

Oris sodobne kozmologije, II. predavanje:
Galaksije in raztezanje vesolja



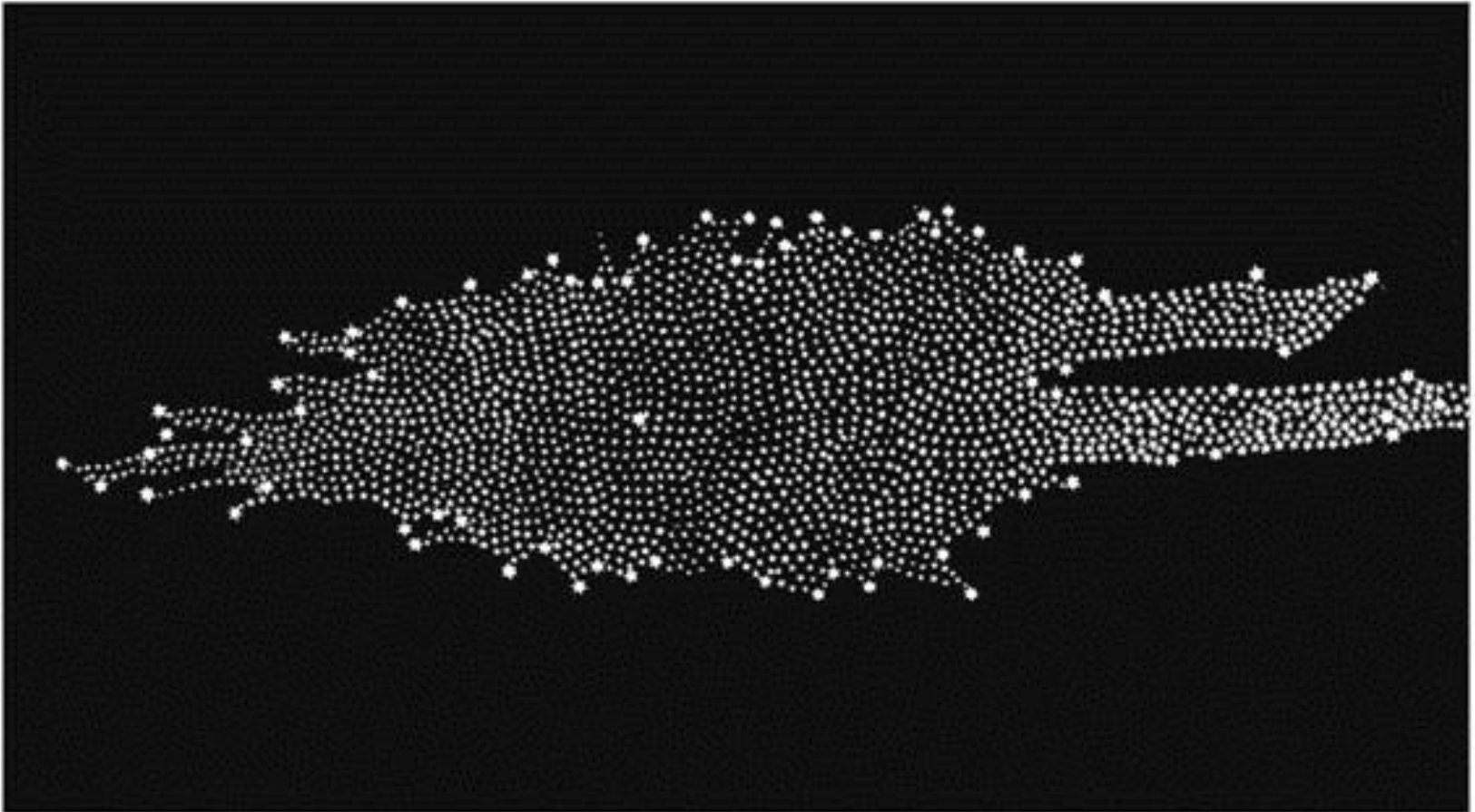
Velika spiralna galaksija v ozvezdju Andromede,
oddaljena od naše Galaksije 2,3 milijona svetlobnih let

Galileo Galilej v *Zvezdnem glasniku* (*Sidereus nuncius*, 1610): Galaksija (“Mlečna cesta”) sestoji iz samih zvezd!

- “... s pomočjo daljnogleda je mogoče tako natančno opazovati substanco oziroma snov same Mlečne ceste, tako da so, potem ko smo se prepričali na lastne oči, vsa prerekanja, ki so toliko stoletij mučila filozofe, izgubila svoj pomen in smo se tudi mi rešili dolgovезnih razprav. GALAKSIJA namreč ni nič drugega kot kopica neštetiх trumoma posejaniх zvezd; na katero koli njeno področje namreč usmeriš daljnogled, takoj se pred tabo pokaže ogromno število zvezd, od katerih jih je večina videti dovolj velikih in dovolj očitnih; a velikega števila manjših zvezd ni mogoče dognati.”
(Slov.prev. Matej Hriberšek, str. 125, podčrtal M.U.)



William Herschel (1783): prvo “kartiranje” naše Galaksije,
tj. Mlečne ali Rimske ceste, s pomočjo lokacije svetlih zvezd (na robu)



Oblika Galaksije je približno pravilna, Sonce pa je postavil preveč v središče

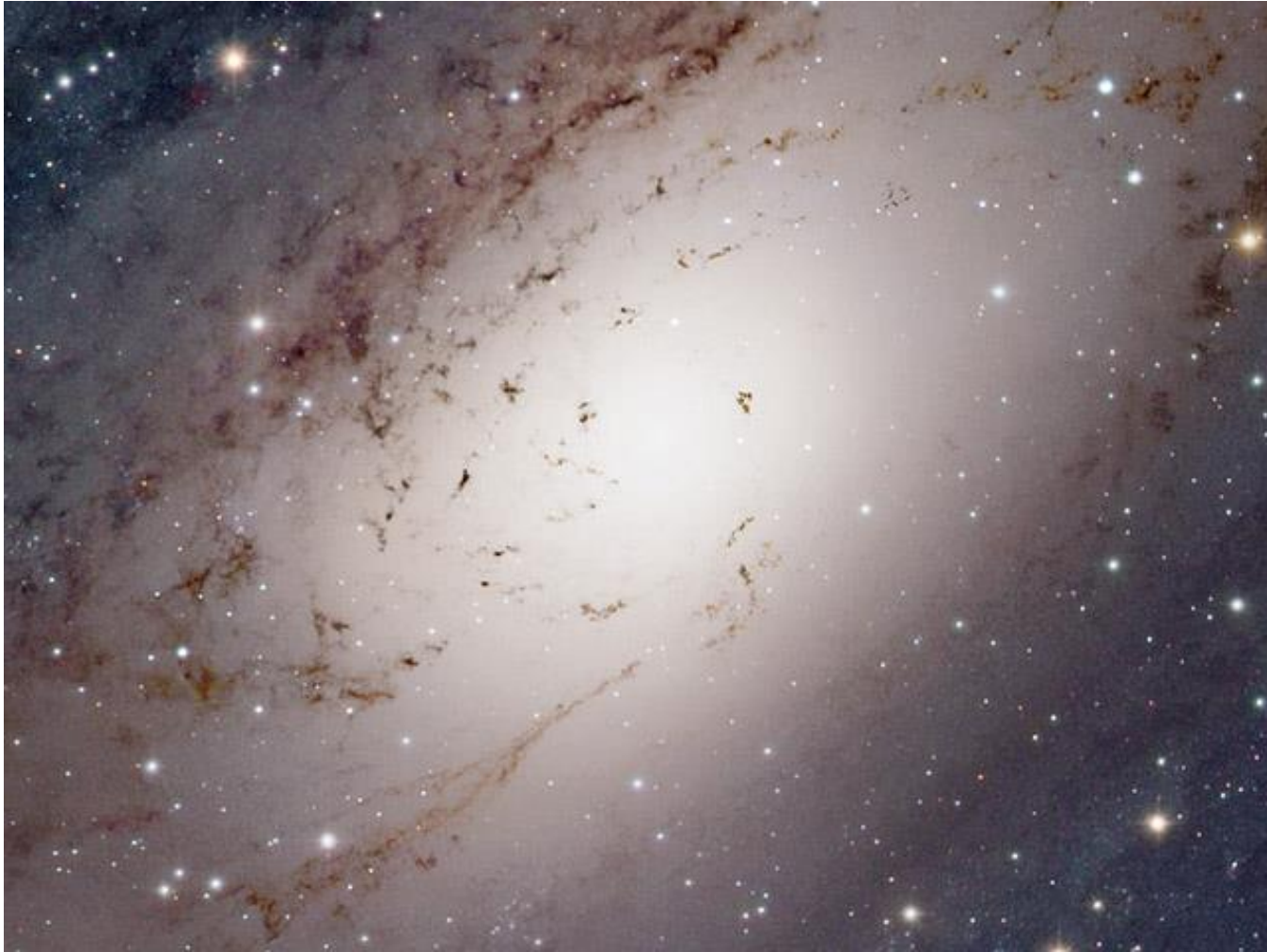
Odkritje drugih galaksij - “Andromeda” (M 31) je dvojčica naše Galaksije



Naša lastna Galaksija, Mlečna cesta, kakor jo vidimo v infrardeči svetlobi (slika je mozaično sestavljena, vir. *Spika*, 2004).

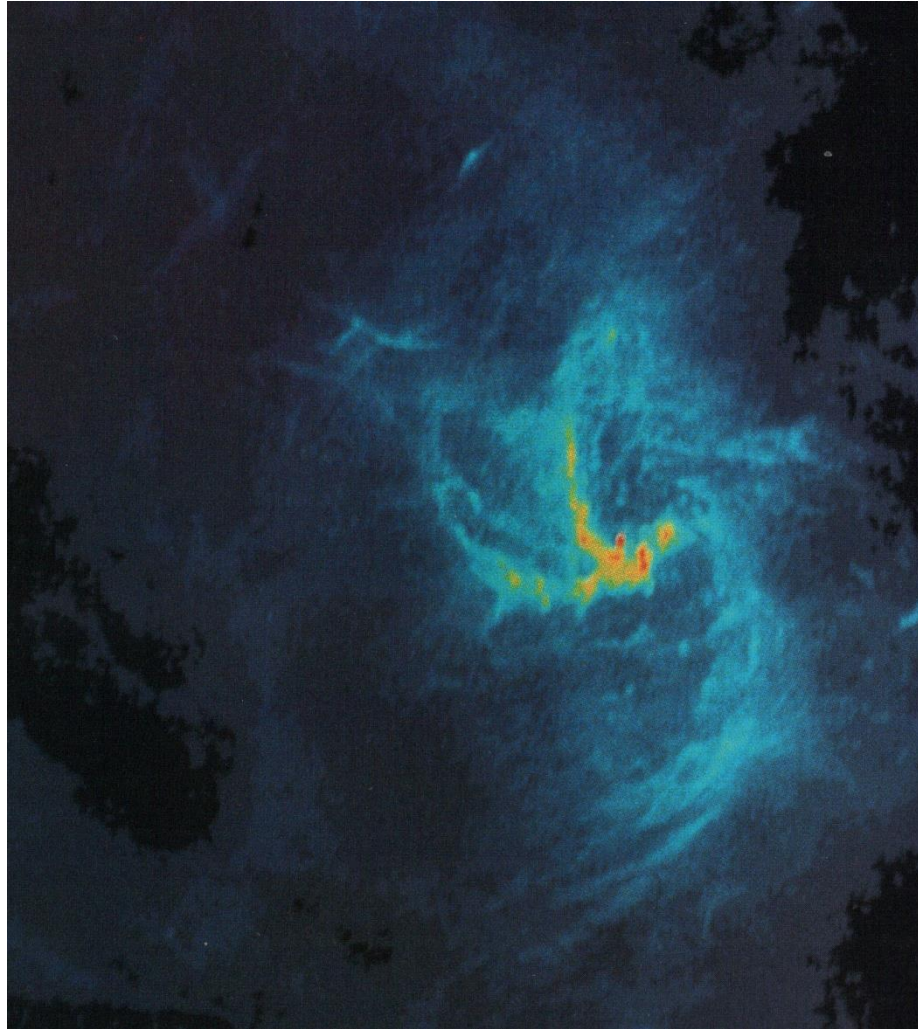
- Velika spiralna “meglica” (nebula) v ozvezdju Andromede z oznako M 31 (po Messierjevem katalogu iz 18. stol.: št. 31), ki je v jasni noči vidna tudi s prostim očesom, ni znotraj naše Galaksije, temveč je druga galaksija, kar pa so astronomi dokazali šele na začetku 20. stoletja.
- Ta “dvojčica” naše Mlečne/Rimske ceste je od nas oddaljena približno 2,3 milijona svetlobnih let (SL) in v premeru (tako kot naša) meri več kot 100.000 SL, v njej pa je več kot 100 milijard zvezd. Ob njej vidimo dve manjši “satelitski” galaksiji, zvezde v ospredju pa so v naši lastni Galaksiji.
- Znotraj našega vesoljnega horizonta je več kot 100 milijard galaksij.

Osrednji del oz. jedro galaksije v Andromedi –
v samem središču je zelo verjetno velikanska črna luknja,
ki je bila včasih aktivna, v našem kozmološkem obdobju pa je “speča”.



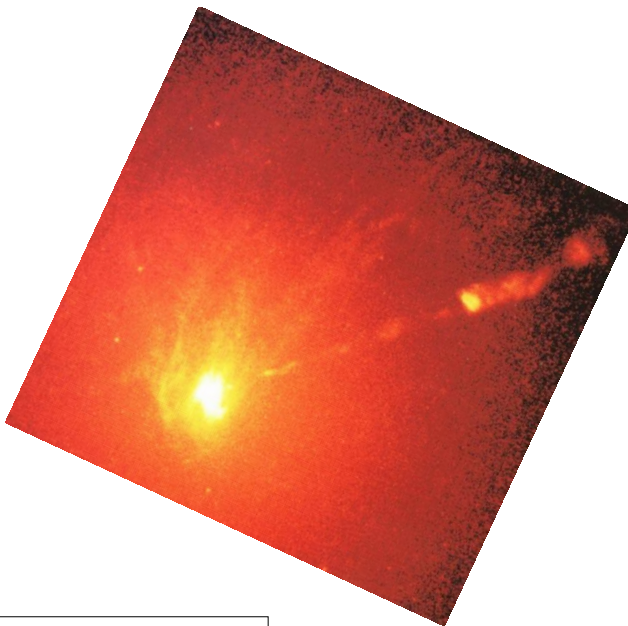
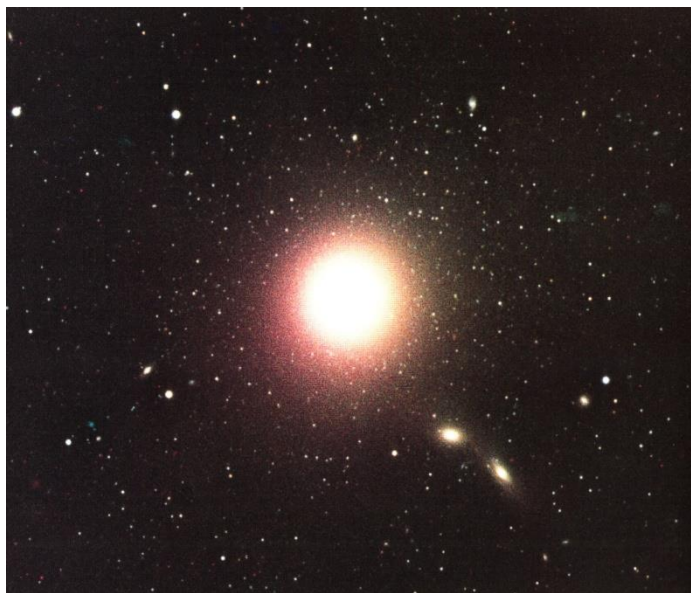
Vir: Teleskop *Hubble*, NASA

Tudi v jedru naše Galaksije (v smeri Strelca) je zelo verjetno črna luknja, k naši sreči “speča”; posnetek je v radijskem delu e.-m. spektra + obarvan.

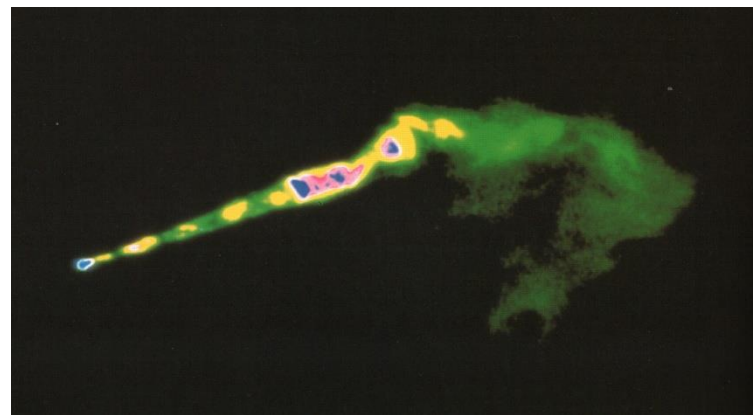


Vir: Michell Begelman & Martin Rees, *Gravity's Fatal Attraction – Black Holes in the Universe*, 1995

Aktivne galaktične črne luknje, npr. v sferični galaksiji M 87

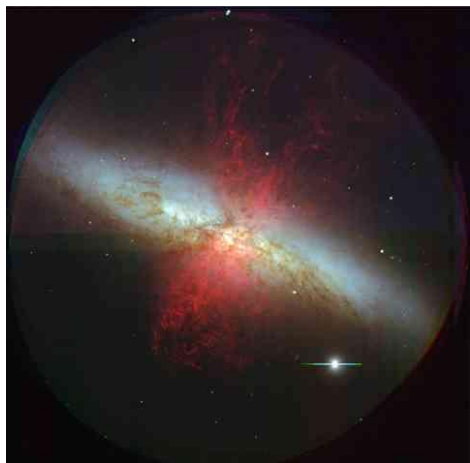


- Velikanska eliptična (skoraj sferična) galaksija z oznako M 87 je največja v galaktični jati v ozvezdju Device, ki šteje več kot tisoč galaksij. Po obsegu je vsaj 10x, po masi pa vsaj 300x večja od naše.
- Diferencialne slike (zgoraj *in desno*), predvsem v radijskem delu spektra, pokažejo silen curek elektronov, ki s hitrostjo več kot $c/2$ brizga iz galaktičnega jedra, v katerem je (zelo verjetno) črna luknja z maso 3 milijarde Sončevih mas.



Vir: N. Henbest & M. Marten, *The New Astronomy*, 1996

Galaksije: spiralne, sferične, eliptične ...



Vir: Teleskop *Hubble*, NASA

Galaksija M 101, imenovana "Vetrnica"



Galaksija “Sombrero” (M 104 ali NGC 4594)



Vir: Teleskop *Hubble*, NASA

Galaksija "Sombrero" v infrardeči svetlobi (umetno obarvano)



Vir: Teleskop *Hubble*, NASA

Spiralna galaksija s “prečko” (NGC 1300)



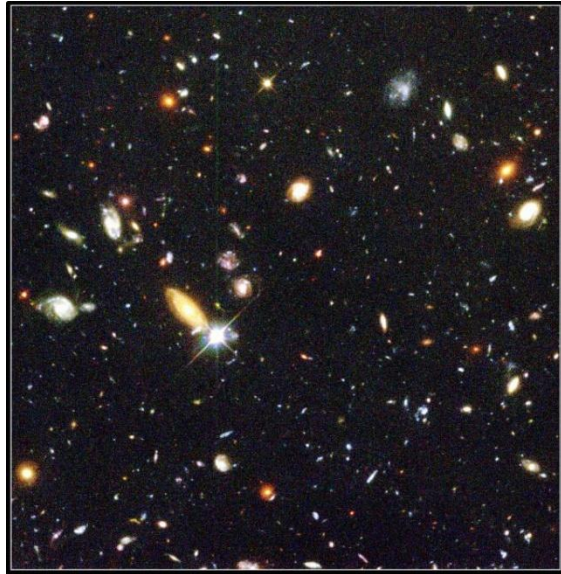
Vir: Teleskop *Hubble*, NASA

Večja galaksija, imenovana “Vrtinec” (M 51) v ozvezdju “Lovski psi”,
ki “žre” svojo manjšo sosedo

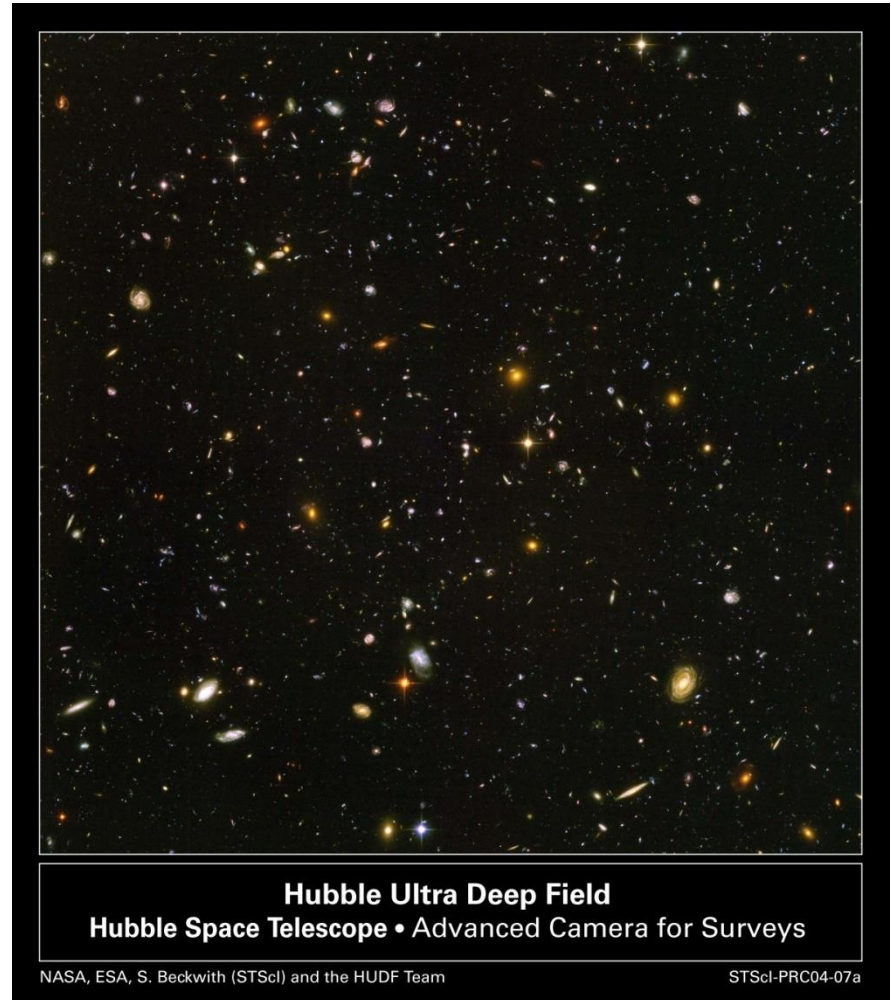


Vir: Teleskop *Hubble*, NASA

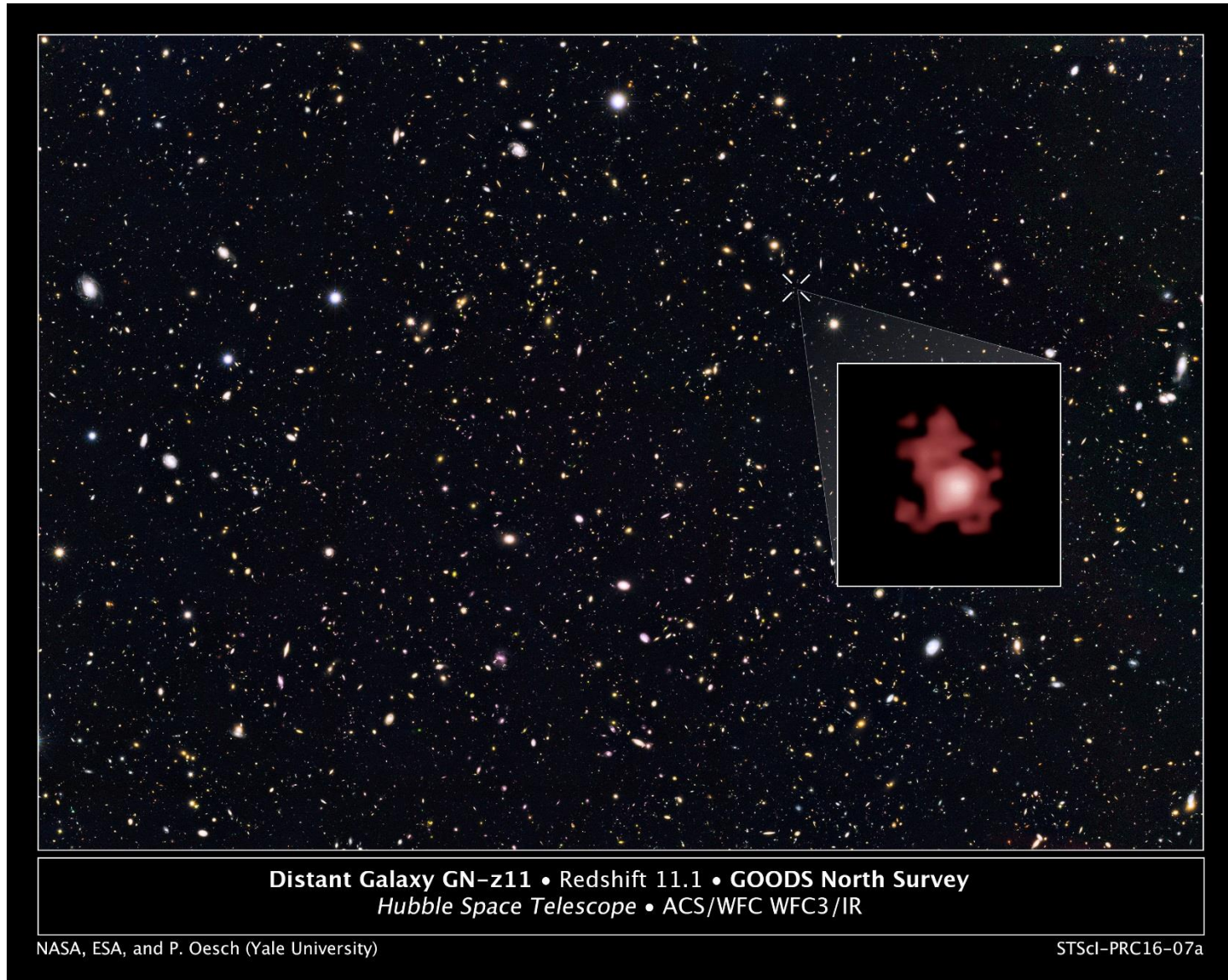
Hubbllov “globoki” (1996) in “še globlji pogled” (2004)



Na Hubblovem “še globljem pogledu” (*desno*) je na navidezno “praznem” koščku neba kakih 10.000 galaksij, med njimi tudi tiste, ki so nastale približno pol milijona let po prapoku, ko je bilo vesolje “še mlado” – torej so zdaj oddaljene od nas najmanj deset milijard SL.



Najbolj daljna galaksija, ki je bila doslej posneta z vesoljskim teleskopom *Hubble* (NASA, 2016) – od nas je oddaljena več kot 13 milijard svetlobnih let.





Edwin Hubble

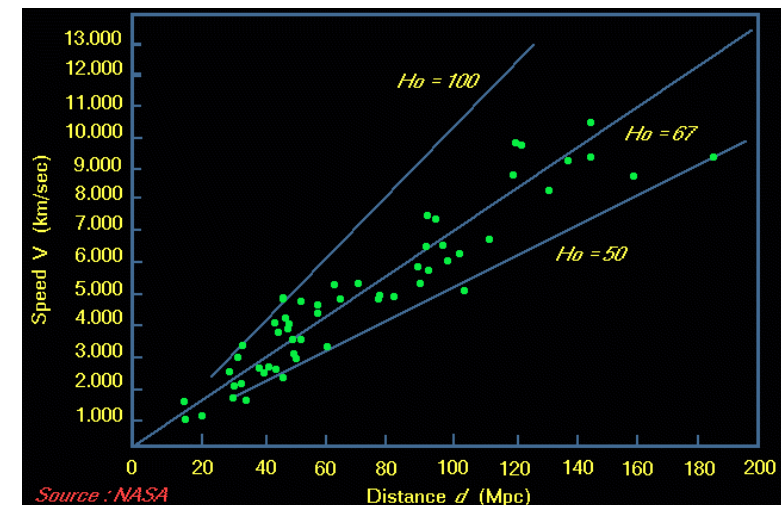
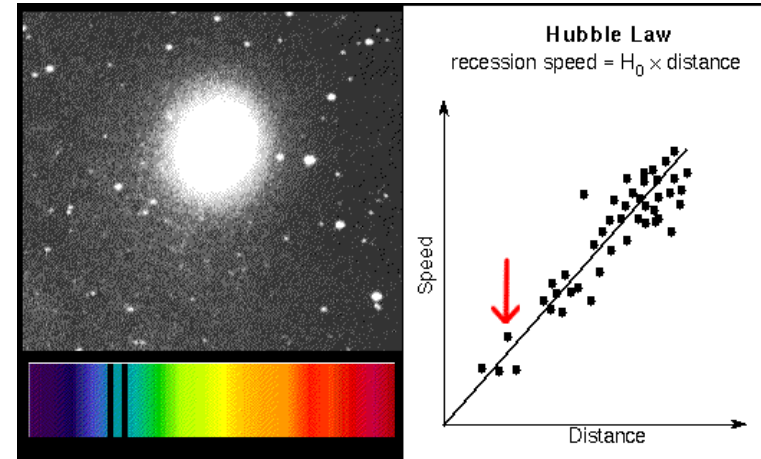
(1889-1953)

Hubblov zakon (1929):

$$v = H_0 \cdot d$$



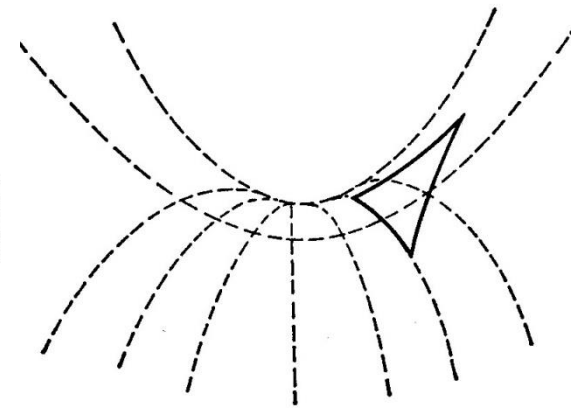
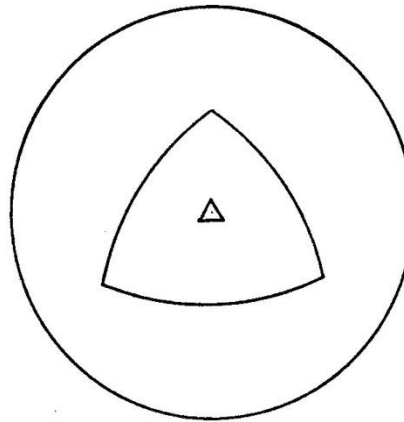
- Hubble je z merjenjem spektralnih premikov svetlobe z drugih galaksij odkril, da se vesolje razteza, tj. da se razdalje med galaksijami s časom povečujejo.
- To je izrazil s zakonom, ki se po njem imenuje Hubblov zakon (*zgoraj*): čim dlje je galaksija (d), tem hitreje (v) se oddaljuje od nas (*desno*).
- Hitrost raztezanja je izražena s Hubblovo konstanto (H_0): čim večja je, tem hitreje se vesolje razteza (*desno spodaj*).
- Obratna vrednost Hubblove konstante ($1/H_0$) je Hubblov čas, ki nam v izbranem kozmološkem modelu omogoča izračun starosti vesolja (sedanja ocena v modelu "ravnega" vesolja: 13-14 milijard let).





**Albert
Einstein**
(1879-1955)

$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$



- Einstein je s svojo splošno teorijo relativnosti (1915) postavil teoretski temelj sodobni kozmologiji kot znanosti o celoti vesolja.
- Z “enačbami polja” (glavno enačbo glej *zgoraj*) je izrazil soodvisnost med prostorom-časom na eni strani (G) in maso in/ali energijo (saj velja: $E = mc^2$) na drugi (T).
- John A. Wheeler je to soodvisnost posrečeno izrazil: “Prostor-čas pove snovi [masi/energiji], kako naj se giblje, snov pove prostoru-času, kako naj se ukrivi.”
- Einsteinove enačbe polja veljajo tako lokalno (za posamezne regije prostora-časa, npr. za zvezde, črne luknje, galaksije itd.), kakor tudi globalno (za celoto vesolja).
- Ob tem se zastavlja vprašanje: kakšna je globalna (celostna) geometrija vesolja? Einstein je leta 1917 postavil “idealni” statični model vesolja s sferično Riemannovo geometrijo, v katerega je kot “protiutež” gravitaciji (oz. ukrivljenosti prostora) vključil kozmoško konstanto Λ (lambda).
- Einstein je pozneje (1931) zaradi Hubblovega odkritja raztezanja vesolja opustil statični model in rekel, da je bila uvedba kozmoške konstante njegova “največja zmeta” – dandanes pa jo kozmologi spet uvajajo (zaradi pospešenega raztezanja vesolja).

Einsteinov “znova odkriti finitizem”

Nemški filozof-kozmozolog Bernulf Kanitscheider je zapisal o prvem Einsteinovem kozmološkem modelu (1917) tole zanimivo misel:

- “Ta model je pokazal, da je možna konsistentna obravnava kozmološkega problema, da je mogoče kljub vezanosti opazovalca na točko, s katere opazuje, racionalno in izkustveno odločljivo ugotoviti, kakšna je vesoljna razporeditev materije in njej pripadajoči prostor-čas. Posebne pozornosti pri tem modelu je seveda vredna ponovna oživitev finitizma.

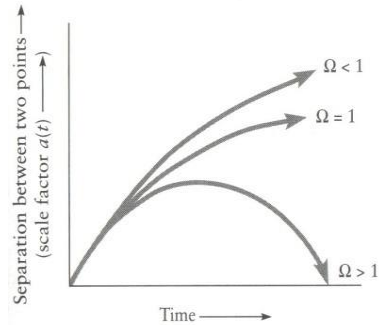
Toda končnost tega sveta ni preprosto zvedljiva na vrnitev k finitističnim mislim iz srednjeveške slike vesolja, ki so jo oblikovali Aristotel, Ptolemaj in Dante in pri kateri je bil središčni položaj Zemlje obdan z nebesnim obokom zvezd stalnic.

V Einsteinovem svetu je uresničena Riemannova zamisel združitve končnosti in brezmejnosti. Drugače kot v srednjeveških predstavah ima ta svet sicer končno prostornino <*Rauminhalt*>, vendar nima nobenih zunanjih meja. Vsako točko v njem lahko smatramo za središčno točko in nikjer ne dospemo do roba, kjer bi lahko stegnili roko skozi kako mejo v ‘zunanost’.”

(Kanitscheider, *Kosmologie*, 1991, str. 156; cit. v: Uršič, *O pračudežu*, 2001)

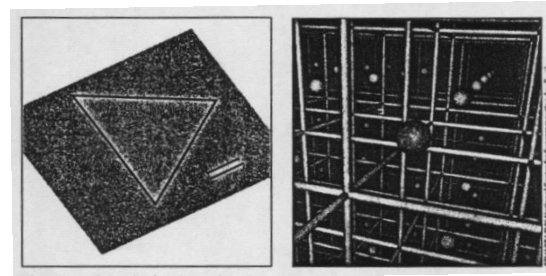


**Aleksander
Friedmann**
(1888-1925)

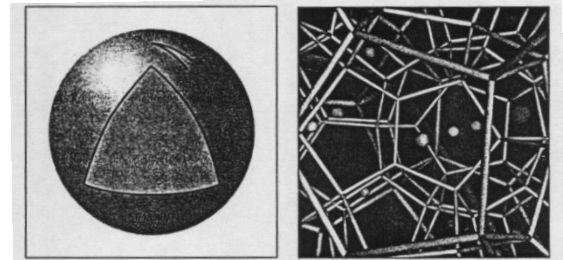


- Ruski matematik Friedmann je leta 1922 odkril takšne rešitve Einsteinovih “enačb polja”, pri katerih se (vesoljni) prostor v času razteza – in s tem predvidel “dinamične” modele vesolja.
- Razvoj vesolja (slika zgoraj) in tudi “optika” videnja objektov v njem (slika desno) sta v teh modelih – katerih metriko sta dopolnila Robertson in Walker, 1935 – odvisna od razmerja (Ω) med dejansko in “kritično” povprečno gostoto vesolja. Kot kaže, je vesolje znotraj našega horizonta “ravno” ($\Omega = 1$).
- Trije FRW-modeli so “idealni” v tem smislu, da:
 - 1) predpostavljajo globalno homogenost vesolja;
 - 2) da je v njih “kozmoška konstanta” (Einstein, 1917) enaka nič. Najnovejše meritve (od 1998 dalje) “geometrije vesolja” s pomočjo supernov pa kažejo, da (2) verjetno ne drži, a tudi (1) je zgolj induktivna generalizacija, ki ima znotraj našega horizonta podporo v izotropiji “prasevanja”.

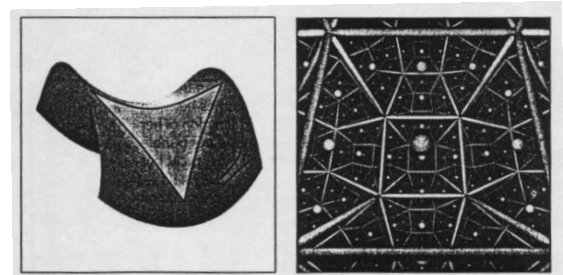
- “evklidski kozmos” ($\Omega = 1$)



- “sferični kozmos” ($\Omega > 1$)



- “hiperbolični kozmos” ($\Omega < 1$)



Vir slik: *Scientific American*, 1999.

