

Detekcija sekundarnog kosmičkog zračenja i kalibracija difuzione maglene komore

Napravljen je detektor kosmičkog zračenja, sa difuzionom maglenom komorom i analizirana mogućnost upotrebe ovog detektora za određivanje ugaone raspodele mionskog fluksa, što zahteva da se odrede trajektorije za dovoljno veliki broj čestica. Dobijeni rezultati ukazuju da korišćeni detektor nije pogodan za ovu primenu. Detektovano je uglavnom sekundarno kosmičko zračenje. Korišćeni metod za određivanje upadnog ugla se nije pokazao efikasnim i treba ga modifikovati.

Uvod

Postoji više različitih vrsta detektora sekundarnog kosmičkog zračenja. Najjednostavniji detektori koji su i prvi razvijeni su jonizacioni detektori. Poznato da su joni u prezasićenoj pari (vodena, alkoholna) centri moguće kondenzacije (Marijanović 2005). Čestice kosmičkog zračenja jonizuju prezasićenu paru svojim prolaskom kroz nju, i time se formiraju mali tačkasti oblaci oko svakog jona. Time je trag čestice obeležen i može se fotografisati. Dva osnovna tipa jonizujućih detektora su Vilsonova i difuzionna komora.

Rad prvobitne Vilsonove komore se bazira na adijabatskom širenju gasa, koji se potom hladi i počinje da kondenzuje pri čemu se omogućuje detekcija naelektrisanih čestica kosmičkog zračenja (Leo 1987). Stvoreni uslovi u komori nisu stalni, pa je potrebno zagrejati gas u komori tako što će se gas adijabatski sabiti. Ovim postupkom uslovi koji vladaju u komori su isti kao i na početku rada komore, odno-

sno potrebno je ponovo da se gas adijabatski raširi da bi se ispunili uslovi za detekciju čestica.

Nedostatak Vilsonove komore ispunjava difuzionna komora, jer omogućuje konstantniju detekciju čestica za razliku od Vilsonove komore, koja je operativna samo u određenim vremenskim intervalima. Rad difuzione komore se bazira na sledećem. U komori postoji temperaturni gradijent tako da se u najtoplijem delu komore nalazi tečnost koja je lako isparljiva na sobnim temperaturama. Usled isparavanja tečnosti stvara se para koja prelazi u hladniji prostor komore usled čega se hladi i kondenzuje pri čemu dolazi do stvaranja efektivnog sloja komore u kome se detektuju naelektrisane čestice. Princip rada difuzione komore omogućuje da se konstantno detektuje kosmičko zračenje, čime se dobija bolja vremenska analiza tragova jonizacije (Leo 1987). Bitno je napomenuti da ukoliko intenzitet kosmičkog zračenja postane intenzivniji, efektivni sloj komore se može paralisati, pa je potrebno oko 15 sekundi da se povraća u prvobitno stanje.

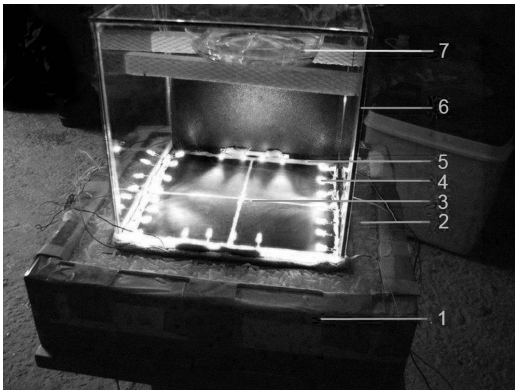
Eksperiment

Izgled difuzione komore koja je napravljena predstavljen je na slici 1. Korišćen je stakleni akvarijum čije sve tri prostorne dimenzije iznose po 30 cm. Kao tečnost uzeto je 0.25 L alkohola izopropanola. Pošto je bilo potrebno ostvariti temperaturni gradijent, posuda sa alkoholom je podignuta na vrh komore u kome je temperatura slična sobnoj temperaturi. Za hlađenje suprotnog dela komore odnosno dna, korišćena aluminijumska ploča koja se nalazi na kompresovanom CO₂ (suvi led), temperature od oko -75°C. U cilju efikasnije detekcije, bilo je potrebno zamračiti prostoriju u kojoj se nalazio detektor. Dve od četiri strane detektora kroz koje je moguće posmatrati su potpuno prekrivene crnim kolaž papirom zbog boljeg kontrasta između tragova, koji su beli, i pozadine (kolaž papira), koja je crna. Iz istog razloga aluminijumska ploča, koja se nalazila na dnu je ofarbana u crno.

Sava Mirković (1993), Novi Sad, Episkopa Vasiriona 3, učenik 2. razreda gimnazije „Jovan Jovanović Zmaj”

MENTOR: Milan Darijević, student Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Prostor u kome su se detektovale čestice je osvetljavan sa 24 LED diode. Radi testiranja komore, od ukupno 24 diode, njih 8 su emitovale plavu svetlost, dok je ostatak dioda emitovao belu svetlost. Posle kraćih proba, utvrdilo se da su diode koje emituju belu svetlost najbolje za dobru detekciju i sam rad komore. Izolacija komore je urađena sa sirovom gumom, koja se ujedno koristila za postavku dioda sa unutrašnjih donjih strana detektora. Pošto je tokom proba dolazilo do toga da para napušta komoru bilo je potrebno da se osim gume koja se koristila kao izolator, taj deo polije vodom. Na ovaj način voda se ledi (usled niske temperature koja potiče od suvog leda) i stvaraju se uslovi pri kojima para ne može da napusti komoru. Da bi se ostvarila što niža temperatura pri dnu, potrebno je da aluminijumska ploča bude u kontaktu samo sa akvarijumom i ledom. Potrebno je izbegavati dodatni kontakt sa kutijom u kojoj se nalazi led. Shodno tome, kutija koja je korišćena imala je sve dve dimenzije od po 40 cm dok je treća iznosila 15 cm.



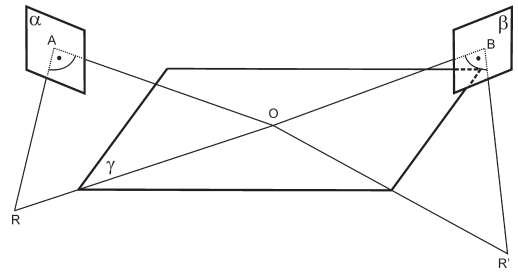
Slika 1. Izgled detektora (1 – kutija, 2 – suvi led, 3 – aluminijumska ploča, 4 – svetleće diode, 5 – zaptivna masa, 6 – akvarijum, 7 – posuda sa alkoholom).

Figure 1. Detector (1 – box, 2 – dry ice, 3 – aluminum board, 4 – light diodes, 5 – sealant, 6 – tank, 7 – alcohol)

Ekperimentalno je pokazano da se broj dostiglih miona u zavisnosti od zenitnog ugla menja po funkciji $\cos^2 \theta$, gde je θ zenitni ugao (Keuffel *et al.* 1969). Radi potvrde ovog rezultata, odlučeno je da se napravljena difuziona komora snima i da se na taj način registruju (fotografišu) i analiziraju tragovi

pristiglih miona i tako utvrdi zavisnost ustanovljena ranijim eksperimentima.

Za snimanje su korišćeni fotoaparati Fuji s6500. Komora je snimana iz dva različita ugla (slika 2), u periodu od pola sata. Potrebno je izmeriti uglove $\angle AOA'$ i $\angle BOO'$, koji predstavljaju uglove između fokalnih ravni kamera i ravni akvarijuma. Vrednost ugla $\angle A'OB'$ je takođe neophodna za analizu trajektorija čestica. Nakon sinhronizacije snimaka sa obe kamere, napravljena je baza podataka, sačinjena od parova fotografija sa obe kamere na kojima se vide isti tragovi. U toku procesa uparivanja uzeta je fotografija trajektorije miona, koja je zabeležena na snimku jednog fotoaparata, a zatim je tražena fotografija traga miona sa drugog aparata, koja odgovara vremenskom intervalu detekcije sa prvog aparata, čime se dobijaju dve fotografije istog traga miona. Sinhronizacija aparata je urađena sa tačnošću od nekoliko stotina milisekundi, što je, obzirom na frekventnost posmatrane pojave, sasvim dovoljno. Iz izdvojenih tragova koji se vide na fotografijama oba aparata, moguće je rekonstruisati trajektoriju miona u prostoru, tako što će se naći ravni koje su normalne na fokalnu ravan obe kamere i sadrže trag miona. Analizom preseka te dve ravni, može se dobiti informacija o raspodeli miona i drugih čestica u prostoru.



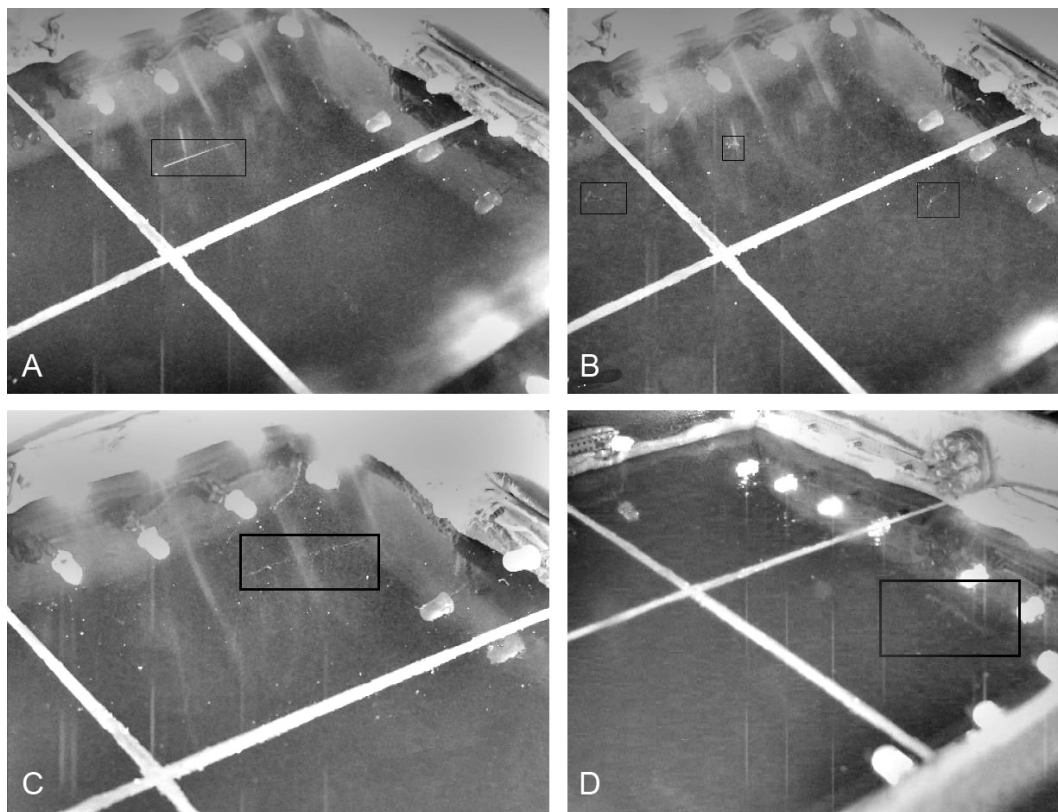
Slika 2. Šematski prikaz postavke kamera (fokalne ravni α i β) u odnosu na ravan akvarijuma (γ), $AA'O$ i $BB'O$ – uglovi kamera u odnosu na ravan akvarijuma

Figure 2. Camera positions (focal planes α and β) in relation to the tank (γ), $AA'O$ and $BB'O$ – angles of the camera in relation to the tank plane

Rezultati i diskusija

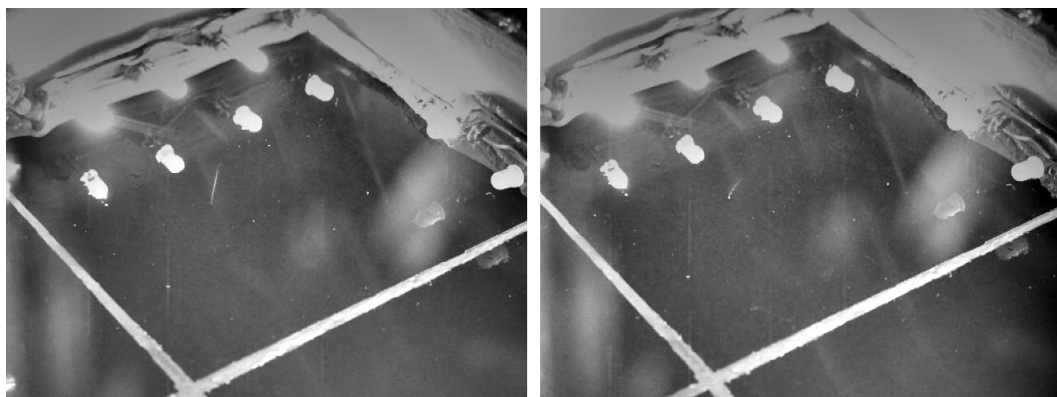
Tokom analize video zapisa i traženja tragova uočeni su tragovi čestica koje pripadaju sekundarnom kosmičkom zračenju. Tokom realizacije eksperimenta ostvarena je i detekcija alfa čestica (slika 3, A). Kako jonizuju više atoma pare zbog veličine same alfa čestice, odnosno sudaraju se sa više drugih čestica iz okoline kroz koju prolaze, imaju veći gubitak energije po jedinici dužine i time trag postaje kraći od ostalih, ali uočljiviji zbog veće količine jonizovanih atoma. Mioni su čestice manjeg radijusa veličine nego alfa čestice, što dovodi to toga da imaju veći srednji slobodan put kroz neku sredinu (ne dolazi do toliko sudara sa okolnim česticama kao što je to slučaj sa alfa česticama) ali imaju mnogo veću energiju, koja se kreće u intervalu od 0.2 GeV do

10 GeV (Haldar *et al.* 2001). Time je njihov trag ne tako uočljiv kao trag alfa čestice, ali je mnogo duži zbog sporijeg gubitka energije (slika 3). Treća vrsta čestica koje su uočene u komori bile su beta čestice (slika 3, B). Njihovi tragovi odstupaju od prave linije i dosta su kratki i slabi. Razlog tome je mala energija i veličina same čestice. Može doći do dileme da li je neki trag, koji je dug i ne tako jak, trag miona ili beta čestice. Jedna od razlika je to što trag miona više podseća na pravu liniju nego trag beta čestice. Druga razlika potiče od toga što je trag miona dosta uočljiviji od traga beta čestice, zbog većeg gubitka energije po jedinici dužine. Tragovi gama čestica nisu detektovani. Kako je reč samo o tragovima jonizacije efikasne zapremine i obzirom da je detekcija vizuelna, difuziona komora nije u stanju da odredi energiju čestica koje su prošle kroz



Slika 3. Tragovi alfa (A), beta čestica (B) i dve uparene fotografije miona (C i D)

Figure 3. Traces of alfa (A) and beta (B) particles and two coupled muon photographs (C and D)



Slika 4. Formiranje (levo) i nestanak (desno) traga čestice sekundarnog kosmičkog zračenja velikog upadnog ugla

Figure 4. Formation (left) and disappearance (right) of the trace of a particle with secondary cosmic radiation and a large incident angle

nju. Za takavu analizu potrebno je nekoliko parametara koji opisuju energiju čestice tokom kretanja kroz difuzionu komoru.

Na grafiku (slika 5) se može primetiti da odnos broja detektovanih miona i beta čestica nije zadovoljavajući. Naime, ako se uzmu u obzir fizičke karakteristike obe čestice može se primetiti da bi trebalo da bude detektovano više miona, ali u razmatranje treba uzeti i zavisnost njihovog fluksa od zenitnog upadnog ugla, odnosno da njihov broj opada sa $\cos^2 \theta$, gde je θ zenitni ugao. Imajući u vidu da je komora detektovala samo mione malih upadnih uglova dobijeni rezultati su korektni i potvrđuju teorijska predviđanja. U skladu sa fizičkim karakteristikama alfa čestice, broj detekcija ove čestice je zadovoljavajući. Grafik (slika 5) dobijen je prebrojavanjem tragova datih čestica koje su zabeležile kamere. Kod ovog postupka treba imati na umu da su tragovi miona i beta čestica često slični, što znači da treba izbegavati diskusiju traga ako je on došao pod velikim upadnim uglom jer se detekcija zasniva na analizi trajektorije koju za sobom ostavi čestica i može se desiti da se, usled pogrešne procene eksperimentatora, ne detektuje dovoljan broj beta čestica i miona. Za dobru detekciju potreban je što je moguće veći trag jonizacije. Alfa čestice, za razliku od miona i beta čestica, su prepoznatljivije jer ostavljaju dosta jak i uočljiv trag (slika 3A), i njih je moguće detektovati pri svim upadnim uglovima.

Veliku prepreku za snimanje predstavljao je sloj leda, odnosno kondezovana voda iz vazduha, koji se

formirao na dnu akvarijuma sa spoljašnje strane i smetao je kamerama prilikom snimanja efikasne zapremine (slika 3). Stoga je bilo potrebno postaviti kamere u položaje u kojima je snimanje te zone moguće i gde to uslovi koji vladaju oko komore dozvoljavaju. Sa dovoljno prikupljenog video materijala i uparivanja fotografija tragova miona, potvrđeno je da je efektivna zapremina komore bila jako mala, čime je otežana analiza fotografija. Da bi se dobila potpuna ugaona raspodela miona potrebno je detektovati mione svih upadnih uglova. Znači da efikasna zapremina mora biti velika, jer postoji i kretanje molekula pare, usled privlačne sile Zemlje i difuzionog kretanja, koje takođe utiče na rezultate detekcije miona većih upadnih uglova. Jednostavan



Slika 7. Grafički prikaz broja detektovanih čestica.

Figure 7. Graph presenting the number of detected particles

primer je kada se prilikom analize podataka uoči trag čestice čiji je upadni ugao dosta veliki (slika 4), koji se posle jako kratkog vremena deformiše zbog vertikalnog kretanja molekula pare, pri čemu se ne može odrediti koja čestica je napravila taj trag jer se proces odigrava u intervalu dve do tri sekunde.

Efektivna zapremina nije u potpunosti homogena sredina, jer se u komori nalaze i primese drugih gasova iz atmosfere. Ovaj faktor je takođe uticao na analizu podataka, jer je izgubljena količina tragova čije putanje nisu mogle jasno da se definišu, zbog nedostataka jonizujućeg traga čestice usled manjka preostale pare. Nehomogenost može dovesti do previda o veličini efikasne zapremine. Može se desiti da dva traga koja imaju sličan upadni ugao imaju različite dužine, iz čega se ne može pouzdano odrediti veličina dela komore u kojoj je jonizacija vidljiva. Sama detekcija miona manjih upadnih uglova (između 0 i 45 stepeni) nije dovoljna. Na osnovu nje se može dobiti samo prostorna raspodela u intervalu tih uglova, čime detekcija nije kompletna, i ne može se izvršiti analiza zenitne ugaone raspodele.

Kamere, koje su korišćene prilikom detekcije, nisu posedovale potrebne performanse da bi uspele da pokriju celu efektivna zapreminu, pri čemu se izgubilo na količini podataka. Postavljane su pod uglovima čije vrednosti dovode do toga da snimanje celokupne efikasne zapremine komore nije moguće. Koordinatni sistem, koji je definisan za sistem kamere-detektor, zahteva dopunu u vidu treće ose, koja pomaže u analizi tragova. Iz video zapisa koji je napravio detektor dobijen je mionski fluks koji se procenjuje na $24 \text{ [m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{]}$, što u odnosu na detekciju drugih detektora, predstavlja 14.4% ukupno detektovanih miona, ako se uzme u obzir da je fluks miona $167 \text{ mion/(m}^2\text{s)}$ (Keuffel *et al.* 1969). Slaba efikasnost detekcije je posledica male efikasne zapremine komore, zbog čijih karakteristika nisu detektovani mioni većih upadnih uglova već samo mioni manjih upadnih uglova.

Zaključak

Najvažniji rezultat eksperimenta je detekcija sekundarnog kosmičkog zračenja. Određeni tragovi jonizacije su dodeljeni česticama koje su taj trag napravile čime je pokazana njihova vizuelna detekcija. Utvrđeno je da korišćena difuziona komora ne poseduje potencijal detektora koji može da omogući dobijanje podataka neophodnih za određivanje fizičkih

parametara čestica koje nastaju u interakciji primarnog kosmičkog zračenja sa atmosferom. Broj tragova vidljivih na obe kamere je nedovoljan za dobijanje statističkih relevantne raspodele tragova miona u prostoru. Poboľšavanjem izolacije komore, načina osvetljivanja i eventualnim uvođenjem sistema za merenje i kontrolu pritiska i temperature, mogu se postići bolji uslovi, čime bi se povećala mogućnost detekcije većeg broja tragova jonizacije.

Metod koji je korišćen za analizu upadnog ugla miona nije potpun, jer se ne može izvršiti analiza većih upadnih uglova. Problem se može otkloniti boljim definisanjem koordinatnog sistema, koji će omogućiti potpunu analizu svih upadnih uglova, tako što će se nacrtati koordinatni sistem unutar komore koji će se u svakom trenutku videti na obe kamere. Dopunjavanjem postojećeg metoda omogućiće se potvrđivanje zavisnosti broja miona od zenitnog ugla.

Za određivanje zenitne ugaone raspodele miona koristiće se oprema koja može da obezbedi pouzdane podatke. Takođe, treba eksperimentalno utvrditi i azimutnu raspodelu miona koja postoji kao što postoji i zenitna, i daje nam uvid u primarno kosmičko zračenje.

Zahvalnost. Zahvaljujem se na velikoj pomoći mentoru Milanu Darijeviću, posebno vodi seminara astronomije u Istraživačkoj stanici Petnica Nikoli Božiću i saradnicima koji su svojim korisnim savetima i sugestijama doprineli izgradnji detektora i realizaciji projekta. Svojim idejama i sugestijama pomogli su i članovi katedre za Nuklearnu fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu, gde se posebno za zahvaljujem Jovani Nikolov i Dušanu Mrđi.

Literatura

- Bogdanov A. G., Kokoulin R. P., Petrukhin A. A., Saavedra O., Shutenko V. V., Yashin I. I. 2003. Observation of geomagnetic effects in EAS muon component. *Cosmic Ray Symposium Proceedings*. Dostupno na http://ikfia.ysn.ru/pdf/Cosmic_Ray_Symp/s5.12.pdf
- Dmitrieva A. N., Chernov D. V., Kokulin R. P., Kompaniets K. G., Mannocchi G., Petrukhin A. A., Saavedra O., Shutenko V. V., Timashkov D. A., Trincherо G., Yashin I. I. 2005. Measurements of integral muon intensity at large zenith angles. arXiv:hep-ex/0611051v1.

Haldar T. K., Mitra M., Bhattacharyya D. P. 2001. Estimation of sea level muon energy spectra in the energy range 0.2 GeV TO 10 GeV. *Proceedings of the 27th International Cosmic Ray Conference*, str. 925.

Keuffel J. W., Osborne J. L., Bolingbroke G. L., Mason G. W., Larson M. O., Lowe G. H., Parker H., Stenerson R. O., Bergeson H. E. 1969. Zenith-angle distribution of ultra-high energy muons. *Acta Physica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 29 (4): 183.

Leo W. R. 1987. *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*. New York: Springer

Marijanović R. 2005. Aktivnost indukovana kosmičkim zračenjem u gvozdenoj zaštiti niskofonskog gama-spektrometrijskog sistem. Istraživački rad. Prirodnomatemički fakultet Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3, Departman za fiziku

Prodanović T. 2010. *Uvod u spektroskopiju za astronome*. Novi Sad: Prirodno-matematički fakultet univerziteta u Novom Sadu

Sava Mirković

Detection of Secondary Cosmic Rays and Calibration of the Diffusion Cloud Chamber

The basic goal of this paper is the detection of secondary cosmic rays with a Langsdorf diffusion cloud chamber. The possibility of determining the zenith angle distribution of muon flux was analyzed. A diffusion cloud chamber and two cameras were used for the detection of the vestiges of muons. The idea was to make a pair of frames of the same vestige of the muon, which present the process of ionization. With these two frames it is possible to make a 3D model of the vestige. The main problems are that the coordinate system which we used in this experiment is not sufficiently defined, and the conditions that should exist in the chamber are not good enough to provide the detection of muons with a large angle of incidence. Secondary cosmic rays were successfully detected, however, the method for determination the zenith angle distribution of muon flux requires improvements.

