

OAP 2023 Lekcija 10: Svemir na Velikim Skalama

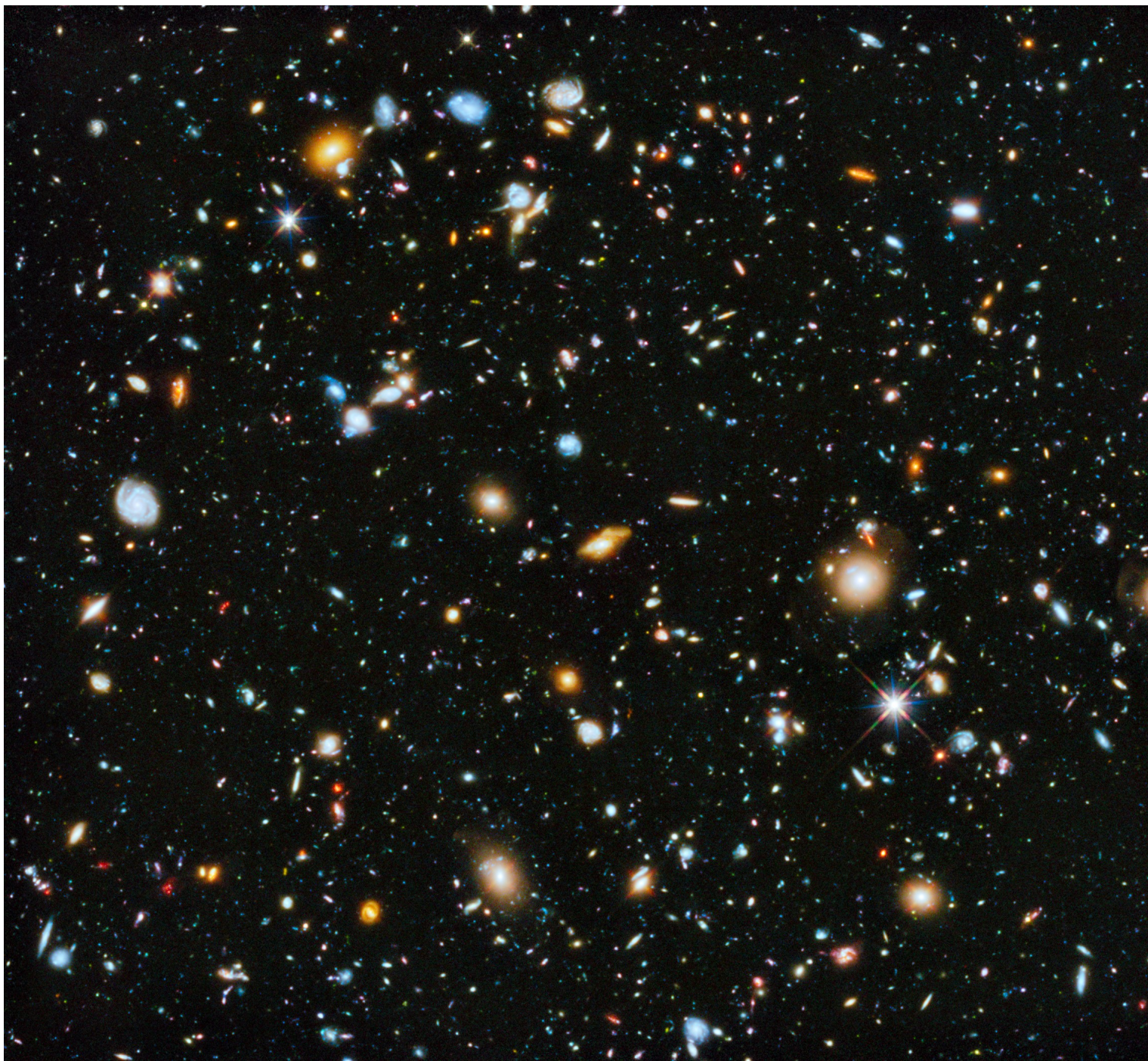
Ivan Milić (AOB / MATF)

12/ 12/ 2023

Plan za danas:

- Privodimo kraju!
- Cilj nam je da se upoznamo kako su objekti o kojima smo do sada pričali (planete, zvezde) **uredjeni**.
- To će nas odvesti prvo ka strukturi **Galaksije**, a zatim ka strukturi **celog svemira**
- Za poslednji čas ostavljamo detaljnije predavanje o nastanku i evoluciji Sunčevog Sistema, te o nastanku života na Zemlji.

Pre nego što krenemo – najčuveniji snimak noćnog neba ikad:
Hubble Ultra Deep Field



Naša Galaksija

- Mlečni Put (Milky Way), vidimo "iznutra"

Otkud ova crna oblast?



Naša "sestrinska" galaksija – Andromedina Galaksija



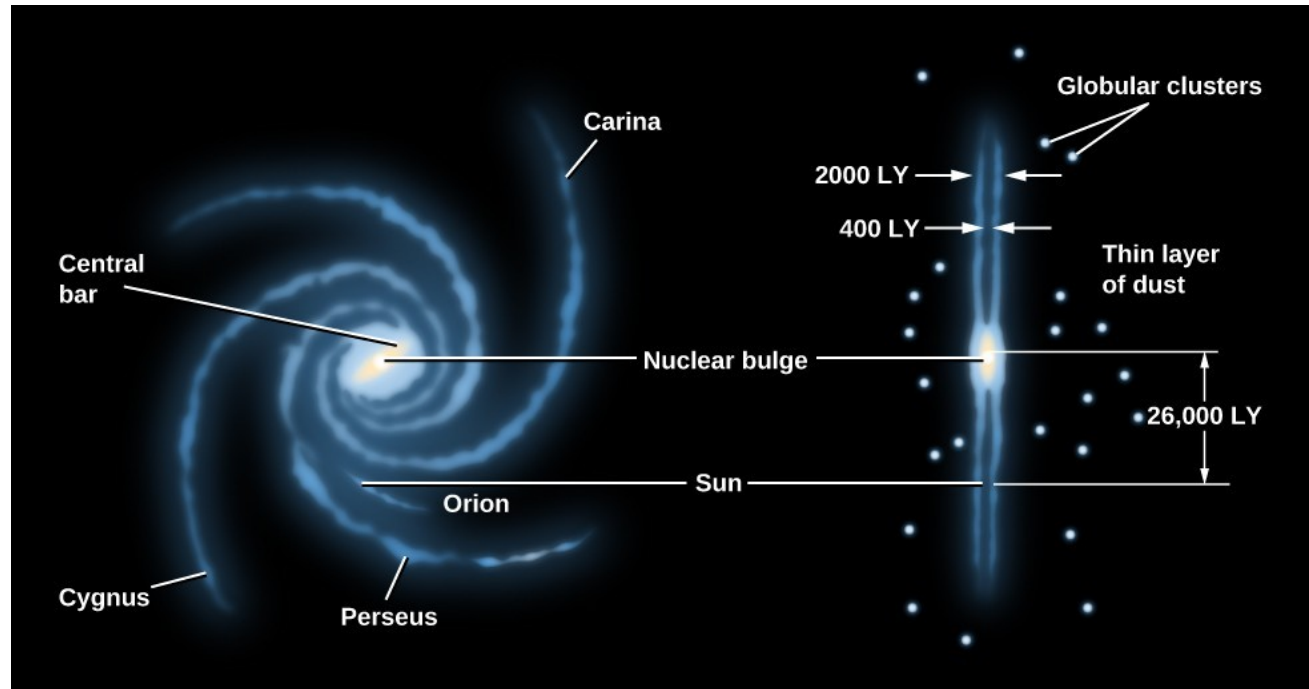
Galaksije često izgledaju kao “diskovi”

- Ovo je “Sombrero Galaxy”



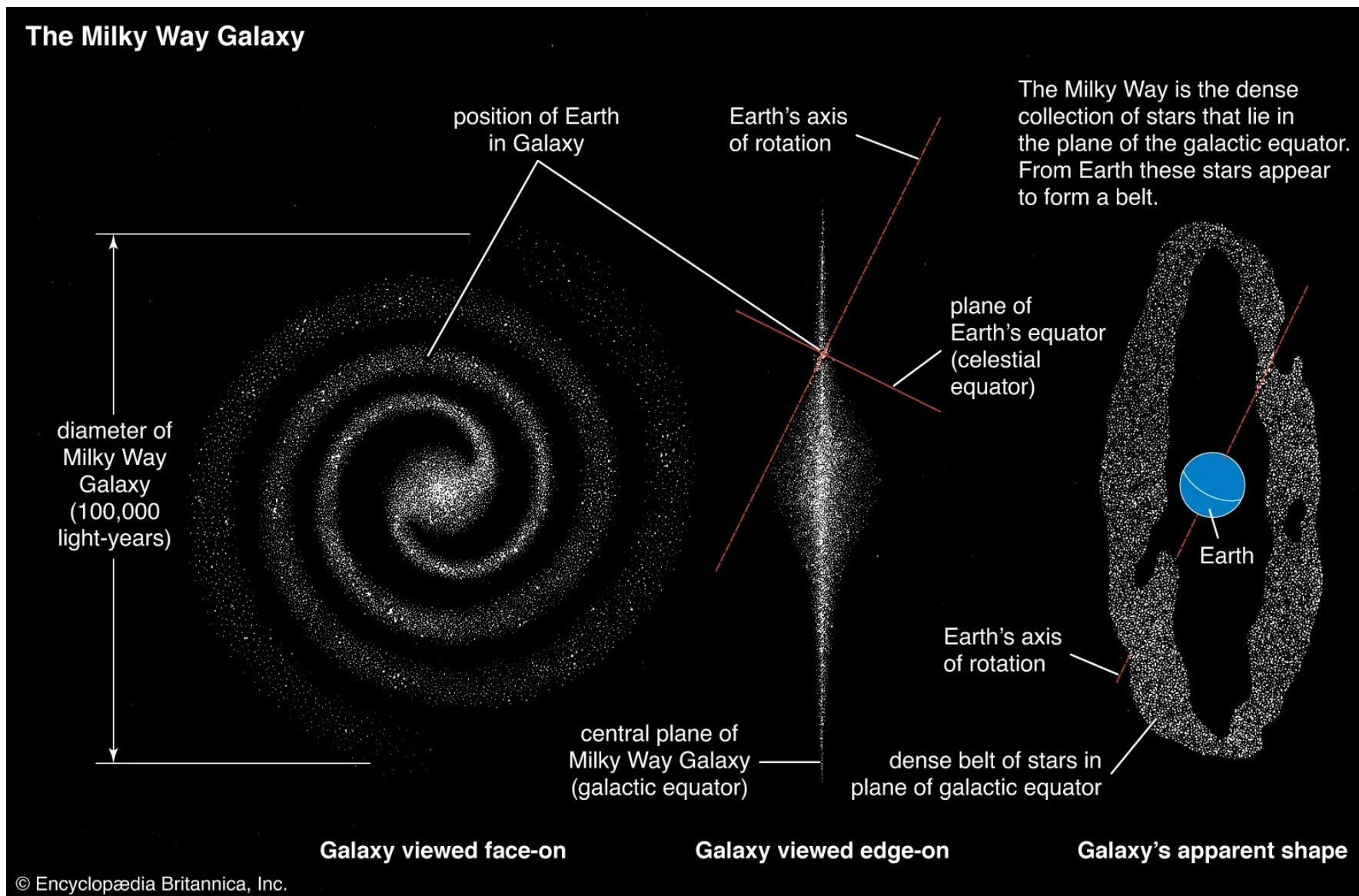
Šta čini jednu Galaksiju

- Centralni oval (Bulge) – često sadrži (super)masivnu crnu rupu
- Disk “mladih” zvezda – Populacija 1: recikliran materijal u eksplozijama supernovih
- U disku još i medjuzvezdana materija: gas i prašina
- Zvezdani halo: stare zvezde – Populacija 2: originalan materijal (H + He)
- Halo **tamne materije** koji ne vidimo direktno ali znamo da je tu na osnovu merenja i simulacija



Mlečni put

- Mi **ne vidimo** strukturu mlečnog puta direktno, zaključujemo je na osnovu posmatranja iznutra (podsetnik na koordinatne sisteme)



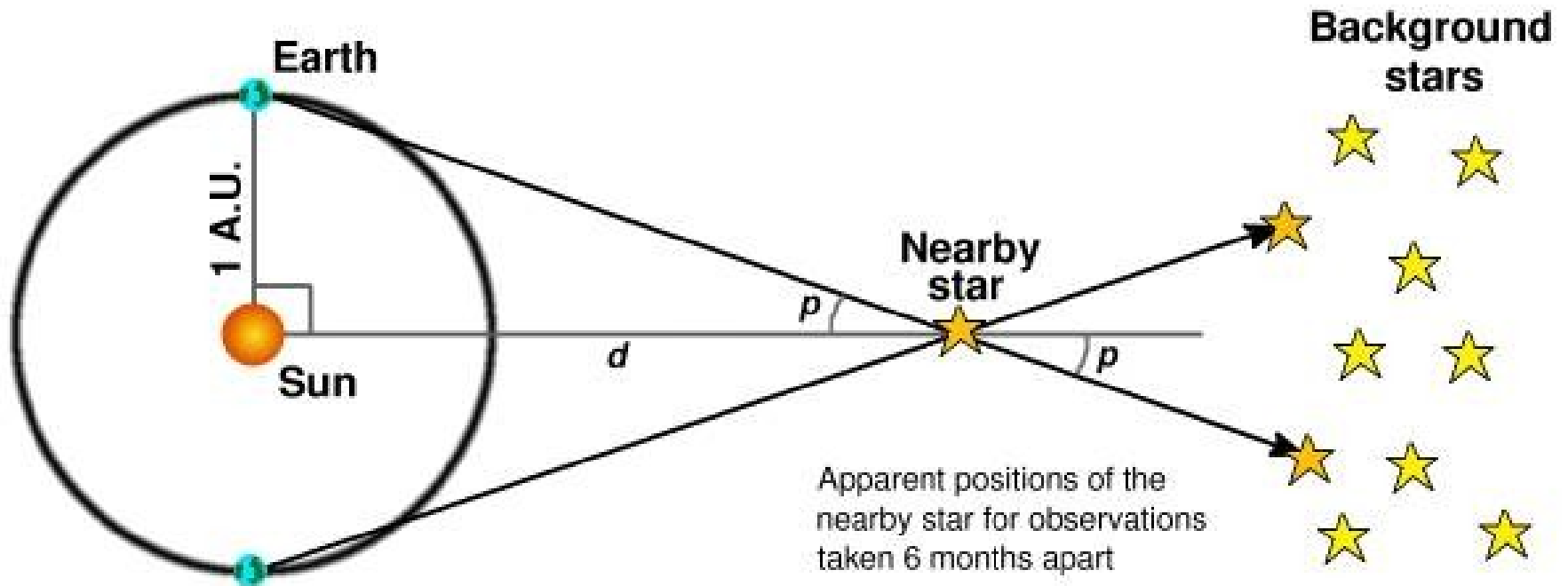
Kako znamo da su tu zvezde?

- Možemo da posmatramo individualne zvezde u “okolini” Sunca
- Merimo njihov spektar, odredjujemo njihove parametre
- Na osnovu ovoga pravimo “atlas” naše okoline

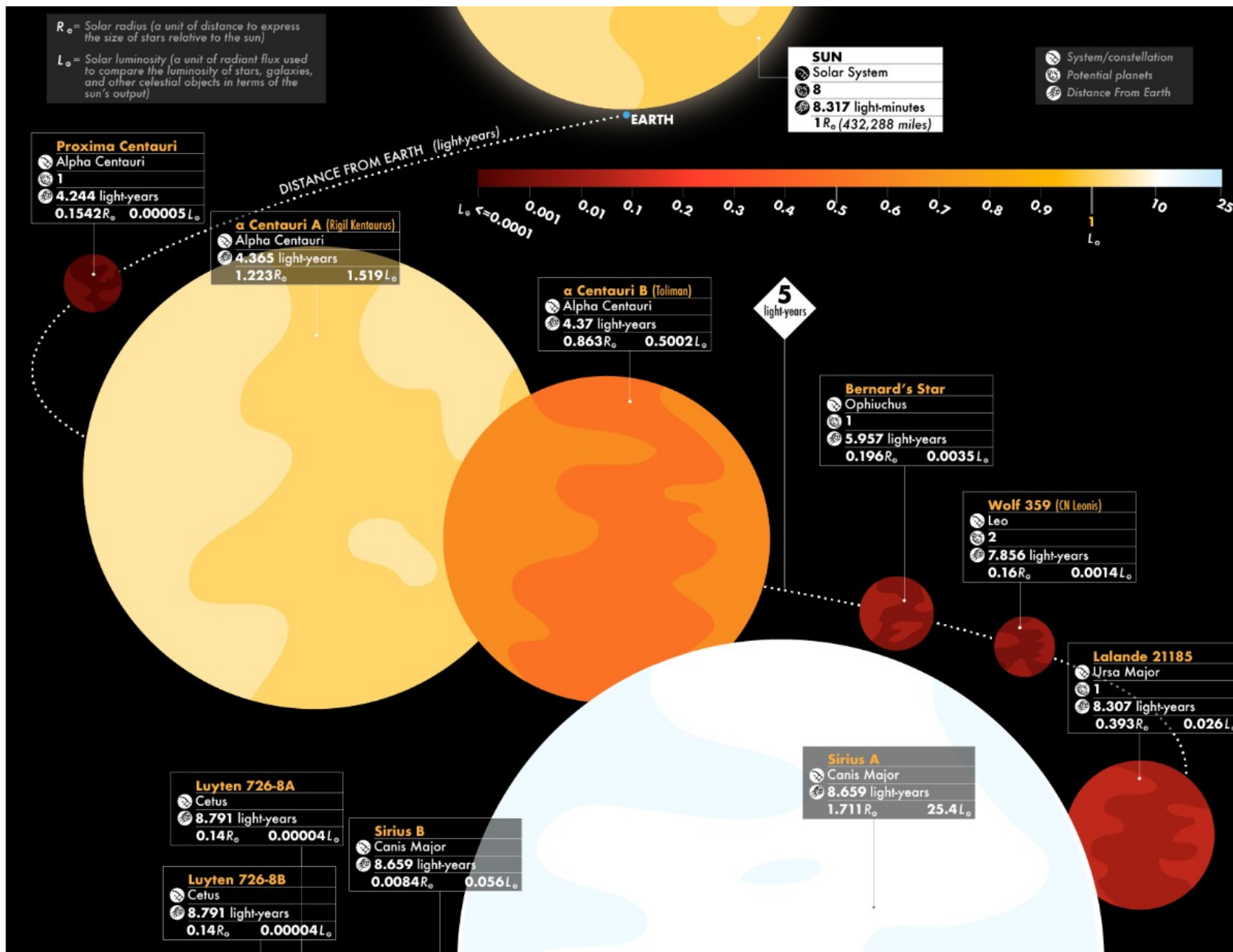


Kako znamo koliko su daleko druge zvezde?

- Postoji samo jedan “direktan” način merenja udaljenosti: **Godišnja Paralaksa**
- Pošto su koordinatni sistemi vezani za Zemlju, zvezde tokom godine malo (ali primetno) menjaju svoj položaj.
- Ugao p na slici se zove paralaksa
- Udaljenost od jednog **parseka** je udaljenost koja odgovara paralaksi od jedne sekunde



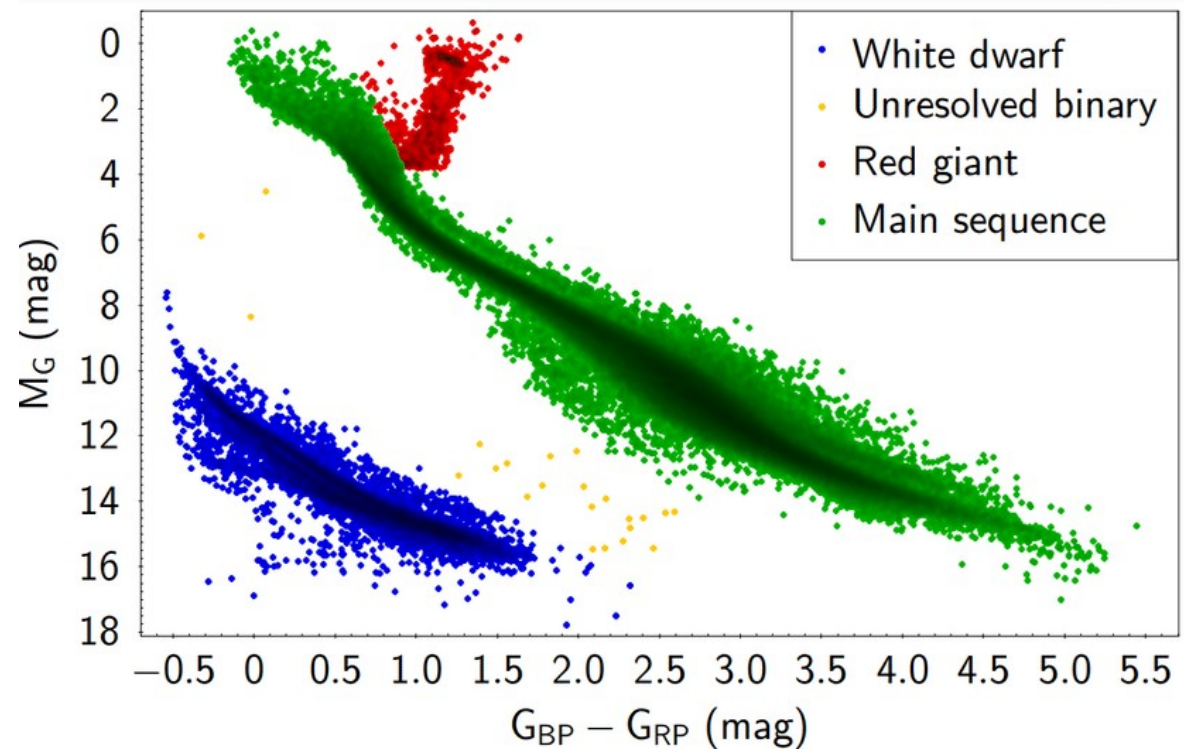
Neke bliske zvezde (više na: <https://www.visualcapitalist.com/the-44-closest-stars-and-how-they-compare-to-our-sun/>)



Meriti udaljenost na ovaj način je jako teško

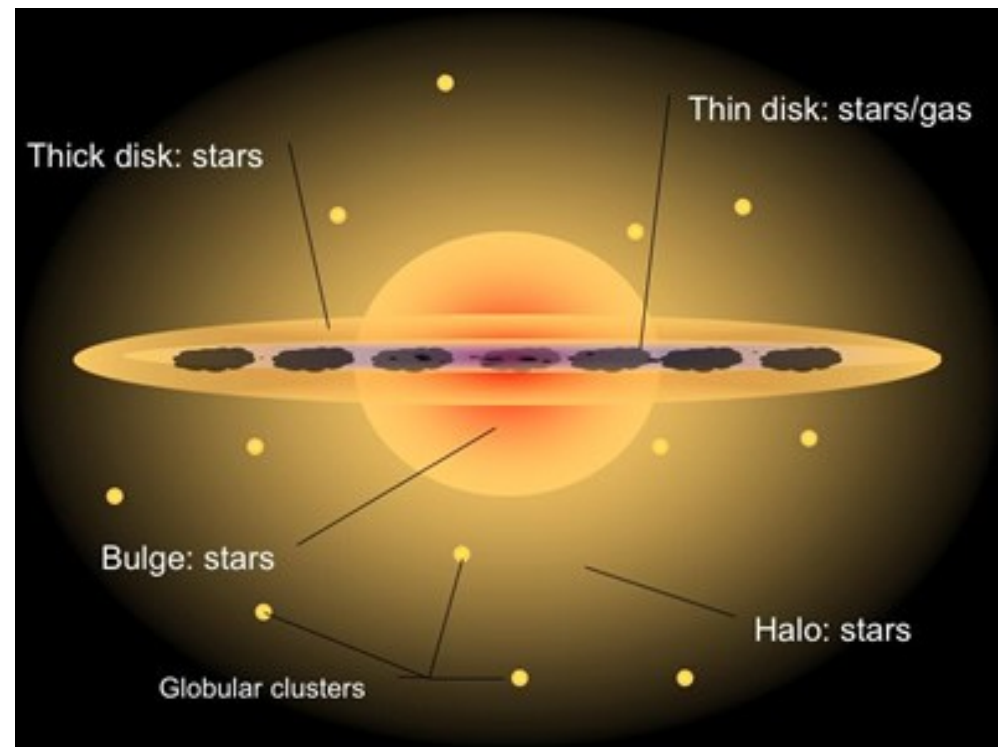
- Čak i najbliže zvezde imaju paralaksu manju od 1 lučne sekunde
- Da bismo izmerili udaljenost velikog broja zvezda potrebna nam je fantastična preciznost
- GAIA misija meri udaljenosti putem paralakse za oko **milijardu zvezda u Mlečnom Putu**
- Ako odredimo udaljenost do zvezde na ovaj način, onda možemo da nadjemo njen **apsolutni sjaj**. Tako rekonstruišemo HR dijagram:

Ovo je sada HR dijagram sačinjen samo od zvezda unutar 100 pc od Sunca!



Zvezde u disku vs zvezde u halou

- U disku možemo naći zvezde svih spektralnih klasa (temperatura).
- Pošto zvezde ranijih spektralnih klasa (većih T) žive kraće, znamo da te zvezde moraju biti mlade!
- U halou uglavnom vidimo zvezde u takozvanim **globularnim jatima**
- Ova jata imaju 10 000– nekoliko miliona zvezda
- Da bi zvezde (ili jata) završili u halou oni moraju da “odlutaju”
- Znači da su zvezde u halou jako stare
- To potvrđuje činjenica da u halou vidimo uglavnom crvene, hladnije zvezde koje duže žive



Medjuzvezdana materija

- MZM je, u principu sve što nisu zvezde :)
- Molekularni gas – vrlo hladan gas temperature nekoliko K, gde nastaju zvezde
- Neutralan gas – temperature ~ 10000 K (topao) ili ~ 1000000 K (vreo)
- Prašina – nema je mnogo ali **izuzetno efikasna u apsorpciji** (ispod: Centaurus A)



Kako znamo da postoji prašina?

- Prašina **apsorbuje svetlost** – indirektno je vidimo
- Prašina takodje **emituje infracrvenu svetlost**



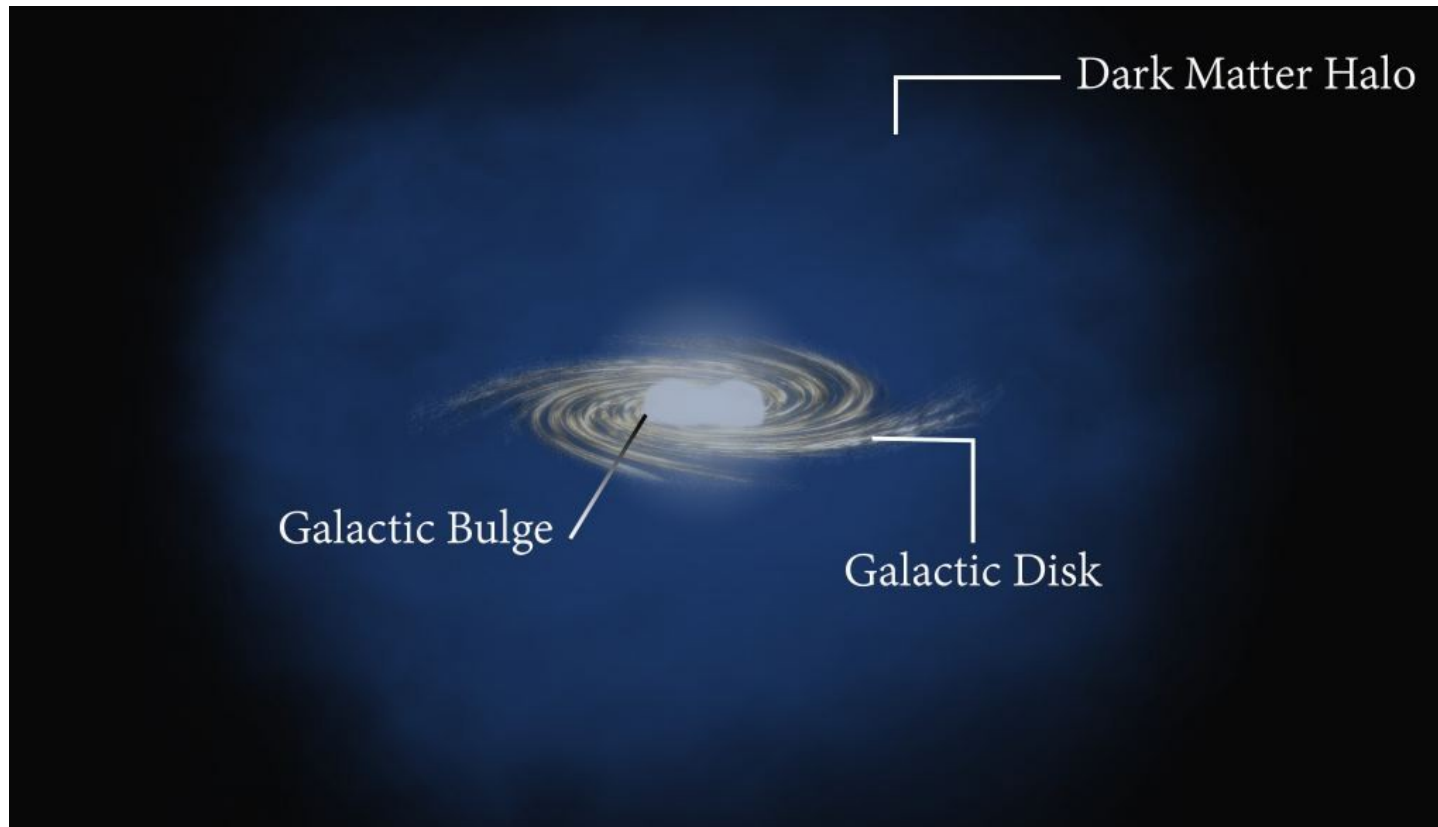
Kako znamo da postoji prašina?

- Prašina **apsorbuje svetlost** – indirektno je vidimo
- Prašina takodje **emituje infracrvenu svetlost**



Prašina NIJE tamna materija

- Verovatno ste čuli za **tamnu materiju**
- Ona nije tamna, prosto je **nevidljiva**. Trenutna teorija je da je to oblik materije koji ne interaguje sa elektromagnetnim zračenjem.
- Jedina interakcija koju **tamna materija** ima je **gravitaciona**
- Da bi galaktički diskovi bili stabilni, galaksije moraju imati **halo tamne materije**



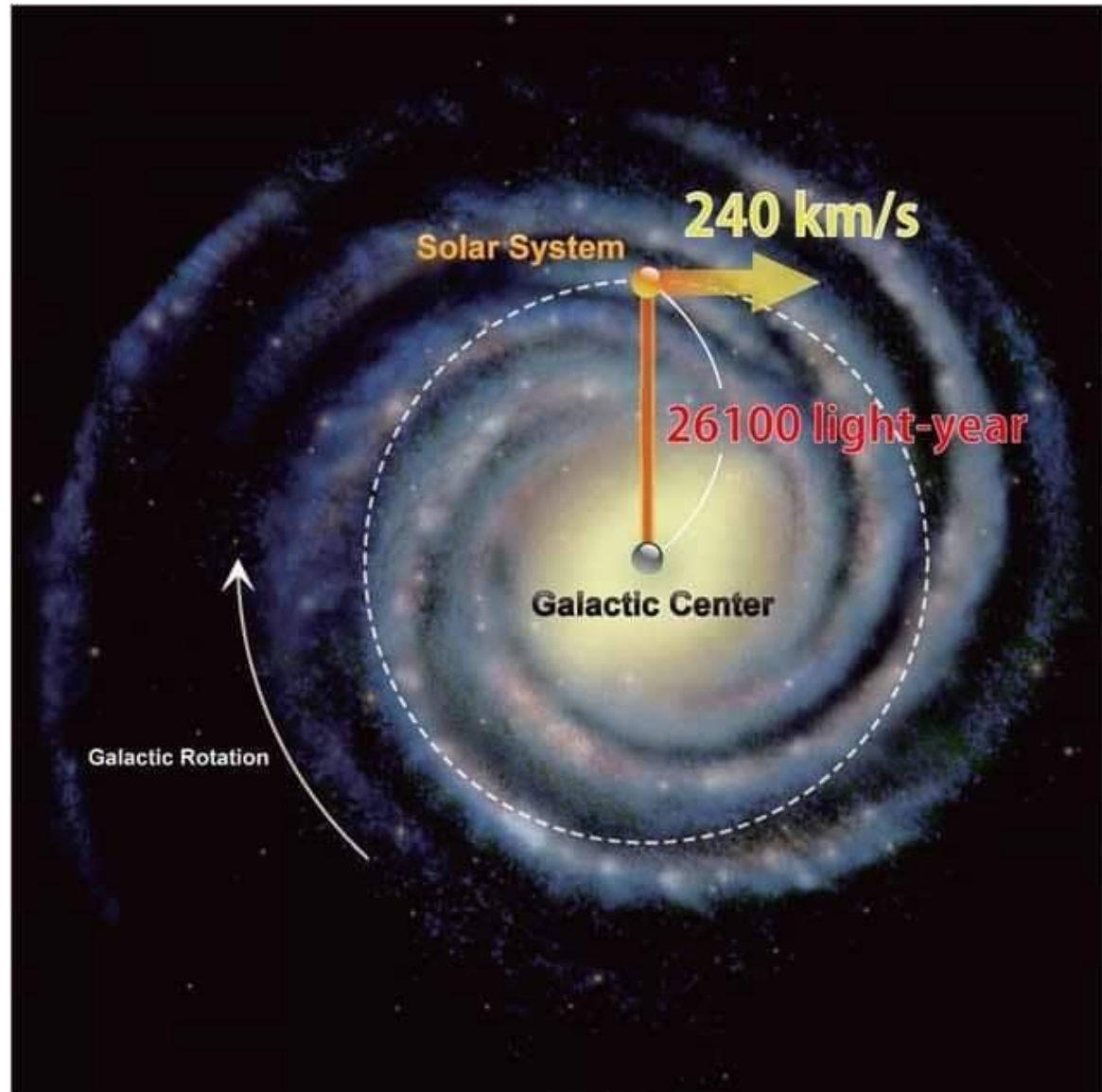
Kretanje zvezda unutar Galaksije

- Kao što se Zemlja kreće pod uticajem Sunčeve gravitacije, Sunce se kreće oko centra galaksije, **pod uticajem sve materije između nas i centra galaksije!**

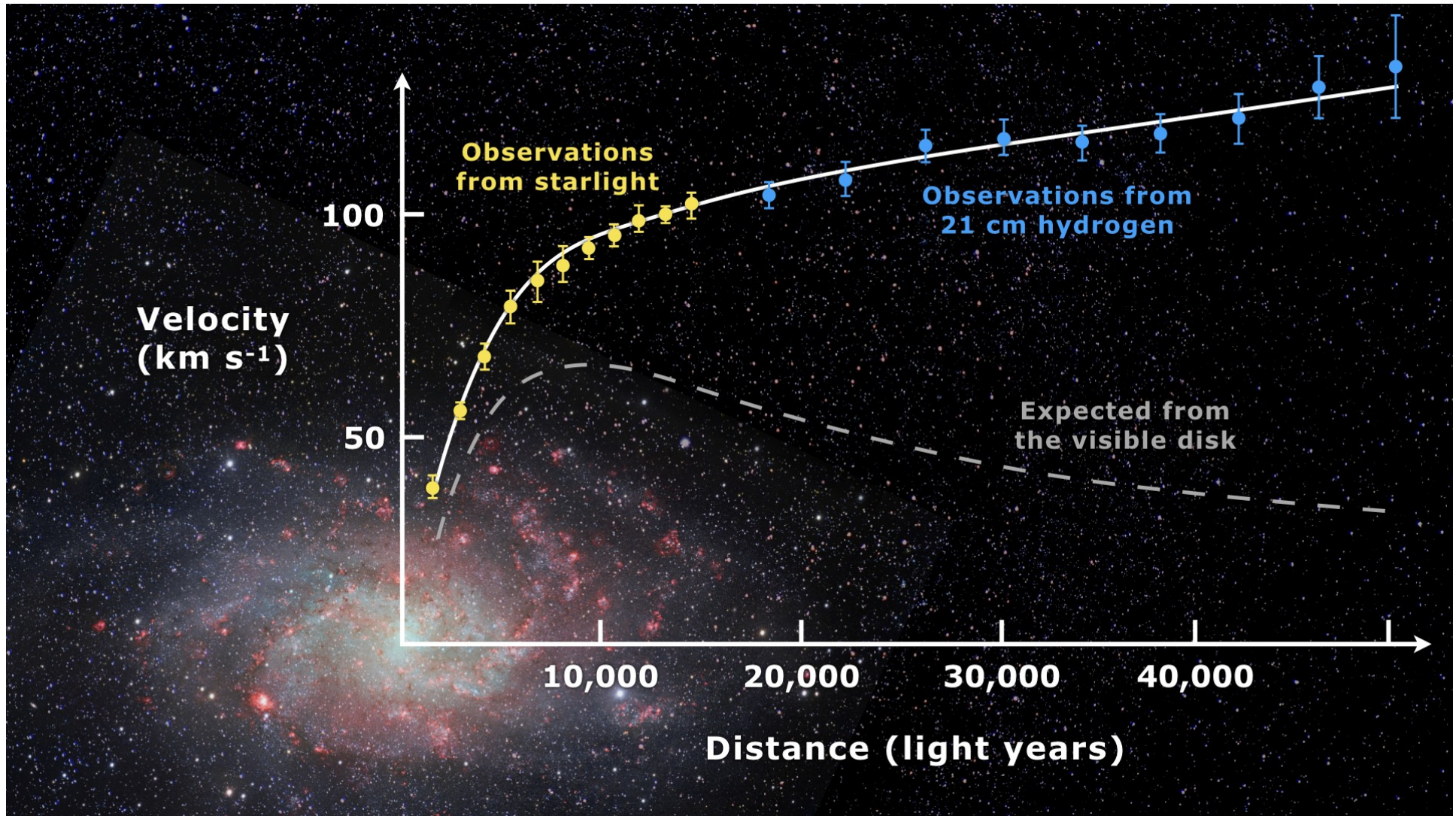
- Na ovu relaciju smo već naleteli tokom izvodjenja Keplerovih zakona

$$\frac{v^2}{r} = G \frac{M(r)}{r^2}$$

- Ako pogledamo zvezde na različitim udaljenostima od centra galaksije(a) i izmerimo njihove brzine, možemo mapirati $M(r)$!



Rotacione krive galaksija



$$\frac{v^2}{r} = G \frac{M(r)}{r^2}$$

- Veća brzina implicira više materijala. Merenja pokazuju da u galaksijama treba da ima više materijala nego što mi vidimo. Ovo je dovelo do pretpostavke postojanja **tamne materije!**

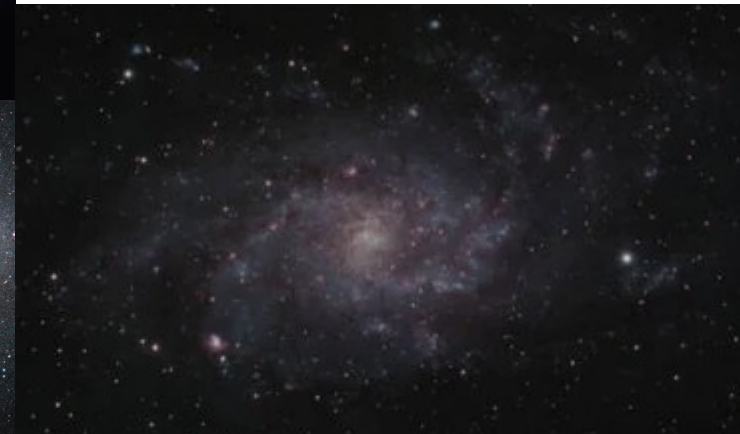
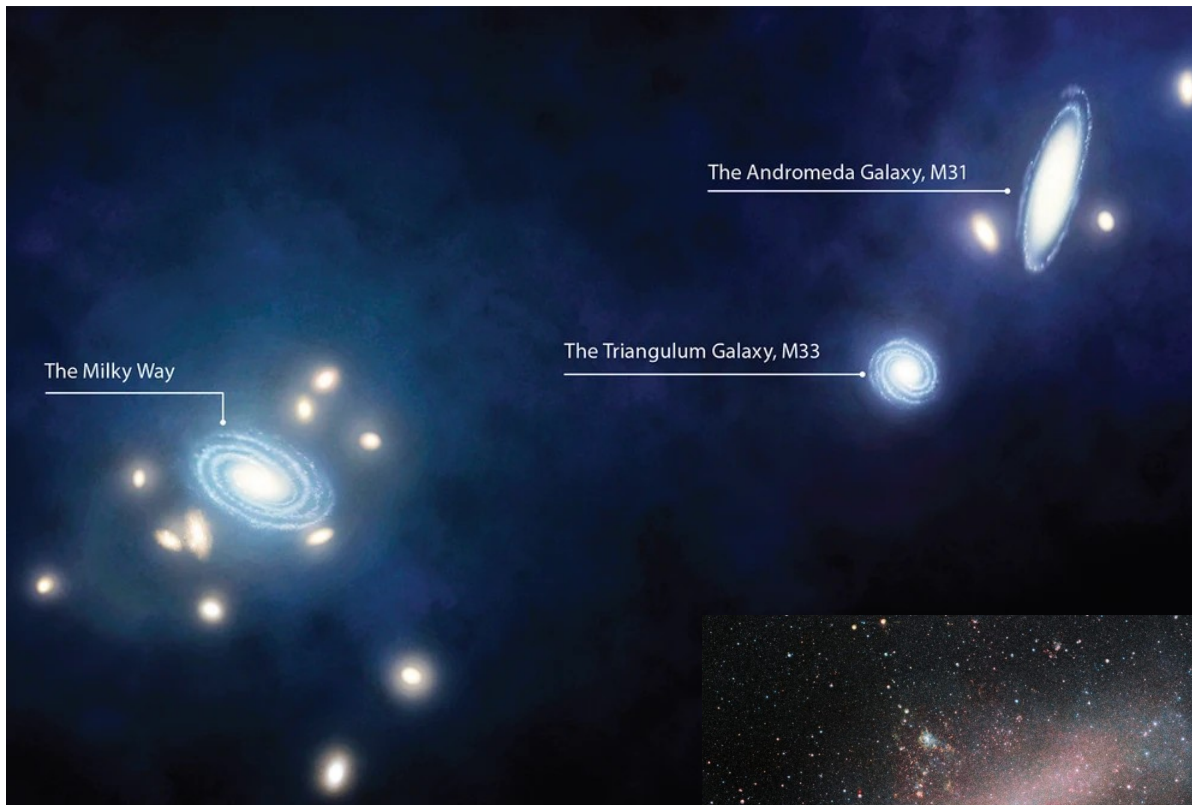
Tamna materija = Nevidljiva materija

- Po našim trenutnim idejama, tamna materija ne interaguje sa svetlošću, samim tim jedino možemo da je detektujemo **indirektno**, kroz njen gravitacioni uticaj na druge objekte, ili čak na svetlost...

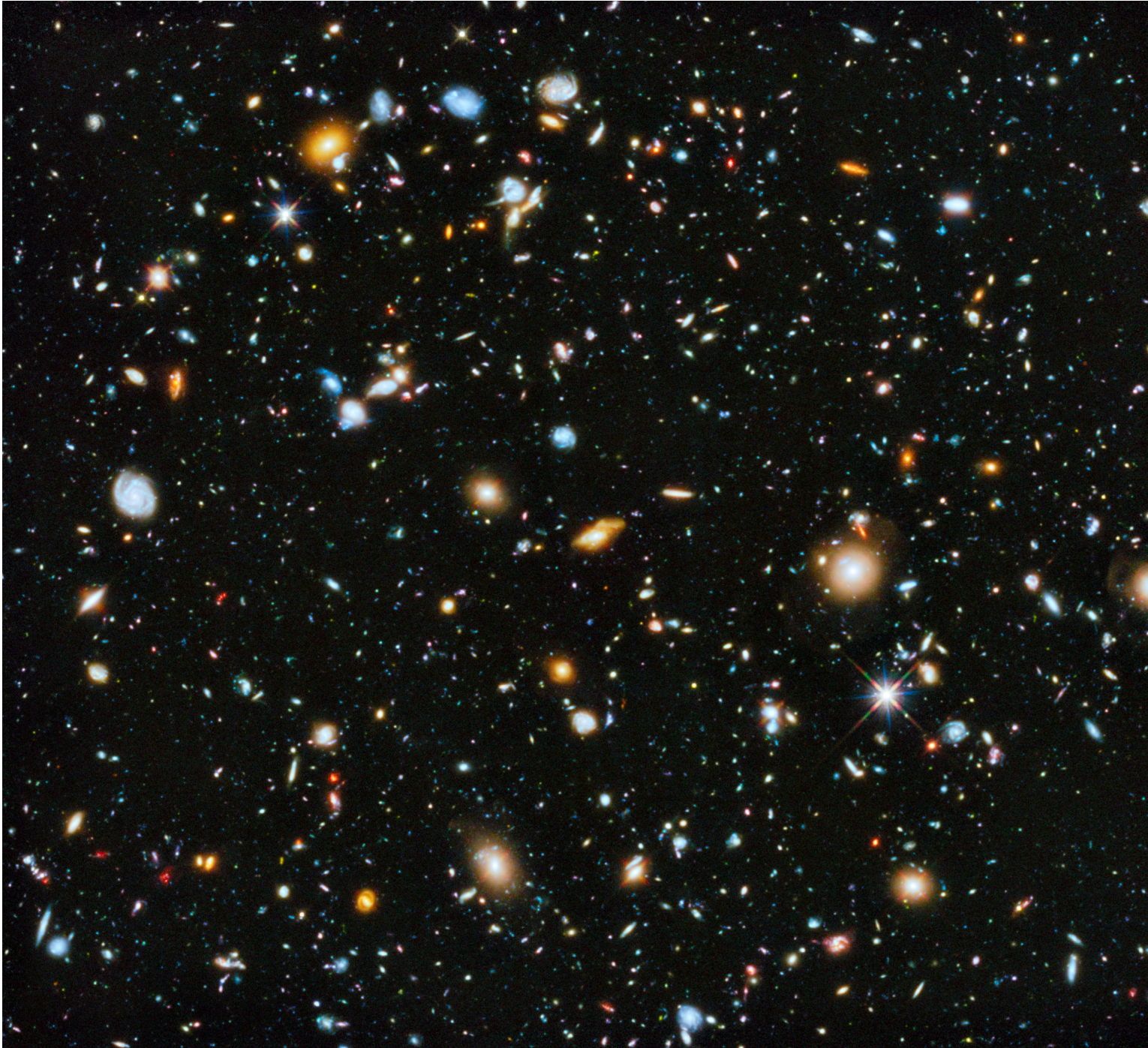


Kako su strukturirane druge galaksije?

- Mlečni Put je gravitaciono vezan za nekoliko suseda – **Lokalna Grupa**
- Mlečni Put, Andromedina galaksija, Trougao galaksija (M33), Veliki i Mali Magelanov oblak + još manje galaksije koje imaju toliko malo zvezda da ih je teško direktno detektovati

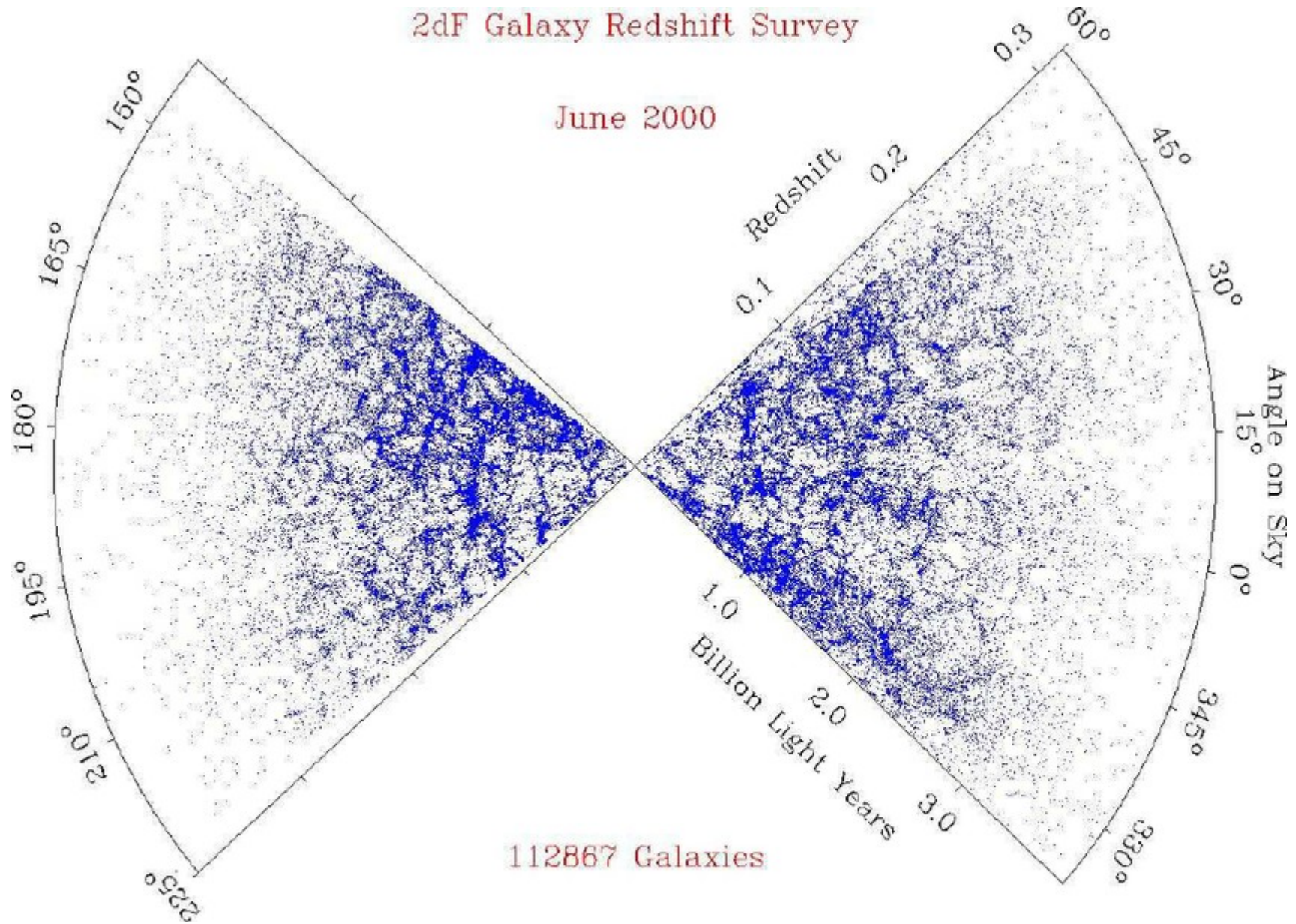


Još dalje? Većina objekata na ovoj slici su galaksije



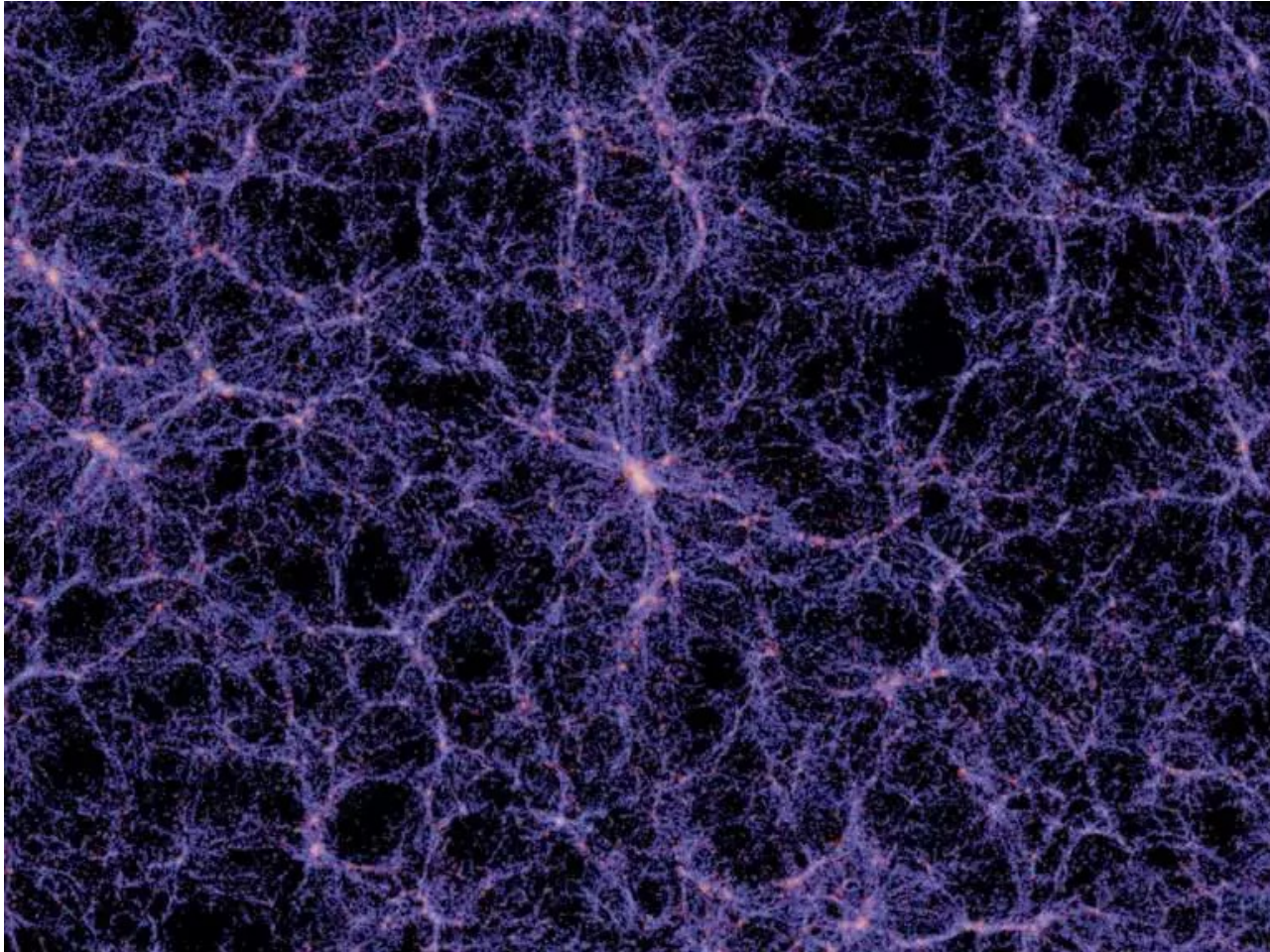
Struktura galaksija na velikoj skali

- Ovo je raspodela galaksija po galaktičkoj latitudi i udaljenosti.



Struktura galaksija na velikoj skali

- Simulacije gravitacione interakcije između čestica nam daju raspodelu materije koja odgovara onome što vidimo. Ovako “zamišljamo” da izgleda raspodela (tamne) materije na velikim skalama
- Zašto tamne?



Kako znamo gde su druge galaksije?

- Za bliske zvezde možemo da merimo paralaksu, kako da merimo udaljenosti galaksija? (Udaljenosti u milionima čak milijardama parseka)
- Standardne sveće – objekti čiji apsolutni sjaj znamo, pa iz prividnog sjaja možemo odrediti udaljenost (**Pogsonov zakon**)

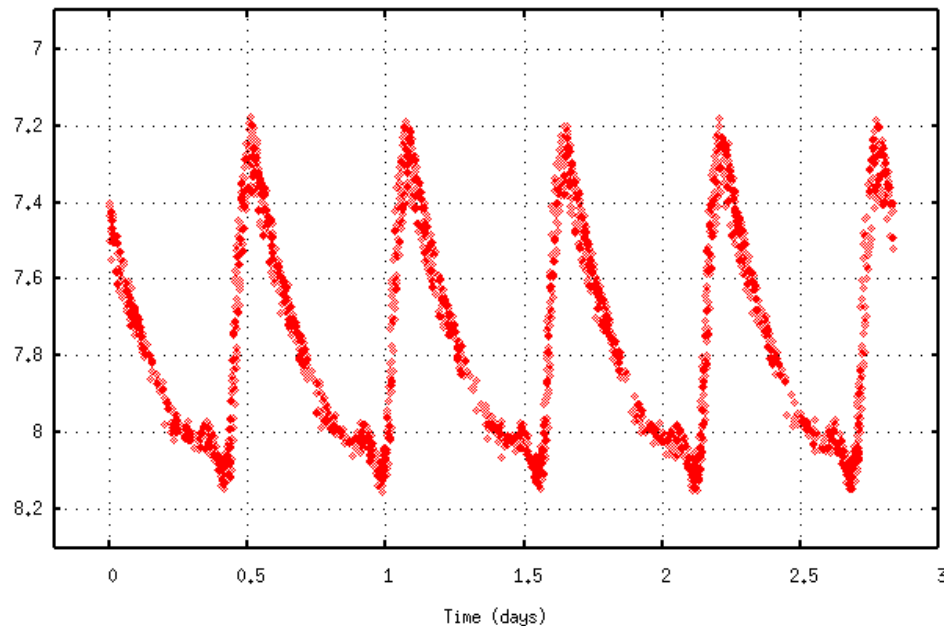
$$M - m = 5 - 5 \log d$$

- Dva standardna primera standardnih sveća su:
- Promenljive zvezde tipa RR Lire: period promene sjaja korelira sa apsolutnom magnitudom
- Supernove tipa Ia: Sve supernove ovog tipa imaju jako sličan apsolutni sjaj

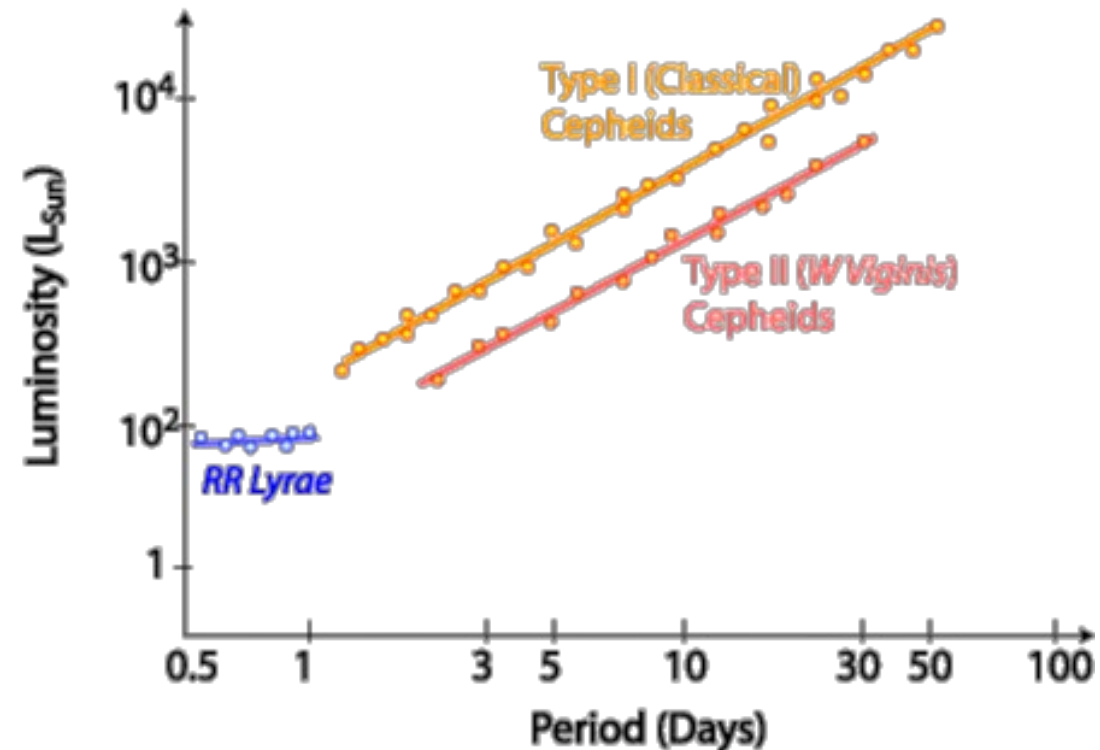
RR Lire (Lyrae) kao standardne sveće

- Merenjem perioda promene sjaja zaključujemo apsolutnu magnitudu i onda udaljenost.
- Ova relacija (period-sjaj) je prvo otkrivena posmatrački, ali danas imamo modele zvezdane evolucije koji nam omogućavaju da ovo razumemo u potpunosti

Apparent V magnitude of variable star RR Lyr



PERIOD - LUMINOSITY RELATIONSHIP



Hablov Zakon

- Najpoznatiji primer primene promenljivih zvezda kao standardnih sveća je Hablovo otkriće o tome da se udaljenije galaksije brže udaljavaju od nas.
- Habl je, početkom prošlog veka, merio udaljenosti i brzine galaksija i dobio sledeće:

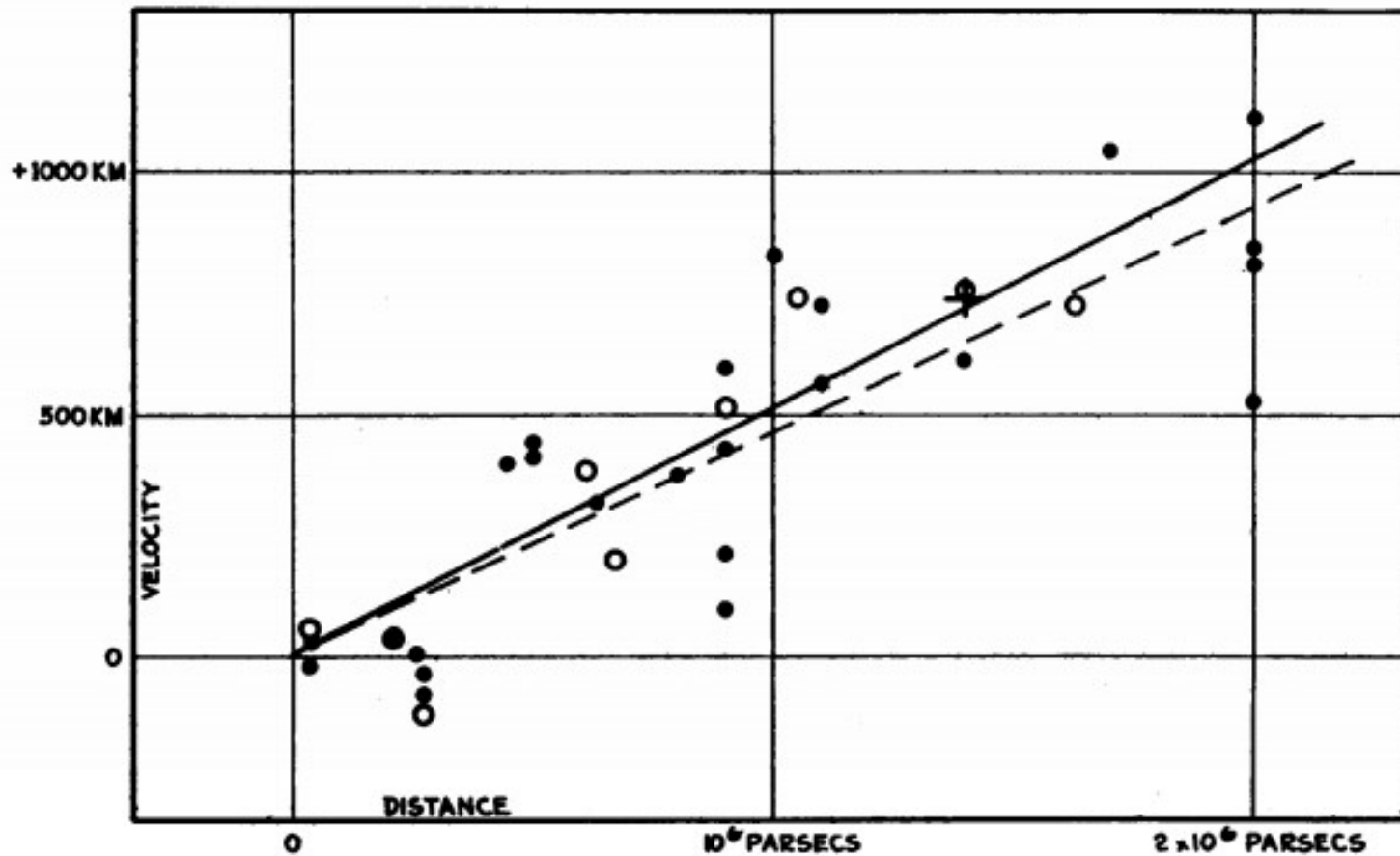
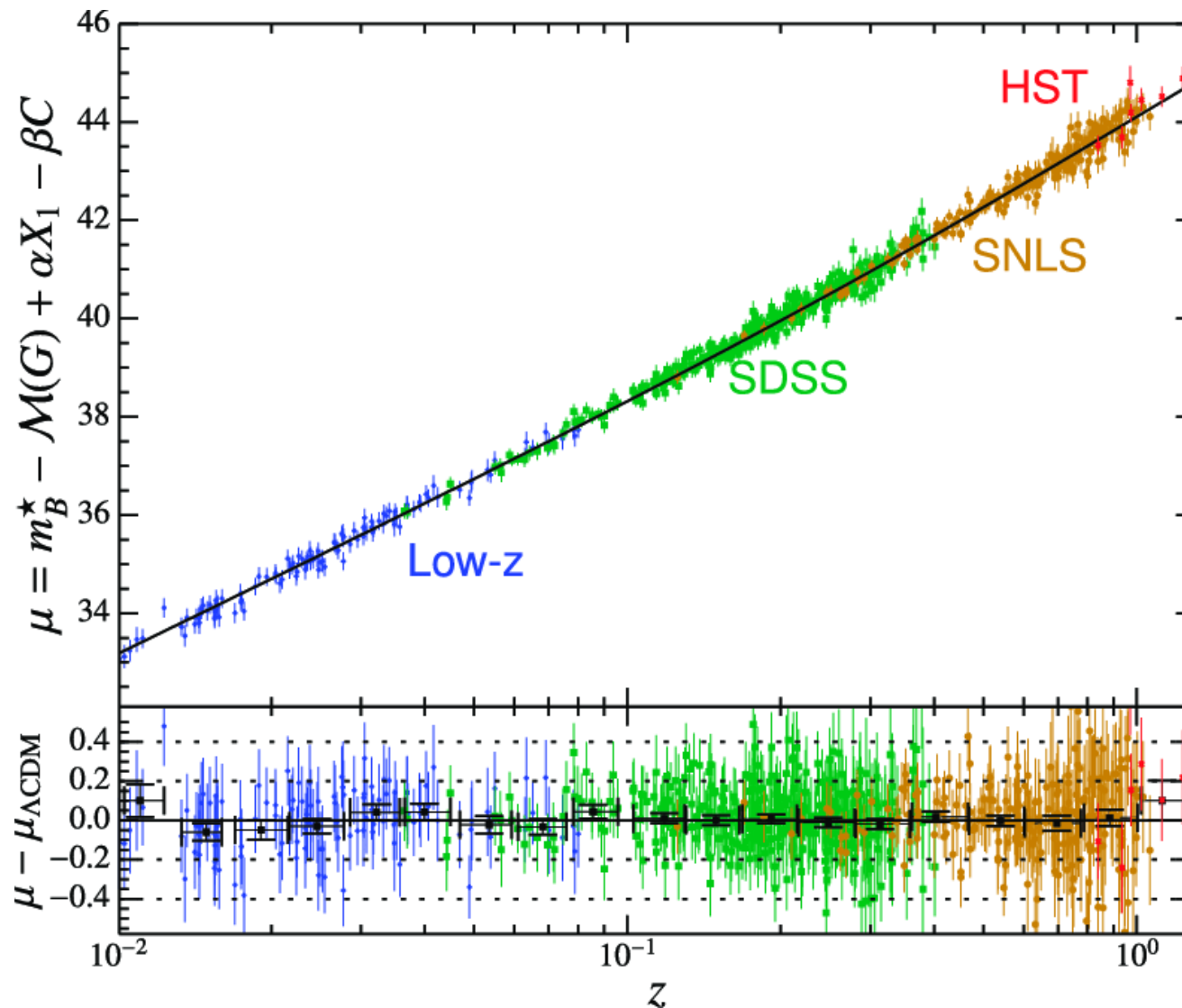


FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

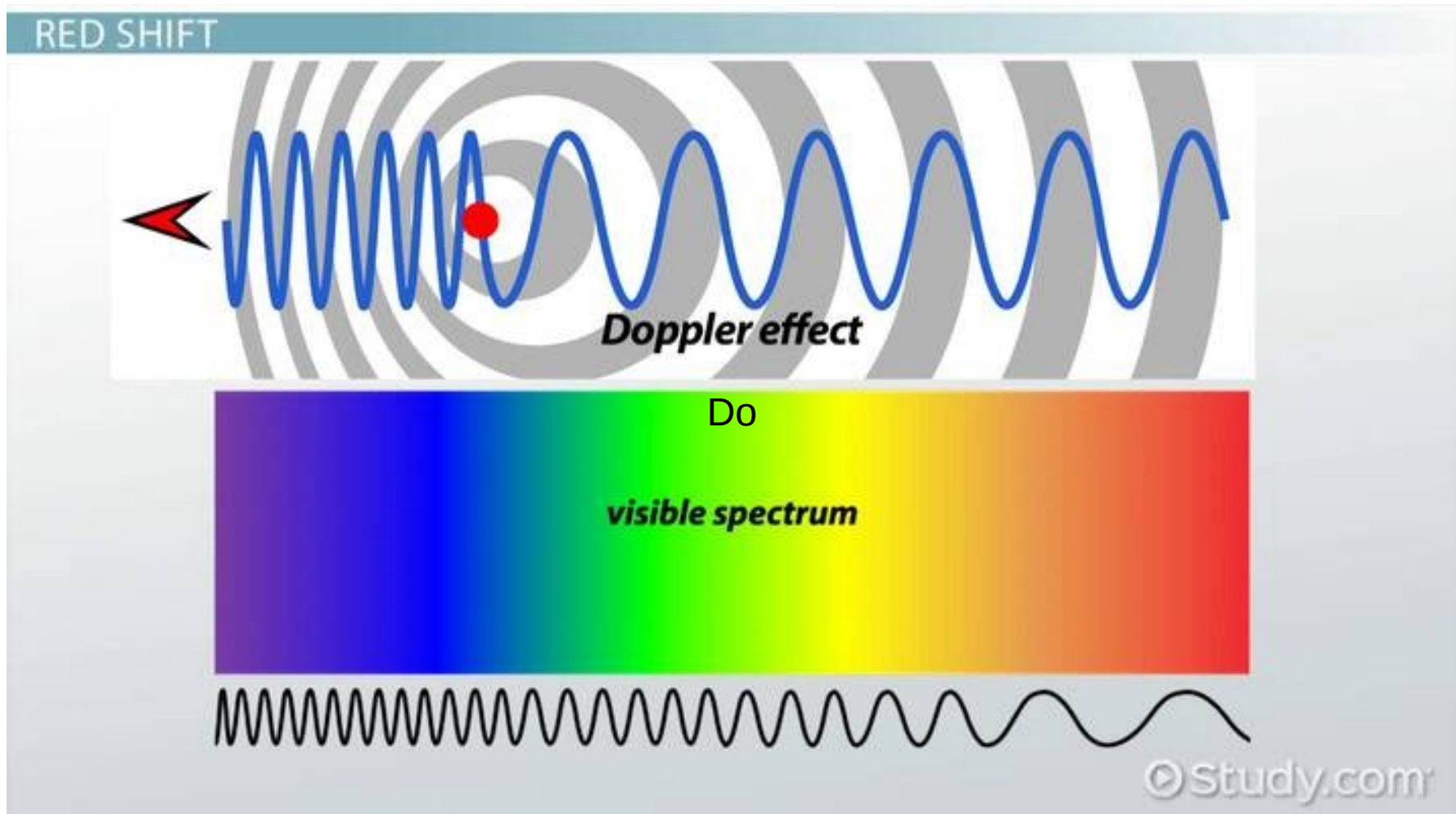
Danas ovo znamo mnogo preciznije:

- Ovo je Hablov dijagram sačinjen od podataka sa tri različite misije. Obratite pažnju da zavisnost nije linearna već ima i mali kvadratni deo.
- Ovo je dokaz za takozvanu **tamnu energiju**



Kako merimo brzinu objekata u odnosu na nas?

- Svetlost (kao i zvuk, kao i svaki drugi talas), menja talasnu dužinu usled relativnog kretanja izvora i posmatrača. - **Doplerov efekat!**
- Ono što vidimo je promena položaja spektralnih linija u spektru posmatranog objekta.

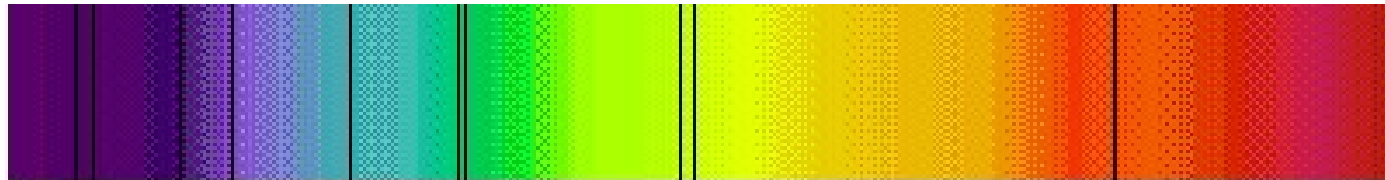


Pomeranje spektralnih linija

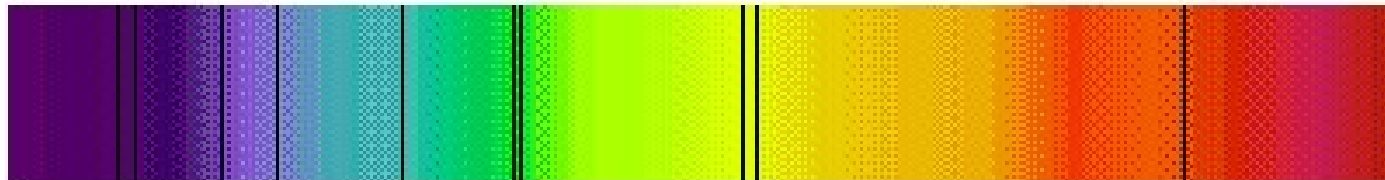
- Promenu talasne dužine je najjednostavnije uočiti gledajući **spektralne linije**

- Crveni pomak (pažljivo sa velikim z!)

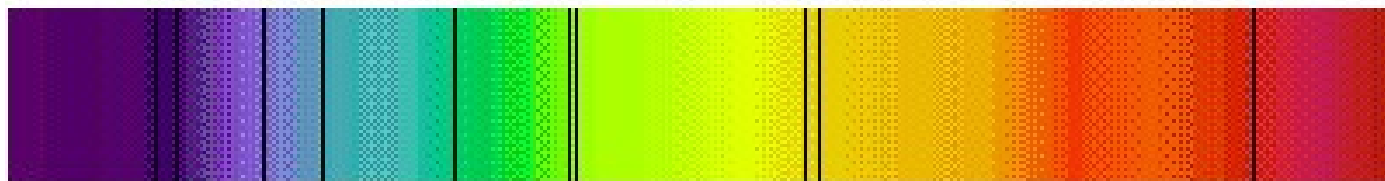
$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} - 1$$



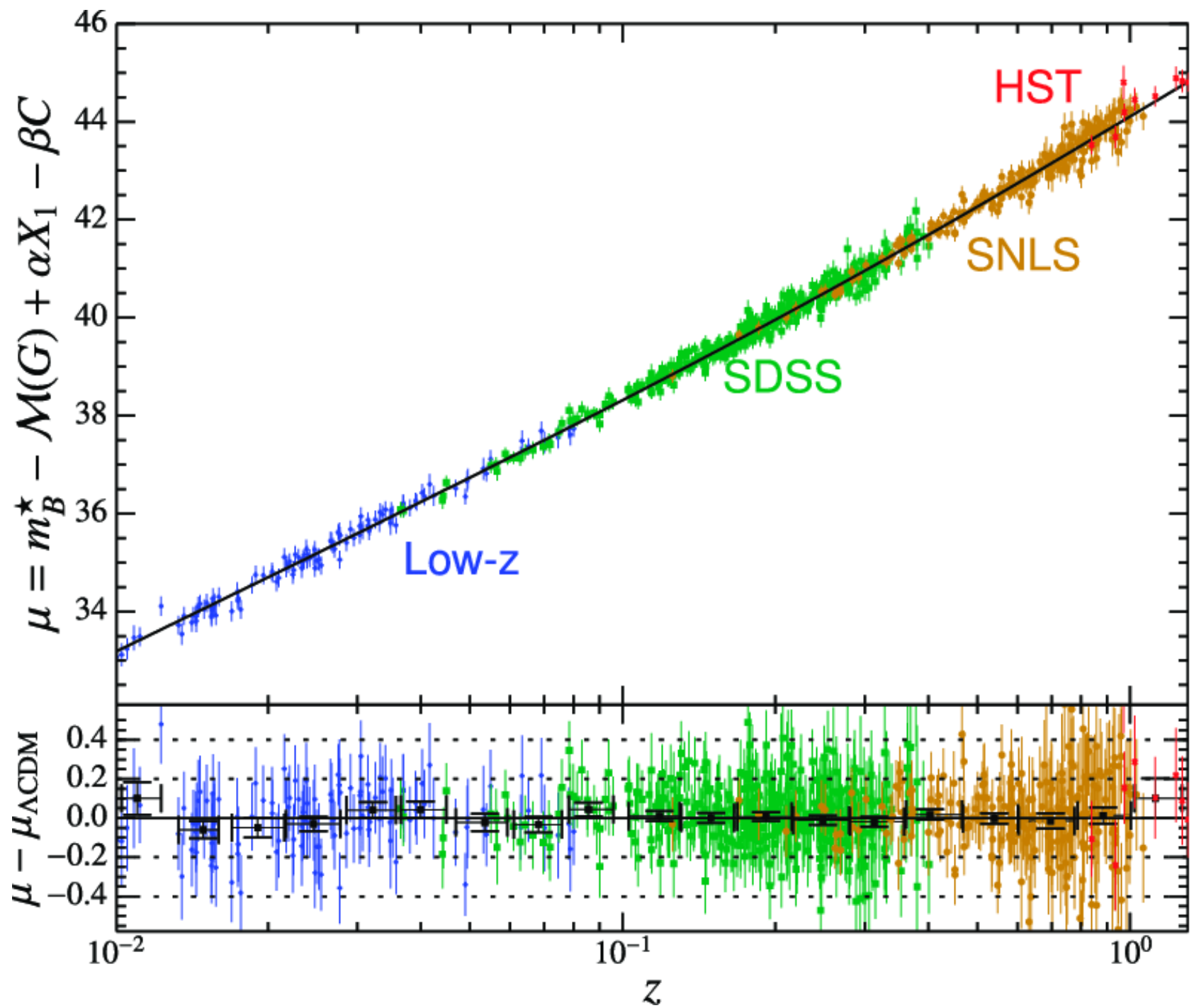
moving toward you: blueshift



at rest



moving away from you: redshift

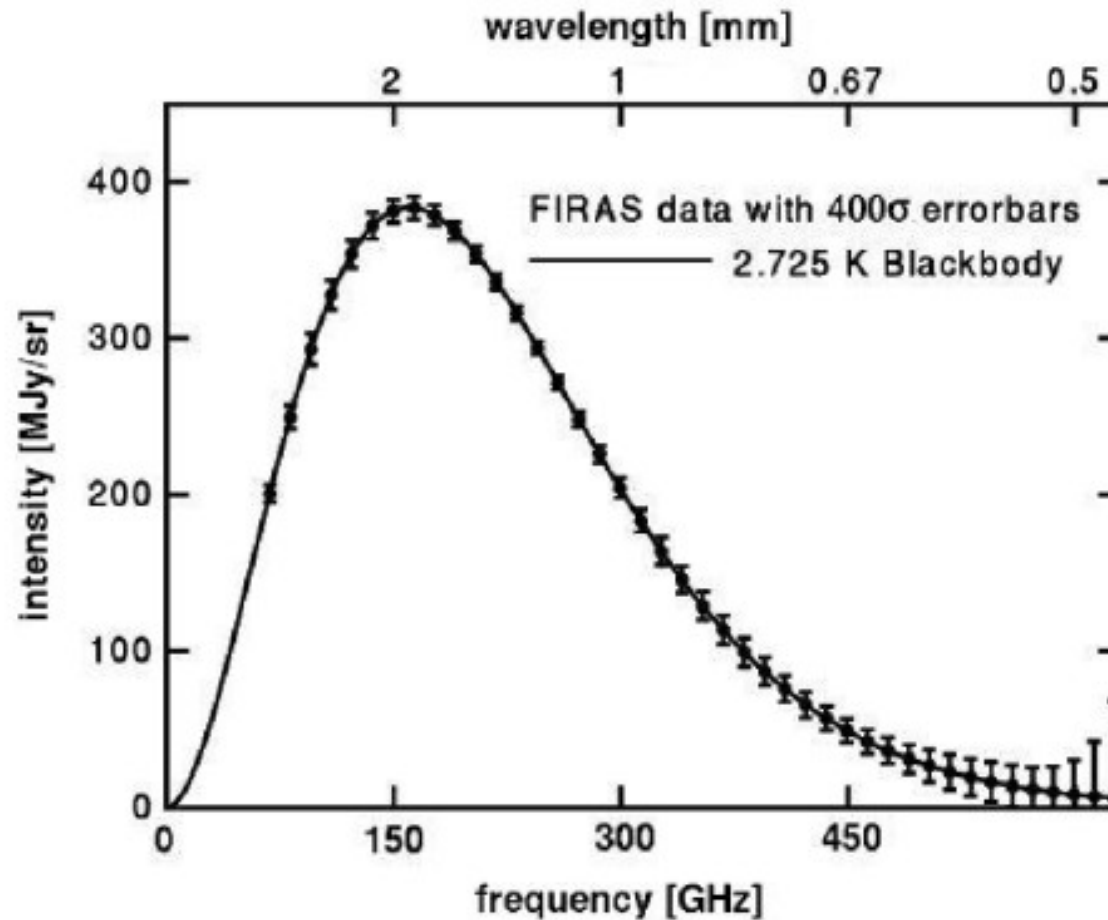


Dokle najdalje možemo da vidimo?

- U vestima pominju neke velike crvene pomake, 10, 11, 12...
- Najdalja svetlost koja dolazi do nas je **mikrotalasno pozadinsko zračenje**
- To je zračenje koje dolazi do nas iz jako dalekih delova svemira i putovalo je od trenutka kada je svemir postao prozračan, pa do sada...

Dokle najdalje možemo da vidimo?

- U vestima pominju neke velike crvene pomake, 10, 11, 12...
- Najdalja svetlost koja dolazi do nas je **mikrotalasno pozadinsko zračenje**
- To je zračenje apsolutno crnog tela temperature oko 2.7K



Prostorna raspodela mikrotalasnog pozadinskog zračenja

- CMB je praktično izotropno, ali nam jako male fluktuacije govore o fluktuacijama u raspodeli materije kada je CMB nastao (380 000 godina nakon nastanka svemira)

