



Riccardo Giacconi: pionir rendgenske astronomije

Krešimir Pavlovski, Zagreb*

Slučajno, eksperimentirajući s katodnim cijevima, njemački je fizičar Wilhelm Röntgen, godine 1895. otkrio X-zrake. Njegovo je otkriće odmah našlo praktičnu primjenu u medicini. Sljedećih nekoliko desetljeća X-zrake ili 'rendgensko' zračenje pokazalo se nezamjenjivim alatom u istraživanju mikro-svijeta atoma i tako omogućilo razvoj kvantne teorije tvari. Prošlo je više od pola stoljeća dok astronomi nisu otkrili nebeske izvore rendgenskog zračenja i tako upotpunili razumijevanje strukture i razvoja makro-svijeta zvijezda, galaksija i svemira kao cjeline.

Riccardo Giacconi, američki astronom talijanskog porijekla, pionir je i jedan od začetnika rendgenske astronomije i jedan je od dobitnika Nobelove nagrade za fiziku u 2002. godini. U obrazloženju Nobelovog odbora stoji da je Giacconi nagrađen "za pionirski doprinos astrofizici koji je doveo do otkrića svemirskih izvora X-zraka". Kada su Röntgena, prvog Nobelovog laureta iz fizike (nagrađen je 1901. godine) upitali što misli o svojem otkriću, on je lakonski odgovorio "ja ne mislim, ja istražujem!". S istim motom ušao je krajem pedesetih godina prošlog stoljeća Riccardo Giacconi u potpuno nepoznato znanstveno područje. Da se rukovodio tadašnjim predviđanjima vjerojatno se nikada ne bi niti počeo baviti svemirskim istraživanjima. Jer, prema tadašnjem poznavanju svemira u rendgenskom području elektromagnetskog spektra naprosto je trebao biti 'crn', zvijezde i galaksije su u tom dijelu spektra trebale zračiti tek (zanemarivo) mali broj fotona.

Riccardo Giacconi rođen je u Genovi, 6. listopada 1930. godine. Studij fizike završava na Sveučilištu u Milanu s doktoratom iz fizike elementarnih čestica. Do prelaska u privatnu kompaniju American Science and Engineering (AS&E) 1959. godine, kraće radi na sveučilištima u Milanu, Indiani i Princetonu. Stacionirana u sveučilišnom i

* Autor je redoviti profesor na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, e-mail: kresimir@phy.hr, <http://www.phy/~kresimir>

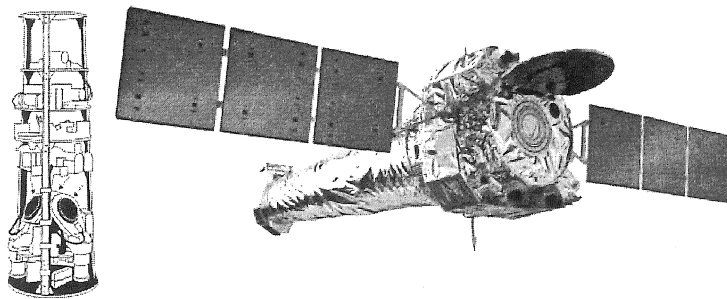
istraživačkom centru u Cambridgeu, u američkoj saveznoj državi Massachusetts, AS&E je tada bila kompanija sa samo tridesetak zaposlenih.

Godine 1949. tim istraživača s Naval research Laboratory predvođen Herbertom Friedmanom otkrio je slabu emisiju X-zraka iz Sunčeve korone. Na zarobljenim njemačkim raketama V2 iz II. svjetskog rata oni su postavili male Geigerove brojače. Otkrivena emisija X-zraka bila je čak milijun puta manja od ukupne energije koju Sunce zrači u ostalim valnim duljinama! Zbog toga se smatralo da će detekcija svemirskih izvora rendgenskog zračenja biti bezuspješna. Giacconi, koji je vodio malu grupu entuzijasta, na sreću, nije se previše obazirao što drugi misle, baš kao i njegov prethodnik Röntgen. Traživši potporu kod NASA-e Giacconi je bio odbijen. Međutim, američka kompanija Air Force, imala je više sluha za astrofizičare: mala kompanija AS&E dobiva financijsku potporu za potragu X-zračenja Mjeseca. Početak je bio težak. Prve dvije rakete AS&E rasprsnule su se prilikom lansiranja. Treći pokušaj, u lipnju 1962. godine bio je pun pogodak. Tijekom vrlo kratkog perioda opažanja, svega pet minuta je bilo na raspolaganju, Geigerovi brojači stotinu puta osjetljiviji od bilo kojih upotrijebljenih ranije, detektirali su jak izvor X-zraka u smjeru zvježda Scorpius a pored toga i jednoličnu pozadinu rendgenskog zračenja. Ubrzo, otkriće Giacconija i suradnika potvrdila je Friedmanova grupa. Otvoreno je novo spektralno područje za istraživanje svemira. Zanimljivo je da je tek 1990. godine pomoću satelita ROSAT otkriveno zračenje Mjeseca u području X-zraka! Zemljina atmosfera apsorbira većinu fotona elektromagnetskog zračenja propuštajući tok fotona do površine tek u dva prozora, vidljivi i radiovalni. Fotoni rendgenskog dijela spektra imaju valne duljine od 0.05 Å do 100 Å, dakle energije od 200 keV odnosno 0.1 keV. Tvrdo rendgensko zračenje prodire u atmosferi do visine od 25 km, dok je meko zaustavljeno već na 200 km. Zbog toga se istraživanja rendgenskog zračenja svemirskog porijekla mogu obavljati isključivo izvan ili tek u visokim slojevima Zemljine atmosfere. Eksperimenti s raketama omogućuju tek mjerenja u kratkom vremenu (prvi letovi Aerobee rakete koja su koristili Giacconi i suradnici trajali su svega desetak minuta dok je iskoristivo vrijeme bilo čak upola manje!). Zbog toga Giacconi nakon inicijalnog, neočekivanog uspjeha dobiva podršku pri NASA-i koja prihvaća njegov prijedlog da se u orbitu oko Zemlje postavi satelit opremljen uređajima za detekciju rendgenskog zračenja. Dijelom to je bio svemirski eksperiment potpomognut talijanskom vladom. Satelit UHURU, što na svahili jeziku znači 'sloboda', uspješno je lanisran iz Kenije, godine 1970. Uspjeh satelita bio je iznad svih očekivanja. Zabilježeno je da je to najcitiraniji eksperiment svih vremena, ne samo u astronomiji i fizici već u svim prirodnim znanostima.

Višestruko je povećan broj poznatih izvora rendgenskog zračenja, kojih je do 1970. godine bilo poznato svega 40. Ne treba zaboraviti da su 1967. godine radio-astronomi otkrili pulsare, kompaktne neutronske zvijezde, što je bio daljnji veliki poticaj za razvoj astronomije X-zraka. Praćenjem pojedinih izvora pomoću UHURU satelita otkriveno je da emisija X-zraka može biti, katkad, vrlo nagla i silovita, a da ima izvora s periodičnim promjenama emisije. Mnogi su izvori prepoznati na snimcima zvjezdanog polja što je dalje omogućilo detaljna astrofizička istraživanja. Ubrzo je otkriveno da su u pravilu jaki izvori X-zraka dvojni sustavi zvijezda u kojima materija struji s (normalne) zvijezde na pratioca koji je kolapsirajuća zvijezda, bijeli patuljak, neutronska zvijezda ili crna rupa. Naročito su jaki izvori oni kod kojih je kolapsar neutronska zvijezda ili crna rupa jer je i potencijalna jama (gravitacijsko polje) mnogo dublja i materija se ubrzava do vrlo velikih brzina. UHURU je ipak imao jedan veliki nedostatak – a to je nemogućnost 'snimanja'. Uređaji su omogućavali samo brojanje rendgenskih fotona ali ne i njihova fokusiranja u sliku. Još ranije, Giacconi je s fizičarom Brunom Rossijem, predložio konstrukciju rendgenskog teleskopa. Rentgenske su zrake izuzetno prodrone, tako da se pod uobičajenim kutovima ne reflektiraju od metalnog zrcala,

već prodiru u njega. Zbog toga ih je potrebno reflektirati pod vrlo malim kutom, tek toliko da 'okrznu' metalnu površinu zrcala. Međutim, izrada zrcala za rendgenski teleskop, vrlo je zahtjevna. Zahvaljujući divovskom uspjehu UHURU satelita, NASA prihvaća sljedeći Giacconijev projekt, izgradnju prvog rendgenskog teleskopa koji bi bio postavljen u orbitu oko Zemlje. S velikom financijskom potporom NASA-e osnovan je pri harvardskom sveučilištu poseban odjel u koji prelazi Giacconi sa svojim suradnicima – sada ih je već preko dvije stotine, od čega polovicu čine astronomi. To je zabilježeno kao najveći znanstveni transfer u povijesti američke znanosti. S poznatim menadžerskim sposobnostima, Giacconi i taj projekt dovodi do uspjeha. Rentgenski teleskop na satelitu omogućuje dobivanje prvih slika neba velike rezolucije i precizne položaje tisuće rendgenskih objekata; bijelih patuljaka, neutronske zvijezde, crnih rupa, međuzvjezdanih udarnih valova nastalih eksplozijama supernova, jezgama galaksija i vrućim plinom koji ispunjava prostor među galaksijama.

Novi izazov Giacconi prihvaća izborom za generalnog direktora European Southern Observatory sa sjedištem u Garchingu kraj Münchena i opservatorijama u čileanskim Andama, planinama La Silla i Paranal. Giacconijevim dolaskom započela je realizacija sigurno najvećeg projekta u astrofizici – postavljanje četiri 8-m teleskopa na Paranalu kraj Aftonagaste te njihovo povezivanje u interferometar, poznate pod nazivom VLT i VLTI. Kada je Giacconi 1998. godine otišao na novu rukovodeću funkciju predsjednika Associate Universities u SAD-u, europski astrofizičari započeli opažanja na najmoćnijim 'strojevima' u svijetu. Jedan je od bliskih Giacconijevih kolega, jednom za njega, izjavio: "Da nije vrhunski astrofizičar, jednako je uspješno mogao biti predsjednik uprave General Motorsa!". Izuzetna je njegova sposobnost da u viziji znanstvenika, istraživača, uspješno realizira najsloženije tehnološke projekte. U trenutku kada mu je saopćeno da je ovogodišnji laureat, Giacconi je posebno naglasio da je prvi znanstvenik koji je to priznanje dobio radeći pod okriljem NASA-e. Dobitnik je mnogih prestižnih nagrada i priznanja, a vjerojatno mu je jedna od najdražih, počasni doktorat rimskog sveučilišta "La Sapienza".



Slika 1. Od rakete Aerobee do rendgenskog svemirskog opservatorija Chandra. Na raketi Aerobee bila su ugrađena tri Geigerova brojača. Pionirski pokušaji Giacconija i suradnika doveli su do neočekivanog otkrića svemirskih izvora rendgenskog zračenja. Satelit Chandra vrhunac je tehnologije s tri rendgenska teleskopa kojima su razlučeni izvori rendgenskog zračenja u dalekim galaksijama.

Svako tijelo u okolni prostor zrači energiju koja odgovara njegovoj temperaturi. Idealni je slučaj zračenje crnog tijela, koje je u stanju upiti (i emitirati) zračenje svih valnih duljina bez ostatka. Raspodjela energije u spektru za zračenje crnog tijela dano je Plankovom funkcijom. Ukupna je energija E koju zrači tijelo temperature T u sve smjerove, dana Stefan-Boltzmannovim zakonom:

$$E = \sigma T^4, \quad (1)$$

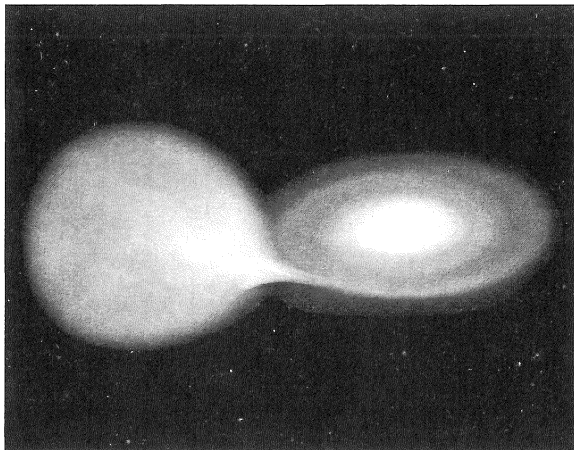
gdje je $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ Stefan-Boltzmannova konstanta. Valna duljina maksimuma Planckove krivulje energetske raspodjele zračenja crnog tijela temperature T dana je Wienovim zakonom:

$$\lambda_{\max} = \frac{2.897}{1000 T} [\text{m}]. \quad (2)$$

Često puta dobro je znati i sljedeću formulu koja daje energiju fotona u elektronvoltima (eV) za danu valnu duljinu izraženu u nanometrima ($1 \text{ nm} = 10 \text{ \AA}$):

$$E = \frac{1240}{\lambda}. \quad (3)$$

Izračunat ćemo prema jednakostima (1) – (3) tipične vrijednosti za rendgensko zračenje. Rentgenske ili X-rake imaju valne duljine reda veličine angstroma. Uzet ćemo $\lambda = 1 \text{ \AA}$. Prema jedn. (3) kvant energije rendgenskog fotona imat će energiju $E = 12.4 \text{ keV}$ odnosno, znajući da je $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, energija našeg fotona u SI sustavu iznosi $E = 2 \cdot 10^{-15} \text{ J}$. Da bi tijelo imalo maksimum zračenja u rendgenskom području spektra, prema jedn. (2) izračunat ćemo temperaturu koju bi trebalo postići: za $\lambda_{\max} = 1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ proizlazi $T \approx 29 \cdot 10^6 \text{ K}$, dakle gotovo trideset milijuna kelvina! Tako ekstremno visoke temperature mogu se postići u plinu koji ispunjava prostor među galaksijama i koji je vrlo rijedak ili pak akrecijom (prirastom) materije u blizini neutronske zvijezde ili crnih rupa, dakle u vrlo jakom gravitacijskom polju.



Slika 2. Kataklizmiske dvojne zvijezde u kojima je jedna od komponenata bijeli patuljak, neutronska zvijezda ili crna rupa vrlo su jaki izvori rendgenskog zračenja (vidi okvir 2).

U pojedinim etapama razvoja zvijezda u dvojnim sustavima može doći do prijenosa tvari s jedne komponente na drugu. Zvijezda–primalac ne može odmah primiti svu tvar već se ona privremeno pohranjuje u akrecijskom disku. Upravo su akrecijski diskovi izvori snažne emisije rendngenskog zračenja. Spiralno kružeći prema zvijezdi mase M čestica tvari mase m gubi potencijalnu gravitacijsku energiju. Ako se je polumjer orbite čestice, r , promijenio za Δr tada je oslobođena energija u iznosu:

$$\Delta PE = -GMm \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r - \Delta r} \right). \quad (4)$$

Zanima nas iznos oslobođene gravitacijske energije u vremenu, pa iznosi masa tvari koja struji s jedne komponente na drugu u dvojnem sustavu. Prsten diska širine Δr i polumjera r ima površinu $4\pi r \Delta r$ (moramo uzeti u obzir da disk ima dvije strane). Oslobođenu gravitacijsku potencijalnu energiju disk zrači kao elektromagnetsko zračenje. Jedinični element ukupno, prema Stefan-Boltzmannovom zakonu, zrači energiju $E = \sigma T^4$, gdje je T temperatura tvari. Izjednačimo izraze za energiju te uz manja pojednostavnjenja dobivamo:

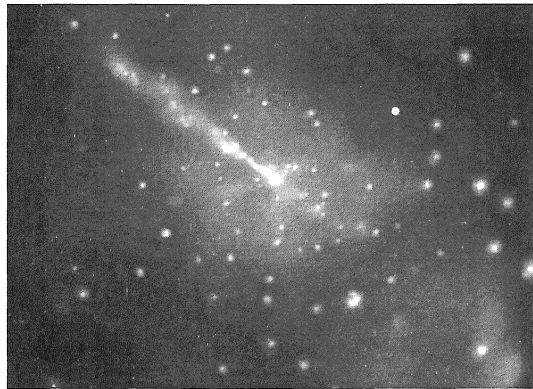
$$GM(\Delta m/\Delta t) = 4\pi r^2(r - \Delta r)\sigma T^4, \quad (5)$$

što dalje, uz $r - \Delta r \approx r$ daje ovisnost temperature akrecijskog diska o udaljenosti od zvijezde:

$$T^4 = \frac{GM(\Delta m/\Delta t)}{4\pi\sigma r^3}, \quad (6)$$

odnosno, jednostavnije: $T \approx r^{-3/4}$.

Izračunajmo temperaturu akrecijskog diska u neposrednoj blizini površine neutronske zvijezde mase $M = 1.4M_{\odot}$ i polumjera $R = 15$ km. Za $\Delta m/\Delta t$ uzet ćemo tipičnu vrijednost poznatu za kataklizmičke zvijezde $\Delta m/\Delta t = 10^{14} \text{ kgs}^{-1}$. Izračunavanjem, proizlazi da je temperatura unutrašnjeg akrecijskog diska oko neutronske zvijezde $T = 9.4 \cdot 10^6 \text{ K}$. Prema Wienovom zakonu slijedi da je valna duljina maksimuma zračenja $\lambda = 3 \text{ \AA}$. Dvojni sustav s takvim svojstvima zračit će najviše tvrdo rendgensko zračenje!



Slika 3. Rendgenski snimak galaksije Centaurus A koja se nalazi na udaljenosti 20 Mpc. Razlučeni su mnogobrojni rendgenski izvori (točkice) a ističe se snažni izvor u samom središtu galaksije, tzv. aktivna galaktička jezgra koja sadrži masivnu crnu rupu, te mlaz vrućeg plina koji je usmjeren u crnu rupu koja se nalazi u središtu galaksije. Cijela se ova eliptična galaksija kupa u difuznom rendgenskom zračenju koje dolazi od razrijedenog ali zato izuzetno vrućeg plina koji ju ispunjava.