

# Početak i razvoj rendgenske astronomije

UDK 523.8:537.531.7

## UVOD

Prošlo je više od pola stoljeća od kada je Karl Jansky slučajno otkrio radio valove s nebeskih tijela (1932. g.). Ispitivajući uzroke smetnji na telefonskim vezama, on je svojom specijalno izgrađenom antenom otkrio tri različita oblika smetnji. Prvi su bili od olujne grmljavine, drugi od slabih statičkih polja iz ionosfere, a trećima je protumačio uzrok tek kada je spoznao da se ponavljaju okretanjem Zemlje. To je bila »kozmička grmljavina« koja je dolazila iz smjera središta naše Galaktike — Mliječnog puta.

Slučaj je htio da je Jansky prva mjerenja izveo zimi kada je Sunce prividno blizu zvijezda Strijelca odakle dolaze snažni radio valovi, jer je to smjer središta naše Galaktike.

Tako se rodila nova grana astronomije — Radioastronomija. Na to otkriće Janskog nadovezuje se mladi radio inženjer Grote Reber, koji prvi konstruirao tanjurastu radio—antenu. S njom otkriva radio zračenja Sunca, te lokalizira snažne radio—izvore u zvijezdama Labuda, Kasiopeje i Velikog psa, te onog ranije poznato u zvijezdu Strijelca (1940. g.).

Drugi svjetski rat je zaustavio ova istraživanja, ali je, ipak, razvijena radarska tehnika. Poslije rata nastavlja se razvoj radio—astronomije. Grade se veliki radio teleskopi otkad se uspjelo registrirati radio—liniju neutralnog vodika (najzastupljenijeg u svemiru) na valnoj dužini od 21,1 cm.

Radio valovi se mogu neometano registrirati iz najvećih dubina svemira, po danu i po noći, po vedrom i oblačnom vremenu, što je u optičkoj astronomiji nemoguće. Zato moderna astronomija više sluša nego gleda.

Danas se Radioastronomija razvila već u nekoliko svojih podgrana: Infracrvena astronomija bavi se ispitivanjem zračenja neposredno nakon vidljive svjetlosti; Ultraljubičasta astronomija ispituje zračenje od 10 nm do 290 nm (nm = nanometra =  $10^{-9}$  m); Rendgenska astronomija, te Astronomija gama zraka, koja se nastavlja neposredno nakon rendgenskih zraka.

Povijest znanosti mogla bi danas podijeliti razvitak astronomije u tri faze; prva duga faza astronomije započinje početkom motrenja neba golim okom koje obuhvaća nekoliko tisuća godina do 1609. godine, kada je Galileo Galilei uveo teleskop u znanstvenu astronomiju. Ova druga faza trajala je do nedavno, a sada se nalazimo u trećoj fazi, radio i rendgenske astronomije. Pojedini podaci o njoj još nisu dostupni široj javnosti, ali je korisno dobiti uvid o početku i današnjim spoznajama o rendgenskoj astronomiji.

## RENDGENSKO ZRAČENJE

Zračenje je kao što znamo isijavanje i kretanje energije kroz prostor i materiju, a može se odvijati u obliku elektromagnetskih valova i u obliku korpuskularnog zračenja.

## ELEKTROMAGNETSKI SPEKTAR

VRSTA ZRAČENJA	FREKVENCIJA (sec <sup>-1</sup> )		VALNA DUŽINA (cm)	
RADIOVALOVI I RADAR	$1 \times 10^5$	do $3 \times 10^{10}$	$3 \times 10^{-5}$	do $10^0$
VIDLJIVA SVJETLOST	$4,3 \times 10^{14}$	do $7,5 \times 10^{14}$	$7 \times 10^{-5}$	do $4 \times 10^{-6}$
ULTRALJUBIČASTE ZRAKE	$7,5 \times 10^{14}$	do $3,0 \times 10^{16}$	$4 \times 10^{-5}$	do $10^{-6}$
RENDGENSKE ZRAKE	$3,0 \times 10^{18}$	do $3,0 \times 10^{20}$	$10^{-8}$	do $10^{-10}$
GAMA ZRAČENJE	$3,0 \times 10^{21}$	do $3,0 \times 10^{22}$	$10^{-11}$	do $10^{-12}$

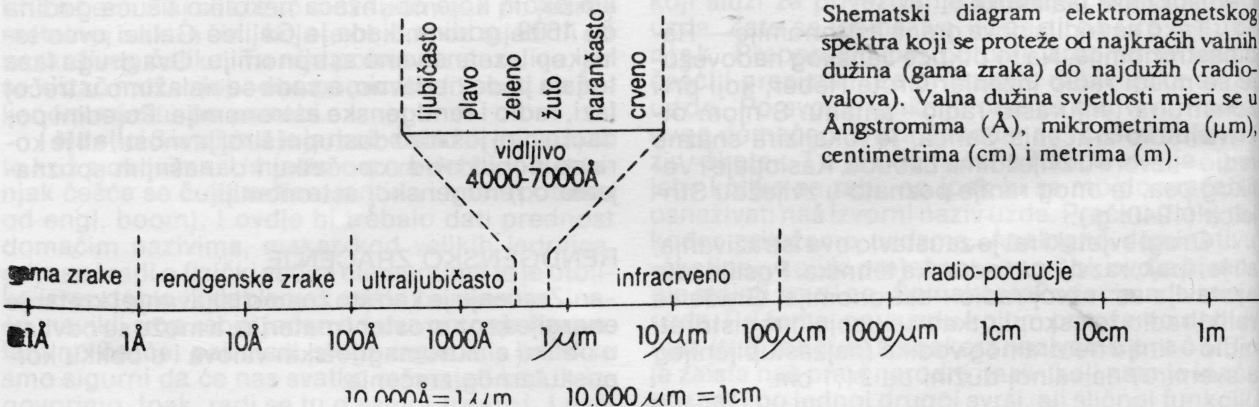
Tablica 1.

Tabela 1. prikazuje elektromagnetski spektar koji se danas koristi u raznim područjima tehnike i medicine s njegovim frekvencijama u sekundi i valnoj dužini. Oni obuhvaćaju toplotna zračenja, infracrveno zračenje, radiovalove, radarsko emitiranje, vidljivu svjetlost, ultravioletno zračenje, rendgensko i gama zračenje raznih energija.

Napretkom znanosti, a potom i tehnike posebno se može istraživanje zvijezda različito promatrati u pojedinim valnim dužinama njihova isijavanja, pa se na taj način može dijeliti astronomija po vrstama zračenja nebeskih tijela i tako razlučiti astronomsko istraživanje, što je posebno važno, a nas će zanimati samo ono u rendgenskoj sferi emisije.

Iz tabele 1 nam postaje bliska spoznaja Planck-ova zakona o zračenju, da svako tijelo koje zrači emitira zrake različitih valnih dužina, pa i rendgenske zrake, ako mu je toplina dovoljno visoka. Po ovom zakonu fizike iz 1910. godine pojedini astronomi i astrofizičari su pretpostavljali da i zvijezde moraju emitirati rendgenske zrake, jer je njihova toplina dovoljno visoka da bi mogle u jakom intenzitetu zračiti i u području vrlo kratkih valnih dužina, kao što je i rendgensko i gama zračenje.

Opće je poznato da je jedne hladne jesenske noći u kasnim satima 8. studenog 1895. godine u samoći fizikalnog zavoda Sveučilišta u Würzburgu otkrio jedan čovjek nove zrake, kojima je odmah i odredio karakteristike, ali za koje nije mogao odmah sagledati njihovu vrijednost i značaj za čovječanstvo. Wilhelm Conrad Röntgen je otkrio te zrake, a one su već postojale milijardama godina, jer sve velike spoznaje fizike i znanosti su samo ispravna tumačenja već postojećih stanja. To je bilo samo otkriće onog što ljudski intelekt do tada nije mogao shvatiti. Ipak, za čovječanstvo, Röntgenovo otkriće ima epohalno značenje, jer je Röntgen prepoznao karakteristike novog zračenja: prodornost kroz materiju, zakone apsorpcije, valnu dužinu, njihov bliski odnos sa vidljivim svjetlom, ovisnost između brzine elektrona i valne dužine, njihov nastanak u naglom kočenju brzih elektrona i podražaj elektrona na unutrašnjim kvantnim stazama srednje teških i teških atoma te njihovu refleksiju. Biološko djelovanje Röntgen još nije mogao sagledati, a još uvijek štetnost rendgenskog zračenja nije točno ni definirana, premda je nažalost nepobitno dokazana na brojnim pojedinačnim, ali i masovnim nesrećama.



Shematski diagram elektromagnetskog spektra koji se proteže od najkraćih valnih dužina (gama zraka) do najdužih (radio-valova). Valna dužina svjetlosti mjeri se u Ångstromima (Å), mikrometrima ( $\mu\text{m}$ ), centimetrima (cm) i metrima (m).

Slika 1.

Povijest znanosti je označila otkriće rendgenskih zraka kao jedno od najvažnijih otkrića 19. stoljeća. Bitne odnose i djelovanje između atoma i materije su odredili u godinama oko 1900. slijedeći znanstvenici: sam Röntgen, Einstein, Barkly, Rutherford, von Laue, Bragg, Bohr, Debye.

Nakon toga 1910. slijedi primjena rendgenskih zraka u medicini. 1920. su određeni efekti kvantne fizike (De Broglie, Born, Heisenberg, Compton, Bothie—Geiger). U slijedećim godinama prije drugog svjetskog rata proširuje se primjena rendgenskih zraka u medicini, fizici, kemiji, biologiji, mineralogiji, arheologiji i industrijskoj tehnologiji. 1950. otkriva rendgensko zračenje sa Sunca Burnight, Friedman, a 1960. i sa drugih stelarних objekata Biacconi i Gursky i nakon sve novijih otkrića oko 1970. godine i kasnije započinje era rendgenske astronomije.

## RENDGENSKA ASTRONOMIJA

Znanost danas smatra da rendgenske zrake u Svemiru mogu nastati na nekoliko načina, a izvori zračenja mogu biti kombinirani.

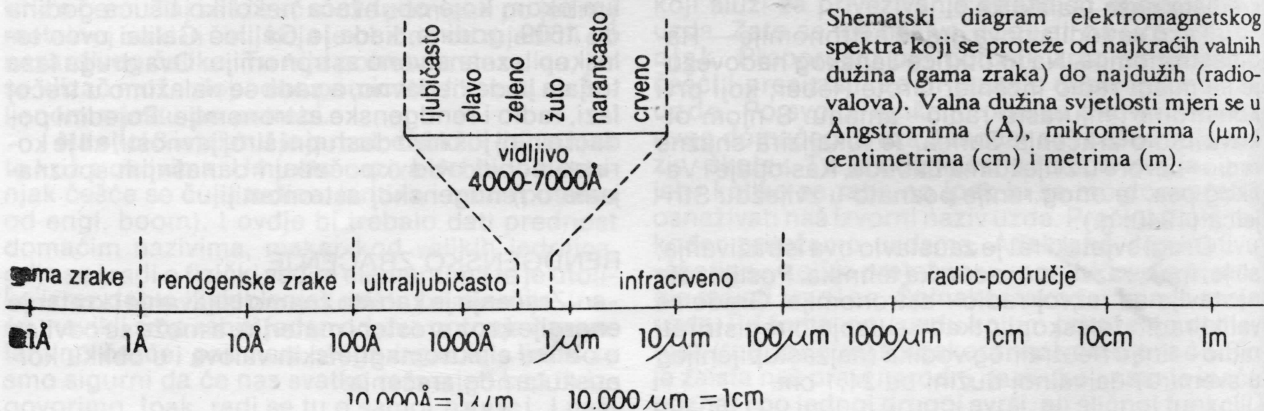
1. Užareno tijelo velike gustoće i temperature isijava energiju u širokom spektru od vrlo kratkih do vrlo velikih valnih dužina. U spektru vrlo užarenih zvijezda mogu nastati i rendgenske zrake koje se označuju kao zračenje crnog tijela.
2. Važnija mogućnost nastanka rendgenskih zraka u svemiru jest kočenje brzih elektrona u sloju guste materije, slično kao i u rendgenskoj cijevi. U atmosferi užarenih zvijezda izmjeničnim djelovanjem plazme i magnetskih polja nastaju vrlo brze struje elektrona, koje prilikom sudara sa slojem guste materije uzrokuju nastanak rendgenskih zraka.

Tabela 1. prikazuje elektromagnetski spektar koji se danas koristi u raznim područjima tehnike i medicine s njegovim frekvencijama u sekundi i valnoj dužini. Oni obuhvaćaju toplotna zračenja, infracrveno zračenje, radiovalove, radarsko emitiranje, vidljivu svjetlost, ultravioletno zračenje, rendgensko i gama zračenje raznih energija.

Napretkom znanosti, a potom i tehnike posebno se može istraživanje zvijezda različito promatrati u pojedinim valnim dužinama njihova isijavanja, pa se na taj način može dijeliti astronomija po vrstama zračenja nebeskih tijela i tako različiti astronomsko istraživanje, što je posebno važno, a nas će zanimati samo ono u rendgenskoj sferi emisije.

Iz tabele 1 nam postaje bliska spoznaja Planck-ova zakona o zračenju, da svako tijelo koje zrači emitira zrake različitih valnih dužina, pa i rendgenske zrake, ako mu je toplina dovoljno visoka. Po ovom zakonu fizike iz 1910. godine pojedini astronomi i astrofizičari su pretpostavljali da i zvijezde moraju emitirati rendgenske zrake, jer je njihova toplina dovoljno visoka da bi mogle u jakom intenzitetu zračiti i u području vrlo kratkih valnih dužina, kao što je i rendgensko i gama zračenje.

Opće je poznato da je jedne hladne jesenske noći u kasnim satima 8. studenog 1895. godine u samoći fizikalnog zavoda Sveučilišta u Würzburgu otkrio jedan čovjek nove zrake, kojima je odmah i odredio karakteristike, ali za koje nije mogao odmah sagledati njihovu vrijednost i značaj za čovječanstvo. Wilhelm Conrad Röntgen je otkrio te zrake, a one su već postojale milijardama godina, jer sve velike spoznaje fizike i znanosti su samo ispravna tumačenja već postojećih stanja. To je bilo samo otkriće onog što ljudski intelekt do tada nije mogao shvatiti. Ipak, za čovječanstvo, Röntgenovo otkriće ima epohalno značenje, jer je Röntgen prepoznao karakteristike novog zračenja: prodornost kroz materiju, zakone apsorpcije, valnu dužinu, njihov bliski odnos sa vidljivim svjetlom, ovisnost između brzine elektrona i valne dužine, njihov nastanak u naglom kočenju brzih elektrona i podražaj elektrona na unutrašnjim kvantnim stazama srednje teških i teških atoma te njihovu refleksiju. Biološko djelovanje Röntgen još nije mogao sagledati, a još uvijek štetnost rendgenskog zračenja nije točno ni definirana, premda je nažalost nepobitno dokazana na brojnim pojedinačnim, ali i masovnim nesrećama.



Shematski diagram elektromagnetskog spektra koji se proteže od najkraćih valnih dužina (gama zraka) do najdužih (radiovalova). Valna dužina svjetlosti mjeri se u Ångstromima (Å), mikrometrima (μm), centimetrima (cm) i metrima (m).

Slika 1.

Povijest znanosti je označila otkriće rendgenskih zraka kao jedno od najvažnijih otkrića 19. stoljeća. Bitne odnose i djelovanje između atoma i materije su odredili u godinama oko 1900. slijedeći znanstvenici: sam Röntgen, Einstein, Barkly, Rutherford, von Laue, Bragg, Bohr, Debye.

Nakon toga 1910. slijedi primjena rendgenskih zraka u medicini. 1920. su određeni efekti kvantne fizike (De Broglie, Born, Heisenberg, Compton, Bothie—Geiger). U slijedećim godinama prije drugog svjetskog rata proširuje se primjena rendgenskih zraka u medicini, fizici, kemiji, biologiji, mineralogiji, arheologiji i industrijskoj tehnologiji. 1950. otkriva rendgensko zračenje sa Sunca Burnight, Friedman, a 1960. i sa drugih stelarnih objekata Biacconi i Gursky i nakon sve novijih otkrića oko 1970. godine i kasnije započinje era rendgenske astronomije.

## RENDGENSKA ASTRONOMIJA

Znanost danas smatra da rendgenske zrake u Svemiru mogu nastati na nekoliko načina, a izvori zračenja mogu biti kombinirani.

1. Užareno tijelo velike gustoće i temperature isijava energiju u širokom spektru od vrlo kratkih do vrlo velikih valnih dužina. U spektru vrlo užarenih zvijezda mogu nastati i rendgenske zrake koje se označuju kao zračenje crnog tijela.
2. Važnija mogućnost nastanka rendgenskih zraka u svemiru jest kočenje brzih elektrona u sloju guste materije, slično kao i u rendgenskoj cijevi. U atmosferi užarenih zvijezda izmjeničnim djelovanjem plazme i magnetskih polja nastaju vrlo brze struje elektrona, koje prilikom sudara sa slojem guste materije uzrokuju nastanak rendgenskih zraka.

3. Vrlo brzi elektroni u atmosferama zvijezda, čija je brzina gotovo jednaka brzini svjetlosti u međusobnom su utjecaju s magnetskim poljima pa tako bivaju povučeni u spiralne kružne staze uz isijavanje elektromagnetskog zračenja. To je sinhotronsko zračenje, čiji se intenzitet i dužinu valova može izračunati pomoću Maxwellove jednadžbe, a već je poznato u laboratorijskim eksperimentima.
4. Inverzni Compton-ov efekt, gdje sudar ubrzanog elektrona i kvanta oskudne energije stvara veliku energiju rendgenskog zračenja i elektrona bez kinetičke energije, nasuprot normalnom Compton-ovom efektu, kad jedan kvant bogate energije u sudaru sa elektronom predaje mu dio svoje energije, pa nastaje jedan brzi elektron i jedan akinetski fotokvant. Ovakvi inverzni Compton-ov efekt nastaje u vanjskim koronama zvijezda i u međuzvjezdanom prostoru.
5. Ako se brzi elektroni napokon sudare s teškim atomima i ionima, izazivaju stvaranje karakterističnog zračenja koje se može utvrditi posebnim detektorima. Spektre tog rendgenskog zračenja iz atmosfere emitiraju takozvane vruće zvijezde.

Uglavnom su to sve već poznati postupci nastanka rendgenskih zraka, koje pozna znanost, ali nažalost i vojna tehnika naše planete Zemlje.

Međutim, dokaz pretpostavke rendgenskog zračenja iz Svemira nije bio moguć, jer se rendgenske zrake u suprotnosti sa vidljivim svjetlom i radiovalovima jako apsorbiraju u atmosferi Zemlje. Kroz nju mogu proći samo elektromagnetski valovi određene dužine kao što su vidljivo svjetlo, radiovalovi i ultracrveno zračenje. Rendgensko zračenje se zaustavlja visoko iznad stratosfere iznad Van Allen-ovog pojasa radijacije. Van Allen-ovi pojasi radijacije, područja pojačanog kozmičkog zračenja, poput prstena okružuju Zemlju. Njihove osi se podudaraju s magnetskom osi Zemlje. Oni su otkriveni 1958. godine pomoću satelita (Explorer 1, 3 i 4 i Pioneer 1 i 3). Unutrašnji pojas koji je iznad ekvatorskog područja na visini od 1000 km sastoji se od protona, a vanjski, koji je na visini 10.000 do 20.000 km i više od elektrona. Te čestice (elektroni i protoni) kruže spiralno duž silnice zemaljskog magnetskog polja i dolaze samo do određenih sjevernih i južnih geografskih širina, gdje se nalaze granice Van Allenovih pojasa, a onda se ponovo vraćaju na suprotnu stranu. Protoni kruže oko Zemlje od istoka prema zapadu, a elektroni od zapada prema istoku. Na taj način Van Allenovi pojasi radijacije formiraju dvije prstenaste električne struje oko Zemlje. Znači, trebalo se vinuti iznad oblaka, iznad Van Allenovog pojasa radijacije, potrebno je bilo prijeći atmosferu, da bi se moglo izravno registrirati to zračenje. Prva se takva mogućnost ukazala razvojem izgradnje velikih raketa koje su mogle doseći najviše slojeve atmosfere i vratiti se natrag.

Za prve su pokušaje poslužile njemačke raketne zaostale iz II. svjetskog rata. Naime, nakon završetka drugog svjetskog rata nekoliko raketa A4 koje su izgrađene u Peenemünde-u u Njemačkoj bile su uključene u istražni centar White Sands u New Mexico. One su bile iskorištavane za ispitivanje

ionosfere i zračenja u tom području. Na jednoj takvoj letjelici 1948. godine je Herbert Friedman sa svojim suradnicima iz Naval Research Laboratory ugradio i maleni Geigerov brojač, i tom je prilikom prvi put registrirao rendgensko zračenje sa Sunca.

Naše Sunce, koje mijenja svoje sadašnje stanje u oko 10 milijardi godina, emitira rendgenske zrake iz fotosfere, hromosfere i korone, a osobito iz područja visoke aktivnosti Sunčevih pjega i protuberanca. Po rendgenskom zračenju Sunce je hladna zvijezda. 1965. godine je uspjelo napraviti sliku Sunca u zračenju samo rendgenskih zraka. U ljeto 1962. godine iz pustinje Novog Meksika lansirana je raketa s osjetljivim Gajgerovim brojačima. Dosegla je visinu preko 200 km i registrirala snažno rendgensko zračenje iz galaktičkog centra. 1972. godine je Skylab A. imao dva rendgenska teleskopa za promatranje rendgenskog zračenja Sunca. 1976. godine su izvršena nova istraživanja sa satelitom HEAO (High Energy Astronomical Observatory) sa vrlo osjetljivim detektorima i otkriveno je dosta novih izvora rendgenskog zračenja.

Riccardo Giacconi je sa svojom grupom iz American Science and Engineering otkrio prvu rendgensku zvijezdu u zviježdu Škorpiona i nazvao je Sco XR-1, a kasnije i optički evidentirao, pa je otkrivena plavobijela zvijezda 13. reda prividne veličine, koja se mogla vidjeti samo teleskopom, a ne golim okom. Kad bi rendgenske zrake mogle preći kroz atmosferu i kad bi naše oči bile osjetljive na rendgenske zrake kao na vidljivo svjetlo, onda bi mi mogli na ljetnom južnom nebu vidjeti u zviježdu Škorpiona jednu svjetliju zvijezdu od Sirusa, koja je najsvjetlija zvijezda poslije Sunca na našem nebu. Ipak Sco XR-1 je prema mjerenjima zvijezda diskretnog rendgenskog zračenja. Do sada je poznato oko 300 takvih zvijezda mnogo jačih emisija.

Za dokaz rendgenskih zraka u prostoru izvan atmosfere razvio se niz detektora, ali najčešće tipa Geiger-ova brojača. Za direktno slikanje jednog opsežnog izvora zračenja izrađeni su rendgenski teleskopi po principu astronomskog teleskopa. Problem je bio u činjenici da se rendgenske zrake reflektiraju samo ako je kut upada zrake manji od 0,5, a to je već u svom prvom predavanju utvrdio i Röntgen. 1952. godine Wolter je u Njemačkoj konstruirao takve sisteme leća. Takva leća je konstruirana od jedne paraboloidne i jedne hiperboloidne plohe, a izrađena je od beriliuma i presvučena niklom.

Prvi izvangalaktički izvor rendgenskog zračenja je otkriven 1965. godine u eliptičkoj galaktici u zviježdu Djevice M 87 (Messier 87). Ova galaktika, koja ima 30 puta veću masu od naše Mliječne staze, bila je odavno poznata kao jaki izvor vidljivog svjetla i radio valova. Njeno emitiranje u području rendgenskog zračenja tako je jako, da prelazi sve njeno zračenje u ultraljubičastom, ultracrnem, vidljivom svjetlu, te radiovalovima zajedno. Rendgensko zračenje jako varira unutar par mjeseci i do deset puta. Veći dio rendgenskog zračenja dolazi iz jednog malog izvora čiji je promjer manji od dužine jedne svjetlosne godine, a

promjer vidljive galaktike prelazi 6 tisuća svjetlosnih godina. (1 god. svj. =  $9,47 \times 10^{12}$  km).

Osim M 87 poznato je niz galaktika koje emitiraju rendgensko zračenje. Dok je izvor M 87 postigao najviši aktivitet prije 4 tisuće godina i najviše energije isijavanja u području rendgenskog zračenja, a srednje je jako zračenje u području radiovalova, galaktika u zvijezdu Centaur, koja je nazvana A, pokazuje jaki aktivitet u radiovalovima i srednje jaki u području rendgenskog zračenja. Smatra se da je ona stara 100 tisuća godina.

Najjači do sada poznati izvor radiovalova Labud A posjeduje vrlo slabi aktivitet rendgenskog zračenja i prosuđuje se na starost od 500 tisuća godina. Na taj način između odnosa razlika zračenja u pojedinim valnim dužinama može se odrediti starost zvijezda, jer mlađe zvijezde emitiraju svoju energiju u kraćim valnim dužinama.

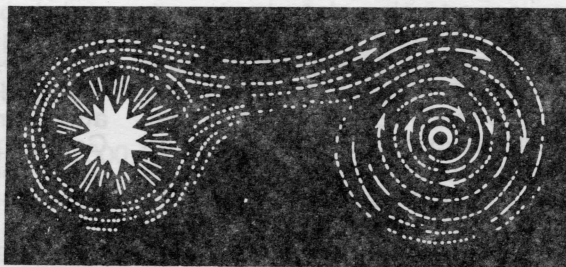
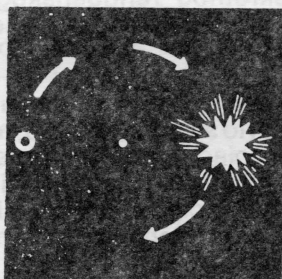
1962. godine su otkrivena posebna nebeska tijela, koja se ne mogu ubrojiti ni u zvijezde ni u galaktike, a udaljene su od Zemlje deset milijardi svjetlosnih godina i više, što se može prosuditi po njihovom spektralnom pomaku prema crvenoj boji po Hubble-ovom zakonu proporcionalnosti udaljenosti zvijezde od Zemlje i pomaka svjetlosti prema crvenoj valnoj dužini. Najbliže su kvazari nađeni na udaljenosti od oko 100 Mpc (megaparseka) a gomilaju se na udaljenostima od 1300 do 3300 Mpc (Megaparseka =  $10^6$  parseka =  $3,26 \times 10^6$  god. svj.). Njihovo se elektromagnetsko isijavanje znatno mijenja u toku mjeseci, a oni u svojem energetskom zračenju prelaze sve do sada registrirane i poznate izvore zračenja. Nazvani su

»kvazi zvjezdanim izvorom«, što je kasnije skraćeno na Kvazari. To su neobični objekti zvjezdolikog izgleda i snažnog radio zračenja. Optički, a često i radio-sjaj im je promjenljiv, a u njihovim spektrima opaža se veliki pomak spektralnih linija prema crvenom. Promjer kvazara je relativno malen, 100 tisuća puta manji od Mliječne staze, (promjer Mliječne staze je 100000 god. svj.), ali je njihovo energetsko zračenje nezamislivo ( $10^{14}$  energije Sunca), a njihova pokretljivost može iznositi i 80% od brzine svjetlosti. Nije do sada poznato kako nastaje ovako neobuzdano zračenje energije.\*

\*Oni su bili inspiracija poznatom astrofizičaru George Gamow-u da složi pjesmicu:

»Twinkle, twinkle, Quasi — Star.  
Biggest puzzle from afar.  
How unlike the other ones,  
Brighter than a billion suns!  
Twinkle, twinkle, Quasi — Star  
How I wonder, what you are!  
U našem prevodu pjesma glasi:  
Trepći, trepći kvazi — zvijezdo.  
Da mi je znati tvoje gnijezdo.  
Tako si drukčija od sunaca svih  
Sjajnija od milijuna njih!  
Trepći, trepći kvazaru  
Znatiželjan divim se tvom čaru!

Svaki kvazar je izvor rendgenskog zračenja. Između optičkog i rendgenskog zračenja pronađen je vrlo pravilan odnos koji ukazuje na to da kvazari daju pozadinsko rendgensko zračenje. Očekuje se da će baš rendgensko zračenje kvazara omogućiti spoznaju o načinu kako se u njegovom središtu stvara najjače elektromagnetsko zračenje u svemiru.



Slika 2. Lijeva slička prikazuje stazu gibanja vidljive zvijezde i crne jame oko zajedničkog težišta u sastavu dvojne zvijezde. Desna slička prikazuje gibanje materije od omotača vidljive zvijezde prema crnoj jami.

Više od polovine zvijezda što zrače u vrlo kratkim valnim dužinama su dvojne zvijezde (»binary star«). Pri tome je jedna zvijezda prosječne veličine ili golema, a druga je velike mase a malog promjera, tzv. patuljasta zvijezda. Zračenje dvostrukih zvijezda u vidljivom, a posebice u rendgenskom području je nejednoliko.

Prvi satelit namijenjen isključivo rendgenskoj astronomiji lansiran je pri kraju 1970. godine iz talijanske baze u Keniji, iako je bio američki satelit. Dobio je ime UHURU, što na svahili jeziku znači sloboda.

Satelit UHURU je otkrio da je najveći broj kompaktnih, sjajnih rendgenskih izvora u našem Mliječnom putu — Galaktici. Zbog toga je nastavljeno ispitivanje tih izvora i na mjestu jakog rendgenskog izvora Cyg X-1 (Labud X-1) otkrila se dvojna zvijezda. Nevidljivi pratilac vjerovatno ima masu 10 puta veću od Sunca, pa se pretpostavlja da bi to mogla biti i crna jama. Crna jama nastaje smrću divovskih zvijezda čija masa i po nekoliko desetaka puta premašuje masu Sunca. Tako nam rendgenska astronomija posredno može otkriti postojanje tih hipotetičkih svemirskih objekata —

crne jame iz koje se inače ne može izravno registrirati zračenje. Prema ovom pratiocu registriralo se treperenje rendgenskog zračenja u vrlo kratkim vremenskim intervalima, što navodi na zaključak da se radi o kolapsirajućem objektu. To treperenje nastaje vjerojatno zbog toga što materija koja srja u vrtlog crne jame nije jednoliko raspodijeljena.

Za pedesetak rendgenskih izvora utvrdilo se da su dvojni, bilo da za pratioca imaju neutronske zvijezde ili crnu jamu.

Zbog ispitivanja rendgenskog zračenja svemirskih objekata lansirani su specijalni sateliti u stazu iznad Zemlje. Tako je NASA 13. studenog 1978. godine u ekvatorsku stazu na visini od 573 km satelizirala HEAO-2 (Visoko—Energetska Astronomska opservatorija), koji se još zvao »Einstein«. Imao je teleskop promjera objektiva 58 cm, sa zadatkom da registrira zračenje u rendgenskom dijelu spektra. »Einsteinov« teleskop sastoji se od 4 koncentrična hiperboloida koji usmjeruju rendgenske zrake u žarište što se nalazi 3,4 metra iz ulaznog otvora. S njim su otkriveni tisuću puta slabiji izvori rendgenskih zraka od do tada izmjerenih tj.  $10^6$  puta slabije od Sco X-1. S njim je izvršen sistematski rendgenski pregled neba. Samo u pravcu našeg galaktičkog sustava Velikog Magellanovog oblaka otkriveno je nekoliko desetaka novih rendgenskih izvora. Za jednog od njih zna se da je kombinacija normalne i neutronske zvijezde. Jedan drugi izvor bio je ranije poznat kao neobična vrlo promjenljiva plava zvijezda 17. prividne veličine. Prvo joj je s HEAO-1, a kasnije s »Einsteinom« određen bolji položaj. Zbog neobičnog skakanja linija spektra zaključeno je da nevidljiva komponenta ovog dvojnog sistema ima vrlo veliku masu, mnogo veću od komponente s vidljivim spektrom. To nije slučaj kod rendgenske dvojne zvijezde Cyg X-1. Takav masivniji pratilac, da bi se trebao vidjeti u spektru, ali kako njemu nema ni traga izgleda da se i ovdje još očitije pokazuje da bi druga komponenta mogla biti crna jama.

U velikim se svemirskim objektima pojačava isijavanje u toku nekoliko dana za milijun puta, a onda se mjesecima i godinama zadržava na standardnim vrijednostima. Takve su zvijezde Nove. U našoj Mliječnoj stazi je registrirano oko 50 takvih zvijezda. Zvijezde velike mase mogu svoj život završiti kao supernove. Nakon što potroše nuklearno gorivo ne mogu održati ravnotežu pa se središnji dijelovi urušavaju i stvaraju neutronske zvijezde promjera desetak kilometara. Vanjski omotač zvijezde velikom se brzinom odbacuje u prostor, koji svojom kinetičkom energijom grije međuzvjezdani plin do temperature od nekoliko milijuna stupnjeva. Svaka Supernova zvijezda pokazuje vremensku razliku zračenja u minutama pa čak i sekundama.

Najnovije otkriveni objekti su Pulsari. Prvi je otkriven 1967. godine. Ustanovljeno je da izvor zračenja daje impuls svakih 1,73 sekunde i da su sva energetska emitiranja sinhrona. U Maglici Rakka otkriven je pulsar perioda 0,33 sekunde. To je ostatak jedne Supernove koja je po starim kineskim i japanskim izvorima eksplodirala 4. srpnja

1054. godine i nekoliko se sedmica mogla vidjeti na nebu po danjem svjetlu. Danas je to čista neutronska zvijezda. Ona se okreće 30 puta u sekundi. Premda je njena masa jednaka masi Sunca, promjer joj iznosi samo 20 km (dok je promjer Sunca 1,392.700 km), gustoća joj je  $10^9$  tona u jednom  $\text{cm}^3$ , a magnetsko polje oko  $10^{12}$  Gaussa. To znači da se u jednom kubičnom mikrometru nalazi masa od jednog kilograma.

Danas je otkriveno preko 300 pulsara i oni su objekti naše Galaktike. Pretpostavlja se da u našoj Galaktici ima preko 100000 pulsara.

Poznati izvor rendgenskog zračenja je od ostatka supernove u Kasiopeji, poznate kao Cas. A. To je vjerojatno najmlađa supernova koja je eksplodirala u drugoj polovici 17. stoljeća.

Međutim, u blizini središta ovog objekta nije otkriven očekivani pulsar, kao i kod supernove iz 1572. (Brahe) i 1604. g. (Kepler). To znači da u eksploziji nije nastala neutronska zvijezda, ili se ona ohladila znatno brže nego što to predviđaju današnje teorije.

Nagli gubitak energije jedne neutronske zvijezde, koji se sastoji u zračenju rendgenskih zraka i radiovalova, obuhvaća još i isijavanje elektrona, protona i gama zračenja i iznosi 100 tisuću puta više od sve energije koju isijava Sunce. U takvim zvijezdama su prosječne udaljenosti među česticama manje od dimenzije atomskih jezgara i atomske jezgre se moraju tlačenjem raspadati na sličan način kako su se pritiskom ionizirali atomi. Teške jezgre raspadaju se na sastavne protone i neutrone, a prostorom osim njih lutaju elektroni. U takvoj masi (»plinu«) nezamislive gustoće protoni i elektroni se kombiniraju i rezultat kombinacije je neutron. U laboratoriju je poznat suprotan proces: nestabilne atomske jezgre emitiraju elektrone kada se neutron, sastavni dio jezgre, raspada na par proton—elektron. To je beta radioaktivnost. Obrnutim beta procesom masa zvijezde transformira se u neutronske masu.

Opazena su i velika rendgenska zračenja iz kuglastih jata zvijezda. Jedna hipoteza to tumači postojanjem crne jame u jezgri jata. Ta jama bi imala masu oko 100 puta veću od mase Sunca, pa bi rendgensko zračenje nastajalo uslijed sudara međuzvjezdane materije, koja pada prema crnoj jami, i njenog vrućeg omotača.

Velika osjetljivost teleskopa omogućila je otkrivanje rendgenskog zračenja u svim tipovima zvijezda čije se površinske temperature kreću od 3000 do 40000 K. Naše Sunce ima temperaturu 5.700 K. Znači da rendgensko zračenje nemaju samo neke zvijezde, već u pravilu zvijezde emitiraju rendgenska zračenja, a to znači da se mora mijenjati i dosadašnja spoznaja o zvjezdanim atmosferama i njihovim evolucijama.

Usprkos velikim dostignućima znanosti u zadnje vrijeme još nema točnog znanstvenog tumačenja Svemira s njegovim zvijezdama, pulsarima, maglicama, kvazarima i galaktikama.

Gama zrake kao što znamo su još kraće dužine valova od rendgenskih i to od 0,01 nanometar do stomilijuntnog dijela nanometra. One se mogu registrirati pomoću detektora koji ovo zračenje

pretvara u fotoenergiju. Ovim detektorima su bili opskrbljeni američki satelit SAS—2/1972. godine i evropski COS—B koji je radio od 1975. do 1982. godine.

Od rendgenske i gama astronomije mlađa je neutrinska astronomija. Neutrini su nuklearne čestice, koje u stanju mirovanja nemaju svoju masu, odnosno ona je jednaka nuli, a nemaju ni električnog naboja, te gotovo i ne stupaju u među djelovanje s drugim česticama. Neutrini se stvaraju u unutrašnjosti Sunca i drugih zvijezda i mogu teorijski prolaziti kroz Zemlju, jer je ona za njih »prozirna«. Ovo je već nesaglediva budućnost, premda se konstantno vrše ispitivanja ove energije.

O svim ovim istraživanjima mi ćemo se moći upoznati tek kroz nekoliko godina. Ipak razmotrimo još i praktične koristi ovih istraživanja.

Ova istraživanja su pokazala da se promatrani i ispitivani dio Svemira proširio za najmanje 100 puta, od onoga, koji je bio poznat pred desetak godina. Isto tako se procjenjuje da je Svemir star 20 milijardi godina.

U blizini Zemlje još uvijek su doze rendgenskog zračenja male prema golemim energijama nekih zvijezda, spiralnih maglica i kvasara. Sunce je s obzirom na rendgensko zračenje tamna zvijezda i njegovo je zračenje u području rendgenskih valnih dužina 100 milijuna puta slabije od njegove svjetlosne i toplinske energije. Stoga i posada svemirskog broda na Mars ne bi bila izložena opasnoj dozi zračenja. Primarno rendgensko zračenje za astronaute u području Sunčeva sistema uopće neće biti pogibeljno, ali sekundarni procesi mogu prouzročiti teška oštećenja. Pri povremenim eksplozijama na Suncu oslobađaju se primjericice velike količine protona, što u sudaru s oplatom rakete mogu izazvati nastanak rendgenskih zraka. U tom bi se slučaju morali astronauti privremeno smjestiti u zaštitne komore, kojima moraju biti opskrbljeni brodovi za interplanetarne letove u Sunčevom sistemu.

Druga opasnost su neutronske ili rendgenske zvijezde, koje su nevidljive i očituju se samo po svojoj sili gravitacije, koja odgovara masi, a ne veličini, i po jakom rendgenskom zračenju. U svakom slučaju one bi bile ogromna opasnost interstelarnim letovima zbog izravnog sudara, zbog gravitacijskog povlačenja i jakog rendgenskog zračenja, a ipak su nevidljive. Do sada ih je poznato više od 200.

## ZAKLJUČAK

Rendgenska astronomija prešla je svoju eksperimentalnu fazu. Poslije prvih globalnih pregleda svemira, koji su trebali pronaći sve moguće rendgenske izvore, pristupilo se detaljnijem ispitivanju s otkrićem i slabijih izvora zračenja. Važno je bilo za otkrivene objekte izvršiti optičku identifikaciju, a pogotovo utvrditi detaljne podatke koji bi osjetno pridonijeli boljoj teorijskoj interpretaciji zračenja tih objekata.

Pokaže li se točnom i činjenica da kvazari daju sve pozadinsko rendgensko zračenje neba, bilo bi vrlo vjerovatno da difuzni plin za koji se misli da prožima čitav svemir zapravo ne postoji, a to smanjuje mogućnost zatvorenog svemira. Znači da naše spoznaje pomoću rendgenske astronomije mogu okrenuti prihvaćenu nam sliku poznatog svemira, što su temeljna kosmološka pitanja.

Ove najnovije grane astronomije mijenjaju našu dosadašnju sliku o makrokozmosu. Očekuje se da se novim astronomskim motrenjima u rendgenskom dijelu spektra nastavi većim i trajnijim satelitima u bliskoj budućnosti.

Sigurno je, da ćemo moći doći i do drugih možda korisnijih spoznaja, ali se stara izreka »Ni hil novum sub sole« (Ništa novo pod Suncem) mora parafrazirati u »multa nova ultra solem« (Mnogo novoga iznad Sunca). Sve što doznamo već postoji ili je već postojalo. W. C. Röntgen je ostao samo Prometej vremena koje još traje i dolazi.

## LITERATURA:

<sup>1</sup> E. Stuhlinger: »Röntgen Astronomie« Remscheider General — Anzeiger 1970.

<sup>2</sup> E. Stuhlinger: »Röntgenstrahlen aus dem Kosmos« Forsch. Röntgenstr. 118, 4, 1973.

<sup>3</sup> L. Schucking, M. Biram: »Die neuen Grenzen des Alls« N + M 30/6 1969.

<sup>4</sup> C. Sagan: Kosmos »Otokar Keršovani« — Rijeka 1982.

<sup>5</sup> M. Muminović: Astronomija CEDUS — Sarajevo, 1985.

<sup>6</sup> J. Herrmann: Astronomija Mladost — Zagreb, 1977.

<sup>7</sup> ČOVJEK I SVEMIR

Časopis zagrebačke zvjezdarnice Brojevi: 3—1978/79; 4—1978/79; 5—1979/80; 5—6—1981/82; 5—6—1983/84; 1—1986/87; 3—1987/88.

»Vasiona« časopis za astronomiju i astronautiku. Astronomsko društvo »Ruder Bošković« Beograd, br. 3/1973.