



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВИМ САДАМ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	22 СЕП 2006
ОРГАНИЗОВАНО:	БРОЈ
0603	9/618

# Multiparametarsko istraživanje kosmičkih miona

- diplomski rad -

Mentor: prof. dr. Ištvan Bikit

Kandidat: Svetlana Popadić

Novi Sad, 2006.

*Ovaj diplomski rad je rađen u okviru Katedre za nuklearnu fiziku, Departmana za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu. Veliku zahvalnost dugujem mentoru ovog rada prof. dr. Ištvanu Bikitu na smernicama, korisnim sugestijama i razumevanju. Posebno se zahvaljujem asistentu mr. Dušanu Mrđi na pomoći pri realizaciji eksperimentalnog dela diplomskog rada, savetima i strpljenju. Hvala svim zaposlenim na Katedri za nuklearnu fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta.*

*Novi Sad, 18.09.2006.*

*Svetlana Popadić*

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	2
2. KARAKTERISTIKE MIONA .....	4
2.1. Istorija otkrića miona .....	4
2.2. Nastanak miona u kosmičkom zračenju.....	5
2.3. Osobine miona .....	10
2.4. Interakcija miona sa materijalom .....	11
3. MPA-3 SISTEM.....	13
3.1. Uvod .....	13
3.2. Opis hardvera .....	14
3.3. Bazni modul .....	15
3.4. Opis funkcija .....	16
3.4.1. Single mod .....	16
3.4.2. Koincidentni mod.....	17
3.4.3. Detekcija mrtvog vremena .....	18
3.4.4. 48 bitni RealTimeClock/Timer/Counter .....	18
3.5. Windows server program .....	20
3.6. Napredne mogućnosti.....	20
4. PROCENA VREDNOSTI FLUKSA KOSMIČKIH MIONA U DRUGIM EKSPERIMENTALNIM POSTAVKAMA .....	21
4.1. Fluks miona na južnom polu .....	21
4.2. Fluks miona na malim dubinama pod zemljom .....	22
4.3. Vertikalni fluks određen sa MACRO detektorom u <i>Gran Sasso</i> laboratoriji.....	23
5. EKSPERIMENTALNI RAD .....	25
5.1. Karakteristike detektorskog veto sistema "SCIONIX".....	25
5.2. Geometrija detektorskog sistema .....	28
5.3. Podešavanje parametara u MPANT programu .....	29
5.3.1. Podešavanje parametara koincidentnih spektara.....	29
5.3.2. Podešavanje parametara dvodimenzionalnog spektra.....	31
5.3.3. Podešavanje vremenske zavisnosti koincidentnih događaja .....	31
6. SPEKTRI DEPONOVANE ENERGIJE MIONA U DETEKTORIMA .....	32
6.1. Koincidentni spektri .....	33
6.2. Poređanje pojedinčnog spektra sa koincidentnim spektrom .....	36
6.3. Vremenska zavisnost koincidentnih događaja .....	37
6.4. Spektri u donjem plastiku koincidentni sa spektrom u gornjem plastiku .....	39
6.5. Kalibracija .....	42
6.6. Izračunavanje vertikalnog fluksa kosmičkih miona.....	43
7. ZAKLJUČAK .....	44
9. REFERENCE .....	46

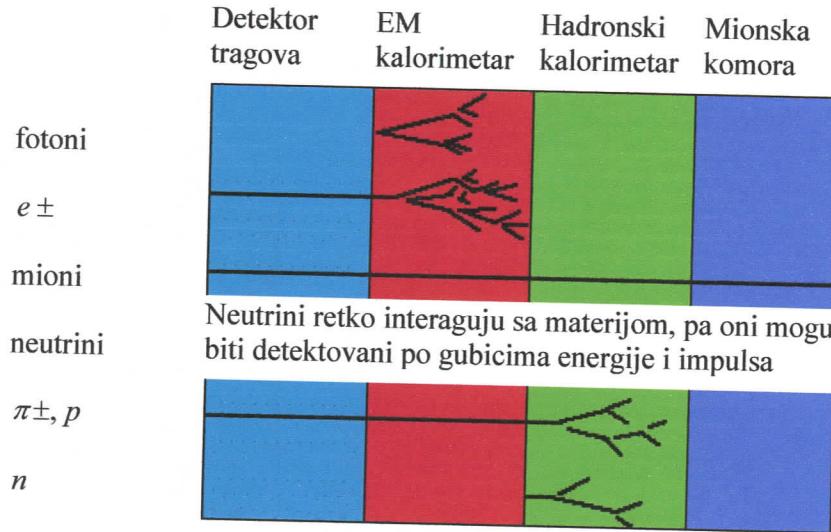


## 1. UVOD

Prvobitno poreklo kosmičkih zraka još nije u potpunosti shvaćeno. Najveći deo ovih čestica do nas stiže sa Sunca. Ostatak verovatno od eksplozija supernova i drugih, ne tako dobro identifikovanih kosmičkih izvora u našoj galaksiji, a i izvan nje. Stoga je od velikog značaja detekcija čestica dovoljno dugo da bi bili detektovani. Različite vrste čestica detektuju različiti detektorski sistemi: jedni prepoznaju tragove, dok drugi mere vreme i energiju. Nakon prikupljenih informacija, one podležu kompjuterskoj obradi i analizi. Ovi podaci su dokazi o (ne) validnosti teorija i modela, i pružaju objašnjenja o prvim fazama nastanka svemira. Ova oblast eksperimentalne fizike je područje interesovanja kako nuklearne fizike, tako i fizike elementarnih čestica i astrofizike.

Razlozi variranja intenziteta kosmičkog zračenja mogu biti zemaljskog, solarnog ili galaktičkog porekla. Širom sveta postoje mnogobrojne laboratorije za ispitivanje kosmičkog zračenja. Iz ekonomskih razloga, vrlo mali broj je konstruisan duboko pod zemljom, ispod planinskih venaca. Najčešće su plitko ukopane ispod stena ili zemlje. Neke su konstruisane u podrumima višespratnih zgrada kod kojih spoljašnju zaštitu čine tavanice i zidovi zgrade. U svim ovim laboratorijama se koristi niz raznovrsnih specijalnih detektora. Zahteva se izuzetna detektorska osjetljivost radi izdvajanja događaja izazvanih kosmičkim zracima, koji su od interesa. Radi dobre statistike potrebne su i velike aktivne površine.

Elektromagnetični kalorimetri detektuju elektrone, pozitrone i fotone, dok hadronski detektuju nanelektrisane pione, protone i neutrone. Neutrini, kao neutralne čestice, retko interaguju sa materijom, pa oni mogu biti detektovani po gubicima energije i impulsa. Identifikacija i merenje miona, veoma prodornih visoko energetkih čestica, vrši se u mionskim komorama. Ovo je šematski prikazano na slici 1.1.



**Slika 1.1.** Detekcija elementarnih čestica

Mion je bio otkriven u kosmičkom zračenju. Proces otkrića miona, od njegovog prvog registrovanja, pa do spoznaje činjenice da ta čestica predstavlja proizvod raspada nanelektrisanog piona, trajao je čitavu deceniju, od kraja tridesetih do kraja četrdesetih godina prošlog veka. Mion se dobija raspadom pi-mezona. Samo mioni i neutrini prodiru do značajnih podzemnih dubina. Merenje fluksa miona, broj čestica koji prolazi kroz jediničnu površinu u jedinici vremena, je od velike važnosti, kako zbog razumevanja funkcionalne zavisnosti fluksa miona od zenitnog ugla, tako i radi razumevanja

spektra atmosferskih neutrina. Stoga su kroz istoriju vršena mnogobrojna merenja fluksa miona. Najčešće su vršena merenja vertikalnog fluksa ili približno vertikalnog fluksa miona.

Osnovni zadatak ovog diplomskog rada je određivanje vertikalnog fluksa kosmičkih miona. U površinskoj laboratoriji DFNS-a u Novom Sadu vršena su merenja u  $\gamma$  spektrometriji. Korišćeni su organski detektori na bazi plastike kod kojih se energija miona, kao brzih nanelektrisanih čestica, određuje iz energije koju oni deponuju u detektoru.

Najpre je dat istorijat otkrića miona i objašnjen njihov nastanak u kosmičkom zračenju. Navedene su karakteristike miona i ukratko opisana njihova interakcija sa materijom.

Novina u Laboratoriji DFNS-a je multiparametarski sistem za prikupljanje podataka nemackog proizvođača FAST ComTec GmbH, *Multiparameter Data Acquisition System – MPA-3*. U ovom radu biće dati prvi podaci prikupljeni i analizirani ovim sistemom. Iz tih razloga je u trećem poglavljiju čitaocu pruženo upoznavanje sa karakteristikama MPA-3 sistema, kako hardverskim, tako i softverskim. Navedene su njegove prednosti u odnosu na ranije proizvedene akvizitione sisteme. Opisan je rad u *single* i *coincidence* modu. Spomenute su i napredne, složenije mogućnosti.

U četvrtom poglavljju je data procena vrednosti fluksa kosmičkih miona, odnosno navedeni su rezultati dobijeni u drugim mernim postavkama.

Naredno poglavlje posvećeno je eksperimentalnom radu. Opisana je eksperimentalna postavka, dat je proračun za prostorni ugao na osnovu geometrije sistema, kao i podešavanje željenih parametara u MPANT programu.

Dobijeni spektrovi i određivanje vertikalnog fluksa kosmičkih miona nakon izvršene kalibracije prikazani su u šestom poglavljju.

U dodatu je izvršeno poređenje pojedinačnog spektra plastika sa koincidentnim spektrom.

## 2. KARAKTERISTIKE MIONA

### 2.1. Istorija otkrića miona

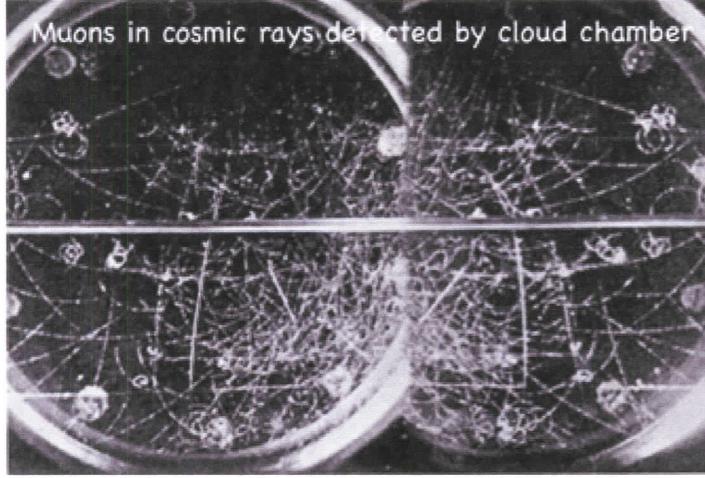
Teoriju o prirodi nuklearnih sila je 1935. godine objavio Hideki Yukawa. Za predviđanje postojanja mezona, dodeljena mu je Nobelova nagrada za fiziku 1949. godine. Ovaj japanski teorijski fizičar je po analogiji sa elektromagnetskim silama razmatrao nuklearne sile. Kvantna elektrodinamika opisuje silu između dve nanelektrisane čestice pomoću virtuelnih fotona, koje čestice emituju i apsorbuju. Pošto su virtuelni, ne mogu se detektovati. Ako prepostavimo da je vreme za koje foton pređe rastojanje od jednog do drugog nanelektrisanja jako kratko, i da je neodređenost energije jednaka energiji virtuelnog fotona, princip neodređenosti daje objašnjenje virtuelnosti. Masa fotona je jednaka nuli, što je neophodno za opisivanje sila sa beskonačnim dometom.

Za razliku od elektromagnetskih, nuklearne sile imaju kratak domet  $\sim 1/r^7$ . Po Yukawi, čestice koje posreduju pri nastanku nuklearnih sila između nukleona u jezgru, imale bi virtuelne čestice čija bi masa bila 275 puta veća od mase elektrona. Kada bi se sistemu predala energija veća od ekvivalenta mase čestice, očekivano je da se ova virtuelna čestica može oslobođiti.

Dve godine nakon objavljanja Yukawine teorije, Carl D. Anderson i Seth H. Neddermeyer su, izučavajući domet, moment i ionizaciju kosmičkih zraka u maglenoj komori, pronašli česticu iz prodorne komponente kosmičkog zračenja istog nanelektrisanja kao elektroni i mase koja je bila predviđena Yukawinom teorijom. Međutim, pošto je ova čestica slabo interagovala sa jezgrima atoma, zaključeno je da to ne može biti Yukawina čestica.

U prvoj polovini četrdesetih godina prošlog veka, M. Conversi, E. Pancini i O. Piccioni su eksperimentalno proučavali raspad pozitivnih i negativnih čestica prodorne komponente kosmičkog zračenja u različitim materijalima. Pokazano je da se pozitivni mezoni iz kosmičkog zračenja raspadaju kada bivaju zaustavljeni i u materijalima lakših i u materijalima težih elemenata, dok se negativni mezoni raspadaju samo pri zaustavljanju u lakšim elementima. Zaključeno je da mioni ne mogu biti mezoni koje je Yukawa predviđao, jer ne reaguju jakom interakcijom sa atomskim jezgrima i po svojim karakteristikama odgovara teškom elektronu. [Conversi47] Dakle, mioni se ne sudaraju sa jezgrima atmosfere, već su proizvedeni u pluskovima kosmičkog zračenja.

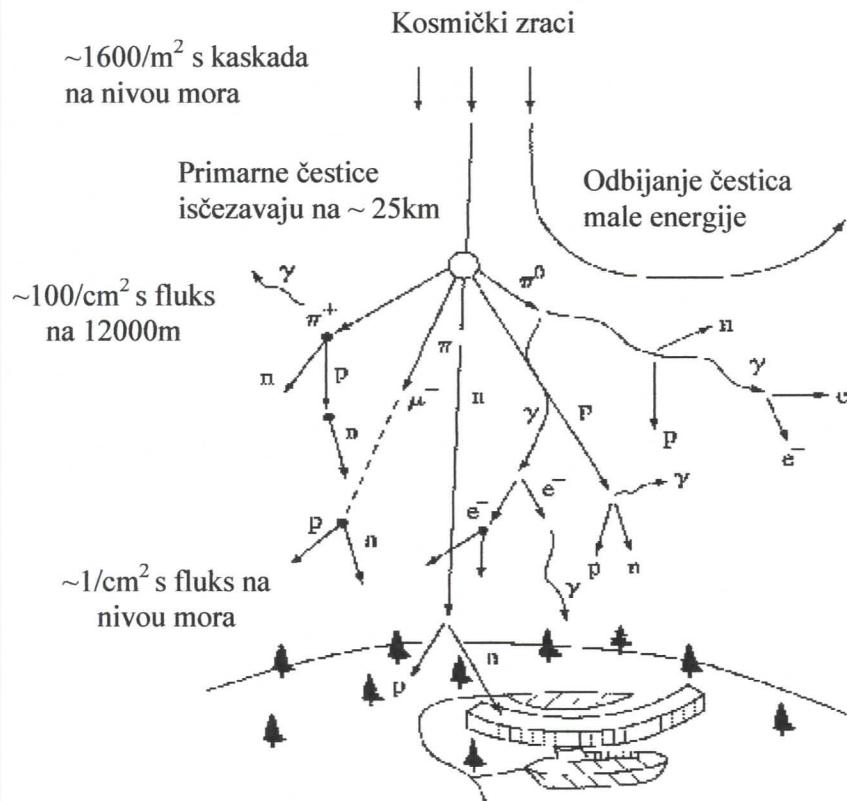
Primenjujući fotografске metode pri proučavanju nuklearnih procesa, Cecil Frank Powell je 1947. godine sa grupom naučnika našao vezu ranijih eksperimentalnih rezultata. Dobitnik je Nobelove nagrade za fiziku 1950. godine. Otkrio je dve vrste mezona u kosmičkom zračenju, pri čemu se teži u veoma kratkom vremenu raspada u lakši mezon i neutralnu česticu. Potom se lakši raspada na elektrone i neutralne čestice. Teži su nazvali  $\pi$  mezon (pion), a lakši  $\mu$  mezon (mion). Ovakva nomenklatura miona bila je nepravilna, jer mezon nije elementarna čestica, bozon je i interaguje jakom interakcijom. Kasnije je ime promenjeno u mion.



**Slika 2.1.** Mioni u kosmičkim zracima detektovani u vazdušnoj komori u Japan Proton Accelerator Research Complex [4]

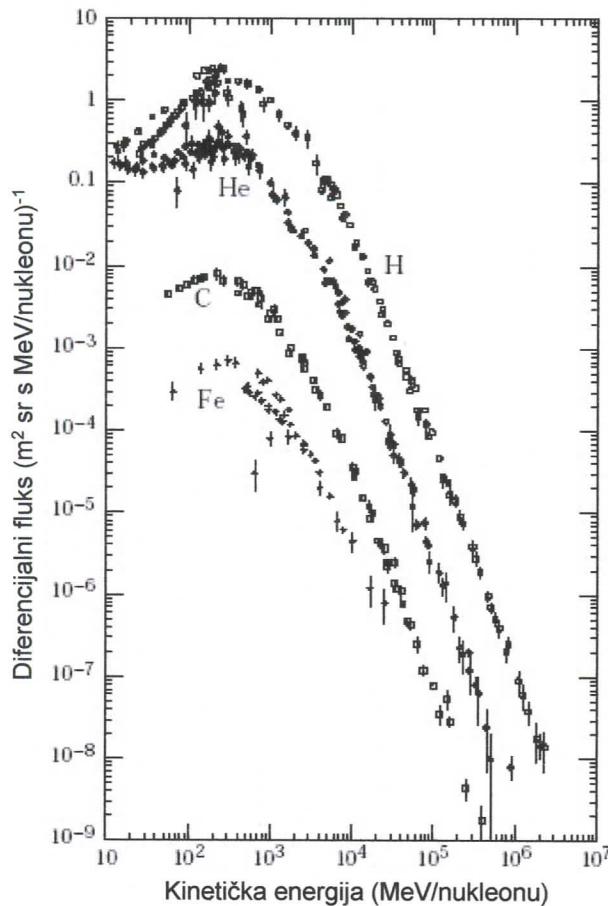
## 2.2. Nastanak miona u kosmičkom zračenju

Pod kosmičkim zračenjem se podrazumeva primarni fluks čestica visoke energije i gama zračenja koji dolaze na Zemljinu kuglu iz međuzvezdanog prostora, kao i sekundarno zračenje koje nastaje usled interakcija primarnih čestica u atmosferi. Proučavanje kosmičkog zračenja je od velike važnosti. U prošlom veku to je bila osnova proučavanja elementarnih čestica. Danas, kosmički zraci omogućavaju proučavanje kosmosa preko čestica visokih energija, koje za sada nisu postignute u laboratorijskim uslovima, i posmatranje indikacije prvih faza evolucije našeg univerzuma.



**Slika 2.2.** Shematski opis kaskade kosmičkih zraka i fluksa čestica kroz Zemljinu atmosferu

Primarni kosmički zraci se sastoje od stabilnih čestica i jezgara sa vremenom života reda veličine  $10^6$  godina, nastale i ubrzane u astrofizičkim izvorima. Manje od 1% čine fotoni koji mogu nastati pri interakciji protona sa atomima međuzvezdanog gasa. Pošto u magnetnim poljima nebeskih tela  $\gamma$  kvanti ne menjaju pravac kretanja, na osnovu njega se pouzdano određuje izvor kosmičkog zračenja. Zaključeno je da su primarni izvor kosmičkog zračenja supernove, kvazari, pulsari, crne rupe, radiogalaksije i aktivna galaktička jezgra. Po predviđanju teorije, energije stabilnih čestica imaju vrednosti do  $5 \times 10^{19} \text{ eV}$ . [5] U Zemljinu atmosferu dospevaju atomska jezgra i elektroni, pri čemu atomska jezgra čine 98% primarnog kosmičkog zračenja i od toga 86% su protoni, 12.7% helijumova jezgra, a teža jezgra 1.3%. Pored nanelektrisanih čestica, na Zemlju dolaze i neutralne čestice. Sve one ulaze u atmosferu podjednako u svim pravcima brzinom od 90% brzine svetlosti. [6] Primarno kosmičko zračenje retko dospeva do nižih slojeva atmosfere.



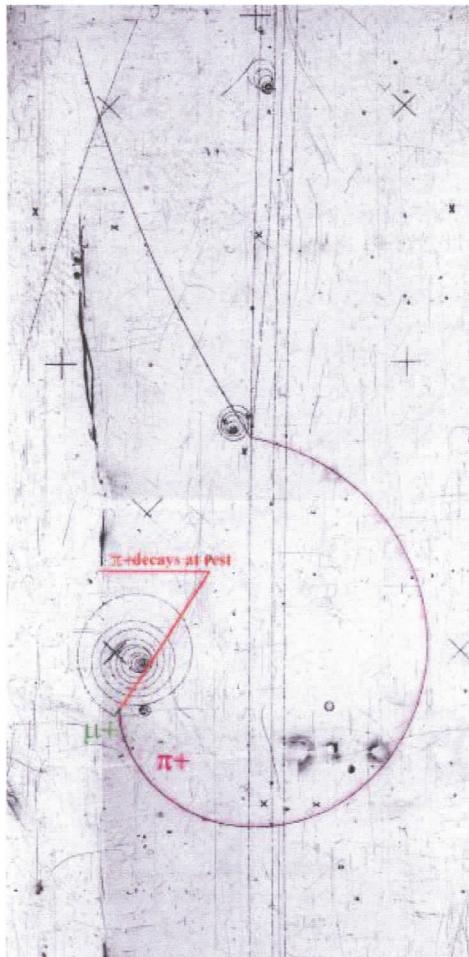
**Slika 2.3.** Diferencijalni fluks primarnog kosmičkog zračenja

Na slici 2.3. prikazane su glavne komponente primarnog kosmičkog zračenja kao funkcije energije u određenoj epohi polarnog ciklusa. [10]

Sekundarno kosmičko zračenje nastaje pri interakciji primarnih čestica sa jezgrima atoma iz niže atmosfere. Visokoenergijski protoni se sudaraju sa atomskim jezgrima atmosferskog gasa (najčešće N i O) obično na nadmorskoj visini od oko 15 km, gubeći pri tome oko polovine svoje energije. Tada se dešavaju događaji nalik eksploziji, reakcije slične za sva jezgra. U jezgru najpre dolazi do višestrukih sudara, koji mogu biti elastični i neelastični. Emitovani protoni, neutroni ili pioni prostiru se ulavnom u pravcu upadnog protona. Kada je energija upadnog protona iznad 1 GeV, najviše se emituju pioni energija od 200 do 500 MeV. [Slivka00]

Pored novonastalih protona, i visoko energijski neutroni i pioni mogu prouzrokovati istu vrstu sudara. U ovim visokoenergijskim kaskadnim sudarima nastaju tri vrste piona, koji se proizvode sa približno jednakom verovatnoćom. Pioni su  $\pi^0$  mezoni kratkog srednjeg života, neutralni ( $\tau = 2.6 \cdot 10^{-8}$  s), pozitivnog ili negativnog ( $\tau = 1.8 \cdot 10^{-16}$  s) električnog naboja. Zbog izuzetno kratkog srednjeg života  $\pi^0$  mezona, on uspeva da pređe rastojanje reda veličine samo  $\mu m$  i raspada se na dva visoko energijska fotona. Ovi  $\gamma$  kvanti prouzrokuju elektromagnetne kaskade, koje su glavni izvor meke komponente kosmičkog zračenja u atmosferi. Naelektrisani pioni,  $\pi^-$  i  $\pi^+$  mezoni, doprinose daljim nuklearnim transformacijama. Proizvodi njihovog raspada su mioni.

Na slici 2.4. prikazan je raspad pozitivnog piona na antimion i mionski neutrino. Fotografija je preuzeta sa sajta CERN.



**Slika 2.4.** Slika iz mehuraste komore. Raspad  $\pi^+$  piona na  $\mu^+$  mion i neutrino  $\nu_\mu$  [7]

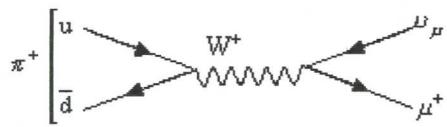
Pozitivno nanelektrisan pion se najčešće raspada na antimion i mionski neutrino putem reakcije

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu , \quad (2.1)$$

a negativno nanelektrisan pion raspada na mion i mionski antineutrino

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \overline{\nu}_\mu . \quad (2.2)$$

Na slici 2.5. dat je grafički prikaz raspada miona pomoću Feynmanovog dijagrama.



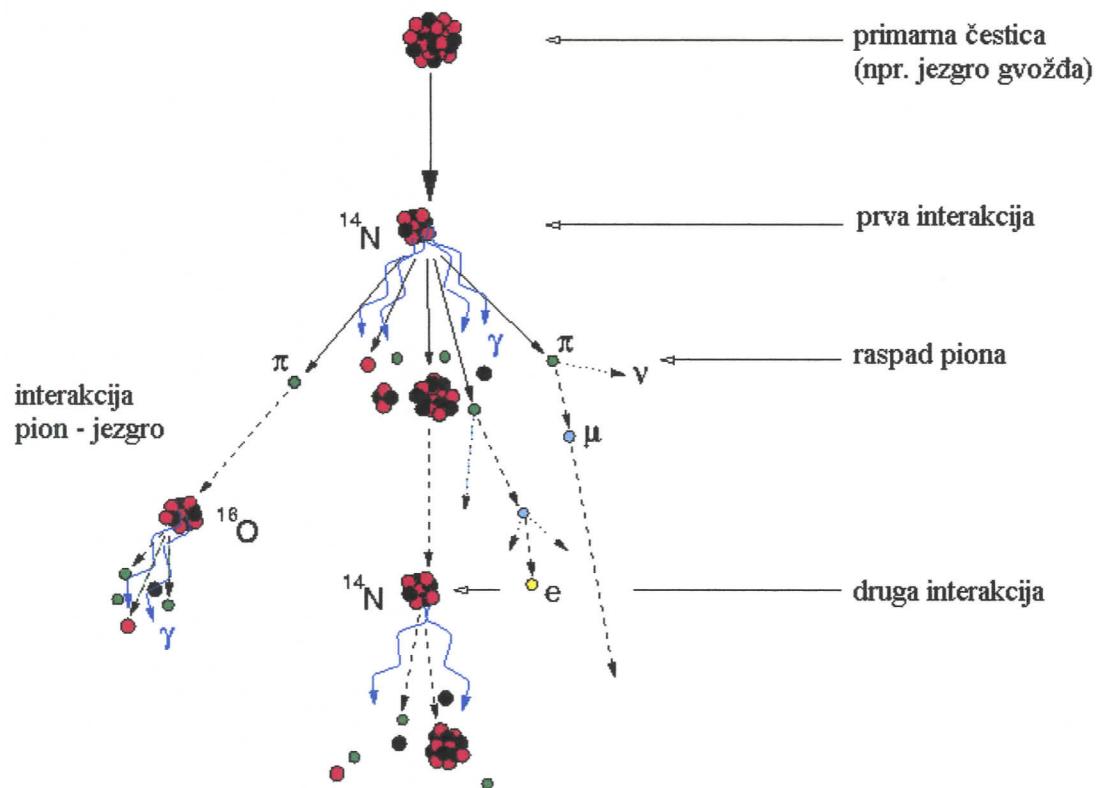
**Slika 2.5.** Feynmanov dijagram raspada  $\pi^+$  piona

Osobine  $\pi$  mezona prikazane su u tabeli 2.1. [8]

**Tabela 2.1.** Karakteristike  $\pi$  mezona

Naziv čestice	Simbol	Masa $\left[ \frac{MeV}{c^2} \right]$	Naelektrisanje	Srednje vreme života [s]
Pion	$\pi^+$	139.6	+1	$2.6 \cdot 10^{-8}$
Antičestica piona $\pi^+$	$\pi^-$	139.6	-1	$2.6 \cdot 10^{-8}$
Pion	$\pi^0$	135.0	0	$0.83 \cdot 10^{-16}$

Pravac kretanja nastalih miona je približno isti kao pravac kretanja njihovih predaka piona. Prosečno, mioni primaju 80% energije piona. Njihovo vreme života je mnogo duže od vremena života piona. Pošto je presek miona za interakciju sa jezgrima samo oko  $2 \times 10^{-29} \text{ cm}^2$  ( $10 \mu\text{barn}$ ), oni su izrazito prodorni, jer interaguju samo elektromagnetskom interakcijom, pa stižu do površine Zemlje. Svakog minuta oko 10000 miona padne na svaki  $\text{m}^2$  Zemlje. [9] Na nivou mora, pozadinsko kosmičko zračenje pored miona, koji predstavljaju tvrdu komponentu, čine još dve komponente. To su meka, čine je elektroni i  $\gamma$  kvanti elektromagnetskih pljuskova, i hadronska komponenta. Hiljade miona pada kroz nas svake minute, ali oni deponuju malo energije u našim telima i čine samo nekoliko procenata naše prirodne izloženosti radijaciji.

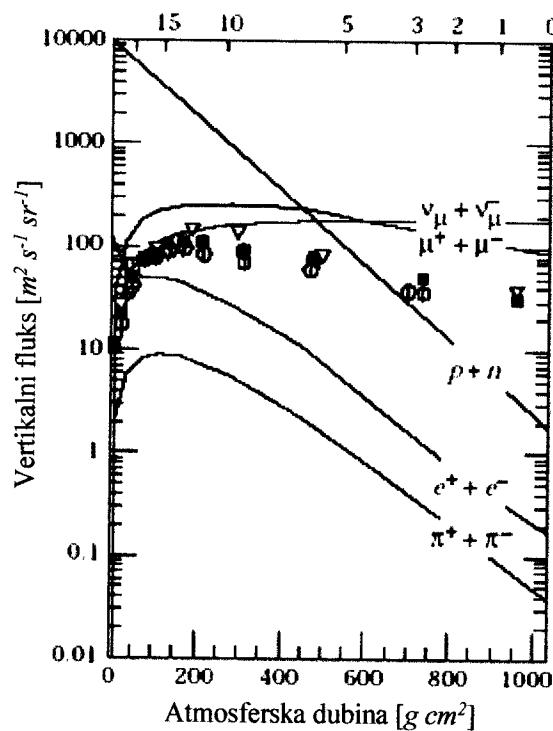
**Slika 2.6.** Primer elektromagnetskog pljuska

Mioni gube energiju najčešće u procesima ionizacije i ekscitacije. Dešavaju se i sudari sa izbijanjem elektrona, a ređe zakočno zračenje i stvaranje parova.

Iako je na mestu nastanka, energijski spektar miona skoro isti kao spektar piona od kojih nastaju, pri prolasku kroz atmosferu on se menja usled jonizacionih gubitaka, raspada i zahvata suprotno nanelektrisanih miona. Pri raspadima na elektron i neutrino, elektron odnosi oko 30% procenata kinetičke energije miona, a neutrini ostatak energije. Pri prolasku kroz materijale velike gustine, veliki broj miona gubi svoju energiju pre raspada putem ionizacije. Tada elektroni i neutrini nastali pri raspunu miona, dele energiju mirovanja miona od  $106 \text{ MeV}$ , pri čemu je maksimalna energija elektrona iznosi  $50 \text{ MeV}$ . [Slivka00]

Na visini od  $10 \text{ km}$ , što odgovara dubini od  $270 \text{ g/cm}^2$ , formirano je već oko 90% ukupnog broja miona koji se formira u atmosferi. Uprkos tome što se veliki deo miona raspada u atmosferi, čak 20% onih sa energijom  $1 \text{ GeV}$  i 80% onih sa energijom od  $10 \text{ GeV}$ , stigne do nivoa mora. Zbog izuzetne prodorne moći miona, njihov fluks opada dosta sporije sa dubinom atmosfere od fluksa protona, njihovih predaka.

Na slici 2.7. je prikazan vertikalni fluks elektrona, pozitrona, piona, protona, neutrona, miona i mionskih neutrina, glavnih komponenti kosmičkog zračenja, u energetskom regionu gde su čestice najbrojnije.



**Slika 2.7.** Vertikalni fluks kosmičkih čestica u Zemljinoj atmosferi u zavisnosti od atmosferske dubine [10]

Protoni i pioni se apsorbuju eksponencijalno sa dubinom u atmosferi, sa atmosferskom dubinom oko  $125 \text{ g/cm}^2$ . Neutronski fluks je oblika protonskog fluksa, s tim što je veći jer je putanja neutrona duža, pošto ne gube energiju ionizacijom. Sličan oblik fluksa imaju i elektroni, ali on opada sporije oko nivoa mora. U gornjoj atmosferi, elektroni se uglavnom proizvode iz visokoenergijskih  $\gamma$  kvanata emitovanih pri raspunu neutralnih piona, koje su proizveli protoni. Raspadom miona, potomaka piona, nastaju elektroni što utiče na porast fluksa ispod  $700 \text{ m}$ . Fluks miona mnogo sporije opada od fluksa protona, pa je njihov udio na ovoj atmosferskoj dubini značajan.

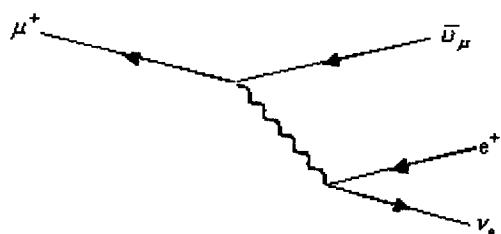
### 2.3. Osobine miona

Mion je elementarna čestica, fermion (spin  $\frac{1}{2}$ ) sa negativnim naelektrisanjem. Po osobinama je bliži elektronu nego mezonima. Stoga je klasifikovan u leptonsku familiju fermiona zajedno sa elektronom i neutrinom. Postoje dva tipa miona jednake mase i istog spina, ali pozitivnog i negativnog naelektrisanja. Oni predstavljaju par čestica – antičestica: mion  $\mu^-$  i antimion  $\mu^+$ . Masa miona iznosi  $105.66 \text{ MeV}$ . Mion je nestabilan i njegovo srednje vreme života je  $2.198 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ . Pokazano je da je ispoštovana osobina invarijantnosti, jer su vremena života  $\mu^+$  i  $\mu^-$  jednaka. Raspad miona se odvija po jedinstvenom kanalu. Proizvodi raspada  $\mu^+$  su pozitron, elektronski neutrino i mionski antineutrino  $(e^+, \nu_e, \bar{\nu}_\mu)$ , a proizvodi raspada  $\mu^-$  su elektron, elektronski antineutrino i mionski neutrino  $(e^-, \bar{\nu}_e, \nu_\mu)$  [Burcham74]:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu, \quad (2.3)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu. \quad (2.4)$$

Feynmanov dijagram raspada  $\mu^+$  dat je na slici 2.8., a u tabeli su prikazane osobine miona i drugih leptona.



Slika 2.8. Feynmanov dijagram raspada  $\mu^+$  miona

U tabeli 2.2. prikazane su karakteristike miona i drugih leptona.

Tabela 2.2. Osobine čestica leptonske familije [11]

Leptoni (spin $\frac{1}{2}$ )				
Naziv čestice	Simbol	Masa [ $\frac{\text{MeV}}{c^2}$ ]	Naelektrisanje	Srednje vreme života [s]
Elektron	$e$	0.511	-1	stabilan
Elektronski neutrino	$\nu_e$	$<7 \cdot 10^{-6}$	0	stabilan
Mion	$\mu$	105.7	-1	$2.2 \cdot 10^{-6}$
Mionski neutrino	$\nu_\mu$	$<0.27$	0	stabilan
Tau	$\tau$	1777.1	-1	$2.96 \cdot 10^{-13}$
Tau neutrino	$\nu_\tau$	$<31$	0	stabilan

## 2.4. Interakcija miona sa materijalom

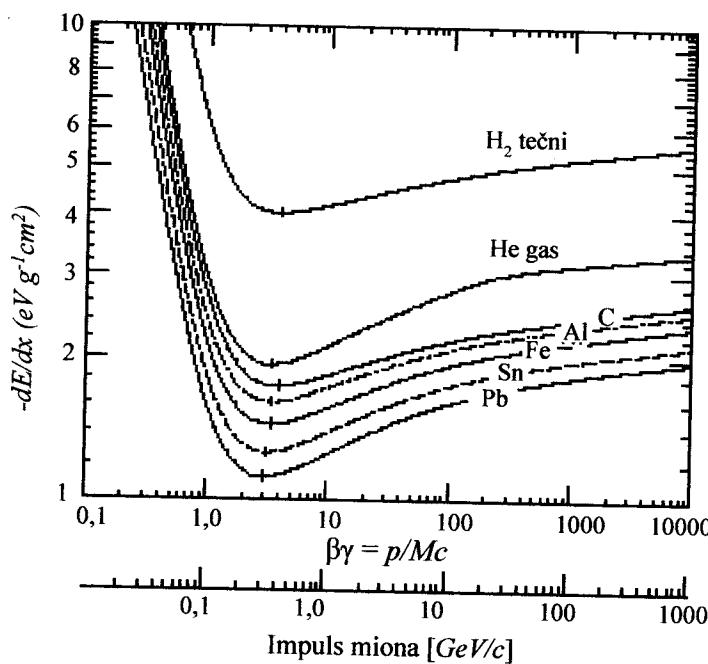
Mioni mogu formirati mionske atome. Negativni mioni dobijeni raspadom negativnih piona mogu da se termalizuju prolazeći kroz materiju, zaustave u nekom atomu i počnu da kruže oko jezgra kao elektroni. Pošto imaju isto nanelektrisanje, a oko 200 puta veću masu od elektrona, njihove orbite će biti 200 puta bliže centru jezgra. Stoga će kod težih jezgara mion provoditi dobar deo vremena u samom jezgru. Pri raspadu se otpušta masa mirovanja miona i jezgro ostaje u visoko pobudjenom stanju. Mion interaguje sa jezgrom uglavnom preko Kulonovog polja. Iz viših u niža energetska stanja dok ne stigne do K-nivoa, on prelazi za kratko vreme  $10^{-13}$  do  $10^{-14}$  s. Deekscituje se emitovanjem jednog ili više neutrona, što zavisi od masenog broja jezgra. Pri svakom prelazu emisuje X-zrake energije 200 puta veće od odgovarajuće energije elektronskih prelaza. Sada zahvat protona iz jezgra predstavlja konkurentski proces:

$$\mu^- + p^+ \rightarrow n + \nu . \quad (2.5)$$

Raspad preovlađuje u materijalima malog rednog broja, a zahvat je verovatniji u jezgrima velikog rednog broja Z. Ovo je značajno jer se iz energije emitovanih X-zraka mogu dobiti energetski nivoi i uporediti sa teorijskim modelima. Na kraju, mion se ili raspade na elektron i par neutrina, ili ga zahvati proton u jezgru i zajedno daju neutron i neutrino.

Uvođenjem površinske gustine, odnosno efektivne debljine izražene u  $\frac{g}{cm^2}$ , vrši se normiranje energetskih gubitaka u raznim materijalima. Efektivna debljina predstavlja proizvod dužine puta i gustine materijala. Kada čestice prelaze velike efektivne debljine, što važi za mione i druge čestice kosmičkog zračenja, njihova vrednost se izražava u metrima vodenog ekvivalenta [ $m_{we} = 100 \frac{g}{cm^2}$ ].

Na slici 2.9. je dat srednji energetski gubitak upadnih miona u različitim materijalima.



**Slika 2.9.** Srednji gubitak energije miona u različitim materijalima [12]

Razlozi energetskih gubitaka miona mogu biti radijacioni procesi i ionizacija. Na višim energijama, većim od nekoliko stotina  $GeV$ , to su radijacioni procesi poput proizvodnje parova, zakočnog zračenja i fotonuklearne reakcije. Ukupni gubici energije miona se mogu izraziti kao funkcija količine materije:

$$-\frac{dE_\mu}{dX} = a + bE_\mu, \quad (2.6.)$$

gde  $a$  predstavlja ionizacione gubitke, a  $b$  frakcione energetske gubitke preko tri radijaciona procesa. Oba su blage funkcije energije. Odnos  $e \equiv a/b$  ( $\approx 500 GeV$  za standardne stene  $A = 22$ ,  $Z = 11$ ,  $\rho = 2.65 g cm^{-3}$ ) definiše kritičnu energiju ispod koje kontinuirani ionizacioni gubici su značajniji od radijacionih gubitaka.

Za nerelativističke čestice, zaustavna moć  $(-\frac{dE}{dx})$  je funkcija faktora  $\frac{1}{\beta^2}$  (gde je  $\beta = \frac{v}{c}$ ) i opada sa porastom brzine čestice sve do  $v = 0.96c$ , gde je dostignut minimum. Kako energija dalje raste, faktor  $\frac{1}{\beta^2}$  postaje skoro konstantan i zaustavna moć ponovo raste po logaritamskoj zavisnosti dатој preko korigovane *Bethe-Bloch* formule, kao osnovne jednačine za proračune energetskih gubitaka. [Leo94] Minimalna vrednost zaustavne moći je približno ista za sve čestice istog nanelektrisanja. U fizici čestica se vrši identifikacija elementarnih čestica u energetskom intervalu manjem od minimalne ionizacione vrednosti. To je moguće jer je kriva  $\frac{dE}{dx}$  različita za svaku vrstu čestica. Vrednost zaustavne moći dostiže maksimalnu vrednost pri brzinama bliskim brzinama orbitalnih elektrona materijala. Nakon toga naglo opada.

Na nivou mora, sekundarno kosmičko zračenje se uglavnom sastoji od visokoenergijskih miona. Pri prolasku kroz detektor oni gube deo svoje energije i proizvode deo kontinuma u spektru. Niskoenergijski deo ovog kontinuma, ispod  $3 MeV$ , kombinovan je sa zračenjem iz okoline, dok visokoenergijski deo u potpunosti potiče od kosmičkih zraka. U niskofonskim laboratorijama je moguće, pomoću posebnih detektora, sa velikom tačnošću izdvojiti visokoenergijski deo spektra. Dakle, interakcija kosmičkog zračenja sa detektorskim materijalom omogućava proučavanje karakteristika kosmičkog zračenja.

Kada materijal detektora ima veliku debljinu i gustinu, većina impulsa koji potiču od miona je velika u odnosu na one koji se uobičajeno registruju u  $\gamma$  spektrometriji, oblast ispod  $3 MeV$ . Pri tome zanemaruјemo impulse niskoenergijskog mionskog fluksa, koji nastaju kada mioni prolaze kroz ivice detektora. Primeri takvog detektora u čvrstom stanju su plastični (polietilen, polistiren), tečni scintilacioni detektori (NaI) i poluprovodnički Ge detektori.

Mioni su vrlo prodorni, pa oni sa najvećom energijom prodiru više stotina metara pod površinu zemlje. Zavisnost atenuacije miona od dubine zemlje data je aproksimativnom funkcijom:

$$I = I_0 \cdot 10^{-1.32 \log d - 0.26(\log d)^2} \quad (2.7.)$$

gde je  $I_0$  inenzitet bez pokrivenog sloja

$I$  inenzitet pod pokrivenim slojem

$$d = 1 + \frac{m}{10}, \text{ gde je } m \text{ debljina pokrivenog sloja u mwe}$$

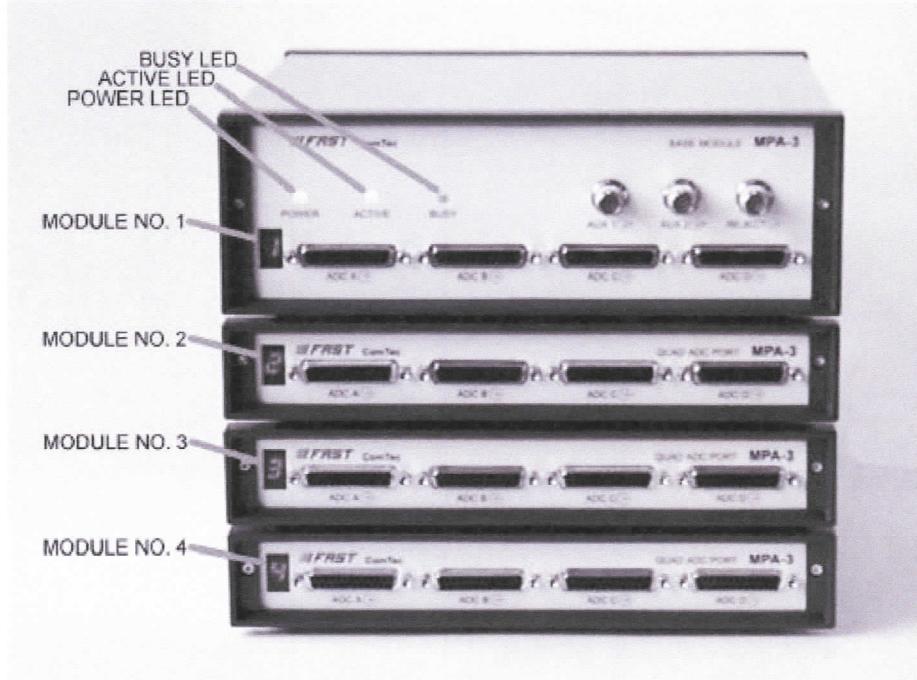
Ovom jednačonom je dat fluks miona sa tačnošću od 5% do dubine od  $100 mwe$  i sa tačnošću od 10% do  $1000 mwe$ . Ona se slaže sa rezultatima dobijenim u merenjima atenuacije u debelim apsorberima Pb i Fe, što je blisko atenuaciji u stenama. EM pjuskovi, meka komponenta kosmičkog zračenja, ne prodiru kroz debo Pb. Međutim, protoni i mioni formiraju nove generacije pjuskova, tzv. sekundarno zračenje, unutar zaštite. Potomci protona su neutralni pioni, a miona izbijeni elektroni. Pri tome, mioni proizvode oko  $2/3$  elektronskog fluksa, a  $1/3$  potiče od protona. [Slivka00]

### 3. MPA-3 SISTEM

#### 3.1. Uvod

MPA-3 multiparametar sistem je ultrabrz list mod multikanalni akvizicioni sistem koji poseduje brzinu i performanse ranije nepoznate komercijalnim multiparametarskim sistemima.

MPA-3 sistem je projektovan za rad sa do 16 spoljašnjih ADC-a, multiskalera, detektora vremena preleta, itd. Tehnologija otvorenog sistema omogućava lako prilagođavanje budućim sistemskim dodacima. Modularni dizajin dozvoljava postepeno unapređenje sistema od minimum 4 ADC ulaza, do maksimuma od 16 portova. Svi parametri podešavanja su u potpunosti softverski kontrolisani.



**Slika 3.1.** MPA-3 sistem: bazni modul i 3 Quad ADC port modula

Zavisni multiparametarski akvizicioni koincidentni vremenski intervali se kreću u rasponu od samo  $150\text{ ns}$  do više od  $3\text{ ms}$ , i mogu biti selektovani u koracima od  $50\text{ ns}$ . Programibilni brojač, *counter*, (od  $150\text{ ns}$  do preko  $3\text{ ms}$ ) za maksimalno vreme čekanja završetka konverzije posle detekcije DEADTIME signala ADC-a, pomaže optimizaciji podataka za specifične eksperimente.[1]

Sa MPA-3 multiparametarskim sistemom, kompanija FAST uvodi veoma fleksibilne i raznolike metode podešavanja koincidentne akvizicije podataka. Koincidentni događaji se mogu definisati kao gotovo sve kombinacije 16 ADC portova, kao i spoljašnjih konektora. Nekoliko različitih kombinacija može biti definisano kao koincidentni uslov u isto vreme. Takođe je moguće definisati ADC port koji može započeti koincidenciju nezavisno i time smanjiti bazni nivo buke u spektru.

Sa 48-mo bitnim *RealTimeClock / Timerom / Brojačem*, mnoštvo dodatnih informacija može biti prikupljeno. Na primer, vremenske markice (*Time Stamps*) su uvedene sa rezolucijom do čak  $50\text{ ns}$ . Takođe, višekanalni analizator, multiskaler, aplikacije vremena preleta, itd. mogu biti realizovane jer je uvedena široka paleta opcija kao što su *load, reset, capture, readout*, itd.

Korekcija *livetime* na svim ADC ulaznim portovima je uvedena.

Jednostavna kontrola komplettnog sistema omogućena je preko multiparametarskog operativnog softvera MPANT. Praćenje sistema omogućeno je u *on-line* modu u jednoparametarskom i dvoparametarskom spektru.

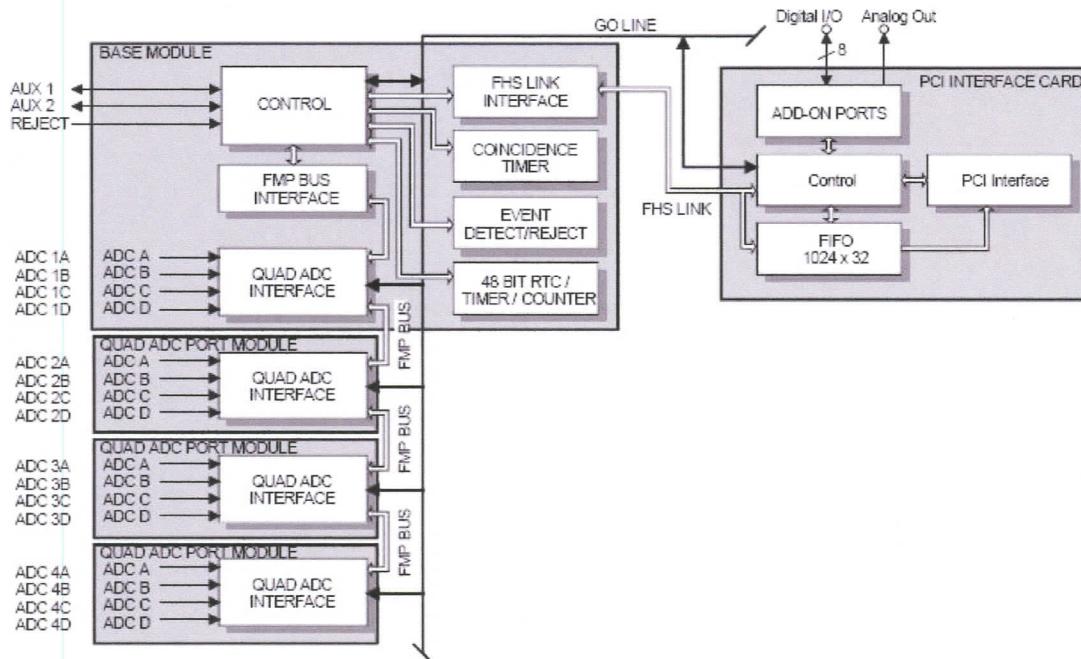
Podaci u list fajlu se mogu snimiti na hard disk ili bilo koji drugi direkno pristupačan medij. Koristeći PXXX hard disk format, podataci mogu biti sačuvani u *on-line* modu dugi niz časova rada zavisno od konfiguracije.

Nekoliko pojedinačnih i višeparametarskih spektara takođe može biti prikupljeno u RAM memoriji PC-a. Više prozora sa jednoparametarskim i dvoparametarskim spektrima može biti simultano prikazano. Bilo koja kombinacija ADC portova može biti selektovana, dok je moguće definisati nekoliko jednoparametarskih i dvoparametarskih spektara koji će biti prikupljeni i prikazani.

### 3.2. Opis hardvera

MPA-3 zahteva PC sa *Pentium* ili bržim procesorom i slobodan *PCI slot*. Napajanje kompjutera mora da obezbedi dovoljnu struju (zavisno od broja modula) sa svog izvoda od 5 V na koji su povezani svi moduli. *Microsoft WINDOWS NT 4.0* ili napredniji operativni sistem mora biti instaliran.[2]

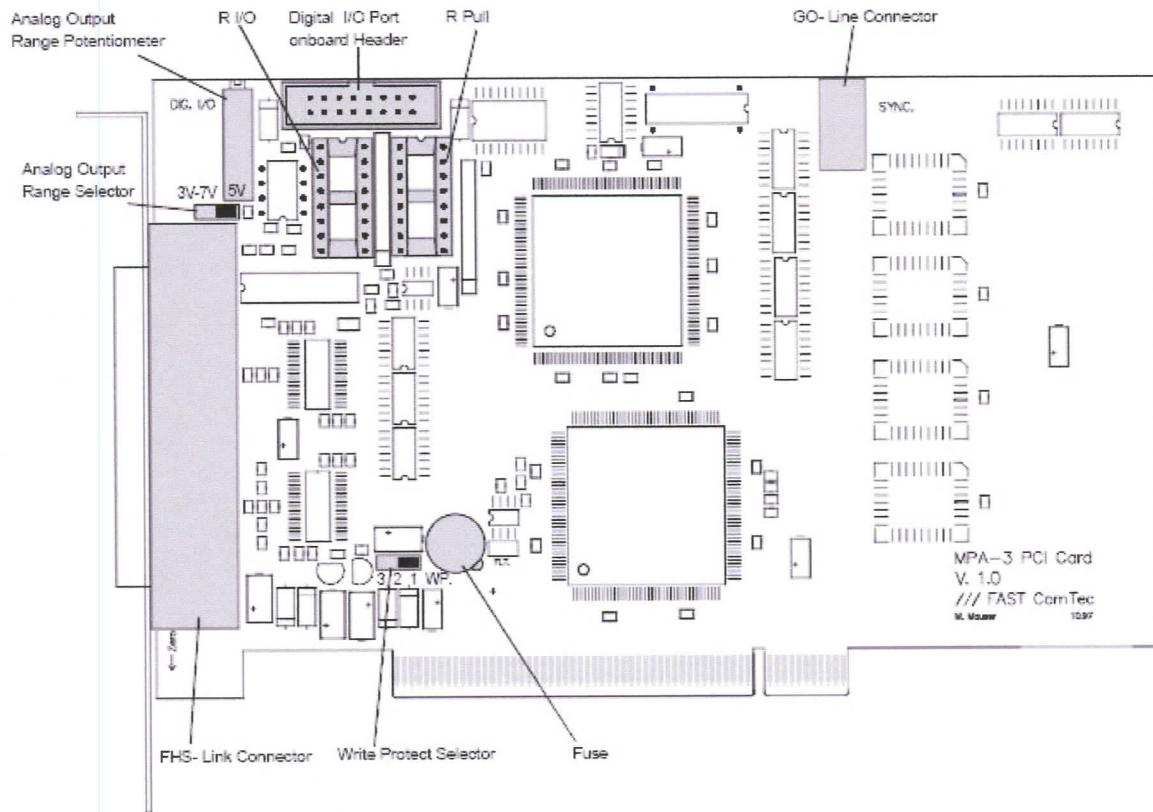
Modularni koncept MPA-3 sistema osmišljen je da omogući laku prilagođenost velikoj raznovrsnosti eksperimentalnih zahteva.



**Slika 3.2.. Blok dijagram MPA-3 sistema**

MPA-3 sistem je moguće proširiti sa do 3 Quad ADC port modula, do maksimalnih 16 ADC ulaza. Takođe sadrži programibilni 8-mo bitni digitalni ulazno izlazni port. Dodatno, programibilni analogni izlaz je obezbeđen da bi se postigle dodatne funkcije. Na primer, daljinska kontrola naponske jedinice visokog napona, itd. Kao dodatak, 3 BNC konektora na baznom modulu pružaju dodatne programibilne ulazno izlazne mogućnosti.

Sistem poseduje "GO" liniju sa otvorenim drejnom koja omogućava bilo kojem priključenom uređaju da pokrene ili zaustavi sve aktivne merne uređaje simultano. Ovo dozvoljava laku sinhronizaciju elektronskih uređaja koja u ranijim verzijama sistema nije bila moguća.



**Slika 3.3.** Shematski prikaz MPA-3 PCI kartice

FHS Link, *FAST High Speed Link*, povezuje MPA-3 bazni modul sa kompjuterom i obezbeđuje ultra brz prenos podataka, čak do 420 Mbit/s.

Digital I/O Port se može koristiti za spoljašnje signale.

Go line može da pokrene i zaustavi merenje, podešava se softverski.

FMP Bus, *FAST MultiParameter Bus*, povezuje sabekventne module sa baznim modulom.

AUX 1 & 2 daju dva dodatna dvosmerna porta.

REJECT Input pruža dodatnu fleksibilnost u koincidentnom operativnom modu.

ADC portovi podržavaju do 16 bitne (64 kanalne) ADC.

### 3.3. Bazni modul

MPA-3 bazni modul je srce MPA-3 multiparametarskog sistema. On omogućava interfejs na PC-u kao i interfejs podređenim modulima, koji za sada mogu biti do 3 Quad ADC port modula (broj i tip modula će se verovatno povećati u budućnosti). Međutim, bazni modul već uključuje 4 ADC porta za konekciju spoljašnjih ADC-a, multiskalera, analizatora pozicije, detektora vremena preleta, itd. Bazni modul takođe distribuira napajanje podređenim modulima. U koincidentnom operativnom modu on detektuje i proračunava koincidentne događaje od svih podataka koji pristižu sa ADC. Fotografija baznog modula prikazana je na slici 3.3.





**Slika 3.4.** Bazni modul

### 3.4. Opis funkcija

U osnovi postoje dva operativna moda: *SINGLE* i *COINCIDENCE*, i naravno bilo koja kombinacija ta dva moda. Operativni mod svakog porta se individualno podešava.

Svi prenosi podataka sa ADC (analogno-digitalnog konvertora) ka PC-ju se vrše u blokovima i u listmodu, tj. jedan za drugim sa određenim zaglavljem. Glavno zaglavlje se sastoji od reči za sinhronizaciju i određenih informacija o zaglavljaju. Sinhronizovane reči obezbeđuju način za rekonstrukciju strukture podataka ukoliko se pojavi greška pri prenosu, dok glavne reči zaglavlja sadrže informaciju koji podaci će slediti u bloku podataka. Podatke o mrtvom vremenu ili pravom vremenu života, ADC takođe prenose u listmodu.

BAZNI MODUL uzima podatak sa izlaza ADC i prenosi ga u listmodu u FIFO (First In First Out) memoriski bafer na PCI kartici u računaru.

U KOINCIDENTNOM MODU bazni modul prvo proverava da li su ispunjeni koincidentni uslovi dolazećih podataka, kako bi prepoznao da li je ispunjena neka od definicija koincidentnih događaja odnosno da li detektovani događaj zadovoljava unapred definisane uslove kako bi ga mogao proslediti u FIFO bafer. Svake milisekunde informacije o vremenu života sa ADC porta se ubacuju u tok liste podataka.

#### 3.4.1. Single mod

U ovom modu operacije, ADC rade nezavisno jedan od drugog. Kada je primljen ispravno konvertovan događaj sa jednog ADC, tada se taj podatak direktno prenosi na PC preko PCI kartice. Ukoliko više ADC istovremeno šalje podatke, svi podaci se mogu, radi uštede mrvog vremena sistema, preneti na PC u jednom bloku podataka.

Kada se ADC postavi DRDY signal na aktivno nivo (*Data Ready* ulazni signal koji ukazuje da je validan podatak prisutan na ADC portu), bazni modul preuzima podatke u ulazni registar odgovarajućeg porta i postavlja DACC na aktivno nivo signalizirajući da je podatak preuzet (*Data Accepted* izlazni signal koji indicira da su izlazni podaci preuzeti u ulazni registar). Tada će ADC ukloniti DRDY i DACC takođe postaje neaktivno. Nakon registrovanja podatka, BUSY signal je aktivno signalizirajući baznom modulu da je novi podatak prisutan i da se može preneti na PC.

Kada ADC port detektuje DRDY signal, proverava da li je prethodni, još ne prenešen podatak, i dalje prisutan u njegovom izlaznom registru. Ako je port još uvek zauzet starim podatkom, on

postavlja DACC na aktivan nivo, ali ne registruje novi podatak. Zato, u slučaju da stari podatak još uvek čeka prenos, on odbacuje novi ADC podatak i obezbeđuje da stari podatak ne bude prebrisan novim pre transfera.

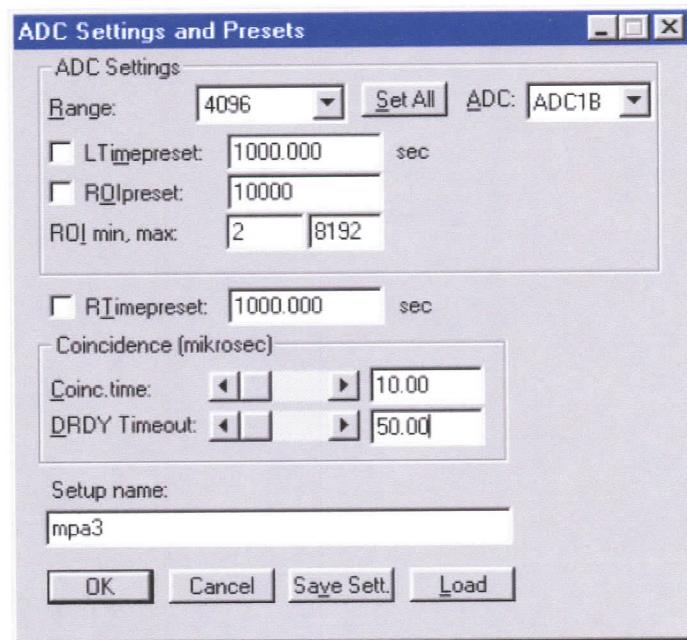
### 3.4.2. Koincidentni mod

Cilj uvođenja koincidentnog moda je prikupljanje samo onih podataka koji ispunjavaju neke unapred definisane vremenske odnose. Događaji koji će ovde biti prikupljeni moraju upasti u vremenski interval određene verovatnoće. Stoga će, događaji koji se ne dese u ovom vremenskom intervalu (vremenskom prozoru), biti odbačeni i neće biti prikazani na histogramu.

Raznovrsnost definicija verovatnoća u MPA-3 sistemu dozvoljava odabir različitih kombinacija ADC događaja koji se ili moraju pojaviti u koincidentnom vremenskom intervalu ili se samo moraju pojaviti da bi se akumulirali.

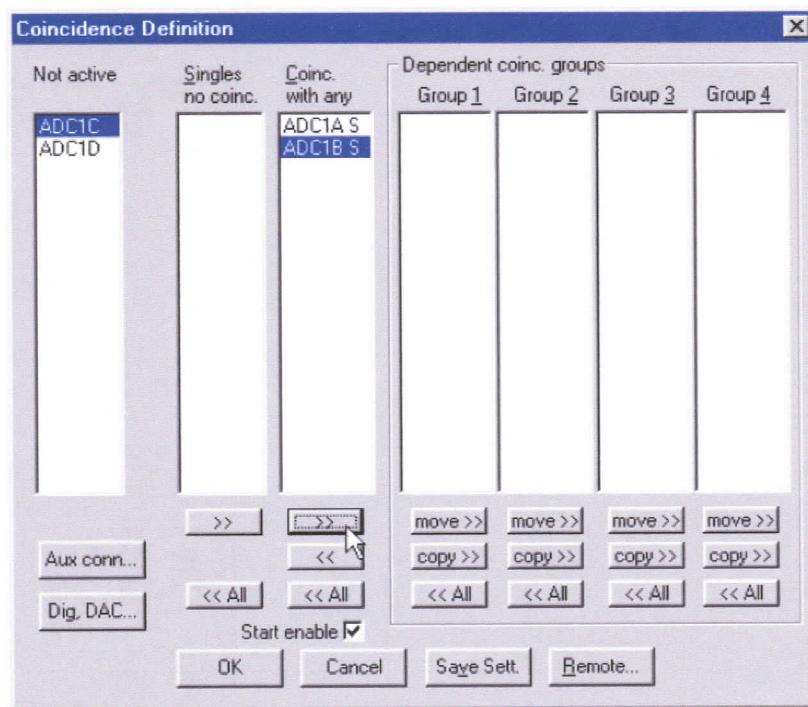
U koincidentnom operativnom modu, aktivna ivica (programski definisana da li *rising* ili *falling edge*) ADC DEADTIME signala je korišćena kao vreme dolaska ADC događaja. Ovo se radi zbog toga što je DEADTIME signal (mrvog vremena) uglavnom najpreciznija vremenska informacija prikupljena sa ADC.

Pri detekciji aktivne dolazeće ivice DEADTIME signala, koincidentni odlučujući vremenski prozor je otvoren. Dok je koincidentni prozor otvoren, sve ivice DEADTIME signala koje dolaze su skladištene. Kada je koincidentno vreme isteklo, sistem čeka da svi BUSY (DRDY) signali sa odgovarajućih ADC portova (znači da port sadrži validne podatke) postanu ispunjeni. Maksimalno vreme čekanja se softverski podešava. Kada su svi očekivani BUSY signali pristigli ili kada izlazno vreme DRDY prođe, odgovarajući portovi su isčitani i podaci su prenešeni na PC u listmodu. Ako na portu nema novog podatka (BUSY je još uvek neaktivan kada vremenski interval završi – DRDY *timeout*), nula se prenosi za ovaj port. Slika 3.5. prikazuje podešavanje ADC.



Slika 3.5. Podešavanje ADC jedinica

ADC portovi sa dozvolom da otvaraju koincidentne prozore softverski se određuju (slika 3.6.). Ovo omogućava dalju redukciju podataka.



**Slika 3.6.** Definisanje koincidencije

U koincidentnom modu odgovarajući ADC port prihvata novi podatak samo onda kada je koincidentni vremenski prozor otvoren. Upravo to je od važnosti za redukciju sistema mrvog vremena izazvanog nekoincidentnim ili neželjenim ADC događajem. Ovo je razlog zašto u koincidentnom modu signali mrvog vremena moraju prethoditi odgovarajućem DRDY signalu najmanje 200 ns.

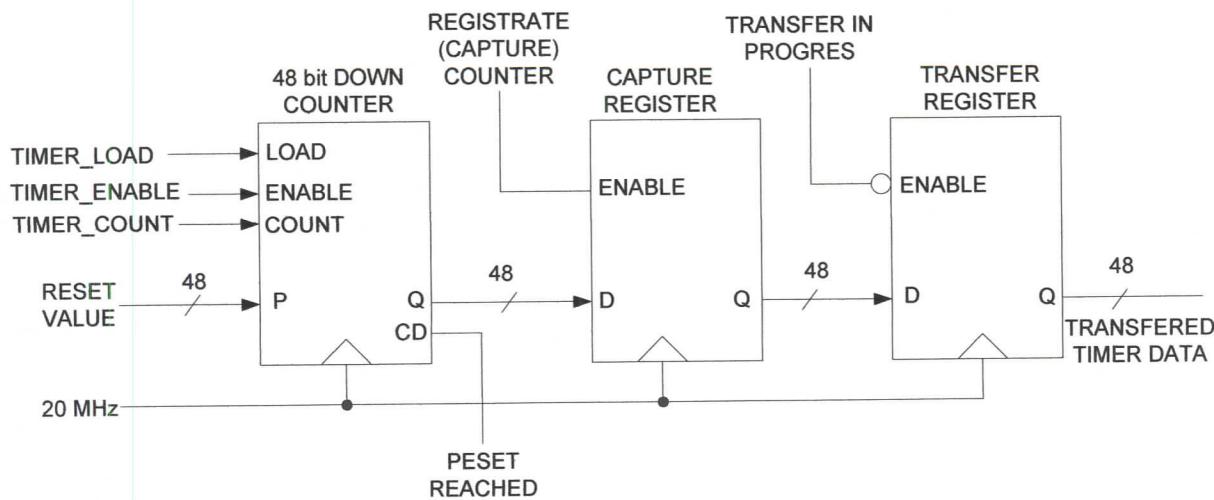
### 3.4.3. Detekcija mrvog vremena

Signali mrvog vremena koji dolaze sa ADC su sinhronizovani sa unutrašnjim 10 MHz *clock* signalom koji obezbeđuje svaki ADC port. Potom se prenose na bazni modul gde se, u sinhronizaciji sa detekcijom ivice vrši proračun koincidencije. Pri svakoj milisekundi, svi invertovani signali mrvog vremena (odnosno signali vremena života) se sempluju i rezultat se prenosi na PCI karticu. Stoga, svake milisekunde, slika stanja mrvog vremena svih povezanih ADC se ubacuje u tok podataka listmoda. Sa jedne strane ovo obezbeđuje postojanje vremenskih markica svake milisekunde u toku podataka, a sa druge takođe obezbeđuje statistički način korekcije vremena života LIFETIME sa rezolucijom od 1ms.

### 3.4.4. 48 bitni RealTimeClock/Timer/Counter

48 bitni *RealTimeClock/Timer/Counter* čine 48 bitni sinhronizovani *down* brojači (brojači koji broje unazad - odbrojavaju). U svako vreme kad je TIMER\_LOAD (slika 3.4.4.) TRUE brojač je napunjeno sa uskladištenom podešenom vrednošću. Kada je TIMER\_LOAD FALSE i TIMER\_ENABLE TRUE, brojač smanjuje vrednost za 1 sa 50 ns ciklusom vremena kad god je

TIMER\_COUNT TRUE. Dok su TIMER\_LOAD i TIMER\_ENABLE osetljivi na nivo signala, TIMER\_COUNT zauzima TRUE stanje svakih  $50\text{ ns}$  za svaku detektovanu ivicu odgovarajućeg izvora signala.



*Slika 3.7. Shema RealTimeClock / Timer / Counter*

Kao što vidimo, pravi sadržaj brojača se nalazi i iščitava se iz *capture* registra pri izdavanju *registerate (capture)* komande. Potom se premešta u *transfer* registar. Tokom prenosa podataka tajmera ka kompjuteru transfer registar je onesposobljen (*disabled*) tj. zaključan kako bi onemogućio promenu sadržaja podataka koji se prenose. Ovo je neophodno zbog toga što je podatak koji se prenosi iz transfer registra 48-mo bitni i potrebno ga je preneti u tri uzastopna koraka od kojih svaki zauzima jedan procesorski ciklus da ne bi brojač promenio svoju vrednost za 3.

Kontrolni signali u tajmeru su izvedeni sa ILI logikom omogućenih ulaza signala. Naročito TIMER\_COUNT može poticati iz velike raznolikosti signala uključujući sve signale mrvog vremena i AUX (Auxiliary spoljašnjih) konektore.

TIMER\_COUNT se može birati od:

- 20MHz clock signala (real time sa  $50\text{ ns}$  rezolucijom)
- pozitivnom/negativnom ivicom od AUX1
- pozitivnom/negativnom ivicom od AUX2
- pozitivnom/negativnom ivicom od REJECT.

TIMER\_LOAD se može birati od:

- Isključivo softvera
- nisko/visoko AUX1
- nisko/visoko AUX2
- nisko/visoko REJECT
- sa povratnom spregom (ponovo napunjen zadatom vrednošću kada je nula dostignuta)

TIMER\_ENABLE se može birati sa I logikom od SYSTEM ON i AUX1, AUX2, ili REJECT respektivno.

REGISTERATE COUNTER se može birati:

- Logičke ILI ivice bilo kog selektovanog signala mrvog vremena. Takođe ivice AUX1, AUX2 ili REJECT mogu biti uključene.
- Start signala unutrašnje koincidencije

- završetku unutrašnjeg koincidentnog signala.

Kad god je TIMER\_LOAD postavljen na aktivnu vrednost, takođe komanda REGISTRATE COUNTER je izvršena. Pri dostizanju nule, PRESET REACHED postaje TRUE i ukoliko je preset omogućen, brojač je zaustavljen.

### 3.5. Windows server program

Server program MPA3.EXE omogućava potpunu kontrolu MPA-3 pri merenju i snimanju podataka. Ovaj program nema sopstvene grafičke mogućnosti, ali preko DLL-a (*dynamic link library*) omogućuje pristup svim funkcijama, parametrima i podacima. Server se može potpuno kontrolisati iz MPANT softvera koji obezbeđuje sve neophodne grafičke prikaze. Svi podaci o signalu zapisani su u List fajlu Windows Server Programa.

Sekvence komandi koje su skladištene u fajlovima sa ekstenzijom .CTL mogu se izvršiti preko MPA-3 server programa ili MPANT sa Load komandom. Takođe konfiguracioni fajlovi MPA3.CNF ili header fajlovi sa ekstenzijom .MP sadrže takve komande za podešavanje parametara. Svaka komanda počinje na početku novog reda sa tipičnom ključnom rečju, razmak je ignorisan. Bilo koji drugi karakter u redu može sadržati vrednost ili komentar.

### 3.6. Napredne mogućnosti

Do četiri MPA-3 sistema se mogu kombinovati u jednu kompjutersku celinu kako bi mogla biti postignuta multiparametarska akvizicija do 64 ulazna kanala. Svaki od ova četiri MPA-3 sistema funkcioniše nezavisno i koincidentne definicije događaja se definišu nezavisno u okviru 16 parametara koje obuhvata jedna jedinica tj. jedan MPA-3 sistem. Svaka jedinica čuva sopstveni list fajl. Za obradu koincidentnih događaja između parametara različitih MPA-3 jedinica u okviru sistema koristi se opcija *Time Stamp* (vremenske markice), pri čemu svaki parametar predstavlja podatak sa jednog ulaza ADC.

Radi čuvanja podataka u list fajlu i potpune sinhronizacije sistema zajednički spoljašnji clock signal se mora koristiti da bi obezbedio sinhronizuju RTC-a (RealTimeClock/ Timer/ Counter) u svakom MPA-3 sistemu. Sva četiri MPA-3 sistema snimaju sve događaje u list fajlove sa vremenskom rezolucijom od 50 ns. Iz ovih fajlova se mogu definisati koincidentni uslovi i analizirati podaci.

Kada radimo u *offline* režimu (snimamo, pa po završetku analiziramo), svi list fajlovi se mogu iskombinovati u jedan fajl. Ako bismo ih kombinovali u *online* režimu, to bi uticalo na mogućnost brzine brojanja sistema.

Sačuvani podaci se mogu analizirati na različite načine u zavisnosti kako je korisnik definisao. Ukoliko korisnik promeni parametre analize, sačuvani podaci se mogu ponovo analizirati. Sva 64 kanala se mogu sačuvati u jednom list fajlu. Ukoliko kompjuter koji se koristi poseduje odgovarajući hard disk i dovoljno brz procesor, ne bi trebalo da postoje ograničenja u mogućnostima učestanosti brojanja MPA-3 sistema. Dakle, ostvarena je celina od četiri sistema sa 16 ulaza koji se ponašaju kao jedan sistem sa 64 ulaza.

## 4. PROCENA VREDNOSTI FLUKSA KOSMIČKIH MIONA U DRUGIM EKSPERIMENTALNIM POSTAVKAMA

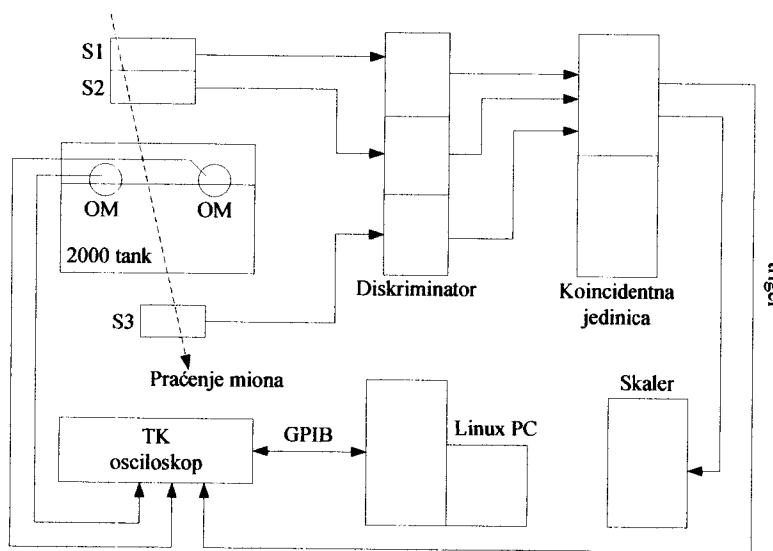
### 4.1. Fluks miona na južnom polu

Kao što smo već napomenuli, mioni su jedni od glavnih komponenti elektromagnetskih pljuskova i posebno su značajni za pluskove pri velikim zenitnim uglovima. Zbog velikog značaja merenja mionskog fluksa, ona su kroz istoriju bila mnogobrojna. Najčešće su vršena merenja vertikalnog fluksa ili približno vertikalnog fluksa miona. Samo nekoliko eksperimentalnih merenja se odnose na skoro horizontalne mione, energije preko nekoliko GeV-a.

Grupa naučnika sa Univerziteta *Delaware* u *Newaku* i Univerziteta *Wisconsin* u *Madisonu*, SAD, su tokom 2000. i 2002. godine merili mionski fluks na Južnom polu za pet zenitnih uglova,  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $82.13^\circ$  i  $85.15^\circ$ , sa scintilacionim mionskim teleskopom i *ice Čerenkov tank* detektorom kao apsorberom.

Korišćenje *ice tanka* kao detektora za *IceTop* zahteva razumevanje pozadinskog zračenja i mionskog fluksa na južnom polu. Većina miona na površini Zemlje je proizvedena visoko u atmosferi raspadom nanelektrisanih piona nastalih u interakciji visokoenergetskih kosmičkih zraka sa atmosferskim nukleonima. Mionski fluks varira sa nadmorskog visinom i izrazito zavisi od zenitnog ugla. Stoga, detaljna analiza odziva detektora na mione je potrebna da bi se projektovao *data acquition system* i interpretirali talasni oblici generisani elektromagnetskim pljuskovima. Pri velikim zenitnim uglovima, mionski fluks postaje veoma mali. Razlog tome je što se većina miona nastalih u atmosferi raspadne pre dolaska do detektora. Kao posledica, eksperimentalne postavke za merenja skoro vertikalnog ( $0^\circ$ ,  $15^\circ$  i  $35^\circ$ ), i skoro horizontalnog ( $82.13^\circ$  i  $85.15^\circ$ ) fluksa miona su različite.[Bai06]

Na slici 4.1. prikazana je konfiguracija korišćena za merenje fluksa skoro vertikalnih miona. Apsorber je bio mali *ice Cherenkov* detektor smešten na južnom polu u oblasti SPASE-2 (*Smooth Pole Air Shower Experiment*). To je cilindrični polietilenски tank površine  $1.14 \text{ m}^2$  i visine  $1.24 \text{ m}$ . Unutrašnjost tanka je obložena belim, difuzno reflektujućim materijalom. Nakon punjenja sa pijaćom vodom iz stanice na južnom polu, dva analogna AMANDA optička modula (OM), sa separacijom od  $0.51 \text{ m}$ , su montirana naopacke simetrično pomereni od centra, pri čemu su im foto katode potpuno potopljene. Pošto je tank bio smrznut, rezultujuća dubina leda je bila  $0.99 \text{ m}$ . Mionski teleskop se sastoji od tri  $0.2 \text{ m}^2$  scintilatora, dva smeštena na vrhu tanka i jedan ispod, i oni identifikuju mione koji prodiru zahtevajući koincidenciju između S1, S2 i S3 u intervalu od  $50 \text{ ns}$ .



**Slika 4.1.**

Blok dijagram *ice Cherenkov*-og detektora, mionskog teleskopa na bazi scintilatora i elektronike za merenje fluksa miona pri uglovima  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  i  $35^\circ$

Električni signali sa dva OM i tri scintilatora prenešeni su, putem optičkih kablova, do centralne zgrade SPASE-2 u kojoj sa nalazi elektronika i sistemi za prikupljanje i obradu podataka. Signali sa scintilatora su najpre obrađeni na diskriminatoru, a potom na logičkoj jedinici. Brzinu signala i brzinu koincidencije je merio skaler. Digitalni osciloskop i PC su upotrebljeni radi digitalizovanja i očitavanja forme signala sa dva OM.

Vršena su kontrolisana i precizna merenja fluksa miona sa minimumom kinetičke energije od nekoliko stotina  $MeV$ , do oko jednog  $GeV$ , i zenithnih uglova od vertikale skoro do horizontale. Za vertikalni fluks miona na južnom polu za vrednosti uglova  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $35^\circ$ , dobijene su sledeće vrednosti fluksa ( $176 \pm 1$ ), ( $168 \pm 1$ ), ( $149 \pm 2$ ), respektivno izraženo u  $(m^2 \cdot s \cdot sr)^{-1}$ . To su zahtevane vrednosti fluksa da bi mioni prošli kroz sva tri scintilatora korišćena u ovoj eksperimentalnoj postavci. Ove vrednosti su prikazane u tabeli 4.1. Mada se u ovom radu bavimo samo vertikalnim fluksom kosmičkih miona, napomenimo i rezultate dobijene za horizontalan fluks miona na južnom polu. Za zenithne uglove vrednosti  $82.13^\circ$  i  $85.15^\circ$ , dobijene su vrednosti fluksa ( $1.74+0.24-0.22\pm0.13$ ) i ( $1.18+0.04-0.14\pm0.21$ ) izraženo u  $(m^2 \cdot s \cdot sr)^{-1}$ , respektivno.[Bai06]

**Tabela 4.1.** Zavisnost vertikalnog fluksa miona od upadnog ugla na južnom polu

Vrednosti uglova [°]	Fluks miona $(m^2 \cdot s \cdot sr)^{-1}$
0.0	$176 \pm 1$
15.0	$168 \pm 1$
35.0	$149 \pm 2$

Sada ćemo navesti fluks miona na nadmorskoj visini približnoj južnom polu određen u drugim eksperimentima i njihovo poređenje sa fluksom miona određenom u ovoj mernoj postavci. Nekoliko merenja vertikalnog mionskog fluksa na velikim nadmorskim visinama su izvršena za različite pragove energije, geomagnetne lokacije i solarne epohe. Na  $3220 \text{ m}$  nadmorske visine, za mione energije  $2 \text{ GeV}$  je GM hodoskopom dobijen je fluks ( $49 \pm 0.2$ )  $(m^2 \cdot s \cdot sr)^{-1}$ . Za mione energije  $\geq 162.9 \text{ MeV}$  na južnom polu, ( $261 \pm 0.01$ )  $(m^2 \cdot s \cdot sr)^{-1}$ . Razlike među ovim rezultatima se mogu objasniti različitom nadmorskom visinom i pragom energije miona. Smanje mionskog fluksa je uslovljeno i njihovim raspadom. Oko 15% miona se raspada na visini od  $300 \text{ m}$ . Ipak, ovi efekti, kao i solarne epohe, ne daju potpuno objašnjenje svih razlika među navedenim rezultatima. Rezultati imaju približno srednju vrednost fluksa iz ranijih rezultata.

U radu američkih naučnika izvršena je i komparacija merenja sa simulacijama. Za vertikalne mione *Monte Carlo* simulacija je izvedena radi proračunavanja očekivanog fluksa za prosečnu atmosfersku dubinu od  $702 \text{ g/cm}^2$  za vreme merenja miona. Predviđene vrednosti fluksa za navedene uglove su bile  $180$ ,  $173$  i  $168$   $(m^2 \cdot s \cdot sr)^{-1}$ . Dakle, izmeren fluks miona za uglove od  $0^\circ$  i  $15^\circ$  se odlično poklapa sa predviđenim vrednostima, dok je za ugao  $35^\circ$  izmerena vrednost manja za 12%. Iako je simulacija koristila fluks kosmičkih zraka koji nije određen za lokaciju južnog pola, to nije od značaja za visoko energetske mione koji prežive na velikim uglovima.

#### 4.2. Fluks miona na malim dubinama pod zemljom

Grupa ruskih naučnika proučavala je zavisnost integralnog fluksa kosmičkih miona od zenithnih uglova na plitkim dubinama pod zemljom, vrednosti od 10 do  $100 \text{ m}$  standardne stene ( $A = 22$ ,  $Z = 11$ ,  $\rho = 2.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ). Pokazano je da se uglovna distribucija praktično ne menja u ovom intervalu dubina.

Integralan fluks miona je broj miona koji prolaze kroz hemisferu u jedinici vremena, po jedinici površine ( $m^{-2} \cdot s^{-1}$ ).

**Tabela 4.2.** Procentualno izražen fluks kosmičkog zračenja na nivou mora [Bogdanova04]

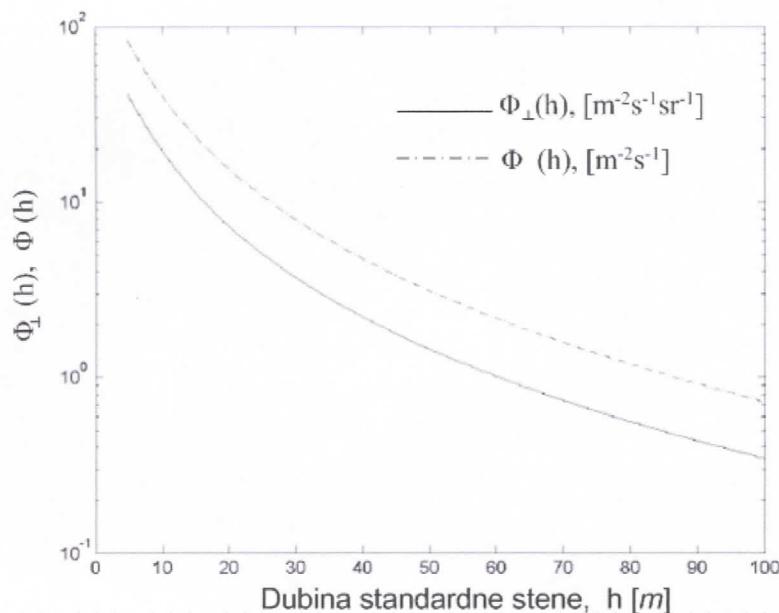
Ukupan fluks [m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]	Mioni	Sekundarni neutroni	Elektroni	Protoni i pioni
300	63 %	21 %	15 %	< 1 %

Na nivou mora, intenzitet vertikalnog fluksa miona energije oko 1 GeV iznosio je  $\sim 70 \frac{\text{muons}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{s}}$ .

Pokazano je da je, suprotno očekivanjima, zavisnost zenitnog ugla za različite dubine od 20, 40 i 100 m standardne stene, slična zavisnosti na površini zemlje. Pri proceni fluksa miona na dubinama od 0 do 100 m standardne stene, korišćena je ugaona funkcija raspodele

$$\Phi(\vartheta) \approx \Phi_{\text{norma ln } 0} \cdot \cos^2 \vartheta. \quad (4.1)$$

Odnos vertikalnog i integralnog fluksa miona je praktično konstantan za dubine do 100 m standardne stene, što ukazuje na nepromenljiv karakter veze između njih. Ovo je lako uočljivo na slici 4.2.

**Slika 4.2.** Vertikalni i integralni fluks miona u zavisnosti od dubine standardne stene [Bogdanova04]

#### 4.3. Vertikalni fluks određen sa MACRO detektorom u *Gran Sasso* laboratoriji

Vertikalni intenzitet fluksa miona meren je pod zemljom pri dubinama od 1.2 km do 2.6 km u steni standardnog tipa sa MACRO (*Monopole, Astrophysics, and Cosmic Ray Observatory*) detektorom u *Gran Sasso* laboratoriji u Italiji. Proizvod površine i prostornog ugla za ovu eksperimentalnu postavku iznosio je

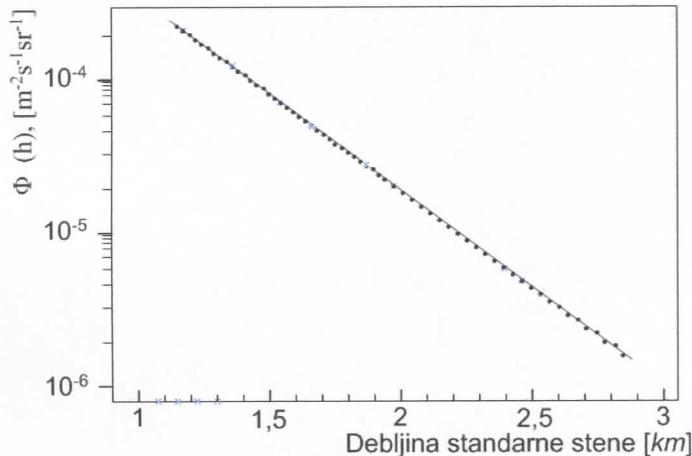
$$S\Omega \cong 3100 \text{ m}^2 \cdot \text{sr}.$$

Ostvarena je dobra statistika, zbog velikog broja analiziranih podataka.

**Tabela 4.3.** Zavisnost vertikalnog fluksa miona od dubine standarde stene određena u Gran Sasso laboratoriji [Ambrosio95]

Dubina standardne stene (km)	Vertikalni fluks miona $\left( \frac{\text{muons}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}} \right)$
2.67	$(2.0 \pm 0.3) \times 10^{-6}$

Na slici 4.3. prikazani su rezultati merenja vertikalnog fluksa miona ispod površine zemlje kao funkcija dubine standardne stene, za zenitne uglove od  $0^\circ$  do  $60^\circ$ . Svaka tačka predstavlja srednju vrednost distribucije fluksa miona kao funkciju dubine, mionskog zenitnog ugla i azimutnog ugla, za fiksiranu dubinu.

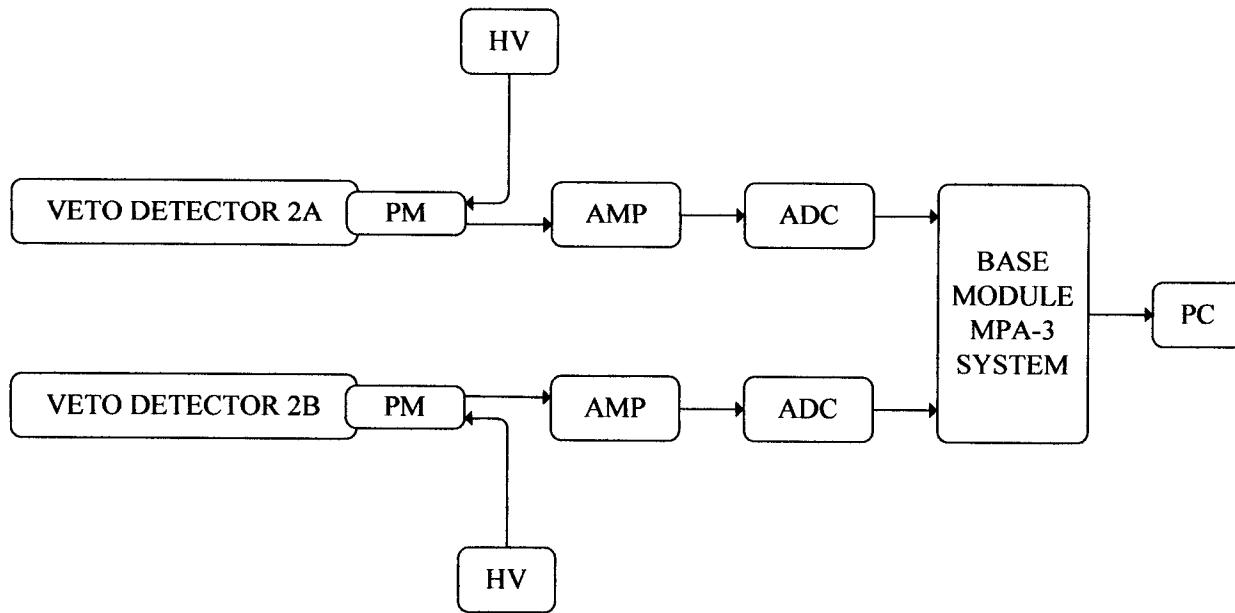


**Slika 4.3.** Vertikalni fluks miona u funkciji dubine standardne stene

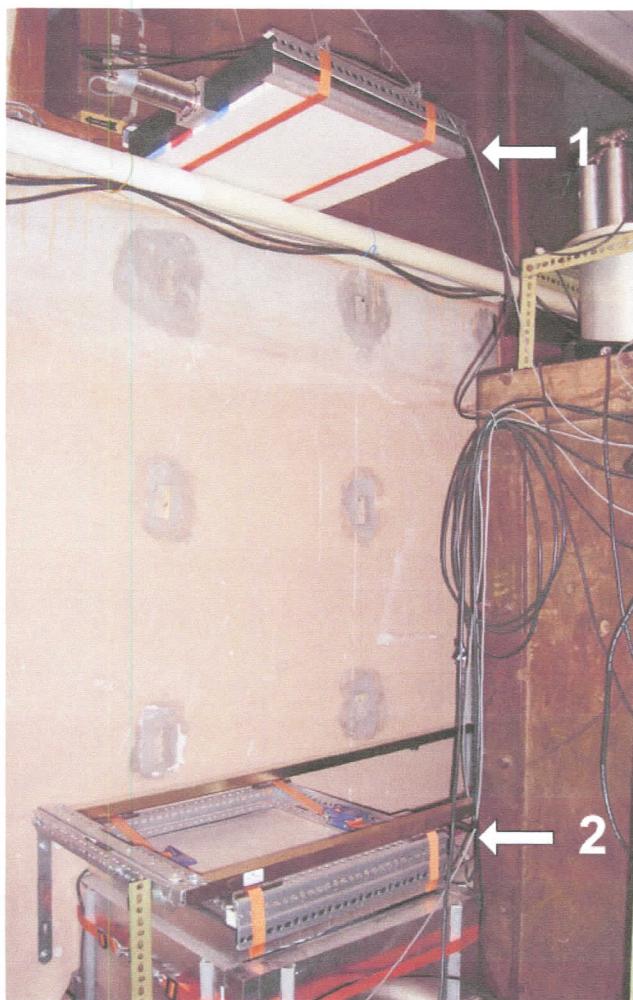
## 5. EKSPERIMENTALNI RAD

### 5.1. Karakteristike detektorskog veta sistema "SCIONIX"

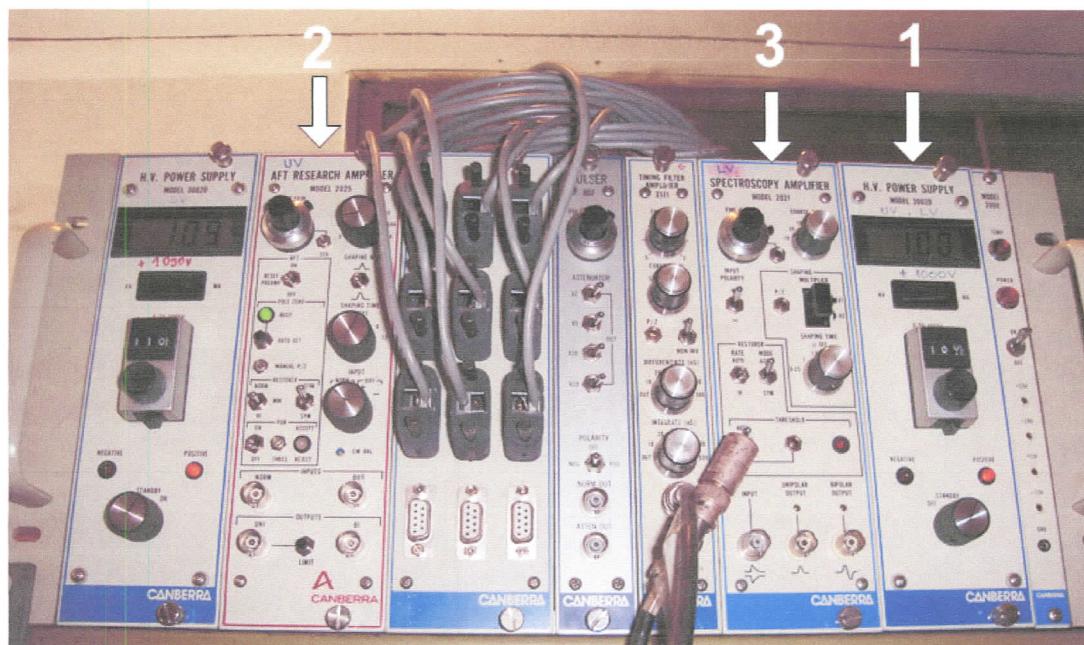
Na Departmanu za fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu, u laboratoriji na površini zemlje, postavljen je CRYME (Cosmic Ray Multipurpose Experiment). To je  $\gamma$  spektrometrijski sistem u kojem je pasivno zaštićen detektor (Pb, Fe i Sn) okružen aktivnom zaštitom (veto detektor-plastični scintilacioni detektor). Sistem CRYME je prvenstveno namenjen ispitivanju nuklearnih reakcija koje indukuju kosmički mioni. U ovom eksperimentu korišćena su dva plastična veta detektora tipa SCIONIX, postavljena horizontalno, jedan iznad drugog na međusobnom rastojanju od 146 cm. Veto detektori su dimenzija 50 cm x 50 cm x 5 cm. U plastičnim detektorima verovatnoća fotoefekta je zanemarljiva, pa se informacija o energiji detektovanih  $\gamma$  kvanata dobija samo analizom Komptonovske ivice. Plastika od koje su izrađeni ovi detektori je polistiren ( $C_6H_6$ ) čija gustina iznosi 1.032 g/cm<sup>3</sup> [Barnett96], efektivni redni broj  $Z_{eff} = 5.28$  [Jovin05], a efektivni maseni broj  $A_{eff} = 11.146$  g/mol [Jovin05]. Gornji veto detektor, koji je postavljen na visini od oko 2 m, kao i donji plastični detektor, čine teleskope za kosmičko zračenje. Na dinode fotomultiplikatora, koji je osetljiv svetlosni detektor sposoban da registruje jedan  $\gamma$  kvant i proizvede električni signal, dovodi se visoki napon. Sa plastičnih scintilacionih detektora signal se odvodi na pojačavače, na čijim je ulazima napon od  $U = 1000$  V. Sa pojačavača za gornji i donji veto detektor, kao i germanijumski detektor i TAC (Time to Amplitude Converted- pretvara vremenski period između dva logička pulsa u izlazni signal čija je visina proporcionalna ovom vremenskom intervalu, odnosno u amplitudu), signali se prenose na četiri ADC, a potom se visine signala vode na MPA-3 sistem. Odatle se signali, preko njegove PCI kartice, prikazuju na PC i obrađuju u softverskom paketu MPANT. U ovom eksperimentu se iz opisane merne postavke ne koristi se Ge detektor, jer u njegovom spektru ne možemo da vidimo sve događaje miona, kao ni TAC. Naime, za mione energije 2 GeV, odgovarajuća energija deponovana u detektorskom materijalu je 50 MeV, a mi maksimalno posmatramo do 30 MeV. Dakle, ne vidimo taj deo spektra. Stoga prikaz elektronske sheme sistema odgovara onom predstavljenom na slici 5.1.1.



*Slika 5.1. Elektronska shema postavke eksperimenta*



*Slika 5.2.* Fotografija gornjeg veto detektora sa fotomultiplikatorom, 1 i donjeg veto detektora, 2 u sklopu detektorskog sistema CRYME na DFNS



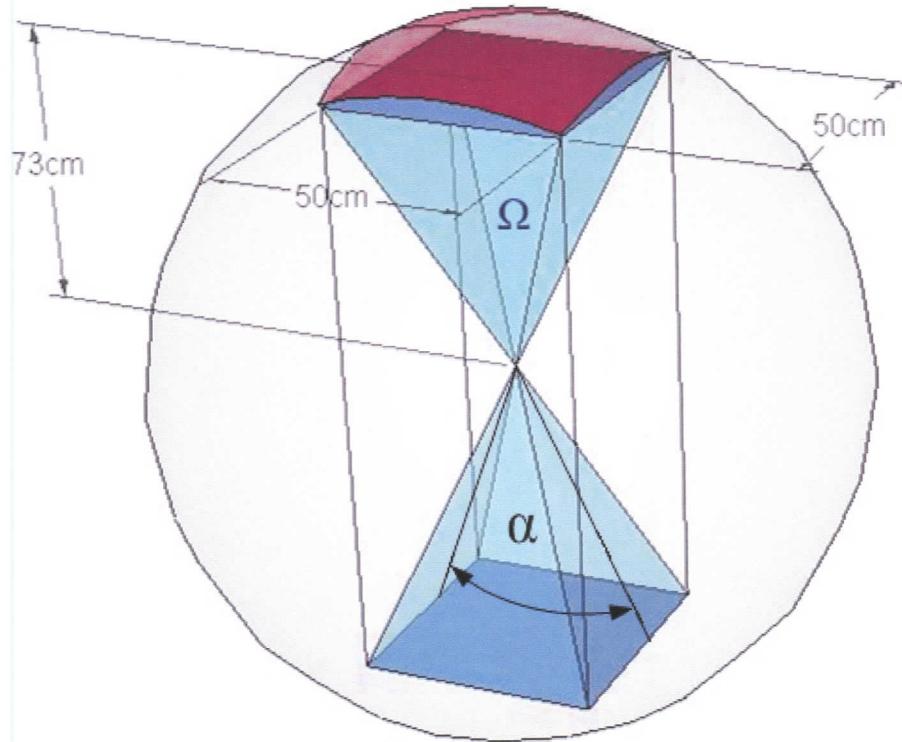
*Slika 5.3.* Fotografija dela aparature: 1-napajanje, 2- pojačavač gornjeg veto detektora, 3- pojačavač donjeg veto detektora



**Slika 5.4.** Fotografija baznog modula, ADC port modula i 4 ADC

## 5.2. Geometrija detektorskog sistema

Pored vertikalne mionske komponente, u detektor ulaze i mioni koji se u odnosu na vertikalu kreću pod nekim uglom. Znamo da na gubitak energije čestica pri interakciji sa detektorskim materijalom utiče njihov pređeni put u detektoru. Zato je logično da vertikalna mionska komponenta ima najmanje energetske gubitke, odnosno deponuju najmanju energiju u detektorima. Teorijski proračun za deponovanu energiju miona koji pod određenim uglom u odnosu na vertikalu ulaze u detektor, dat je u [Jovin05]. U obzir uzimamo samo one miione koji u toku zadatog koincidentnog vremena prođu kroz oba detektora. Broj ovih miona je ograničen je prostornim uglom datog geometrijom detektorskog sistema, kao što se vidi na slici 5.4.



**Slika 5.4.** Prikaz geometrije detektorskog sistema

Znamo da se prostorni ugao određuje na osnovu formule:

$$\Omega = \frac{S}{r^2} \quad [sr] \quad (5.1)$$

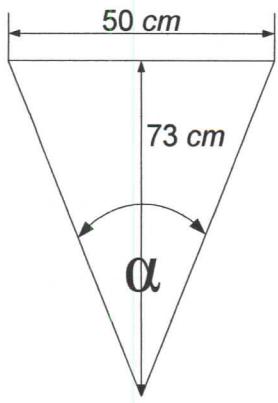
gde je  $S$  površina kalote koju smo aproksimirali površinom detektora:  $S = 0.25 \text{ m}^2$   
 $r$  poluprečnik sfere čiji je centar na osi koja spaja centre detektora, aproksimiran polovinom rastojanja između gornjeg i donjeg detektora i to:  $r = 0.73 \text{ m}$ .

Ova aproksimacija je bila dozvoljena zbog malog odstupanja vrednosti poluprečnika sfere od polovine rastojanja između gornjeg i donjeg plastika, kao i površine kalote od površine detektora.

Uvrštavajući navedene vrednosti u izraz (5.1), dobija se vrednost prostornog ugla date geometrije, koja iznosi:

$$\Omega = 0.47 \text{ sr}.$$

Ova vrednost je značajna radi daljeg određivanja vertikalnog fluksa kosmičkih miona, što je učinjeno u poglavlju 6.



Sa slike 5.5. je lako uočljivo da ugao  $\alpha$  možemo izraziti kao:

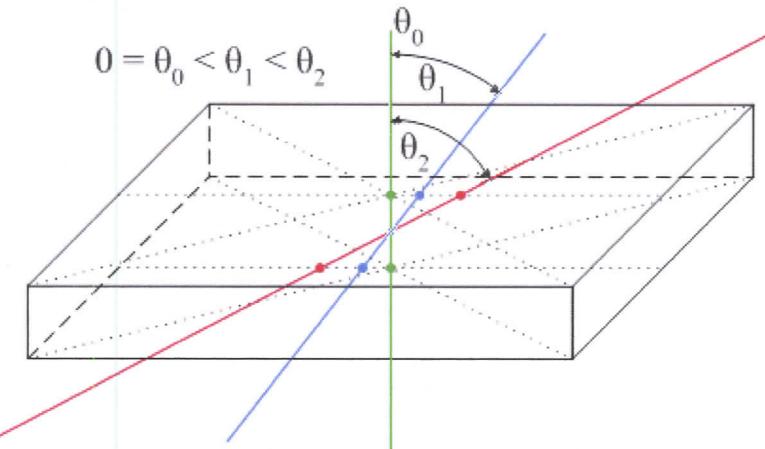
$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{25\text{cm}}{73\text{cm}} \quad (5.2)$$

Dobijene je sledeća vrednost za ugao u ravni

$$\alpha = 40^\circ.$$

**Slika 5.4a.** Prikaz geometrije za proračun ugla u ravni

Na slici 5.5. dat je primer putanja miona za različite vrednosti upadnih uglova u detektor. Što je ugao pod kojim mion upada u detektor u odnosu na vertikalu veći, to je i njegov pređeni put kroz detektor,  $dx$  veći. Stoga su energetski gubici,  $\frac{dE}{dx}$ , veći. Iz tog razloga, repu u spektrima deponovane energije miona u detektorima doprinose mioni koji u detektor ne dolaze vertikalno, već pod nekim uglovima različitim od nule.



**Slika 5.5.** Primer putanja tri miona kroz detektor različitih upadnih uglova

### 5.3. Podešavanje parametara u MPANT programu

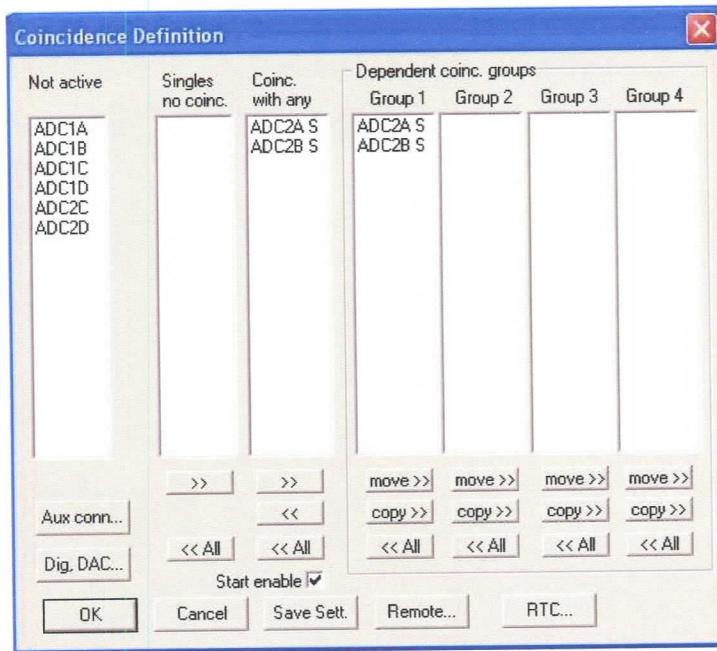
Izvršićemo podešavanja za koincidentno merenje sa dva ADC. Biće prikazan jednoparametarski spektar za svaki ACD i dvodimenzionalan spektar ADC2A  $\times$  ADC2B sa rezolucijom 2048  $\times$  2048 kanala.

Najpre pokrećemo MPA3 softver duplim klikom na ikonu, čime smo automatski startovali MPANT program, koji predstavlja grafički korisnički interfejs i u kojem se vrše sva hardverska podešavanja.

#### 5.3.1. Podešavanje parametara koincidentnih spektara

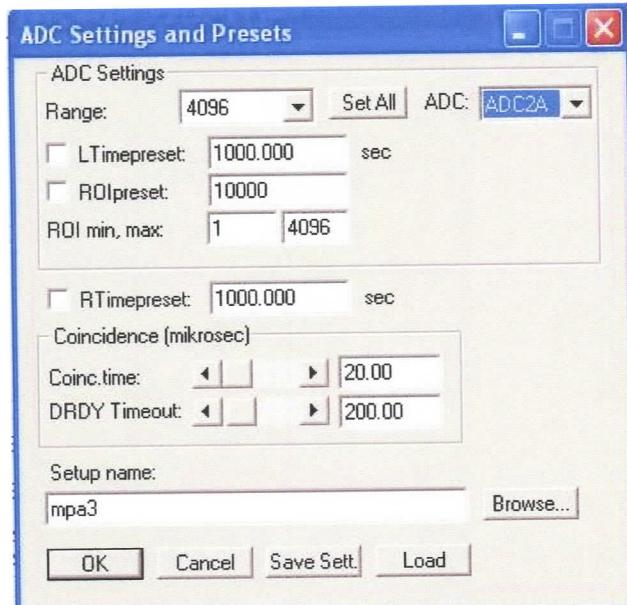
Otvorimo **Options** i u njegovom padajućem meniju kliknemo na **System**. Sada nam je prikazan prozor **Coincidence Definition** u kojem u kolonu **Coinc. With any** i **Group 1** u **Dependent coinc.**

**Groups** prebacimo ADC2AS i ADC2BS (po difoltu je dodato S koje ukazuje da je dozvoljeno pokrenuti vremenski prozor praćenja koincidentije), što potvrdimo klikom na **OK**. Ovo je prikazano na slici 5.6.



Slika 5.6. Izgled koincidentnog prozora

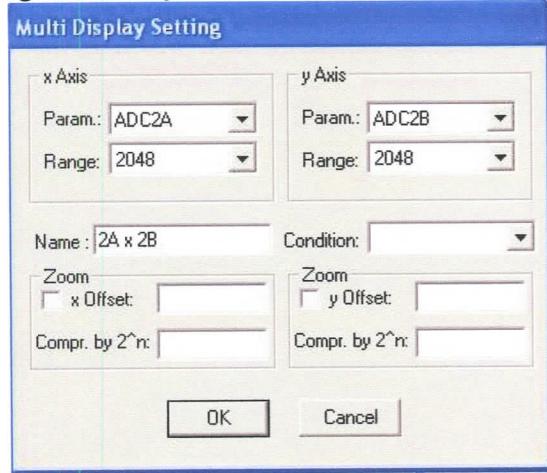
Potom ćemo zadati opseg ADC-a i koincidentno vreme, vreme tokom kojeg se događaji u dva ADC-a podrazumevaju istovremenim. To ćemo učiniti u prozoru **ADC Settings and Presets** koji smo otvorili u padajućem meniju **Options** klikom na **Range, Preset**. Za ADC1A i ADC1B od maksimalnih 8192 podesili smo opseg na 4096, jer je na ADC-ima određeno do 4000 kanala. Za koincidentno vreme smo u polje za unos **Coinc.time** uneli vrednost 20.00 $\mu$ s. Kao što je već objašnjeno u §3.4.2, vrednost **DRDY Timeout** mora biti bar 5 puta veća od koincidentnog vremena, pa smo odabrali 200.00 $\mu$ s. Kada smo podesili navadene vrednosti, zatvaramo prozor klikom na **OK**. Prozor za podešavanje ADC je dat na slici 5.7.



Slika 5.7. Prikaz ADC podešavanja

### 5.3.2. Podešavanje parametara dvodimenzionalnog spektra

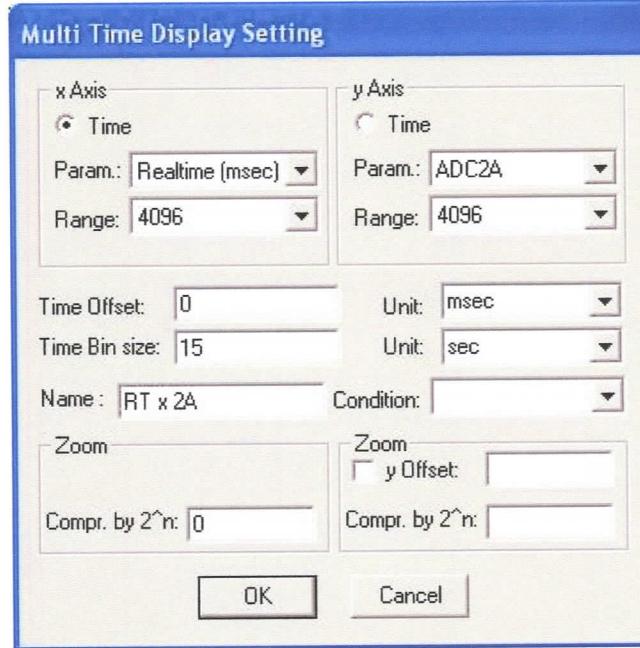
Sada ćemo definisati dvodimenzionalni spektar ADC2A x ADC2B. U padajućem meniju **Options** kliknemo na **Spectra** i otvorili smo prozor **Dualparameter and Calculated spectra**. Klikom na **Add Multi** dugme otvara se **Multi Display Settings** prozor u kojem podešavamo x osu spektra ADC2A sa opsegom 2048 i y osu ADC2B, takođe sa opsegom 2048. Kliknemo na **OK**.



*Slika 5.8.* Prozor za podešavanje 2A x 2B

### 5.3.3. Podešavanje vremenske zavisnosti koincidentnih događaja

Radi vizualizacije vremenske zavisnosti, podesićemo parametre za spektar koji će prikazati vreme na x osi, a na y osi će biti prikazan signal sa ADC2A. U prozoru **Multi Time Display Setting** podešavamo opsege na vrednost od 4096 kanala. Uneli smo vrednost vremena merenja po kanalu, 15 s. Takođe u ovom prozoru dajemo naziv spektru. Potvrdu unesenih vrednosti dajemo klikom na **OK**. Prikaz opisanih radnji može se videti na slici 5.9.



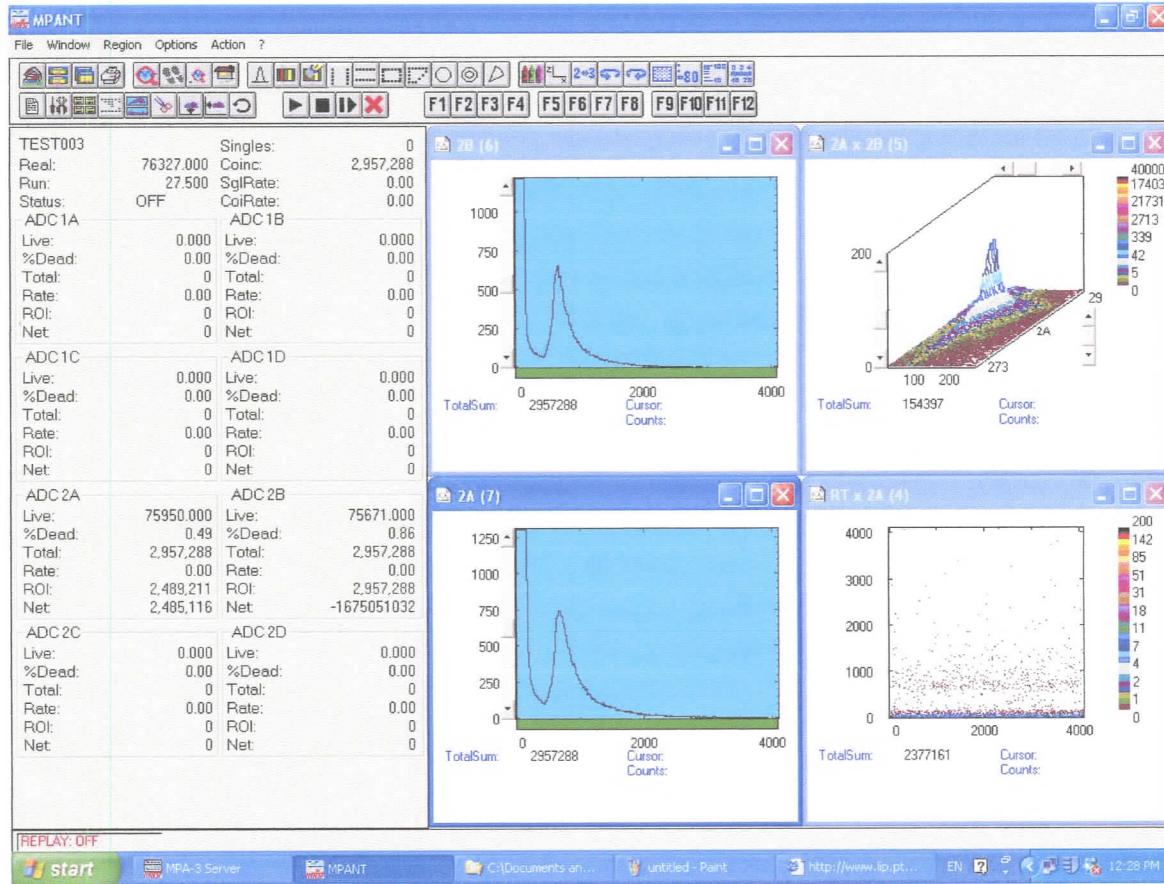
*Slika 5.9.* Izgled prozora za podešavanje vremenske zavisnosti koincidentnih događaja u gornjem detektoru

## 6. SPEKTRI DEPONOVANE ENERGIJE MIONA U DETEKTORIMA

Prikupljanje podataka je startovalo 18.07.2006. godine u  $10^{00} h$ , a završeno je 19.07.2006. godine u  $6^{55} h$ . Dakle, vreme akvizicije je iznosilo  $20 h \text{ i } 55 min$ , odnosno 74 000s.

Posmatraćemo spekture deponovane energije miona u detektoru. Eksperimentalno dobijena vrednost za deponovanu energiju vertikalne mionske komponente na nivou mora u detektoru SCIONIX iznosi  $E_{\mu d}^{\exp} = 10.28 \text{ MeV}$ . Određena je sa tačnošću  $\pm 0.18 \text{ MeV}$ . Iz nje je dobijena srednja energija miona. Ona iznosi oko  $E_{\mu}^{\exp} = 1.56 \text{ GeV}$  i određena je sa tačnošću  $\pm 0.17 \text{ GeV}$ . [Jovin05]

Na slici 6.1. dat je prikaz monitora nakon završene akvizicije. Vidimo da su bili aktivni samo 2A i 2B ADC. Ukupno vreme akvizicije, realno vreme prikupljanja podataka, je bilo 76327 sekundi. Gornji plastik je bio aktivan 75950 s, dok je njegovo mrtvo vreme činilo 0.49%. Donji plastik je bio aktivan 75671 s, a njegovo mrtvo vreme je bilo 0.86%.

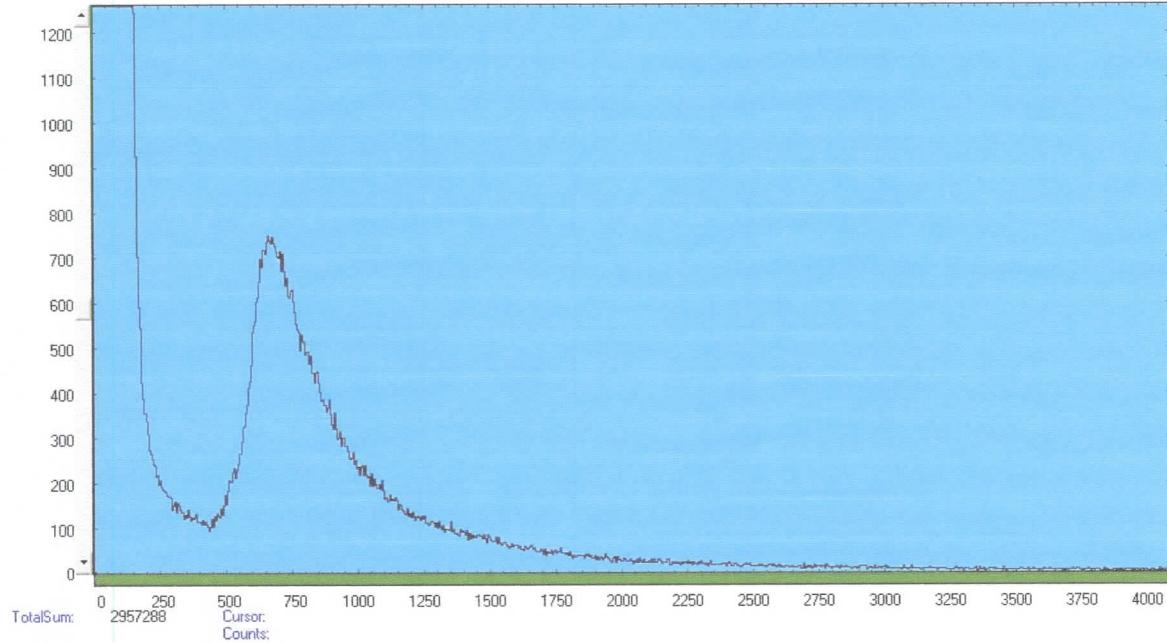


**Slika 6.1.** Izgled ekrana nakon završenog prikupljanja podataka

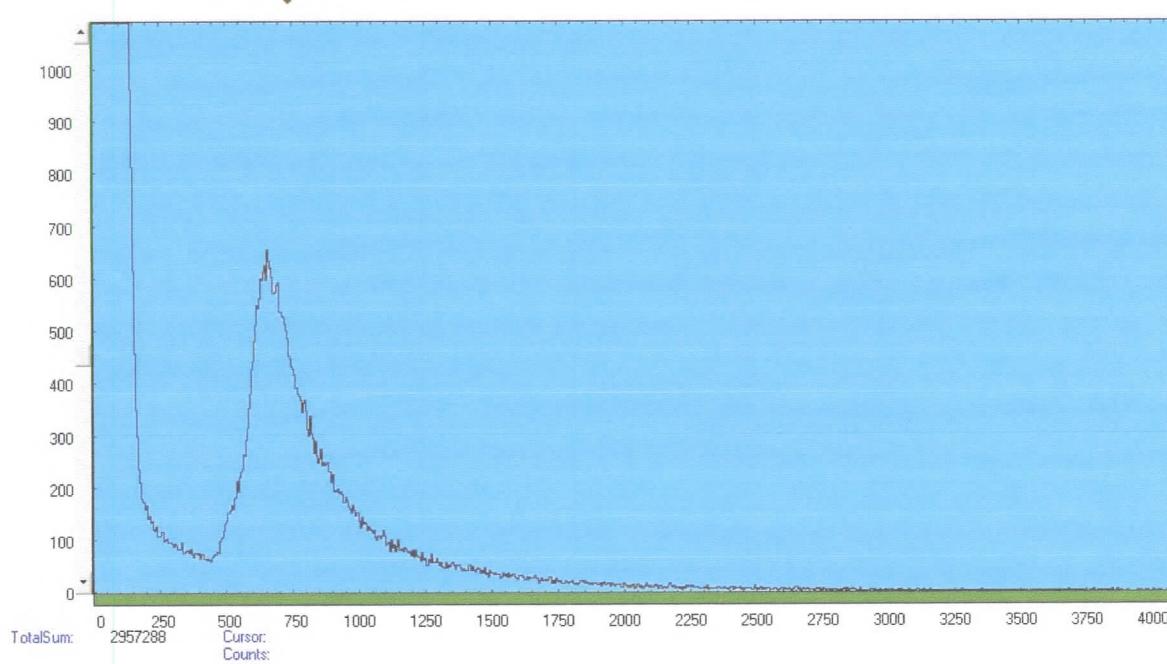
Klikom na **File** i odabirom **Save MPA** u padajućem meniju, čuvamo sve podatke o svakom spektru. U **toolbar-u** se takođe nalazi i **Action** u kojem klikom na **Start** dobijamo presek po kanalu, koji događaji iz tog detektora su uzrokovali događaje u drugom detektoru.

## 6.1. Koincidentni spektri

Selektovati smo region prozora od većeg interesa. U gornjem plastiku posmatramo oblast do 1200 kanala. Deo krive do oko 250 kanala donjeg plastika, koji ukazuje na velik intenzitet deponovane energije upadnih čestica, ne potiče od miona, već od fotona i drugih čestica.

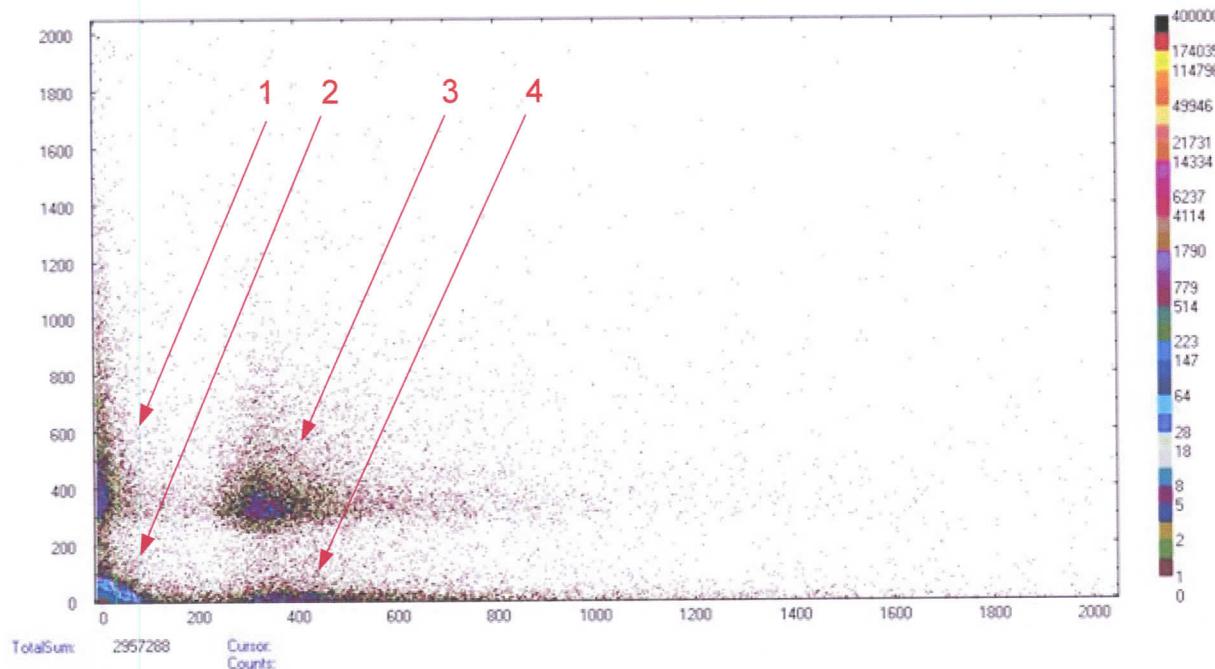


**Slika 6.2.** Koincidentni spektar gornjeg plastika



**Slika 6.3.** Koincidentni spektar donjeg plastika

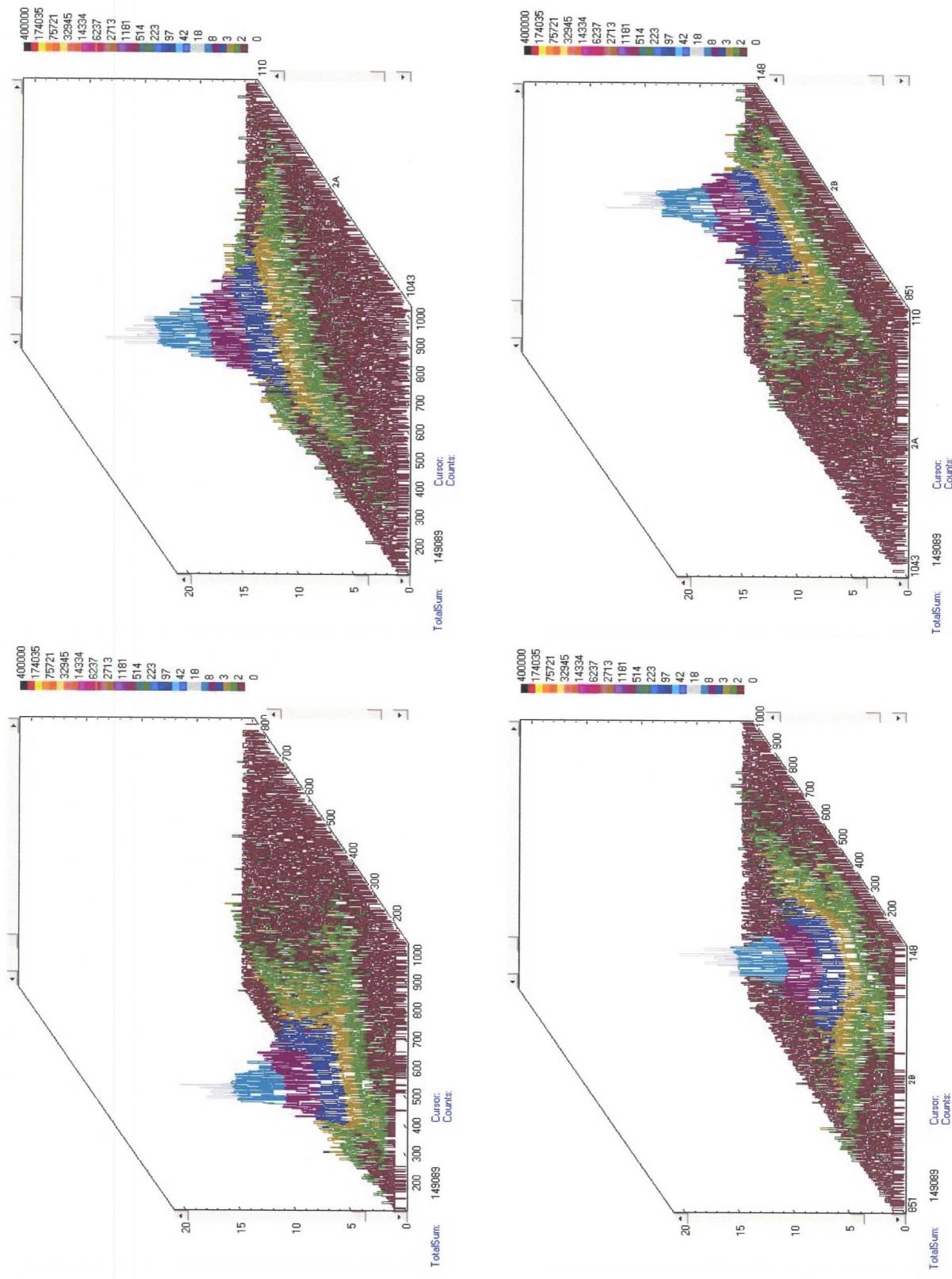
Primećujemo da je spektar gornjeg plastika razmazaniji, odnosno da je spektar donjeg plastika uži. Razlog tome je što neki od miona koji su prošli kroz gornji vetro i bili detektovani, zbog ograničenja prostornim uglom, ne budu detektovani u donjem plastiku.



**Slika 6.4.** 2D koincidentni spektar, 1- oblast mion-fotonskih interakcija, 2- oblast foton-fotonskih interakcija, 3- mion-mionske interakcije, 4- oblast mion-fotonskih interakcija

Na slici 6.4. na x osi je prikazan broj kanala gornjeg plastika, a na y osi broj kanala donjeg plastika. Kao što vidimo, ovde je dva puta lošija rezolucija u odnosu na pojedinačne spekture gornjeg i donjeg plastika. To je zbog toga da bi mogla biti prikazana velika količina događaja. Iz tog razloga ovde najviše događaja odgovara približno 350 kanalu, dok na slikama 6.3. i 6.4. uočavamo da najviše događaja odgovara približno 700 kanalu. Skala, desno od grafika, preko spektra boja, vizuelno, pruža uvid u broj odbroja po kanalu.

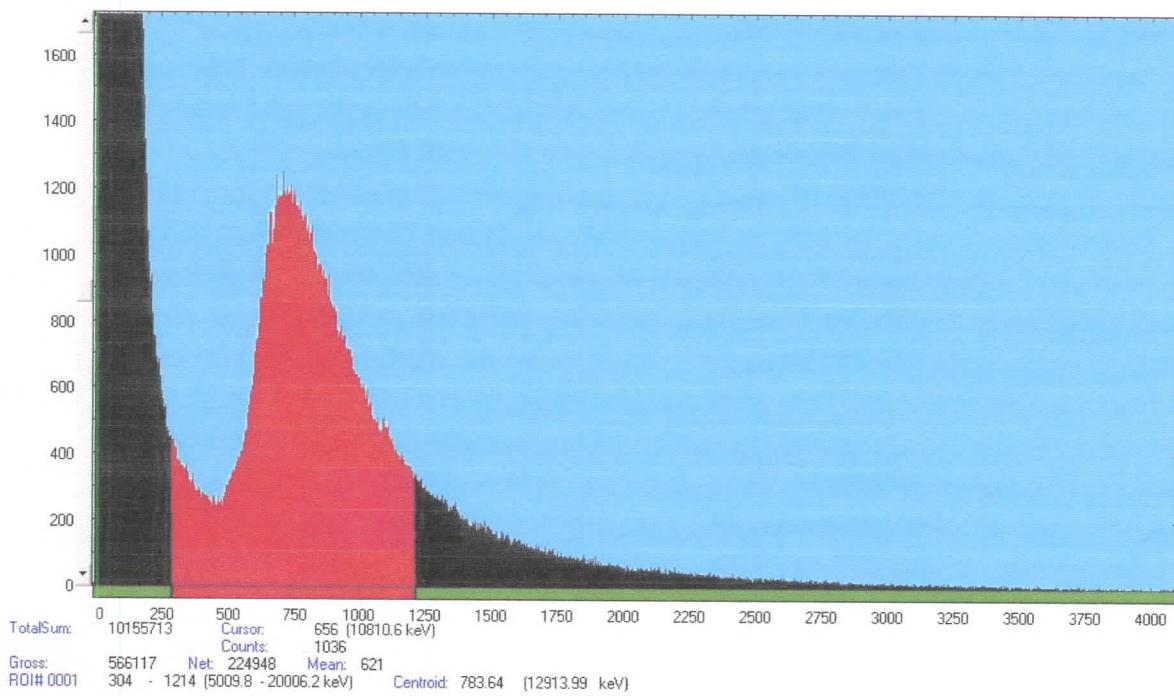
Obeležene su četiri oblasti na slici 6.4.. Oblasti 1 i 4 potiču od slučajnih koïncidencija, odnosno mion-fotonskih interakcija. Niskoenergetska oblast 2 posledica foton-fotonskih interakcija, dok je najintenzivnija oblast 3 i ona je posledica pravih koïncidencija, mion-mionskih interakcija.



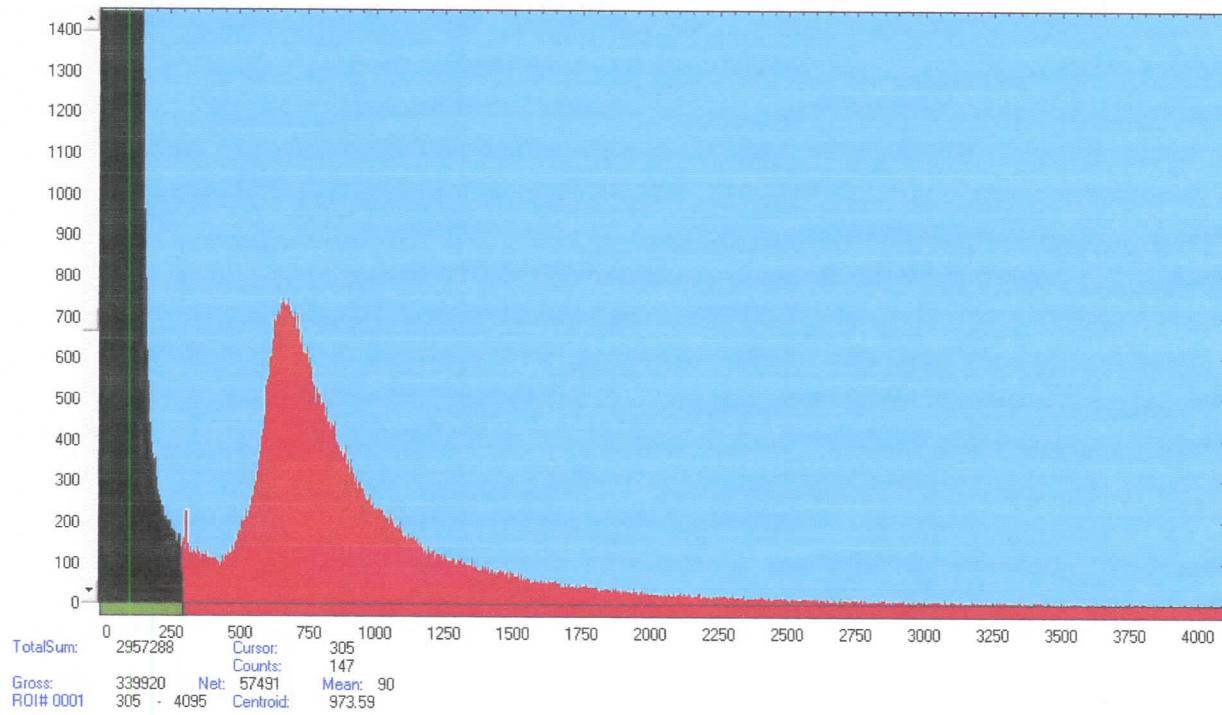
**Slika 6.5.** 3D koincidentni spektar – prikaz iz četiri perspektive

Na slici 6.5. x i y ose predstavljaju broj kanala gornjeg i donjeg plastika, respektivno, a z osa odbroj.

## 6.2. Poređanje pojedinčnog spektra sa koincidentnim spektrom



**Slika 6.6.** Pojedinačni spektar gornji plastik



**Slika 6.7.** Koincidentni spektar gornji plastik

Na slici 6.6. smo posmatrali isti interval od 304 do 1214 kanala, i vidimo da je ukupan odbroj 566117 za vreme od 20027 s, što daje  $28.3 \frac{\text{muon}}{\text{s}}$ . Poređenjem sa odgovarajućim brojem događaja za koincidentni spektar, vidimo da je ova vrednost nekoliko puta veća. Ukupan broj događaja pojedinačnog spektra od 566117 je dosta veći od ukupnog odbroja koincidentnog spektra koji ima vrednost 339920. Razlog tome je što se mnogo veći broj miona detektuje samo u gornjem detektoru, u odnosu na mione koji moraju biti obuhvaćeni prostornim uglom kako bi bili detektovani i u donjem plastiku. Za pojedinačni spektar pri površini detektora od  $0.25 \text{ m}^2$ , dobili bismo fluks koji iznosi

$$\Phi = 113.2 \frac{\text{muon}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}},$$

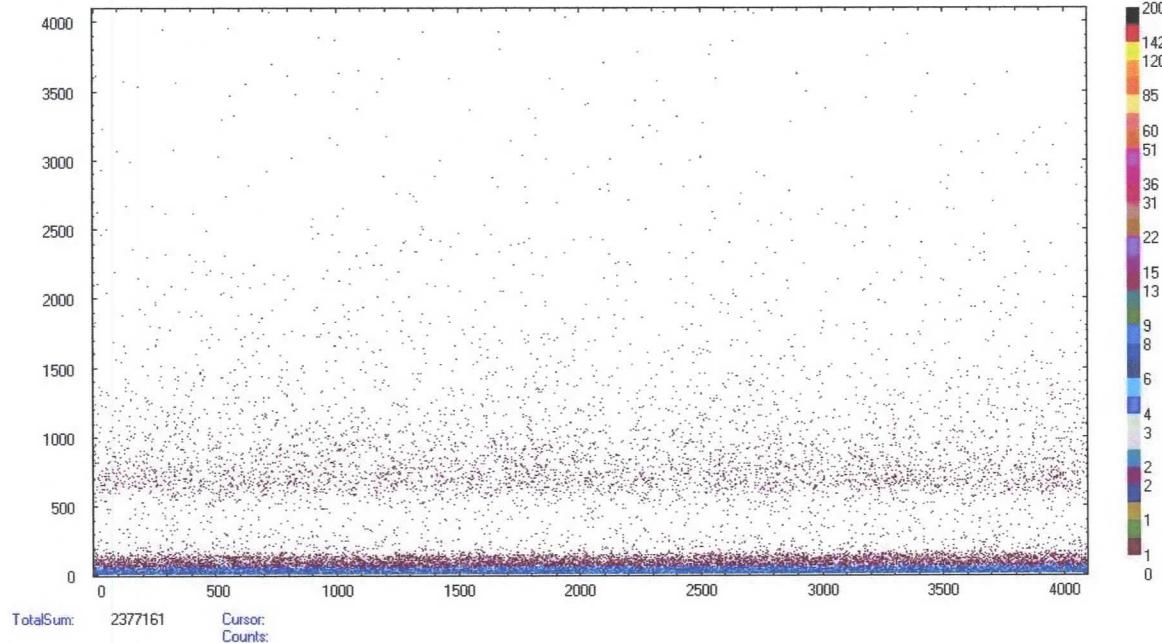
dok je u [Jovin05] eksperimentalno određena vrednost fluksa vertikalne komponente miona na nivou mora:

$$\Phi = 54.15 (33) \frac{\text{muon}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}.$$

Razlika između ove dve vrednosti potiče od manjeg intervala energije uzetog u razmatranje u [Jovin05].

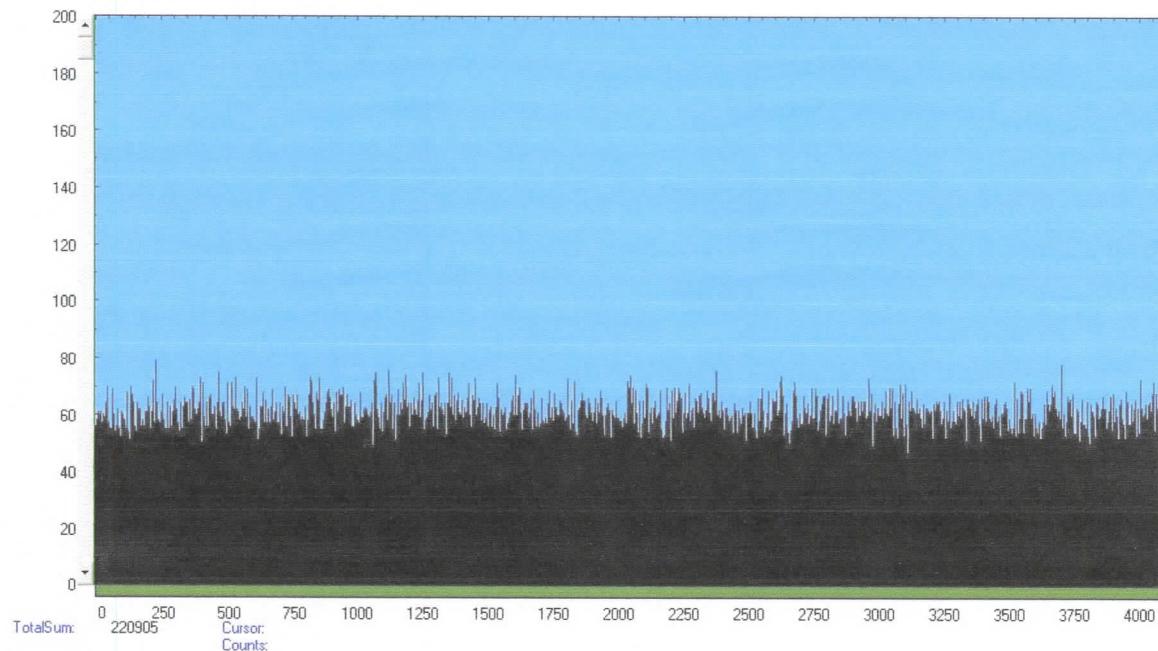
### 6.3. Vremenska zavisnost koincidentnih događaja

Nakon podešavanja vremenske zavisnosti koincidentnih događaja opisanog u §5.3.3. i izvršene akvizicije, dobijen je prozor prikazan na slici 6.8.



**Slika 6.8.** Vremenska zavisnost koincidentnih događaja u gornjem plastiku

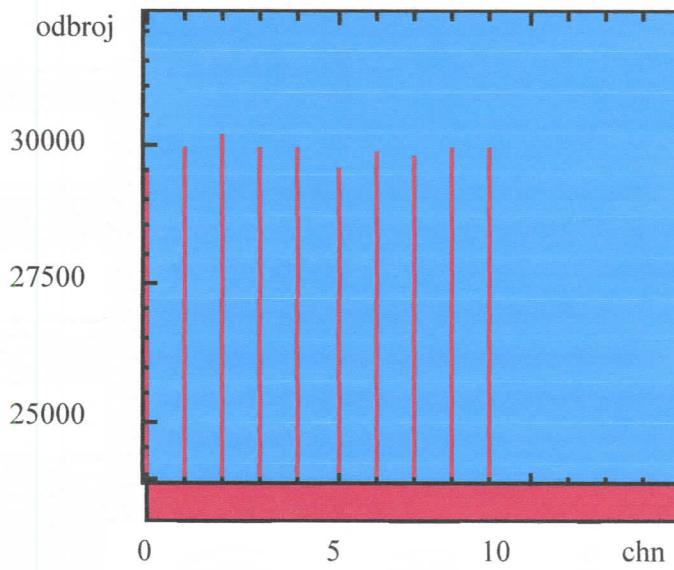
Ovde jednom kanalu x ose odgovara 15 s. Dakle, proizvod 4096 kanala i 15 s, daje vreme od 61440 s, što predstavlja vreme registrovanja.



**Slika 6.9.** Vremenska zavisnost – integralna

Na slici 6.9. data je integralna vremenska zavisnost dobijena selektovanjem do 200 kanala na y osi sa slike 6.8. Lako su uočljive značajnije promene u intenzitetu.

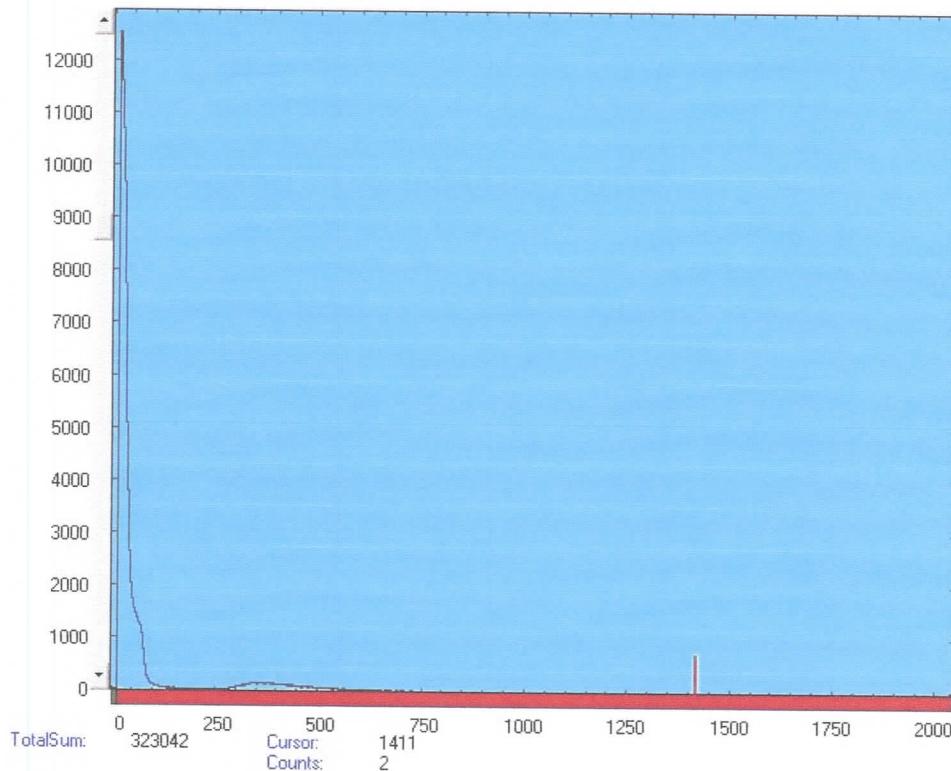
Na slici 6.10. prikazana je varijacija miona tokom akvizicije. Pošto je akvizicija započeta u  $10^{00} h$ , a završeno narednog dana u  $6^{55} h$ , vreme akvizicije je iznosilo  $20 h$  i  $55 min$ , odnosno  $74 ks$ . Na slici su na x osi prikazani kanali, s tim da svakom kanalu odgovara  $2 h$ . Kao što je i očekivano, vidimo da je vrednost odbroja miona za vreme noći manja u odnosu na njihov odbroj u toku dana.



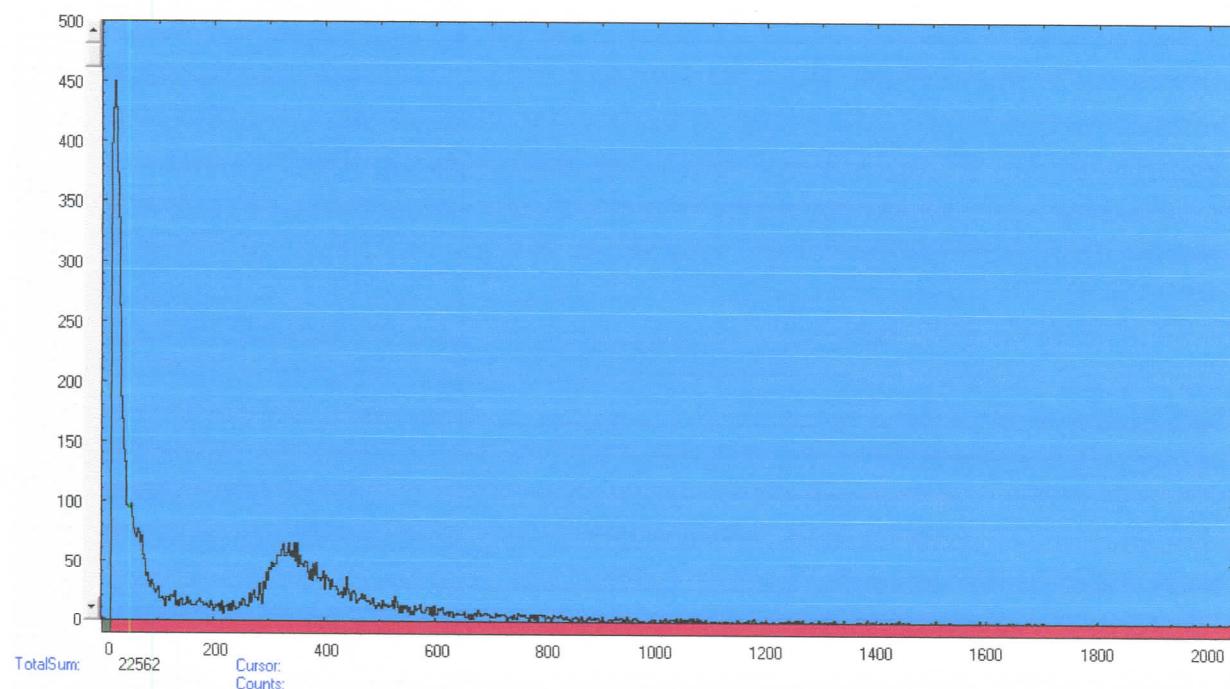
**Slika 6.10.** Varijacije miona tokom akvizicije, za vreme od 20 časova, pri čemu jednom kanalu na x osi odgovara  $2 h$

#### 6.4. Spektri u donjem plastiku koincidentni sa spektrom u gornjem plastiku

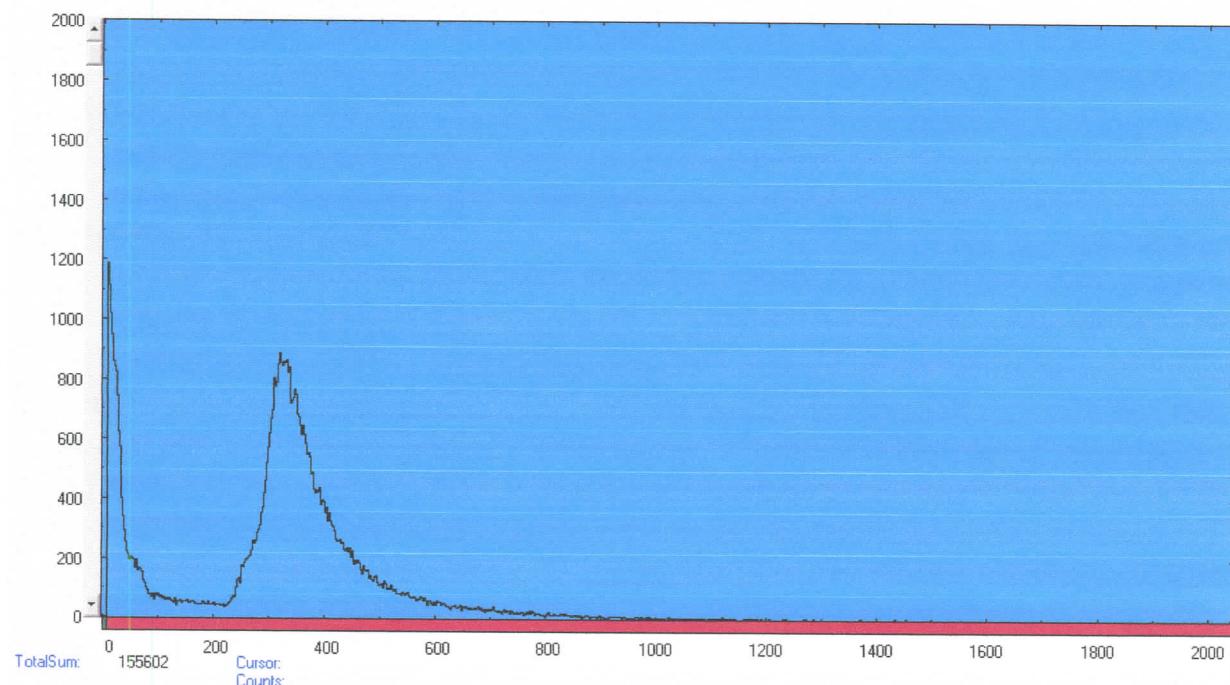
Sada će biti prikazani spektri u donjem plastiku nastali pod uticajem događaja koji su se desili u gornjem plastiku. Posmatrana su četiri regiona. Korišćena je opcija **Region** u padajućem meniju **Create**, koji se nalazi u toolbar-u softversog paketa MPANT. Pošto regije kreiramo na 2D spektru, gde je dva puta manja vrednost posmatranih kanala nego u koincidentnom spektru gornjeg plastika datog na slici 6.2. Prvi je interval od 10 do 75 kanala koji odgovara događajima izazvanim  $\gamma$  kvantima. Oblast od 74 do 241 kanala sa prilično malim intenzitetom u 2D koincidentnom spektru prikazanog na slici 6.10. Region od 240 do 560 kanala odgovara najintenzivnijem delu spektra, koji je posledica deponovane energije miona. Poslednji je interval od 561 do 2048 kanala, koji odgovara repu krive navedenog spektra.



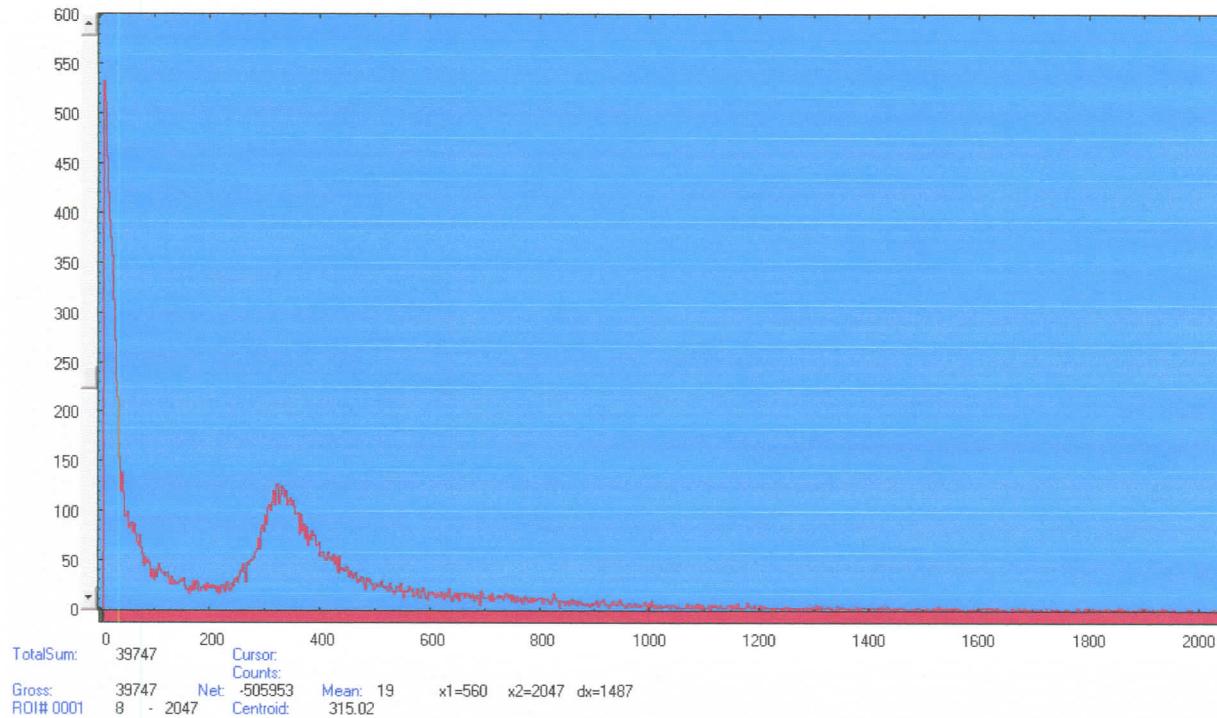
*Slika 6.9.* Spektar u donjem, 2B plastiku koincidentan sa regionom 10-75 chn u gornjem, 2A plastiku



**Slika 6.10.** Spektar u donjem, 2B plastiku koincidentan sa regionom 74-241 chn u gornjem, 2A plastiku



**Slika 6.11.** Spektar u donjem, 2B plastiku koincidentan sa regionom 240-560 chn u gornjem, 2A plastiku



**Slika 6.12.** Spektar u donjem, 2B plastiku koincidentan sa regionom 562-2000 chn u gornjem, 2A plastiku

Sa gore predstavljenih spektara smo očitali totalne sume, odnosno odbroj za svaki posmatrani interval i te vrednosti su prikazane u tabeli 6.1. Vrednosti za totalni odbroj prikazane u tabeli 6.1. se odnose na ceo interval, od 0 do 2048 kanala. Kako mi polazimo od 10 kanala, postojaće izvesne razlike u vrednostima prikazanim u tabeli 6.1. i sumama odbroja prikazanih u tabeli 6.2. za odgovarajuće regije u 2A.

**Tabela 6.1.** Totalni odbroj u 2B za selektovani region 2A detektoru

Region u 2A [chn]	Totalni odbroj u 2B
0-75	323042
75-240	22562
240-560	155602
561-2048	39747

U tabeli 6.2. su prikazane normirane vrednosti odbroja u 2B plastiku koincidentne navedenim regionima u 2A plastiku. Vrednosti odbroja su normirane u odnosu na najveću vrednost odbroja u intervalu od 240 do 560 kanala, što odgovara najintenzivnjem delu spektra koji potiče od miona.

**Tabela 6.2.** Normirane vrednosti odbroja u donjem, 2B detektoru, za zadate intervale, koincidentne događajima u navedenim intervalima u gornjem, 2A detektoru

Region u 2A [chn]	Regioni u 2B			
	10-75 [chn]	75-240 [chn]	240-560 [chn]	561-2000 [chn]
10-75	2.558	0.121	0.277	0.103
75-240	0.091	0.023	0.078	0.021
240-560	0.250	0.088	1.000	0.111
561-2000	0.112	0.041	0.156	0.056

Poređem vrednosti predstavljenih u tabeli 6.1. za totalni odbroj u 2B detektoru, po intervalima zadatim u 2A detektoru, sa vrednostima dobijenim sumiranjem odbroja očitanih sa spektara kreiranih za naznačene inervale kanala, uočili smo malu razliku. Ona je posledica subjektivnih poteškoća da se pri kreiranju željenog regiona precizno obuhvate granični kanali. Nemogućnost da se to uvek precino učini, pri oblastima većeg intenziteta spektra, dovodi do nešto značajnijih odstupanja. Ipak, pokazala su se sasvim zadovoljavajuća slaganja poređenjem gore navedenih vrednosti.

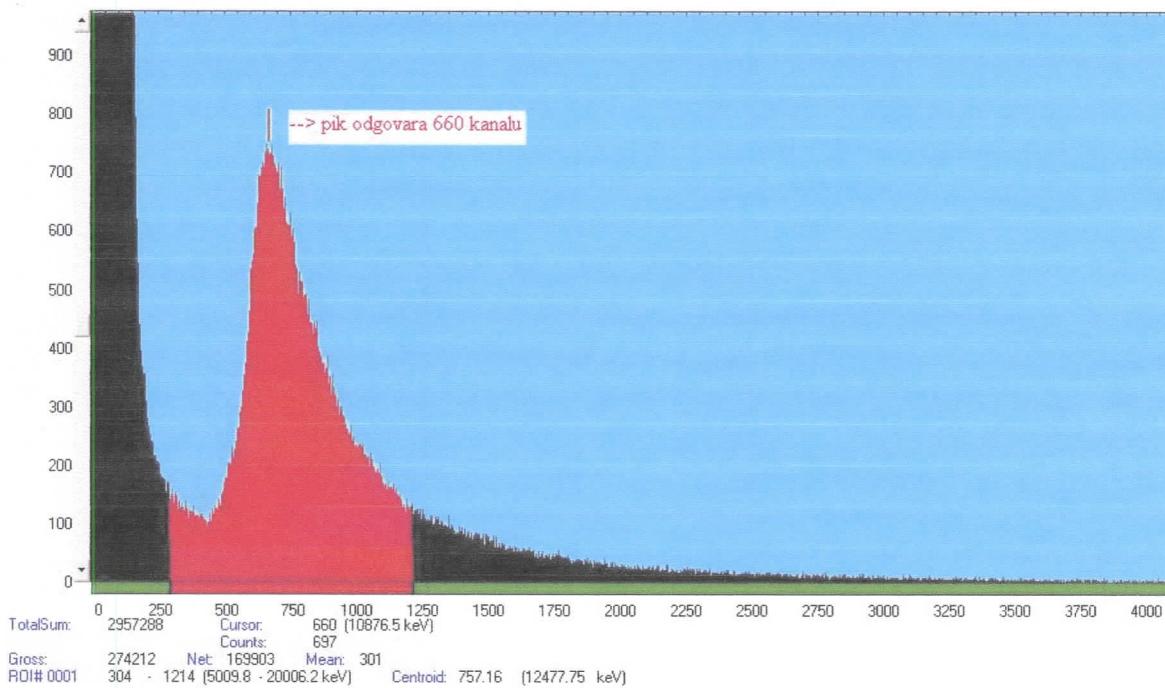
Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 6.2, zaključujemo da enegetski prozor izabran u jednom detektoru utiče na koincidentni spektar u drugom detektoru. Između koincidentnih spektralnih regiona postoje značajne razlike. Izmerene razlike se nisu mogle kvantitativno protumačiti zbog uticaja slučajnih koïncidencija. Potrebno je deteljnije istraživanje ove problematike na brzom koincidentnom nivou. Za to će biti potrebno, pored dva plastika korišćena u eksperimentalnoj postavci ovog diplomskog rada, koristiti i TAC (*Time to Amplitude Converted*).

### 6.5. Kalibracija

Cilj energetske kalibracije je da se dobije veza između pozicija vrhova u spektru i odgovarajućih energija  $\gamma$  zraka. Važno je da kalibracione energije pokrivaju ceo interval u kojem se koristi spektrometar. Meri se spektar izvora koji emituje fotone sa precizno poznatim energijama i povezivanjem izmerene pozicije vrhova sa odgovarajućim energijama.

U ovom radu korišćena vrednost deponovane energije miona u detektorskom materijalu iznosi  $E_{\mu}^{\text{exp}} = 10.893 \text{ MeV}$ . Dobijena je kalibracijom detektora SCIONIX izvedena snimajem spektara standardnih kalibracionih izvora:  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{60}\text{Co}$  i  $^{137}\text{Cs}$  u [Jovin05].

Program MPANT za analizu spektra sadrži opciju za kalibraciju. U padajućem meniju **Options** kliknemo na **Calibration** i unesemo gore navedenu vrednost deponovane energije upadnih miona iz vertikalne komponente kosmičkog zračenja, kao i vrednost kanala koji odgovara piku krive. Dobijamo grafik kao na slici 6.13. sa kojeg očitavamo vrednosti



**Slika 6.13.** Deponovana energija miona energija od 5 do 20 MeV - koincidentni spektar gornjeg plastika

Vrednost deponovane energije miona u detektorskom materijalu se kreće u opsegu od 5 do 20 MeV. Deponovana energija miona u intervalu od 5 do 10 MeV potiče od statističkih fluktuacija oko srednje vrednosti deponovane energije detektoru vertikalne mionske komponente na nivou mora, kao i od energetske rezolucije detektora. Repu mionskog spektra, oblast od 20 do 65 MeV, doprinose mioni koji ne dolaze vertikalno u detektor i mioni energija većih od srednjih energija miona na nivou mora. Asimetrija spektra je posledica neverikalne mionske komponente i od doprinosa miona čije su energije različite od srednje vrednosti energije na nivou mora. Donjoj i gornjoj granici posmatranog intervala deponovane energije vertikalnih miona od 5 do 20 MeV odgovaraju 304 i 1214 kanal, respektivno. Vrh krive odgovara 660 kanalu, što po izvršenoj kalibraciji u za deponovanu energiju miona sa srednjom energijom na nivou mora od 2 GeV iznosi oko

$$E_{\mu\mu}^{\text{exp}} = 10.893 \text{ MeV}.$$

## 6.6. Izračunavanje vertikalnog fluksa kosmičkih miona

Ukupan odbroj tj. broj događaja je bio 274212. Smatramo da je efikasnost 100%. Broj događaja u sekundi iznosi

$$\frac{N}{t} = \frac{339920}{75950} = 4.47 \frac{\text{muons}}{\text{s}}.$$

Vertikalni fluks kosmičkih miona računamo prema obrascu:

$$\Phi = \frac{N}{S \cdot \Omega \cdot t} \quad \left[ \frac{\text{muons}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{s}} \right], \quad (6.1.)$$

gde su N – broj događaja: 339920,  
 S – površina detektora: S = 0.25 m<sup>2</sup>,  
 Ω – prostorni ugao: 0.47 sr i  
 t – vreme aktivnosti posmatranog plastika: t = 75950 s.

Dobijena vrednost iznosi

$$\Phi = 38.09(12) \frac{\text{muons}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{s}}.$$

## 7. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog diplomskog rada bilo je multiparametarsko istraživanje kosmičkih miona. Uz već postojeći  $\gamma$  spektrometrijski sistem CRYME sa dva plastična veto detektora SCIONIX (Holandija), organska detektora na bazi plastike, korišćen je multiparametarski sistem za skupljanje podataka, MPA-3. To su ujedno bila prva merenja na *Multiparameter Data Acquisition Systemu*, nemačkog proizviđača FAST ComTec GmbH, koji predstavlja novinu u površinskoj laboratoriji za niskofonska merenja DFNS-a u Novom Sadu.

Izmereni su koincidentni spektri između dva plastična detektora.

Usled interakcije miona sa detektorskim materijalom, mioni gube energiju. Vrednost deponovane energije miona sa srednjom energijom na nivou mora od 2 GeV, iznosila je  $E_{\mu d}^{\exp} = 10.893 \text{ MeV}$ . Posmatrali smo spekture deponovane energije miona u detektoru. Zadato koincidentno vreme iznosilo je  $20.00 \mu\text{s}$ . Ukupno vreme akvizicije koincidentnih spektara bilo je  $76327 \text{ s}$ . Pri analizi koincidentnih spektara gornjeg i donjeg plastika, uočili smo da je spektar gornjeg plastika razmazaniji, širi. Razlog tome je ograničenje usled zadate geometrije sistema. Iskorišćene su samo neke od raznovrsnih opcija koje pruža softver MPANT. Prikazani su koincidentni spektri u dve i tri dimenzije. Na 2D spektru, na x osi je dat broj kanala gornjeg, a na y osi broj kanala donjeg plastika. Na z osi u 3D spektru prikazan je odbroj. Ukupno vreme registrovanja vremenske zavisnosti koincidentnih događaja u gornjem detektoru je bilo  $61400 \text{ s}$ , odnosno  $15 \text{ s}$  po kanalu. Registrovana je varijacija dan-noć.

Analizirane su četiri oblasti spektra. U gornjem detektoru su postavljeni energetski prozori i crtan je koincidentni spektar donjeg detektora. Prikazana su četiri spektra, za određene intervale kanala koji odgovaraju navedenim oblastima, u donjem detektoru koincidentni sa događajima u gornjem detektoru. Normirali smo vrednosti odbroja u donjem plastiку pod uticajem regionalnog gornjeg detektora, u odnosu na najveću vrednost odbroja u oblasti najintenzivnijeg dela spektra koji potiče od miona. Između koincidentnih spektralnih regiona postoje značajne razlike. Zbog uticaja slučajnih koïncidencija se izmerene razlike nisu mogle kvantitativno protumačiti. Analiza ovih rezultata biće moguća tek pri korišćenju brzog koincidentnog kruga.

Ukupan broj događaja pojedinačnog spektra je dosta veći od ukupnog odbroja koincidentnog spektra. Razlog tome je što se mnogo veći broj miona detektuje samo u gornjem detektoru.

Konačno, posmatrali smo deponovanu energiju miona u intervalu od 5 do  $65 \text{ MeV}$ . Ukupan odbroj je bio 339920. Smatrali smo da je efikasnost 100%. Određena vrednost vertikalnog fluksa kosmičkih miona iznosila je  $\Phi = 38.09 \frac{\text{muons}}{m^2 \cdot sr \cdot s}$ . Ona je određena sa tačnošću od  $0.12 \frac{\text{muons}}{m^2 \cdot sr \cdot s}$ .

Poredimo ovu vrednost sa eksperimentalno određenom vrednošću fluksa vertikalne komponente miona na nivou mora u [Jovin05]  $\Phi = 54.15 (33) \frac{\text{muons}}{m^2 \cdot s}$ . Zaključujemo, na osnovu eksperimentalnih postavki, da razlika u dobijenim vrednostima potiče od ograničenja prostornim uglom  $\Omega$  u ovom radu i od manjeg intervala energije uzetog u razmatranje u [Jovin05].

Dobijene vrednosti za vertikalni fluks miona na južnom polu pri uglovima od  $0^\circ, 15^\circ, 35^\circ$  u [Bai06] iznose su  $(176 \pm 1), (168 \pm 1), (149 \pm 2) (m^2 \text{ s sr})^{-1}$ . Međutim, u navedenom radu nije meren integralni fluks, kao što je to učinjeno u ovom diplomskom radu, već fluks miona oko navedenih zenitnih uglova. Takođe, postoji razlika u geografskoj širini i nadmorskoj visini, koji predstavljaju faktore koji utiču na vrednosti fluksa kosmičkih miona.

Podsetimo da je u [Bogdanova04] za fluks miona energija 1GeV, na nivou mora određena je vrednost  $\sim 70 \frac{\text{muons}}{m^2 \cdot sr \cdot s}$ . Razlika između ove vrednosti i vrednosti fluksa određene u diplomskom radu potiče od lokalnih i sezonskih varijacija, kao i konstrukcije građevinskog objekta. U [Ambrosio95] za

dubinu od 2.67 km ispod površine zemlje za standardnu stenu, fluks je imao vrednost  $(2.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-6}$   $\frac{\text{muons}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{s}}$ .

Za neke buduće rade ostavljeno je da se prouče ostale mogućnosti koje pruža ovaj višeparametarski akvizicioni sistem. Dalji napredak u merenju kosmičkih miona, ostvariće se razvojem hodoskopa pomoću kojeg će se moći pratiti prostorno – vremenska varijacija kosmičkih miona.

**9. REFERENCE**

- [Ambrosio95] Ambrosio M. Et al, MACRO Collaboration, "Vertical muon intensity measured with MACRO at the Gran Sasso laboratory", *Physical Review D52*, 7, Italy, (1995)
- [Bai06] X. Bai, T. K. Gaisser, A. Karle, K. Rawhins, G. M. Spiczak, Todor Stanev, "Mion fluks at the geographical South Pole", Bartol Research Institute and Department of Physics and Astronomy, University of Delaware, Newark, Department of Physics, University of Wisconsin, Madison, USA, (2006)
- [Barnett96] R. M. Barnett et al, "Review of Particle Physics", *Physical Review D54*, 1, AIP, Available from LBNL and CERN,(1996)
- [Bogdanova04] L. N. Bogdanova, M. G. Gavrilov, V. N. Kornoukhov, A. S. Starostin, Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russia, (2003)
- [Burcham74] W. E. Burcham, "Nuklearna fizika - uvod" sa fizikom čestica, 2<sup>nd</sup> ed, Longman Group Limited, London, (1974)
- [Conversi47] M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, *Physical Review 71*, 209, (1947)
- [Jovin05] Tatjana Jovin, "Određivanje energije i fluksa kosmičkih miona na nivou mora", Diplomski rad, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, (2005)
- [Leo94] W. R. Leo, "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments" A how to approach, 2<sup>nd</sup> ed, Springer – Verlag, Berlin Heidelberg New York, (1994)
- [MPA - 3] MPA – 3, *Multiparameter Data Acquisition System*, User Manual, FAST ComTec GmbH, Oberhaching, Germany, (2005)
- [Slivka00] J. Slivka, I. Bikit, M. Vesović, Lj. Čonkić, "Gama spektrometrija", specijalne metode i primene, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, (2000)

**LINKOVI**

- [1] <http://www.fastcomtec.com> , 05.06.2006.
- [2] [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) , 11.07.2006.
- [3] [www.elsevier.com/locate/astropart](http://www.elsevier.com/locate/astropart) , 11.07.2006.
- [4] [http://msl.kek.jp/keikaku/keikaku3/index\\_en.htm](http://msl.kek.jp/keikaku/keikaku3/index_en.htm) , 03.08.2006.
- [5] <http://physicsweb.org/article/news/7/10/13> , 03.08.2006.
- [6] [www.scienceclarified.com](http://www.scienceclarified.com) , 14.07.2006.
- [7] [http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2002/Bubblech/mbitu/energy\\_and\\_momentum\\_conservation1.htm](http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2002/Bubblech/mbitu/energy_and_momentum_conservation1.htm) , 25.08.2006.
- [8] <http://www.particleadventure.org> , 22.07.2006.
- [9] [www.lanl.gov/quarterly/q\\_spring03/cosmic\\_ray\\_muons.shtml](http://www.lanl.gov/quarterly/q_spring03/cosmic_ray_muons.shtml) , 06.08.2006.

- [10] <http://pdg.lbl.gov/2000/cosmicrayppbook.pdf>, 18.07.2006.
- [11] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/particles/lepton.html>, 30.07.2006.
- [12] <http://pdg.lbl.gov/2004/reviews/passagerpp.pdf>, 19.07.2006.

KRATKA BIOGRAFIJA



Svetlana Popadić je rođena 21.10.1979. godine u Novom Sadu, Republika Srbija. Osnovnu školu "Žarko Zrenjanin", kao i Gimnaziju "Svetozar Marković", opšteg usmerenja završila je u Novom Sadu. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu, smer profesor fizike na Departmanu za fiziku, upisala je 1998. godine.

10.09.2006. Novi Sad

Svetlana Popadić



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

**TD**

*Tip zapisa:*

**TZ**

*Vrsta rada:*

**VR**

*Autor:*

**AU**

*Mentor:*

**MN**

*Naslov rada:*

**NR**

*Jezik publikacije:*

**JP**

*Jezik izvoda:*

**JI**

*Zemlja publikovanja:*

**ZP**

*Uže geografsko područje:*

**UGP**

*Godina:*

**GO**

*Izdavač:*

**IZ**

*Mesto i adresa:*

**MA**

*Fizički opis rada:*

**FO**

*Naučna oblast:*

**NO**

*Naučna disciplina:*

**ND**

*Predmetna odrednica/ ključne reči:*

**PO**

**UDK**

*Čuva se:*

**ČU**

*Važna napomena:*

**VN**

*Izvod:*

**IZ**

*Datum prihvatanja teme od NN veća:*

**DP**

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Diplomski rad

Svetlana Popadić, dos. 250/98

Prof. Dr. Išvan Bikit, redovni profesor PMF-a, Novi Sad

Multiparametarsko istraživanje kosmičkih miona

srpski (latinica)

srpski/engleski

Srbija

Vojvodina

2006

Autorski reprint

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

(broj poglavlja / broj strana / broj referenci / broj tabela / broj slika / broj grafika): (9 / 47 / 10 / 7 / 35 / 13)

Fizika

Nuklearna fizika, Spektroskopija kosmičkih miona

Multiparametarska akvizicija, kosmički mioni, fluks

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

nema

U ovom diplomskom radu su opisane karakteristike miona i sprovedeno je multiparametarsko istraživanje detektorskim sistemom u laboratoriji DFNS. Predstavljen je MPA-3 sistem i njegov softverski paket MPANT, kao i neke od njegovih mogućnosti. Prikazani su koincidentni spektri deponovane energije miona u gornjem i donjem plastičnom veto SCIONIX detektoru. Određena je vrednost fluksa kosmičkih miona i upoređena sa vrednostima fluksa preuzetim iz drugih eksperimenata.

09.2006.

26. 09.2006.

*Članovi komisije:*

**KO**

*Predsednik:*

Prof. Dr. Miroslav Vesković, redovan profesor PMF-a u Novom Sadu

Prof. Dr. Zoran Mijatović, redovan profesor PMF-a u Novom Sadu

Prof. Dr. Išvan Bikit, redovan profesor PMF-a u Novom Sadu

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

<i>Accession number:</i>	
<b>ANO</b>	
<i>Identification number:</i>	
<b>INO</b>	
<i>Document type:</i>	Monograph publication
<b>DT</b>	
<i>Type of record:</i>	Textual printed material
<b>TR</b>	
<i>Content code:</i>	Final paper
<b>CC</b>	
<i>Author:</i>	Svetlana Popadić, 250/98
<b>AU</b>	
<i>Mentor/comentor:</i>	Prof. Dr. Išvan Bikit, full professor
<b>MN</b>	
<i>Title:</i>	Multiparameter research of cosmic muons
<b>TI</b>	
<i>Language of text:</i>	Serbian (Latin)
<b>LT</b>	
<i>Language of abstract:</i>	English
<b>LA</b>	
<i>Country of publication:</i>	Serbia
<b>CP</b>	
<i>Locality of publication:</i>	Vojvodina
<b>LP</b>	
<i>Publication year:</i>	2006
<b>PY</b>	
<i>Publisher:</i>	Author's reprint
<b>PU</b>	
<i>Publication place:</i>	Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
<b>PP</b>	
<i>Physical description:</i>	(no chapter / no pages / no literature / no tables /no pictures / no grafics): (9 / 47 / 10 / 7 / 35 / 13)
<b>PD</b>	
<i>Scientific field:</i>	Physics
<b>SF</b>	
<i>Scientific discipline:</i>	Nuclear Physics, Spectroscopy of Cosmic ray muons
<b>SD</b>	
<i>Subject/ Key words:</i>	
<b>SKW</b>	
<b>UC</b>	
<i>Holding data:</i>	Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4
<b>HD</b>	
<i>Note:</i>	none
<b>N</b>	
<i>Abstract:</i>	Graduate thesis covers characteristics of muons and muon flux measurements using sophisticated acquisition MPA-3 sistem. MPA-3 software MPANT is represented along with it's advanced features. Coincidence spectras of energies of muons in upper and lower plastic veto SCIONIX detectors is also shown. Cosmic muon flux is measured and compared with values of muon flux taken from other experiments.
<b>AB</b>	September 2006
<i>Accepted by the Scientific Board:</i>	
<b>ASB</b>	
<i>Defended on:</i>	September 26 <sup>th</sup> , 2006
<b>DE</b>	
<i>Thesis defend board:</i>	
<b>DB</b>	
<i>President:</i>	Prof. dr. Miroslav Vesković, full professor
<i>Member:</i>	Prof. dr. Zoran Mijatović, full professor
<i>Member:</i>	Prof. Dr. Išvan Bikit, full professor