

Što nam to dolazi iz svemira?

Damir Bosnar¹

Fizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu,
Zagreb, Bijenička 32

Tok različitih nabijenih čestica koje iz svemira dolaze na Zemljinu površinu, pa tako i na naša tijela a da mi to posebno ne opažamo, iznosi oko 180 čestica u sekundi po kvadratnom metru i približno tri četvrtine njih su mioni. Iako je svemirsko zračenje otkriveno prije gotovo stotinu godina i od tada se neprestano proučava, priroda, porijeklo i energija tih čestica je različita i ne sasvim razjašnjena. Za razumijevanje tih pojava potrebno je znanje iz astronomije, nuklearne fizike te fizike elementarnih čestica, stečeno u proučavanju pojava i na Zemlji i u svemiru. S druge strane, to zračenje koje dopire do nas donosi nam informacije o samom svemiru, njegovu nastanku i razvoju te o svojstvima elementarnih čestica koje susrećemo na Zemlji i od kojih je izgrađena sva materija, pa i mi sami.

Ukratko ćemo navesti današnje razumijevanje svemirskog zračenja te opisati jednostavan uređaj za detektiranje svemirskih miona i mjerenje vremena njihova života.

Vrste zračenja

Sva materija sastavljena je od neutralnih atoma u čijem je središtu pozitivna atomska jezgra sastavljena od protona i neutrona, a oko nje kruže negativno nabijeni elektroni. Do te su spoznaje došli fizičari početkom prošlog stoljeća eksperimentalnim i teorijskim istraživanjima. Još i prije nego što je formirana slika atoma, opažena je emisija nabijenih ili neutralnih čestica iz nekih atoma. Ta pojava, za koju je ustanovljeno da potječe iz atomske jezgre, nazvana je radioaktivnost. Prema vrsti emitiranih čestica razlikujemo alfa, beta i gama zračenje. Alfa i beta čestice nose električni naboj, dok je gama zračenje električki neutralno. Alfa čestice su jezgre helijeva atoma sastavljene od dva protona i dva neutrona, beta čestice su elektroni (ili njihove pozitivne antičestice, pozitroni), dok su gama čestice elektromagnetsko zračenje. Čestice emitirane u radioaktivnom zračenju prilikom prolaska kroz materiju uzrokuju odvajanje elektrona iz elektronskog omotača i jezgre atoma te tvari. Na temelju te pojave, nazvane ionizacijom, radioaktivnost se može identificirati i mjeriti jednostavnim sakupljanjem naboja koji se proizvede u nekoj tvari, obično plinu, prilikom prolaska zračenja. Radioaktivno zračenje ima danas mnoge medicinske i tehnološke primjene, ali, isto tako, ustanovljen je i štetan utjecaj na čovjeka upravo zbog ionizacije atoma tvari kroz koji prolazi, što uzrokuje uništavanje i odumiranje stanica tkiva.

Kod radioaktivnih raspada od neutralnih čestica, osim spomenutog elektromagnetskog zračenja, javljaju se i neutrini, egzotične čestice koje vrlo slabo međudjeluju s materijom i za koje se do nedavno vjerovalo da nemaju mase, a čije je postojanje pretpostavljeno 1930. godine da bi se objasnio raspad jezgara koje emitiraju beta čestice. Postojanje neutrina eksperimentalno je potvrđeno 1956. godine, dok njegova masa još nije izmjerena.

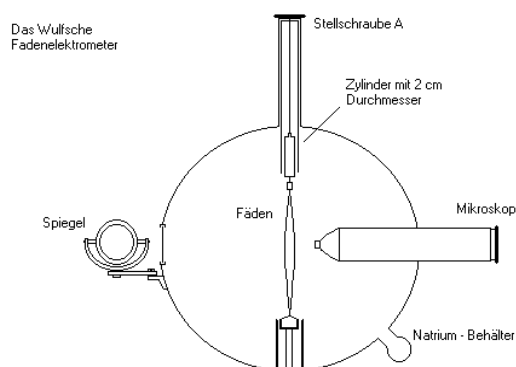
Prilikom prelaska elektrona iz viših u niža energijska stanja u elektronskom omotaču atoma, također se emitira jedna vrsta elektromagnetskog zračenja, nazvana X-zračenje.

¹ bosnar@phy.hr

Osim prirodnih radioaktivnih, elementa na Zemlji danas postoje i umjetni radioaktivni elementi proizvedeni u ubrzivačima čestica ili kao usputni produkti u nekim primjenama kao što je proizvodnja energije u nuklearnim elektranama.

Svemirsko zračenje

Osim ovog zračenja koje potječe iz zemaljskih elemenata, Zemlja i sve na njoj izloženo je stalnom toku čestica iz svemira, nabijenih i neutralnih, različitih vrsta i energija. Izvori tog svemirskog zračenja nalaze se i u našem Sunčevu sustavu i u našoj galaksiji, a i izvan nje. Svemirsko zračenje otkrio je 1912. austrijski fizičar Viktor Hess, koji je eksperimentima u balonu na različitim visinama (slika 1) ustanovio da se ionizacija plina u instrumentima za mjerenje radioaktivnosti povećava s visinom, što je bilo u suprotnosti s pretpostavkom da je ta ionizacija uzrokovana prirodnom radioaktivnošću iz elemenata na Zemlji. Hess je zaključio da to zračenje potječe iz svemira i za to je otkriće 1936. godine dobio Nobelovu nagradu. No to je bila tek prva u nizu Nobelovih nagrada za proučavanja vezana sa svemirskim zračenjima.



Slika 1 Lijevo: Viktor Hess u balonu s instrumentima za mjerenje radioaktivnosti. Desno: Mjerni instrument koji se u Hessovo doba rabio za mjerenje radioaktivnosti. Više informacija na <http://physik.uibk.ac.at/hephy/Hess/homepage>.

Od samog otkrića svemirskog zračenja nastojale su se ustanoviti vrste zračenja, energije čestica kao i njihovo podrijetlo. Promatramo li ovo primarno svemirsko zračenje tj. nabijene čestice koje dolaze u Zemljinu atmosferu, danas znamo da ga 98% čine atomske jezgre, dok su 2% elektroni. Od jezgara, najviše ima vodikovih jezgara (protona) – oko 87 % , zatim helijevih jezgara – oko 12% , a jedan posto čine teže jezgre i zastupljeni su gotovo svi elementi periodičnog sustava elemenata. Energije čestica svemirskog zračenja u rasponu su od nekoliko tisuća eV do preko 10^{20} eV ($1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}$ J). Učestalost upada nabijenih čestica na Zemlju ovisi o njihovim energijama. Tako za čestice energije 10^{12} eV imamo otprilike 10 čestica po metru kvadratnom u minuti, dok za energije od 10^{20} eV imamo 1 česticu na kvadratni kilometar u oko 100 godina. Priroda i podrijetlo tih čestica najviših energija još su zagonetni, kao i načini na koje se te čestice ubrzaju na tako velike brzine. Međunarodna kolaboracija pod imenom «Pierre Augere», sastavljena od 250 znanstvenika iz 14 zemalja, u

Argentini gradi sustav od 1600 detektora koji bi trebao razjasniti porijeklo i prirodu tih čestica najviših energija (vidjeti <http://www.auger.org/>).

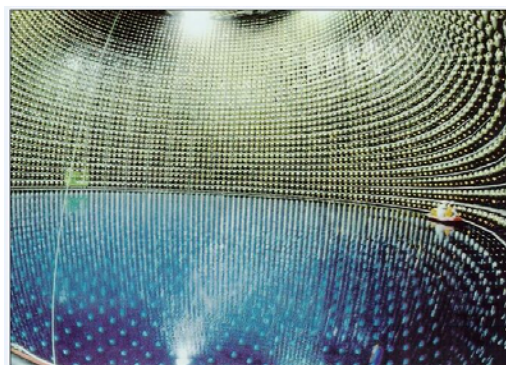
Osim nabijenih čestica, na Zemlju dolaze i neutralne čestice: elektromagnetsko zračenje različitih energija te neutrini. Jedan od izvora neutrina je Sunce. U Suncu neutrini nastaju u reakciji spajanja lakših jezgara u teže – fuziji, koja je izvor Sunčeve energije. Neutrini su egzotične čestice koje vrlo slabo interagiraju s materijom i imaju vrlo malu masu, tako da mogu proći kroz cijelu Zemlju a da ne djeluju s materijom. Time je njihovo opažanje vrlo otežano, a eksperimenti u kojima se oni detektiraju vrlo zahtjevni i dugotrajni. Opažaju se detektiranjem određenih reakcija u kojima iz jednog elementa nastaje drugi prilikom interakcije s neutrinom, no zbog slabog međudjelovanja učestalost takvih reakcija vrlo je mala te je potrebno ili dugo vrijeme mjerenja ili detektori vrlo velike mase.

Za proučavanje neutrina iz Sunca posljednja u nizu Nobelovih nagrada za fiziku vezana za istraživanja svemirskog zračenja dodijeljena je 2002. godine američkom fizičaru Rayu



Slika 2 Davisov eksperiment za detekciju neutrina iz Sunca s posudom od 600 tona C_2Cl_4 u rudniku Homestake, J. Dakota, SAD. Posuda s C_2Cl_4 nalazi se u bazenu s vodom kao zaštitom od pozadinskog zračenja, a koja se, kao što vidimo, mogla koristiti kao bazen za osvježavanje u čekanju rezultata, jer su mjerenja trajala godinama.

Vidjeti <http://www.bnl.gov/bnlweb/raydavis/research.htm>.



Slika 3 Detektor Kamiokande koji sadržava 3000 tona vode (na slici desno fotomultiplikatori koji registriraju svjetlosni signal proizveden prolaskom neutrina kroz vodu, a lijevo detektor djelomično ispunjen vodom i znanstvenici u gumenom čamcu u obilasku i popravljanju fotomultiplikatora) izgrađen u rudniku Kamioka u Japanu pod vodstvom Koshibe za detekciju neutrina iz Svemira, njime su potvrđeni Davisovi rezultati i indirektno pokazano da neutrini imaju masu, vidjeti <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp>.

Davisu mlađem (slika 2). On je tu nagradu podijelio s japanskim fizičarem Masatoshijem Koshibom, voditeljem eksperimenta Kamiokande (slika 3), također za proučavanje neutrina iz svemira, te s talijanskim fizičarem, koji radi u SAD-u, Riccardom Giacconijem za proučavanje X-zračenja iz svemira (slika 4).²



Slika 4 Svemirska stanica Chandra za opažanje x-zračenja iz svemira, razvijena na prijedlog i pod vodstvom Giacconija, a lansirana 1999. godine. X-zračenje iz svemira moguće je detektirati samo svemirskim letjelicama izvan atmosfere, jer se ono u atmosferi apsorbira. To nam zračenje donosi novu vrstu informacija o svemiru.

Vidjeti <http://chandra.harvard.edu/>, <http://chandra.harvard.edu/photo/index.html>.

Svemirski mioni i njihovo opažanje

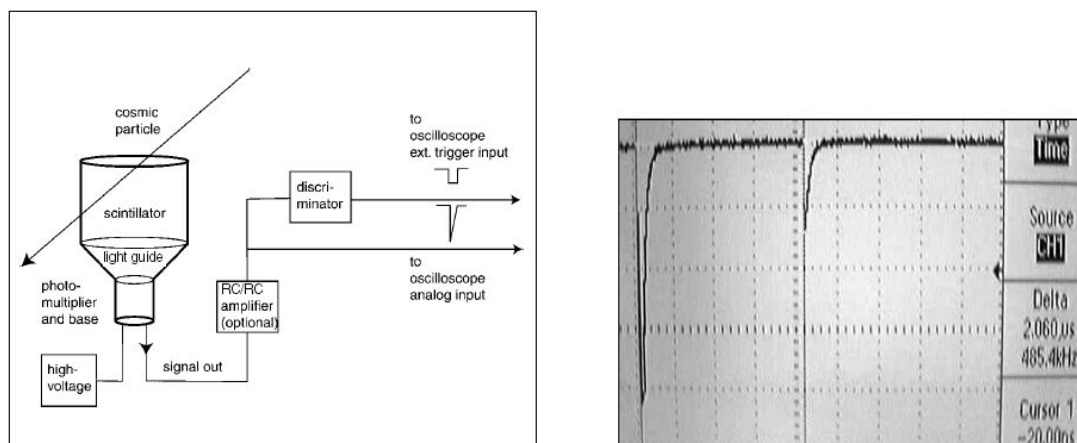
Kada primarno svemirsko zračenje, koje se, kao što smo spomenuli, pretežno sastoji od protona, upadne u Zemljinu atmosferu, u sudarima s jezgrama atoma zraka nastanu različite čestice nazvane sekundarno svemirsko zračenje. U prvoj polovici 20. stoljeća proučavanjem sekundarnog svemirskog zračenja otkriven je niz dotad nepoznatih čestica kao što su pozitroni, mioni, pioni. Time je započeta nova grana istraživanja u fizici, fizika elementarnih čestica. Ta istraživanja temeljnih svojstava materije nastavljena su od sredine prošlog stoljeća uporabom sve većih i većih ubrzivača čestica, koji su te novootkrivene čestice proizvodili u laboratorijima i omogućavali detaljno proučavanje njihovih svojstava. No energije opažene kod čestica koje dolaze iz svemira još nisu dosegnute, niti su moguće današnjom tehnologijom i najvećim postojećim i planiranim ubrzivačima.

Jedna od elementarnih čestica otkrivenih u tim prvim istraživanjima svemirskih zraka bio je mion. Danas znamo da on pripada obitelji leptona, vrste čestica bez jakih interakcija. Možemo reći da je on teži i kratkoživići brat mnogo poznatijeg elektrona. Mion se, u prosjeku nakon 2,2 mikrosekunde, raspada na elektron i dva neutrina, a također postoji i mion koji nosi pozitivan naboj. No povijest njegova otkrića vrlo je složena. U početku se pogrešno mislilo da je on prijenosnik jake interakcije, tj. čestica čije je postojanje pretpostavio japanski fizičar Yukawa prije 2. svjetskog rata. No eksperimentalna i teorijska istraživanja sredinom prošlog stoljeća postavila su stvari na svoje mjesto kada je proučavanjem svemirskog zračenja otkriven pion i identificiran kao pravi nositelj jakog međudjelovanja. Pion nastaje u srazu protona iz primarnog svemirskog zračenja s jezgrama

² O Nobelovoj nagradi 2002. godine priloge su napisali Ivica Picek i Krešimir Pavlovski za zbornik 19. ljetne škole (<http://www.hfd.hr/ljskola/ljskola19.html>)

atoma zraka. Kako je i on nestabilna čestica, raspada se, a jedan od produkata raspada je upravo mion koji dolazi do površine Zemlje.

Danas nam detekcija ovih miona koji nastaju iz piona nastalih u interakciji primarnog svemirskog zračenja s jezgrama atoma zraka može poslužiti kao jednostavna ilustracija metoda istraživanja u fizici elementarnih čestica. Od otkrića miona prošlo je više od pola stoljeća i u tom su se razdoblju znatno razvile eksperimentalne tehnike detekcije elementarnih čestica. Danas je mione moguće detektirati vrlo jednostavnom aparaturom sastavljenom od scintilacijskog detektora s pripadajućom elektronikom i digitalnog osciloskopa te izmjeriti vrijeme njihova života (slika 5).



Slika 5 Lijevo: Skica jednostavnog detektorskog sustava sa scintilacijskim detektorom za detekciju svemirskih miona. Desno: tipičan signal raspada miona – mion ulazi u scintilacijski detektor (prvi signal na osciloskopu) i raspada se nakon 2.06 mikrosekunde (drugi signal na osciloskopu). Izvor: H. Muehry and P. Ritter The Physics Teacher, 40 (2002) 294.

Zanimljivo je uočiti da je preživljavanje svemirskih miona od mjesta nastanka u atmosferi do površine Zemlje omogućeno relativističkom dilatacijom vremena. Ona kaže da vrijeme teče sporije u sustavu koji se giba, pa tako mion, nastao u atmosferi raspadom piona i koji se giba velikom brzinom, može preživjeti do dolaska na površinu Zemlje, iako njegov put traje više od vremena koje mion u mirovanju živi. Tako nam ovaj jednostavni eksperiment, osim ilustracije principa detekcije elementarnih čestica, može poslužiti i kao demonstracija specijalne teorije relativnosti.