

AKTIVNE GALAKTIČKE JEZGRE

dr. sc. Dario Hrupec

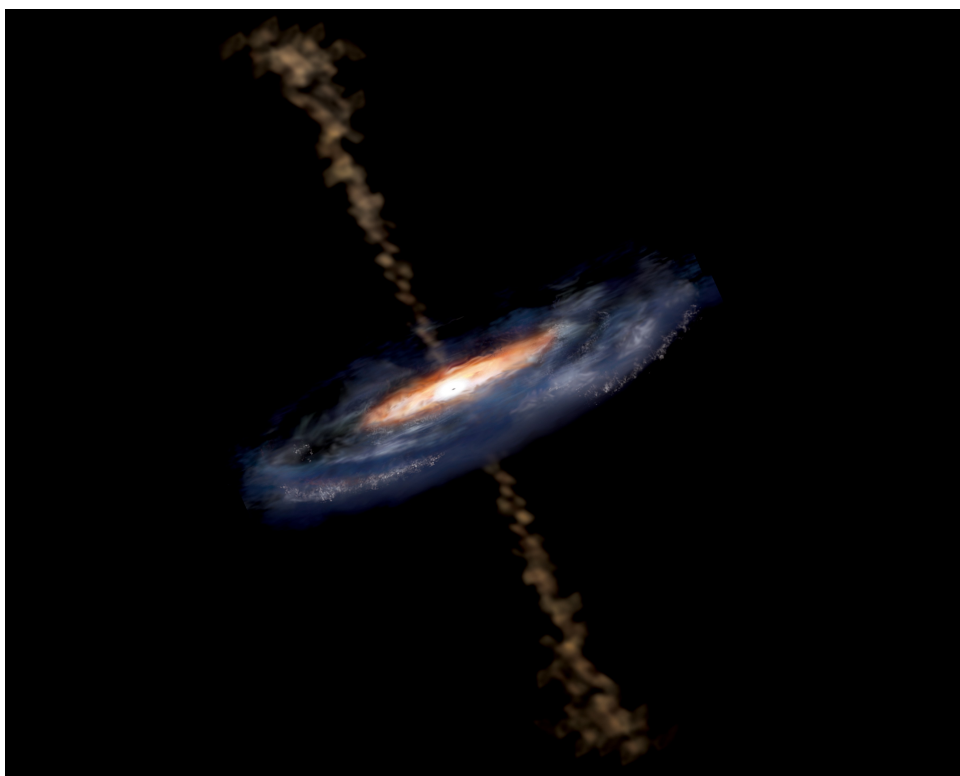
Galaksije sa snažnom emisijom iz središta nazivamo aktivnim galaksijama. Jezgre takvih galaksija mogu sjajiti deset tisuća puta jače od ostatka galaksija. Ta ogromna energija očito nastaje na način koji je bitno različit od poznatih procesa u običnim zvijezdama. Najekstremniji primjeri aktivnih galaktičkih jezgara su kvazari i blazari. Premda zrače u cijelom području elektromagnetskog spektra, oni su posebno zanimljivi upravo kao izvori visokoenergijskih kozmičkih gama-zraka.

Što je aktivna galaktička jezgra?

Aktivna galaktička jezgra je kompaktno područje u središtu galaksije čiji je luminozitet (energija emitirana u jedinici vremena) puno veći od normalnog. Mogućnost da jezgre nekih galaksija budu aktivne prvi je iznio armenski fizičar Victor Ambartsumian početkom pedesetih godina prošlog stoljeća. Ta je ideja, početno, naišla na veliki skepticizam. Međutim, otkrića kvazara, radiogalaksija i mlazova iz galaksija posupno su promijenila stavove astrofizičara. Danas je koncept aktivnih galaktičkih jezgara široko prihvaćen.

Osim velikog luminoziteta središta, spektar zračenja (raspodjela intenziteta po valnim duljinama) aktivne galaktičke jezgre bitno je različit od spektra običnih zvijezda. Primjerice, Sunce većinu energije emitira u vidljivom i infracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra, a vrlo malo u rentgenskom i gama-području. Izvore poput Sunca nazivamo termičkima, a njihov spektar spektrom crnog tijela. S druge strane, aktivna galaktička jezgra emitira obilje visokoenergijskih gama-zraka – fotona kakve ni Sunce ni zemaljski akceleratori ne mogu proizvesti.

No, aktivna galaktička jezgra ne odašilje samo visokoenergijske gama-zrake. Ona emitira u cijelom području elektromagnetskih valova: od radiovalova, preko infracrvenog, vidljivog i ultraljubičastog zračenja do rentgenskih i gama-zraka. Uzrok te emisije je akrecija mase na supermasivnu crnu rupu koja se nalazi u središtu galaksije. Akrecijom se formiraju akrecijski disk i torus te, kao rezultat geometrije određene zakonima očuvanja, dva nasuprotna mlaza visokoenergijskih čestica i zračenja.



Umjetnički prikaz aktivne galaktičke jezgre: dva relativistička mlaza (smeđe), torus plina i prašine (plavo), akrecijski disk (crveno) i supermasivnu crnu rupu (mala crna točkica u sredini).

Aurore Simonnet, Sonoma State University

Akreijski disk i torus

Zbog očuvanja kutne količine gibanja, plin koji biva privučen masivnim tijelom ne pada direktno na tijelo već oko njega oblikuje disk. Takav prirast mase svemirskog tijela nazivamo akrecijom, a tako formirani disk akrecijskim diskom. Kako se čestice po unutrašnjim orbitama gibaju brže nego po vanjskima dolazi do trenja odnosno stalnih sudara unutar diska. Sudari čestica podižu temperaturu plina i uzrokuju emisiju zračenja, većinom u rentgenskom području. Zato se kompaktni objekti, koji sami slabo emitiraju ili uopće ne emitiraju zračenje (bijeli patuljci, neutronske zvijezde i crne rupe), ipak mogu opaziti posebnim teleskopima (detektorima rentgenskog zračenja na satelitima).

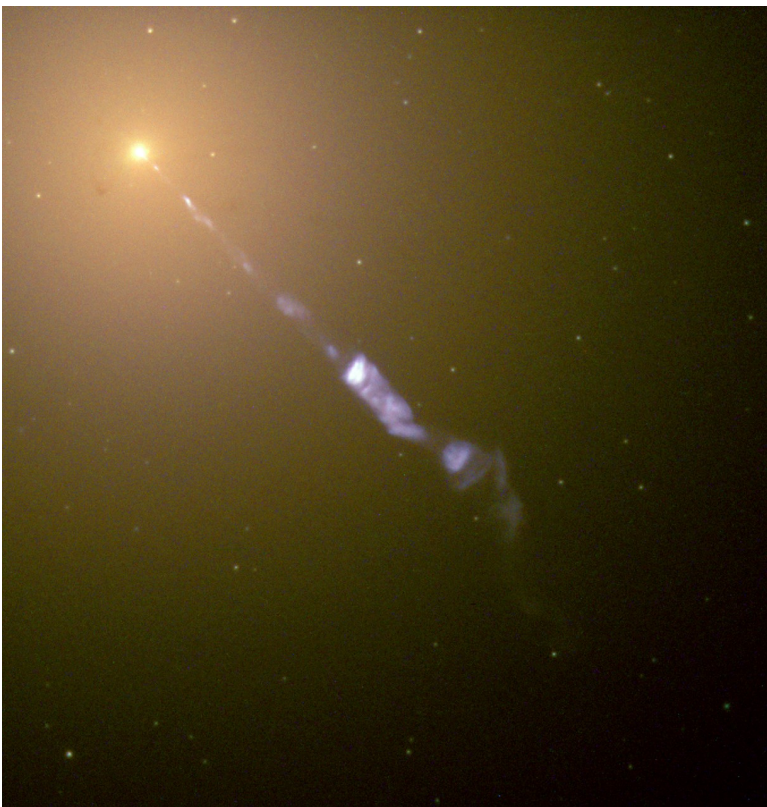
Izvan akrecijskog diska postoji još debeli oblak prašine u obliku torusa. Torus je tijelo poput pojasa za spašavanje ili zračnice automobilske gume. Torus zasjenjuje crnu rupu i akrecijski disk te apsorbira veći dio zračenja iz diska. Međutim, apsorbirano zračenje unosi energiju u torus što znači da se tamošnjoj tvari podiže temperatura. Stoga sam torus ponovo emitira energiju, najčešće u obliku infracrvenog (toplinskog) zračenja, od čega dobar dio odlazi u vanjski prostor.

Dok je tipična veličina akrecijskog diska tisućinka parseka (0,001 pc), torus je velik otprilike jedan parsek (1 pc). Parsek je mjera u astronomiji: udaljenost iz koje se astronomska jedinica (srednja udaljenost Zemlje i Sunca) vidi pod kutom od jedne lučne sekunde. Jedan parsek otprilike odgovara prosječnoj udaljenosti dviju zvijezda u našoj galaksiji. Na primjer, najbliža zvijezda izvan Sunčeva sustava, Proxima Centauri, udaljena je od Sunca 1,3 pc.

Dva relativistička mlaza

Visokoenergijske čestice (koje se gibaju gotovo brzinom svjetlosti) i zračenje najviših energija (rentgenske i gama-zrake) uspeva pobjeći iz malog, središnjeg područja u obliku dva nasuprotna mlaza (*engl.* jets). Mlazovi se mogu protezati na udaljenosti od čak nekoliko tisuća parseka.

Mehanizam nastanka samih mlazova još uvijek nije poznat. No, očito je da smjer mlazovima određuje rotacijska os akrecijskog diska ili rotacijska os supermasivne crne rupe. Također je jasno da tvar u mlazovima mora biti ionizirana. Radi se uglavnom o elektronima ili protonima, dakle nabijenim česticama. Usmjereno gibanje nabijenih čestica je, po definiciji, električna struja. A električna struja je izvor magnetskog polja. Nadalje, čestice u magnetskom polju ne putuju pravocrtno nego spiralno te pritom emitiraju sinkrotronsko zračenje (magnetsko zakočno zračenje).



Plavičasti mlaz (vidljiv zbog sinkrotronskog zračenja), dugačak oko 5000 godina svjetlosti, iz aktivne galaksije M87 snimljen je svemirskim teleskopom Hubble.

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

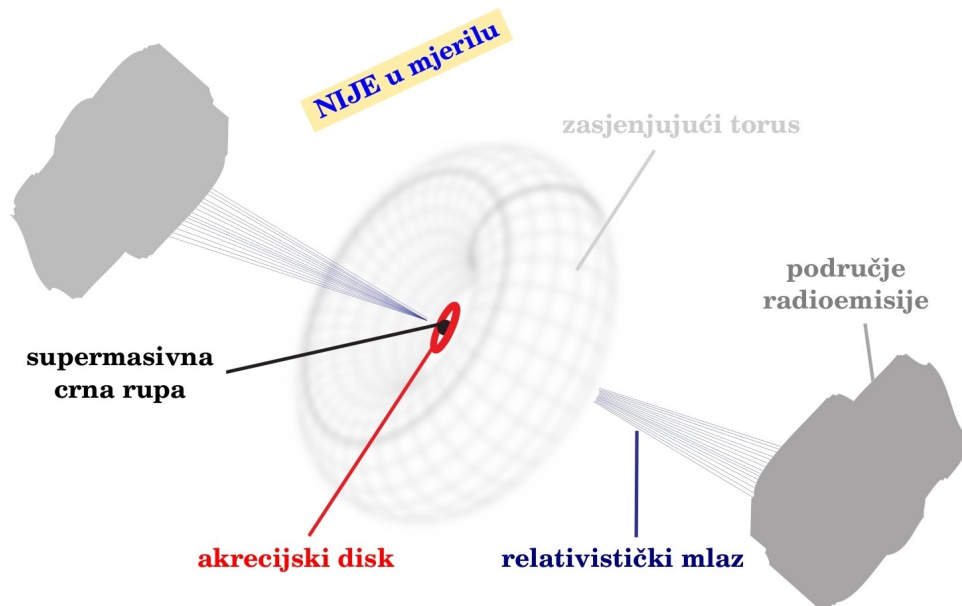
Supermasivna crna rupa u središtu

Danad je općeprihvaćena pretpostavka da su sve aktivne galaktičke jezgre pogonjene supermasivnom crnom rupom koja je smještena u središtu. Mase takvih crnih rupa kreću se od deset milijuna (10^7) do deset milijardi (10^{10}) masa Sunca. Inače, smatra se da skoro sve galaksije u svemiru (uključivo i naš Mliječni put) imaju u svojem središtu supermasivnu crnu rupu. No, nisu sve galaksije, na našu sreću, aktivne.

Zapravo, većina aktivnih galaksija je vrlo daleko od nas. Nalaze se na takozvanim kozmološkim udaljenostima (udaljenostima usporedivim s veličinom svemira): od pola milijarde godina svjetlosti, za najbliže blazare, do više milijardi godina svjetlosti za najudaljenije kvazare. To ujedno znači da je aktivnost u jezgri potječe iz rane faze razvoja svemira. Istraživanje aktivnih galaktičkih jezgara tako je direktno povezano s kozmologijom - znanostu koja se bavi nastankom, strukturom i razvojem svemira.

Crna rupa se, najčešće, opisuje kao područje prostora iz kojeg ništa, pa ni svjetlost, ne može pobjeći. Einsteinova opća teorija relativnosti, koja je između ostalog predvidjela i crne rupe, objašnjava to krajnjim deformiranjem prostora. Prema općoj teoriji relativnosti, masa savija okolni prostor (općenito prostor-vrijeme). U slučaju crne rupe, deformacija je takva da dio prostora biva izdvojen iz ostatka prostora, na neki način "odrezan" iz našeg svemira. Veličina područja "bez povratka" ovisi o masi crne rupe, a omeđuje ga zamišljena sfera koju nazivamo horizontom događaja.

Supermasivna crna rupa ima horizont događaja velik barem kao naše Sunce (u najmasivnijem slučaju i mnogostruko veći). Za usporedbu, akrecijski disk velik je poput Plutonove orbite, torus poput udaljenosti do najbliže susjedne zvijezde, a mlaz kao debljina središnjeg dijela naše galaksije.



Crtež osnovnih komponenti aktivne galaktičke jezgre. Ako je jedan od dvaju mlazova usmjeren prema Zemlji radi se o blazaru, najčešćem izvoru visokoenergijskih kozmičkih gama-zraka.

Dario Hrupec, Institut Ruđer Bošković

Kako nastaju visokoenergijske gama-zrake?

Za interpretaciju astronomskog opažanja potrebno je utvrditi odgovarajuće mehanizme zračenja, odnosno razumjeti procese u kojima je zračenje nastalo. U slučaju visokoenergijskih gama-zraka iz aktivnih galaktičkih jezgara očito je da se ne radi o termičkim procesima kao u običnim zvijezdama poput Sunca. Gama-zrake vrlo visokih energija (>100 GeV, više od sto milijardi puta energetskije od vidljive svjetlosti) ne nastaju na takav način. No, poznati su razni drugi mehanizmi kojima se fotoni najviših energija mogu stvarati. Na primjer, raspadom egzotičnih (još neotkrivenih) čestica velike mase ili procesima koji uključuju ubrzanje nekih nabijenih čestica. Scenarij s ubravanjem nabijenih čestica dobro opisuje nastanak visokoenergijskih gama-zraka u mlazovima aktivnih galaktičkih jezgara. Postoje dvije klase modela: hadronski i leptonski. Leptonski je zasad nešto uspješniji, ali hadronski još uvijek nije isključen.

Hadronski modeli predviđaju ubrzavanje protona u mlazu aktivne galaktičke jezgre do fantastičnih energija od čak 10^{20} eV. Pojedini foton vidljive svjetlosti ima energiju od približno 1 eV. 10^{20} je sto puta “milijardu milijardi” odnosno sto trilijuna. Proton s tako velikom energijom može stvoriti gama-zraku na različite načine. Jedan od načina je sudar s drugim protonom iz okolne tvari pri čemu nastaju visokoenergijski pioni (jedna kratkoživaća vrsta čestica). Neutralni pioni brzo se raspadaju na dva fotona. Usput, raspadom nabijenih piona nastaju, između ostalog, neutriini čija bi usporedna detekcija iz istog izvora mogla potvrditi hadronske modele.

Leptonski modeli opisuju nastanak gama-zraka pomoću visokoenergijskih elektrona. Elektroni u mlazu emitiraju sinkrotronsko zračenje – fotone u području od optičkog do rentgenskog dijela spektra. Drugi elektroni iz iste populacije mogu se “sudariti” s tim fotonima. Takvu interakciju nazivamo inverznim Comptonovim raspršenjem. Kao rezultat, visokoenergijski elektron preda značajan dio svoje energije niskoenergijskom fotonu pa stvori visokoenergijski foton odnosno gama-zraku. Leptonski model stoga predviđa da varijacije u intenzitetu opaženih rentgenskih zraka i gama-zraka budu korelirane. Takve su korelacije potvrđene u brojnim slučajevima.

Za konačan izbor odgovarajućeg modela potrebna su opažanja u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra sa što boljim vremenskim i prostornim razlučivanjem. To je izvan granica mogućnosti postojećih instrumenata. Međutim, nove generacije različitih teleskopa mogle bi uskoro doseći potrebnu osjetljivost. U visokoenergijskom gama-području najveću perspektivu ima budući niz Čerenkovljevih teleskopa (CTA, Cherenkov Telescope Array). Opažanja CTA, u kombinaciji sa simultanim opažanjima na drugim valnim duljinama, trebala bi dovesti do ključnog napretka u razumijevanju aktivnih galaktičkih jezgara.