

Temni tok?

Janez Strnad

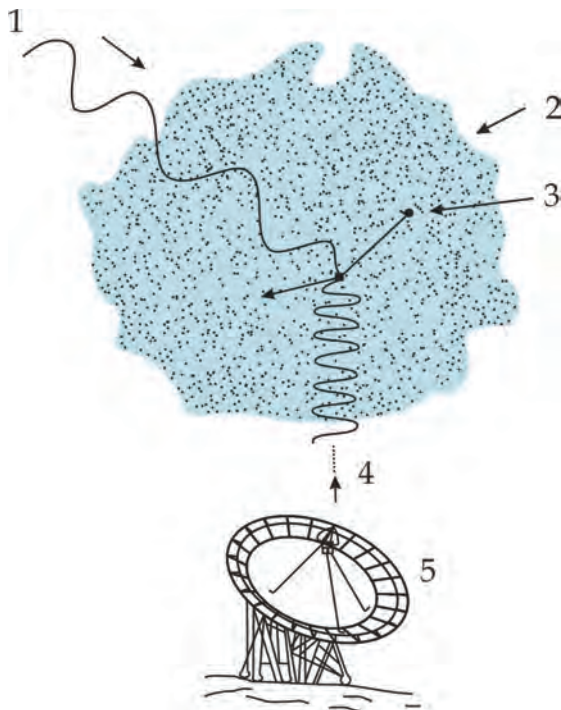
Ali se zelo oddaljene jate galaksij v vesolju na velikih razsežnostih gibljejo urejeno? Ali je *temni tok*, kakor pravijo temu gibanju, ob temni snovi in temni energiji tretja »temna« uganika v vesolju?

Temna snov, ki je za 22 odstotkov snovi v vesolju, deluje z gravitacijo na navadno snov in svetlobo. Temna energija, katere masa ustreza 74 odstotkom snovi v vesolju, poganja pospešeno širjenje vesolja. Ne vemo, kaj sestavlja prvo in drugo.

Veliko podatkov o vesolju so dala opazovanja *prasevanja*. To je elektromagnetno valovanje, ki je ostalo od gostega elektro-

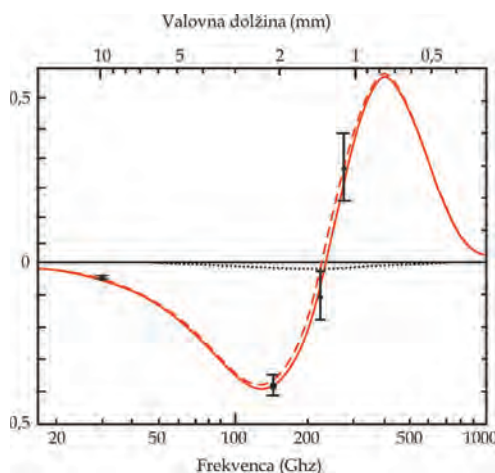
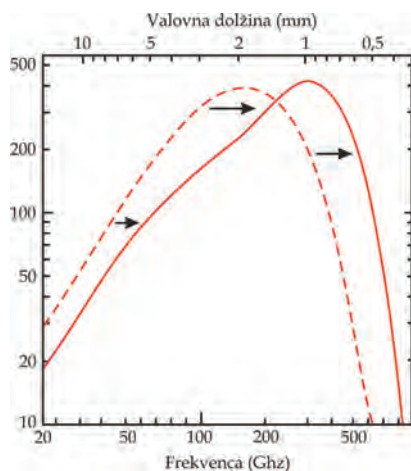
magnetnega valovanja iz zgodnjega obdobja vesolja. Sprva gosta snov v vesolju iz pozitivno in negativno nealektrenih delcev ni prepuščala svetlobe. Nekako 380 tisoč let po začetku širjenja pa se je vesolje ohladilo do približno tri tisoč stopinj in so se elektroni in ioni postopno vezali v atome. Odtlej je vesolje »prozorno« za elektromagnetno valovanje. Pred tem sta bila snov in sevanje v ravnovesju, tako da je šlo za *sevanje črnega telesa*. Zaradi širjenja vesolja se je odtlej temperatura sevanja močno znižala, a je ostalo črno. Zdaj sestavljajo to prasevanje *mikrovalovi* z valovno dolžino od dela milimetra do več centimetrov. Nekateri astrofiziki glede te lastnosti vesolja primerjajo z ogromno mikrovalovno pečico. Prasevanje je podrobno preiskalo več raziskovalnih

skupin, med njimi skupini ob umetnem satelitu COBE in vesoljski sondi WMAP. Ugotovile so, da je prasevanje, ki mu v povprečju ustreza temperatura 2,725 stopinj nad absolutno ničlo, zelo enakomerno, a da se v njem javljajo majhni odmiki od povprečja, *fluktuacije*, ki ustrezajo stotisočinam stopinje.



Pojav Sunjajeva-Zeljdoviča shematično: foton v prasevanju (1) na poti iz vesolja v oblaku (2) v jati galaksij ob trku s hitrim elektronom (3) pridobi energijo. Mikrovalove (4) s povečano frekvenco in zmanjšano valovno dolžino sprejme radijska antena (5).

Risba po predlogi: Janja Benedik.



Črtkana krivulja kaže spektralno gostoto mikrovalov pred prehodom skozi oblak, sklenjena pa po prehodu (levo). Spektralna gostota je porazdelitev gostote energijskega toka po frekvenci (spodnja os v GHz, gigahertz je milijarda nihajev na sekundo) in po valovni dolžini (zgornja os v milimetrih). Razlika obeh pri frekvenci 217 GHz in valovni dolžini 1,4 milimetra spremeni znak (desno). Na navpično os je nanesena spektralna gostota svetlosti v enotah 10^{-20} vata na kvadratni meter, hertz in steradian. Neposredno lahko pojav Sunajeva-Zeljdoviča zasledujemo na spletu, če v Googlu poiščemo naslov Animation of the Sunyaev-Zel'dovich effect. *Risba po predlogi: Janja Benedik.*

Gravitacija v vesolju veže galaksije v *jate*. Masa nekaterih od njih doseže do sto tisoč mas naše Galaksije. Gravitacijsko polje galaksij veže sredi jate oblak zelo razredčenega plina z maso do četrte mase jate. Svetloba zvezd ionizira plin v oblaku, da nastane plazma elektronov in ionov. Temperatura elektronov doseže več deset milijonov stopinj. Hitri elektroni se zavirajo v polju pozitivno naelektrenih ionov in pri tem sevajo rentgensko svetlobo. Sevanje je tem močnejše, čim večja je gostota elektronov, in sicer je štirikrat večje, če je gostota dvakrat večja. Po tem rentgenskem sevanju umetni rentgenski sateliti zaznavajo jate.

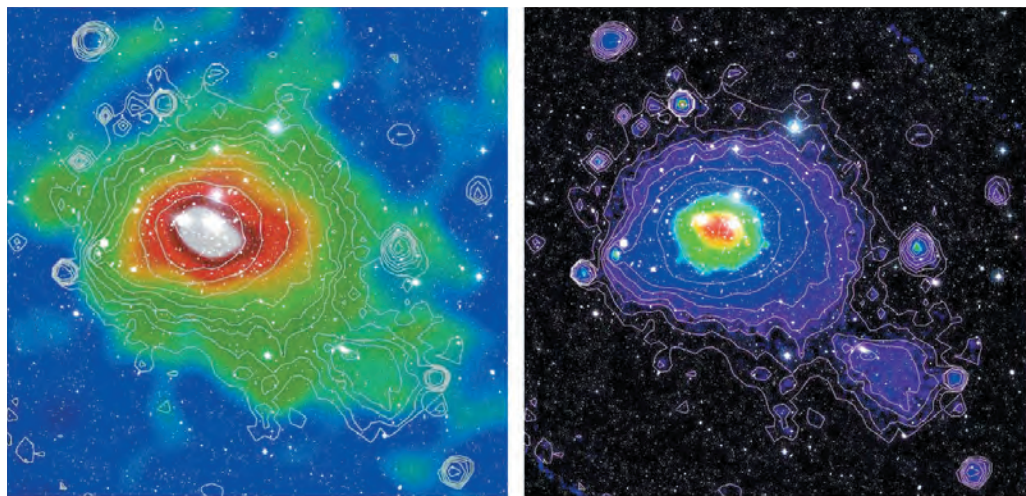
Ruski fizik beloruskega rodu Jakov Zel'dovič (1914 do 1987) in njegov študent uzbeškega rodu Rašid Sunajev (rojen 1943)¹ sta raziskovala fluktuacije v prasevanju zaradi majhnih neenakomernosti v gostoti snovi v

mladem vesolju. Leta 1970 sta opisala *pojav Sunajeva-Zeljdoviča*. Do tega pojava pride pri prehodu prasevanja skozi jato galaksij. Hitri elektroni v oblaku z visoko temperaturo delujejo na prasevanje z veliko nižjo temperaturo. Foton v prasevanju trči s hitrim elektronom in v povprečju na njegov račun pridobi nekaj energije.

Pri tem se fotonu poveča energija in z njo frekvenca. Zaradi tega je v prasevanju, ki gre skozi oblak elektronov v jati galaksij, nekaj sevanja z večjo frekvenco – manjšo valovno dolžino – več, a nekaj sevanja z manjšo frekvenco – večjo valovno dolžino – manj. Meja med obema območjema je pri frekvenci 217 milijard nihajev na sekundo, ki ji ustreza valovna dolžina 1,4 milimetra. Gostota energijskega toka v prasevanju iz smeri jate nad to valovno dolžino se nekoliko pomanjša, pod njo pa nekoliko poveča.

Pojav Sunajeva-Zeljdoviča je tem izrazitejši, čim večja je gostota elektronov v oblaku in je pri dvakrat večji gostoti dvakrat izra-

¹ Sunajev deluje danes v Rusiji in vodi inštitut Maxa Plancka za astrofiziko v Garchingu v Nemčiji. Letos so mu Japonci podelili kiotsko nagrado za astrofiziko.



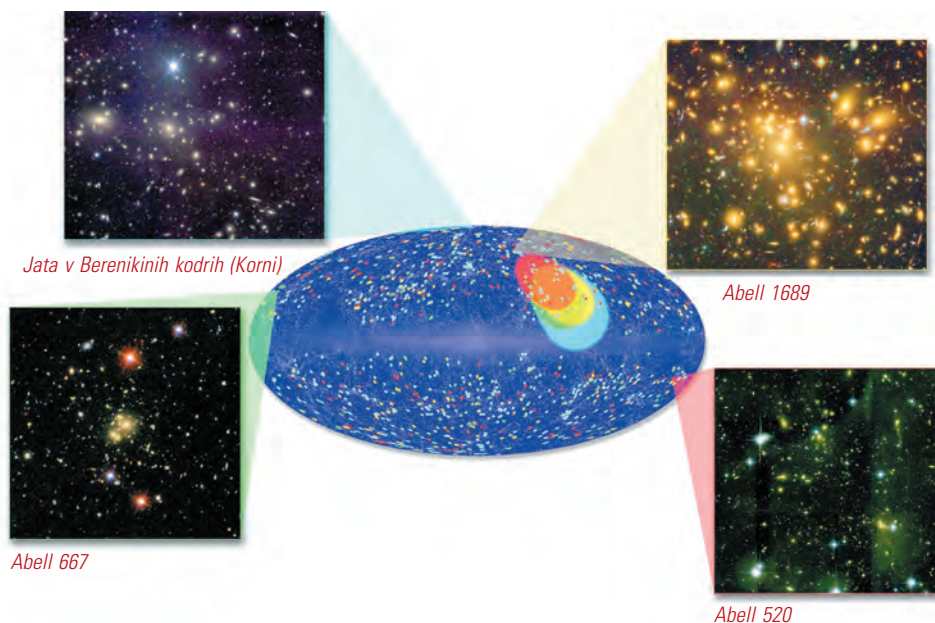
Črte povezujejo točke na nebu z enako gostoto energijskega toka mikrovalov, ki so šli skozi jato galaksij v Berenikinih kodrih (Komi). Podložena je slika tega dela neba v vidni svetlobi v nepravilnih barvah (levo). Črte povezujejo točke na nebu z enako gostoto energijskega toka rentgenske svetlobe (desno). Mikrovalove je zaznal rentgenski observatorij Planck, ki ga je Evropska vesoljska agencija izstrelila v vesolje leta 2009, rentgensko svetlobo pa na nemški satelit Rosat, ki je deloval med letoma 1990 in 1999.

zitejši. Zato je pojav izrazitejši v zunanjih redkejših delih oblaka, medtem ko zavorno sevanje prihaja predvsem iz osrednjih gostejših delov oblaka. Valovna dolžina rentgenskega zavornega sevanja iz jate galaksij je zaradi širjenja vesolja premaknjena proti rdečemu delu spektra. Na pojav Sunjajeva-Zeljdroviča, pri katerem opazujemo le nekakšno senco jate v prasevanju, pa širjenje vesolja ne vpliva. Pojav so prvič zanesljivo zaznali šele leta 1984 s štiridesetmetrsko paraboloidno radijsko anteno.

Ponavadi sevanju iz določene smeri priredijo temperaturo, ki ustreza gostoti energijskega toka v sevanju črnega telesa. Povečanju valovne dolžine ustreza za kako tisočino stopinje nižja temperatura, pomanjšanju pa toliko višja. Po takih malenkostnih spremembah temperature, ki jo ugotovijo v prasevanju iz smeri jate, je mogoče raziskovati oblake v jatah galaksij in s tem tudi jate. Prasevanje, ki je šlo skozi jato, primerjajo s podatki o rentgenski svetlobi te jate. Po pojavu Sunjajeva-Zeljdroviča je mogoče

zasledovati gibanje jate galaksij prečno na smer prasevanja. To gibanje vpliva na smer prasevanja, ki gre skozi jato in ki ga zaznajo na Zemlji. Po malenkostnih spremembah v prasevanju je mogoče po primerjavi z rentgenskim sevanjem jate ugotoviti prečno hitrost jate. Pojav je neizrazit in merjenje pri opazovanju posamezne jate nenatančno. Če pa se sosednje jate gibljejo ubrano, se napake pri merjenju med seboj delno izravnavajo in je mogoče meriti natančneje.

Opisanega merjenja so se lotili Alexander Kashlinsky, Fernando Atrio - Barandela, Dale Kocevski in Harald Ebeling. Kashlinsky je član Centra za vesoljske polete NASA v Greenbeltu v zvezni državi Maryland, Atrio - Barandela univerze v Salamanci v Španiji (katere član je bil prej Kashlinsky), Ebeling univerze na Havajih, Kocevski je bil njegov podiplomski študent, zdaj pa je član Kalifornijske univerze v Davisu. Jeseni leta 2008 so objavili članek *Merjenje lastnih hitrosti jat galaksij na velikih razdaljah, rezultati in kozmološke posledice*.



Jate galaksij v galaktičnem koordinatnem sistemu. Elipsa zajame ves nebesni obok. Velika os ustreza galaktični ravnini, to je ravnini Rimske ceste, središče elipse pa smeri proti središču Galaksije v ozvezdju Strelca. V smeri velike osi elipse nanašamo proti vzhodu galaktično dolžino, v smeri male osi pa na obe strani galaktično širino. Barvna pika kaže položaj jate na nebu. Jate so po oddaljenosti razdelili v štiri skupine. Barva je tem bolj rdeča, čim večja je oddaljenost jate. Ustrezno obarvane lise nakazujejo smer osi domnevnega temnega toka za posamezne skupine. Štiri obrobne fotografije kažejo značilne jate iz štirih skupin v vidni svetlobi.

dice. V njem so poročali o raziskavi pojava Sunjajeva-Zeljdoviča na podlagi triletnih podatkov WMAP in obsežnega seznama rentgenskega sevanja jat galaksij. Glavnino dela so opravili računalniki. Preiskali so sedemsto jat in ugotovili, da se jate v veliki oddaljenosti s hitrostjo 600 do 1000 kilometrov na sekundo gibljejo po osi, ki kaže proti točki med ozvezdjema Kentaver in Jadro na južnem nebu. Kashlinsky je izjavil: »Zaznavamo gibanje po tej osi, za zdaj pa se po naših podatkih ne moremo tako trdno odločiti, kot bi se radi, ali gre od nas ali proti nam.« Ne glede na smer se ubrano gibanje jat na velikih razsežnostih ne ujema z obstoječim modelom, po katerem je vesolje na velikih razsežnostih v vseh delih in v vseh smereh enako. Leta 2008 se je oglašil Edward L. Wright, češ da so Kashlinsky in sodelavci uporabili sporen način. Leta 2009

je Ryan Keisler menil, da je obstoj temnega toka sporen, ker niso v celoti upoštevali fluktuacij v prasevanju.

Leta 2010 je skupina Kashlinskega, ki se ji je pridružil A. Edge z univerze v angleškem Durhamu, objavila članek *Novo merjenje velikega toka jat galaksij, ki sevajo rentgensko svetlobo*. V njem so zajeli petletne podatke WMAP in upoštevali več kot tisoč jat do oddaljenosti 2,5 milijarde svetlobnih let. Jate so po oddaljenosti razdelili v štiri skupine in vsako od skupin obravnavali posebej. Ugotovili so, da so se med skupinami sicer pojavile razlike, da pa so se skupine glede gibanja okvirno ujemale. Kashlinsky je priznal: »Na tej točki nimamo dovolj podatkov, da bi vedeli, za kaj gre ali da bi določili meje. Z gotovostjo lahko rečemo samo, da je nekje zelo daleč svet, zelo drugačen od tistega okoli nas.«



Na visoki planoti Chajnantor v Čilu Evropska organizacija za astronomska raziskovanja na južni polobli ESO sestavlja anteno ALMA. Poleti so na planoto pripeljali prvih dvanajst sedemmetrskih anten, štiri dvanajstmetrske so že bile tam. Taka bo ALMA, ko bo dokončana.

De-Chang Dai, William H. Kinney in Dejan Stojkovic z univerze v Buffalu so leta 2011 poročali o 557 supernovah 1a. Pri bližnjih supernovah so zasledili ubrano gibanje, bolj oddaljene kot 680 milijonov svetlobnih let pa so se gibale v vseh mogočih smereh in ne ubrano. Ta izid je nasprotoval ugotovitvam skupine Kashlinskega. Nazadnje so posvarili: »Toda prežgodaj je še in potrebna so nova merjenja, da bi temni tok dokončno ovrgli ali ne.«

Ob tem se spomnimo *Velikega atraktorja*, ki je zbudil pozornost leta 1973. Zagotavljali so, da se jate z maso več deset tisoč Galaksij v razdalji več sto milijonov svetlobnih let gibljejo v smer, ki se bistveno ne razlikuje od smeri temnega toka. Tedaj so mislili, da tam velika jata z gravitacijo privlači okolno snov in tudi našo Galaksijo. Leta 2006 se je pokazalo, da je masa ubrano se gibajočih jat desetkrat manjša in tudi oddaljenost omejena na 150 do 250 milijonov svetlobnih let. Pomislili so na možnost, da je tega kriva gravitacija zelo velike jate v večji oddaljenosti. V tem primeru bi atraktor lahko privlačila gravitacija še bolj oddaljene snovi?

Vprašanje o temnem toku je eno od odprtih vprašanj, pri katerih merjenje še ni dovolj

natančno, da bi dopuščalo trden odgovor. Med drugimi obeta natančnejše merjenje Atakamska velika milimetrska antena ALMA, ki jo mednarodna raziskovalna skupina postavlja v Čilu. V puščavi na višini 5000 metrov jo bo, ko bo dokončana, sestavljalo 64 velikih premičnih parabolidnih anten. Zaradi mirnega in suhega zraka bodo lahko zaznavali radijske valove z valovno dolžino navzdol do tretjine milimetra.

Razprava o temnem toku je zbudila teoretična razmišljanja, ki segajo celo do vzporednega vesolja. Vprašanja te vrste so izziv za raziskovalce in odgovori nanje utegnejo pripeljati do pomembnih ugotovitev o vesolju.

Literatura:

- Dark flow*, 2011: http://en.wikipedia.org/wiki/Dark_flow
 Kashlinsky, A., Atrio - Barandela, F., Kocevski, D., Ebeling, H., 2008: *A measurement of large-scale peculiar velocities of clusters of galaxies, results and cosmological implications. Astrophysical Journal*, 686: 49.
 Nath, B., 2008: *Sunyaev-Zeldovich effect. Shadows of the cosmic radiation. Resonance*, 13: 428.