

**Univerzitet u Beogradu
Matematički fakultet**

**Seminarski rad
Tema: Neutrini**

**Predmetni profesor:
Dr Olga Atanacković**

**student:
Majda Smole**

Sadržaj:

Uvod.....	2
Nastanak neutrina.....	2
Početak istraživanja neutrina.....	4
Detekcija neutrina.....	4
Problem neutrina.....	10
Značaj neutrina.....	12

Uvod

Svake sekunde Sunce izrači $3,86 \times 10^{26}$ J energije, ali samo jedan mali deo ove energije dospe na Zemlju. Elektromagnetno zračenje, koje do nas stiže, potiče iz relativno tankog površinskog sloja. Dublji slojevi Sunca su neprozračni pa unutrašnjost Sunca nije dostupna direktnim posmatranjima. Međutim, jedan mali deo energije proizvedene u Suncu i zvezdama prelazi direktno iz njihove unutrašnjosti u kosmički prostor u vidu neutrina.

Neutrini su nenaelektrisane subatomske čestice, veoma male mase, koje se kreću skoro brzinom svetlosti. Postojanje neutrina predvideo je Wolfgang Pauli 1934. godine, a Enrico Fermi nazvao je Paulijevu česticu malim neutronom, odnosno neutrinom na italijanskom [5].

Neutrino je uz foton najbrojnija čestica u svemiru. Neutrini koje primamo sa Sunca nastaju u termonuklearnim reakcijama u Sunčevom jezgru. Prema teoriji, sa Sunca dolazi ogroman broj neutrina, a svake sekunde kroz naše telo prođu hiljade milijardi ovih čestica. Međutim samo jedna od tolikog broja biva zaustavljena prilikom prolaska kroz Zemlju. Razlog tome je njihova izuzetno slaba interakcija sa okolnom materijom.

Neutrini skoro uopšte ne interaguju sa materijom. Fotoni imaju poprečni presek za interakciju reda 10^{-16} do 10^{-24} cm², dok je poprečni presek za interakciju neutrina 10^{-44} cm². Zbog toga γ kvantu proizvedenom u unutrašnjosti Sunca potrebno je milion godina da na svom putu do površine Sunca bude transformisan u foton vidljive svetlosti i da napusti Sunce. Za razliku od fotona neutrini napuštaju Sunce samo nekoliko sekundi od svog nastanka, a do Zemlje stižu za 8 minuta. Prema tome, neutrini, bar teoretski, pružaju mogućnost da se dobiju direktne informacije o tome šta se dešava u centru Sunca.

Slobodan put neutrina je veoma dugačak i obrnuto je srazmeran gustini materije i energiji neutrina. Npr. Zemlja, pa čak i zvezde, prozračne su za neutrine energije do oko 1 MeV, dok za neutrine energije oko 1 TeV (10^{12} eV) Zemlja postaje neprozračna. Za energije neutrina manje od oko 1 MeV efikasni presek je proporcionalan kvadratu, a za energije veće od oko 1 GeV prvom stepenu energije neutrina.

Nastanak neutrina

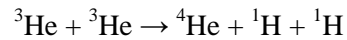
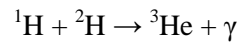
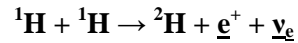
Prvi neutrini stvoreni su još u Velikom prasku. Procene o količini neutrina nastalih u 'big bengu' su da u svakom kubnom centimetru svemira ima oko 400 neutrina [8].

Sunčevi neutrini nastaju u procesu nuklearne fuzije u jezgru. Pored Sunčevih neutrina postoje i atmosferski neutrini koji se javljaju usled sudara kosmičkih zraka s molekulima u atmosferi. Takođe, neutrini nastaju usled prirodne radioaktivnosti Zemlje, tj. raspadom jezgara ^{238}U i ^{232}Th , a i kao posledica eksplozije supernove.

Kod akceleratora gde se visokoenergetski snopovi protona sudaraju sa atomskim jezgrima u materiji stvara se veliki broj slobodnih čestica od kojih se mnoge raspadaju u razne vrste neutrina. Time se stvaraju vrlo intenzivni snopovi neutrina.

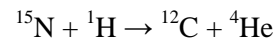
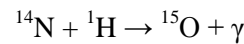
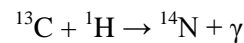
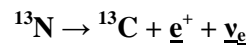
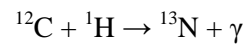
Glavni veštački izvor neutrina su nuklearni reaktori koji u proseku proizvedu 50.000 ovih čestica u sekundi.

Sunce proizvodi svoju energiju termonuklearnom fuzijom na temperaturama višim od 10^7K . Najvažniji termonuklearni proces u Suncu je proton-proton lanac:



Energija neutrina dobijenog pp-fuzijom je oko $0,26\text{MeV}$.

Zvezde koje sadrže veću količinu težih elemenata stvaraju svoju energiju u CNO ciklusu:



CNO-neutrini imaju tri do četiri puta veću energiju od pp-neutrina.

91% Sunčevih neutrina nastaje u reakciji ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{H} + \underline{e}^+ + \underline{\nu}_e$, 7% u reakciji $e^- + {}^7\text{Be} \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$, a svega 0,01% u ${}^8\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be} + e^+ + \nu_e$.

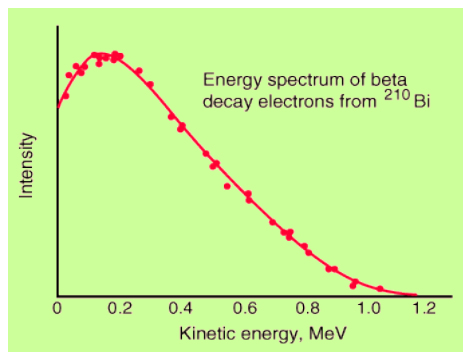
Neutrini bi u Suncu trebali nastajati brzinom od $2 \cdot 10^{38}$ neutrina $\cdot\text{s}^{-1}$, što odgovara fluksu na Zemlji od $6,5 \cdot 10^{14}$ neutrina $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ [3].

Procenjeno je da na svaki proton ili elektron u svemiru postoji oko milijardu neutrina. Ukupno 3% energije koju oslobađa Sunce otpada na neutrine, ali se znatno veća količina neutrina oslobađa prilikom kolapsa masivnih zvezda.

Početak istraživanja neutrina

Krajem 19. veka otkriveno je da radioaktivni elementi emituju tri različite vrste čestica nazvane: alfa, beta i gama. Za otkriće neutrina važan je takozvani beta raspad radioaktivnih elemenata. Beta raspad može biti beta plus (β^+): $p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu_e$ i beta minus (β^-): $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$.

Primećeno je da kod beta raspada elektron ima čitav niz različitih energija, tj. kontinualni spektar što je u sukobu sa zakonom o očuvanju energije (sl.1.). Postavilo se pitanje da li je moguće da u mikrofiziци nema očuvanja energije. Međutim, austrijski fizičar Wolfgang Pauli (sl.2.) nije mogao da se pomiri sa tom idejom[2].



Slika 1.- Energetski spektar elektrona kod beta raspada



Slika 2.- Dr Wolfgang Pauli,
dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1945.

Pretpostavio je da kod beta raspada u konačnom stanju mora postojati još jedna čestica. Ona je bez naelektrisanja i tako slabo interaguje sa materijom da je mi ne detektujemo, ali ona odnosi energiju koja je navodno izgubljena. Pauli je tu česticu nazvao neutron i smatrao je da je ona bez mase.

Sam nije bio zadovoljan svojim predlogom iz razloga što tu česticu nije bilo moguće meriti. Godine 1930. Pauli šalje svoj rad seminaru za fiziku u Nemačkoj na kome se diskutovalo o problemu beta raspada. On nije otišao na seminar jer nije želeo da propusti svečani bal na svom institutu, kako je sam napisao u pismu upućenom članovima seminara [9].

Italijanski fizičar Fermi nazvao je tu česticu neutrino, što na italijanskom znači *mali neutron*. Fermi je na Paulijevoj pretpostavci konstruisao novu teoriju fizike slabih sila koja je protumačila beta raspad, gde se neutron raspada u proton, elektron i antineutrino ($n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$). Naime, energiju raspada koja je jednaka razlici početnog i krajnjeg stanja međusobno dele elektron i antineutrino. Raspodela nije uvek ravnomerna i zavisi od toga koliko je energiju odneo antineutrino.

Godina 1930. donela je teorijsku egzistenciju neutrina, a tek 1956. ekperimentalno je potvrđeno njegovo postojanje.

Detekcija neutrina

Pri normalnim uslovima kroz svaki kvadratni centimetar Zemlje prolazi 60 miliona neutrina svake sekunde, ali samo jedan od milijardu interaguje sa materijom kroz koju prolazi, i upravo ih ta slaba interakcija čini izuzetno teškim za detektovanje.

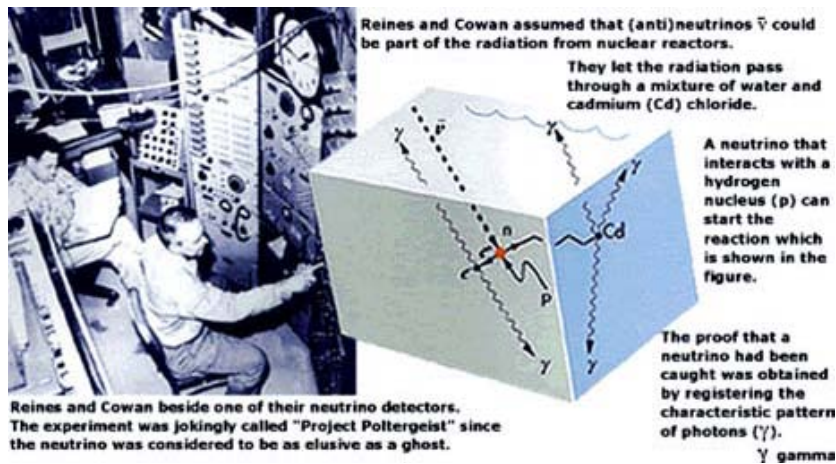
Problem slabe interakcije neutrina sa materijom zahteva detektore sa velikom masom i veliki intenzitet neutrina. To je bio razlog što je neutrino bio tako kasno eksperimentalno otkriven. Pomoću savremene opreme moguće je vršiti eksperimente sa neutrinima.

Neke od mogućih interakcija neutrina s ostalom materijom su [3]:

- Izbijanje elektrona iz elektronskog omotača atoma. Potrebna energija neutrina je nekoliko MeV-a.
- Odbijanje neutrina od jezgra. Može se detektovati samo ako razbije jezgro, ali potrebne su energije neutrina od nekoliko stotina MeV-a, koju Sunčevi neutriini nemaju.
- Interakcija s elektronom ili jezgrom i pretvaranje elektronskog neutrina u mionski ili tau neutrino (v.str.11.).
- Obrnuti beta-raspad. Za razliku od prethodnih interakcija, u ovu može stupiti samo elektronski, a ne i mionski ili taonski neutrino.

Jedinica kojom se meri interakcija je SNU (Solar Neutrino Unit), a odgovara jednoj interakciji po sekundi po 10^{36} atoma.

Fizičari F. Reines i C. L. Cowan su 1956. godine ispitivali reakciju: $\bar{\nu}_e + p^+ \rightarrow n^0 + e^+$, pretpostavljajući da nuklearni reaktori proizvode neutrinški fluks od 10^{12} - 10^{13} neutrina u sekundi po cm^2 (sl.3.). Svoj eksperiment sproveli su u Savanaah River reaktoru (SAD). U sudaru antineutrina s protonom, neutrino proizvodi pozitron koji u mešavini od 200 litara vode i 40 kg hlora daje signal u vidu γ fotona koji se registruje sa 110 fotomultiplikatora [10].



Slika 3.-Reines i Cowan pored jednog od svojih neutrino detektora

Tako je 1956. godine prvi put ekperimentalno potvrđeno postojanje neutrina. To je bio značajan događaj, ali je u naučnim krugovima prihvaćen sa rezervom što je doprinelo da Riensu bude dodeljena Nobelova nagrada za fiziku tek 1995.

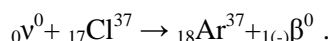
Raymondov eksperiment

Pontecorvo, Fermijev učenik, predložio je da neutrino može apsorpcijom u jezgru atoma da pretvori element sa atomskim brojem x u element atomskog broja $x+1$. Na primer, izotop hlora (^{37}Cl)

preko reakcije: $\nu_e + n \rightarrow p + e^-$ u izotop argona (^{37}Ar). U tom slučaju broj atoma argona meri količinu Sunčevih neutrina [2].

Otkriću Sunčevih neutrina doprineo je radiohemičar Ray Davis u novoosnovanoj grupi za hemiju u Brookhaven nacionalnoj laboratoriji. On je naišao na predlog italijanskog fizičara Pontecorva i razvio je radiohemijski pilot projekat kako pronaći mali broj elemenata argona u tečnom hloru. Nakon tog pilot projekta sagradio je 1964. godine ogromni rezervoar sa 615 tona tetrahloretilena (C_2Cl_4) koji je sadržao 25% ^{37}Cl kao detektora (sl.4.). Tetrahloretil je tečnost bogata hlorom koja se koristi kao sredstvo za čišćenje.

On je pokušao da dobije radioaktivni izotop argona u reakciji neutrina sa izotopom hlora (obrnuti beta-raspad)



Bile su potrebne velike količine hlora jer je verovatnoća reakcije mala. Da bi se smanjio uticaj kosmičkih zraka, bazen je bio smešten duboko pod zemljom, u napuštenom rudniku zlata Homestak, u Južnoj Dakoti, SAD. Dejvis je proračunao da će sa atomima hlora u bazenu svakog meseca reagovati oko 20 neutrina, što će stvoriti 20 atoma ^{37}Ar . On je kroz tetrahloretilen propuštao helijum za koji su se argonovi atomi pripajali i tako ih je izdvajao i brojao.

Da bi došlo do obrnutog beta-raspada hlora, neutrino treba da ima mnogo veću energiju od neutrina koji nastaje u p-p lancu u Suncu. Za ovaj eksperiment bila je potrebna energija od 0,814MeV, tako da su mogli biti detektovani samo neutriini CNO ciklusa iz reakcije ${}^8\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be} + e^+ + \nu_e$.

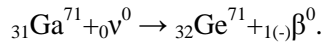
Ovaj eksperiment je trajao do 1994. Izdvojeno je oko 2000 argonovih atoma. Taj rezultat bio je neočekivano mali, samo jedna trećina od predviđenog. Izmereni fluks neutrina bio je 2.56 ± 0.16 SNU, a teorija je predviđala 7.7 ± 1.3 SNU.



Slika 4.-Radiohemijski pilot projekat Raya Davisa

GALLEX I SAGE

Godine 1990. i 1991. započinje se sa dva ekperimenta, SAGE I GALLEX, radi detektovanja niskoenergetskih neutrina čija je količina nastajanja određena Sunčevom lumninoznošću i koji su neosetljivi na manje promene u Sunčevom modelu [3]. Oba su koristila sledecu reakciju



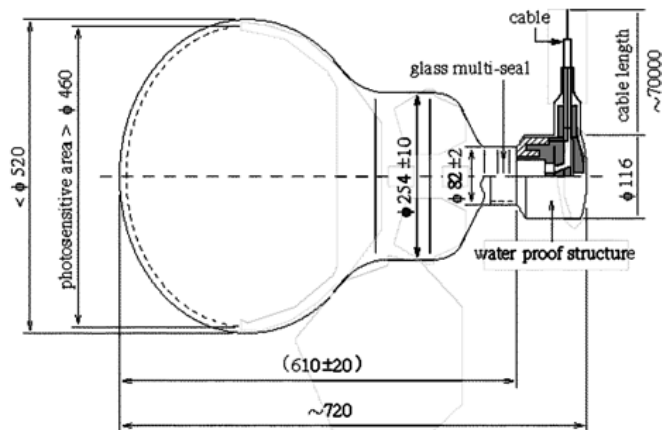
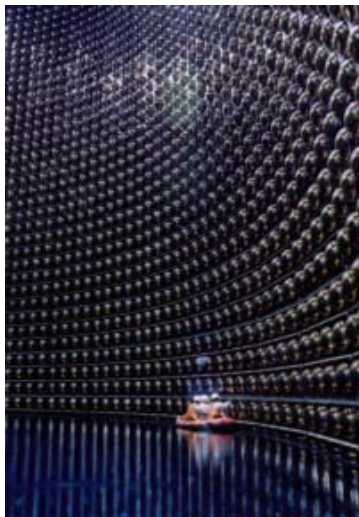
SAGE (Soviet-American-Gallium Experiment) smešten je pod zemljom na Kavkazu, a GALLEX u podzemnoj labaratoriji Gran Sasso blizu Rima. SAGE je koristio čisti metalni galijum dok je GALLEX koristio otopljeni galijum. Energetski prag oba eksperimenta je 0.233MeV što je dovoljno za detekciju neutrina iz p-p lanca.

Teorijski je predviđeno 129 ± 9 SNU. Međutim, dobijene vrijednosti, 75 ± 7 SNU (SAGE) i 78 ± 5 SNU (GALLEX) opet pokazuju značajno odstupanje.

Kamiokande detektor

Nedostatak Sunčevih neutrina potvrdio je i noviji detektor Kamiokande (Kamioka Nucleon Decay Experiment) koji je konstruisao japanski fizičar Masatoši Košiba (sl.5.). Detektor je bio ogroman tank napunjen vodom i smešten u rudniku cinka, 1 km pod zemljom u Kamioki [2].

Godine 1987. dogodila se eksplozija supernove 170000 svetlosnih godina daleko, u Velikom Magelanovom oblaku. Ekplozija supernove emitovala je energiju 1000 milijardi puta veću nego što Sunce izrači u godinu dana. Izračunato je da je sa te zvezde došlo deset triliona neutrina od kojih je Košiba na Kamiokande detektoru registrovao samo 12. Tek nakon dva sata je stigao i svetlosni signal (neutrino putuje kroz zvezdu brže od svetlosti). Time su se eksperimentalno potvrdila predviđanja teorijskih modela o razvoju zvezda i gravitacionom kolapsu. Tako se može reći da je 1987. započela neutrinska astronomija izvan naše galaksije.



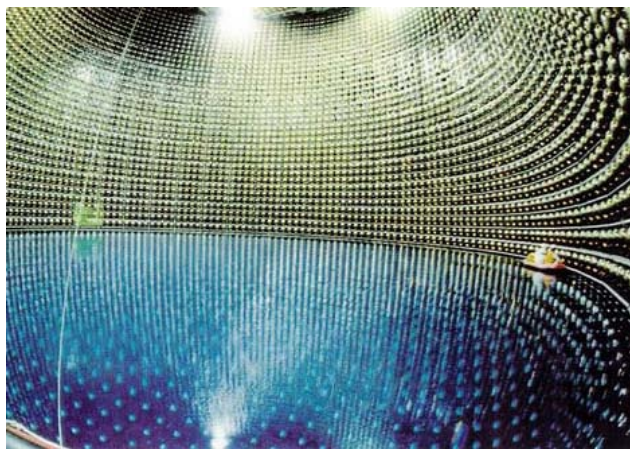
Slika 5. -Kamiokande detektor neutrina sa šematskim prikazom fotomultiplikatorskif cevi

Košiba je 1996. konstruisao još veći detektor Super-Kamiokande, koji je zapravo bio nadograđen Kamiokande (sl.6.). Radi na principu detekcije Čerenkovljevog zračenja u bazenu vode koje nastaje kad upadni visokoenergetski neutrino izbije elektron iz molekula vode. Čerenkovljevo zračenje nastaje kad se čestica kreće kroz datu sredinu brzinom većom od brzine svetlosti u toj sredini. Voda se nalazi u podzemnom bazenu zapremine 50000m^3 . Detektor raspoznaje intenzitet i smer Čerenkovljevog zračenja. Energetski prag detekcije neutrina je visok, $5,5\text{MeV}$, pa Super-Kamiokande detektuje visokoenergetske neutrine iz reakcije raspada bora.

Značaj Super-Kamiokande detektora je u tome što dobijeni podaci daju intenzitet i smer impulsa izbijenog elektrona i upadnog neutrina. Tako se neutriini sa Sunca mogu razlikovati od uticaja kosmičkog zračenja i Zemaljskih izvora neutrina. On takođe omogućava praćenje razlike neutrinog fluksa danju i noću, i razlikovanje energije upadnih neutrina.

Godine 1998. Super-Kamiokande otkrio je i prve dokaze o postojanju razlike između masa elektronskog i mionskog neutrina, tj. dokaze o oscilaciji neutrina tokom kojih prelaze iz jedne vrste u drugu. Postoje tri oblika neutrina- elektronski, mionski i tau neutriini (ν_e, ν_μ i ν_τ). Imena su data prema interakcijama u kojima su neutriini povezani s ostalim leptonima: elektronom, mionom i tauonom.

Prelazak neutrina iz jedne vrste u drugu je moguć samo ako neutriini imaju masu. To otkriće je dovelo do otvaranja novih pitanja. Da li neutriini mogu da objasne deo problema nedostajuće mase u svemiru? Takođe, oblaci neutrina koji imaju masu mogli su da dovedu do gravitacionog sažimanja materije i nastanka prvih zvezda i galaksija.

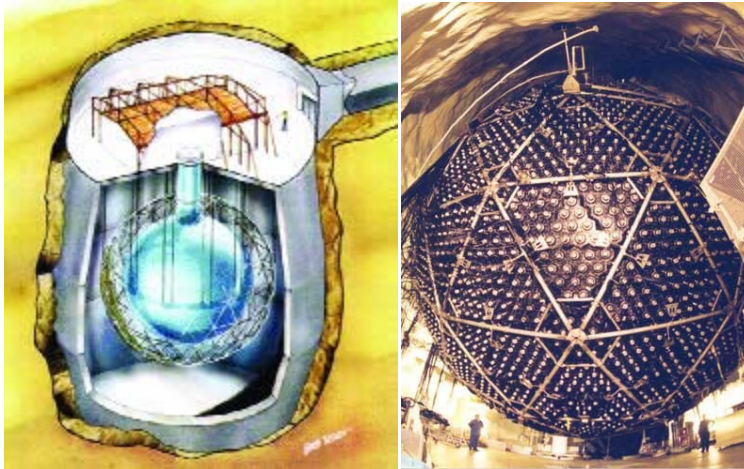


Slika 6. -Super-Kamiokande detektor tokom punjenja s panoramski raspoređenim fotomultiplikatorima

Neutrinski detektori nove generacije

Novu generaciju detektora čine Super-Kamiokande u Japanu, Sudbury Neutrino Observatory (SNO) u Ontariu u Kanadi, Borexino u Italiji. Trenutno se gradi još detektora, KamLand, ICARUS, HELLAZ, LENS, SIREN, Iodine, HERON, CLEAN.

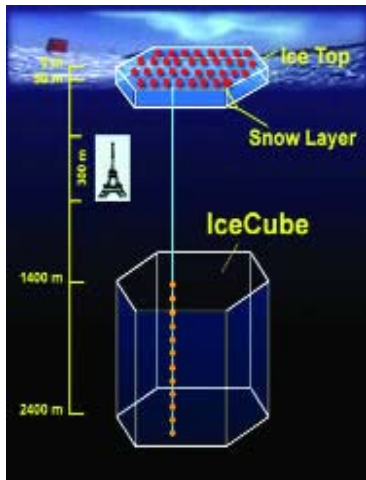
SNO je neutrinski teleskop izgrađen u Sadberiju u Kanadi 2 km ispod zemlje u rudniku nikla (sl.7.). Kao i Super-Kamiokande, radi na principu Čerenkovljevog efekta ali sadrži tešku vodu. Zbog interakcije s deuterijskim jezgrima može razlikovati elektronske od tau i mionskih neutrina. Oko centralne sfere od providne plastike napunjene sa hiljadu tona teške vode nalazi se 9600 velikih fotomultiplikatora koji analiziraju slabe bljeskove nastale zbog interakcije neutrina sa teškom vodom. Detektor je zaštićen od kosmičkih zraka sa 2km stena iznad, a od drugih oblika zračenja sa 7000 t izuzetno čiste vode.



Slika 7.- SNO neutrinski teleskop

Borexino je detektor niskoenergetskih neutrina koji nastaju raspadom berilijuma. Detektor je baziran na scintilacijskoj spektroskopiji, a osjetljiv je na neutrinske oscilacije i MSW-efekt (v.str.11.).

Na Južnom polu , počeo je 1997. da radi neutrinski teleskop AMANDA (Antarctic Muon And Neutrino Detector Array), koji se sastojao od 302 optičkih modula postavljenih u ledu na dubinu od 1500 do 2000 m. AMANDA detektor je 30 puta osjetljiviji na neutrine od Super-Kamiokande detektora. Nastavak ovoga je projekat “Kocka leda”, na istom mestu (sl.8.). Predviđeno je da 4800 fotomultiplikatora bude raspoređeno u 80 nizova među kojima je razmak 125 m a ukupna površina celog uređaja je oko 1 km². Neutrinski teleskop je u ledu na dubini od 1.4 do 2.4 km tako da mu je ukupna veličina jedan kubni kilometar .



Slika 8.- "Kocka leda"

Klasična astronomija uglavnom dobija informacije pomoću elektromagnetnih teleskopa. Međutim, nedostatak elektromagnetnih talasa je što mogu biti lako apsorbirani na svom putu kroz međuzvezdanu materiju. Upravo je u tome značaj neutrinske astronomije. Neutrini predstavljaju idealne nosioce informacija iz područja svemira koja su nepristupačna za elektromagnetsku detekciju.

Za ovakva posmatranja potrebni su neutrinski teleskopi sa rezervoarima reda veličine nekoliko kubnih kilometara. Zato se koriste prirodni rezervoari materije, odnosno mora ili jezera. Merenje neutrina se vrši indirektno preko miona. Mion se stvara kod slučajnog sudara neutrina sa jezgrom atoma vode ili leda i pravac miona dovoljno tačno pokazuje pravac neutrina. Kako mion ima veću brzinu u vodi ili ledu proizvodi Čerenkovljevo zračenje. Ti slabi svetlosni bljeskovi se pojačavaju preko fotomultiplikatora.

Cilj ovih eksperimenata je studija o nastanku i nestanku galaksija, proučavanje supernovih, neutronskih zvezda i crnih rupa, kao i proučavanje tamne materije.

Problem neutrina

Kao što smo videli u prethodnom poglavlju, svi izvršeni eksperimenti sa Sunčevim neutrinima ukazivali su na manji neutrinski fluks u odnosu na teorijski predviđene vrednosti. Eksperiment sa hlorom imao je najveće odstupanje, zatim sledi Super-Kamiokande a najmanje odstupanje imao je eksperiment sa galijumom. To je pokazalo da nedostatak neutrina zavisi od energije. Postojalo je više mogućih rešenja problema neutrina: standardni model Sunca je pogrešan, deo neutrina se negde gubi na svom putu ka Zemlji ili su termonuklearne reakcije u jezgru Sunca počele da slabije.

Fauler je 1972. godine predložio jedno rešenje. On je smatrao da je problem neutrina u tome što Sunce zrači slabije nego što je to bio slučaj pre milion godina. Naime, γ kvantu proizvedenom u jezgru Sunca potrebno je milion godina da na svom putu ka površini bude transformisan u foton vidljive svetlosti i da stigne do nas, tako da luminoznost koju danas merimo odgovara energiji proizvedenoj u

Suncu pre više miliona godina. Za razliku od vidljive svetlosti, neutrinski fluks iz unutrašnjosti Sunca stiže do nas za 8 minuta [3].

Drugo objašnjenje bilo je da je standardni model Sunca nedovoljno tačan. Ako bi temperatura u jezgru bila niža, prema prihvaćenoj teoriji broj nastalih neutrina bio bi manji. Pri smanjenju temperature za 10% u odnosu na predviđanje standardnog modela i dalje bi bio moguć nastanak ${}^4\text{He}$, ali ovaj proces bio bi praćen nastankom manjeg broja neutrina. Ali, ako bi temperatura jezgra Sunca bila toliko manja smanjio bi se i ukupan sjaj Sunca. Pored toga, program GONG je eksperimentalno isključio mogućnost da je temperatura jezgra manja od $15 \times 10^6 \text{K}$.

Ipak, po nekim teorijama, u unutrašnjosti Sunca otprilike svakih sto miliona godina dolazi do skokovitog mešanja materije, koje dovodi do širenja jezgra i pada temperature u njemu. Pretpostavlja se da, usled ovog mešanja, dolazi do povećanja koncentracije jezgara težih elemenata u jezgru Sunca u odnosu na površinske slojeve. Zbog toga opada i nivo nuklearnih reakcija, a samim tim smanjuje se i broj emitovanih neutrina. Prema proračunima, ovakva stanja, sa sniženom temperaturom u jezgru Sunca, traju po desetak miliona godina. Najverovatnije je da se u ovom trenutku Sunce nalazi u jednom takvom međustanju. Smatra se da je danas temperatura u jezgru Sunca oko $14 \times 10^6 \text{K}$ što je nešto niže od vrednosti koju predviđa Standardni model.

Treća mogućnost je da neutriini na svom putu do nas bivaju transformisani u druge tipove neutrina. To je potvrdio Super-Kamiokande detektor.

Osamnaestog juna 2001. godine grupa naučnika koja je radila na SNO detektoru objavila je da je ustanovila zašto nam je izgledalo da Sunce zrači samo jednu trećinu neutrina. Sunce stvara jedino elektronske neutrine i to je jedina vrsta neutrina na koju Dejvisov i Košibin detektor reaguju. Međutim, ako postoji razlika u masi između različitih vrsta neutrina, oni bi se mogli transformisati i izbeći detekciju. Eksperiment je počeo 1999. godine. Oko 10 neutrina dnevno interaguje sa teškom vodom i daje dokaz o svom prisustvu slabim bljeskovima u njoj. Od 1999. do objavljivanja rezultata registrovano je više od 1100 neutrina. Tim iz Sadberija je upoređivao svoje rezultate sa rezultatima dobijenim pomoću Super - Kamiokande u običnoj vodi. Kombinacija dva eksperimenta sa različitim osetljivostima na vrste neutrina jasno je pokazala da se "nedostajući" neutriini transformišu pre nego što stignu na Zemlju, što objašnjava zašto Dejvis nije detektovao onu količinu koju je očekivao.

Verovatnoća transformacije zavisi od dužine puta i prisustva materije kroz koju neutriini prolaze. To su pokazali naučnici Mikheyev, Smirnov i Wolfenstein 1985. godine (MSW efekat). MSW efekat je merljiv ako se posmatra razlika između detektovanog neutrinškog fluksa danju i noću. Do te razlike dolazi zbog toga što neki elektronski neutriini, koji su se na putu sa Sunca transformisali u druge tipove neutrina, mogu da se regenerišu pri prolasku kroz Zemlju.

Nobelova nagrada za fiziku dodeljena je 2002. godine za otkrića koja su postavila temelj neutrinke astronomije, a koja nam omogućava da direktno proučavamo unutrašnjost Sunca. Jednu polovinu nagrade su podelili Rejmond Dejvis iz Filadelfije (SAD) i Masatoši Košiba iz Tokija, a drugu polovinu je dobio Rikardo Djakoni za otkriće kosmičkih izvora X-zračenja.

Značaj neutrina

Zbog osobine da prolaze kroz materiju gotovo kao da je nema neutrina daju mogućnosti za mnoga istraživanja.

Rezultati Dejvisa i Košibe stvorili su osnovu za razvoj neutrinske astronomije.

Značaj neutrina je u proučavanju ruba naše galaksije i još udaljenijih oblasti svemira. Svemir je neprozračan za fotone visokih energija reda veličine hiljadu GeV-a. Takvi fotoni bivaju uništeni u reakciji sa kosmičkim zračenjem ili apsorbovani u međuzvezdanoj materiji. Jedino neutrina mogu da stignu iz udaljenih oblasti svemira i iz unutrašnjosti astrofizičkih objekata, tj. iz oblasti u kojima se stvara energija.

Neutrino bi mogao pomoći i u objašnjenju asimetrije između materije i antimaterije na samom početku našeg svemira. Danas još uvek nije jasno pokazano jesu li neutrino i antineutrino različiti, kao što su proton i antiproton ili su identični kao što je foton i antifoton. Po nekim teorijama, u suštini nema razlike između neutrina i antineutrina, oni su istovremeno i materija i antimaterija. Naučnici smatraju da su neutrinske oscilacije u periodu ranog svemira mogle da dovedu do povećanja količine materije u odnosu na antimateriju, koja je potom bila praćena anihilacijom antimaterije i odgovarajuće količine materije. Rezultat toga je dominacija materije u svemiru [8].

Neutrini bez problema prolaze kroz Zemlju i to bi se moglo iskoristiti za proučavanje Zemljine unutrašnjosti.

Proučavanje fizike neutrina je postala jedna od važnih tema fizike elementarnih čestica. Interes za ovu problematiku raste, grade se novi eksperimentalni uređaji, a očekuju se odgovori na neka od najinteresantnijih pitanja fizike mikrosveta i savremene kosmologije.

Literatura:

- [1] <http://www.svetnauke.org/detekcija-solarnih-neutrina>
- [2] <http://crosbi.znanstvenici.hr/datoteka/318639.tv14-34-03-091.pdf>
- [3] Tomislav Ivek- Problem Sunčevih neutrina
- [4] <http://www.astronomija.co.rs> – Detekcija neutrina
- [5] <http://mimi.imi.hr/~franic/neut.html> -Katastrofični neutriini
- [6] <http://www.astronomija.co.rs/sunce.html>
- [7] S. Dimitrijević- Od zagonetke Sunčevih neutrina do misterije kosmičkih zraka, Planeta, br. 20, septembar-oktobar 2006.
- [8] Šijački- Zagonetka asimetrije sveta, Planeta, br.14, jun 2005.
- [9] <http://www.pp.rhul.ac.uk/~ptd/TEACHING/PH2510/pauli-letter.html> - Pauli's letter of the 4th of December 1930
- [10] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/particles/cowan.html> -Cowan and Reines Neutrino Experiment