

GALAKSIJE

OPAZOVANJE GALAKSIJ, izračuni, posledice

Avtor: Marjan Grilj



Slike galaksij za boljšo predstavo

Vsebina:

(1) Osnove:

- (a) opazovanje
- (b) določanje oddaljenosti
- (c) rdeči premik

(2) Izračuni in posledice:

- (a) Hubble, razširjanje vesolja
- (b) na kratko o kvazarjih
- (c) rotacija galaksije
- (d) številski podatki
- (e) evolucija vesolja, preteklost, prihodnost

(3) Viri

(1) OSNOVE

(a) Opazovanje objektov v vesolju

Objekti, ki jih astronomi opazujejo oddajajo EM valovanje (so pa tudi izjeme). Ni nujno, da ravno v vidni svetlobi. Ker je večina objektov v vesolju zelo oddaljena, pride do nas zelo malo EM valovanja (svetlobe) zato moramo zgraditi kar se da velike teleskope, da ujamejo čimveč fotonov iz določenega objekta, npr. zvezde, galaksije in podobno.

Teleskopi so tako lahko optični ali radijski:



Slika 1: Hubble space telescope v orbiti nad Zemljo



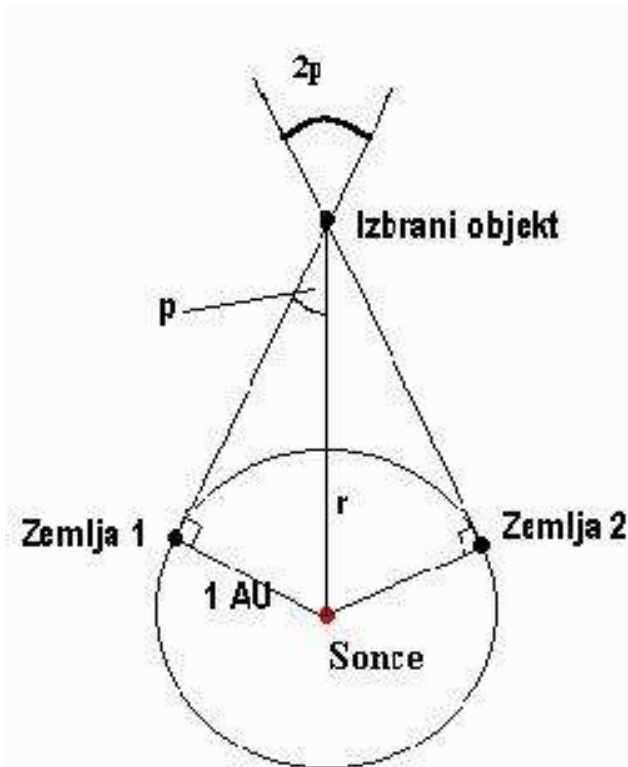
Slika 2: radijski telekop Arecibo, zgrajen v kraterju, $2r = 300\text{m}$, projekt SETI, iskanje kvazarjev

Ko opazujemo zelo oddaljene galaksije, jih vidimo kakršne so bile v daljni preteklosti.

Npr. če gledamo galaksijo, ki je oddaljena 1 milijon svetlobnih let, jo vidimo kakršna je bila pred 1. milijonom let. Ne moremo videti kakšna je danes.

(b) Kako določiti razdaljo do oddaljenih zvezd, galaksij... ?

Paralaksa je navidezni premik objekta glede na ozadje, če ga opazujemo pod različnimi koti. V astronomiji ima merjenje paralakse za osnovo veliko polos tira Zemlje okoli Sonca in rabi za določitev oddaljenosti Soncu najbližjih zvezd. To osnovo imenujemo baza. Za druge bližje objekte je ta baza lahko manjša. Za Luno, na primer, zadostuje že nekaj tisoč kilometrov. Ker so zvezde zelo oddaljene, najbližje nad 4 svetlobna leta, je paralaksa zvezd zelo majhna, manj kot ločno sekundo. To je tudi razlog, da so se mnogi znanstveniki toliko časa držali geocentričnega modela vesolja, saj tako majhnih kotov na nebu, vse do 19. stoletja, niso znali meriti. Ker paralakse niso opazili, so tudi Zemljo imeli za mirujoče telo v vesolju.



Slika 3: paralaksa

p paralaktični kot

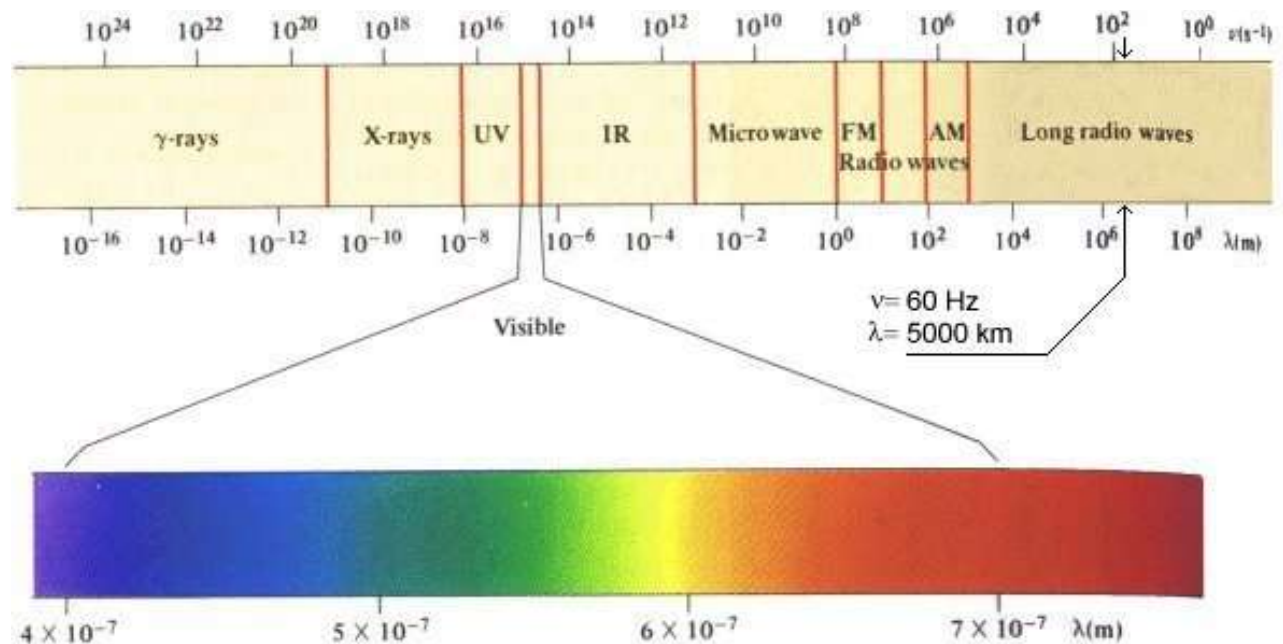
r iskana razdalja od Sonca do izbranega objekta (galaksije)

AU..... 1 AU (astronomy unit) = srednja razdalja Zemlja - Sonce = $150 \cdot 10^6$ km

velja $\sin(p) = 1AU / r \Rightarrow r = 1AU / \sin(p)$

Tako določamo razdalje do posameznih objektov v vesolju.

(c) Kaj je rdeči premik?

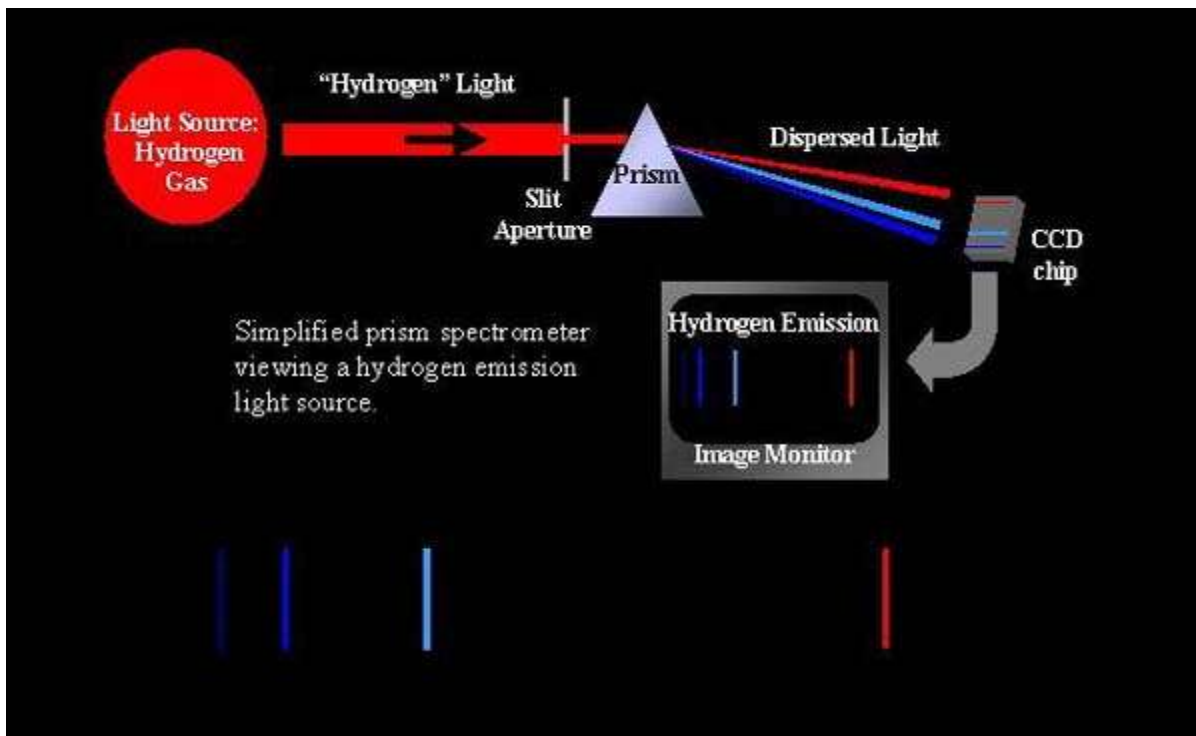


Slika 4: spekter EM valovanja

Opazujemo spekter, ki ga dobimo, ko svetlobo iz neke oddaljene zvezde uklonimo skozi prizmo. Če vemo iz katerih elementov je zvezda sestavljena (pretežno **vodik in helij**), vemo tudi kje imajo ti elementi absorpcijske črte v spektru v laboratorijskih poskusih na Zemlji (npr. spekter našega Sonca).

Ko primerjamo pozicije spektralnih črt, vidimo, da so črte iz spektra neke oddaljene zvezde pomaknjene proti daljšim valovnim dolžinam - v žargonu rečemo, da je viden "rdeči premik".

Pojav imenujemo Doplerjev efekt, saj gre za zelo podoben efekt kot pri zvoku - spremeni se frekvenca, ki jo sliši sprejemnik, če se oddajnik zvoka glede nanj hitro premika. Enako je podaljšana frekvenca EM valovanja iz zvezde, saj se glede na nas oddaljuje.



Slika 5: emisijske črte

Izračun rdečega premika z:

$$1 + z = \frac{\lambda_{opazovana}}{\lambda_{teoreticna}}$$

$$1 + z = \frac{\lambda_{opaz}}{\lambda_{teor}} = \left(\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{v}{c}$$

v hitrost oddaljevanja (galaksije), ki jo izračunamo iz te enačbe

c svetlobna hitrost

λ valovna dolžina EM valovanja

Enačba je izpeljana iz **specialne teorije relativnosti (STR)**. To predstavlja problem, saj bi morali za realni opis upoštevati **splošno teorijo relativnosti (GTR)**, ki upošteva raztezanje samega prostora vesolja.

Izračuni rdečih premikov določenih galaksij:

Strnad: Fizika, tretji del, (starejša izdaja), stran 92, preglednica 5 pove, da je iz galaksij oddaljenih do **1 milijarde sv. let** rdeči premik okoli $z = 0,05$, po izračunu je hitrost oddaljevanja od nas okoli **0,05c**. Pri oddaljenosti **3 milijarde sv. let** pa je $z = 0,2$ (100nm zamika!), kar znese okoli **0,18c**.

(2) POSLEDICE IZRAČUNOV

(a) Razširjanje vesolja - Edwin Hubble

E. Hubble se je lotil sistematičnega merjenja razdalj do čim več takrat poznanih galaksij in v nekaj letih je prišel do enega najbolj presenetljivih odkritij v zgodovini znanosti. Ugotovil je, da vesolje ni statično, ampak galaksije bežijo stran druga od druge.

Astronomi so že v začetku 20. stoletja spoznali, da je spekter svetlobe s "spiralnih nebul" premaknjen proti rdečemu delu. Značilne črte v spektru so bile premaknjene proti večjim valovnim dolžinam.

Leta 1929 je Hubble razglasil svojo ugotovitev: **bolj kot je galaksija oddaljena, večji je njen rdeči premik in zato večja hitrost, s katero se od nas oddaljuje**. Prva objava te ugotovitve je temeljila na zelo majhnem številu obravnavanih galaksij in tudi Hubblova metodologija ni bila povsem sprejemljiva, saj se je kasneje izkazalo, da je pri oddaljenih galaksijah vzel za standardne svetilnike kar cele jate zvezd, čeprav je mislil, da gleda zelo svetle posamezne zvezde. Vendar je imel srečo, kajti kasnejše bolj natančne meritve so potrdile njegovo domnevo, ki jo lahko izrazimo tudi s preprosto formulo, ki nosi njemu v čast ime **Hubblev zakon**:

$$v = H_0 * d$$

v hitrost oddaljevanja galaksije (dobimo iz spektra - rdeči premik)

d razdalja do galaksije (dobimo iz paralakse)

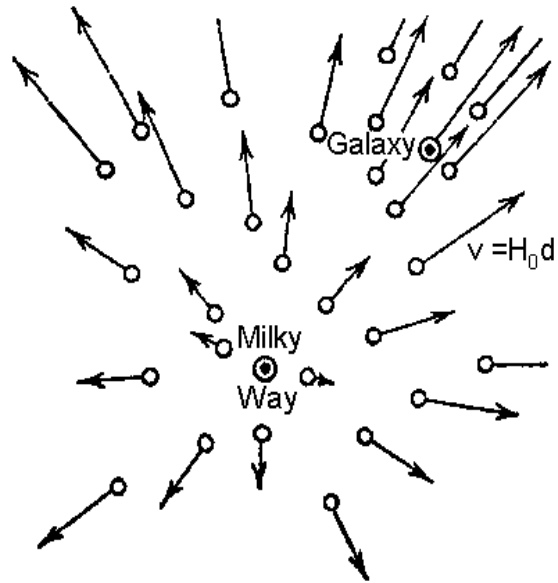
H_0 (trenutna!) Hubblova konstanta: okoli 72 km/s/Mpc

1 pc = 1 parsek = 1 AU / 1" [rad] = $30 \cdot 10^{12}$ km = 206.000 AU = 3,26 svetlobnega leta = razdalja s katere bi videli 1 AU pod kotom 1 ločne stopinje.

$1/H_0$ zgornja meja starosti vesolja (13,9 milijarde let), ki bi veljala, če bi se vesolje vedno širilo z enako hitrostjo.

Hubblev zakon nam torej pove (trenutno) hitrost razširjanja vesolja.

Ko enkrat poznamo vrednost Hubblove konstante, lahko na primer iz rdečega premika galaksije po Hubblevem zakonu **določimo njeno oddaljenost** po formuli $d = v / H_0$. Vendar smo tudi tukaj soočeni z nekaj težavami, saj imajo galaksije poleg hitrosti, ki jo obravnava Hubblev zakon tudi medsebojne relativne hitrosti, ki jih Hubblev zakon ne obravnava, predvsem pa smo pri tej metodi določanja razdalje omejeni z natančnostjo, do katere poznamo Hubblovo konstanto.

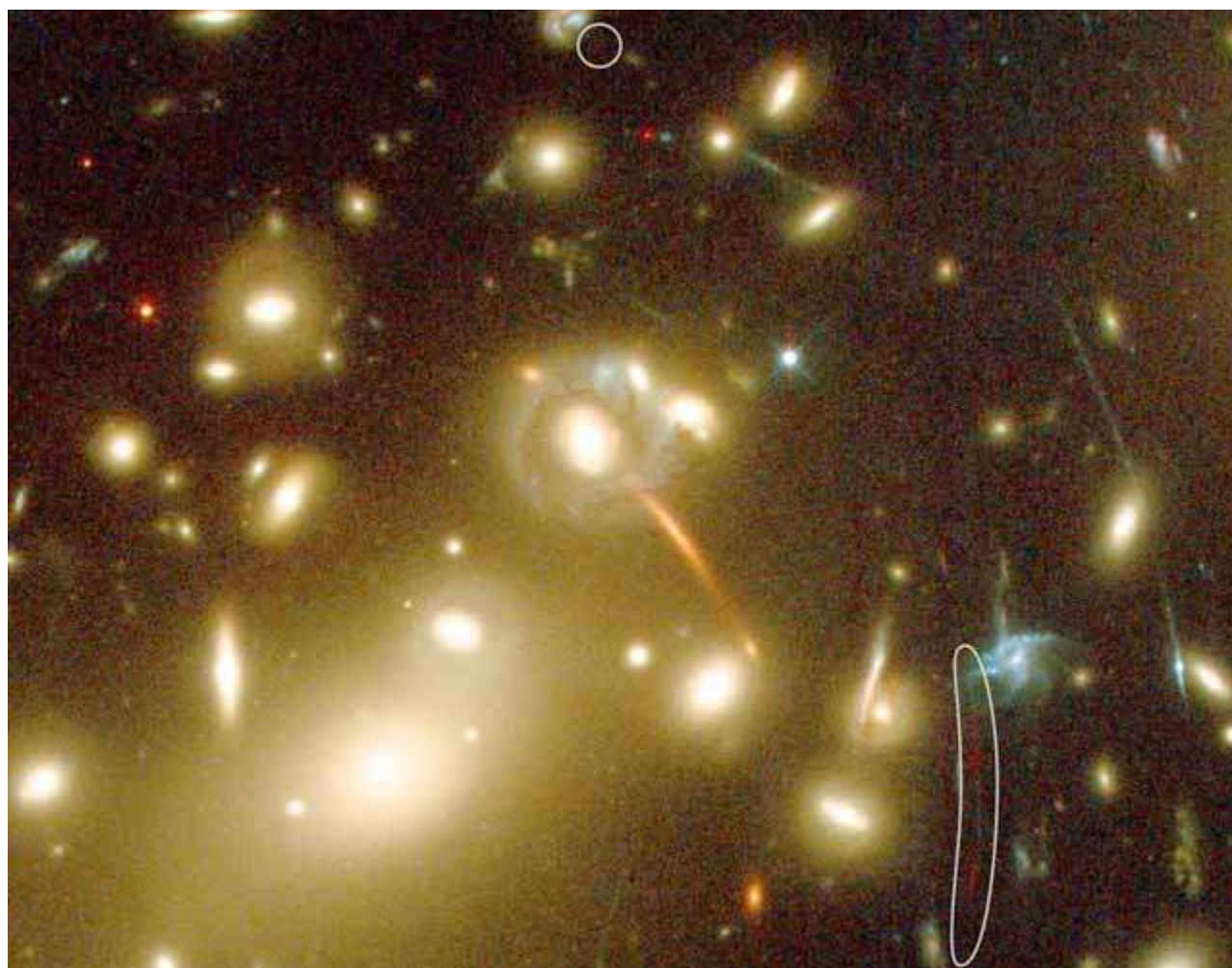


Slika 6: vse se oddaljuje od nas (v povprečju se vsi objekti oddaljujejo od vseh)

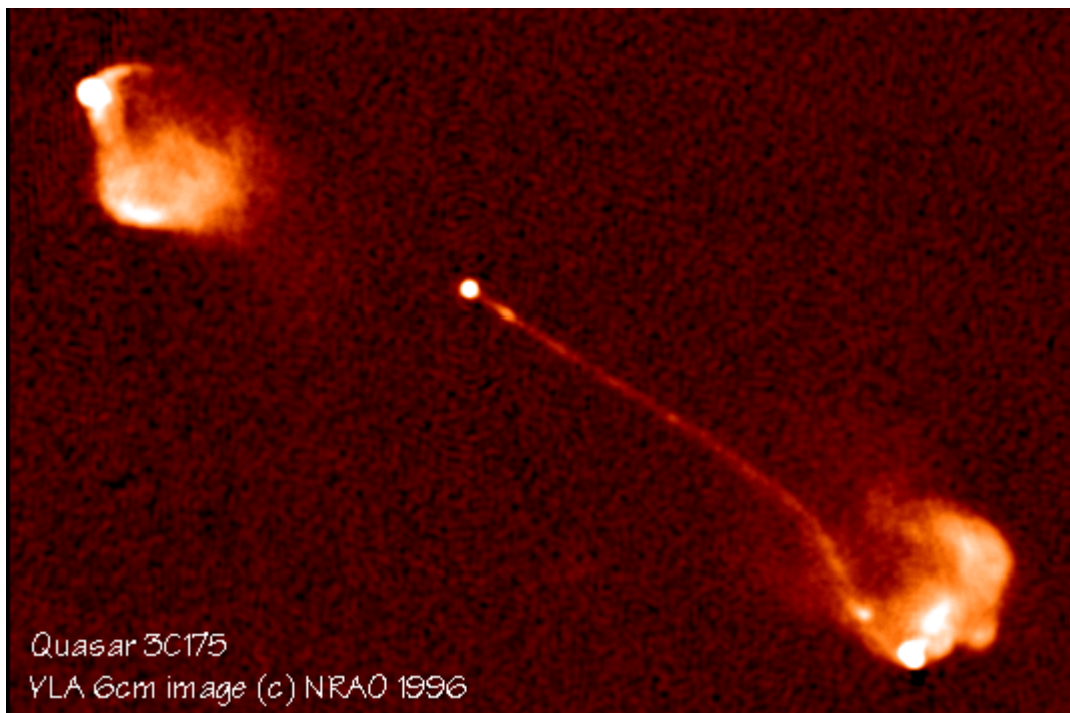
(b) Na kratko o kvazarjih

Vsa opazovanja se ujemajo s Hubblovim zakonom, le **kvazarji** - najbolj oddaljeni objekti v vesolju, ki so obstajali v začetnih fazah vesolja, odstopajo. Oddajajo izjemno močan izsev (več kot cela galaksija, in so manjši kot osončje) in imajo nekoliko prevelik premik proti rdečemu.

Rdeči premik kvazarjev je zelo velik, vse od $z = 2$, kar pomeni, da se od nas oddaljuje z **0.8c**, nazadnje pa so odkrili celo kvazar z rdečim premikom večjim od $z = 7$, kar pomeni, da se od nas oddaljuje skoraj s svetlobno hitrostjo (okoli **0.97c po specialni T.R.**), oddaljen pa je več kot 10 milijard sv. let, prikazuje ga naslednja Slika 7.



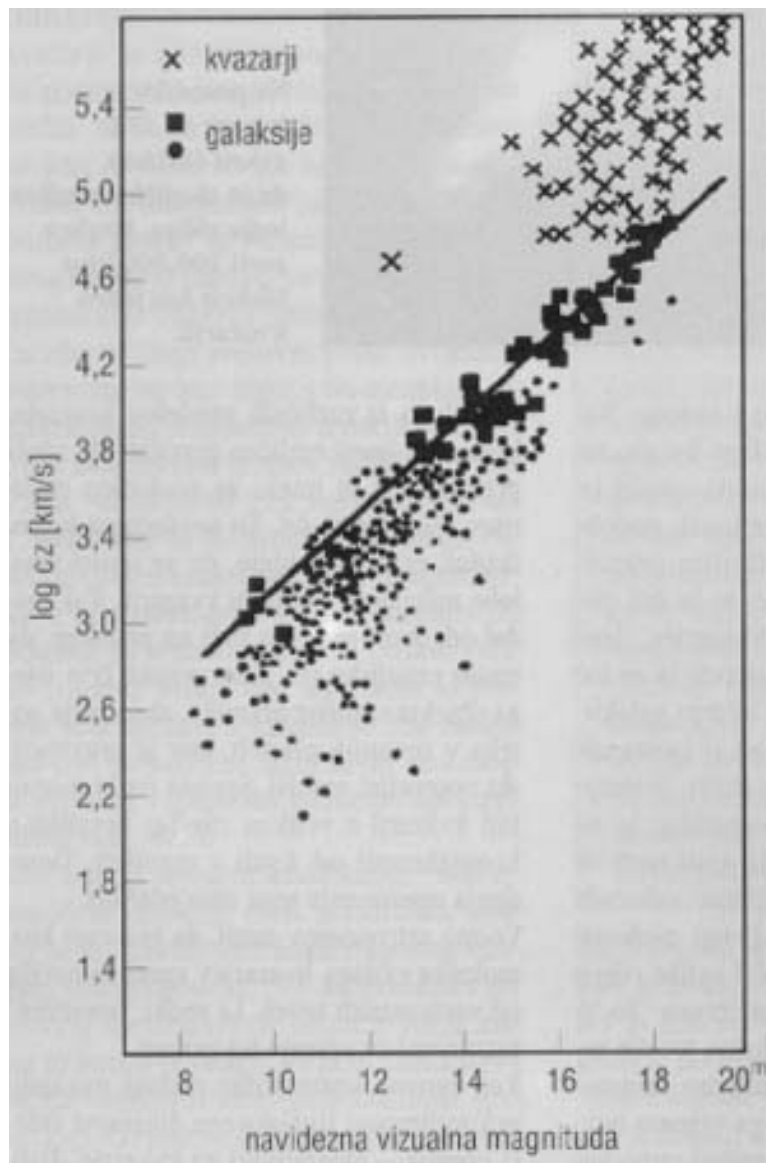
Slika 7: kvazar z največjim rdečim premikom izmerjenim do sedaj ($z = 7$), vidno je tudi gravitacijsko lečenje, zaradi katerega sploh lahko vidimo tako oddaljen kvazar. Vidimo ga kakršen je bil pred okoli 13. milijardami let



Slika 8: realna slika kvazarja, oddaljen okoli 10 milijard sv. let, brizga protone in elektrone s skoraj svetlobno hitrostjo, curka sta dolga milijon sv. let, slika je bila narejena z VLT v radijskem območju



Slika 9: upodobitev kvazarja



Slika 10: Hubblov diagram za galaksije in kvazarje: **hitrost oddaljevanja** objektov v odvisnosti od navidezne magnitude, kar si interpretiramo kot **oddaljenost**. Ravna črta predstavlja Hubblov zakon.

Odstopanje kvazarjev pojasni **splošna teorija relativnosti** z močnim gravitacijskim poljem kvazarja, ki odvzame nekaj energije svetlobi, ki zapušča kvazar, kar se pozna na podaljšani valovni dolžini svetlobe (še dodatni rdeči premik).

Kvazar tako oddaja EM valovanje v radijskem področju, zato jih lahko zaznamo z radijskimi teleskopi.

(c) Rotacija galaksije:

Po Newtonovih zakonih velja za odvisnost hitrosti planeta od razdalje do sonca enačba:

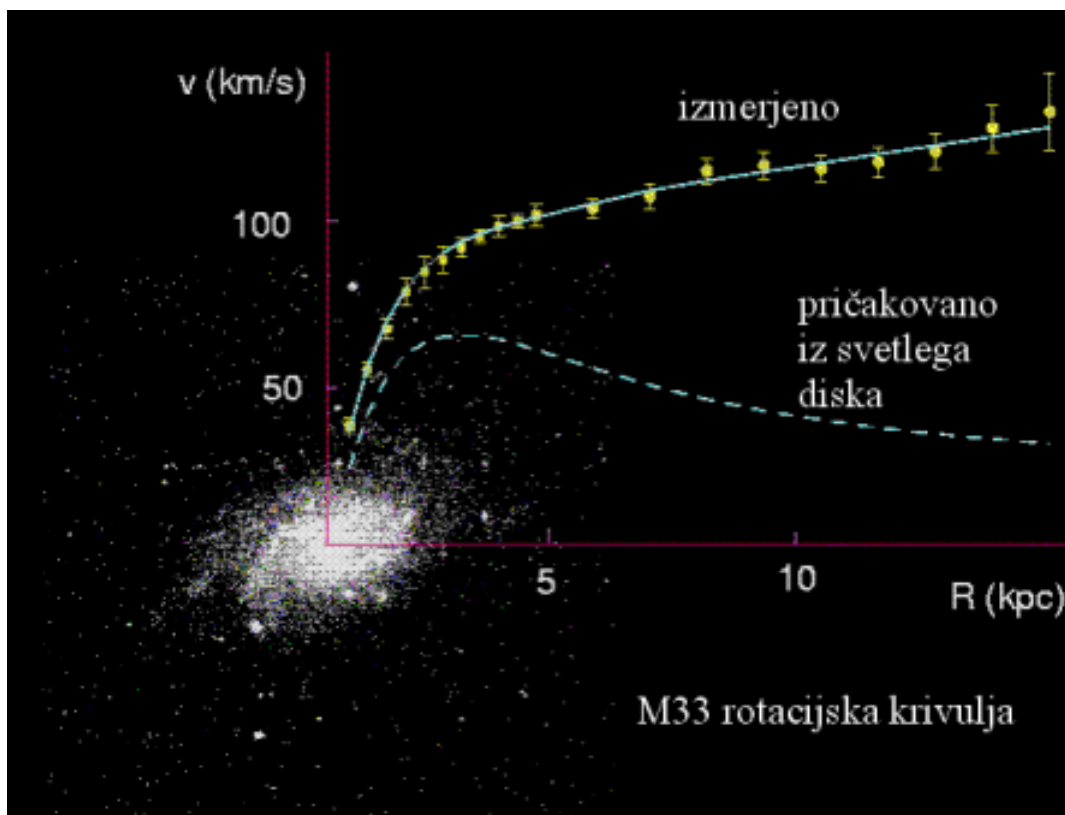
$$v(r)^2 = G * M(r) / r$$

r oddaljenost planeta do sonca

G gravitacijska konstanta

$M(r)$ masa snovi znotraj radija r

V večini galaksij zvezde krožijo okoli središča galaksije. S pomočjo Dopplerjevega pojava lahko hitrost kroženja zvezd okoli središča galaksije tudi izmerimo. Ko imamo zbrane podatke o hitrostih, s katerimi krožijo zvezde na različnih oddaljenostih od središča galaksije, lahko to primerjamo z izračunanimi vrednostmi. Za galaksijo, katere masa je razdeljena sferično ali eliptično, takih pa je okoli 80 % vseh galaksij, lahko uporabimo kar enačbo za gibanje planeta okoli zvezde. Iz nje razberemo, da bi morala hitrost kroženja v primeru, ko bi celotno maso galaksije predstavljala vidna snov zbrana v osrednjem delu galaksije, z razdaljo od središča galaksije pojemati. Podobno kot v primeru sonca in planeta, ki kroži okoli njega. Opazovanja pa nasprotno pokažejo, da hitrost kroženja zvezd v galaksiji z oddaljenostjo od središča narašča in doseže pri velikih razdaljah konstantno vrednost okoli 100 do 200 km/s. Za velike oddaljenosti od središča galaksije je torej razmerje $M(r)/r$ približno konstantno.



Slika 11: hitrosti kroženja zvezd okoli jedra galaksije

Ker iz mase snovi, ki jo vidimo kot zvezde v disku galaksije, pričakujemo rotacijsko hitrost okoli 40 km/s, izmerjena hitrost pa je okoli 120 km/s, **lahko od tu sklepamo, da je kar okoli 90 % snovi v galaksiji nevidne!**

(d) Številski podatki o vesolju:

V vidnem vesolju je okoli 200 milijard galaksij, povprečna vsebuje okoli 200 milijard zvezd.

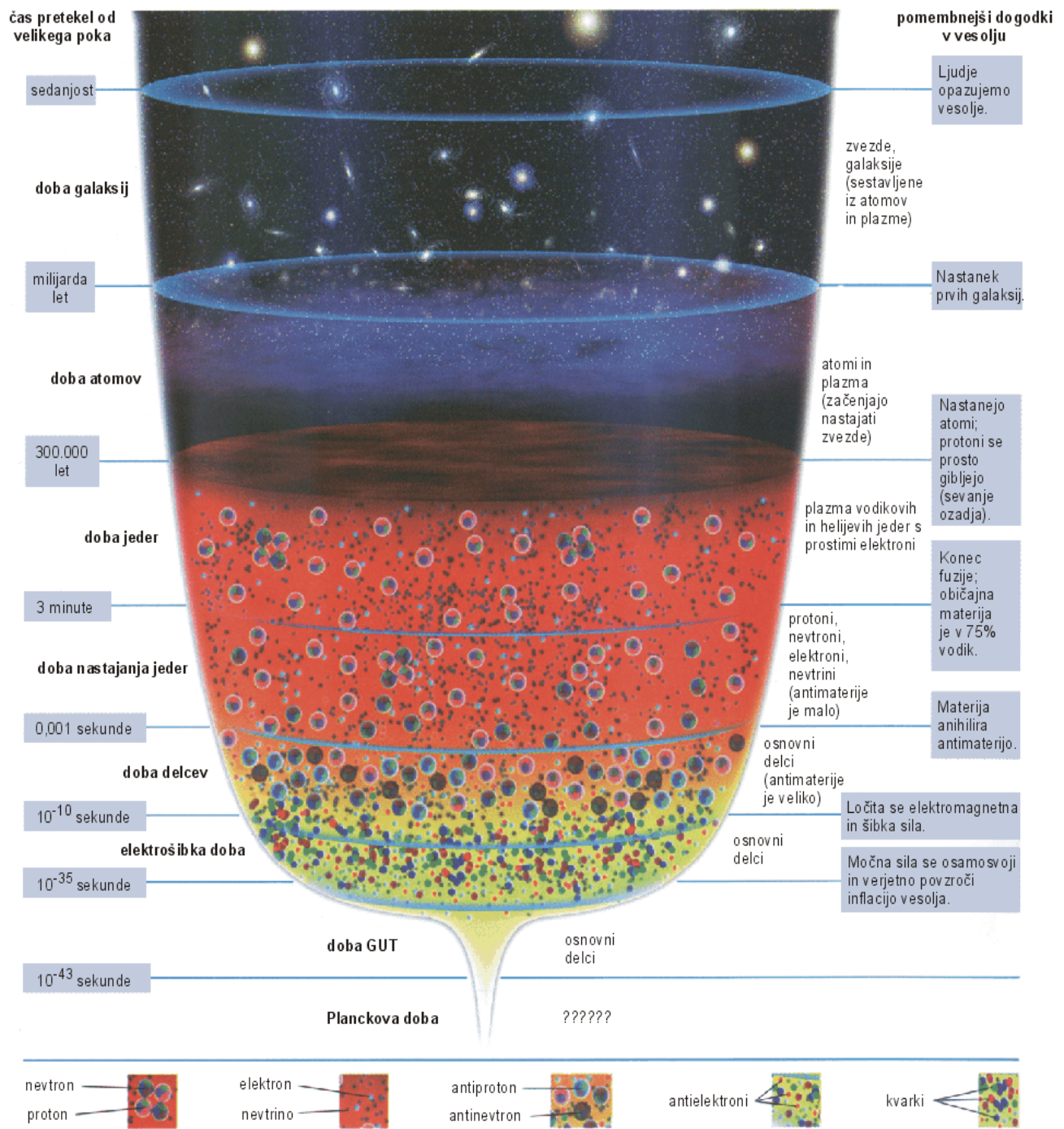
Vendar to predstavlja samo **4%** snovi, ki je v vesolju, rečemo ji **svetla snov**.

Ostalo je **temna snov (23%)**, ki jo lahko samo posredno zaznavamo, sem štejemo črne luknje, nevtrine...

Največ pa je v vesolju **temne energije (73%)**, ki razpenja vesolje. To naj bi bila energija vakuuma oz. nekakšna repulzivna sila, h kateri je prispeval big bang. Natančno pojasniti pa je žal še ne znamo.

Po zadnjih izračunih je starost vesolja **13,7 milijarde let**, kar se ujema z najstarejšimi opazovanimi objekti v vesolju (13 milijard let). Iz tega sledi, da je zunanja hitrost razširjanja vesolja skoraj enaka hitrosti svetlobe **c**.

(e) Evolucija vesolja:



Priredba po knjigi: The Cosmic Perspective, Addison Wesley 1999.

Slika 12: razvoj vesolja po big bangu

(3) Viri:

www.kvarkadabra.net

J. Strnad: Fizika, Tretji del

Glede ostalih detajlov (tudi slike) sem prebrskal internet (www.google.com)