

EGZOTIČNI KOZMIČKI IZVORI

dr. sc. Dario Hrupec

Četvrti, završni, članak iz ciklusa “Izvori visokoenergijskih kozmičkih gama-zraka” posvetio sam egzotičnim kozmičkim izvorima. Za razliku od izvora o kojima sam ranije pisao (aktivnim galaktičkim jezgrama, provalama gama-zraka te ostacima supernova i pulsarima) ovi su izvori hipotetski. Predviđeni su teorijom i za njima se traga, no nije sigurno da postoje. S obzirom da su na granici znanosti i znanstvene fantastike o njima sam govorio na nedavnoj konferenciji znanstvene fantastike, Eurocon/SFeraKon 2012, održanoj u Zagrebu (predavanje “Nove astronomije”). Govorio sam o njima i na nedavnoj Popularnoj srijedi Zagrebačke zvjezdarnice (predavanje “Egzotični kozmički izvori”). Ovdje ću pokušati prepričati ta predavanja i detaljnije objasniti što su to topološki defekti, tamna tvar i primordijalne crne rupe – izvori koje pokušavamo opaziti posredno kroz visokoenergijske kozmičke gama-zrake.

Hipotetski kozmički izvori

Egzotični kozmički gama-izvori potencijalni su izvori visokoenergijske gama-astronomije. Možda postoje, a možda i ne. Uglavnom, predviđeni su nekim teorijskim modelima i za njima se eksperimentalno traga. Nastanak kozmičkih gama-zraka (fotona najviših energija) usko je povezan s nastankom kozmičkih zraka (nabijenih čestica koje dolaze iz svemira: protona, alfa-čestica ili težih atomskih jezgri). Modeli koji relativno uspješno opisuju nastanak visokoenergijskih kozmičkih zraka temelje se na akceleracijskim procesima odnosno procesima ubrzavanja čestica u poljima. Takve modele nazivamo “bottom-up” modelima, što znači od dna prema gore. Čestice kreću od energijskog dna te bivaju postepeno ubrzavane prema sve višim energijama. Većina visokoenergijskih kozmičkih zraka vjerojatno i nastaje akceleracijskim procesima.

No, postoji mogućnost stvaranja kozmičkih zraka najviših energija i na drukčiji način: takozvanim neakceleracijskim procesima odnosno kroz raspade nekih *egzotičnih*, teških čestica koje su izvan postojećeg standardnog modela čestica i sila. Modele koji opisuju takve raspade nazivamo “top-down” modelima, što znači od vrha prema dolje. Hipotetske, vrlo masivne čestice sadrže i veliku energiju (prema Einsteinovoj slavnoj formuli $E = mc^2$). Njihovim raspadima mogu nastati poznate sekundarne čestice koje odnose dio te velike energije u obliku kinetičke energije. Dakle, te novonastale čestice od svojeg samog početka imaju veliku energiju - “rađaju” se visokoenergijske. Drugim riječima, kreću od “vrha”. U procesima koji se dalje zbivaju, u interakcijama s drugim česticama, one tu energiju “gube” (ispravno je, zapravo, reći da predaju energiju okolini). Tako u energijskom smislu “idu prema dolje”.

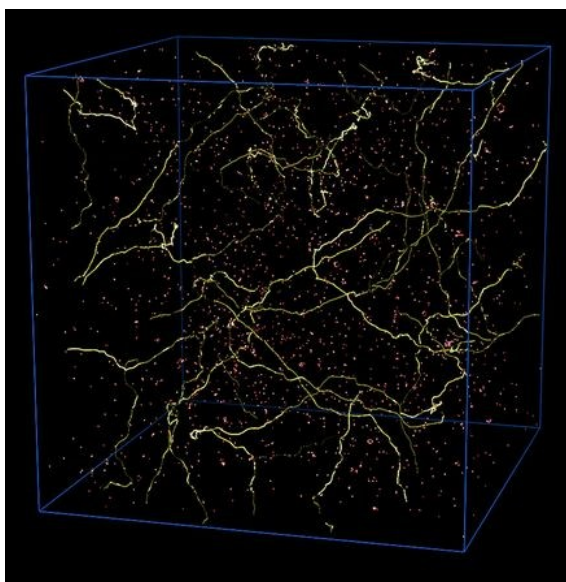
Te hipotetske masivne čestice predviđene su kao ostaci velikog praska. Prema nekim teorijskim modelima nastanak takvih čestica dogodio se u ranoj fazi razvoja svemira, neposredno nakon velikog praska. Zapravo, to i nisu uvijek čestice u onom uobičajenom smislu riječi. Zato ih općenitije nazivamo - strukturama. Opisat ću tri kategorije takvih struktura: topološke defekte, hladnu tamnu tvar i primordijalne crne rupe.

Topološki defekti

Topološki defekti su, jednostavnim riječima, pogreške u prostoru. Ili malo preciznije, anomalije u tkivu prostorvremena. Prostor obično zamišljamo kao potpuno odsustvo tvari, kao prazninu u koju se nešto može smjestiti. Takvu mentalnu sliku teško je nadograditi idejom mogućeg defekta. Kako “ništa” može imati defekt?

Bolje je prostor definirati naprosto kao svojstvo svemira. Taj je prostor, barem na našoj skali, homogen i izotropan. Homogenost znači da u svim točkama ima ista svojstva. Ni jedna translacija (pomak po pravcu za neki put) neće nas dovesti u drukčiji prostor. Izotropnost pak znači da prostor u svim smjerovima ima ista svojstva. Ni jedna rotacija (vrtnja oko osi za neki kut) neće promijeniti ta svojstva. E sad, topološki defekti narušavaju homeogenost i izotropnost. Za neke pomake i za neke rotacije svojstvo (praznog dijela) svemira ipak će se promijeniti, ako postoje topološki defekti.

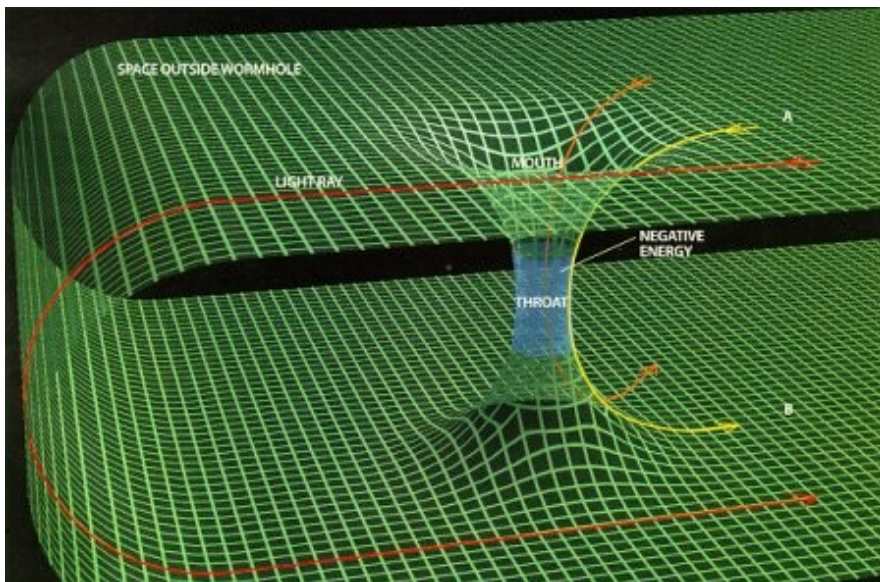
Nekoliko je različitih vrsta topoloških defekata. Te su vrste povezane s dimenzijama prostora, a njihov nastanak sa simetrijama. Točkaste ili bezdimenzijske defekte nazivamo magnetskim monopolima. Već se u osnovnoj školi uči da magnetski monopoli (samostalni, razdvojeni magnetski polovi) ne postoje. U to se lako možemo uvjeriti iz iskustva. Prelomimo li magnet, svaka polovica opet ima svoj sjeverni i južni pol. Ne možemo odvojiti sjeverni pol od južnog. Nikom to nije uspjelo, niti je tako nešto nađeno u prirodi. Međutim, neki modeli predviđaju da su u ranoj fazi nastanka svemira morale nastati anomalije takve vrste – magnetski monopoli – točke u prostoru koje se ponašaju kao samostalni magnetski polovi ili magnetski naboji. Primjerice, teorije superstruna i teorije velikog ujedinjenja predviđaju takve egzotične objekte. Njihov nastanak povezan je s lomljenjem sferne simetrije (simetrije s obzirom na rotaciju oko točke). Lomljenje simetrije je iznimno važan koncept u teorijskoj fizici. Ono je pak povezano s takozvanim faznim prijelazima – pojavama naglih promjena stanja sustava.



Kozmičke strune su jednodimenzijski topološki defekti koje možemo zamisliti kao iznimno dugačke i tanke pukotine u tkivu prostorvremena.

Linijske ili jednodimenzijske defekte nazivamo kozmičkim strunama. Valja odmah reći da to nisu one strune iz teorije superstruna. Kozmičke strune su ogromne u jednoj od dimenzija. Njihova duljina može se mjeriti svjetlosnim godinama. S druge strane, nezamislivo su tanke. Njihova debljina iznosi 10^{-31} m. To je otprilike onoliko puta manje od atomske jezgre koliko je puta atomska jezgra manja od čovjeka. Masa kozmičke strune je ogromna – iznosi otprilike 10 milijuna masa Sunca po svjetlosnoj godini duljine. To je stvarno egzotični objekt. Nastanak kozmičkih struna povezan je s lomljenjem osne ili aksijalne simetrije (simetrije s obzirom na rotaciju oko osi). Možda najzanimljivije predviđanje vezano uz kozmičke strune je ono koje se tiče putovanja kroz vrijeme. Naime, kozmičke strune mogle bi poslužiti za realizaciju vremenskog stroja. Neke teorije predviđaju da bi se pomoću kozmičkih struna mogle ukrotiti crvotočine – prečice kroz prostorvrijeme.

Konačno, treća vrsta topoloških defekata su plošni ili dvodimenzijski defekti koje nazivamo domenskim zidovima. Takvi defekti također su predviđeni teorijom superstruna kao dvodimenzijska singularnost. Domenske zidove si donekle možemo predočiti jednom analogijom iz područja magnetizma. Na mikroskopskom nivou postoje takozvane magnetske domene, područja u kojima su najmanji magneti orijentirani svi u istom smjeru. Granica magnetskih domena predstavlja nagli dvodimenzijski prijelaz koju u magnetizmu donekle dočarava ono što u svojstvima praznog prostora predstavlja domenski zid. Nastanak domenskog zida povezan je s lomljenjem diskretne simetrije (simetrije koja nije kontinuirana).



Ako postoje i ako se mogu uhvatiti, kozmičke strune bi mogle poslužiti da crvotočinu drže otvorenom što bi, u načelu, omogućilo posebnu vrstu putovanja kroz prostorvrijeme – onu vrstu putovanja koja se u znanstvenofantastičnim pričama ostvaruje vremenskim strojem.

Tamna tvar

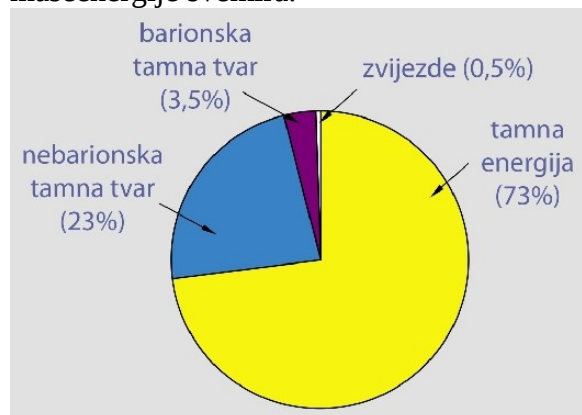
Tamna tvar je trenutno nepoznata vrsta tvari za koju se pretpostavlja da odgovara većini mase u svemiru. Ona djeluje gravitacijski jer ima masu, ali ne djeluje elektromagnetski pa se ne može izravno vidjeti teleskopom. Tamna tvar jedna je od najvažnijih tema današnje astronomije, kozmologije pa i cijele fizike.

Zašto se uopće pretpostavlja tamna tvar? Spoznali smo, naime, da je tek mali dio svemira građen od tvari koju poznajemo. Na zvijezde, poput našeg Sunca, otpada svega 0,5% svemira. Zanimljivih pola posto. Sva barionska tvar (tvar građena protona, neutrona i drugih poznatih bariona) čini najviše 4% svemira. Richard Panek napisao je sjajnu knjigu “4% svemira” koja bi se uskoro mogla pojaviti i u hrvatskom prijevodu. Otprilike četvrtina svemira građena je od tvari čiju prirodu ne poznajemo i koju nazivamo nebarionskom tamnom tvari. Čak tri četvrtine u ukupnom sastavu svemira čini tamna energija. O njezinoj prirodi još manje znamo. Vjerojatno je odgovorna za fascinantnu činjenicu ubrzanog širenja svemira, za čije je otkriće dodijeljena Nobelova nagrada za fiziku za 2011. godinu.

Dakle, dobro je utvrđeno da postoji veliki dio građe svemira čiji utjecaj opažamo, ali čiju prirodu još ne poznajemo. Taj dio materijeenergije odgovoran je, primjerice, za formiranje velikih struktura u svemiru: galaksija, skupova galaksija i superskupova galaksija. Ako ga ne uzmemo u obzir ne možemo razumijeti kako se razvijao svemir i što možemo očekivati u budućnosti. Daljnja razmatranja ograničit ću na tamnu tvar, štoviše na hladnu tamnu tvar. Inače, vruća tamna tvar bila bi tamna tvar sastavljena od čestica koje se gibaju brzinama usporedivima s brzinom svjetlosti u vakuumu. S druge strane, hladna tamna tvar odgovara tamnoj tvari sastavljenoj od čestica koje se gibaju brzinama puno manjim od brzine svjetlosti u vakuumu. Neki od primjera hladne tamne tvari su čestice WIMP, objekti MACHO te primordijalne crne rupe.

Jedan od potencijalnih kandidata za nebarionsku tamnu tvar je WIMP. Akronim je izveden iz engleskog naziva “Weakly Interacting Massive Particle”, što znači “masivna čestica slabog međudjelovanja”. WIMP je, dakle, čestica velike mase koja, međutim, međudjeluje iznimno slabo. Zapravo, međudjeluje s barionskom tvari isključivo gravitacijski. Najbolji kandidat za WIMP je neutralino, hipotetska čestica koja je proizašla iz koncepta supersimetrije (skraćeno SUSY od engleske riječi SUperSYmmetry). Neutralino je najlakša supersimetrična čestica, a njezina masa (pomnožena s kvadratom brzine svjetlosti) je predviđena u području energija između 10 GeV i 10 TeV. Nadalje, teorija predviđa moguću anihilaciju neutralina, proces u kojem mogu nastati dvije visokoenergijske gama-zrake. Čerenkovljevi teleskopi poput teleskopa MAGIC na La Palmi, s druge strane, osjetljivi su upravo u tom energijskom području. Dakle, ako postoje kozmički izvori u kojima je anihilacija neutralina dovoljno učestala, onda bi se neutralino mogao indirektno opaziti Čerenkovljevim teleskopima.

Drugi kandidat za tamnu tvar, ovaj put barionsku, je MACHO. Akronim je izveden iz engleskog naziva “Massive Compact Halo Object”, što znači “masivni kompaktni objekt iz haloa”. Misli se na galaktički halo, ogromno kuglasto područje koje se proteže daleko izvan vidljivog dijela svake galaksije. MACHO na engleskom znači muškarčina, što je namjerno odabrano kao suprotnost od WIMP (što znači slabić, mlitavac ili mlakonja). MACHO nisu čestice nego objekti poput crnih rupa, smeđih patuljaka ili pak neutronske zvijezde koje su dovoljno usporile svoju rotaciju da više ne pogone zračenje okolne maglice. MACHO prilično vjerojatno postoji samo što ne znamo u kojoj mjeri doprinosi masi haloa. No, kako stvari sada stoje, MACHO može biti odgovoran tek za mali dio ukupne tamne tvari jer ulazi u onih 3,5% ukupne mase energije svemira.



Većina svemira građena je od tvari i energije potpuno nepoznate prirode. Sve zvijezde u svim galaksijama čine tek pola posto ukupne mase energije.

Primordijalne crne rupe

Još jedan kandidat za barionsku tamnu tvar su primordijalne crne rupe. To su mikroskopske crne rupe koje su mogle nastati u ranoj fazi razvoja svemira, u doba prije nukleosinteze (procesa nastanka atomskih jezgara). Zbog pojave “isparavanja” crnih rupa kroz Hawkingovo zračenje, neke od tih primordijalnih crnih rupa mogle bi se opaziti u današnje doba – opet indirektno kroz detekciju visokoenergijskih kozmičkih gama-zraka.

Prema uobičajenom opisu, crna rupa je područje prostorvremena u kojem je gravitacija toliko jaka da ništa što uđe u to područje, pa čak ni svjetlost, ne može iz nje više izaći. Dva su pojma ključna za razumijevanje crnih rupa: prostorvrijeme i gravitacija. Prostor i vrijeme su, inače, temeljni koncepti o kojima moderna fizika ima puno toga za reći. No, za ovu svrhu najvažnije je naglasiti da su prostor i vrijeme neraskidivo povezani pa zato govorimo o prostorvremenu. Radna definicija prostorvremena mogla bi biti: svojstvo svemira. Gravitacija je pak prirodna pojava privlačenja fizičkih tijela zbog njihovih masa. Masa je mjera za tromost, a tromost svojstvo tijela zbog kojeg se opire promjeni gibanja. Uglavnom, izvor gravitacije je masa, a najbolja postojeća teorija gravitacije je Einsteinova opća teorija relativnosti. U ovom kontekstu je najvažnije reći da masa zakrivljuje prostor ili preciznije: masaenergija određuje prostorvremenu kako se zariviti. S druge strane, prostorvrijeme određuje masienergiji kako se gibati. Konačno, crna rupa je ekstremno zakrivljeni dio prostorvremena, do te mjere da je odvojen od ostatka svemira.

Crne rupe veće mase imaju, grubo govoreći, veći doseg djelovanja. Fizičari obično govore o Schwarzschildovom polumjeru koji određuje sferu horizonta događaja. To nije fizička granica nego naprosto granica prostora koja omeđuje područje iz kojeg nema povratka. Schwarzschildov polumjer izravno je proporcionalan masi crne rupe.

Na samom rubu horizonta događaja javlja se zanimljiva pojava. Jedna od dviju čestica (čestica ili antičestica) nastalih kvantnim fluktuacijama može proći horizont događaja prema crnoj rupi. Pošto iz unutrašnjosti horizonta događaja nema povratka, onda čestica koja je ostala vani nema više svoj par za anihilaciju i vraćanje energije “posuđene” kvantnom fluktuacijom. Takva čestica, iz virtualne, postaje realna (ili stvarna) čestica. Energija koju ta čestica nosi nije došla niotkuda. Za točno taj iznos smanjila se energija crne rupe. Prema zakonu očuvanja energije, čestica koja je upala u crnu rupu nosi negativnu energiju istog iznosa. Tako se energija (odnosno, njezin ekvivalent – masa) crne rupe smanjuje. Mnoštvo kvantnih fluktuacija na horizontu događaja, konačno, rezultira “isparavanjem” crne rupe. Stoga, ako crna rupa ne prima masu iz svoje okoline (usisavanjem okolne tvari) onda se zbog isparavanja s vremenom smanjuje i konačno iščezava.

Smanjivanje mase crne rupe je tim brže što je crna rupa manja. Za crne rupe zvjezdane mase, nastale eksplozijama supernova, potpuno isparavanje trajalo bi puno dulje od starosti svemira. Drugim riječima, gubitak mase velikih crnih rupa kroz Hawkingovo zračenje neće biti opaziv stotinama milijardi godina. S druge strane, vrlo male crne rupe isparile bi praktički odmah. Osim toga, završna faza isparavanja crne rupe, predviđa teorija, mora biti popraćena snažnim bljeskom gama-zračenja. Primordijalne crne rupe koje bi dosegle završnu fazu baš u naše vrijeme morale su imati početnu masu od približno 100 milijuna tona (kao jedan veći asteroid). Takva crna rupa imala bi promjer od svega 10^{-15} m (baš kao atomska jezgra). Ako takve primordijalne crne rupe zaista postoje, njihov završni bljesak Hawkingovog zračenja mogao bi se opaziti Čerenkovljevima teleskopima. Zasad nisu opažene, ali se za njima i dalje traga.



Stephen Hawking predvidio je još 1974. godine, kvantnu pojavu “isparavanja” crnih rupa što danas nazivamo Hawkingovim zračenjem. Pojava je potpuno zanemariva za velike crne rupe, ali je iznimno važna za vrlo male crne rupe. Ako postoje primordijalne crne rupe, neke od njih trebale bi nestajati u snažnom bljesku gama-zračenja.

Zaključak

Većina ovih ideja vjerojatno nije realizirana u stvarnosti. Za egzotičnim izvorima visokoenergijskih kozmičkih gama-zraka se traga, no ta potraga zasad nije dala pozitivnih rezultata. Međutim, to je uobičajeno u znanosti. Znanstvenici uvijek kreću od pretpostavki, pokušavaju ih potvrditi i ako ne uspiju onda korigiraju svoje pretpostavke i kreću iznova. Rijetki su pokušaji koji odmah daju izravnu potvrdu. Većinom saznajemo da čak nismo ni na dobrom tragu. Ipak, znanstvena metoda je najbolja metoda koju danas imamo za pronalaženje objektivne istine o svijetu koji nas okružuje.

Ako se tek i mali dio ovih ideja o egzotičnim izvorima pokaže opravdanim, bit će to sigurno nova revolucija u razumijevanju svemira. Francis Bacon je, još 1620. godine, u svojoj knjizi *Novum organum scientiarum* (*Novi kanon znanosti*) pokazao da do novih znanja možemo doći jedino ako se hrabro otisnemo u nova, neistražena područja. Znanstvena metoda, poput modernog GPS-uređaja na starom jedrenjaku, neprestano korigira naše pretpostavke i vodi nas kroz nepoznato prema novim spoznajama.



Naslovnica knjige *Novum organum scientiarum* (Novi kanon znanosti) Francisa Bacona prikazuje jedrenjak koji prolazi između mitoloških Heraklovih stupova i odlazi u neistraženi svijet. Latinski tekst ispod jedrenjaka “Multi pertransibunt & augebitur scientia” znači “mnogi će proći i znanje će rasti”.