

SVEMIR KAO CRNA RUPA?

Babić Ladislav
Varaždin

Pretpostavimo da su masa (M), radius (R), gravitaciono privlačenje (karakterizirano gravitacionom konstantom G) te brzina svjetlosti (c) osnovne karakteristike našeg univerzuma. Za svaku masu postoji karakteristična brzina bijega (u klasičnoj teoriji) dana sa:

$$v_{\text{bijega}} := \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}} \quad (1)$$

dok je za crne rupe, u relativističkoj teoriji ona jednaka brzini svjetlosti:

$$v_{\text{bijega}} := \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}} = c \quad (2)$$

M - masa crne rupe
R - Schwarzschildov radius

Kao što je poznato, naš se svemir nalazi u stanju ekspanzije nakon, pretpostavlja se, 'velikog praska' - kako nazivamo trenutak njegova 'postanka'. Tempo širenja svemira i njegova starost određeni su tzv. Hubbleovom konstantom (H). Vrijednost ove fundamentalne kozmološke konstante nije točno poznata - smatra se da iznosi između 50 km/(s*Mpc) i 100 km/(s*Mpc). Suvremena mjerenja (M.J. Pierce s kolegama) dobio je za vrijednost Hubbleove konstante $H=87 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc}) \pm 7 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$ - 'Nature', 1994.g. - koja je, poput nama korišćenog iznosa, u koliziji sa procjenom starosti zvjezdanih jata: 16 milijardi godina svjetlosti!) daju vrijednost oko:

$$H := 75 \cdot h \cdot \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$$

(Faktor h, s vrijednošću između 1/2 i 1, ovisi o usvojenoj skali rastojanja. Mi uzimamo $h=1$).

Odatle slijedi (bez uzimanja u obzir usporenja ekspanzije) za starost vasione T (točnije, hubbleovsko vrijeme - starost svemira, zavisno od kozmološkog modela, je manja) oko:

$$T := \frac{1}{H} \quad (3) \quad T = 1.304 \times 10^{10} \cdot \text{god}$$

odnosno za njen radius (približno):

$$R := 13 \cdot 10^9 \cdot \text{gs}$$

(* vidi primjedbu na kraju)

Kako se najudaljeniji (najstariji) poznati objekti (kvazari) udaljavaju najvećim brzinama - koje ne mogu premašiti brzinu svjetlosti - zamislimo načas naš svemir kao crnu rupu - sa Schwarzschildovim radiusom jednakim radiusu vasiona (gledamo dakle naš svemir 'izvana') - za koju su uslijed siline gravitacionog privlačenja vezani svi njegovi objekti (zračenje, galaksije, kvazari etc..., - oni ne "cure" iz našeg univerzuma). U prvoj aproksimaciji zanemarit ćemo hawkingovske efekte (koji bi mogli predstavljati našu 'vezu' sa drugim univerzumima). Utjecaj zračenja ne razmatramo. To nam omogućuje procijeniti masu našeg svemira:

$$M := \frac{c^2 \cdot R}{2 \cdot G} \quad (4)$$

$$M = 8.303 \times 10^{52} \cdot \text{kg}$$

što iznosi oko $4.2 \cdot 10^{22}$ mase našeg Sunca odnosno, pretpostavimo li prosječnu galaksiju poput Mliječnog puta (200 milijardi zvijezda), oko 210 milijardi galaksija. Shvatimo li svemir kao schwartzschildovsku crnu jamu s nabojem i momentom impulsa jednakima nuli, ovo predstavlja njegovu tzv. nesvodivu masu (masa crne rupe sastoji se od nesvodivog - koji je nemoguće umanjiti, elektromagnetskog i rotacionog doprinosa).

Sada je moguća i procjena srednje gustoće svemira, uzevši u obzir da svemir tretiramo ne kao sferu već hipersferu, volumena:

$$k := 2 \cdot \pi^2 \quad V := k \cdot R^3$$

$$\rho(R) := \frac{c^2}{2 \cdot k \cdot G \cdot R^2} \quad (5) \quad \rho(R) = 2.257 \times 10^{-27} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

što je za red veličine više od dosadašnjih rezultata mjerenja gustoće vidljive (svjetleće) materije. Oortova procjena gustoće svjetleće materije iznosi:

$$\rho_0 := 2 \cdot 10^{-28} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \left(\frac{H}{55 \cdot \text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}} \right)^2 \quad (6)$$

$$\rho_0 = 3.719 \times 10^{-28} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Odatle do zaključka kako nama vidljivi dio mase predstavlja tek manji dio mase univerzuma nije daleko.

Granična gustoća (o kojoj ovisi buduće vladanje univerzuma) materije dana je izrazom (parametar usporenja smatramo jednakim $q=1$):

$$q := 1 \quad \text{Po Sandageu, s 95\% vjerojatnosti je } 0 < q < 2$$

$$\rho_H := \frac{3 \cdot q}{8 \cdot \pi \cdot G} \cdot H^2 \quad (7)$$

$$\rho_H = 1.057 \times 10^{-26} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

tako da je naša procjena gustoće manja od ρ_H ali bliža njoj od Oortove. Odnos naše vrijednosti prema kritičnoj gustoći iznosi:

$$\frac{\rho(R)}{\rho_H} = 0.213$$

što je u dobrom slaganju sa suvremenim mjerenjima koja ga procjenjuju na ≥ 0.1 ('Vasiona' 3-4/95).

Koristeći Einsteinovu relaciju o ekvivalenciji mase i energije, dobivamo relaciju za ukupnu energiju svemira (prema općoj teoriji relativnosti, energija, naboj i moment impulsa zatvorenog svemira jednaki su nuli):

$$E := \frac{R \cdot c^4}{2 \cdot G} \quad (8) \quad E = 7.473 \times 10^{69} \cdot J$$

Smatramo li gravitacionu konstantu neovisnu o vremenu, te da za univerzum kao cjelinu vrijedi zakon očuvanja energije $E_1 = E_2$, dobivamo:

$$c(R) := \left(2 \cdot G \cdot \frac{E}{R} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

$$\text{konst} := (2 \cdot G \cdot E)^{0.25} \quad \text{konst} = 337.701 \text{gs}^{1.25} \cdot \text{god}^{-1}$$

$$c(R) := \text{konst} \cdot R^{-0.25} \quad (9a)$$

Daklem, iznenađujući zaključak: brzina svjetlosti ovisi o polumjeru svemira (obrnuto proporcionalno sa $R^{0.25}$), drugim riječima o vremenu! [irenjem svemira brzina svjetlosti se smanjuje i obratno. U vasioni beskonačnih dimenzija brzina svjetlosti bila bi nula, u singularitetnom svemiru bila bi beskonačno velika! Ovo navodi na zaključak da treba izbjegavati teorije koje dovode do singulariteta ili beskonačnih dimenzija univerzuma. S obzirom na relaciju:

$$c := \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad (10)$$

možemo zaključiti kako do promjena brzine svjetlosti dolazi uslijed promjene elektromagnetskog polja vakuuma koje prati širenje svemira. Pogledamo li (približno) za koliko je bila veća brzina svjetlosti prije 130 milijuna godina ($dR < R$) u odnosu na njenu današnju vrijednost (smatrat ćemo da se svemir širi bez usporenja),

$$\frac{d}{dR} \left(\text{konst} \cdot R^{-0.25} \right) = -1.923 \times 10^{-11} \cdot \text{god}^{-1}$$

$$dR := -\frac{R}{100} \quad dc(R) := -1.293 \cdot 10^{-11} \cdot \text{god}^{-1} \cdot dR$$

$$dc(R) = 504.217 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$\frac{dc(R)}{c} \cdot 100 = 0.168$$

vidimo da povećanje iznosi manje od 0.2% današnje veličine.

Koliko se smanjila brzina elektromagnetskih valova od Roemerovih vremena ($dR \ll R$)?

$$dR := -300 \text{gs}$$

Zbog očuvanja energije, diferencijalna promjena energije svemira jednaka je nuli:

$$dE = d \frac{R \cdot c^4}{2 \cdot G} = 0$$

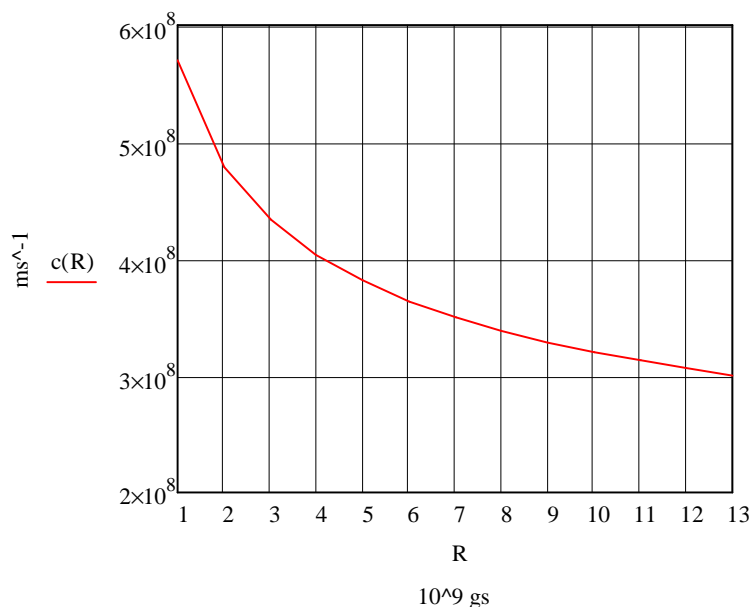
Odatle izlazi, za relativnu promjenu brzine svjetlosti: $x = dc/c$:

$$x := -\frac{1}{4} \cdot \left(\frac{dR}{R} \right) \quad (11)$$

$$x \cdot 100 = 5.769 \times 10^{-7}$$

Izvjescno je da brzinu svjetlosti danas nije moguće izmjeriti s tolikom točnošću da bismo uočili njenu promjenu u tako kratkom vremenskom intervalu u odnosu na starost vasione. Jasno je stoga zašto unatoč svemu prihvaćamo 'dogmu' o konstantnosti brzine svjetlosti. (Doduše, prema C.W. Allenovim 'Astrophysical Quantities', brzinu svjetlosti $c = (299792.4562 \pm 0.0011) \text{ km/s}$ poznajemo s točnošću od $3.669 \cdot 10^{-7} \%$, te bi dugoročna mjerenja s ovakvom ili boljom preciznošću mogla potvrditi, odnosno oboriti naš zaključak.)

Prikazat ćemo zavisnost brzine svjetlosti o radiusu vasione grafički.



Zavisnost brzine svjetlosti o radiusu svemira

Odsječak apscise predstavlja milijardu godina svjetlosti.

SLIKA 1

Važno je napomenuti da ovdje govorimo o promjeni brzine svjetlosti koja je uvjetovana stanjem cijelog univerzuma, a ne stanjem kretanja pojedinih tijela, tako da se relativističke jednadžbe gibanja, te zbrajanja brzina ne dovode u pitanje. Radi se o tome da promjene 'dijelova' prate promjene 'cjeline'. Karakteristike svjetlosti (brzina i valna duljina) koja stiže iz udaljenijih (starijih) u bliže (mlađe) regione kozmosa, prilagođavaju se uvjetima koji vladaju određenim područjem. Ne ulazimo u to na koji način i kojom brzinom. S druge strane, jesmo li do sada ravnopravno (direktno) određivali brzinu kozmološki mlade i stare svjetlosti?

Slijedeća posljedica promjenljivosti brzine svjetlosti (poštujemo li zakon očuvanja energije) je promjena mase svemira tokom njegove evolucije (M raste s ekspanzijom vasiona, dok s njenim kolapsom prema singularitetu - iščezava). To slijedi direktno iz Einsteinove relacije o ekvivalenciji mase i energije:

$$c := 3 \cdot 10^8 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$E := M \cdot c^2 \quad (12)$$

(Energija se održava, jer M raste a c se smanjuje). Neobično slično Hoyleovoj kreaciji materije iz 'ničega' (polja), sem što mi predložimo dva moguća fizikalna mehanizma njenog 'nastanka' koje bi se isplatilo istražiti. To su:

- 1) na račun promjene elektro-magnetskog polja vakuuma
- 2) na račun izmjene materije sa 'drugim' vasionama

Po našem mišljenju, mijenjane elektromagnetskog polja vakuuma ukazuje da se povećava upravo elektromagnetski doprinos masi svemira. Izaziva li porast njegove mase usporenje tempa ekspanzije (povećava li se parametar usporenja)?

Shodno tome, ne možemo gustoću materije više smatrati obrnuto proporcionalnu sa

$$R^3$$

kako bi proizlazilo iz zahtjeva za konstantnošću mase. Kako onda gustoća svemirske materije ovisi o njegovim dimenzijama? Kombiniranjem relacija (5) i (9a) dobivamo:

$$\rho(R) := \frac{\text{konst}^2}{2 \cdot k \cdot G} \cdot \frac{1}{\sqrt{R^5}} \quad (13)$$

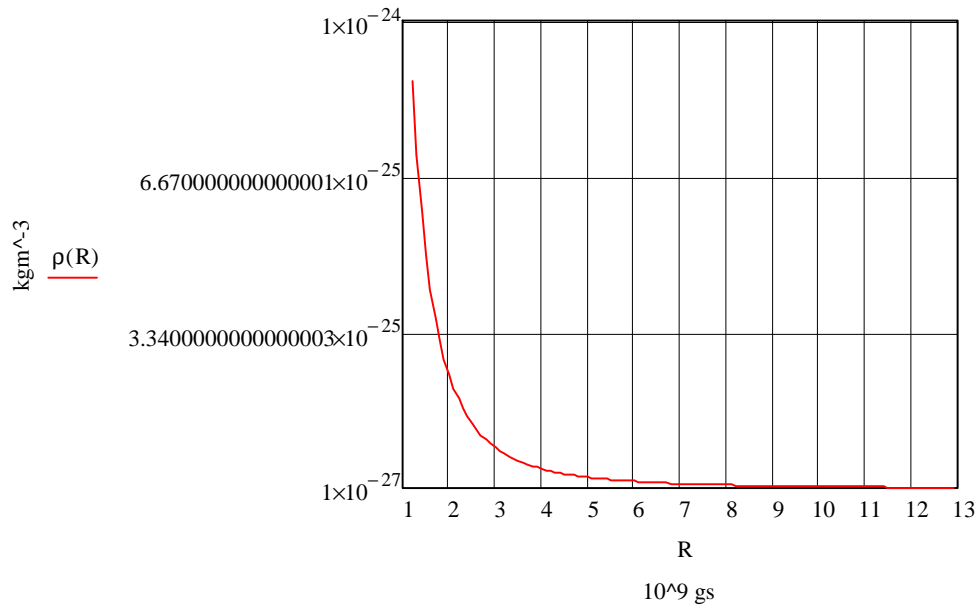
$$\text{const} := \frac{\text{konst}^2}{2 \cdot k \cdot G} \quad \text{const} = 3.792 \times 10^{38} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-0.5}$$

$$\rho(R) := \frac{\text{const}}{\sqrt{R^5}} \quad (13a)$$

Daklem, obrnuto proporcionalno sa

$$R^{2.5}$$

Prikažimo promjenu gustoće svemira grafički:

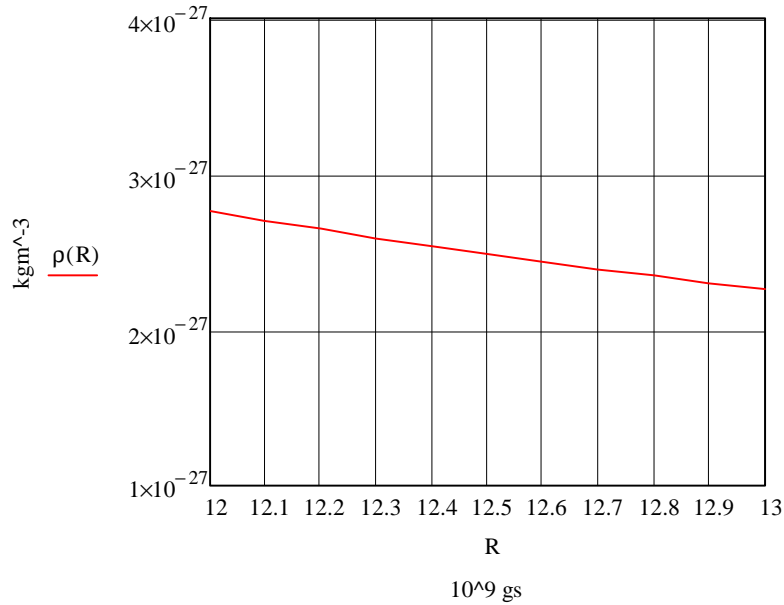


Zavisnost gustoće svemira o njegovu polumjeru

Odsječak apscise predstavlja milijardu godina svjetlosti.

SLIKA 2

U 'posljednjih' milijardu godina slika je ovakva:



Promjena gustoće svemira u zadnjih milijardu godina

Odsječak apscise predstavlja 0.1 milijardu gs.

SLIKA 3

Uočljiv je veoma strmi pad gustoće u početnoj fazi ekspanzije svemira. To nam, sem grafikona, ilustrira i slijedeća tablica.

R =	0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1	$\rho(R) \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 =$	13.75 2.431 0.882 0.43 0.246 0.156 0.106 0.076 0.057 0.043
-----	--	---	---

Gustoća svemira u odnosu na njegov polumjer

R - u godinama svjetlosti

TABLICA

Gustoća svemira u trenutku kad su mu dimenzije bile 1 svjetlosna sekunda iznosila je:

$$\rho = 2.432 \cdot 10^{17} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

što je reda gustoće nuklearne materije. Račun na temelju 'standardnog modela' (Dicke, Peebles, Roll i Wilkinson) daje oko milijardu puta manju vrijednost što nije ni čudno, jer smo naš proračun (i u tablici) neopravdano protegli duboko u doba kad je prevladavalo zračenje (međutim, za starost od $5 \cdot 10^8$ godina, obje se vrijednosti razlikuju tek za faktor ispred 10^{-24} kg/m^3).

Odnos masa univerzuma u različitim fazama svog razvoja ($y=M2/M1$) lako dobijamo iz relacije ekvivalentnosti mase i energije:

$$y := \frac{c_1^2}{c_2^2} \quad (14)$$

odnosno, uzevši u obzir (9a):

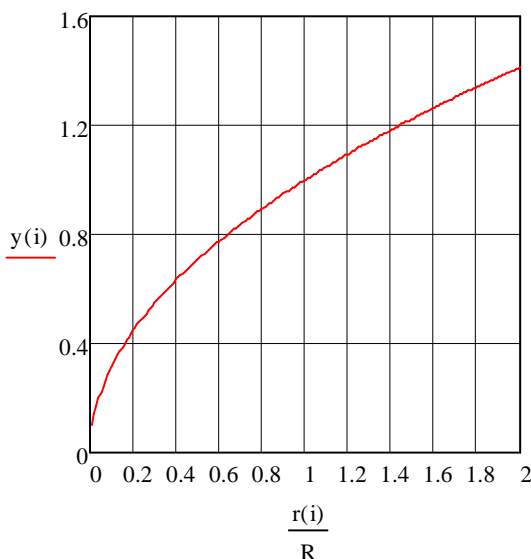
$$y := \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} \quad (14a)$$

Od prije 6.5 milijardi godina do danas (zanemarimo li usporenje širenja), masa svemira povećala se dakle:

$$y = 1.414$$

puta.

Grafički to izgleda ovako:



Odnos omjera masa svemira prema omjeru radiusa

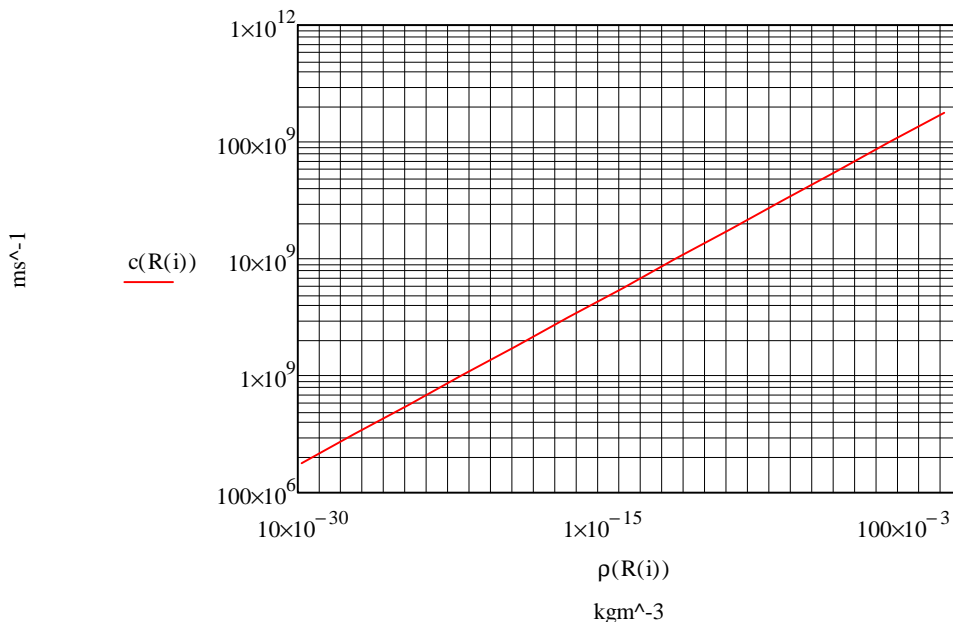
SLIKA 4

Kako doprinos ukupnoj masi univerzuma daju pojedinačni objekti (elementarne čestice, zvijezde, galaksije,...) i polja - iako zakon zbrajanja nesvodive, elektromagnetske i rotacione mase nije aditivan - slijedi da se i njihova masa mora povećavati tokom njegove ekspanzije (što izlazi i iz izraza za energiju tijela: $E=m \cdot c^2$, smatramo li da se ona očuvava). To znači da bi, na primjer, gravitacioni crveni pomak Sunca rastao sa njegovom starošću. Ne bismo li prihvatili prilagođavanje karakteristika svjetlosti uvjetima kroz koje se prostire, morali bi očekivati da objekti s ruba vasiona (stariji) izgledaju plaviji u odnosu na istovrsna ali mlađa tjelesa. Zanimljivo je da energiju veze objekata u svemiru - crnoj rupi i neizbježne gubitke mase (energije) zračenjem, promjena mase pojedinih struktura pratila bi (približno) isti zakon kao kozmos (14a). Prije milijardu godina je tako masa naše matične zvijezde - iz kozmoloških razloga - činila svega 96% njene današnje vrijednosti. Kako bi i kinetička te gravitaciona potencijalna energija tjelesa bivale sve veće, zakon konzervacije energije zahtijeva istovremeno smanjenje ostalih (elektromagnetskih?) oblika njegove energije. Ovo nam se čini kao dosad najjasnija manifestacija tzv. 'principa Macha', po kojem je inercija tijela uvjetovana masama svih ostalih tjelesa u svemiru. Za impuls slobodne čestice vrijedi ista primjedba kao i za impuls fotona (na kraju članka).

Konačno, iz relacija (9) i (13) dobijamo zavisnost brzine svjetlosti o gustoći univerzuma:

$$\begin{aligned} \text{konst1} &:= (16 \pi^2 \cdot E^2 \cdot G^3)^{0.1} \\ \text{konst1} &= 1.386 \times 10^{11} \cdot \text{kg}^{-0.1} \cdot \text{m}^{1.3} \cdot \text{s}^{-1} \\ c_{\text{A}}(R) &:= \text{konst1} \cdot \rho(R)^{0.1} \end{aligned} \quad (15)$$

Brzina elektromagnetskih valova proporcionalna je desetom korjenu iz gustoće vasiona - smanjenje gustoće 10 puta izaziva umanjeње brzine vala 1.259 puta (da bi se to zbililo, mora se, doduše njen radius povećati 2.512 puta; na primjer sa sadašnjih 13 milijardi svjetlosnih godina na blizu 33 milijarde gs) i obratno. Ovakvo vladanje je sasvim suprotno onom mehaničkih valova. Njihova brzina je obrnuto proporcionalna drugom korjenu gustoće - daklem u rjeđoj sredini oni se kreću brže. No, nisu li i stari istraživači prirodnih zakonitosti bili prisiljeni hipotetičkom eteru pripisivati najčudnovatija svojstva (zbog čega je i konačno(?) iščezao iz fizike)?



Zavisnost brzine svjetlosti od gustoće svemira

Skale na koordinatnim osima su logaritamske.

SLIKA 5

Pretpostavimo nadalje (radi očuvanja linearne skale vremena) da se frekvencija fotona ne mijenja tokom vremena (što izlazi i iz zahtjeva za očuvanjem njegove energije $E=h \cdot \nu$). Tada, iz relacije $c=\lambda \cdot \nu$ slijedi vremenska promjenljivost njegove valne duljine (ili, direktno iz $p=h/l$ i promjene impulsa, bez pozivanja na frekvenciju). Energija se fotona ne mijenja dok mu se impuls povećava(?) tokom ekspanzije svemira. Naravno, to nas postavlja pred dilemu: vrijedi li za kvant elektromagnetskog zračenja (i slobodnu česticu) zakon očuvanja impulsa na kozmološkoj skali vremena? Mjerenja promjene valne duljine svjetlosti (na duži ili kraći rok, ovisno o veličini iste) mogla bi indicirati ili demantirati kozmološku promjenu brzine svjetlosti. Za 100 godina ($dR=100\text{gs}$) promjena valne duljine iz optičkog dijapazona ($l=5000$ angstrema) bila bi reda veličine $dl=0.00001$ angstrom (za računanje relativne - kozmološke - promjene valne duljine $:100 \cdot dl/l$, možemo koristiti formulu (11)). Kako su valne duljine tog područja tabelirane obično s točnošću do trećeg - četvrtog decimalnog mjesta, vjerojatno bi to bilo izvodljivo, posebno kad bismo mogli vršiti jednako precizna mjerenja u radio dijapazonu. Još i više. Na osnovi jednom određene (eventualne) promjene duljine vala svjetlosti, lako bismo izračunali dimenzije entiteta kojeg uobičajeno zovemo svemir. Time bi spektroskopija na području makrosvijeta još jednom odigrala ključnu ulogu, kakvu je imala u ljudskoj spoznaji mikrokozmosa. Tko bi smio zahtijevati više?

Vidimo daklem da nam tretiranje univerzuma kao crne rupe (bez posebnih dodatnih pretpostavki) otvara mnoga pitanja. Posebno treba zamijetiti kako se brojčane procjene dobijene na taj način slažu po redu veličine, kako sa raspoloživim podacima promatranja, tako i sa procjenama baziranim na osnovi postojećih kozmoloških modela. No, dolazimo i do kvalitativno novih zaključaka (najparadoksalniji i najfascinantniji su oni o relativnoj valjanosti nekih fizikalnih zakona). Gdje je istina? Tamo gdje se skriva, čovjek će je svojim umom i pronaći. U prirodi! Za to je neosporno sposoban.

* Primjedba

Po Einsteinu je radius stacionarne, zatvorene vasione:

$$c := 3 \cdot 10^5 \cdot \frac{\text{km}}{\text{s}} \quad R_e := \frac{2 \cdot G \cdot M}{\pi \cdot c^2} \quad (16) \quad R_e = 4.138 \times 10^9 \cdot \text{gs}$$

LITERATURA:

Ivanović M. Dragiša - 'O teoriji relativnosti'

Lang R. Kenneth - 'Astrophysical formulae' (ruski prijevod)

Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A. - 'Gravitation' (ruski prijevod)

Grupa autora (pod redakcijom S.B. Pikeljnera) - 'Fizika kosmosa' (rusko izdanje)

Roša D., Vinković D. - 'Einsteinova teorija i crne jame', 'Čovjek i svemir', 2/94/95

Samurović Srđan - 'Novo merenje Hablove konstante', 'Vasiona', 5/94

Samurović Srđan - 'Ciklus "Kosmologija - osnove i uticaji"', 'Vasiona', 3-4/95

Definicije jedinica i konstanti:

$$s \equiv 1T$$

$$m \equiv 1L$$

$$kg \equiv 1M$$

$$C \equiv 1Q$$

$$km \equiv 1000m$$

$$\text{Farad} \equiv \frac{A^2 \cdot s^4}{kg \cdot m^2}$$

$$A \equiv \frac{C}{s}$$

$$\text{Henri} \equiv \frac{s^2}{\text{Farad}}$$

$$\text{god} \equiv 3.156 \cdot 10^7 \cdot s$$

$$N \equiv kg \cdot m \cdot s^{-2}$$

$$J \equiv kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$$

$$gs \equiv 9.467 \cdot 10^{15} \cdot m$$

$$Mgs \equiv 10^6 \cdot gs$$

$$Mpc \equiv 3.086 \cdot 10^{22} \cdot m$$

$$Msunca \equiv 2 \cdot 10^{30} \cdot kg$$

$$G \equiv 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$$

$$c := 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{m}{s}$$

$$\epsilon_0 \equiv 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\text{Farad}}{m}$$

$$\mu_0 \equiv 1.26 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{Henri}}{m}$$

$$h \equiv 1$$

$$M := 1 \cdot kg$$

$$\underline{R} := 1 \cdot m$$

$$c1 := 1 \cdot \frac{m}{s}$$

$$c2 := 1 \cdot \frac{m}{s}$$

$$R1 := 6.5 \cdot 10^9 \cdot gs$$

$$R2 := 13 \cdot 10^9 \cdot gs$$

UNIVERSE AS A BLACK HOLE

Universe is considered as an expanding black hole with growing mass and with the set of changing physical "constants", including the speed of light. Work was written in the year 1996 in program MathCad 2.50.