

KOZMOČESTIČNA FIZIKA: PROBLEM TAMNE TVARI I TAMNE ENERGIJE

Ivica Picek

Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb

Na pragu novog milenija svjedoci smo dramatičnog susreta kozmologije i fizike čestica - susreta svijeta najvećega i svijeta najmanjega: planet rođen na pepelu supranovih putuje udaljen od svjetova crnih rupa i machoa koji tek tu i tamo poput ledenjaka, izviruju iz mora tamne tvari. Neutrinski teleskopi, satelitske promatračnice i suprasudarivači elementarnih čestica bacaju prvu svjetlost u taj mrak. Iščežnuli neposredno nakon velikog praska, t-kvarkovi su vraćeni na svjetsku pozornicu 1994. godine na tevatronu kod Chicaga. Sada se nade okreću prema našem susjedstvu, Ženevi, gdje bi grandiozni protonski sudarivač LHC trebao unijeti svjetlost u tajnu Higgsovih čestica... **[1]**.

Standardna teorija čestica i sila

U vrijeme objavljivanja gornjih redaka na poleđini knjižice iz 1997. god., "standardni model čestica i sila" do te je mjere eksperimentalno utemeljen da biva promaknut u "standardnu teoriju". Proračuni temeljeni na 't Hooft-Veltmanovoj "renormalizabilnoj teoriji polja" (Nobelova nagrada za fiziku za 1999. god. **[2]**) u usporedbi s preciznim mjerenjima LEP- sudarivača na CERN-u predviđjeli su energijsku skalu ~ 180 GeV na kojoj je trebalo potražiti t-kvark, a sada predskazuju da je otkriće Higgsove čestice u dosegu nadolazećeg LHC-sudarivača.

Uz higgseve, u standardnoj teoriji neutrini nose najveću dozu tajnovitosti. Šezdesetak pokusa širom globusa radi na razjašnjavanju njihove misterije. Među njima su najznačajniji "neakceleratorski" Super-Kamiokande u Japanu i tzv. neutrinski teleskopi (primjerice AMANDA na Antarktiku). Ti bi pokusi trebali rasvijetliti moguću ulogu neutrina u nebarionskoj tamnoj tvari svemira.

Standardni kozmološki model

U zadnje dvije godine postignut je golem napredak u oblikovanju kozmologije kao fenomenološke znanosti. Sustavna mjerenja supranovih na velikom crvenom pomaku i preciznija mjerenja anizotropije pozadinskog kozmičkog mikrovalnog zračenja daju novu dimenziju "standardnom kozmološkom

modelu” temeljenom na vrućem velikom prasku [3]. Potvrđena je inflacijska slika prema kojoj je svemir u svojoj ranoj fazi prošao kroz eksponencijalnu ekspanziju, odgovornu da svemir opažamo tako homogenim i ravnim. Porijeklo današnje tvari i opaženog zračenja nalazimo u eksplozivnoj produkciji čestica s kraja inflacijske ere, kada je, na nama još uvijek zagonetan način, “posijano sjeme” danas opažene barionske asimetrije. Nakon inflacijske ere svemir doseže termičku ravnotežu na još uvijek vrlo visokoj temperaturi, a nakon toga, daljnom ekspanzijom dolazi do hlađenja, opisanog modelom vrućeg velikog praska. U toj slici postoji zid na starosti svemira od 300 000 godina (kada je njegova temperatura otprilike 3000 K), koji je za fotone (svjetlost) nepremostiv. Stoga nas mogućnost svladavanja te barijere, kako to predviđa inflacija, ostavlja bez daha: sićušne kvantne fluktuacije “inflatonskog polja” (nužne prema kvantnoj teoriji) inflacija će rastegnuti do kozmičkih razmjera. Time će temperaturne anizotropije u pozadinskom mikrovalnom zračenju (koje su nakon COBE satelita izmjerili i pokusi s balonima) dobiti značaj otisaka u kojima prepoznajemo period inflacije svemira. U tom je svjetlu jasno značenje lansiranja još osjetljivijih instrumenata, NASA-inog MAP-a ove godine te Europskog “Planck-satelita”, predviđeno za 2007. godinu.

Tamna tvar svemira

Već dulje vrijeme opažanja rotacija spiralnih galaktika i rotacija galaktičkih nakupina upućuju na postojanje nesvjetleće tamne tvari. Da se nakupine galaktika ne bi razletjele, masa te tamne tvari mora stotruko premašivati masu svjetleće tvari koju opažamo.

Još je upečatljivija činjenica da bi razotkrivanje tamnih macho objekata, građenih od običnog nuklearnog materijala (“barionske tvari”), podmirilo samo nekoliko postotaka ukupne mase svemira, na koju se zaključuje iz širenja svemira na najvećim ljestvicama udaljenosti.

Za astrofizičare je privlačna mogućnost da *neutrini* s masom, a koji prožimaju sav prostor (pozadinski neutrini), odigraju ulogu *nebarionske* tamne tvari. Tau i /ili mionski neutrino mase 2eV do 100 eV mogli bi potpuno ispuniti traženi udio tamne tvari. Budući da je riječ o lakim česticama koje bi se gibale relativističkim brzinama, one bi tvorile tzv. *vruću* tamnu tvar.

Druga je mogućnost da se nebarionska tamna tvar potraži u novim čestičnim vrstama. Možda je najneobičnija od predloženih novih čestica tzv. *aksion*. Ta bi čestica bila stvorena ohlađivanjem svemira ispod nekoliko stotina eV, kada teorija jakog međudjelovanja (QCD) doživljava “fazni prijelaz” (nešto poput onoga što se vodi događa ohlađivanjem na nula Celzijevih stupnjeva). Takav fazni prijelaz mogao bi voditi na aksionsko polje, koje ispunjava svemir svojom gustoćom energije sve do naših dana. Aksioni mase $m_a \cong 10^{-5}$ eV, iako ekstremno laki, imali bi ulogu tzv. *hladne* tamne tvari.

Astrofizičari ozbiljno razmatraju i mogućnost postojanja *suprasimetričnih* čestica. Radi se o hrabrom zahtjevu da svaka opažena čestica ima svog “suprasimetričnoga partnera”. Iako još nije nađena ni jedna suprasimetrična čestica, sve su one već dobile svoja imena. Partneri običnih bozonskih čestica su fermioni, koji su dobili sufiks “ino” (fotino, zino, gluino,...) dok su partneri

običnih fermiona bozonske (skalarne) čestice, čija su imena dobivena prefiksom “s” (selektron, snutrino, skvark,...).

Suprasimetrija proizlazi iz ambicije da se dođe do jedinstvenog opisa gravitacije i jakih te elektroslabih međudjelovanja (teorije koja će voditi do kompatibilnosti opće relativnosti i kvantne teorije polja). Ispočetka se mislilo da bi zahtjev postojanja suprasimetričnih partnera (koji takva poopćena teorija zahtijeva) mogao biti ispunjen već opaženim česticama (npr. da partneri budu foton i neutrino).

Danas se zna da, kao što to nije uspjelo Diracu s antičesticama, niti mi ne možemo izbjeći uvođenje novih čestica. Štoviše, mase partnera moraju biti različite, tj. suprasimetrija mora biti “slomljena” (neslomljena suprasimetrija zahtijeva jednake mase). Činjenicu da nije nađena ni jedna suprasimetrična čestica objašnjava se time da su te čestice podvrgnute samo vrlo slabom međudjelovanju - da je riječ o *wimp-česticama* (engl. Weakly Interacting Massive Particle).

Tamna energija svemira

Mjerenja dalekih supranovih (tipa Ia), koja su intenzivirana zadnjih par godina, pokazuju da se svemir u svojem širenju ubrzava. Budući da sva uobičajena materija posjeduje gravitacijsko privlačenje koje bi dovodilo do usporavanja širenja svemira, ova nova opažanja ukazuju na nužnost postojanja neobične tvari s odbojnom gravitacijom. Istodobno, takva “tamna energija” može biti generator inflacije, potrebne za “izravnavanje” svemira.

Već spomenuta mjerenja temperaturnih nejednolikosti u kozmičkom pozadinskom zračenju potvrđuju takvu sliku svemira. Štoviše, tamna energija preuzima dominantan udio u masi svemira i tjera ga na vječnu ekspanziju. Ovime je na svemirsku scenu vraćena **kozmo-loška konstanta** Λ , koja je već jednom u povijesti svemira (u eri inflacije) odigrala presudnu ulogu. Činjenicu da mi, kao živa bića, postojimo u novoj specijalnoj epohi, kada kozmo-loška konstanta ponovno preuzima dominaciju nad dinamikom svemira, doživljavamo kao “kozmičku koincidenciju”.

Kao fizičari koji živimo u eri standardne teorije čestica i sila, mi posjedujemo fizikalno objašnjenje za kozmo-lošku konstantu: to je gustoća energije vakuma, imanentna kvantnoj teoriji u kakvu ubrajamo i standardnu teoriju. Ono što nas kao fizičare muči je činjenica finog podešavanja opažene vrijednosti kozmo-loške konstante, udaljene 120 redova veličina od predviđanja (što Weinberg [4] naziva najvećim promašajem predviđanja u povijesti fizike).

Taj je promašaj u fiziku ušao kao **problem iščezavanja** kozmo-loške konstante. Danas je taj problem iščezavanja nadopunjen problemom male, ali **konačne** opažene vrijednosti

$$\Lambda \cong (2 \cdot 10^{-3} \text{ eV})^4.$$

Jedino objašnjenje za tu “kozmičku koincidenciju” koje nam je danas na raspolaganju je tzv. antropičko: jedino svemir u kojemu je kozmo-loška konstanta dovoljno mala dopušta nastanak i razvoj života, a time i razumnih bića, koja će takvi problemi zaokupljati.

“Za one koji žele saznati više”

reproduciramo slike 1,2,4 i 6 iz reference [5] u njihovom originalnom obliku (s opisom na engleskom)

Literatura:

[1] Ivica Picek, Elementarne čestice -iskrenje u svemiru tamne tvari, Školska knjiga, Zagreb 1997.

[2] Ivica Picek, U potrazi za konačnom teorijom - trijumf renormalizacije, Matem. fizički list 198/2 (1999/2000) str.74

[3] Krešimir Kumerički i Ivica Picek, Fizika svemira, sekcija e-škola, <http://eskola.hfd.hr/fizika-svemira/svemir.html>

[4] Steven Weinberg, U potrazi za konačnom teorijom, IZVORI, Zagreb 1997.

[5] Charles H. Lineweaver, What is the Universe made of ?...
dostupno na <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9911294>