

Krije li TKG tajnu TAMNE ENERGIJE

Pojam duboki svemir može da podrazumeva mnogo toga, to nije strogo definisani pojam. Kad kažemo duboki svemir to može da znači daleki svemir. To bi moglo da bude neko osnovno značenje, pri čemu atribut daleki možemo da shvatimo u prostornom i u vremenskom smislu, ili u kombinaciji prostor-vreme. Priča o Velikom prasku, mirkotlasnom i gravitacionom pozadinskom zračenju je, npr., nešto što je od nas vrlo daleko. To je duboki svemir u vremenskom smislu, ono što se u univerzumu dogodilo vrlo rano. S druge strane, možemo uslovno da govorimo o svemiru u današnjem trenutku. Šta je današnji trenutak, za kosmologe je osetljivo pitanje. U tom slučaju postavlja se pitanje: šta se događa sa materijom, koliko je svemir prostorno vrlo daleko u ovom trenutku, kako on izgleda danas? To je duboki svemir u prostornom smislu, kaže dr Marko Vojinović, teorijski fizičar iz Instituta za fiziku Univerziteta u Beogradu.

Fizika nema način da eksperimentalno vidi kako svemir izgleda danas, objašnjava Vojinović. Jedini instrumentarij koji ima na raspolaganju da posmatramo svemir čine svetlosti i gravitacioni talasi. Oba ta izvora informacija se prostiru kroz prostor brzinom svetlosti. To znači da ono što nama danas stigne od izvora svetlosti udaljenog, recimo, deset svetlosnih godina, a to

Poenta posmatranja univerzuma kakav je danas, na velikim rastojanjima koja su daleko od nas, svodi se, dakle, na pozivanje na kosmoloski princip. Univerzum u ovom trenutku danas negde daleko izgleda isto, u velikoj meri, kao što izgleda ovde kod nas. Univerzum je u prošlosti ovde kod nas izgledao isto kao i na bilo kom drugom mestu u tom istom trenutku u prošlosti

je malo rastojanje, jeste kako je posmatrani objekat na toj udaljenosti izgledao pre deset godina, jer je toliko svetlost putovala do nas. Što je neki objekat prostorno dalji od tačke posmatranja na Zemlji, to idemo svedale, i dalje u prošlost. Mi ne možemo da znamo kako neka zvezda izgleda danas, već samo kako je ona izgledala u trenutku kada je emitovan snop svetlosti koji danas stiže do nas. Tehnički se to kaže da možemo posmatrati samo stvari koje se nalaze unutar našeg *svetlosnog konusa*.

Svetlosni konus je oblast prostor-vremena u obliku kupe koji opisuje putanje svetlosti, ono što se nalazi na konusu i unutar konusa su tačke prostor-vremena čija informacija može da stigne do nas. Informacija prostor-vremena izvan svetlosnog konusa još nije mogla da stigne do nas jer nije imala vremena da doputuje bilo fotonima bilo gravitacionim talasima. To je glavni problem koji nam onemogućava da vidimo kako daleki svemir izgleda danas.

■ Kosmolosko načelo

Šta možemo da uradimo? Da prepostavimo da svemir izgleda relativno slično na svim mestima, a to se zove *kosmoloski princip*. „To je jedan postulat, hipoteza, koji kaže da je materija u svemiru raspoređena na način koji je homogen i izotropan, da je ravnomerne raspoređena. Grubo rečeno, gde god pogledom taknemo univerzum na velikim skalama, materija je ista, kao i sve ostale tačke. Na malim skalama, ako izaberešmo jednu tačku, vidimo da tu ima zvezda, planeta, galaksija, ali na kosmoloskim skalamama mi više ne vidimo zvezde, planete, galaksije ili druge objekte, vidimo samo materiju u obliku supe koja svuda izgleda relativno isto“, kaže o *kosmoloskom načelu* dr Vojinović, dovodeći ga u vezu sa „kopernikanskim revolucionom“.

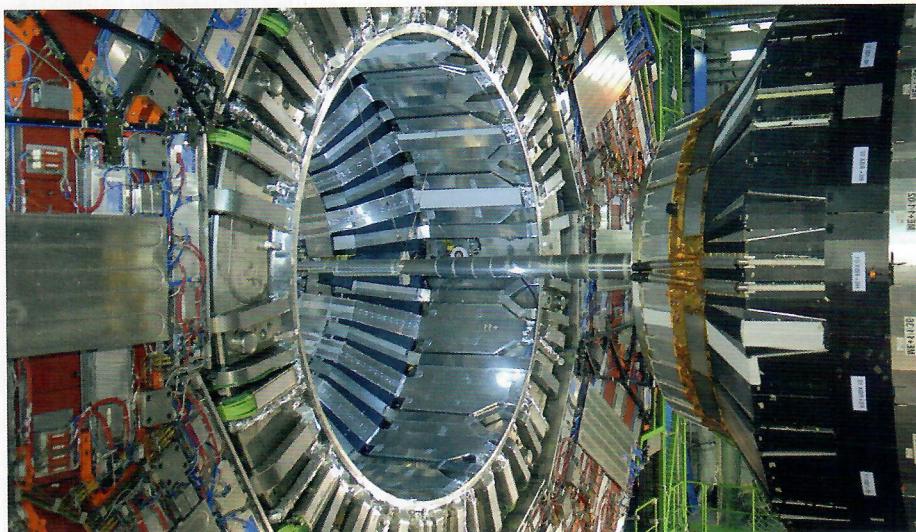
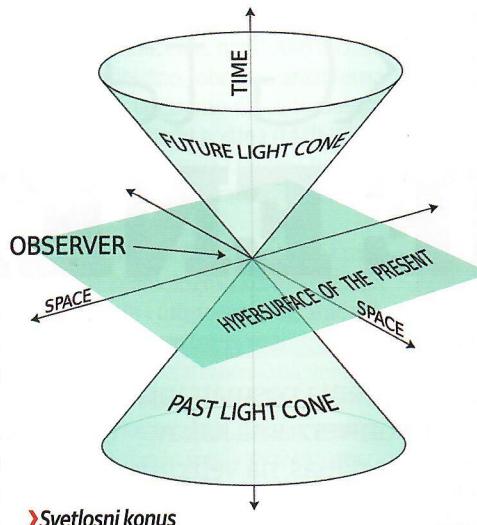
- Kosmoloski princip je nastavak Kopernikove ideje da se čovek ne nalazi u središtu svemira i da nema neko posebno mesto u njemu. Pre Kopernika smatralo se da Zemlja ima posebno mesto u vidljivom svemiru, ali on je ustvrdio da je Zemlja samo jedna od planeta koje se okreće oko Sunca. Sledom Kopernikovog razmišljanja ispostavilo se da ni Sunce ne zauzima neko specijalno mesto, već da je obična zvezda koja se okreće u našoj galaksiji. Astronomi su dalje otkrili druge galaksije među kojima ni naša galaksija ne zauzima neko izuzetno mesto i, ako idemo dalje ovom logikom, stižemo do kosmoloskog načela: ne postoji nijedno specijalno mesto u svemiru, sva mesta su slična. Po svojoj suštini, ovo je filozofska ideja, koja je veoma dobro potkrepljena podacima koje su astronomi sakupili iz posmatranih galaksija. Svemir na velikim rastojanjima zaista izgleda kao jedna ravnomerne razlivena superna masa, u kojoj nema nikakvih specijalnih struktura. Kosmoloski princip važi na tim velikim skalamama.



Poenta posmatranja univerzuma kakav je danas, na velikim rastojanjima koja su daleko od nas, svodi se, dakle, na pozivanje na kosmološki princip. Univerzum u ovom trenutku danas negde daleko izgleda isto, u velikoj meri, kao što izgleda ovde kod nas. Univerzum je u prošlosti ovde kod nas izgledao isto kao i na bilo kom drugom mestu u tom istom trenutku u prošlosti.

- To je način na koji možemo da, uslovno rečeno, teorijski zaključimo kako izgleda univerzum na drugim mestima danas, bez obzira na to što nemamo eksperimentalni uvid. Ono što možemo da eksperimentalno vidimo je ono što se nalazi unutar našeg svetlosnog konusa.

Koliko bi izvođenje treće revolucije u fizici, teorije kvantne gravitacije, posle Njutnovе teorije gravitacije i Ajnštajnova teorije opšte relativnosti, pomoglo istraživačima svemira da nađu odgovor-



Veliki hadronski sudarač

re na fundamentalna pitanja koja ih muče? Ima li ovakvo pitanje uopšte bilo kakav smisao?

- Ima - kaže bez dvoumljenja Vojinović, otvarajući veliku zagrdu, pre nego što nam objasni šta je to što kvantnu gravitaciju povezuje sa pitanjima savremene vangalaktičke astronomije i kosmologije i zašto je ta veza „samo posredna“. - Kvantna fizika se bavi istraživanjima gravitacionih pojava na najmanjim rastojanjima, manjim od atoma, manjim od atomskog jezgra, manjim od bilo čega drugog. Na tim tzv. Plankovim rastojanjima, teorijske fizičare zanima kako se ponaša gravitaciono polje. Teorija kvantne gravitacije bi dala odgovor na to pitanje. Ta izuzetno mala rastojanja nemaju apriori nikakve veze sa kosmološkim rastojanjima. Efekti karakteristični za gravitaciono polje na tim sičušnim rastojanjima u velikoj meri su obrisani efektima na velikim skalamama jer je između njih ogromna razlika.

Vojinović to ilustruje vrlo plastičnim primerom. Ako posmatramo Plankovo rastojanje, veli, pa zatim sve veća i veća, tako stignemo do rastojanja koja možemo da detektujemo pomoću LIGO detektora ili pomoću Velikog hadronskog sudarača (LHC), pa posmatramo još

veće, pa stignemo do skala normalnih elemenarnih čestica (kvarkova, leptona itd), pa još većih kao što su pojedinačni protoni i neutroni koji čine atomsko jezgro, pa redom posmatramo rastojanja običnih atoma, molekula, hemijskih jedinjenja, manjih i većih ćelija, više-ćelijskih organizama, do svakodnevnih skala u kojima živimo, pa rastojanje između Zemlje i Meseca, ili Zemlje i Sunca, pa ceo Sunčev sistem, i dalje, jata zvezda (u kome je naše Sunce) čitave naše galaksije, lokalnog jata galaksija kome pripada naš Mlečni put i njemu bliska galaksija Andromeda, pa odemo na skale klastera (strukture velikog broja galaksija) i skupine klastera (superklastera) i na kraju na još veću skalu na kojoj se superklasteri toliko razmažu da ih više ne vidimo kao pojedinačne strukture, na svakom koraku u celom tom nizu gubi se deo informacije o finim, sitnim efektima koje imamo na nivou teorije kvantne gravitacije. Kada dođemo na skalu kosmologije, najvišu skalu koju možemo zamisliti, svi efekti, ili najveći broj efekata kvantne gravitacije su praktično ispeglani i usrednjeni. Sve što možemo da vidimo u stvari je klasična teorija gravitacije, Ajnštajnova Opšta teorija relativnosti koja

praktično rukovodi evolucijom univerzuma kao celinom.

■ Gravitacija ili materija

Ako se vratimo pitanju: šta povezuje kvantu gravitaciju sa vangalaktičkom astronomijom i kosmologijom, priča o kvantnoj gravitaciji i dubokom svemiru, veli, ima dva aspekta. Prvi aspekt je karakterističan za astrofizička rastojanja, veličine jedne ili nekoliko galaksija. Reč je o fenomenu poznatom pod nazivom **tamna materija**.

- To je hipotetička vrsta materije koju fizicičari vole da prepostavljaju da postoji, jer prepostavljaju da postoji objašnjava neke eksperimentalne podatke koje vide astronomi. Ukoliko te tamne materije nema, onda dobijene eksperimentalne podatke ne možemo da objasnimo. Tamna materija je rđav termin, tačnije bi bilo zvati je providna materija jer ne interaguje sa svetlošću, zato je i ne vidimo, ali interaguje gravitaciono i zbog toga vidimo njen gravitacioni efekat. To je jedini način da zaključimo da tamna materija postoji.

Ono o čemu mi nemamo pojma jeste kako je ona nastala, da li je uopšte materija u tradicionalnom smislu tog pojma, ili je neko novo polje o kome ništa ne znamo. Uopšte ne znamo kakva je struktura tamne materije, jedino znamo da u galaksiji imamo više mase, više energije nego što bismo očekivali na osnovu onoga što ne sija (zato je i dobilo naziv *tamna*). Tamne materije ima neuporedivo više nego obične materije (čini 85%, a samo 15% je materija koju detektujemo i možemo da vidimo) i nikako ne interaguje sa običnom, vidljivom materijom, osim gravitaciono. Gravitacioni efekat možemo da merimo, ali on je veoma slab.

Jedna od hipoteza koja bi mogla da objasni odakle dolazi tamna materija i njenu prirodu kaže da tamna materija zapravo i nije materija, nego je još jedan aspekt *gravitacionog polja*. Ako je tako, to bi bila još jedna osobina gravitacije. „Ali to pitanje je kontroverzno“, kaže dr Vojinović. „Da li je gravitacija ili materija, pitanje je o kome među naučnicima nema konzenzusa, ali postoji prepostavka u toj debati da bi kvantna gravitacija, kao fundamentalna teorija, mogla da konačno odgovori od čega se sastoji tamna materija. To je ono što bismo mi želeli, ostaje pitanje da li ćemo uspeti da konstruišemo teoriju kvantne gravitacije.“

Fizičari nemaju eksperimentalni uvid u to kako teorija kvantne gravitacije treba da izgleda. Prema Vojinovićevom mišljenju, samo formulisanje teorije nije problem, problem je što je dosad formulisano nekoliko različitih kvantnih teorija gravitacije i ne zna se koja je od njih tačna. I nije problem da naučnici ne znaju kako ta teorija treba da izgleda nego je problem formulisati jedinstvenu teoriju.

„Kroz istraživanja, poslednjih desetak godina, napravljen je niz modela kvantne gravitacije, ali nije utvrđeno koji je od tih modela pravi. Jedini način da se to zaključi je eksperiment, a

eksperimenata na skalamama manjim od atomskog jezgra nema, teško ih je napraviti. Praktično, eksperiment je glavna kočnica za razumevanje kvantne gravitacije, a kvantna gravitacija može da pruži uvid i da ima odjeka u razumevanju astrofizičkih pojava, konkretno tamne materije", smatra naš sagovornik, koji se bavi teorijom kvantne gravitacije na petljama, pravcem koji je poslednjih trideset godina doživeo veliku ekspanziju po broju radova i istraživača koji se njime bave.

Misterija tamne energije

- Drugi aspekt u kome kvantna teorija gravitacije može da ima odjeka na velikim skalamama je *tamna energija*. To je takođe misteriozna pojava, koja nema apsolutno nikakve veze sa pojmom *tamne materije*, osim što i jednu i drugu zovemo tamnom - kaže dr Vojinović. - To su potpuno različite pojave i ne treba ih mešati. Različite su zbog svojih osobina. Tamna materija je nešto što liči na materiju, ponaša se kao materija koju znamo. Ako povećamo zapreminu prostora u kome se tamna materija nalazi, ona će biti razređena dok, za razliku od nje, tamna energija nema tu osobinu, ona se ne razređuje. Ukoliko imamo određenu količinu tamne energije u jednom kubnom metru i raširimo tu zapremenu na dva kubna metra, imaćemo duplo više tamne energije, jer njena gustina ne zavisi od zapremeine.

ŠTA JE TAMNA ENERGIJA? ONA SE OPISUJE JEDNIM JEDINIM PARAMETROM, A TO JE KOSMOLOŠKA KONSTANTA. TIM PARAMETROM OBUHVACENI SU SVI EFEKTI TAMNE ENERGIJE KOJE MOŽEMO DA VIDIMO, A ONI SE SVODE NA UBRZANO ŠIRENJE SVEMIRA

HABLOVO „DUBOKO POLJE“

Izuzetno daleko i izuzetno davno

Čuvena fotografija *Duboko polje* koju je napravio satelitski teleskop *Habib* nastala je više kao kuriozitet u vreme kada se nije koristio ni za jedno važno merenje ili opservaciju. Posmatrači su došli na ideju da *Habib* „prazan hod“ iskoriste za svojevrsni eksperiment, podseća dr Marko Vojinović. Uperili su ga u oblast svemira u kome uopšte nema zvezda, na najtamnije mesto na noćnom nebu koje su mogli da nađu. Kamere su slikale čitav taj region na kome se ništa nije videlo, i to su ponovili više puta. Šta su primetili? Kako su se fotografije istog regiona gornjilale, postupno se pojačavao intenzitet svetlosti. Kada su sabrani svi svetlosni signali, kada je akumulirano dovoljno svetlosti, astronomi su mogli da vide da u posmatranom regionu nešto sija. Videli su roj raznoraznih galaksija koje su suviše male, suviše sitne, suviše daleko od nas da bi se videle čak i najmoćnijim teleskopom na jednom snimku. Pošto su veoma daleko, ono što vidimo je isto tako veoma daleka prošlost. Što je nešto dalje od nas to je starije, vidimo njegovu stariju svetlost. S jedne strane, to su galaksije koje su izuzetno daleko, s druge strane, galaksije koje su izuzetno mlade, u ranim fazama svog postojanja, kakve su one bile u davnoj prošlosti.

- Ova *Habibova* fotografija nam je dala i uvid da su broj galaksija i količina materije koja postoji u svemiru mnogo veći nego što se nama čini, jer mnogi objekti sijaju ali ne sijaju dovoljni kako da ih možemo opaziti. Ali ako ih gledamo dovoljno disciplinovano, dovoljno uporno, posle dovoljne količine snimaka, možemo da vidimo najudaljenije objekte. Zbog toga je ta fotografija i dobila ime *Habibovo duboko polje*, jer su snimljene galaksije izuzetno daleko. Ali, one se i dalje nalaze unutar našeg svetlosnog konusa, one su izuzetno daleko, ali i izuzetno davno. Pitanje je: da li snimljene galaksije danas uopšte postoje? Mi ne znamo šta se sa njima u međuvremenu dogodilo. Znamo kako su one izgledale u trenutku kada su emitovale svetlost koja je do nas stigla tek danas.

To je takođe jedan aspekt „dubokosti“ svemira ali je, uslovno rečeno, još uvek vrlo blizu nas kao posmatrača u poređenju sa rastojanjima velikih jata galaksija u kojima ne vidimo pojedinačne galaksije, sa superklasterima koji i dalje imaju osobinu strukture. Oni su najveće strukture koje možemo da identifikujemo. Ako su rastojanja veća od tih megastruktura, više ne vidimo nikakvu strukturu, sem neke ravnine. U tom smislu značaj fotografije *Dubokog polja* je u tome što nam daje uvid u to koliko ima materije i koliko je bilo materije u davnim vremenima na velikim rastojanjima, zatim kakva je bila ta materija, kakve su galaksije bile u ranom periodu svog razvoja, možemo da ih analiziramo. I pruža nam potvrdu u to da je moguće izučavati tako daleke i tako sitne objekte. Nije lako, ali je tehnički izvodljivo. Te tri stvari su vrlo značajne za razvoj astronomije, ali i fundamentalne fizike.

Šta je tamna energija? Ona se opisuje jednim jednim parametrom, a to je *kosmološka konstanta*. Tim parametrom obuhvaćeni su svi efekti tamne energije koje možemo da vidimo, a oni se svode na ubrzano širenje svemira. Vojinović pomenuti parameter ovako objašnjava: „Ajnštajnova Opšta teorija relativnosti ne kaže prosto da se svemir širi, prema standardnom kosmološkom modelu, nego kaže tačno kojom brzinom treba da se širi, kako treba da se odvija evolucija tog širenja. Na koji način se tačno rastojanje između dve zadate tačke menjaju. OTR predviđa da se svemir širi, ali i da se samo širenje polako usporava, da je njegova brzina, kako vreme odmiče, sve manja i manja. Međutim, naučnici su eksperimentalno uočili da se rastojanje između bilo koje dve tačke u svemiru ne povećava sve sporije i sporije, nego sve brže i brže, odnosno njegovo ubrzano širenje. Za ovo otkriće je 2011. godine dodeljena Nobelova nagrada. Da bi se ta eksperimentalna pojava objasnila, morala je da bude uvedena kosmološka konstanta kao parametar koji će dinamiku širenja da uskladi sa Ajnštajnovom teorijom.“

Kosmološka konstanta opisuje pojavu širenja svemira; međutim, ono što bi fizičari voledi da razumeju jeste razlog zašto se svemir ubrazalo širi. Ne samo da kažu da postoji kosmološka konstanta, nego da ona bude odraz neke fizičke pojave. „Ta fizička pojava je zapravo *tamna energija*“, kaže M. Vojinović. „Ona je vezana za pojavu ubrzanog širenja svemira i za kosmološku konstantu. Tamna energija je odgovorna za nenultu vrednost kosmološke konstante. Ti kosmički događaji su na skalamama većim od jata galaksija, širenje svemira vidljivo je na tim najvećim kosmološkim rastojanjima.“

Postavlja se, naravno, i pitanje prirode tamne energije, od čega se ona sastoji. Šta je njen uzrok? Priroda tamne energije je jednak misteriozna kao i priroda tamne materije. Fizičari zasad ne znaju od čega se te dve pojave sastoje. Kvantna teorija gravitacije je praktično jedan od kandidata koji bi teorijski mogao da razjasni prirodu tamne energije, odnosno pruži uvid u to od čega je ona apravljena, zašto se pojavljuje.

Rad M. Vojinovića (koautor A. Miković) *Solution to the Cosmological Constant Problem in a Regge Quantum Gravity Model*, iz 2015, citiran u publikaciji: V. Husain and B. Qureshi, *Ground state of the universe and the cosmological constant*, predstavlja prvu primenu *spin-cube* modela na problem kosmološke konstante i, kako je istaknuto, „daje netrivijalan doprinos njegovom rešavanju“, a sam model „otvara i mogućnost unifikacije gravitacije sa ostalim interakcijama, mogućnost koja je bila potpuno nedostožna u svim dosadašnjim modelima kvantne gravitacije“.

- Postoje raznorazni modeli kvantne teorije gravitacije i u okviru tih modela postavlja se pitanje pojave tamne energije, i u nekom od njih možda je moguće dobiti odgovor. To ne znači da bi taj odgovor bio tačan, ali daje potencijalan uvid u prirodu tamne energije. Samo taj aspekt teorije kvantne gravitacije, koja se bavi najsitnijim rastojanjima, može da ima odjeka na osobine prirode svemira na najvećim rastojanjima, tj. na ono što se obuhvata pojmom *duboki svemir*, kaže na kraju priče o kvantima i kosmološkim skalamama M. Vojinović i zaključuje: „Retke su pojave koje povezuju tako mala rastojanja sa najvišim skalamama, kao što su kosmičke megastrukture.“

M. Rajković