeo vangalaktičkog kosmičkog zračenja koje stiže do gornjih delova atmosfere je zanemarljiv.

Solarno kosmičko zračenje se može prepoznati po karakterističnim varijacijama na svakih 11 godina, sezonskim, pa čak i dnevno-noćnim varijacijama. Energije čestica koje dolaze sa Sunca su znatno manje od energija galaktičkog kosmičkog zračenja. Pored toga, solarna komponenta kosmičkog zračenja je po svim parametrima veoma promenljiva i pokazuje česte fluktuacije. Komponenta primarnog kosmičkog zračenja koja do nas dolazi iz galaksije ima veću stabilnost, ali je i ona uslovljena Sunčevom aktivnošću. Snažni procesi u heliosferi koji se ponavljaju svakih 11 godina znatno utiču na sunčevu magnetno polje koje prouzrokuje varijacije intenziteta galaktičkog kosmičkog zračenja, pogotovo na nižim energijama [2].

2.1.1. Galaktičko kosmičko zračenje

Integralni fluks kosmičkog zračenja na vrhu Zemljine atmosfere je 1000 čestica po kvadratnom metru po sekundi. To su visokoenergetski elektroni i jezgra atoma, koja čine 90% protoni, 9% alfa čestice, a ostatak su teža jezgra. Najveći deo kosmičkog zračenja je relativistički, sa energijama uporedivim ili većim od njihovih masa. Mali deo ima ultrarelativističke energije koje prelaze 10^{20} eV (oko 20 J), jedanaest redova veličine veće od ekvivalenta mase mirovanja protona. Osnovna pitanja fizike kosmičkog zračenja su: odakle dolazi kosmičko zračenje? i kako se kosmičko zračenje ubrzava do tako visokih energija [3]?

Čestice kosmičkog zračenja bivaju ubrzane i skrenute sa prvobitne putanje usled interakcija sa magnetnim poljima kroz koja prolaze, pa je teško odrediti odakle dolaze, sem za čestice najviših energija. Kosmičko zračenje najvećih energija ima giroradijus u tipičnom galaktičkom magnetnom polju koji je veći od veličine same galaksije, pa može imati vangalaktičko poreklo. Giroradijus je dat kao:



slika 2.1.

$$r_g = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} \quad (2.1)$$

gde je m masa nanelektrisane čestice, v_{\perp} komponenta brzine normalna na magnetno polje, q nanelektrisanje čestice i B intenzitet magnetnog polja.

Najvažnije karakteristike kosmičkog zračenja su relativna rasprostranjenost različitih jezgara (sastav) i raspodela po energijama (energetski spektar) svake komponente. Poređenje sa hemijskim sastavom različitih astrofizičkih objekata, kao što je na primer Sunce, međuzvezdana materija, supernova ili neutronska zvezda, može nam dati informacije o poreklu kosmičkog zračenja. Izgled energetskog spektra je karakteristika određenih mehanizama ubrzavanja.

Slika 2.1. [4] prikazuje ceo mereni energetski spektar kosmičkog zračenja. Zbog ogromnog opsega energije, korisno je crtati fluks po logaritamskom intervalu energije ($E dN/dE = dN/d(\ln E)$). Kada se pogleda opseg na slici 2.1. vidi se da je za detekciju kosmičkog zračenja i proučavanje njegovog celog spektralnog opsega potrebno korišćenje više različitih instrumenata i metoda [3].

2.1.2. Solarna komponenta kosmičkog zračenja

Kosmičko zračenje koje dolazi sa Sunca je veoma lako odvojiti od galaktičke komponente. Ono se sastoji iz čestica koje se emituju povremeno, nakon erupcija koje se mogu i optički detektovati, ali postoji i konstantan sunčev vетар. 15 do 20 minuta posle erupcija detektori kosmičkog zračenja obično počinju da pokazuju porast intenziteta.

Kod solarnog zračenja se ne može govoriti o nekim pravilnostima u intenzitetu ili energetskom spektru jer se ovi parametri menjaju od erupcije do erupcije. Energije čestica solarnog kosmičkog zračenja su znatno niže od energija koje imaju čestice galaktičkog zračenja. Najčešće su niže od 10^3 MeV. Najviša energija protona je detektovana nakon intenzivnih procesa koji su se desili u sunčevoj atmosferi 23. februara 1956. godine, kada su registrovani protoni energije $2 \cdot 10^4$ MeV. Donja energija još uvek nije precizno određena. U međuplanetarnom prostoru sonde su beležile elektrone u solarnom zračenju koji su imali energije od samo 2 keV.

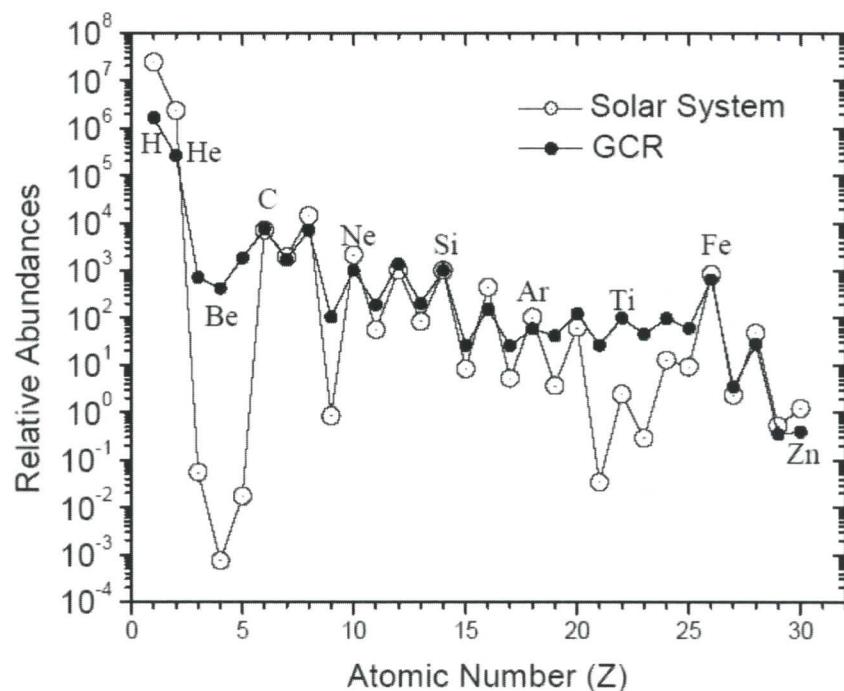
Erupcije na površini Sunca su sporadične pojave, ali se u njihovoј frekvenciji ponavljanja može uočiti pravilnost u okviru jedanaestogodišnjih ciklusa sunčeve aktivnosti. Do promene sunčeve aktivnosti u ovim jedanaestogodišnjim ciklusima dolazi usled promene jačine magnetnog polja Sunca. Ovaj ciklus se najjednostavnije može primetiti posmatranjem sunčevih pega u kojima je povećana jačina magnetnog polja u odnosu na okolinu. U prošlom veku najaktivniji je bio 19. ciklus, od 1954. do 1964. godine. Kada se Sunce nalazi u maksimumu svoje aktivnosti na njegovoј površini se može videti najviše pega, a u to vreme ima i najviše erupcija sa njegove površine. Prosečno bude između 5 i 13 erupcija tokom godine. Takođe se može beležiti i integralni intenzitet solarnog kosmičkog zračenja tokom jednog ciklusa. Ciklične promene sunčeve aktivnosti imaju jak uticaj i na galaktičko kosmičko zračenje. To se prvenstveno dešava posredstvom Sunčevog vetra-toka čestica koji se radikalno odvaja sa sunčeve površine. Pošto je sunčev vетар plazma, koja poseduje magnetna svojstva, svaka promena sunčeve aktivnosti će značajno uticati na okolno magnetno polje, a samim tim i na galaktičko

kosmičko zračenje [2].

Takođe, je bitno spomenuti Forbušov efekat, naglo smanjenje intenziteta galaktičkog kosmičkog zračenja usled koronalnog izbacivanja mase sa Sunca. Ovaj efekat takođe prati ciklus sunčeve aktivnosti [5].

2.1.3 Sastav primarnog kosmičkog zračenja

Relativna rasprostranjenost kosmičkog zračenja je upoređena sa rasprostranjenosću elemenata u sunčevom sistemu i data je na slici 2.2. [6]. Postoje dve bitne razlike između ove dve rasprostranjenosti elemenata.



slika 2.2.

Kao prvo, jezgra sa atomskim brojem $Z > 1$ su mnogo više rasprostranjena u odnosu na protone u kosmičkom zračenju nego u materiji od koje je sastavljen sunčev sistem. Ovo nije dobro objašnjeno, ali može biti povezano sa činjenicom da se vodonik relativno teško ionizuje, što je preduslov da bi se mogao ubrzati (jer se ne ionizovani atomi ne mogu ubrzavati u magnetnim poljima), ali to može biti i zbog različitog sastava izvora.

Druga razlika je dobro objašnjena i govori nam o prostiranju kosmičkog zračenja u galaksiji. Dve grupe elemenata Li, Be, B i Sc, Ti, V, Cr, Mn su nekoliko redova veličine zastupljeniji u kosmičkom zračenju nego u materiji od koje je sastavljen sunčev sistem. Ovi elementi su u osnovi odsutni kao produkti zvezdane nukleosinteze. Oni su, međutim, prisutni u kosmičkom zračenju kao produkti nuklearnih reakcija rasprostranjenih jezgara kosmičkog zračenja u vidu ugljenika i kiseonika (Li, Be, B) i gvožđa (Sc, Ti, V, Cr, Mn). Oni nastaju kao sekundarno kosmičko zračenje nastalo interakcijom kosmičkog zračenja međuzvezdanim gasom. Poznavanjem sudarnog preseka za ove reakcije, može se odrediti

kroz koliko materije prođe kosmičko zračenje od trenutka nastanka do momenta detektovanja. Prilikom prolaska kroz međuzvezdanu materiju mogu nastati i fotonii, neutrini i antiprotoni. Za većinu kosmičkog zračenja srednja vrednost "pređene" materije je reda $X = 5$ do 10 g/cm^2 . Gustina nukleona ρ_N u disku galaksije je reda veličine jedan proton po cm^3 , pa količina pređene materije odgovara daljini od:

$$l = \frac{X}{(m_p \rho_N)} = 3 \times 10^{24} \text{ cm} \approx 1000 \text{ kpc} \quad (2.2)$$

Kako postoji mogućnost da kosmičko zračenje prolazi i kroz redi galaktički halo, ovo je najmanja vrednost pređenog puta. U svakom slučaju, $l \gg d \approx 0.1 \text{ kpc}$, polovine debljine diska galaksije. To znači da se čestice kosmičkog zračenja kreću okolo, usled interakcije sa galaktičkim magnetnim poljem, neko vreme pre nego što pobegnu u međugalaktički prostor.

Dosadašnja diskusija se odnosila na galaktičko kosmičko zračenje. Za razliku od njega, sastav solarnog zračenja je gotovo identičan sastavu sunčeve korone. Većinom se sastoji od protona, nešto malo težih jezgara i elektrona. Snažne erupcije na Suncu praktično izbace materijal iz korone u okolni prostor. U solarnom zračenju nema jezgara Li, Be, B, kao u galaktičkom zračenju. Pomenuti elementi, kao što je rečeno, nastaju u zvezdanim procesima u zanemarljivim količinama (uglavnom ih zvezde potpuno uništavaju), pa ih onda u ovom slučaju ima mnogo manje [3].

2.1.4. Energetski spektar kosmičkog zračenja

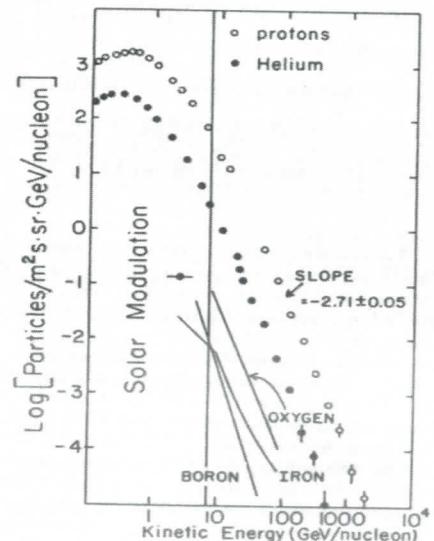
Spektar nekoliko elemenata kosmičkog zračenja je prikazan na slici 2.3. Odnos glavnih komponenata sa izuzetkom gvožđa je relativno konstantan sa energijom (tabela 1). Spektar kosmičkog zračenja je dobro opisan inverznim stepenim zakonom ukupne energije, gde je diferencijalni fluks u jedinicama $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ dat sa:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-(\gamma+1)} \quad (2.3)$$

Spektar se ponaša ovako do energije $E \sim 10^6 \text{ GeV}$ sa spektralnim indeksom, $\gamma = 1.7$, a preko ove energije $\gamma \sim 2.0$.

Treba napomenuti da je spektar bora strmiji nego spektar kiseonika i ugljenika od kojih je nastao. Ustvari sva sekundarna jezgra (ona koja su nastala u interakciji primarnih jezgara) imaju dosta strmiji spektar od primarnih jezgara. Odnos flukseva sekundarnih i primarnih jezgara se smanjuje kako se energija povećava. To nam govori da kosmičko zračenje sa većom energijom difunduje brže iz galaksije.

Sastav kosmičkog zračenja u odnosu na



slika 2.3.

protone u opsegu 10 - 100 GeV je prikazan u tabeli 2.1. Oznake M (srednja), H (teška) i VH (jako teška) su standardne za nomenklaturu kosmičkog zračenja. Laka jezgra (sa oznakom L za $Z = 3$ do 5) nisu u ovoj tabeli jer im je zastupljenost veoma mala.

Masena grupa	Maseni broj $< A >$	(1) čestice ($> E/A$)	(2) čestice ($> R$)	(3) čestice ($> E/A$)	(4) čestice ($> E/\text{nucleus}$)
P-protoni	1	1	1	1	1
α čestice	4	0.036	0.12	0.14	0.38
M ($Z = 6$ do 9)	14	0.0025	0.0083	0.035	0.22
H ($Z = 10$ do 20)	24	0.0007	0.0023	0.017	0.15
VH ($Z = 21$ do 30)	56	0.0004	0.0013	0.022	0.40

tabela 2.1

Svaka od kolona u tabeli je bitna za različita izračunavanja. Kolona (1) (jezgra po energiji po nukleonu) je prikladna za izračunavanje prostiranja kosmičkog zračenja jer energija po nukleonu ostaje nepromenjena u spalacionim procesima. Tvrdoća, $R \equiv pc/Ze$, je pogodna kad god je bitan giroradijus, kako za ubrzavanje, tako i za prostiranje kroz geomagnetsko polje. Ona je data u koloni (2). Ona ima dimenzije energije po nanelektrisanju. Broj jezgara po GeV po nukleonu-kolona (3) je bitna veličina za izračunavanje sekundarnih flukseva čestica kao što su mioni, antiprotoni, pioni itd., jer oni nastaju interakcijom među nukleonima, čak i kada su nukleoni vezani u jezgru. Ukupna energija po jezgru-kolona (4) je bitna za atmosferske pljuskove jer veličina pljuska zavisi od ukupne energije ulazne čestice [3].

Kosmičko zračenje pokriva širok opseg energija od 10^8 eV čak i niže do 3×10^{20} eV kao što je prikazano na slici 2.1.

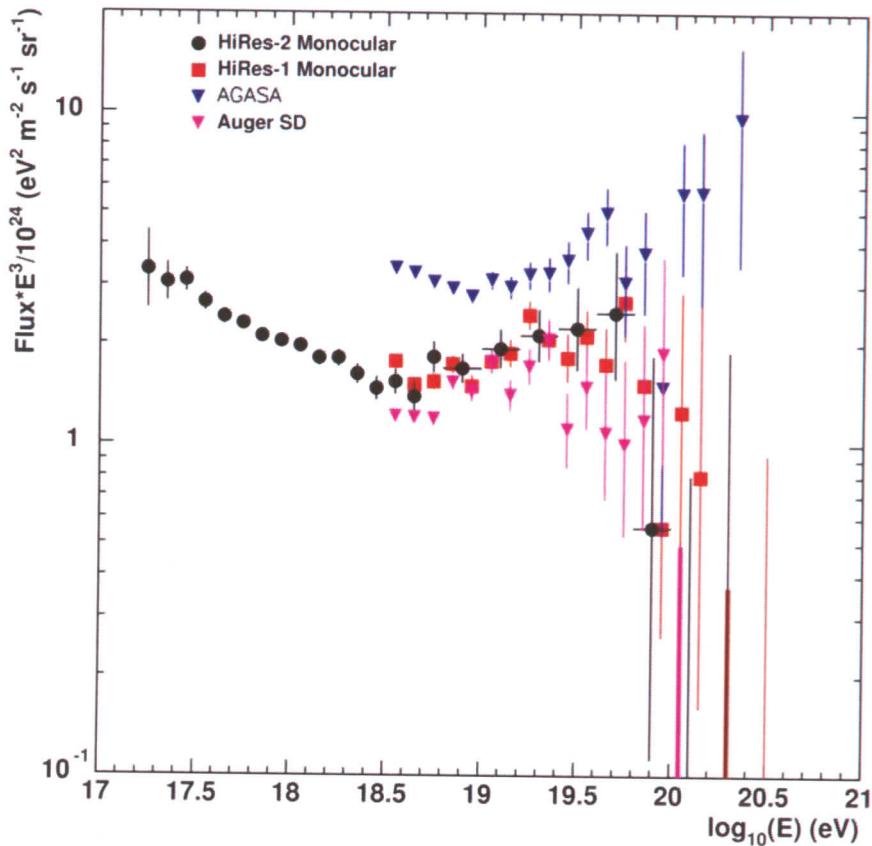
U oblasti najniže energije (manje od 10^8 eV) uglavnom dominira kosmičko zračenje sa Sunca. Do energije od 10^{15} eV spektar uglavnom čini galaktičko kosmičko zračenje koje se ubrzava u ostacima supernovih i nekim drugim procesima u galaksiji. Na energiji od 10^{15} eV u spektru kosmičkog zračenja uočava se "koleno" (spektar postaje strmiji), a na 10^{19} eV "članak" (spektar se poravnava) (slika 2.1.). Dugo se predpostavljalo da je povećanje strmine na oko 3 PeV povezano sa gornjom granicom energije kosmičkog zračenja galaktičkih izvora. Najviša energija koja se postiže ubrzanjem u udarnim talasima supernovih zavisi od jačine i oblika magnetnog polja u oblasti ubrazavanja. Klasične procene od 100 TeV za gornju granicu za protone su podignute za red veličine u najnovijim teorijskim analizama. Čak postoje predpostavke da energija može biti još viša za protone. Između energije "kolena" i "članka" dolazi do gubitaka lakših, pa sve težih i težih čestica iz galaktičkog kosmičkog zračenja. Članak se najverovatnije javlja usled prelaska sa galaktičkog na vangalaktičko kosmičko zračenje, a čestice najviših energija se po nekim teorijama ubrzavaju u pulsarima, jezgrima galaksija, staburst galaksijama, kvazarima ili radio galaksijama.

Energija kosmičkih zraka ne bi trebala da prelazi $10^{19.6}$ eV. Ta vrednost se naziva GZK (Greisen-Zatsepin-Kuzmin) granica i odnosi se na sledeće: ako su čestice ubrzane tako da poseduju veću energiju od $10^{19.6}$ eV onda ne smeju da potiču sa udaljenosti veće

od 150 miliona svetlosnih godina (što je nešto dalje od lokalnog superjata galaksija), dok je veličina svemira oko 14 milijardi svetlosnih godina. U suprotnom bi te čestice izgubile svu svoju energiju u interakciji sa morem niskoenergetskih fotona koji čine mikrotalasnu pozadinu pre nego što stignu do Zemlje, kroz proizvodnju neutralnih piona:



Na slici 2.4. su prikazani rezultati dva eksperimenta koji su merili visokoenergetsко kosmičko zračenje u oblasti GZK granice Agasa, Hires i Auger eksperiment. Sa slike se vidi da su u Agasa eksperimentu pronađeni kosmički zraci koji imaju veću energiju od GZK granice, dok u Hires i Auger eksperimentu nisu. U slučaju da GZK granica zaista ne postoji što bi se moglo zaključiti iz Agasa eksperimenta, to bi ukazalo na potrebu za novim fizičkim teorijama.



slika 2.4.

Problem GZK granice je konačno rešen sa najskorijim Auger eksperimentom koji je takođe prikazan na slići 2.4. i čiji su rezultati u skladu sa Hires eksperimentom, što snažno ukazuje na postojanje očekivane GZK granice [7,8].

2.1.5. Mehanizmi ubrzavanja kosmičkog zračenja

Bitno pitanje za fiziku kosmičkog zračenja je da li se glavni procesi ubrzavanja kosmičkog zračenja odvijaju na velikoj skali u galaksiji ili u blizini nekih određenih tačkastih izvora. Na manjoj skali, u Sunčevom sistemu znamo da se dešavaju obe stvari. Svemirske letelice nam daju dokaze da dolazi do ubrzavanja čestica do energija keV i MeV u međuplanetarnim udarnim talasima, na primer u Zemljinom "bow shock"-u (granica između magnetosfere i okoline) ili u drugim udarnim talasima povezanim sa sunčevim vетrom. Takođe postoje dokazi da se čestice ubrzavaju do GeV energija na suncu tokom snažnih eksplozija koje nazivamo sunčeve baklje.

Za galaktičke kosmičke zrake, gde su nemoguća neposredna posmatranja u oblasti nastanka sa satelitima, jedini način da se prate kosmički zraci je potraga za stabilnim, neutralnim sekundarima koji nastaju interakcijom ubrzanih nanelektrisanih čestica. Do interakcije može doći ili u međuplanetarnom gasu ili u neposrednoj blizini diskretnih izvora. Nanelektrisane čestice ne pokazuju pravac ka svojim izvorima zbog njihove difuzije u galaktičkom magnetnom polju. Kao i kod sunčevog sistema, najverovatnije je da do ubrzavanja dolazi i u određenim tačkastim izvorima kao i u galaksiji kao celini. Trenutno se ulažu veliki eksperimentalni napor u merenju sekundarnih fotona iz tačkastih izvora kosmičkih zraka veoma visoke energije kao što su Her X-1 i Cyg X-3.

Postoje dva aspekta pitanja o ubrzivanju kosmičkog zračenja: šta je izvor snage akceleratora i koji je mehanizam ubrzavanja? Gustina energije kosmičkog zračenja je $\rho_E \approx 1 \text{ eV/cm}^3$. Ako predpostavimo da je tolika gustina energije svuda u galaktičkom disku, snaga potrebna da se ubrza svo to kosmičko zračenje je:

$$L_{CR} = \frac{V_D \rho_E}{\tau_R} \sim 5 \times 10^{40} \frac{\text{erg}}{\text{s}}, \quad (2.5)$$

gde je V_D zapremina galaktičkog diska data sa:

$$V_D = \pi R^2 d \sim \pi (15 \text{ kpc})^2 (200 \text{ pc}) \sim 4 \times 10^{66} \text{ cm}^3 \quad (2.6)$$

a τ_R je vreme boravka kosmičkih zraka u zapremini za koju se predpostavlja da sadrži izvore (npr. galaktički disk). Trenutna procena je $\tau_R \sim 6 \times 10^6$ god.

Još davno su Gizburg i Syrovatskii (1964) predpostavili da potrebe snage ukazuju na supernove. Na primer, za supernovu tipa II iz koje se izbacici $10 M_{SUN}$ brzinom $u \sim 5 \times 10^8 \text{ cm/s}$ svakih 30 godina dobija se snaga od:

$$L_{SN} \sim 3 \times 10^{42} \text{ erg/s} \quad (2.7)$$

Iako ova aproksimativna procena unosi veliku grešku, izgleda zanimljivo činjenica da bi sa efikasnošću od par procenata udarni talas supernove mogao da da energiju ukupnom galaktičkom kosmičkom zračenju. Pretpostavka da su eksplozije supernovih izvor napajanja kosmičkog zračenja postaje verovatnija kad se uzme u obzir da prvi red Fermi-

jevog ubrzanja u jakim udarnim talasima stvara spektar kosmičkih zraka sličan onom koga posmatramo.

Fermi-jev mehanizam ubrzanja se zasniva na transferu kinetičke energije pokretne namagnetisane plazme na nanelektrisanu česticu. Naime, čestica prolazi kroz front udarnog talasa i pri tome dobija neku energiju koja je proporcionalna njenoj početnoj energiji $\Delta E = \xi E$, onda zbog magnetnog polja izlazi iz oblasti kroz koju je prošao udarni talas i opet se vraća kroz front. Posle n prolazaka kroz udarni front čestica će imati energiju:

$$E_n = E_0 (1 + \xi)^n, \quad (2.8)$$

gde je E_0 energija sa kojom čestica prvi put prolazi kroz udarni front. Ako je verovatnoća izlaska čestice iz oblasti ubrzanja P_{esc} pri svakom prolasku, verovatnoća da ona ostane u oblasti ubrzanja posle n prolazaka kroz udarni front je $(1 - P_{esc})^n$. Broj prolazaka potreban da bi čestica dobila energiju E je iz (2.8):

$$n = \ln\left(\frac{E}{E_0}\right) / \ln(1 + \xi). \quad (2.9)$$

Zbog toga je broj čestica ubrzanih do energija većih od E :

$$N(\geq E) \propto \sum_{m=n}^{\infty} (1 - P_{esc})^m = \frac{(1 - P_{esc})^n}{P_{esc}}, \quad (2.10)$$

gde je n dato sa (2.9). Zamenom (2.9) u (2.10) dobijamo:

$$N(\geq E) \propto \frac{1}{P_{esc}} \left(\frac{E}{E_0}\right)^{-\gamma}, \quad (2.11)$$

gde je

$$\gamma = \ln\left(\frac{1}{1 - P_{esc}}\right) / \ln(1 + \xi) \approx \frac{P_{esc}}{\xi} = \frac{1}{\xi} \frac{T_{cycle}}{T_{esc}}. \quad (2.12)$$

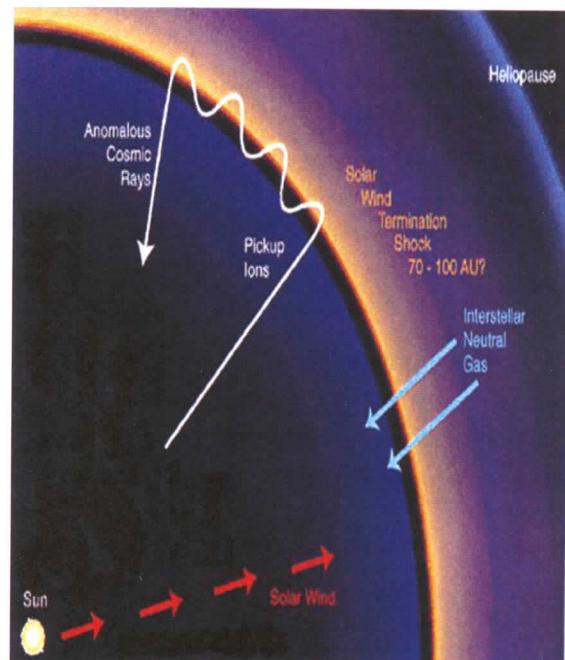
Fermi-jev mehanizam dovodi do traženog stepenog spektra energije, što je i trebalo dokazati. U poslednjem koraku su uvedeni karakteristično vreme ubrzanja u ciklusu T_{cycle} , i karakteristično vreme za koje čestica izade iz oblasti ubrzanja T_{esc} [3].

Pored toga kosmičko zračenje se ubrzava u okolini Sunca na više različitih načina. To su ubrzavanja kosmičkog zračenja prilikom sunčevih baklji-snažnih eksplozija na suncu i anomalno kosmičko zračenje.

Do ubrzavanja elektrona i jona za vreme sunčevih baklji dolazi u oblastima u kojima dolazi do promene oblika magnetnog polja, gde se čestice ubrzavaju dinamičkim

elektromagnetskim silama. Najverovatniji mehanizam ubrzavanja je drugi red Fermi-jevog ubrzavanja, prilikom koga dolazi do netermalnog X zračenja od strane lokalno zarobljenih elektrona koje se može detektovati. Direktnim detektovanjem tvrdog X zračenja utvrđeno je da do ubrzavanja dolazi u oblasti od 5000 do 35000 km iznad vrha mekog X zračenja iz svetle petlje sunčeve baklje. Prepostavka da se pozitivno nanelektrisani protoni i joni ubrzavaju istim mehanizmom kao i elektroni je dokazana detekcijom linijskog gama zračenja koje je u skladu sa tvrdim X zračenjem. Vremenski redosled maksimuma zakočnog zračenja koje stvaraju ubrzani elektroni, isprepletani sa linijama nuklearne deekscitacije koje nastaju bombardovanjem hromosfere protonima i jonima, jasno pokazuje da se joni i elektroni ubrzavaju u istim oblastima i to skoro istovremeno. Efikasnost drugog reda Fermi-jevog ubrzavanja jona putem međusobne talasno-čestične interakcije zavisi od povezanosti između frekvencija rezonantnih talasa (Alfvén-ovi talasi, magnetosonični talasi, zvučni talasi) i girofrekvencije jona. Ako su dovoljno brzi (~ 2000 km/s) Alfvén-ovi talasi, mogu da ubrzaju protone energije 20 keV do GeV energije za vreme od 1- 10 s [9].

Anomalno kosmičko zračenje je kosmičko zračenje neočekivano niske energije. Prepostavlja se da nastaje blizu granice našeg sunčevog sistema (slika 2.5.), u "heliosheath" (oblast heliosfere iza udarnog talasa sunčevog vetra), graničnoj oblasti između heliosfere i međuzvezdane materije na 70 do 100 au. Kada neutralni atomi iz međuzvezdane materije uđu u tu oblast na njih ne utiče magnetno polje, ali posle nekog vremena se ionizuju usled ultraljubičastog zračenja i razmene nanelektrisanja sa jonima sunčevog vetra. Za njih se prepostavlja da se ubrzavaju do niskih energija 4 keV - 10 MeV pod uticajem udarnog talasa solarnog vetra koji dolazi do unutrašnjeg dela te oblasti i da oni čine anomalno kosmičko zračenje. Takođe je moguće da visoko energetsko galaktičko kosmičko zračenje koje udari u udarni talas sunčevog vetra blizu heliopauze može da se uspori, što rezultira njihovim transformisanjem u nisko energetsko anomalno kosmičko zračenje [10].



slika 2.5.

2.2 Sekundarno kosmičko zračenje

Prilikom interakcije čestica primarnog kosmičkog zračenja sa jezgrima atoma vazduha, dolazi do veoma burnih reakcija u kojima se stvaraju sve nama poznate elementarne čestice. Tako stvorene čestice na razne načine mogu da stupaju u nove reakcije, pa se tako stvara nova generacija čestica. Po načinu na koji čestice sekundarnog zračenja interaguju mogu se podeliti u tri grupe: nuklearno aktivnu, tvrdi i meki. Na slici 2.6. [11] šematski je prikazana interakcija jednog protona iz kosmičkog zračenja sa kompletom kaskadom dešavanja i najvažnijim porodicama čestica koje se tom prilikom stvaraju i visine na kojima one nastaju.

2.2.1. Nuklearno aktivna grupa

Nuklearno aktivna grupa se sastoji iz hadrona (čestica koje se sastoje iz kvarkova, koji međusobno dejstvuju putem jake interakcije). Primarna čestica, kao što je proton može da se putem jake interakcije transformiše u neke druge čestice, dok se jezgro sa kojim interaguje proton cepta na sastavne nukleone. Pri tome često nastaju π mezoni (čestice koje se sastoje iz jednog kvarka i jednog antikvarka).



U manjem broju se tokom primarne interakcije stvaraju kaoni, ali oni retko prelaze 20 % od ukupnog broja stvorenih čestica.



Nuklearno aktivna komponenta sekundarnog kosmičkog zračenja su nanelektrisani $\pi \pm$ mezoni i nukleoni jer u interakcijama koje slede mogu da stvaraju nove hadrone. Proton visoke energije u interakciji sa nekim jezgrom može da dovede do njegovog cepanja, pri čemu izgubi od 20 % do 50 % svoje početne energije. Neki od primera spalacionih reakcija su:



Posle toga interakcije sa jezgrom se nastavljaju, a energija mu se opet umanjuje. To se dešava sve dok se energija primarne čestice ne spusti ispod 100 MeV, kada ona više nije u stanju da učestvuje u nuklearnim reakcijama i svoju energiju tada najviše gubi putem ionizacije. Neutroni do veoma niskih energija učestvuju u nuklearnim reakcijama sa jezgrima. Nanelektrisani pioni pre nego što se raspadnu na mione i neutrina, takođe mogu da stupaju u nuklearne reakcije sa jezgrima i stvaraju nove hadrone, ali im je srednje vreme života jako malo, pa su te interakcije kratkotrajne. Ukoliko je energija nanelektrisanih piona veća od 200 GeV, zbog relativističkih efekata im se srednje vreme života toliko produži da imaju vremena da u nuklearnim reakcijama sa jezgrom umnože broj hadrona. Na kraju se nanelektrisani pioni raspadaju na mione. Na nivou mora, od

ukupnog kosmičkog zračenja, manje od 1% sačinjavaju nuklearno aktivne čestice.

2.2.2. Tvrda komponenta

Tvrda komponenta kosmičkog zračenja se sastoji od visokoenergetskih miona. Oni najviše nastaju pri raspadu nanelektrisanih piona.

$$\begin{aligned}\pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu\end{aligned}\tag{2.16}$$

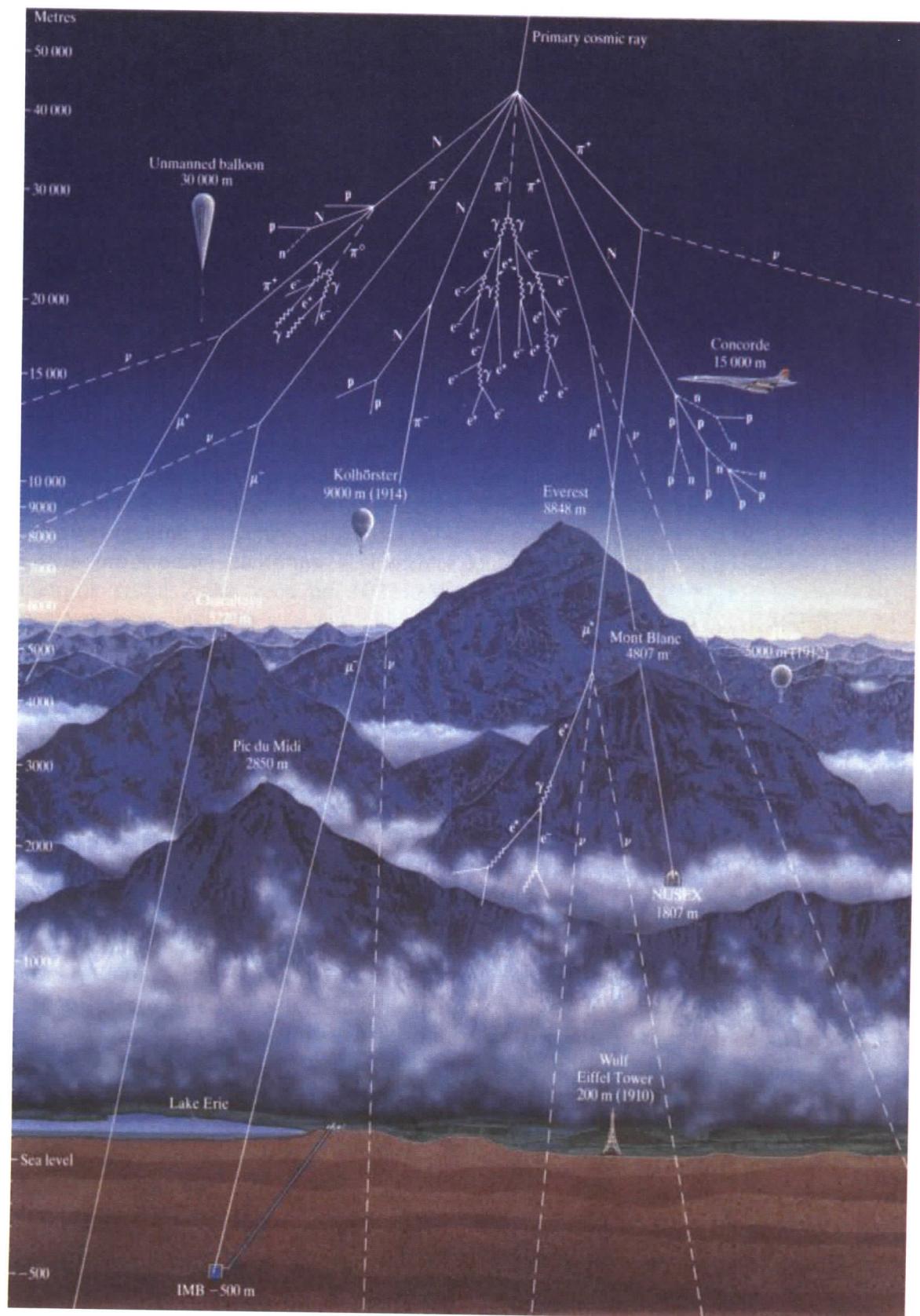
Oni slabo interaguju sa jezgrom i svoju energiju isključivo gube putem jonizacije, do trenutka kad se raspadaju na elektron i par neutrina.

$$\begin{aligned}\mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu\end{aligned}\tag{2.17}$$

Mioni imaju dovoljno vremena da dođu do zemljne površine jer im je vreme života relativno visoko (usled relativističkih efekata im se vreme života produžava), reda veličine 10^{-6} s. Tome najviše pogoduje činjenica da su im prilikom nastanka energije visoko relativističke, pa samim tim imaju i mali transfer energije prilikom prolaska kroz atmosferu. Zbog svoje velike mase i radijativni gubitci usled zakočnog zračenja su im mali, pa uspevaju da prođu duboko u zemlju.

$$I_{rad} \propto \frac{1}{m^2}\tag{2.18}$$

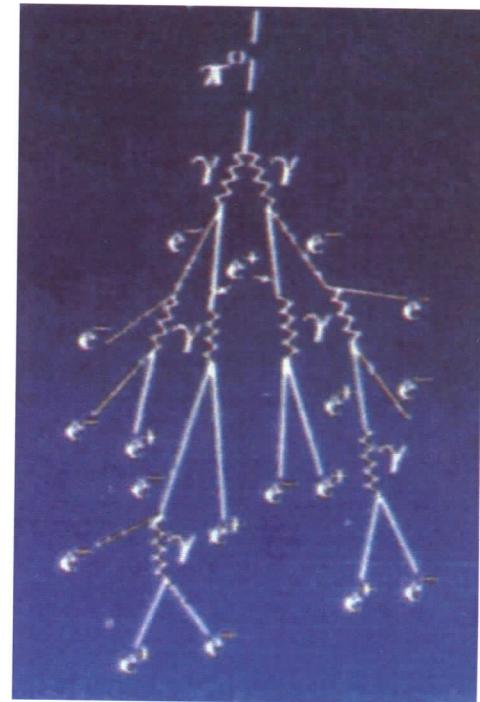
Zbog toga što slabo interaguju, mioni ne stvaraju veliki broj čestica kao što je to slučaj sa nuklearno aktivnim česticama, ali zbog svoje slabe interakcije predstavljaju jednu od najbrojnijih komponenti kosmičkog zračenja na površini zemlje. O njima će biti reči u posebnom odeljku, jer su to čestice čija se posredna detekcija analizira u ovom radu.



slika 2.6.

2.2.3. Meka komponenta

Meka komponenta kosmičkog zračenja se sastoji od elektrona i fotona. Nju čini veliki broj čestica koje se umnožavaju kaskadnim reakcijama počev od visokih slojeva atmosfere, u blizini mesta gde se primarna interakcija odigrala, pa sve do zemljine površine. Prvi par visokoenergetskih fotona nastaje raspadom π^0 mezona nastalih u reakcijama primarne čestice sa atmosferom. Vreme života neutralnog piona je jako kratko, reda veličine 10^{-16} s, pa se on raspada na dva fotona odmah posle nastanka. Visokoenergetski fotoni u polju neke druge čestice stvaraju elektronsko-pozitronske parove ako im je energija veća od 1022 keV. Nakon anihilacije elektrona sa pozitronom stvara se novo gama zračenje, dok visokoenergetski elektron osim toga može u polju nekog jezgra da emituje zakočno zračenje. Nastalo elektromagnetno zračenje može da započne nov ciklus proizvodnje elektrona i pozitrona kada je energija gama zraka veća od 1022 keV i na taj način se broj elektrona i fotona lavinski umnožava do površine zemlje (slika 2.7.) [11].



slika 2.7.

Dakle, energija čestice primarnog kosmičkog zračenja se preraspodeljuje na veliki broj sekundarnih čestica. Procenjuje se da jedan proton energije 10^8 MeV nakon interakcije sa jezgrom na visini od 20 do 25 kilometara stvara ukupno 10^9 čestica koje su se lavinski umnožile, da bi se na nivou mora rasporedile po površini od nekoliko kvadratnih kilometara. Do površine zemlje stižu samo tvrda i meka komponenta kosmičkog zračenja tj. mioni, elektroni i fotoni [2,3,12].

2.2.4. Mioni

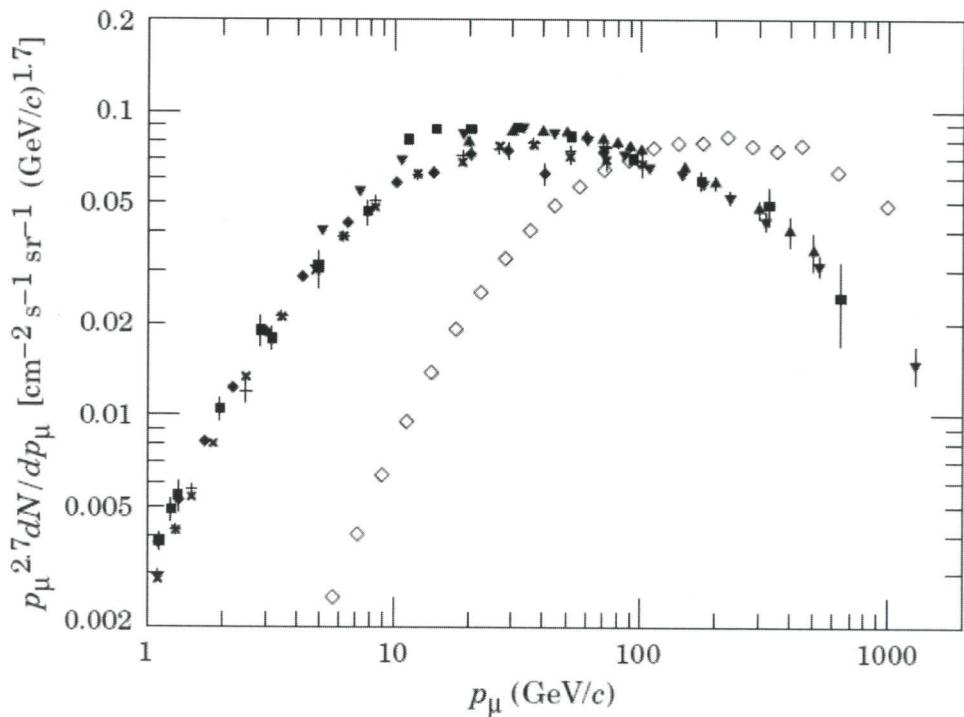
Mioni su najbrojnije nanelektrisane čestice na nivou mora. Većina miona nastaje visoko u atmosferi (na visini od 15 km) i izgubi oko 2 GeV na jonizaciju pre nego što stigne do površine Zemlje. Njihova energija i ugaona distribucija zavise od spektra nastajanja, gubitka energije u atmosferi i raspada. Srednja energija miona kod površine je ≈ 4 GeV. Energetski spektar je skoro ravan ispod 1 GeV, zatim postaje strmiji i u opsegu između 10 - 100 GeV postaje isti kao primarni spektar a zatim još strmiji na višim energijama jer pioni sa energijom većom od $\varepsilon_\pi \approx 115$ GeV teže da interaguju u atmosferi pre nego što se raspadnu.

Ukupna uglovna distribucija miona na površini je $\propto \cos^2 \theta$, gde je $0 < \theta < 90^\circ$, što je karakteristično za mione sa $E_\mu \sim 3$ GeV. Na nižim energijama uglovna distribucija postaje strmija, dok se za više energije poravnava i približava se $\sec \theta$ distribuciji za $E_\mu \gg \varepsilon_\pi$ i $\theta < 70^\circ$.

Na slici 2.8. je prikazan energetska spektar miona na nivou mora za uglove od 0° i 75° . Za velike uglove niskoenergetski mioni se raspadaju pre nego što stignu do površine, a visokoenergetski pioni se raspadaju pre nego što interaguju, pa se prosečna energija miona smanjuje. Približna ekstrapolaciona formula koja važi kad se zanemari raspad miona ($E_\mu > 100/\cos\theta$ GeV) i zakrivljenost zemljine površine za $\theta < 70^\circ$ je:

$$\frac{dN_\mu}{dE_\mu} \approx \frac{0.14E_\mu^{-2.7}}{\text{cm}^2 \text{s sr GeV}} \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{1.1E_\mu \cos\theta}{115 \text{ GeV}}} + \frac{0.054}{1 + \frac{1.1E_\mu \cos\theta}{850 \text{ GeV}}} \right), \quad (2.19)$$

gde dva izraza daju doprinose piona i nanelektrisanih kaona. Jednačina (2.11) zanemaruje mali doprinos težih čestica koje sadrže charm kvark koji su zanemarljivi sem za veoma visoke energije.



Slika 2.8.

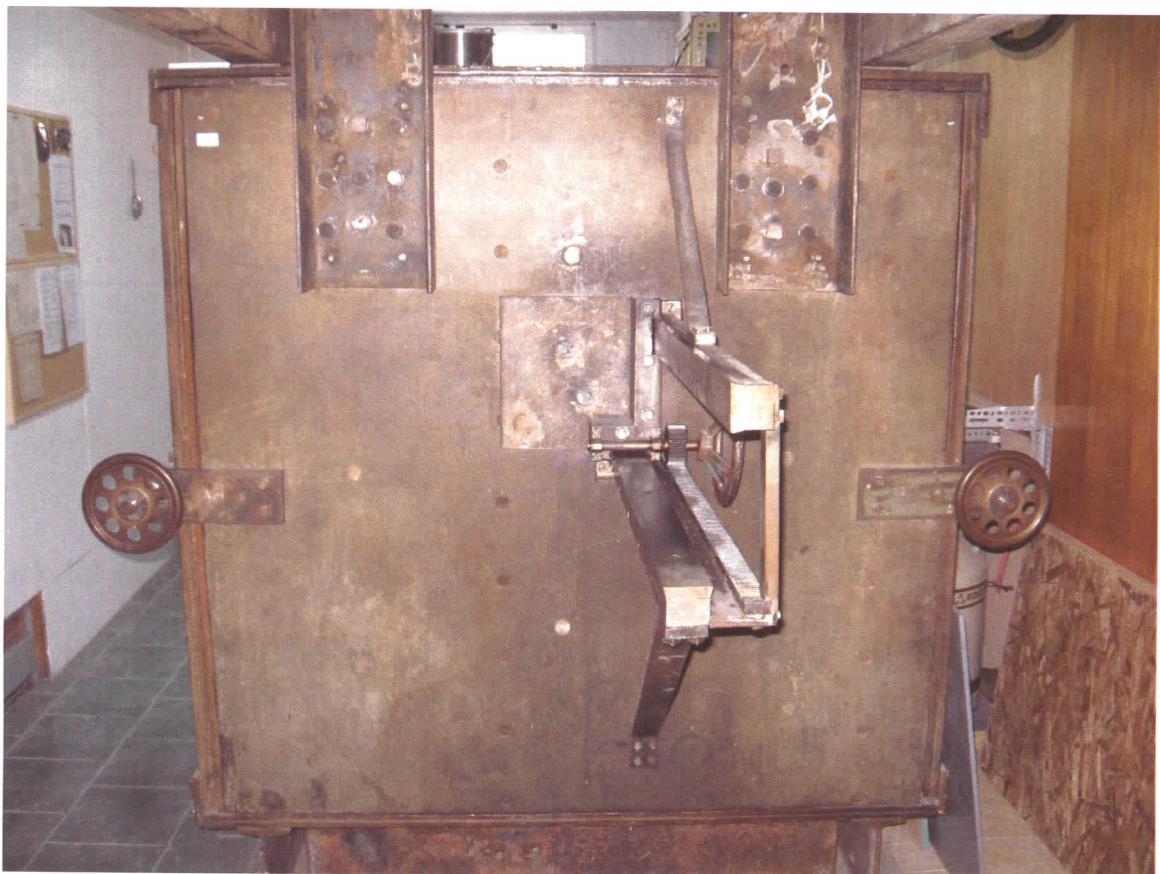
Kao što je već rečeno mioni gube svoju energiju na ionizaciju i radijativne procese: zakočno zračenje, direktno stvaranje parova elektrona i pozitrona i fotonuklearne interakcije. Ukupni gubici energije miona se mogu izraziti kao funkcija količine predene materije:

$$-\frac{dE_\mu}{dX} = a + bE_\mu, \quad (2.20)$$

gde je a ionizacioni gubitak, a b gubitak zbog tri radijativna procesa. Oba su slabo promenljive funkcije energije [13].

3. Dobijanje podataka

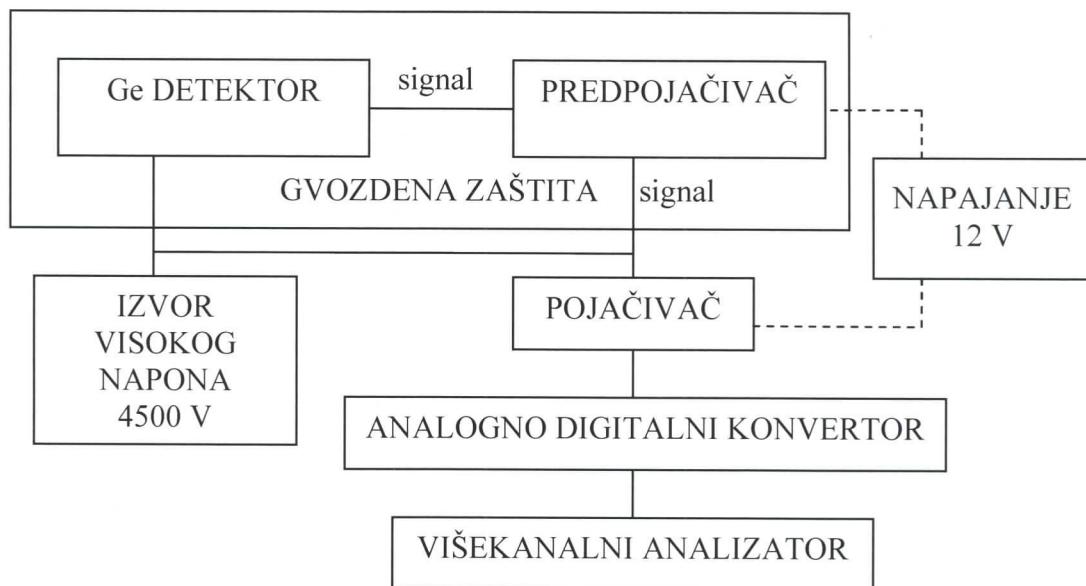
Spektri koji se koriste u ovom radu su mereni pomoću poluprovodničkog



slika 3.1

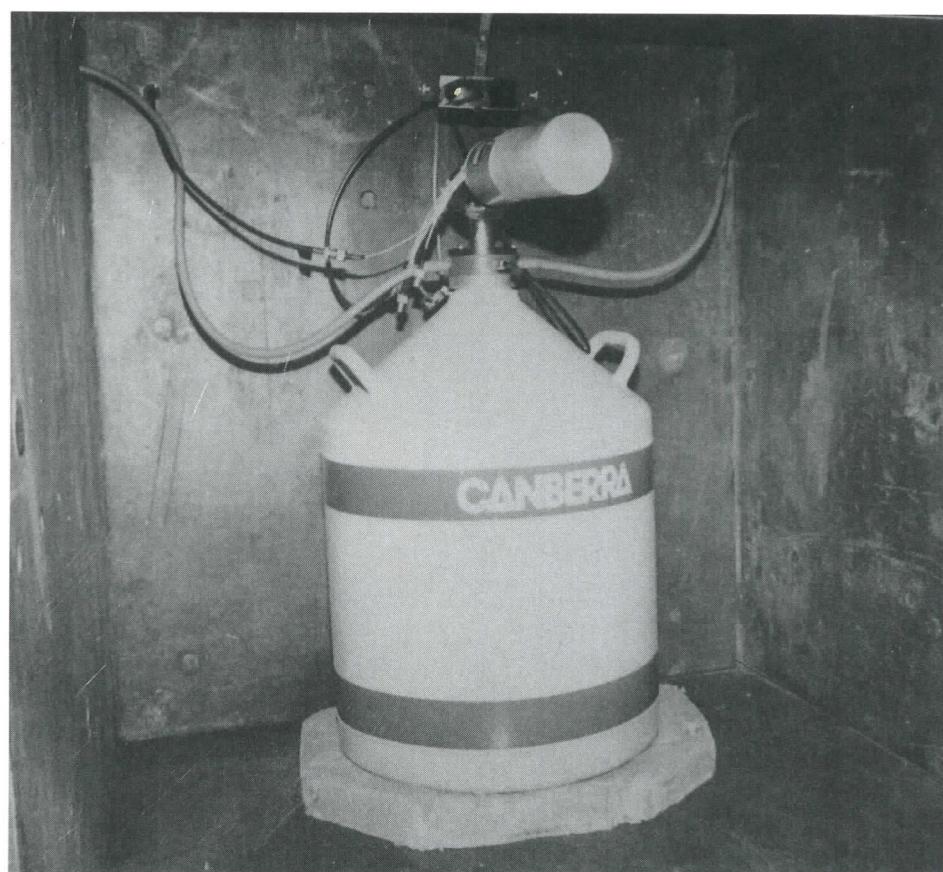
HPGe detektora. Poluprovodnički germanijumski detektor se nalazi u gvozdenoj zaštiti (slika 3.1.) debljine 25 cm. Oko detektora se nalazi 20 tona gvožđa. U fonskim gama spektrima ovog detektora se javljaju intenzivne linije koje pripadaju potomcima ^{222}Ra , ali se pored njih može uočiti i gama linija sa energijom od 846.8 keV. Kada nema zračenja u okolini detektora, ova linija se javlja usled emitovanja gama zračenja sa prvog pobuđenog nivoa ^{56}Fe u zaštiti. Najverovatniji način popunjavanj ovog nivoa je putem (n, n') reakcije na jezgrima ^{56}Fe . Ovi neutroni koji se neelastično rasejavaju na jezgrima gvožđa nastaju interakcijom miona visoke energije u samoj gvozdenoj zaštiti, ili interakcijom sa svim okolnim materijalima.

Gama zračenje koje pada na detektor fotoelektričnim efektom stvara par elektron-šupljina, tj. strujni signal koji se vodi u predpojačivač osetljiv na nanelektrisanje, gde se formira naponski signal. Signal se oblikuje u pojačivaču, a zatim se nakon analize u analogno digitalnom konvertoru (ADC) i višekanalnom analizatoru (MCA) čuva u obliku energetskog histograma. Šema osnovnih elemenata spektroskopskog sistema je prikazana na slici 3.2. Detektor se hlađi tečnim azotom da ne bi došlo do pobuđivanja atoma prilikom njihovih sudara u kristalnoj rešetci. Na slici 3.3. su prikazani detektor i kanister



Slika 3.2.

u kome se nalazi tečni azot.

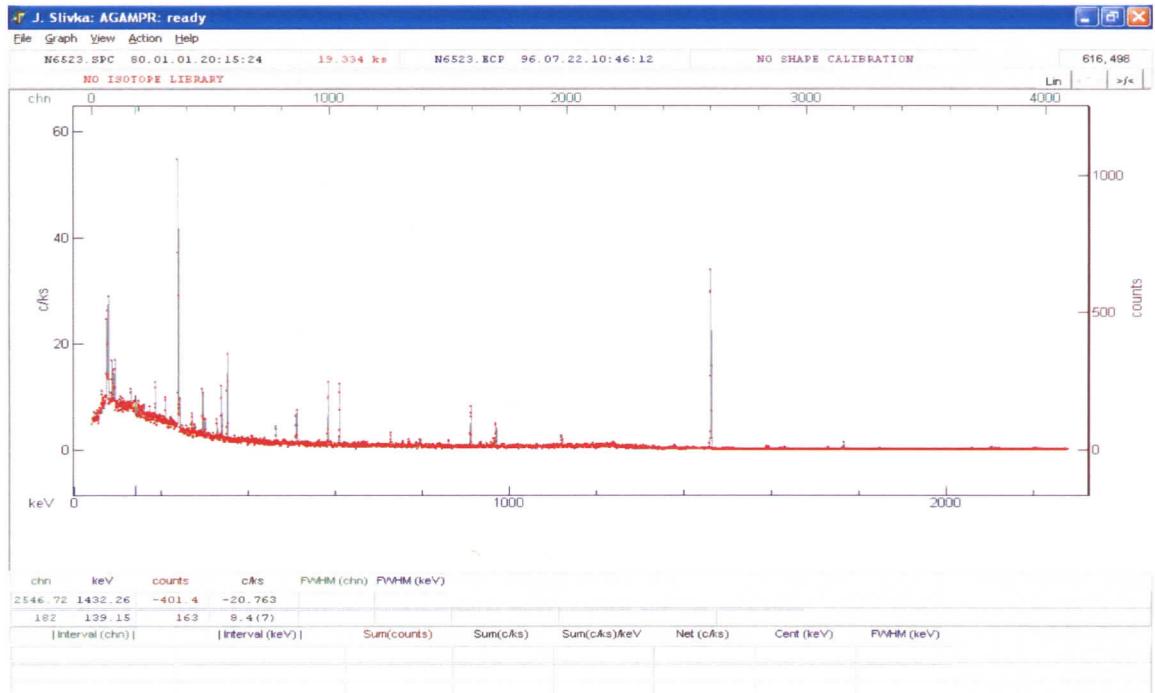


slika 3.3.

Detektor se koristi u gama spektroskopiji za merenja različitih izvora zračenja u opsegu od 50 keV do 10 MeV , a rezolucija na 1400 keV je $1,8\text{ keV}$, pa se dosta precizno može detektovati i ova linija na 846.8 keV . Kako je u ovom eksperimentu potrebno prirodno zračenje jer linija na 846.8 keV čini šum merenja u detektoru bilo je bitno koristiti izvore (uzorke) male aktivnosti da bi taj fon što više došao do izražaja. Linija čini šum merenja jer potiče iz zaštite detektora, a ne iz samog izvora zračenja. Zbog toga su u eksperimentu korišćena merenja u kojima nije uočena bitna radioaktivnost mnogo iznad nivoa prirodnog šuma kao na primer spektari prehrabrenih proizvoda [14].

4. Obrada podataka

Pri obradi podataka je prvenstveno bilo bitno da se eliminišu spektri gde je izmeren

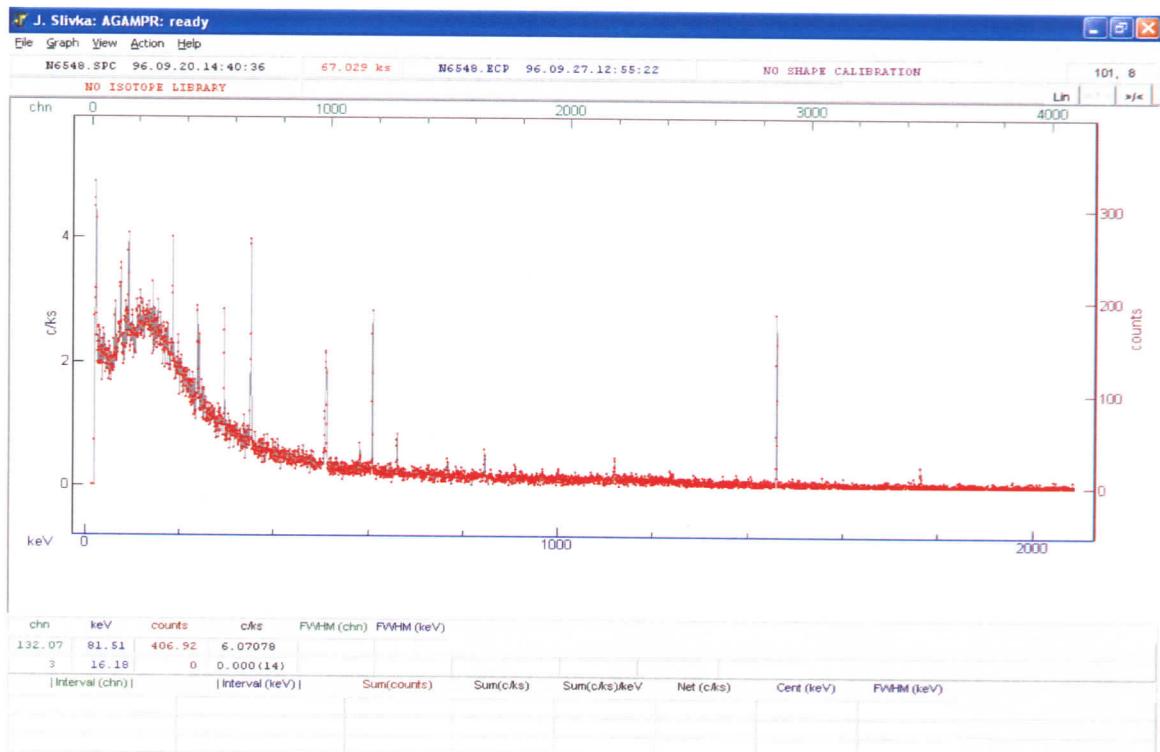


slika 4.1

Na slici je prikazan jedan od spektara koji nije korišćen u radu jer je postojao visok signal što se može videti po tome što postoji visok broj odbroja po kilosekundi.

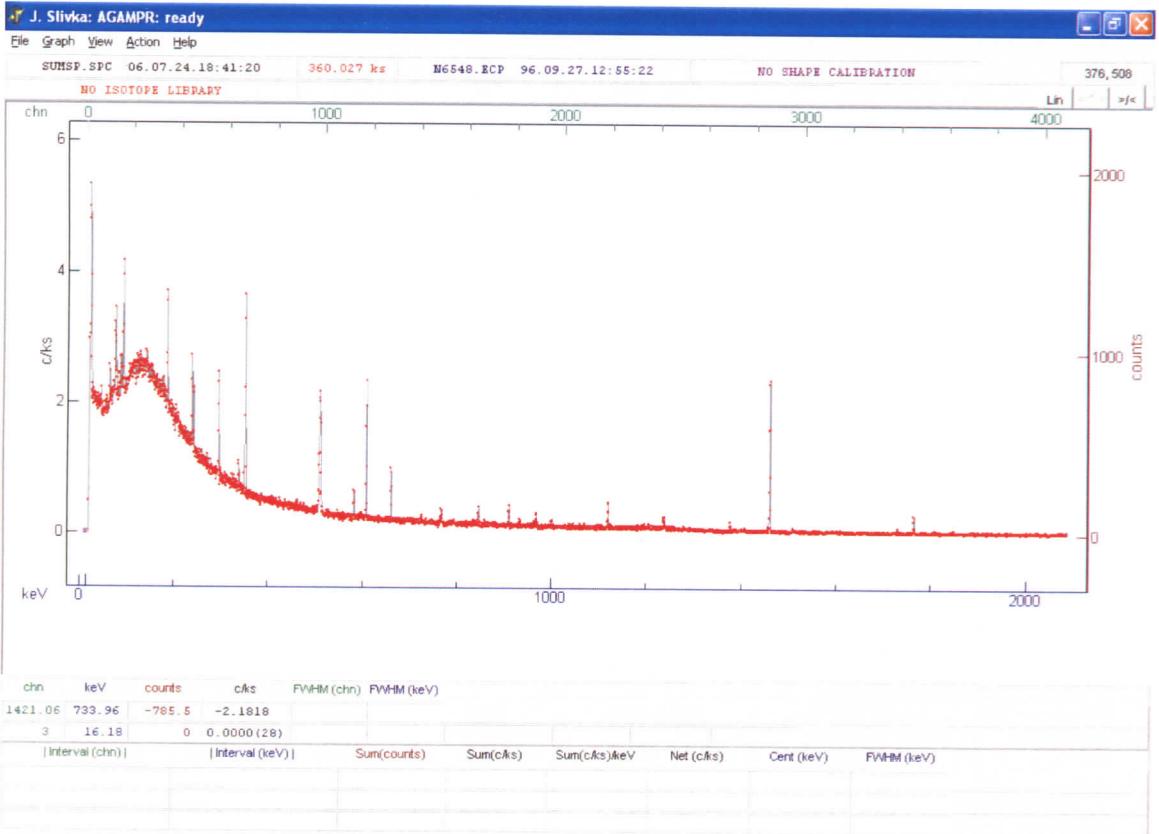
visok intenzitet zračenja, tj. oni koji su najčešće dobijeni merenjem zračenja iz zemlje (slika 4.1.) ili drugih uzoraka koji emituju visoko zračenje (radioaktivni elementi). Kako je u periodu od 1996. do 1997. godine bilo i takvih merenja prvi zadatak je bio da se izdvoje takvi spektri te da ostanu samo oni gde je meren intenzitet zračenja izvora blizak nivou šuma (slika 4.2.).

Sledeći zadatak pri obradi podataka je bio da se sačuvani spektri saberi po nedeljama, pri čemu se dobija 80 nedelja spektara (slika 4.3.). Za tu analizu koristi se program aGamPr koji je napravio profesor Jaroslav Slivka. Prvi problem u obradi podataka je to što u nekim nedeljama nije postojao ni jedan spektor zbog prethodnog sortiranja podataka. Međutim, periodogrami su računati Lomb-Scargle metodom koja je smisljena za tretiranje vremenskih nizova sa nedostajućim podacima (prvobitno za potrebe astronoma, gde se često ne mogu vršiti kontinuirane observacije), te je problem diskotinuiteta u merenjima ovim putem smanjen ali je sigurno da se to donekle odrazilo na rezultate.



slika 4.2

Jedan od spektara koji je korišćen u radu, vidi se da je nizak nivo šuma-mali broj odbroja po kilosekundi



slika 4.3

Spektar dobijen sumiranjem spektara iz jedne nedelje

Posle toga je trebalo utvrditi stvaran intenzitet linije, ustvari oduzeti šum od merenog intenziteta i sve to tabelarno prikazati (tabela 4.1.). U tabeli 4.1 su prikazani integralni intenzitet linije N_p od 8 kanala, integralni intenziteti šuma od 4 kanala levo i 4 kanala desno od linije N_l i N_d vreme merenja t , intenzitet linije I i greška intenziteta linije ΔI . Na taj način se vrši procena šuma u samoj liniji. Intenzitet linije (oduzimanjem N_l i N_d od N_p) se dobija integralni intenzitet linije bez šuma) i greška intenziteta linije se dobijaju pomoću jednačina:

$$I = \frac{1}{t} (N_p - N_l - N_d) \quad (4.1)$$

$$\Delta I = \frac{1}{t} \sqrt{N_p + N_l + N_d} \quad (4.2)$$

BR	N_p	N_l	N_d	t [ks]	I	ΔI
1	1440	433	399	615.26	0.99	0.08
2						
3	960	263	321	395.821	0.95	0.1
4	920	227	261	397.313	1.09	0.09
5	1030	223	304	469.085	1.07	0.08
6	950	233	251	429.358	1.085	0.09
7	164	37	50	67.295	1.14	0.235
8	171	31	42	69.93	1.4	0.22
9	157	49	50	87.865	0.66	0.18
10	275	67	76	132.674	0.99	0.15
11	84	33	27	45.516	0.53	0.26
12	299	83	62	143.152	1.075	0.15
13	335	116	94	155.075	0.81	0.15
14	448	106	109	212.102	1.1	0.12
15	333	99	100	158.451	0.85	0.145
16	305	77	91	173.388	0.79	0.125
17						
18	555	154	159	241.078	1	0.12
19	950	298	278	408.467	0.92	0.095
20	129	30	21	59.553	1.31	0.225
21	175	63	48	85.13	0.75	0.2
22						
23	564	121	185	251.988	1.02	0.12
24						
25						
26	866	233	241	350.823	1.12	0.1
27	698	184	187	296.771	1.1	0.11
28	135	31	41	57.903	1.09	0.25
29	697	213	193	318.459	0.91	0.1
30	1040	394	271	504.48	0.74	0.08
31	1250	339	328	586.593	0.99	0.07
32	808	206	252	359.11	0.97	0.1
33	799	214	183	360.027	1.12	0.1
34	940	208	252	472.66	1.015	0.08

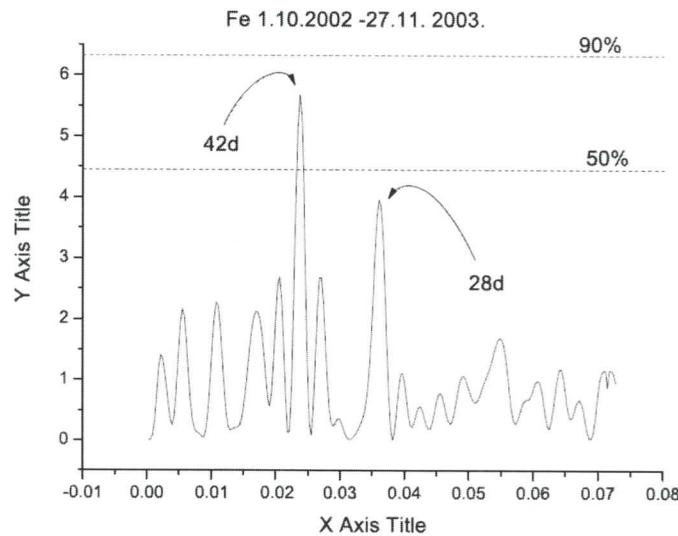
BR	N_p	N_l	N_d	t [ks]	I	ΔI
35	1510	429	460	602.019	1.03	0.08
36	1180	358	299	542.263	0.96	0.08
37	1160	348	229	598.511	0.97	0.07
38	866	223	255	452.858	0.86	0.08
39	890	241	231	416.971	1	0.09
40	1270	430	363	560.025	0.85	0.08
41	1220	333	363	524.792	1	0.08
42						
43						
44						
45	833	219	207	436.865	0.93	0.08
46	727	226	173	394.857	0.83	0.08
47	289	93	89	161.012	0.66	0.13
48	747	258	181	319.008	0.965	0.11
49						
50						
51	381	89	107	174.679	1.06	0.14
52	1130	326	305	519.287	0.96	0.08
53	1320	278	364	625.93	1.08	0.07
54						
55	930	301	235	405.329	0.97	0.09
56						
57						
58						
59	632	209	157	242.799	1.095	0.13
60	1130	321	301	567.262	0.895	0.07
61	679	138	212	268.056	1.23	0.12
62	194	49	58	82.692	1.05	0.21
63						
64	287	90	72	146.296	0.85	0.14
65						
66	690	223	219	271.911	0.91	0.12
67						
68	648	180	151	298.603	1.06	0.1
69	502	112	139	215.048	1.17	0.13
70	1810	537	438	762.421	1.095	0.07
71	4610	1320	1140	1936.97	1.11	0.04
72	1410	432	357	637.129	0.97	0.07
73	830	261	181	417.722	0.93	0.085
74	1520	411	459	596.147	1.09	0.08
75	1220	268	319	588.221	1.08	0.07
76	583	149	191	253.99	0.96	0.12
77	1320	342	332	570.984	1.13	0.08
78	960	205	256	474.57	1.05	0.08
79	631	171	168	264.084	1.11	0.12
80	851	223	188	387.494	1.135	0.09

Tabela 4.1

Sledeći deo obrade podataka je bilo izračunavanje periodograma, što je urađeno na institutu za fiziku u Zemunu. Kao što je već rečeno, za to je korišćen Lomb-Scarglov metod. Njegova prednost je u tome što je kod njega dobro zasnovana statistička interpretacija i mogućnost detektovanja signala male amplitude, a i kao što je već rečeno zbog "rupa" u podacima.

5. Rezultati

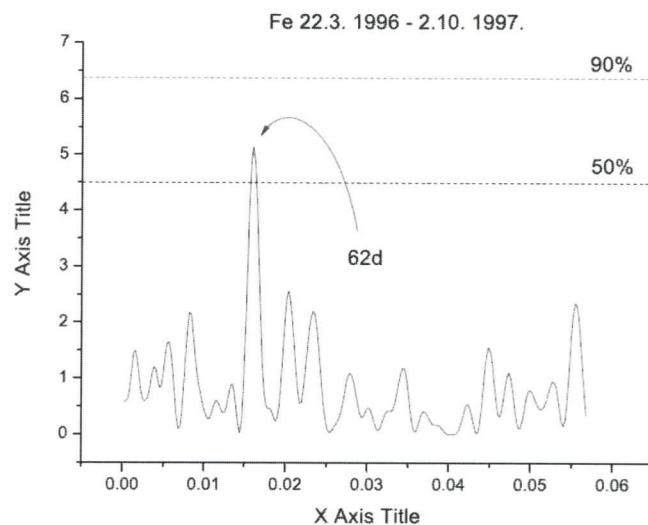
Prvo bih rekao par reči o rezultatima koji su dobijeni u [1] korišćenjem spektara koji su dobijeni u periodu od 1.10.2002. do 27.11.2003. On je na isti način koji sam izložio u prethodnoj glavi dobio periodogram koji je prikazan na slici 5.1. Sa slike se vidi da postoje dva veća perioda od 42 i 28 dana, ali je njihova sigurnost manja od 90 % ,



slika 5.1.

ovog drugog čak manja od 50 % .

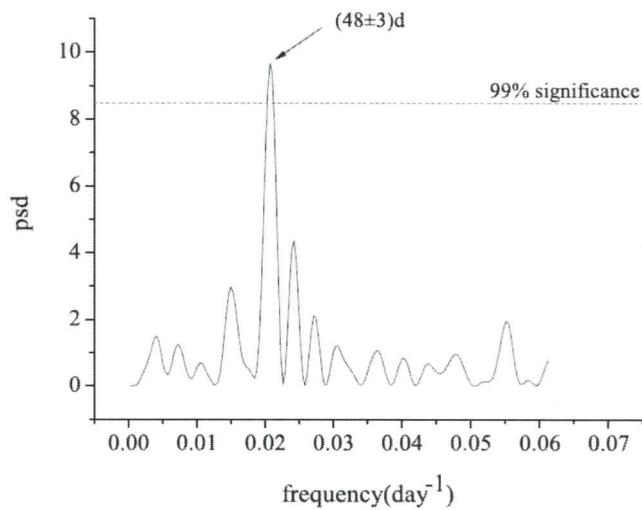
Cilj ovog diplomskog rada je između ostalog bio da se proveri ovaj rezultat kroz detaljniju analizu. Koršćeni su spektri od 22.03.1996. do 02.10.1997. Kao rezultat dobijen je periodogram prikazan na slici 5.2. Na njemu se može videti da postoji period



slika 5.2.

od 62 dana koji ima nivo poverenja nešto veći od 50% . Kako se ovaj rezultat razlikuje od rezultata koji su mu prethodili, a ni jedan od rezultata nije dovoljno statistički značajan, podaci su još rigoroznije selektirani i napravljen je nov periodogram prikazan na slici 5.3. Za razliku od prethodnih periodograma na ovom postoji period od 48 ± 3 dana, koji ima nivo poverenja veći od 99%, ali unosi još veće greške u periodogram. Nivo poverenja od 99% je sasvim dovoljan da bi se utvrdio period u promeni intenziteta kosmičkog zračenja od ≈ 50 dana.

Iako je na ovaj način identifikovan period od ≈ 50 dana , takav period do sada nije primećen niti predviđen varijacijama fluksa kosmičkog zračenja.



slika 5.3.

6. Zaključak

Ideja diplomskog rada je bila da se ispitaju vremenske varijacije u fonskoj liniji na 846.8 keV i da se proveri varijabilnost ove linije sa promenom fluksa miona koji nastaju interakcijom primarnog kosmičkog zračenja sa atomima u atmosferi. Ukoliko je linija na 846.8 keV indukovana interakcijom miona sa gvozdenom zaštitom, bilo kakva varijacija fluksa kosmičkog zračenja bi prouzrokovala varijaciju intenziteta ove linije.

Da bi se ispitala ova hipoteza, bilo je potrebno pratiti promenu fluksa ove linije u dužem vremenskom periodu prilikom merenja različitih nisko-aktivnih uzoraka. Korišćeni su spektri koji su mereni tokom 80 nedelja u intervalu od 22.03.1996. do 02.10.1997.

Iz selektiranih spektara određen je intenzitet ove linije za svaku uzetu nedelju, a zatim napravljen periodogram promene njenog intenziteta za ceo obuhvaćen period. U radu koji je prethodio [1] identifikovano je dve varijacije ove linije i to sa periodima od 42 i 28 dana gde su oba perioda bila utvrđena sa niskim nivoom poverenja prvi sa oko 70% a drugi sa nesto manje od 50% i jedino je period od 28 dana bio u skladu sa varijacijama u spektru kosmičkih miona koji se uredno prati u laboratoriji u Zemunu. Za razliku od toga, u ovom radu, analizom spektara iz dužeg vremenskog perioda identifikovan je period od 62 dana, ali sa niskim nivoom poverenja, manjim od 50%, pa se iz njega ne može ništa statistički značajno zaključiti. Rigoroznijom selekcijom podataka i ponovnim pravljenjem periodograma je identifikovan period od ≈ 50 dana sa nivoom poverenja većim od 99 %. Iako statistički značajan, ovaj period se za sada ne može povezati ni sa jednom utvrđenom varijacijom spektra kosmičkih miona te se na osnovu ovog rezultata ne može potvrditi hipoteza da je varijabilnost linije na 846.8 keV posledica varijacije kosmičkih miona.

S obzirom da se radi o fonskoj liniji i da su u radu korišćeni podaci koji nisu stalno mereni u određenim vremenskim periodima (nedostajalo je nekoliko nedelja), može se zaključiti da bi za detaljnije ispitivanje ove hipoteze bila potrebna bolja statistika, više podataka i preciznija merenja.

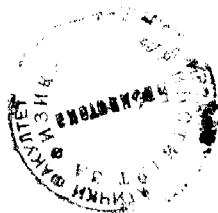
7. Literatura

- [1] "Uporedna analiza kosmičkog zračenja merenog u laboratorijama u Zemunu i Novom Sadu", M. Krmar, E. Varga, R. Banjac, A. Dragić, D. Joković, V. Udovičić, I. Aničin, Departman za fiziku PMF Novi Sad, Institut za fiziku Beograd, Fizički fakultet Beograd
- [2] "Neobjavljene skripte iz predmeta nuklearna fizika i elementarne čestice", Dr M. Krmar
- [3] "Cosmic rays and particle physics", T. K. Gaisser, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1990., Cambridge
- [4] http://www.geofisica.unam.mx/isyp/imagenes/images_eng/
- [5] www.britannica.com/eb/article-9034832/Forbush-effect
- [6] <http://www.srl.caltech.edu/ACE/ACENews/images/>
- [7] <http://www.auger.org/>
- [8] <http://astro.matf.bg.ac.yu/nikolavitas/imna/katarinamiljkovic.pdf>
- [9] "Galactic and solar cosmic rays", A. Chilingarian, Proceedings of the CERN High Energy Physics school, 2005
- [10] "Cosmic rays in the Heliosphere", Mikhail Panasyuk, XX European Cosmic Ray Symposium, ECR2006
- [11] <http://lyoinfo.in2p3.fr/manoir/montagne.gif>

[12] <http://t2.lanl.gov/data/qtool.html>

[13] W.-M. Yao et al., Journal of Physics G 33, 1 (2006)

[14] "Standardizacija kontrole kvaliteta poluprovodničkih gama-spektrometara",
J. Marković-diplomski rad



Kratka Biografija



Kotuš Srđan je rođen 22.01.1984. godine u Novom Sadu. Osnovnu školu „Žarko Zrenjanin“ i matematički smer gimnazije „Jovan Jovanović Zmaj“ je završio u Novom Sadu. Fiziku je upisao (smer Astronomija sa astrofizikom) na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu 2003. godine.

Novi Sad, 02.10.2007.

Kotuš Srđan

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Monografska dokumentacija

TZ

Tekstualni štampani materijal

VR

Diplomski rad

Autor:

AU

Kotuš Srđan, 248/03

MN

Naslov rada:

NR

Dr Ištvan Bikit, redovni profesor PMF Novi Sad
Vremenske varijacije fonske linije na 846,8 keV

JP

Jezik publikacije:

JI

srpski (latinica)

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Vojvodina

Godina:

GO

2007.

Izdavač:

IZ

Autorski reprint

MA

Mesto i adresa:

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

FO

Fizički opis rada:

(broj poglavlja/broj strana/broj referenci/broj tabela/broj slika):
(7/29/14/2/17)

Naučna oblast:

Fizika

NO

Naučna disciplina:

Astrofizika, Nuklearna fizika

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

Kosmičko zračenje, varijacije fonske linije

PO

UDK

Čuva se:

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU

Važna napomena:

nema

VN

Izvod:

U ovom radu ispitane su vremenske varijacije fonske linije na 846.8 keV i proverena je varijabilnost ove linije sa promenom fluksa miona.

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

03.09.2007.

Datum odbrane:

DO

02.10.2007.

Članovi komisije:

KO

Dr Milan Pantić, vanredni profesor, PMF Novi Sad

Predsednik:

Dr Nataša Todorović, docent, PMF Novi Sad

član:

Dr Tijana Prodanović, docent, PMF Novi Sad

član:

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Monograph publication

TR

Textual printed material

CC

Final paper

AU

Kotuš Srđan, 248/03

MN

Mentor/comentor:

Dr Ištvan Bikit, full professor PMF Novi Sad

TI

Title: Time variations of background line at 846.8 keV

LT

Serbian (Latin)

LA

English

Country of publication:

CP

Serbia and Montenegro

LP

Vojvodina

PY

2007.

PU

Author's reprint

PP

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PD

(chapter / pages /literature / tables / pictures):

(7/29/14/2/17)

Physics

SF

Astrophysics, Nuclear physics

SD

Cosmic radiation, variation of background line

SKW

UC

Holding data: Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note: none

N

Abstract:

In this work we analyzed time variations of 846.8 keV background line and checked if this variability could be induced by fluctuations in cosmic muon flux.

AB

Accepted by the Scientific Board:

03.09.2007.

ASB

Defended on:

02.10.2007.

DE

Thesis defend board:

DB

President: Dr Milan Pantić, associate professor PMF Novi Sad

Member:

Dr Nataša Todorović, assistant professor PMF Novi Sad

Member:

Dr Tijana Prodanović, assistant professor PMF Novi Sad