UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU

Olbersov paradoks: sintetički pogled

-diplomski rad-

Mentor:
Prof. dr Milan M. Ćirković

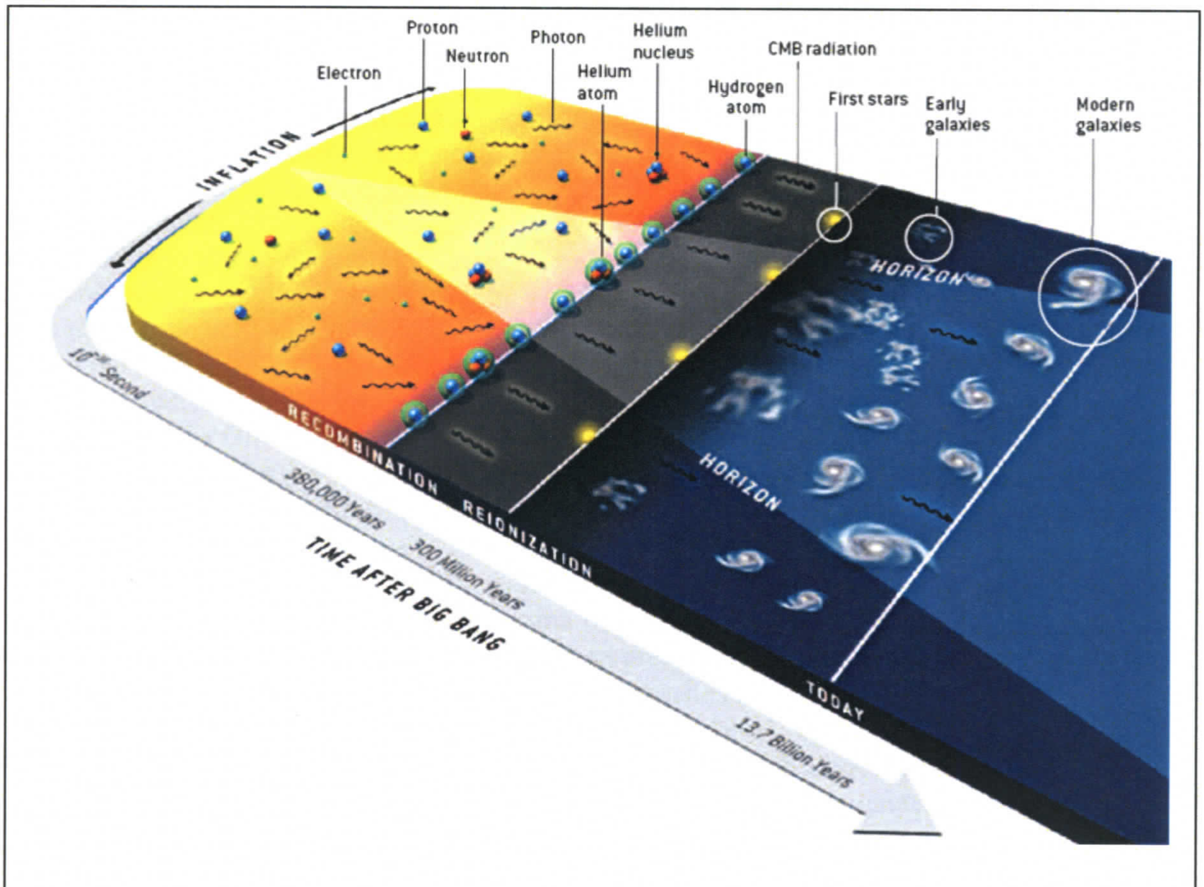
Student:
Zorica Božić
Broj indeksa: 552/03

Novi Sad, jun 2009. godine

Sadržaj:

1. Uvod

U zavisnosti od razvijenosti ljudskog društva, u različitim periodima ljudske istorije, menjao se i način na koji je tumačen Univerzum. Sve je počelo od tumačenja da je Zemlja ravna ploča koja pluta na vodi, a stiglo se do standardnog kosmološkog modela (poznatog i kao teorija Velikog Praska). Svaka od epoha imala je svoju sliku Univerzuma, prema tome, tako je i danas. Naše tumačenje nastanka i sudbine Univerzuma, zasnovano je na modelu Velikog Praska.



Slika 1. Nastanak i širenje svemira, model Velikog Praska

Univerzum je u ljudskoj percepciji pretrpeo niz promena. Prvo je starogrčki filozof Aristotel (grč. Αριστοτέλης) izneo ubedljive razloge da Zemlja nije ravna ploča kao što se do tad mislilo. Takođe je verovao da je Zemlja statična i da je ona centar Vasione. Potom je Ptolomej smatrao da je Zemlja obavijena nizom od osam kristalnih sfera na kojima su raspoređeni Sunce, Mesec, 5 planeta i zvezde. Jednostavniji model svemira izložio je poljski sveštenik Nikola Kopernik (polj. Mikołaj Kopernik). Zbog stavova tadašnje crkve, Kopernik je svoj model u početku objavljivao anonimno, koji se bazirao na tome da se u središtu Vasione nalazilo Sunce, a Zemlja i ostale planete su se oko njega kretale po kružnim putanjama.

Bilo je potrebno da prođe skoro jedan čitav vek da bi ideja Kopernika bila ozbiljno shvaćena. Tada su dva astronoma, Johan Kepler (Friedrich Johannes Kepler) i Galileo Galilej (Galileo Galilei), počela javno da podržavaju taj model. 1687. godine Njutn (Isaac Newton) je objasnio kako se tela kreću u prostoru i vremenu i dao složene matematičke postupke koji su bili neophodni za analizu ovih kretanja. Tada je Njutn postavio jedan od najbitnijih fizičkih zakona – zakon gravitacije, koji kaže da je sila između dva tela koja se privlače proporcionalna njihovim masama, a obrnuto proporcionalna sa kvadratom rastojanja između njih.

Njutn je shvatio da bi prema njegovoj teoriji gravitacije zvezde trebalo da se međusobno privlače, a to je značilo da one ne mogu ostati nepomične. Tada se postavljalo novo pitanje – zar se onda neće sve sunovratiti jedna ka drugoj u nekom trenutku? Njutn je utvrdio da bi se to zapravo i dogodilo kada bi postojao konačan broj zvezda, koje su razmeštene u nekom konačnom prostoru. Ukoliko bi ova teorija bila tačna, do toga ne bi ni došlo jer ne postoji središnja tačka ka kojoj bi se one sunovratile.

Pre XX veka niko nije došao na ideju da se stanje u Vasioni menja, da se ona širi i skuplja. Osnovno je mišljenje bilo da je svemir oduvek postojao u nepromenjenom obliku, ili da je nastao u nekom obliku sličnom današnjem. Čak i oni koji su shvatili da iz Njutnove teorije gravitacije proizilazi da Vasiona ne mora da bude statična nisu došli na ideju da ona može da se širi. Postojali su pokušaji da se prepravi teorija time, što su uveli da gravitaciona sila na velikim rastojanjima postaje odbojna.

Još jedna zamerka modelu beskonačne statične Vasione pripisuje se nemačkom filozofu Hajnrihu Olbersu (Heinrich Wilhelm Olbers). Problem se ogleda u tome što bi se u beskonačnoj statičnoj Vasioni svaka linija vida okončala na površini neke zvezde, tj. gde god da se pogleda videla bi se neka zvezda. Tada bi celo nebo trebalo da bude podjednako osvetljeno, čak i noću. Olbersov protivargument bila je hipoteza da svetlost sa dalekih zvezda apsorbuje materija u međuzvezdanom prostoru. U tom slučaju ova materija bi se takođe jednom zagrejala i sama bi postala podjednako sjajna kao i zvezde. Jedini način da se izbegne ovaj zaključak je da se pretpostavi da zvezde nisu večno sijale, već da su se upalile u nekom konačnom vremenu u prošlosti.

1929. godine Edvin Habl (Edwin Powell Hubble) došao je do jednog od najčudnijih otkrića u istoriji kosmologije. Eksperimentalno je utvrdio da Vasiona nije statična, da se galaksije u njoj kreću i gde god pogledali, udaljene galaksije se velikom brzinom sve više i više udaljavaju od nas, tj. Univerzum se širi!

Zašto je nebo noću tamno? Ako na njemu ima beskonačno mnogo zvezda, zar ono ne bi trebalo da bude svetlo?

Kao što je već rečeno ova pitanja su zbunjivala mnoge naučnike od XVI do XVIII veka. Problem je nazvan Olbersov paradoks po nemačkom naučniku koji ga je opisao 1923. godine, Hajnrih Vilhelm Olbersu. Još 1610. godine je Johan Kepler opisao ovu „pojavu“ a kasnije su i Halej (Edmund Halei) i Cheseaux naveli da je „mračnost" noćnog neba u suprotnosti sa pretpostavkom o beskonačnom i neprekidno statičnom univerzumu.

Model Big Bang-a je jedan od oblika ne-statičkog univerzuma. Ovaj paradoks je često nazvan paradoks tamnog noćnog neba.

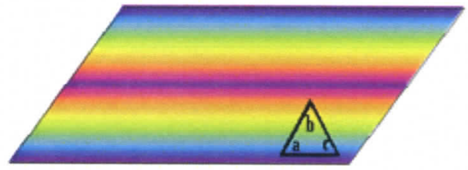
Mnogo je objašnjenja dato u protekla dva veka kao pokušaj da se reši ovaj paradoks. Olbers je predložio da je prisustvo međuzvezdane prašine zanemarljivo za dalje zvezde. 1917. godine je Šepli (Shapley) predložio ideju o ostrvskim svemirima (dalekim galaksijama), koji je definisao kao ograničeno prostrano širenje zvezdanog sistema, kao rešenje paradoksa. Zapravo ideja o ostrvskim univerzumima datira mnogo ranije, prvi je o tome raspravljao Imanuel Kant (Immanuel Kant) u svojoj doktorskoj dizertaciji oko 1750. godine. Pomoću velikog slavnog teleskopa je Habl otkrio cefeide (promenljive zvezde) u Andromedinoj maglini i pomoću njih odredio udaljenost do ovog objekta. Danas znamo da je naš Mlečni put jedna među milijardu galaksija.

Nakon otkrića da se svemir širi, crveni pomak je predložen kao osnovni mehanizam, neophodan da "oslabi" zračenje koje dolazi iz udaljenih galaksija, što nam govori o tamnom noćnom nebu. Iako danas znamo da je glavni deo odgovora na Olbersov paradoks u konačnoj starosti svemira i svih izvora svetlosti u njemu, a da je širenje svemira samo manji efekat (Wesson, Valle & Stabell 1987), ova tema je i dalje interesantna iz više razloga. Kao što pokazuje jedna skorašnja studija (Arpino & Scardigli 2003), Olbersov paradoks je i dalje inspirativan iz epistemoloških, heurističkih i pedagoških razloga. Jedna od najznačajnijih motivacija za dalji rad na ovom polju jeste činjenica da potpuna klasifikacija kosmoloških modela (kako njutnovskih, tako i relativističkih) sa stanovišta rešenja Olbersovog paradoksa još uvek ne postoji.

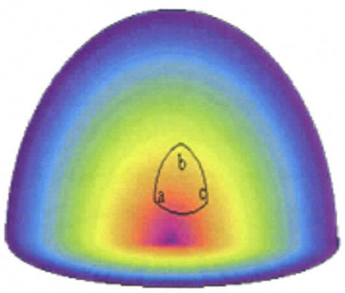
2. Kosmološki model

Model prostor-vremena koji ovde koristimo je klasičan euklidsko-njutnovski model, univerzum je euklidski RxR^3, sa euklidskom metrikom R^3. Pod euklidsko-njutnovskim modelom se podrazumeva da su prostor i vreme apsolutni, da je apsolutni sistem reference, a geometrija je euklidska.

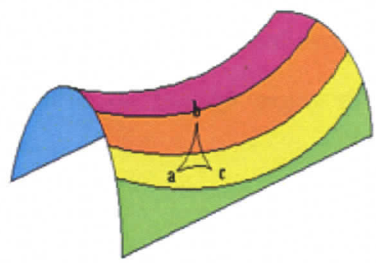
Veruje se da prostorni univerzum ima jednu od tri moguće geometrije: eliptičnu geometriju sa pozitivnom krivinom, euklidsku geometriju sa nultom krivinom ili hiperboličnu geometriju sa negativnom krivinom. Dvodimenzionalne analogije eliptične, euklidkse i hiperbolične geometrije su prikazane na sledećim slikama.



Slika 3. Ravan prostor a+b+c=180°
(zakrivljenost nula)



Slika 2. Eliptični prostor
a+b+c>180°
(pozitivna zakrivljenost)



Slika 4. Hiperbolični prostor a+b+c<180°
(negativna zakrivljenost)

Vreme koje ovde koristimo je njutnovsko apsolutno vreme. Prostor ima beskonačnu širinu, izotropan je, homogen i ravan u svakom delu, što se poklapa sa njutnovskim apsolutnim prostorom. Svetlosni signali se prostiru pravolinijski, a brzina svetlosti je konačna i iznosi c.

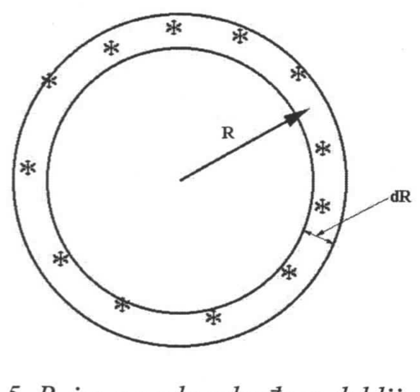
U ovom modelu, sva materija je u obliku zvezda. Pri tome zanemarujemo kao nevažnu dobro poznatu činjenicu da se najveći deo mase objekata u svemiru (oko 5/6) nalazi u obliku tamne materije, najverovatnije u obliku još uvek neotkrivenih CDM čestica. Takođe govorimo o zvezdama u relaksiranom smislu, podrazumevajući apstrahovanje složenije strukture na velikoj skali (galaksije, grupe galaksija, jata i superjata, itd.) u onoj meri u kojoj to ne menja suštinu problema. U delovima koje ispunjavaju raspoređene su homogeno i izotropno. Zbog toga, smatraćemo da ne postoje „zgušnjenja“ zvezda, kao što su jata, galaksije, itd. Broj zvezda po jedinici zapremine se ne menja sa vremenom. Sa astrofizičke strane gledišta život „virtuelne zvezde“ je beskonačan, što znači da ta zvezda nema hemijsku, nuklearnu ili gravitacionu evoluciju. Naravno, znamo da ova pretpostavka nije tačna, iz prostog razloga što zvezda mora posedovati ove evolucije. Ali sa kosmološke tačke gledišta, ideja je prihvatljiva ako pretpostavimo da postoji neprekidan niz zvezdanih generacija. Za svaku zvezdu koja umre, nova se rađa, tako da se gustina „aktivnih“ zvezda ne menja tokom vremena. Kao što ćemo videti, upoređivanje modela sa eksperimentalnim dokazima tamnog noćnog neba nas navodi da odlučimo između hipoteze o „večnom“ zvezdanom sistemu (npr. beskonačan broj zvezdanih generacija) ili hipoteze o zvezdanom sistemu koji je rođen u konačnom vremenu u prošlosti.

Ovaj problem nije jednostavan iako pitanje deluje gotovo trivijalno. Nije lako objasniti zbog čega je nebo noću toliko tamno.

2.1. Prvi pristup problemu

Ovo je jedno od najjednostavnijih objašnjenja, a kasnije ćemo pokazati nešto kompleksnije objašnjenje.
Postavljeno je par pretpostavki:

-Svemir je konačan,
-Zvezde su ravnomerno raspoređene na nebu,
-Svaka zvezda je određene luminoznosti,
-Fluks, tj. snaga svetlosnog izvora je jednaka $f = \dfrac{L}{4\pi D^2}$, gde je L luminoznost, a D je udaljenost zvezde. Iz ovoga možemo zaključiti da postoji pojas zvezda određene debljine na određenom radijusu.



Slika 5. Pojas zvezda određene debljine na određenom rastojanju

Ako posmatramo ljusku neke zvezde, onda je njena debljina dR a radijus R.

Fluks energije iz jedne zvezde je $f = \dfrac{L}{4\pi R^2}$. (1)

U pojasu ima n zvezda po jedinici zapremine V, a ukupan broj zvezda u jednom pojasu je $N = n \cdot 4\pi R^2 \cdot dR$. (2)

Ukupan fluks jednog pojasa bi se dobio pomoću sledeće formule:

$F = N \cdot f = n \cdot dR \cdot L$. (3)

Odavde vidimo da količina primljene svetlosti ne zavisi od udaljenosti pojasa. Možemo da pretpostavimo da ako bi postojalo milion ovakvih pojaseva zvezda u svemiru, na različitim udaljenostima, tada bi jednostavno pomnožili fluks jednog pojasa sa brojem pojaseva, koliko postoji, jer svi zrače istom količinom svetlosti. Svetlost sa zvezda iz tih pojaseva bi trebalo uvek da vidimo, u svako doba noći, s obzirom da nas okružuju. Čak i ako bi njihova energija promenila oblik na putu do nas (recimo bila apsorbovana od strane prašine i re-emitovana u vidu submilimetarskog i infracrvenog zračenja), ona bi morala stizati do nas i u krajnjoj instanci dovesti do izjednačavanja gustine energije svuda na nebu, u jasnoj suprotnosti sa našim empirijskim iskustvom.

2.2. Drugi pristup problemu

Drugi način pristupa problemu je da se uporedi sjaj Sunca i noćnog neba. Poznato je da Sunce zrači na temperaturi od 5800 K, a noćno nebo je mnogo manjeg sjaja.
Jedna zvezda (kao što je Sunce) prečnika R prekriva površinu $A = R^2\pi$. Površina pojasa prečnika r koju zauzima ova zvezda je:

$$f = \frac{R^2\pi}{4\pi r^2} = \left(\frac{R}{2r}\right)^2. \tag{4}$$

Površina koju zauzimaju sve zvezde jednog pojasa jednaka je proizvodu broja zvezda tog pojasa i površine koju zauzima jedna zvezda:

$$f_U = \left(\frac{R}{2r}\right)^2 \cdot \left(n \cdot 4\pi r^2 \cdot dR\right). \tag{5}$$

Iz toga sledi da je površina koju zauzimaju zvezde jednog pojasa približno jednaka $5 \cdot 10^{-16} \cdot n \cdot dR$, gde je n gustina zvezda izražena u broju zvezda po kubnom parseku (koncentracija), a dR u parsecima ($1pc$=3.0857·10^{13} km).

Ove mere su veoma pogodne, jer je procenjeno da se u našoj galaksiji nalazi po jedna zvezda na kubnom parseku i da je prosečno rastojanje između dve zvezde oko jednog parseka.

Mi ćemo razmatrati model koji ne opisuje bilo koja osnovna svojstva savremenog modela (kao što su širenje svemira, zakrivljenost, crveni pomak...). Ovaj model će se razmatrati iz dva razloga – zbog metričke jednostavnosti, koja nam omogućuje da posmatramo koncept granice pogleda (engl. *lookout limit*) bez matematičke kompleksnosti; drugi razlog je taj da se model poklapa sa klasičnim Njutnovskim prostor-vremenom. Heuristički značaj ovog modela sastoji se u tome što su osnovne pretpostavke ugrađene u Olbersov paradoks na najjednostavniji način ovde predstavljene i što se on može dalje nadgrađivati na metodološki očigledan način.

3. Granica pogleda (Lookout limit) i gustina energije pozadinskog zračenja

Pretpostavićemo da su zvezde jednako raspoređene u prostoru. Pretpostavljamo da svaka zvezda zauzima srednju zapreminu V. Svaka zvezda ima deo površine σ. Verovatnoća da naša linija pogleda dođe do površine zvezde je:

$$p = \frac{\sigma}{V^{\frac{2}{3}}}. \tag{6}$$

Naša linija pogleda će naići na površinu zvezde, ako posmatramo broj zvezda N zapremine V, tada je:

$$N = \frac{V^{\frac{2}{3}}}{\sigma}. \tag{7}$$

Udaljenost zvezde, pre nego što naša linija pogleda dođe do njene površine je:

$$\delta = V^{\frac{1}{3}} \frac{V^{\frac{2}{3}}}{\sigma} = \frac{V}{\sigma}. \tag{8}$$

Nazvana je granica pogleda (*lookout limit*). Poznato je da ova vrednost odgovara srednjem slobodnom putu fotona λ. Činjenica da je $V=1/n$, gde je n broj zvezda po jedinici zapremine, tada je:

$$\lambda = \frac{1}{\sigma n} = \frac{V}{\sigma} = \delta. \tag{9}$$

Pretpostavićemo da postoji sferna ljuska radijusa r i debljine dr. Neka je $\Omega(r)$ pun ugao slobodnih zvezdanih diskova, sve do ljuske radijusa r. Neka je $\Delta\Omega$ pun ugao koji preseca zvezda koja se nalazi na ljusci radijusa r. Deo ugla koji preseca zvezda na ljusci radijusa r je:

$$\frac{\Delta\Omega}{\Omega} = \frac{\text{ukupna zvezdana površina}}{\text{ukupna površina ljuske}} = \frac{-n\sigma 4\pi r^2 dr}{4\pi r^2} = -n\sigma dr. \tag{10}$$

Nakon integracije dobijamo izraz za pun ugao na slobodnom zvezdanom disku:

$$\Omega(r) = \Omega_0 e^{-n\sigma r}, \text{ gde je } \Omega_0 \equiv 4\pi. \tag{11}$$

Pun ugao presečen zvezdanom površinom je:

$$\Omega_0 - \Omega(r) = \Omega_0\left(1 - e^{-n\sigma r}\right). \tag{12}$$

Zbog toga, deo ovog ugla je:

$$\alpha = \frac{\Omega_0 - \Omega(r)}{\Omega_0} = 1 - e^{-n\sigma r}, \tag{13}$$

α je deo neba koji je prekriven zvezdanim diskovima van radijusa r.

Možemo zaključiti da, ako je zvezdana raspodela prostorno neograničena, jer $r \to \infty$, tada $\alpha \to 1$, na primer, celo nebo je prekriveno zvezdama.

Bitna relacija je i:

$$u(r) = 4u^*\left(1 - e^{-n\sigma r}\right), \tag{14}$$

gde je $u(r)$ gustina energije zračenja u centru sfere radijusa r, kroz sve zvezde koje se nalaze u toj sferi, u u^* je gustina energije zračenja na površini zvezde.

Ovu relaciju možemo interpretirati na više načina.

Za vreme dt zvezda emituje energiju $dE=Ldt$, gde je L luminoznost zvezde. Ova energija zrači (za vreme dt) po zapremini $4\sigma cdt$, gde je 4σ površina površine zvezde, a σ je deo površine. Tada možemo pisati $dE=4u^*\sigma cdt$ gde je $u^* = \frac{L}{4\sigma c}$ gustina energije zračenja na površini zvezde. Izračena energija dE se prenosi dok ne ispuni tu razdaljinu r do zvezde. Tada u isto vreme dt, izrači u jedinici zapremine $4\pi r^2 cdt$. Gustina energije zračenja na udaljenosti r od izvora je:

$$u = \frac{dE}{4\pi r^2 cdt} = \frac{Ldt}{4\pi r^2 cdt} = \frac{u^*\sigma}{\pi r^2}. \tag{15}$$

Broj zvezda na ljusci radijusa r je $4\pi r^2 ndr$.

Broj zvezda nije u senci drugih zvezda, npr. u centru ljuske je $4\pi r^2 ndre^{-n\sigma r}$ i doprinos gustini energije zračenja u centru ljuske kroz zvezde na ljusci je:

$$du = 4\pi r^2 ndre^{-n\sigma r}\frac{u^*\sigma}{\pi r^2} = 4u^*\sigma ne^{-n\sigma r}dr. \tag{16}$$

u predstavlja gustinu energije pozadinskog neba, ili kako se sad to naziva vangalaktičko pozadinsko svetlo. Napisali smo da $u=4u^*$ u svakoj zvezdanoj raspodeli doseže do $r>>\lambda=1/n\sigma$.

Za beskonačno prostorno širenje zvezdanog sistema gustina energije pozadinskog neba mora biti reda veličine kao i na površini zvezde. Eksperimentalni uslovi tamnog neba se mogu izraziti kao $u<<u^*$.

Što se tiče zvezdanih sistema, postoje dve mogućnosti.

Slučaj 1.

Raspodela zvezdanih sistema je prostorno neograničena.

Slučaj 2.

Raspodela zvezdanih sistema je prostorno ograničena. Pretpostavlja se da ima sfernu simteriju sa radijusom R.

3.1. Slučaj 1.

Što se tiče slučaja 1, razlikuju se dva podslučaja.

Slučaj 1(a)

Zvezdani sistem je postojao od neograničenog vremena u prošlosti.

Očigledno je da nebo noću mora biti svetlo. Činjenica je da svaka linija pogleda mora obavezno doći, pre ili kasnije do površine zvezde. Zbog toga nebeska sfera mora biti svetla, kompletno ispunjena zvezdanim diskovima, bez tamnog prostora koji se nalazi između njih. Ovaj slučaj je model koji su postavili Halej i Olbers na temeljima Njutnovih posmatranja.

Slučaj 1(b)

Zvezdani sistem je „uključen" (sve zvezde zajedno i istovremeno) u trenutku $t_0 = -T$ u prošlosti (*T*>0) (uzeli smo *t=0* kao sadašnje vreme). Jedino zračenje zvezde sadržano u sferi radijusa $h = cT$ (kosmološki horizont) može stići do nas. Radijus ove sfere mora biti upoređen sa vrednošću granice pogleda λ.

Izraz za gustinu energije:

$u(cT) = 4u^* \sigma n e^{-n\sigma cT}$,

$du(cT) = 4u^* \sigma n e^{-n\sigma cT} d(cT)$,

$u(cT) = 4u^* \sigma n \left(\dfrac{-1}{n\sigma}\right) e^{-n\sigma cT} + const$,

$u(cT) = -4u^* e^{-n\sigma cT} + const$.

Ako je *cT*=0, tada:

$u(0) = -4u^* e^{-n\sigma cT} = -4u^* + C$, jer član $e^{-n\sigma cT}$ teži jedinici.

Prema tome konstanta integracije je:

$C = 4u^*$, pa je prema tome:

$u(cT) = -4u^* e^{-n\sigma cT} + 4u^*$.

Možemo razlikovati sledeće podslučaje.

Slučaj 1. (b1)

Ako je λ>cT, tada se noćno nebo „isključiti" i biće mrak.

$u(r) > u(cT), \qquad \lambda = r$

$4u^*\left(1 - e^{-n\sigma r}\right) > -4u^* e^{-n\sigma cT} + 4u^*$,

$4u^*\left(1 - e^{-n\sigma r}\right) > 4u^*\left(1 - e^{-n\sigma cT}\right)$,

$1 - e^{-n\sigma r} > 1 - e^{-n\sigma cT}$,

$1 - \dfrac{1}{e^{n\sigma r}} > 1 - \dfrac{1}{e^{n\sigma cT}}$.

Kako se povećava vrednost promenljive *r*, član $\dfrac{1}{e^{n\sigma r}}$ će težiti nuli, pa će leva strana ove nejednakosti ukupno biti bliža jedinici. Prema tome, ako je vrednost promenljive cT manja, tada će član $\dfrac{1}{e^{n\sigma cT}}$ težiti jedinici, pa će sa desne strane nejednakosti ostati vrednost bliža nuli. Iz ovog vidimo da je leva strana nejednačine veća od desne. Po ovoj pretpostavci, nebo je noću tamno, jer je *r* veće od kosmološkog horizonta (tj. radijusa zvezdanog sistema).

Slučaj 1. (b2)

Ako je λ<cT, tada će nebo noću biti svetlo.

$u(r) < u(cT)$,

$$4u^*\left(1-e^{-n\sigma r}\right)<4u^*\left(1-e^{-n\sigma cT}\right),$$
$$1-\frac{1}{e^{n\sigma r}}<1-\frac{1}{e^{n\sigma cT}}.$$

Ukoliko je r manje vrednosti, član $\frac{1}{e^{n\sigma r}}$ će težiti jedinici, pa sa leve strane nejednakosti stoji vrednost koja je bliska nuli. Prema tome, što je vrednost cT veća, član $\frac{1}{e^{n\sigma cT}}$ će težiti nuli, pa će sa desne strane biti član koji teži jedinici. Radijus granice posmatranja je manji od sfere gde se nalaze zvezdani sistemi i prema tome, nebo će biti svetlo!

3.2. Slučaj 2.

Distribucija zvezdanog sistema je prostorno konačna. Pretpostavićemo da ima sfernu simetriju radijusa R. U ovom, kao i u prethodnom slučaju, razlikuju se dva podslučaja.

Slučaj 2.(a)

Zvezdani sistem je postojao u beskonačnom vremenu u prošlosti ($t_0=-\infty$). U ovom slučaju razmatraćemo dva podslučaja.

Slučaj 2. (a1)

Ako je λ>R tada će noćno nebo biti tamno.

Izraz za gustinu energije:
$u(R)=4u^*\sigma ne^{-n\sigma R}$,
$du(R)=4u^*\sigma ne^{-n\sigma R}d(R)$,
$u(R)=4u^*\sigma n\left(\frac{-1}{n\sigma}\right)e^{-n\sigma R}+const$,
$u(R)=-4u^*e^{-n\sigma R}+const$.
Ako je R=0 tada je:
$u(0)=-4u^*e^{-n\sigma R}=-4u^*+C$, jer član $e^{-n\sigma R}$ teži jedinici.
Prema tome konstanta integracije je:
$C=4u^*$, pa je prema tome:
$u(R)=-4u^*e^{-n\sigma R}+4u^*=4u^*\left(1-e^{-n\sigma R}\right)$.

Prema tome, ako je:
$u(\lambda)>u(R)$, tada će

$$4u^*\left(1-e^{-n\sigma r}\right)>4u^*\left(1-e^{-n\sigma R}\right),$$

$$1-\frac{1}{e^{n\sigma r}}>1-\frac{1}{e^{n\sigma R}}.$$

Što je r veće, član $\frac{1}{e^{n\sigma r}}$ će biti bliži nuli, pa će sa leve strane ostati izraz koji je blizak jedinici. Isto tako, što je R manje član $\frac{1}{e^{n\sigma R}}$ će težiti jedinici i sa desne strane ostaje vrednost bliska nuli. Nebo će noću biti tamno.

Slučaj 2. (a2)

$$u(\lambda)<u(R)$$
$$4u^*\left(1-e^{-n\sigma r}\right)<4u^*\left(1-e^{-n\sigma R}\right),$$
$$1-\frac{1}{e^{n\sigma r}}<1-\frac{1}{e^{n\sigma R}}.$$

Što je vrednost r manja, član $\frac{1}{e^{n\sigma r}}$ će težiti jedinici i sa leve strane ostaje vrednost bliska nuli, takođe što je R veće, član $\frac{1}{e^{n\sigma R}}$ će težiti nuli pa će sa desne strane ostati vrednost bliska jedinici. Radijus zvezdanog sistema je veći od radijusa do kog naše oko vidi, pa će nebo noću biti svetlo.

Slučaj 2. (b)

Zvezdani sistem je uključen u vreme $t_0 = T$ u prošlosti.

4. Izveštaj o zagonetki

Filozofi su jednom počeli da razmišljaju o tome, koje je od dva nebeska tela, Sunce ili Mesec, najvažnije za nas. Duboko razmišljajući duže vreme, pronašli su odgovor: Mesec je važniji sve dok sija tokom noći dok traje mrak. Sunce sija tokom dana, ali tada postoji dosta dnevne svetlosti u svakom slučaju.

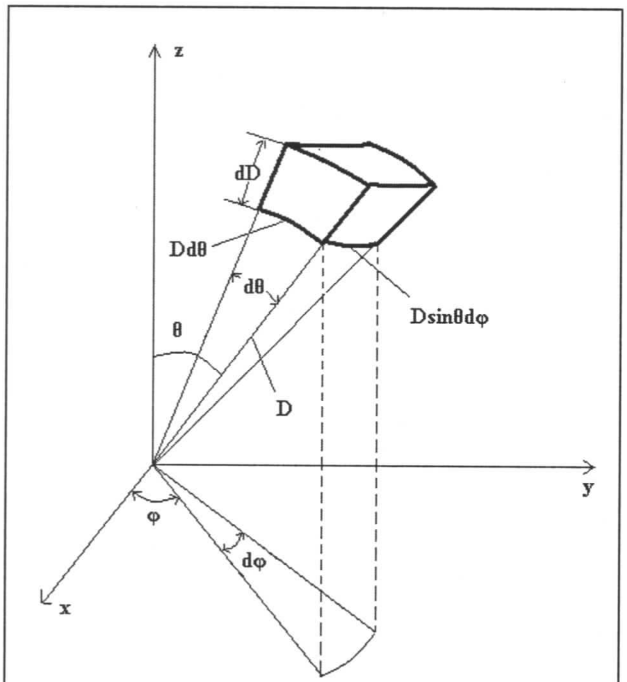
Sada, očigledan i opšti odgovor na pitanje, zašto je nebo noću tamno je taj da je naše Sunce „dole“ i obasjava drugu stranu Zemlje. Naše Sunce je standardna zvezda i pored nje, na našem nebu postoje i mnoge druge zvezde. Pitanje je zašto je svetlost sa drugih zvezda toliko slaba? Svetlost sa neke udaljene zvezde je mnogo slabija, nego sa neke zvezde koja je bliža nama. Danas znamo da postoji mnogo zvezda koje su veoma udaljene od nas.

U prethodnom delu rada, izračunali smo gustinu energije. Sada možemo izračunati količinu energije koju primi jedinica površine Zemlje sa nekog svetlosnog izvora, koji ima sfernu ljusku debljine *dD* i koji je na udaljenosti *D* od Zemlje. Uzimamo osu *z*, koja je normalna na jedinicu površine. Gustinu svetlosnog izvora ćemo obeležiti sa n_0, a luminoznost svetlosnog izvora sa L_0. Energija emitovana po vremenu sa zapreminom $D^2 \sin\theta d\theta d\varphi dD$, je data kao $L_0 n_0 D^2 \sin\theta d\theta d\varphi dD$.

Energija dl_e koja je primljena po vremenu i površini od elementa zapremine je data kao:

$$dl_e = L_0 n_0 D^2 \sin\theta d\theta d\varphi dD \frac{\cos\theta}{4\pi D^2}. \quad (17)$$

U prethodnoj jednačini faktor $\cos\theta$ proizilazi iz činjenice da odaslani svetlosni zraci iz elementa zapremine, nisu normalni na jedinicu površine. U prethodnim pokušajima da se objasni ovaj paradoks mnogi autori nisu vodili računa o činjenici da posmatrač na Zemlji može jedino da posmatra svetlosne izvore iznad horizonta. Količina energije dl_s koja je primljena po vremenu i površini sa sferne ljuske je data kao:



Slika 6. Svetlost emitovana iz elementa zapremine i primljena u jedinici površine i normalna na z-osu

$$dl_s = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\frac{\pi}{2}} L_0 n_0 D^2 \sin\theta \cos\theta \cdot \frac{1}{4\pi D^2} d\theta d\varphi dD. \quad (18)$$

Prema tome, energija pimljena sa svake ljuske debljine dD je:

$$dl_s = \frac{1}{4} L_0 n_0 dD, \qquad (19)$$

sve dok broj svetlosnih izvora raste u istom pravcu kao što energija svetlosnih izvora opada. Ova prethodna jednačina nije tačna, ukoliko je naš svemir beskonačan. Mi bismo se istog trenutka ispekli, zbog beskonačne količine energije sa svih ljuski zajedno.

5. Efekat pomračenja

Svako ko je bio unutar ogromne šume, zna da joj se ne mogu videti granice ako je dovoljno velika. Drveća koja su dosta daleko su delimično pokrivena drvećima koja su bliža posmatraču. Gledanjem unutar ogromnog svemira u svakom pravcu možemo videti svetlosni izvor. Naše nebo bi zbog toga trebalo da bude prekriveno svetlosnim izvorima, tj. zvezdama.

Koliko sudara bi doživelo N objekata prelazeći rastojanje dD kroz raspodelu prepreka? Ovaj broj mora biti jednak broju sudara jednog objekta koji prelazi rastojanje NdD preko prepreka (svetlosnih izvora). Taj broj je $\frac{NdD}{\gamma}$, gde je γ rastojanje koje objekat pređe između sudara. Zato je verovatnoća da foton bude apsorbovan prelazeći malo rastojanje dD baš $\frac{dD}{\gamma}$.

Ovaj broj takođe predstavlja i verovatnoću da foton putuje napolje van svetlosnog izvora i doseže do ljuske debljine dD koja se nalazi na rastojanju D od svetlosnog izvora i bude apsorbovan u ovoj ljusci. Takođe ovaj broj predstavlja i odnos delova preseka površine prepreka u ljusci i površine ljuske. Uzimajući da su svetlosni izvori (prepreke) sferni objekti radijusa a imamo:

$$\frac{dD}{\gamma}=\frac{n_0 4\pi D^2 dD\pi a^2}{4\pi D^2}. \tag{20}$$

Srednje rastojanje foton prelazi pre nego što bude apsorbovan od svetlosnog izvora, tj. srednji slobodni put γ je dat kao:

$$\gamma=\frac{\frac{1}{n_0}}{\pi a^2}, \tag{21}$$

to jest zapremina prostora po svetlosnom izvoru podeljena presekom svetlosnog izvora.

Prema tome odnos ukupne energije $-dE$ apsorbovan u ljusci i energije E koja se prostire do ljuske je:

$$-\frac{dE}{E}=\frac{dD}{\gamma}, \tag{22}$$

gde je dE negativno zbog toga što se energija svetlosnog izvora smanjuje kada prolazi kroz ljusku.

Integracijom poslednje jednačine dobija se:

$$E=E_0 e^{-\frac{D}{\gamma}}, \tag{23}$$

gde je E_0 ukupna energija koju emituje centralni svetlosni izvor. Prema tome, faktor pomračenja, tj. verovatnoća P da emitovani foton dođe do ljuske koja se nalazi na nekom rastojanju D od svetlosnog izvora je data kao:

$$P(D)=e^{-\frac{D}{\gamma}}. \tag{24}$$

Uzimajući u obzir efekat pomračenja, jednačina (19) dobija oblik:

$$dl_s = \frac{1}{4} L_0 n_0 e^{-\frac{D}{\gamma}} dD. \tag{25}$$

Ukupna količina energije l primljena po vremenu i prostoru iz celog svemira je dobijena integracijom prethodne jednačine i dobija se:

$$l = \int_0^\infty \frac{1}{4} L_0 n_0 e^{-\frac{D}{\gamma}} dD = \frac{L_0}{4\pi a^2}. \tag{26}$$

Energija primljena po jedinici vremena i jedinici površine biće jednaka energiji koja je emitovana po jedinici vremena i površine sa površine svetlosnog izvora. Ovo je klasična forma Olbersovog paradoksa.

Sa konačnom brzinom svetlosti se može objasniti tamno nebo, tako što se pretpostavlja da je naš svemir ostrvo svetlosnih izvora okružen praznim tamnim prostorom.

Kako bilo, mi znamo da je brzina svetlosti konačna. Gledanjem u svemir, mi takođe gledamo u prošlost. Ova zagonetka se smesta može rešiti ako se pretpostavi da svetlosni izvori sijaju neko konačno vreme ili postavljanjem pretpostavke da svemir kao takav nije postojao kroz večnost.

Kako god, moderna fizika, tj. Ajnštajnova specijalna relativnost, govori da su masa i energija svetlosnog izvora povezani kao:

$$E_{source} = mc^2, \tag{27}$$

gde je c brzina svetlosti.

Energija primljena po jedinici vremena i jedinici površine ne može biti jednaka energiji emitovanoj po jedinici vremena i jedinici površine, jer bi prostor tada bio ispunjen zračenjem koje je u ravnoteži sa materijom svetlosnih izvora. Gustina zračenja se može zapisati kao:

$$u = \frac{4}{c}\frac{L_0}{4\pi a^2}, \tag{28}$$

i energija E_{space} sadržana u zapremini $\frac{1}{n_0}$ prostora po svetlosnom izvoru, će biti:

$$E_{space} = \frac{L_0}{n_0 c \pi a^2}. \tag{29}$$

Kada se ubace brojevi izgleda da je:

$$E_{source} << E_{space}. \tag{30}$$

Iz srednjeg slobodnog puta fotona γ, se može lako naći da je svemir ispunjen zračenjem koje je u ravnoteži sa materijom svetlosnih izvora. Pitanje je koliko vremena treba da energija izvora ispuni svoju zapreminu $\frac{1}{n_0}$ od ukupnog prostora. To vreme je dato kao:

$$L_0 T = \frac{1}{n_0} \cdot u, \tag{31}$$

i iz formule da je $u = \frac{4}{c}\frac{L_0}{4\pi a^2}$, dobija se:

$$T = \frac{1}{n_0 \pi a^2 c}. \tag{32}$$

Rastojanje *d* koje je zračenje prešlo je dato kao:

$$d = \frac{\frac{1}{n_0}}{\pi a^2}, \tag{33}$$

Što se slaže sa izrazom za $\gamma = \frac{\frac{1}{n_0}}{\pi a^2}$. (34)

6. Širenje svemira

Postoje dobri dokazi da se svemir širi. To znači da je u ranoj prošlosti, rastojanje između nas i udaljenih galaksija bilo manje nego što je danas. To je veoma korisno za opisivanje ove pojave uvodeći faktor skaliranja *a*, koji predstavlja vrednost određena brojem 1. U prošlosti, *a* je bilo manje nego danas.

Kao dodatak faktoru skaliranja i njegove evolucije, ravan svemir je opisan jednim drugim parametrom, tj. njegovom geometrijom. Postoje tri mogućnosti: ravan, otvoren i zatvoren svemir. Ove različite mogućnosti se najbolje opisuju ako se pretpostavi da postoje dva slobodna tela koja putuju jedno paralelno sa drugim.

Ravan svemir je euklidski; čestice ostaju paralelne sve dok se slobodno kreću. Ravan svemir je takav u kome je gustina energije jednaka kritičnoj vrednosti i ona iznosi oko $10^{-29}\mathrm{g\cdot cm^{-3}}$. Ukoliko je gustina viša od ove vrednosti, tada je svemir zatvoren, postepeno početno paralelne čestice konvergiraju, kao što se sve linije istih dužina sreću na severnom i južnom polu. Konačno, svemir sa malom gustinom je otvoren, tako da početno paralelne čestice divergiraju[1)].

Da bi se razumela istorija univerzuma, mora se odrediti evolucija faktora skaliranja *a* sa kosmičkim vremenom *t*. Opšta relativnost dokazuje vezu između evolucije i energije u svemiru. U ranijem vremenu $a \propto t^{\frac{1}{2}}$, dok kasnije zavisnost opada kao $a \propto t^{\frac{2}{3}}$. Kako će se menjati faktor skaliranja je određeno gustinom svemira. U ranijem vremenu, jedan oblik energije – zračenje je dominiralo, dok u kasnijem vremenu je nerelativistička materija „odgovorna" za gustinu energije. Jedan od načina da se istraži sadržaj energije je da se izmere promene u faktoru skaliranja. Danas se veruje da se *a* zaustavilo na $t^{\frac{2}{3}}$, iako najnovija istraživanja potvrđuju da je $a \propto e^{Ht}$, gde je *H* kosmološka konstanta.

Da bi odredili promenu u faktoru skaliranja i njegovom odnosu prema energiji, korisno je prvo definisati Hablov odnos:

$$H(t) \equiv \frac{\frac{da}{dt}}{a}, \tag{35}$$

što u stvari predstavlja kako brzo se menja faktor skaliranja.

Evolucija faktora skaliranja je određena Fridmanovom jednačinom:

$$H^2(t) = \frac{8\pi G}{3}\left[\rho(t) + \frac{\rho_{cr} - \rho_0}{a^2(t)}\right], \tag{36}$$

[1] Striktno govoreći, ovo važi samo za one kosmološke modele koji ne sadrže komponente sa egzotičnom jednačinom stanja, poput Ajnštajnove kosmološke konstante, kvintesencije, »fantomske energije« i drugih danas popularnih modela koji se podvode pod zajednički naziv **tamna energija**. Od 1998. godine znamo da tamna energija dominira realnom dinamikom svemira na velikoj skali i izaziva njegovo ubrzano širenje. Sa tamnom energijom dolazi do komplikacija relacija između gustine i geometrije, jer u takvim modelima i geometrijski otvoreni svemir može rekolapsirati, kao i obrnuto – geometrijski zatvoreni svemir koji se opisuje eliptičnom geometrijom sa pozitivnom zakrivljenošću može rekolapsirati u singularitet.

gde je $\rho(t)$ gustina energije u svemiru kao funkcija vremena, a sa ρ_0 je obeležena sadašnja vrednost. Kritična gustina je:

$$\rho_{cr} \equiv \frac{3H_0^2}{8\pi G}, \tag{37}$$

gde je G Njutnova konstanta.

Stopa širenja je mera koliko se brzo širi svemir i izražena je kroz Hablovu konstantu. Savremena parametrizacija Hablove konstante je bezdimenzionalni Hablov parametar h definisan kao:

$$H_0 = 100 \cdot h \text{ km·Mpc}^{-1} = \frac{h}{0.98 \cdot 10^{10}\, godina} = 2.133 \cdot 10^{-33} h \text{ eV/}\hbar. \tag{38}$$

Najbolje današnje vrednosti su oko h=0.73. Predviđena starost za ravan svemir u kome je materija dominantna je u intervalu 8 do 10 milijardi godina.

Njutnova konstanta u jednačini (37) je jednaka $G=6.67\cdot10^{-8}\text{cm}^3\text{g}^{-1}\text{s}^{-2}$. Ovo zajedno sa jednačinom (38) nam omogućava da dobijemo numeričku vrednost za kritičnu gustinu

$$\rho_{cr} = 1.88h^2 \cdot 10^{-29} \text{ g·cm}^{-3}. \tag{39}$$

6.1. Faktor pomračenja

Za oblikovanje modela ne-statičnog univerzuma mora se uzeti u proračun Ajnštajnova opšta teorija relativnosti. Pretpostavljamo da je kosmološki princip ispravan za naš univerzum, tj.svemir je nepromenjen od tačke do tačke. Svemir je prema tome homogen i izotropan (isti u svakom smeru) u svakoj tački. Linijski element ds koji povezuje događaje u prostoru i vremenu je dat kao Robertson-Vokerova metrika:

$$ds^2 = dt^2 - \frac{R^2(t)}{c^2}\left(\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\varphi^2\right). \tag{40}$$

k može biti +1, 0, -1 u zavisnosti od prostorne geometrije modela i može imati pozitivnu, nula ili negativnu zakrivljenost. Koordinata t je ovde kosmičko vreme, tj. sopstveno vreme za svakog posmatrača koji se kreće i nalazi u istom sistemu (svetlosni izvor). Prostorna koordinata r se takođe pomera, tj. koordinate r i t su podesive, tako da se sferna površina $r=const$ kreće sa slojem na njenoj površini. Faktor skaliranja $R(t)$ ima dimenzije vremena dok je r bezdimenziona jedinica (u sekciji 6. za faktor skaliranja smo koristili oznaku a).

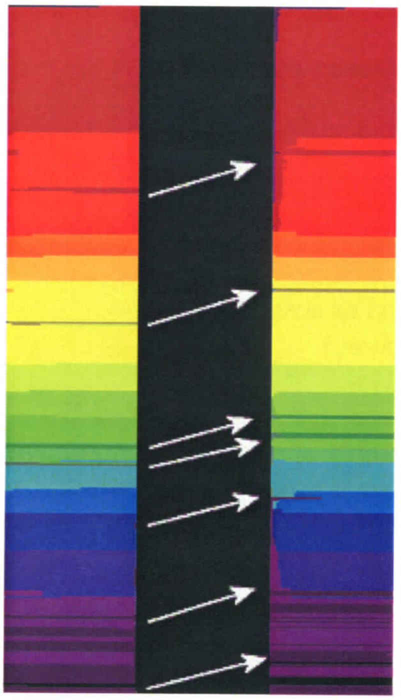
Debljina dD je sada data kao:

$$dD = \frac{R(t)dr}{\sqrt{1-kr^2}}. \tag{41}$$

Srednji slobodni put fotona γ nije više konstanta dok se svemir širi. Uvrštavanje u jednačinu (22) i integracijom može se naći faktor pomračenja:

$$P(r) = \exp\left[-\pi a^2 \int_0^r n\left(\bar{t}\right) R\left(\bar{t}\right) \frac{d\bar{r}}{\sqrt{1-k\bar{r}^2}}\right]. \tag{42}$$

7. Faktor crvenog pomaka



Slika 7. Crveni pomak

U fizici i astronomiji, crveni pomak se javlja kada se elektromagnetsko zračenje (najčešće vidljiva svetlost) emituje ili reflektuje sa objekta koji je pomeren prema crvenom kraju elektromagnetskog spektra određen Doplerovim efektom. Generalno, crveni pomak se može definisati kao povećanje u talasnoj dužini elektromagnetskog zračenja koje je primio detektor u odnosu na talasnu dužinu koju emituje izvor. Ovo povećanje u talasnoj dužini odgovara smanjenju frekvencije elektromagnetskog zračenja. Suprotno tome, smanjenje talasne dužine se naziva plavi pomak.

Bilo kakva povećanja talasne dužine se nazivaju crvenim pomakom, čak i ako se javljaju u elektromagnetskom zračenju čije talasne dužine ne pripadaju vidljivom delu spektra, kao što su gama zraci, X-zraci i ultraljubičasto zračenje. Ovakva nomenklatura može biti zbunjujuća, kada su u pitanju talasne dužine veće od crvene (npr. infracrveni, mikro i radio talasi), crveni pomak se pomera dalje od crvenih talasnih dužina.

Posmatrani crveni pomak određen Doplerovim efektom se javlja bilo kada, kad se svetlosni izvor pomera dalje od posmatrača, što odgovara tome da Doplerov efekat pomera promene frekvencije zvučnih talasa. Posmatranjem crvenih pomaka u spektroskopskoj astrofizici (koja koristi Doplerov crveni pomak) određuje se rastojanje astronomskih objekata koji se kreću.

Specijalna relativistička formula crvenog pomaka je primenljiva jedino kada je prostor-vreme ravan. Tamo gde su gravitacioni efekti važni, crveni pomak se mora računati tako što se koristi opšta relativnost.

Spektar svetlosti koji dolazi iz jednog izvora se može izmeriti. Za determinisanje crvenog pomaka, osobine spektra kao što su apsorpcione linije, emisione linije ili druge promenjljive koje se odnose na intenzitet svetlosti, se mogu pronaći. Ukoliko se pronađu, te osobine se mogu uporediti sa poznatim osobinama u spektru promenljivih hemijskih jedinjenja, koja se mogu naći putem eksperimenata, ukoliko je to jedinjenje pronađeno na Zemlji. Veoma jednostavan atomski element u svemiru je vodonik. Spektar svetlosti koji sija kroz vodonik će pokazati karakterističan spektar koji je specifičan za vodonik. Računanje crvenog pomaka se može izvršiti ako se zna talasna dužina emitovane svetlosti u preostalom delu izvora, drugim rečima, to je talasna dužina koju može meriti posmatrač koji je smešten u blizini izvora i zajedno se kreće sa izvorom. Dok se u astronomiji ova merenja ne mogu uraditi direktno, zbog toga što se ne može putovati do udaljene zvezde, umesto njega se koristi metod spektralnih linija.

Crveni (ili plavi) pomak izražava razliku između posmatranih i emitovanih talasnih dužina (ili frekvencije) nekog objekta. U astronomiji je uobičajeno da je ova promena bezdimenziona veličina i obeležava se sa z. Ako je λ talasna dužina i ν frekvencija ($\lambda \cdot \nu = c$) tada se z može definisati kao:

Bazirano na talasnoj dužini	**Bazirano na frekvenciji**
$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{emit}}{\lambda_{emit}}$	$z = \frac{\nu_{emit} - \nu_{obs}}{\nu_{obs}}$
$1 + z = \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{emit}}$	$1 + z = \frac{\nu_{emit}}{\nu_{obs}}$

Tabela 1. Izraz za crveni pomak preko talasne dužine i preko frekvencije

Od kad se svemir širi, energija fotona koju je primio posmatrač, nije ista kao energija fotona koju emituje svetlosni izvor. Osim toga, vremenski interval za prijem fotona nije isti kao interval za emisiju istih fotona. Ali broj talasa koji su emitovani mora biti isti kao broj talasa koji su posmatrani. Imamo relaciju:

$$\nu_{em} dt_{em} = \nu_{obs} dt_{obs}, \tag{43}$$

gde je ν frekvencija a dt je sopstveno vreme.

Emisija fotona se može definisati kao dva slučaja $E_{em}(t_{em}, r_{em}, \theta, \varphi)$ i $E'_{em}(t_{em}+dt_{em}, r_{em}, \theta, \varphi)$ i prijem fotona koji se kreće linijski prema posmatraču se definiše kao dva slučaja $E_{obs}(t_{obs}, 0, \theta, \varphi)$ i $E'_{obs}(t_{obs}+dt_{obs}, 0, \theta, \varphi)$. Jednačina kretanja za foton je pronađena iz jednačine (40) tako što se uvrsti da je $ds=0$ i dobija se:

$$\frac{c}{R(t)} dt = -\frac{dr}{\sqrt{1-kr^2}}, \tag{44}$$

gde „-„ znači da foton putuje ka posmatraču na početku koordinate r.
Integracijom prethodne jednačine dobija se:

$$\int_{t_{em}}^{t_{obs}} \frac{c}{R} dt = -\int_{r_{em}}^{o} \frac{dr}{\sqrt{1-kr^2}} = \int_{t_{em}+dt_{em}}^{t_{obs}+dt_{obs}} c/R\, dt, \tag{45}$$

što daje:

$$\int_{t_{em}}^{t_{em}+dt_{em}} \frac{c}{R} dt = \int_{t_{obs}}^{t_{obs}+dt_{obs}} \frac{c}{R} dt. \tag{46}$$

Uzimajući da je faktor skaliranja R konstantan ako se posmatra kratak vremenski interval dt, dobijamo:

$$\frac{dt_{em}}{R_{em}} = \frac{dt_{obs}}{R_{obs}}. \tag{47}$$

Podsetimo se Plankove jednačine za energiju e elektromagnetnog zračenja sa frekvenciom ν:

$$e = h \cdot \nu, \tag{48}$$

gde je h Plankova konstanta. Koristeći jednačinu (43), (47) i prethodnu dobija se energija L_{obs} primljena po vremenu:

$$L_{obs} = L_0 \left(\frac{R_{em}}{R_{obs}} \right)^2 . \tag{49}$$

Da bi se dobila energija primljena od posmatrača po jedinici vremena i površine, rastojanje D u brojiocu u jednačini (17) se mora zameniti sa $R(t_{em})\cdot r$ i rastojanje D u imeniocu se mora zameniti sa $R(t_{obs})\cdot r$.

Energija l primljena po vremenu i površini je data:

$$l = \int_0^{r^*} \frac{1}{4} L_0 \left[\frac{R(t_{em})}{R(t_{obs})} \right]^2 n(t_{em}) \left[\frac{R(t_{em})}{R(t_{obs})} \right]^2 \cdot \exp\left[-\pi a^2 \int_0^{r} n(t) R(t) \cdot \frac{d\bar{r}}{\sqrt{1 - k\bar{r}^2}} \right] \frac{R(t_{em}) dr}{\sqrt{1 - kr^2}} \tag{50}$$

gde je r^* radijalna koordinata najudaljenijeg svetlosnog izvora sa kojeg mi primamo svetlost u trenutku posmatranja t_{obs}.

8. Zaključak

Iako je Olbers pokušao da objasni zašto je nebo noću tamno, teorija je naišla na niz prepreka. Uprkos idejama i dokazima kroz dugi niz godina, nebo je i dalje noću ostajalo tamno bez pravog objašnjenja. U ovom radu sam navela neke od teza koje otkrivaju zagonetku o tamnom noćnom nebu. Danas znamo da u svemiru postoji veliki broj zvezda koje sijaju manjim ili većim intenzitetom i uprkos tome one ne uspevaju da nam obasjaju nebo tokom noći. Za to je odgovorna pre svega konačna starost svemira (i time celokupne zvezdane populacije), donekle i širenje svemira, koje se manifestuje kroz postojanje kosmološkog horizonta i efekat crvenog pomaka, koji udaljavaju galaksije, a samim tim i zvezde od nas. Tamna materija se nalazi svuda oko nas i ona preovladava u odnosu na zvezdana zgušnjenja.

Još od početka civilizacije ljudi se nisu zadovoljavali time da vide događaje, već su težili da saznaju zašto ti događaji nastaju. Mi danas i dalje težimo ka tome da shvatimo zbog čega smo ovde i odakle potičemo, koja je sudbina Univerzuma. Najdublja želja čovečanstva za znanjem predstavlja dovoljno opravdanje za nastavak naših traganja. A cilj koji imamo pred sobom nije ništa drugo nego potpuno opisivanje Vasione u kojoj živimo. Bez obzira na sva naša znanja i istraživanja mi nikada sa sigurnošću ne možemo da tvrdimo da smo došli do kraja. Uvek postoje neka nova pitanja i neki novi problemi. Koliko god da naša naučna dostignuća napreduju uvek se javlja nešto novo, do tada nepoznato. Nekada će ono što nama deluje neshvatljivo i nezamislivo biti sasvim normalno i uobičajeno. U svakom razdoblju istorije čovečanstva ljudi su imali neki svoj pogled na svet koji ih je okruživao. Tako i mi danas svet oko sebe opisujemo na naš način. Njegov nastanak opisujemo jednim modelom Velikog Prasaka, a da li su naša tumačenja tačna ili ne najverovatnije nikada nećemo biti u mogućnosti da saznamo. Ali, to i nije zadatak nauke, nasuprot predrasudama nekih prethodnih vremena – nauka se **ne** bavi potragom za istinom (ponajmanje Istinom), već objašnjavanjem poznatih i predviđanjem novih fenomena.

9. Literatura

1. M. Arpino, F. Scardigli, 2003; „Inferences from the dark sky: Olbers' paradox revisited", *European Journal of Physics* **24**, 39-45
2. H. Knutsen, 1997; „Darkness at night", *European Journal of Physics* **18**, 295-302
3. M. Vukićević Karabin, O. Atanacković-Vukmanović, 2004, „Opšta astrofizika", Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd
4. Wesson, P. S., Valle, K., and Stabell, R. 1987, "The extragalactic background light and a definitive resolution of Olbers's paradox," *Astrophys. J.* **317**, 601-606.
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Redshift
6. http://static.astronomija.co.rs/teorije/mmuniverzum/univerzum.htm
7. http://www.aip.org/history/cosmology/ideas/island.htm
8. http://static.astronomija.co.rs/teorije/olbers/olbersovo.htm

10. Biografija

Rođena sam 21.12.1984. godine u Novom Sadu. Pohađala sam osnovnu školu „Đura Daničić“ u Novom Sadu. 1999. godine sam upisala Gimnaziju „Jovan Jovanović-Zmaj“ u Novom Sadu. Po završetku gimnazije, 2003. godine, upisala sam Prirodno-matematički fakultet, na Univerzitetu u Novom Sadu. Odlučila sam se za Fiziku, smer Astronomija sa Astrofizikom. Položila sam sve ispite koji su predviđeni planom i programom za sticanje zvanja Profesor fizike i astronomije.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: **RBR**	
Identifikacioni broj: **IBR**	
Tip dokumentacije: **TD**	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: **TZ**	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada: **VR**	Diplomski rad
Autor: **AU**	Zorica Božić
Mentor: **MN**	Prof. dr Milan M. Ćirković
Naslov rada: **NR**	Olbersov paradoks: sintetički pogled
Jezik publikacije: **JP**	srpski (latinica)
Jezik izvoda: **JI**	srpski/engleski
Zemlja publikovanja: **ZP**	Srbija
Uže geografsko područje: **UGP**	Vojvodina
Godina: **GO**	2009
Izdavač: **IZ**	Autorski reprint
Mesto i adresa: **MA**	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
Fizički opis rada: **FO**	Poglavlja: 10, strana: 26, slika:7.
Naučna oblast: **NO**	Fizika
Naučna disciplina: **ND**	Kosmologija
Predmetna odrednica/ ključne reči: **PO**	Olbersov paradoks, kosmološki model, širenje svemira, crveni pomak
UDK	
Čuva se: **ČU**	Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
Važna napomena: **VN**	nema
Izvod: **IZ**	U radu su pokazane neke pretpostavke kako se može objasniti paradoks tamnog noćnog neba i koji su uzroci koji dovode do ove pojave.
Datum odbrane: **DO**	02.06.2009.

Članovi komisije: **KO**	dr Milan Pantić, dr Milan M. Ćirković, dr Svetlana Lukić, dr Milica Pavkov – Hrvojević
Predsednik:	dr Milan Pantić, vanredni profesor PMF, Novi Sad
član:	dr Milan M. Ćirković, vanredni profesor PMF, Novi Sad, mentor
član:	dr Svetlana Lukić, redovan profesor PMF, Novi Sad
član:	dr Milica Pavkov – Hrvojević, docent PMF, Novi Sad

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number: **ANO**	
Identification number: **INO**	
Document type: **DT**	Monograph publication
Type of record: **TR**	Textual printed material
Content code: **CC**	Final paper
Author: **AU**	Zorica Božić
Mentor/comentor: **MN**	Prof. dr Milan M. Ćirković
Title: **TI**	Olbers' Paradox: A Synthetic View
Language of text: **LT**	Serbian (Latin)
Language of abstract: **LA**	English
Country of publication: **CP**	Serbia
Locality of publication: **LP**	Vojvodina
Publication year: **PY**	2009
Publisher: **PU**	Author's reprint
Publication place: **PP**	Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
Physical description: ***PD***	Chapter: 10, pages: 26, pictures: 7
Scientific field: **SF**	Physics
Scientific discipline: **SD**	Cosmology
Subject/ Key words: **SKW** **UC**	Olbers' Paradox, Standard cosmic model, Expanding universe, Red shift
Holding data: **HD**	Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4
Note: **N**	none
Abstract: **AB**	In this work there are descriptions of some assumption how to explain a paradox of the dark night sky and what are the reasons which relate to this appearance.
Defended on: **DE**	02.06.2009.

Thesis defend board: **DB**	dr Milan Pantić, dr Milan M. Ćirković, dr Milica Pavkov – Hrvojević, dr Svetlana Lukić
President:	Milan Pantić, Ph. D., associated professor, " Faculty of Natural Sciences – Department of Physics ", Novi Sad
Member:	Milan M. Ćirković, associated professor , " Faculty of Natural Sciences – Department of Physics ", Novi Sad, supervisor
Member:	Svetlana Lukić, Ph. D., full professor, " Faculty of Natural Sciences – Department of Physics ", Novi Sad
Member:	Milca Pavkov – Hrvojević, assistant professor , " Faculty of Natural Sciences – Department of Physics ", Novi Sad