SVETLOBNI FREKVENČNI PREMIK.

UVOD: V tej razpravi se bomo spoznali najprej z Dopplerjevim pojavom pri zvoku. To je pojav, da zaznava opazovalec O, ki se giblje, glede na zvočilo E z relativno hitrostjo v_r, zvok zvočila E frekvenčno premaknjenega. Z Dopplerjevim frekvenčnim premikom pri zvoku (DFP_z) bomo nato primerjali Dopplerjev frekvenčni premik pri svetlobi (DFP_s) in ugotovili razlike, ki obstajajo med njima. Najprej bomo obdelali DFP_s v primeru, ko se nahajata tako opazovalec, kot svetilo E na Zemlji. Nato pa bomo razširili ta primer še na primer, ko se nahajata O in E daleč narazen, kot je to na primer v Vesolju.

Tako pri zvoku, kot pri svetlobi, bomo z E (= emiter) označili izvor zvoka, oziroma svetlobe, opazovalca, ki zvok, oziroma svetlobo, sprejema pa z O (= observer). Poleg tega bomo uporabljali še naslednje oznake: c za hitrost svetlobe, v_z za hitrost zvoka, v_e za hitrost s katero se giblje izvor E glede na medij zvoka na zveznici med E in O in v_0 za hitrost, s katero se giblje opazovalec O glede na medij (glej sliko 1). Naša predpostavka pri tem je, da so v_z, v_e, $v_0 \ll c$ in da sta zvok in svetloba, ki ju oddaja izvor E, enofrekvenčna. Njuno frekvenco bomo označili s f_e opazovalec O pa bo to frekvenco zaznaval, glede na omeneno, kot frekvenco f_0.

Kot merilo frekvenčnega premika med f_e in f_o nam služi količnik

$$z = (\lambda_0 - \lambda_e)/\lambda_e = (f_e - f_0)/f_0 = (f_e/f_0) - 1 \quad \text{(e.1)}.$$

DOPPLERJEV POJAV PRI ZVOKU: Po obširni, s sliko podprti razlagi v /1 na strani 168/, je rezultat Dopplerjevega pojava pri zvoku naslednji:

a.) Če izvor E **glede na snov (medij) miruje**, opazovalec O pa se mu približuje, glede na medij z radialno hitrostjo $v_0 \cos(\beta)$, je: $f_0 = f_e(1 + v_0 \cos(\beta)/v_z)$ (e.2a),

b.) Če opazovalec O **glede na snov (medij) miruje**, izvor E pa se mu približuje, glede na medij z radialno hitrostjo $v_e \cos(\alpha)$, je: $f_0 = f_e(1 - v_e \cos(\alpha)/v_z)$ (e.2b).

c.) Če se torej **glede na snov (medij)** izvor E **oddaljuje** od opazovalca O z radialno hitrostjo $v_e \cos(\beta)$, opazovalec O pa se od izvora E **oddaljuje** z radialno hitrostjo $v_0 \cos(\alpha)$, kot je to prikazano v sliki 1, zaznava opazovalec O zvok, ki ga izvor E oddaja s frekvenco f_e, s frekvenco

$$f_0 = f_e\{1 - [v_0 \cos(\beta) - v_e \cos(\alpha)]/v_z\} \quad \text{(e.3)}.$$

Če uvedemo (e.3) v (e.1), dobimo količnik z, ki ga označimo v tem primeru z DFP_z.

d.) V primeru, ko se opazovalec O in izvor E drug drugemu radialno približujeta, oziroma se drug od drugega radialno oddaljujeta, sta kota α in β stalno enaka 0. V tem primeru je DFP_z, če se v_o in v_e s časom ne spreminjata, konstanten. Pri poševnem (neradialnem) relativnem gibanju O in E pa se kota α in β tudi pri stalni hitrosti v_o in v_e, časom t nenehno spreminjata. Zato se v tem primeru s t spreminja tudi DFP_z.

DOPPLERJEV SVETLOBNI FREKVENČNI PREMIK NA ZEMLJI (DFP_s): Čeprav se zvok in svetloba prenašata oba kot valovanje, je vendarle med njima precej razlik. Medtem, ko se prenaša zvok z longitudinalnim valovanjem medija, ki ga tvorijo molekularni delci snovi, s fazno hitrostjo v_z, se prenaša svetloba s fotoni. Ti so paketi (valčki) transverzalnega elmg. valovanja, izloča pa jih svetilo E. Fotoni potujejo do opazovalca O s hitrostjo c, podobno kot deževne kapljice. Njihova gibalna energija je, če opazovalec miruje $W_f = hf_e$. Če pa ima opazovalec O v trenutku trka z njimi relativno hitrost $v_r = v_e + v_o$ glede na svetilo E, je gibalna energija fotonov (oziroma frekvenca) zanj od navedene večja ali manjša, podobno kakor je tudi gibalna energija deževnih kapljic ob trku z opazovalcem O odvisna od relativne hitrosti opazovalca O glede na oblak, ki jih izloča. Pri svetlobi pa je potrebno poleg tega upoštevati še, da opazovalec O meri svoj čas τ drugače, kakor teče čas t na svetilu E, zveza med t in τ pa je: $\tau = t/\gamma$.

Ko upoštevamo vse to, sledi: $h(f_o/\gamma - f_e) = (hf_o/c)v_r \cos(\varphi)$ 6 $f_o/(\gamma f_e) - 1 = (v_r/c)\cos(\varphi)$, oziroma

$$f_0 = \gamma f_e[1 + (v_r/c)\cos(\varphi)] \quad (e.5),$$

pri čemer so: a.) $\gamma = [1 + v_r^2 \cos^2(\varphi)/c^2]^{-1/2}$ (e.6), b.) $v_r = v_r(t) = v_o(t_o) - v_e(t_e) \bullet v_r(t_e) = v_o(t_e) - v_e(t_e)$ (e.7) absolutna vrednost relativne hitrosti opazovalca O glede na oddajnik E in c.) φ kot, ki ga vektor hitrosti v_r oklepa z vektorjem hitrosti c (glej sliko 1). Rezultat (e.5) je identičen rezultatu v /2 na strani 72/ in v /8, str. 52-55/.

Povzetek: Medtem, ko sta **za DFP_z pomembni radialni hitrosti O in E glede na prenosni medij** na zveznici med E in O (tega lahko imenujemo tudi eter), je **za svetlobni Dopplerjev frekvenčni premik DFP_s pomembna relativna hitrost $v_r = v_e - v_o$ opazovalca O glede na izvor E**. Svetloba se namreč ne prenaša z valovanjem medija, kakor se prenaša zvok. Medij za svetlobo so fotoni, katere **seva** svetilo. Razliko med parametri od katerih zavisita DFP_z in DFP_s , kaže slika 2. Konec povzetka.

Opisana razlika med DFP_z in DFP_s temelji na ugotovitvah do katerih sta prišla leta 1881 **Michelson in Morley** s svojim svetlobnim interferometrom /glej 3, str. 377 in 4, str.381/. Zaradi gibanja Zemlje okoli Sonca glede na mirujoči medij (eter), sta pričakovala imenovana, podobno kakor pri zvoku, tudi pri svetlobi frekvenčni premik, če se glede na medij E in O premikata. Ker pa v tem primeru podobnega medija kakor pri zvoku ni, svetilo E in opazovalec O pa v njunem poiskusu (MMP) relativno drug na drugega **mirujeta**, frekvenčnega premika DFP_s nista ugotovila.

Na Zemlji pa obstajajo tudi primeri, ki se od opisanega MMP razlikujejo. Tak primer so **mobilne radijske zveze** (MRZ), pri katerih se relativno drug glede na drugega O in E premikata. V tem primeru pa pri prenosu radijsega signala pride poleg zakasnitve $\Delta t = D/c$ po (e.5) tudi do frekvenčnega premika

$$DFP_s = f_e/f_0 - 1 \quad (e.8),$$

Oba, zakasntev in premik pa morajo načrtovalci radijskih zvez pri načrtovanju zvez upoštevati..

Po enačbah (e.5) in (e.8) dobimo pri $v = | v_r |$ odvisno od φ različne vrednosti DFP_s , in sicer

$$\text{za } \varphi = 0: \quad DFP_s = [(1 + v/c)/(1 - v/c)]^{-1/2} - 1 \quad (e.9a),$$
$$\text{za } \varphi = \pi/2: \quad DFP_s = [1 - (v/c)^2]^{-1/2} - 1 \quad (e.9b),$$
$$\text{za } \varphi = \pi: \quad DFP_s = [(1 - v/c)/(1 + v/c)]^{-1/2} - 1 \quad (e.9c).$$

Iz tega pa vidimo, da je pomembna **razlika** med DFP_z in DFP_s tudi v tem, da je pri

$$\varphi = \pi/2: DFP_z = 0, \text{ medtem ko je } DFP_s \ldots 0.$$

GRAVITACIJSKI SVETLOBNI FREKVENČNI PREMIK NA ZEMLJI (GFP_s): Poleg DFP_s imamo **neodvisno** od tega pri svetlobi še mikro gravitacijski svetlobni frekvenčni premik GFP_s . GFP_s je bil potrjen v primeru, ko sta svetilo E in opazovalec O, drug glede na drugega relativno mirovala, svetloba pa je morala na poti od E proti O premagati višinsko razliko H. GFP_s nastane kot posledica Zakona o ohranitvi energije (ZOE). Določimo ga iz enačbe: $\Delta K + \Delta P = 0$, iz katere sledi: $hf_e - hf_o = (GMh/c^2)(f_e/R_e - f_o/R_o)$ (e.10). V tej enačbi predstavljajo: M maso nebesnega telesa, to je Zemlje, R_e oddaljenost svetila E od težišča Zemlje, $R_o > R_e$ pa oddaljenost opazovalca O od težišča Zemlje. Iz enačbe (e.10) sledi potem, ko uvedemo okrajšavi $2GM/c^2 = R_S$ in $\Delta R = R_o - R_e$:

$$(f_e - f_0)/f_0 = (R_S/2)[(f_e/f_0)/R_e - 1/R_o] = (R_S/2)[(f_e/f_0)R_o - R_e]/(R_eR_o) =$$
$$= [R_S/(2R_o)][(f_e/f_0)(R_e + \Delta R) - R_e]/R_e ,$$

in po upoštevanju (e.1):

$$z = [R_S/(2R_o)][z + (z + 1)\Delta R/R_e] \; 6 \; z[1 - R_S/(2R_o) - (R_S \Delta R)/(2R_o R_e)] = (R_S \Delta R)/(2R_o R_e).$$

Iz zadnjega izraza pa dobimo

$$GFP_s = z = [R_S \Delta R/(2R_oR_e)]/[1 - R_S/(2R_o) - (R_S \Delta R)/(2R_oR_e)] =$$
$$= \Delta R/[2(R_o/R_S)(R_e - R_S)] \; \$0 \text{ za } R_e , R_o \; \$R_S \quad (e.11)$$

Pri $R_e \bullet R_o = R \gg 2GM/c^2 = R_S$ in $R_o - R_e = H$ preide zgornji izraz v: $GFP_s = HR_S/(2R^2) = gH/c^2$ (e.12), pri čemer je $g = GM/R^2$.

KOZMOLOŠKI SVETLOBNI FREKVENČNI PREMIK (KFP): Da bi bolje razumeli frekvenčni premik svetlobe, ki nastane v Vesolju, to je kozmološki svetlobni frekvenčni premik KFP, se najprej poglobimo in primerjajmo frekvenčne premike svetlobe v naslednjih primerih:

1.) E in O se nahajata na Zemlji in drug glede na drugega relativno mirujeta, glede na Zemljo pa je sevanje radialno. Po (e.12) je v tem primeru: $z = GFP_s = gH/c^2$, pri čemer je v tem primeru višinska razlika H med O in E tudi razdalja D med njima.

2.) E in O se nahajata na Zemlji in drug glede na drugega relativno mirujeta, glede na Zemljo pa je sevanje tangencialno. V tem primeru je $z = 0$, ker potuje svetloba na konstantni oddaljenosti od Zemeljskega središča, potovalni čas $t_p = D/c$ pa je < 250 ms (tolikšen je t_p pri radijskih satelitskih zvezah). Zaradi tega je tudi polmer Vesolja $R = R(t)$ praktično konstanten.

3.) E in O se nahajata na Zemlji in se drug glede na drugega relativno gibljeta s hitrostjo v, sevanje pa je, kot v predhodnem primeru, glede na Zemljo tangencialno. Po (e.9a) je v tem primeru: $z = DFP_s = [(1 + v/c)/(1 - v/c)]^{-1/2} - 1$.

4.) Samo O se nahaja na Zemlji, E pa se nahaja v Vesolju. Ta primer se torej razlikuje od predhodnih po večji oddaljenosti $D = c.\Delta t = 3.10^8(m/s).t_p$ svetila E od opazovalca O, saj je čas potovanja fotonov $t_p = \Delta t$ od nebesnih teles do opazovalca na Zemlji več milijonov in milijard let. V takih okoliščinah pa je potrebno upoštevati globalne Vesoljske razmere katerim je izpostavljen foton, ko potuje od E proti O. Značilno za te razmere je **povezanost** DFP_s in GFP_s preko (e.14), ki temelji na Zakonu o ohranitvi energije (ZOE), ki mora biti pri širjenju Vesolja izpolnjen. Na Zemlji ni namreč vedno tako. Tam je gibanje opazovalca običajno povzroča opazovalec sam. Kot tak primer navedemo lahko primer, ko se opazovalec O nahaja v dvigajočem ali v spuščajočem se letalu. Vesolju pa O na gibanje E in O ne more vplivati. Zato sta DFP_s v Vesolju, ki ga označimo z DFP_v in GFP_s, ki ga označimo z GFP_v, povezana.

Svetilo E v Vesolju izseva foton proti opazovalcu O na Zemlji pravokotno na smer svojega radialnega oddaljevanja od Velikega poka (VP) ob času $t = t_e$ od VP (glej sliko 2.). Med tem, ko potuje foton proti opazovalcu O, se vsi trije, foton, E in O, radialno oddaljujejo od VP. Foton doseže opazovalca O v trenutku $t = t_o = t_e + D/c$ in sicer tudi iz smeri, ki je pravokotna na smer njegovega radialnega oddaljevanja od VP. Pot fotona (svetovnico) z dolžino D kaže pri tem slika 2. Ta prikazuje časovni prerez Vesolja skozi njegovo središče VP. Svetovnica (tirnica) fotona v tej sliki je lok krožnice med E in O, ki ima premer $2R_o$. Ko tirnico fotona izravnamo v premico, dobimo situacijo, ki jo prikazuje slika 3.

Če predpostavimo, da je naše Vesolje velika črna luknja (VČL), o čemer ob Velikem poku (VP) niti ne dvomimo, povezuje po /7/ polmer $R = R(t)$ in radialno ekspanzijsko hitrost $v_R(t) = dR/dt$ mase Vesolja v času t po VP, oziroma gravitacijski potencial $\Phi = \Phi(R) = (GM/R)(R/R_S)^3 = (c^2/2)(R/R_S)^2$ (e.13) Vesolja, naslednja diferencialna enačba:

$$(v_R/c)^2 + (R/R_S)^2 = 1 \text{ (e.14)},$$

V tej enačbi predstavlja c konstanto $c = 3.10^8$ m/s in

$$R_S = 2GM/c^2 \text{ (e.15)}$$

Schwarzschildov polmer Vesolja.

Iz (e.14) sledi za $v_R(t)$

$$v_R(t)^2/c^2 = [1 - (R/R_S)^2] \quad \text{(e.16)},$$

rešitev diferencialne enačbe (e.14) pa nam da, če vpeljemo še $R_S = ct_m/\pi$ (e.17) in $D = ct$ (e.18)

$$R = R(t) = R_S \sin[\pi t/(2t_m)] = R_S \sin[\pi D/(2R_S)] \quad \text{(e.19)},$$

Med oddaljevanem E, fotona in O od VP raste vsem omenjenim trem potencialna energija P na račun njihove gibalne energije K. Pri fotonu gre to na račun njegove frekvence f, pri E in O pa na račun njunih radialnih hitrosti $v_R = dR/dt = v_R(t) = v_R(R)$. Med potovanjem fotona po

Vsemirju se frekvenca fotona torej zmanjšuje zaradi gravitacijskega frekvenčnega premika . Ko pa zadene ta foton opazovalca O, je zanj njegova frekvenca $f = f_o$ odvisna še od relativne hitrosti opazovalca O glede na svetilo E. Iz slike 3 lahko vidimo, da je relativna hitrost v_r med E in O **pravokotna** na smer potovanja fotonov med E in O in enaka

$$v = v_r = v_R(t=t_e) - v_R(t=t_o) \quad \text{(e.20).}$$

Kozmološki frekvenčni premik KFP je torej **vsota** obeh vesoljskih frekvenčnih premikov, Dopplerjevega DFP_v in gravitacijskega GFP_v . Totej je

$$z = KFP = DFP_v + GFP_v \quad \text{(e.21).}$$

Ob upoštevanju (e.18) in (e.16) v enačbi (e.9b) je DFP_v :

$$DFP_v = \{1 - [c(1 - R_e^2/R_S^2)^{1/2} - c(1 - R_o^2/R_S^2)^{1/2}]^2/c^2\}^{-1/2} - 1 \text{ (e.22).}$$

To je kar zapletena zveza med z, R_o in R_e , ki pa se poenostavi, če zaradi $v_R(t_o)$ « c, postavimo v primerjavi z $v_R(t_e)$: $v_R(t_o) \bullet 0$ in posledično tudi $R_o \bullet R_S$. Če označimo še z $\Delta R = R_o - R_e$ tako dobimo

$$DFP_v \bullet \{1 - [c(1 - R_e^2/R_S^2)^{1/2}]^2/c^2\}^{-1/2} - 1 = R_S/R_e - 1 \bullet \Delta R/R_e \,\$0 \text{ (e.23)}$$

GFP_v pa moramo v notranjosti VČL pri R_e , R_o # R_S izračunati s pomočjo enačbe (e.14). Enačba (e.11) za GFP_v se namreč nanaša na primer, ko sta R_e , R_o \$$R_S$ in za ta primer torej ne velja. Iz (e.14) tako sledi

$$hf_e - hf_o = (GMh/c^2)(R_o/R_S)^2(f_o/R_o - f_e/R_e) = h[1/(2R_S)][(f_o(R_e + \Delta R) - f_e/R_e] \quad \text{(e.24)}$$

in po deljenju s hf_o

$$(f_e - f_0)/f_0 = [1/(2R_S)][R_e + \Delta R - (f_e/f_0)R_e] = [1/(2R_S)][\Delta R - (f_e/f_0 - 1)R_e],$$

$$z + z[R_e/(2R_S)] = \Delta R/(2R_S) \;\; 6 \;\; z[(2R_S + R_e)/(2R_S)] = \Delta R/(2R_S).$$

Odtod pa lahko zapišemo končno

$$GFP_v = \Delta R/(2R_S + R_e) \,\$\, 0 \quad \text{(e.26)}$$

Če vstavimo sedaj (e.23) in (e.26) v (e.21), dobimo za KFP:

$$KFP = DFP_v + GFP_v \bullet \Delta R/R_e + \Delta R/(2R_S + R_e) = \Delta R/R_e \bullet R_S/R_e - 1 \text{ (e.27),}$$

ob upoštevanju (e.19) pa še

$$KFP = 1/\sin[\pi t_e/(2t_m)] - 1 = 1/\sin[\pi(t_m - D/c)/(2t_m)] - 1 =$$
$$= 1/\sin[\pi/2 - \pi D/(2ct_m)] - 1 = \{1/\sin[\pi/2 - D/R_S]\} - 1 \qquad \text{(e.28)}$$

Iz zadnje enačbe sledi

$$\pi/2 - D/R_S = \text{arc sin}[1/(KFP + 1] \quad \text{(e.29)}$$

od tod pa končno naslednja zveza med D in KFP:

$$\mathbf{D \bullet R_S\{\pi/2 - \text{arc sin}[1/(KFP + 1]\} \quad (e.30a)}.$$

S pomočjo te zveze lahko določamo oddaljenost svetil E v Vesolju od Zemlje iz frekvenčnega premika KFP značilnih frekvenčnih vzorcev svetlobe, proti tem vzorcem, ki prihajajo svetila na Zemlji. Točna oblika enačbe (e.30a) se glasi

$$D = c\,(t_o - t_e) = \pi R_S\,[\text{arc sin}(R_o/R_S) - \text{arc sin}(R_o/R_S)] \quad \text{(e.30b).}$$

. Če postavimo svetilo E v točko VP, je $R_e = 0$. V tem primeru dobimo po (e.27): KFP = 4. Ker je v tem primeru arc sin(0) = 0, sledi po (e.29): $D = \pi(R_S/2)$. To se ujema tudi s sliko 3. Ko pa postavimo $R_e = R_o$, je po (e.27): KFP = 0. V tem primeru je arc sin(1) = $\pi/2$ in po (e.29): D = 0. Enačba (e.30a) torej izpolnjuje pravilno robne pogoje. Za KFP » 1 pa lahko (e.30a) nadomestimo tudi z enačbo

$$\mathbf{D \bullet R_S\{\pi/2 - 1/(KFP + 1)\} \quad (e.30c)}.$$

Pravilnost te pomembne enačbe (e.30) lahko verificiramo z določitvijo oddaljenosti D nekega sevala E v Vesolju na dva različna načina: na primer a.) s pomočjo (e.30) in b.) trigonometrično s pomočjo paralakse. Na žalost pa slednja metoda s pomočjo paralakse pri D > 1 pc (parsec) = $3{,}086.10^{13}$ km = 3,262 sv. let ni več uporabna, uporabnost enačbe (e.30) pa z zaznavnim KFP tedaj šele prične. Enačbo (e.30) lahko tako verificiramo samo s pomočjo zvezd v naši galaksiji, to pa je relativno blizu, ko moti rezultat gravitacija galaksije. .

Š dva avtorja /5,6/ sta se lotila problema iskanja odvisnosti svetlobnega frekvenčnega premika svetila E v Vesolju od oddaljenosti D. Oba pa sta se lotila tega problema nekoliko drugače, kakor mi na tem mestu. Obadva sta se namreč postavila na stališče, da opazovalec O živi v prostoru napolnjenem s telesi z mirovno maso, v katerem velja za razdaljo ds Robertson-Walkerjev metrik (RWM). Ta ima v polarnem koordinatnem sistemu (σ, θ, φ) obliko

$$ds^2 = (cdt)^2 + ú(t)^2 \{ d\sigma^2/(1 - K\sigma^2) + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2(\theta)d\varphi^2]\} \quad (e.31).$$

V njem predstavljajo: $c = 3.10^8$ m/s konstanto, ú(t) časovno funkcijo širjenja masnega prostora in K konstanto, ki določa način ukrivljenosti prostora. Za zaprti konveksni prostor je K = - 1, za raven prostor je K = 0, za odprti konkavni prostor pa je K = 1. Torej daje enačba (e.31) mertrik v odvisnosti od še odprte časovne funkcije ú(t) širjenja (masnega) prostora. Tako na primer lahko postavimo, da je po enačbi (e.19): $ú(t) = R(t) = R_S \sin[\pi t/(2t_m)]$ • $R_S[\pi t/(2t_m)$ za t « t_m , oziroma razdalje D « R_S . Torej lahko na razdaljah D « R_S ukrivljenost prostora tudi zanemarimo. Takrat je prostor raven. V takem prostoru pa je : ú(t) = 1 = konst in K = 0. V takem prostoru je bil izveden tudi Michelson-Morleyevega poizkusa in v takem prostoru se odvijajo tudi mobilne radijske zveze na Zemlji. Pri velikih oddaljenostih D med E in O, kakršne nastopajo v Vesolju, pa ukrivljenosti prostora ne moremo več zanemarjati.

Za svetlobni žarek (foton), ki prihaja od svetila E iz Vesolja do opazovalca O na Zemlji radialno, to je pri θ in φ = konst (ali 0) sledi na osnovi (e.31) iz /5/

$$\lambda_0 /\lambda_e = KFP + 1 = ú(t_0)/ú(t_e) \quad (e.32).$$

Medtem, ko se prvi avtor v /5/ pri izrazu (e.32) ustavi in s tem svojo razpravo o KFP konča, ne da bi se spuščal v opredelitev funkcije ú(t), pa drugi avtor v /6/ to razpravo nadaljuje. Namesto funkcije ú(t) = R(t) po (e.19) pa uporabi pri tem enačbi (e.19) alternativno enačbo de Sitterjevega modela Vesolja, ki se glasi

$$ú(t) = \kappa(t/t_0)^{2/3} \quad (e.34).$$

V njej je κ konstanta, ki je od t neodvisna.

Nedostatek funkcije (e.34) pa je, da je d ú(t=0)/dt = 4. To pomeni, da ta funkcija **ne izpolnjuje zahteve Einsteinove relativostne teorije**, po kateri nobena hitrost ne more biti večja od svetlobne hitrosti. Odvod funkcije ú(t), ki ustreza takemu pogoju bi moral biti tako, kakor v primeru enačbe (e.19): dú(t)/dt # c, .

Neizpolnitev zgornjega pogoja je tudi vzrok za to, da avtor v /6/ ugotavi, da (e.34) v povezavi z (e.32) ni v redu in jo je zato potrebno popravljati. Pri tem pa avtor niti najmanj ne podvomi v ustreznost funkcije širjenja(e.34). Neposreden vzrok za potrebo po popravljanju funkcije (e.34) v povezavi z (e.32) najde v izračunu, ki ga napravi s pomočjo enačbe (e.9a). S pomočjo te enačbe oceni namreč odmično hitrost αv_R galaksije, katere svetloba je frekvenčno premaknjena za KFP = 1. Na osnovi (e.9a) dobi v tem primeru, da se odmika ta galaksija od nas s hitrostjo $\alpha v_R = 0{,}6$ c. S tako vrednostjo določi s pomočjo Hubblovega zakona nato oddaljenost $D = \alpha v_R/H$ te galaksije od Zemlje in ugotavlja, da je ta oddaljenost prevelika. Prevelika je zato, ker leži ta galaksija že skoraj izven Vesolja, saj je njena oddaljenost od Zemlje že skoraj tako velika, kakor je od nas oddaljen VP. Tako se postavlja vprašanje, kje ležijo v tem primeru galaksije, katerih svetlobo na Zemlji sprejemamo s KPF » 1.

Avtorju v /6/ je to zadosten znak, da s funkcijo (e.34) v povezavi z (e.32) **nekaj ni v redu**, zaradi česar je funkcija (e.34) nujno potrebna popravila. Pri tem ne dvomi v pravilnost izbora (e.34) za ú(t), čeprav bi to lahko, če bi prebral /7/. Zato pa si bralec, **poleg dvoma v pravilnost izbora (e.34) za ú(t)**, postavlja še naslednja vprašanja:

a.) Zakaj avtor v /6/ izenači celotni KFP samo z DFP_v , o GFP_v. pa nič, kakor da ta sploh ne obstaja. Vprašanje o GFP_v ostaja tako za bralca ves ćas neprijetno odprto.

b.) Zakaj avtor v /6/ za določitev odmične hitrosti enačbo (e.9a) in ne (e.9b), čeprav bi bila slednja primernejša in pravilnejša. Enačba (e.9a) se namreč nanaša na kot φ = 0 med gibanjem opazovalca O in gibanjem fotona. Torej zajema samo tangencialno komponento radialnih odmičnih hitrosti v_o in v_e O od E. Glede na sliko 2 pa je ta

$$d(\Delta s)/dt = d(\alpha R)/dt = \alpha DR/dt = \alpha v_R(t) = \alpha(v_0 - v_e) \bullet \alpha v_e \quad (e.35).$$

Kot vidimo je torej odvisna od kota $\alpha = D/(2\pi R)$, oziroma od razdalje D. To pa je neugodno, ker ta odmična komponenta ne velja za poljubni α, oziroma za poljubni D, kakor jo avtor v /6/ tudi uporablja. Ustreznejše in pravilneje bi bilo upoštevati, da sta odmični hitrosti v_R opazovalca O in sevala E na smer gibanja fotona med njima pravokotni ($\varphi = \pi/2$) in neodvisni od od kota α v sliki 2. Po (e.9b), ki velja za kot $\varphi = \pi/2$, pa dobimo v primeru KFP = 1: $v_R/c = [1 - 1/(KFP+1)^2]^{1/2} = 0{,}86$.

c.) Zakaj avtor v /6/ uporablja pri tako veliki odmični hitrosti, kot je $\alpha v_e = 0{,}6$ c, za določitev razdalje D Hubblov zakon $D = \alpha v_R/H$, ko vendar ve, lahko z njim določamo približno razdalje D le v primeru $v_e/c \ll 1$.

Med drugim avtor v /6/ operira tudi z različnimi pojmi za oddaljenost D med E in O, kot sta to a.) oddaljenost $D = D_e$ opazovalca O od svetila E ob $t = t_e$ in b.) oddaljenost

$$D = D_o = 3ct_o[\ 1 - (1 + z)^{-1/2}]$$

opazovalca O od svetila E ob $t = t_0$, ki je analogija (e.3ob). S tem pa bralca, ki si oddaljenost med E in O v določenem trenutku predstavlja kot enostaven produkt $D = c(t_0 - t_e)$ (e.36), bega. Izraz $D = c(t_0 - t_e)$ je za bralca res enostaven, če je svetlobna hitrost c v Vesolju konstanta $c = 3.10^8$ m/s, ki je neodvisna od t. Na žalost pa avtor to **zanika**. To pa je v bistvu srž njegove razprave, saj je to tudi povzetek v zaključku njegove razprave. Do takega zaključka pa avtor ne bi prišel, ampak bi prišel do ravno nasprotnega, to je, da je c v Vesolju stalnica, če bi svetlobno hitrost c fotona in hitrot αv_e , s katero se E in O razmikata lokalno, to je ob poljubnem t, sešteval relativistično. Avtor pa ju zavestno sešteva nerelativistično. Zakaj? Ali morda zato, ker meni, da je prostor v Vesolju glede na Veliki pok absoluten. Torej se lahko širi tudi z večjo hitrostjo kakor relativni, ki se lahko širi le s hirostjo v # c? Zakaj sešteva hitrosti tako na žalost nikjer natančno ne obrazloži in utemelji, čeprav bi bilo to za preprostega bralca, kateremu so v šoli zabijali v šoli v glavo, da je svetlobna hitrost c največja hitrost v naravi, nujno potrebno. Ker pa take obrazložitve ni, je prepuščen na koncu razprave samo kratkim, golim in šokantnim sklepomi ter samemu sebi, da jih prebavi.

Najbolj šokanten je pri tem je prvi sklep. Ta pravi, **da svetloba v praznem prostoru (glede na Zemljo?) ne potuje vselej s hitrostjo $c = 3.10^8$ m/s**. Pomeni to, da $c = 3.10^8$ m/s ni največja hitrost, s katero svetloba potuje v praznem prostoru, oziroma hitrost, s katero se pretvarja el. energija v mg. in obratno? Če se ta hitrost z vrednostjo $c = 3.10^8$ m/s, ki nastopa tudi v številnih enačbah, v Vesolju spreminja, se spreminja tudi energija $W = Mc^2$ mase M. Torej ni več konstanta, če pa ni, tudi Zakon o ohranitvi energije na večje razdalje več ne velja. Ima svetloba hitrost velikost $c = 3.10^8$ m/s samo pri polmeru Vesolja $R = R(t_0)$, sicer pa je brez omejitev? Kaj se spreminja pri fotonu, ko potuje skozi (gravitacijsko) potencialno polje razmikajočega se Vesolja: **hitrost ali frekvenca?** Zakaj naj bi razmikanje E in O med tem, ko foton potuje od E k O imelo na hitrost fotona kakšen vpliv in naj bi se odmična hitrost prištevala k c, saj se oddaljenost med E in O povečuje na koncu poti? Skratka, vprašanj, ki služijo lahko ob tem sklepu kot izhodišče za razpravo, je, kot vidimo, več kot dovolj.

Šokanten pa je tudi drugi sklep. Ta pravi, **da se Vesolje lahko širi tudi s hitrostjo večjo od $c = 3.10^8$ m/s**. Ker nam predstavlja Vesolje njegov masni del, masa pa se giblje lahko le s hitrostjo $v_r = dR(t)/dt < c = 3.10^8$ m/s, pričakujemo torej, da se Vesolje ne more širiti s hitrostjo večjo od $c = 3.10^8$ m/s, kakor navaja ta sklep.

ZAKLJUČEK: Pričujoča obdelava se od obdelave /6/ v marsičem razlikuje. Bistvene razlike med obema obdelavama pa so naslednje:

a.) Ta obdelava temelji na predpostavki. da je svetlobna hitrost v celotnem Vesolju stalnica $c = 3.10^8$ m/s, ki je nobena hitrost, tudi radialno širjenje $v_R(t)$, Vesolja nikoli in nikjer ne preseže, obdelava v /6/ pa v Vesolju predpostavlja spreminjanje svetlobne hitrosti.

b.) Ta obdelava predpostavlja, da se nebesna telesa nahajajo v notranjosti Vesoljske črne luknje, obdelava /6/ pa temelji na Friedmannovi enačbi, ki predpostavlja, da se nebesna telesa nahajajo zunaj Schwarzschildovega polmera R_S .

c.) Po enačbi (e.30b), ki je rezultat te obdelave ležijo vsa nebesna telesa, ki jih vidimo, v ntranjosti Vesolja. Za to ni potrebno te (e.32) nič popravljati, kakor je potrebno enačbo (e.34) v povezavi z enačbo (e.32), da se to zagotovi.

NAVEDENA LITERATURA:

1./ Janez Strnad: Fizika I, DMFA Ljb. 2002,
2.) Janez Strnad: Fizika III, DMFA Ljb. 2002,
3.) Janez Strnad: Astronomija in optika, Spika, sept. 2004, o
4.) M. Adlešič in O. Sajovic: Fizika,
5.) Ivan Pucelj: Rdeči premik, Spika, oktober 2004,
6.) Janez Strnad: Svetloba v vesolju, Spika, junij 2001.
7.) Beno Pehani: Vesolje kot velika črna luknja.
8.) S.T. Thornton, A. Rex: Modern Physics, Saunders College Publishing 2000.
9.) Janez Strnad Fizika II, DMFA Ljb.5.natis.
10.) Vladis Vujovič: Astronomija I,II, Školska knjiga Zgb. 1990.
11.) Zakaj je nebo modro?, zal. Krt, Ljb. 2004.
12.) Janez Strnad: Razvoj fizike, DZS 1996.
13.) S.Hawking: On the Shoulders of Giants, Penguin books 2002.

EPILOG O INVARIANTNOSTI SVETLOBNE HITROSTI c: Michelson-Morleyev poiskus je pokazal, da je svetlobna hitrost (fotonov) c na Zemlji ena od redkih **absolutnih** količin, ker ni odvisna od (relativne) hitrosti v_r masnih delcev in teles. Torej ni odvisna tudi od relativne hitrosti opazovalca O glede na sevalo E, ki seva fotone. Večina ostalih količin (paramerov) energetskih delcev (ED) je namreč **relativnih**. To pomeni, da so vrednosti teh parametrov, ki jih opazovalec O iz mase občuti ob interakciji z njimi, odvisne tudi od parametrov opazovalca O in ne samo od parametrov ED. Svoje parametre in parametre ED lahko ugotavlja opazovalec O iz odnosa obeh proti tretjemu, referenčnemu telesu O3. Nabor parametrov ED je pri tem odvisen od tega, ali ima ED mirovno maso (te delce označimo z MED), ali pa je nima (te delce označimo kot fotone ali FED). Če naštejemo nekaj relativnih parametrov ED, potem so to: a.) frekvenca f FED, b.) hitrost $v = v_r$ in mirovna masa $m = m_o/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ (e.40) MED ter c.) gibalna količina $p = hf/c = mv$ (e.41) in gibalna energija $K = hf = \gamma m_o v^2/2$ (e.42) MED in FED.

Če je svetlobna hitrost c absolutna količina (konstanta), potem deluje gravitacijska privlačna sila $GPS = m.a = m_0(dv/dt)/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ (e.43) na MED, ki se gibljejo s hitrostjo $v < c$, drugače, kakor deluje $GPS = GMhf/(cR)^2$ (e.44) na FED. Medtem, ko MED pospešuje, pa FED ne pospešuje. Pospešek FED je $a = dv/dt = 0$, čeprav je $GPS = m_0(dv/dt)/(1 - v^2/c^2)^{1/2} = 0/0 = GMhf/(cR)^2$ ... 0 (e.45). GPS lahko torej v primeru FED spreminja, če ne deluje v smeri njegovega gibanja, le smer gibanja fotona, ne more pa spremeniti njihove absolutne vrednosti. To sledi tudi iz **splošne relativistične enačbe** za relativno hitrost v_{12} teles O1 in O2 z mirovnima masama. Ta je relativistična vsota (razlika) relativnih hitrosti, ki se glasi v

$(v_{12}8/c) = \{[1 - (v_1 8/c)(v_2 8/c)]^2 - [1 - (v_1/c)^2][1 - (v_2/c)^2]\}^{1/2}/[1 - (v_1 8/c)(v_2 8/c)]$ (e.46).

V tej enačbi sta $v_1 = v_{13}$ in $v_2 = v_{23}$ relativni hitrosti teles O1 in O2 glede na telo O3 z maso veljajo pa še naslednje oznake: $*v_i 8* = v_i$, θ je kot med $v_1 8$ in $v_2 8$, skalarni produkt $v_1 8 v_2 8$ pa je $v_1 8 v_2 8 = v_1 v_2 \cos(\theta)$. Rezultati zgornje enačbe v nekaterih, izbranih primerih so:

1.) $\theta = 0$: $(v_{12}/c) =$

$= \{[1 - 2(v_1v_2/c^2) + (v_1v_2/c^2)^2] - [1 - (v_1/c)^2 - (v_2/c)^2 + (v_1v_2/c^2)^2]\}^{1/2}/[1 - (v_1v_2/c^2)] =$
$= \{[(v_1/c) - (v_2/c)]^2\}^{1/2}/[1 - (v_1v_2/c^2)] = [(v_1/c) - (v_2/c)]/[1 - (v_1v_2/c^2)].$

$v_2 = c$: $(v_{12}/c) = -1$

2.) $\theta = 90^o$: $(v_{12}/c) = \{1- [1 - (v_1/c)^2 - (v_2/c)^2 + (v_1v_2/c^2)^2]\}^{1/2}$

$v_1 = v_2 = v$: $(v_{12}/c) = \{2(v/c)^2 - (v^2/c^2)^2\}^{1/2} = (v/c)\{2 - (v/c)^2\}^{1/2}$

$v = c$: $(v_{12}/c) = 1$

3.) $v_2 = c$: $(v_{12}/c) = \{[1 - (v_1v_2/c^2)^2]\}^{1/2}/[1 - (v_1v_2/c^2)] = 1$ **ne glede na vrednost kota θ med vektorjem hitrosti $v_1$8 in vektorjem hitrosti $v_2$8= c8**(glej sliko 4).

Če relativna hitrost v_{12} ne more preseči vrednosti c, nas napeljuje to na upravičenost predpostavke, da ima svetloba povsod v Vesolju enako hitrost c. To je hitrost, ki smo jo izmerili z različnimi metodami, lokalnima Fizeaujevo in Foucaltovo /glej 9, stran 467/in vsemirsko, ki temelji na opazovanju Jupitrovih lun /glej 10/I, stran 45). Na žalost so vse omenjene metode omejene na Zemlji relativno blizki del Vsemirja.

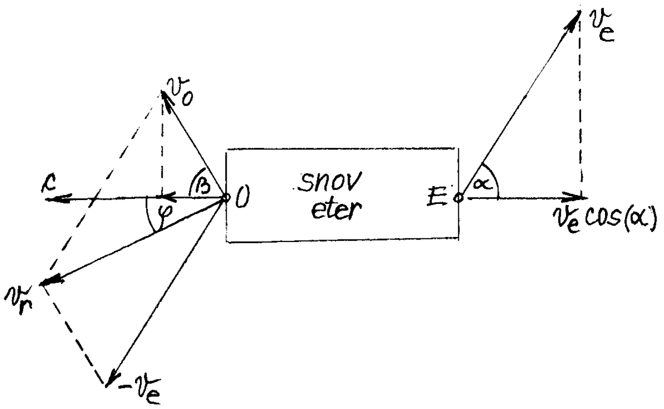
V glavnem strokovna literatura in tako tudi /10, stran 217/ obravnava svetlobno hitrost c kot **konstanto narave** (energije). Res pa pri tem ne pove povsem jasno ali se to nanaša na celotno Vesolje, ali le na najbližjo našo okolico v katero lahko štejemo Sončni planetni sistem. Če torej razširimo tako naziranje o konstantnost svetlobne hitrosti na vse Vesolje vse do VP, potem vrednost c ne more biti odvisna od gravitacijskega potenciala $\Phi = GM/R$ (e.48), kakor to velja za hitrosti $v < c$. Za hitrosti $v < c$ namreč velja: $v = v_0(1 + \Phi/v^2) = v_0 + v_1$ (e.49). Pri tem predstavlja v tej enačbi v_0 # c vrednost hitrosti v, ki jo ima ta hitrost v lokalnem težišču, v katerem je $\Phi = 0$, v_1 pa predstavlja hitrost $v_1 = (2GM/R)^{1/2} = 2\Phi$ (e.50) v smeri lokalnega težišča z maso M. Enačba (e.49), ki velja torej le v primeru $v < c$, velja v primeru $v = c$ le asimptotično. Slednje pomeni, da se pri seštevanju hitrosti v_1 in $v_2 = c$ lahko spreminja le smer rezultančne hitrosti, ne pa tudi njen iznos $v_2 = c$. Na taki osnovi je izračunal tudi Einstein leta 1911 svoj prvi približek za uklonski kot φ (glej sliko 5b), za katerega se ukloni foton ob Sončevi površini /glej 13, stran 319 in enačbo (3)/. Povzetek tega izračuna, ki se nanaša na sliko 5a, temelji na enačbi $W = mc^2$ s pomočjo katere lahko določimo ekvivalentno maso fotona $m = hf/c^2$ in silo s katero ga Sonce privlači. Če predpostavimo, da je tirnica fotona ob Sončevi površini v prvem približku premica, zaradi majhnega uklona, je uklonski kot φ, ki ga prikazuje slika 5b: $\varphi = 2\mathrm{I}\,\mathrm{arc\,tg}(p_x/p_y)dp_x \bullet 2\mathrm{I}\,dp_x/p_y$, pri čemer je $p_y = hf/c$ tangencialna gibalna količina fotona v smeri koordinatne osi, p_x pa njegova gibalna količina v smeri koordinatne osi x. Ker je $dp_x/dt = d(mv)/dt = m(dv/dt) = F_x(t)$ sledi, da je $dp_x = F_x(t)dt = G(hf/c^2)(M/r^2)(R/r)dt$ in $2dp_x/p_y = \{(2G/c^4)MR/[(R/c)^2 + t^2]^{3/2}\}dt = \{(R_SR/c^2)/[(R/c)^2 + t^2]^{3/2}\}dt$. Torej $\varphi = 2\mathrm{I}_4^{o}\ dp_x/p_y = \mathrm{I}_4^{o}\ \{(R_SR/c^2)/[(R/c)^2 + t^2]^{3/2}\}dt = (R_S/R)t/[(R/c)^2 + t^2]^{1/2}{*}_4^{o} = (R_S/R)/\{[R/(ct)]^2 + 1\}^{1/2}{*}_4^{o} = (R_S/R)$. Če sedaj upoštevamo, da so: masa Sonca $M = 1{,}989.10^{33}$ g, polmer Sonca, $R = 6{,}96.10^{10}$ cm, $G = 6{,}67.10^{8}$ gravitacijska konstanta v $cm^3/(gs^2)$, je $R_S = 2GM/c^2 = 2.1{,}47410^5$ cm $= 2{,}948$ km in uklonski kot $\varphi = 2{,}948/6{,}96.10^5 = 0{,}42.10^{-5}$ rad $= 0{,}42.10^{-5}(360.3600)/6{,}28 = 0{,}874'$.

Ta izračun pa je Einstein že leta 1916 popravil. Po novem izračunu je dobil še enkrat večjo vrednost, kateo je potrdilo tudi opazovanje ob Sončevem mrku.

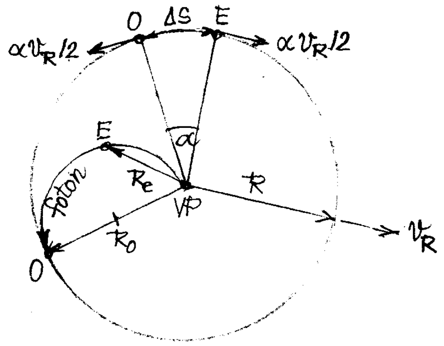
O MEDIJU ZA PRENOS ZVOKA IN ZA PRENOS SVETLOBE:

Medij za prenos zvoka je prostor, **ki je napolnjen z molekulami**. Zvok je nihanje, ki se prenaša z nihajočega zvočila E v nihanje molekul v prostoru med E in O in preko teh na sprejemnik O. Relativno gibanje O glede na E: a.) spreminja oddaljenost D med O in E, b.) nima vpliva na hitrost razširjanja zvoka in c.) vpliva pa z relativno hitrostjo O in E proti mediju na zveznici med O in E na frekvenco sprejetega zvoka.

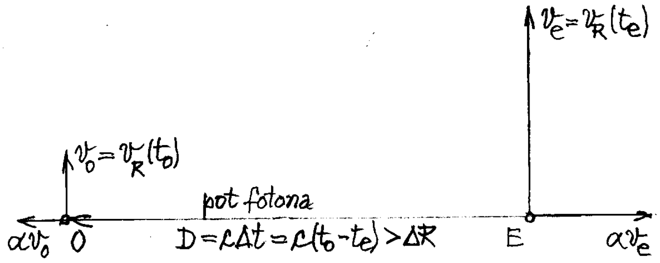
Medij za prenos svetlobe je **prostor**, skozi katerega lahko potujejo fotoni, katere seva svetilo E. Če je prostor med O in E **prazen**, potem fotoni potujejo s hitrostjo c. Relativno gibanje O glede na E a.) spreminja oddaljenost med O in E, b.) nima pa vpliva na hitrost c in c.) vpliva na frekvenco fotonov ob sprejemu, na katero med potovanjem fotona vpliva tudi gravitacijski potencial v prostoru.



Slika 1: Dopplerjev frekvenčni premik pri zvoku in pri svetlobi.



Slika 2: Časovni prerez skozi Vesolje s svetovnico fotona med E in O.



Slika 3: „Izravnana" pot fotona od E proti O.