

Kroz Einsteinov monokl¹

- Teleskop duga-ak 5 milijardi svetlosnih godina -

Aleksandar Bogojević

Sanjarenja

Tipi-na no} nad Beogradom. Jedva stotinjak zvezda se vidi na nebu. Pogled na njih vas ostavlja ravnodu{nim. Nema misterije, nema zova udaljenih svetova. Nehotice spu{tate pogled ka ble{tavom svetlucanju dalekih solitera. Prozai-no nadja-ava nebesko.

Planina. Dan je i punim plu}ima di{ete sve` vazduh koji vas okrepljuje. Postajete svesni poljskog cve}a, ptica, `ubora potoka. Vidici vam se {ire. Niste vi{e centar svog sveta. Dozvoljavate svojoj ma{ti da pogledom obuhvati ~itavu planetu. Tu smo svi, sve {to volimo.

No} bez meseca. Zaglu{uju}a ti{ina. Nad vama po-inje veli-anstvena predstava. Obucite se, hladno je. Ovde i dalje vladaju bogovi. Bezbroy zvezda treperi nad va{im glavama. Nekako intuitivno shvatate da ova si}u{na svetla ozna-avaju fantasti-no daleke svetove. Nebo je crno, onespokojavaju}e. Najednom, umiruje prijatna prozra-na belina nebeskog pla{ta - Mle-nog puta. Pod maj-inim ste skutom.

O-i vam se privikavaju na mrak i postajete svesni sve ve}eg broja zvezda. Suo-eni sa beskrajem primeti}ujete da i vreme gubi svoj prvobitni smisao. Hiljade godina postaju tek trenovi. Blazirani stanovnik velegrada i pastir iz jednog od anti-kih svetova postaju jedan. Mitovi tog pastira postaju va{i. U razme{taju najsajnijih zvezda o-i va{e ma{te vide otelotvorenje prastarih pri-a. U sjajnim svetlima {to krstare nebom prepoznajete bogove. Polako, ne trude}i se, uvodite red u beskrajni nebeski spektakl. Sa redom dolazi i sistemati-nost, spokojstvo. Vra}ate se u sada{nost, no ose}aji odu{evljenja, misterije i strahopo{tovanja vas ne napu{taju.

Pro{ireni vidici

[est hiljada zvezda. To je sve {to, pod najboljim uslovima, mo`ete videti golim okom. Uz izvestan broj izuzetaka to su ujedno i nama najbli`e zvezde - susedi od kojih nas deli manje od 100 svetlosnih godina. ^ak i prvi primitivni teleskop Galileia je otkrio neslu}eno bogatstvo do tada nevidjenih nebeskih objekata.

Kao alpinisti koji `ude da se popnu na sve vi{e vrhove i astronomi su se, uz pomo} sve ve}ih i savremenijih teleskopa, dali na posao da zavire {to dublje u svemir. Novi teleskopi su postali sve ve}i ne bi li uhvatili {to vi{e svetlosti. Optika je usavr{avana, a sa njom i rezolucija. Vremenom se pro{irio i deo spektra koji je bilo mogu}e posmatrati. Istovremeno, astronomi i njihovi teleskopi su se, ba{ kao alpinisti, penjali na sve vi{e planine be`e}i od uskovitlane atmosfere koja im je ote`avala posao. Kao samotnjaci be`ali su od gradova i svetlosnog zagadjenja koji su oni donosili.

Po-etkom ovog veka na{i vidici su se prvi put pro{irili van Mle-nog puta. Predjena je granica od 100 000 svetlosnih godina. Krivac je bio 2,5 metarski teleskop na planini Mount Wilson. Rade}i na

¹ Nau-ni magazin IQ, broj 2, 1998.

ovom teleskopu, Edwin Hubble je prvo pronašao način da izmeri udaljenja do astronomskih objekata, a zatim koristio to, da pokaže da se svemir širi. To nije bio kraj. Pre pedeset godina na Mount Palomaru je bio izgrađen teleskop Hale od 5 metara. Pogled nam je tad dosegao nekoliko milijardi svetlosnih godina.

Ranih čezdesetih godina je izgledalo da je to dovoljno daleko, da se se posmatranjima sa zemlje može odrediti zakrivljenost prostor-vremena koju je predviđala Einsteinova opšta teorija relativnosti. Time bi se direktno odgovorilo na pitanje o samoj sudbini vasione. Ovo čak nije ni izgledalo tako teško. Kad bi, jednostavnosti radi, sve galaksije bile iste i ravnomerno rasporedjene po svemiru tad bi se zakrivljenost prostor-vremena mogla odrediti jednostavnim posmatranjem njihovih prividnih veličina i poredjenjem broja velikih, bliskih galaksija sa brojem malih, dalekih.

Naravno, stvari ipak nisu bile toliko jednostavne. Svetlost koja do nas dolazi sa udaljenih galaksija je krenula na put pre više milijardi godina, te ih mi posmatramo onakve kakve su one tada bile. Galaksije u svojoj mladosti zasigurno su se veoma razlikovale od sredovečnih galaksija kakvim smo danas okruženi. Jesu li mlade galaksije sjajnije ili tamnije, manje ili veće - na to se tada nije znao odgovor.

Sa druge strane, istraživanja vršena sedamdesetih i osamdesetih godina su pokazala da ni razmeštaj galaksija na nebu nije slučajna, već da se one grupišu u ogromna jata galaksija, kao i da (na najvećim skalama) oforme zidove i praznine. Fizicari i astronomi su shvatili da je istraživanje izgleda univerzuma na najvećim skalama tesno povezano sa dobijanjem odgovora na pitanja o nastanku univerzuma.

Odstupanja od homogenosti i izotropnosti univerzuma brzo rastu sa vremenom. Postojeći složen izgled univerzuma, čak i na najvećim skalama, je uzrokovan kvantnim fluktuacijama do kojih je došlo neposredno posle velikog praska kada je univerzum bio vruća "supa" elementarnih čestica. Kao pena na talasima, galaksije su se kondenzovale tamo gde je koncentracija ove supe bila nešto veća. [irenjem univerzuma je došlo do njegovog hladjenja, te do daljeg zgrušavanja materije. Na kraju od supe su ostale samo grudvice. Na najvećim skalama ostala je da caruje samo gravitacija. Posao moderne fizike je da poznajući grudvice sazna što više o prvobitnoj supi, što nije ni malo jednostavan zadatak.

Teorijska fizika je do danas ponudila veliki broj kosmoloških modela. Jedni se od drugih razlikuju po detaljima modeliranja fizike najranijeg svemira. Da bi bio uspešan, kosmološki model mora da objasni rasporede veličina, oblika, položaja i boja galaksija kako u dalekom svemiru, tako i u neposrednoj blizini Mlečnog puta. Puštanjem u rad svemirskog teleskopa 1993. godine, kao i lansiranjem u orbitu satelita koji vrše posmatranja u drugim delovima elektromagnetnog spektra poela je nova revolucija u astronomiji. Iz meseca u mesec stižu odgovori na vaša pitanja o broju i nastanku galaksija, o stvaranju posmatrane strukture na najvećim skalama, o krajnjoj sudbini celog univerzuma. Najzad možemo uspeti da proverimo isparvnost naših modela tamne materije, kosmičkih struna, monopola...

Duboki pogled

Živimo u univerzumu koji se širi i menja. Slike udaljenih galaksija nam daju "fosilne" podatke o tome kako je rani univerzum izgledao. Detaljno razumevanje radjanja, i menjajnja galaksija je tesno povezano sa preciznim odredjivanjem veličina i starost univerzuma.

Prvi probni snimci sa svemirskog teleskopa Hubble su otkrili da rani univerzum krije neslu}enu raznolikost oblika i vrsta galaksija. Neke galaksije su imale poznate elipti-ke i spiralne oblike, no nadjeno je i mno{tvo galaksija -udnih oblika kakve nismo do sad videli, odnosno kakve danas ne postoje. Rodila se potreba da se mogu}nosti svemirskog teleskopa za posmatranje tamnih objekata iskoriste u potpunosti za snimanje -itavog jednog segmenta neba.

Hubbleov duboki pogled je za cilj imao posmatranje galaksija koje su -ak deset milijardi svetlosnih godina udaljene od nas. Objekti koji su toliko daleko su -etiri milijarde puta tamniji od onih koje mo`emo videti golim okom. Na logaritamskoj skali sjajnosti koju astronomi vole da koriste to su galaksije tridesete magnituda (ve}a magnituda ozna-ava tamnije objekte).

Svemirski teleskop je 10 uzastopnih dana u decembru 1995. godine posmatrao malo par-e neba u blizini sazve`dja veliki medved. Ova posmatranja -ine studiju Hubbleov duboki pogled. Fantasti-na slika posmatranog dela neba je prvi put prikazana januara 1996. na redovnom sastanku ameri-kog astronomskog dru{tva. Dobijeni podaci }e se jo{ niz godina analizirati, no ve} je pro{lo dovoljno vremena da bismo dali kratki prikaz tri serije dobijenih rezultata:

- Posmatranim delom neba dominiraju manje galaksije od onih koje vidimo u dana{njem univerzumu. Ovo je indicacija da je na{ univerzum otvoren. U ovom slu-aju teorija predvidja da na rastojanjima ve}im od oko 8 milijardi svetlosnih godina (crveni pomak = 1) dolazi do osetnog smanjenja prividnog pre-nika galaksija. Suprotno tome, u scenariju zatvorenog univerzuma prividni pre-nik galaksija bi trebao da raste. I druga ispitivanja vr{ena na osnovu ovih merenja se sla`u sa modelom otvorenog svemira.
- Poredjenjem boja i crvenog pomaka udaljenih galaksija izvr{ene su procene koli-ine radjanja novih zvezda u galaksijama -iji je crveni pomak ve}i od 2,5. Pre ove studije je bilo poznato jako malo galaksija -iji je crveni pomak ve}i od 1. Zaklju-ak do koga se do{lo je da se najve}i broj novih zvezda radjao u galaksijama pre sedam do devet milijardi godina (crveni pomak 1 do 2). Na{e sunce, koje je staro oko pet milijardi godina je dakle rođeno ne{to posle ovog baby booma.
- Interesantno je da je veliki procenat posmatranih galaksija -udnog oblika. Jo{ nije jasno da li je to stvarna karakteristika mladih galaksija ili samo posledica posmatranja u ultra ljubi-astom delu spektra. Naime, -ak i kod normalnih (bliskih) galaksija slika u ultra ljubi-astom delu spektra -esto potencira male morfolo{ke nepravilnosti.

Kroz gravitaciono so-ivo

Mo`da vam je 10 milijardi svetlosnih godina suvi{e bilizu? Mo`da `elite dalje, do samog kraja? Najbolje teorijske procene ka`u da je univerzum star 14 milijardi godina. Jel' to ono {to vas interesuje? Dobro - ve`ite se, pole}emo!

Studija duboki pogled je iscrpela mogu}nosti svemirskog teleskopa. U planu je lansiranje novih svemirskih opservatorija, baziranih na daleko razvijenijoj tehnologiji. Bi}e to Hubbleova deca sa ogromnim ogledalima koja se kao cvet sama otvaraju, ali za te vizije budu}nost moramo sa-ekati deste godina. Mi idemo do kraja *sada*.

Treba nam veliki teleskop. Na{li smo ga. Duga-ak je 5 milijardi svetlosnih godina! Svetlost je u{la u ovaj teleskop kad se na{e sunce radjalo. Pet milijardi godina kasnije ta svetlost je do{la do na{ih

o-iju. Bostali smo bo`anski astronomi, a za sve treba da zahvalimo Eisteinovo{ op{toj teoriji relativnosti. Prema njoj, prisustvo mase krivi prostor-vreme i sa njim i trajektorije kojom se zrak svetlosti prostire. I na`e sunce krivi svetlost, ali je efekat, mada vidljiv, izuzetno mali. Ako ho`ete netrivialni efekat nije vam dovoljna jedna zvezda, pa ni -itava galaksija sastavljena od stotine milijardi zvezda. Treba vam jato galaksija. Ono {to ste dobili je gravitaciono so-ivo. Kao svako so-ivo ono mo`e da uve}ava lik objekta koji se nalazi ispred njega.

I dosad su vidjena gravitaciona so-iva, ali internacionalni tim sastavljen od istra`iva-a sa Kapteyn instituta univerziteta u Groningenu u Holandiji, Kalifornijske Lick opservatorije, kao i Kalifornijskog univerziteta u Santa Cruzu je imao nevidjenu sre}u. Analiziraju}i jednu sliku sa Hubblea uo-ili su karakteristi-ni trag udaljene galaksije vidjene kroz gravitaciono so-ivo. U centru slike jata galaksija kog su posmatrali su uo-ili karakteristi-ni razmazani luk koji se lako up-avao zbog svoje crvene boje. Istra`iva-i su odmah posumnjali da je re- o udaljenom objektu - sve se slagalo. Od ranije je bilo poznato da gravitaciona so-iva -esto deformi}u lik u oblik jednog ili vi}e lukova. Sa druge strane, crvena boja se dala objasniti absorpcijom od strane materije pri dugom putovanju svetlosti od udaljene galaksije do nas. Uzgled budi re-eno, re- je o istom efektu koji dovodi do toga da sunce na zalasku ima crvenkastu boju.

Da bi proverili udaljenost crvenog luka trebalo je izmeriti njegov crveni pomak. Trebalo je, dakle, izmeriti mu spektar. Za ovo svemirski teleskop nije bio dovoljno dobar. Hubble, zbog toga {to je iznad atmosfere, ima najve}u rezoluciju od svih teleskopa, ali nekolicina teleskopa na zemlji ima ve}i promer osnovnog ogledala, te zbog toga skuplja vi}e svetlosti. Jednostavna stvar - ve}om kofom skupite vi}e ki}e nego manjom. Za spektroskopiju vam treba da prikupite dosta svetlosti. Kod studije duboki pogled Hubble je to uspeo da uradi gledaju}i u isti deo neba 10 dana. Ovog puta su se istra`iva-i poslu`ili najve}im teleskopom na zemlji u opservatoriji Keck dr`ave Hawaii. Odgovor koji je stigao sa Hawaii je bio fascinant. Posmatrani objekt je zaista bio jako daleko. Pokazivao je crveni pomak od 4,92. Prevedeno na svetlosne godine to odgovara udaljenju od 13 milijardi godina. To je najudaljeniji objekat koji smo ikada videli. Bez pomo}i gravitacionog so-iva ne bi ga mogli videti. Gravitaciono so-ivo je pet puta uve}alo lik i, {to je mnogo va`nije, u-inilo ga svetlijim. Uz pomo} fantasti- ne rezolucije Hubblea mi ne samo da vidimo tako udaljenu galaksiju, ve} jasno razabiremo detalje njene unutra{nje strukture.

Einsteinov monokl niko nije brusio. Mada uve}ava on i deformi}e lik. Slika koju vidimo je izdu`ena i iskrivljena. Efekat distorzije je, medjutim, mogu}e predvideti. To je i uradjeno. Koriste}i teorijski model rasporeda mase unutar jata galaksija bilo je mogu}e do}i do kompjuterski generisane slike koja treba da odgovara pravom izgledu udaljene galaksije. [ta se vidi? Pred nama stoji slika galaksije manje od Mle-nog puta, sastavljene od mno{tva "-vori}a" intenzivne aktivnosti. ^vori}i, veli-ine 700 svetlosnih godina a razbacani na rastojanju od oko 15 hiljada svetlosnih godina, izgleda -ine osnovne sastojke od kojih }e se vremenom oformiti galakti-ko jezgro. U -vori}ima dolazi do eksplozivnog stvaranja novih zvezda. Ukupni efekat ove aktivnosti -ini udaljenu galaksiju deset puta svetliju od Mle-nog puta.

Direktnim posmatranjem vidimo da su mlade galaksije izuzetno svetli i aktivni objekti. [to je neo-ekivano, ve}ina ove aktivnosti je skoncentrisana u izuzetno malim domenima - -vori}ima. Analiza slike pokazuje da izmedju -vori}a duvaju fantasti-ni vetrovi koji ogromnu koli-inu materijala izbacuju iz galaksije. Postojanje ovakvih vetrova je bilo teorijski predvidjeno, a sad imamo priliku da ih direktno vidimo. Njihovo postojanje ima velike reperkusije. Izba-en materijal odlazi u medjugalakti-ki prostor. Od tog materijala se ne kondenzuju zvezde, dakle on za nas ostaje taman - nevidljiv. Jedini efekat te tamne materije je -isto gravitacioni, ali, kao {to smo videli, taj efekat mo`e biti presudan. Precizna analiza efekta vetrova je dakle direktno vezana za procenu ukupne koli-ine tamne materije u univerzumu. Mo`da }emo ipak uspeti da oderdimo krajnju

sudbinu univerzuma stavljaju}i svemir na kantar. Sve su indicacije da }emo otkriti da vreme, mada ima po-etak, ipak nema kraj.

Boks 1

6000 je veliki broj

Astronomija obiluje velikim brojevima. Ipak, i svakodnevni svet u kome `ivimo poznaje milione i milijarde. Hiperinflacija 1993. nas je sve navikla na besmisleno velike brojeve. Kako to da ljudi tako dugo tri-avih 6000 zvezda smatraju primerom beskona-nog, neprebrojivog? Dali su na{i mozgovi toliko napredovali u odnosu na na{e pretke? Ne. 6000 je i dalje veliki broj u odnosu na 1. Zamislimo rastojanje od jednog kilometra - to je bar lako. ^esto vidimo stvari koje su od nas udaljene i mnogo vi{e od jednog kilometra. Mo`da ovu razdaljinu najdirektnije opa`amo ako shvatimo da je to desetak minuta ne{to `ustrijeg hoda. Zamislimo sada rastojanje od Beograda do New York-a (otprilike 6000 kilometara). Ako -esto letite avionom ni ovo rastojanje nije te{ko zamisliti - moderni avioni ga prelete za oko 8 sati. Poku{ajte, medjutim, da ovo rastojanje sagledate istom skalom kao i jedan kilometar. U mislima izdelite put od Beograda do New York-a na segmente od po desetak minuta hoda. Koliko ima takvih segmenata? Sad shvatate da 6000 zaista mo`e izgledati kao neprebrojivo veliki broj.

Boks 2

Direktor

Gledati duboko u svemir zna-i posmatrati izuzetno tamne objekte. Ako se bavite fotografijom onda znate da tamniji objekti zahtevaju du`u ekspoziciju. Da bi se videle galaksije iz Hubbleovog dubokog pogleda bila je potrebna ekspozicija od deset dana. U toku tih deset dana Hubble obidje zemlju 150 puta. Svo to vreme valja teleskop dr`ati precizno centriranog na mali segment neba veli-ine dinara na rastojanju od 30 metara. Ma koliko ovaj tehni-ki problem izgledao slo`en mnogo ga je lak{e bilo re{iti nego odgovoriti na pitanje ko }e sve to "platiti".

Hubble je izuzetno skup teleskop. Cena mu je nekoliko milijardi dolara, dok svaki dan njegovog rada ko{ta dodatnih milion dolara. Kao i kod svih ve}ih teleskopa na zemlji, na nekoliko minuta posmatra-kog vremena astronomi -ekaju i nekoliko godina. Svaki minut se mora iskoristiti. Na -itavoj zemlji samo jedna osoba je imala diskreciono pravo da raspola`e sa 10 dana rada teleskopa - bio je to Robert Williams direktor Nau-nog instituta za svemirski teleskop (Space Telescope Science Institute) pri Johns Hopkins univerzitetu u dr`avi Merilend. Kako jednog aktivnog nau-nika odvratiti od istar`iva-kog rada na par godina i zaposliti ga kao administrativca? Svakako to ne}ete uraditi drasti-no ve}om platom - kao i kod nas morate ga podmititi. Razlika je u tome {to je ovde "mito" bilo upravo posmatra-ko vreme na Hubbleu. Razlika je i u tome {to je Williams celokupni taj blok nesebi-no podario svojim kolegama i time omogu}io izvodjenje projekta duboki pogled.

Svemirska geodezija

Ako na zemlji hoćete da precizno izmerite neko par-e zemlji{ta zovete u pomo} geodete. Oni dodju i sa svojim teodolitima brzo obave taj posao. Ovo uspe{no rade kako na ravnom tako i na brdovitom terenu. ^vrsto stoje}i na zemlji i mere}i samo uglove oni lako utvrđuju koliko je teren naboran. Kad bi dovoljno daleko razmestili svoje teodolite utvrdili bi da je zemlja sfera.

Mere}i zbir uglova u trouglu lako mo`ete videti da li je neka povr{ina ravna ili kriva. Na ravni va`i poznata Euklidova geometrija i zbir uglova u trouglu je uvek 180° . Ako trougao nacrtate na sferi ne}e biti te{ko da se uverite da je zbir njegovih uglova sada ve}i. Probajte da na sferi nacrtate trougao sastavljen od tri prava ugla. Nacrtate li trougao na sedlu vide}ete da je ovaj zbir manji od 180° . Odstupanje od dobrih starih 180° je mera zakrivljenosti geometrije.

Einsteinova op{ta teorija relativnosti opisuje gravitaciju preko zakrivljenosti prostor-vremena. Teorija divno radi, a primenjena na ceo svemir daje tri mogu}a rezultata zavisno od toga da li je ukupna masa svega {to postoji ve}a ili manja od odredjene kriti-*ne* vrednosti. Od toga zavisi krajnja sudbina na{eg univerzuma. Ako je masa manja od kriti-*ne* svemir }e se ve-*no* {iriti, a geometrija mu je sli-*na* malo pre spomenutom sedlu. U slu-*aju* da je masa ve}a od kriti-*ne* prostor-vreme podse}a na sferu, a posle inicijalnog {irenja sledi sa`imanje. U tom slu-*aju* univerzum ima ne samo po-*etak* ve} i kraj.

Prirodno je da smo jako zainteresovani da saznamo koja nam je krajnja sudbina. Neki istra`iva-*i* poku{avaju da ceo univerzum "stave na kantar", no to nije ni malo lako i odgovor veoma zavisi od -*itavog* niza pretpostavki o rasporedu svetle}e i tamne materije. Direktniji na-*in* da saznamo {ta nas -*eka* je da postanemo svemirski geodeti. Hubbleov duboki pogled nam to upravo omogu}ava. Broj galaksija u ovoj studiji, njihove veli-*ine* kao i boje sve izuzetno jako indiciraju da je na{ univerzum zaista otvoren, a da vreme ne}e imati kraj.
