



Universum nu

9. Extragalaktisk astronomi

Universum nu 5.4 & 12.4 2024, TH



9. Extragalaktisk astronomi

- Extragalaktisk astronomi = astronomi med objekt utanför Vintergatan.
- Mycket gemensamt med kosmologi.

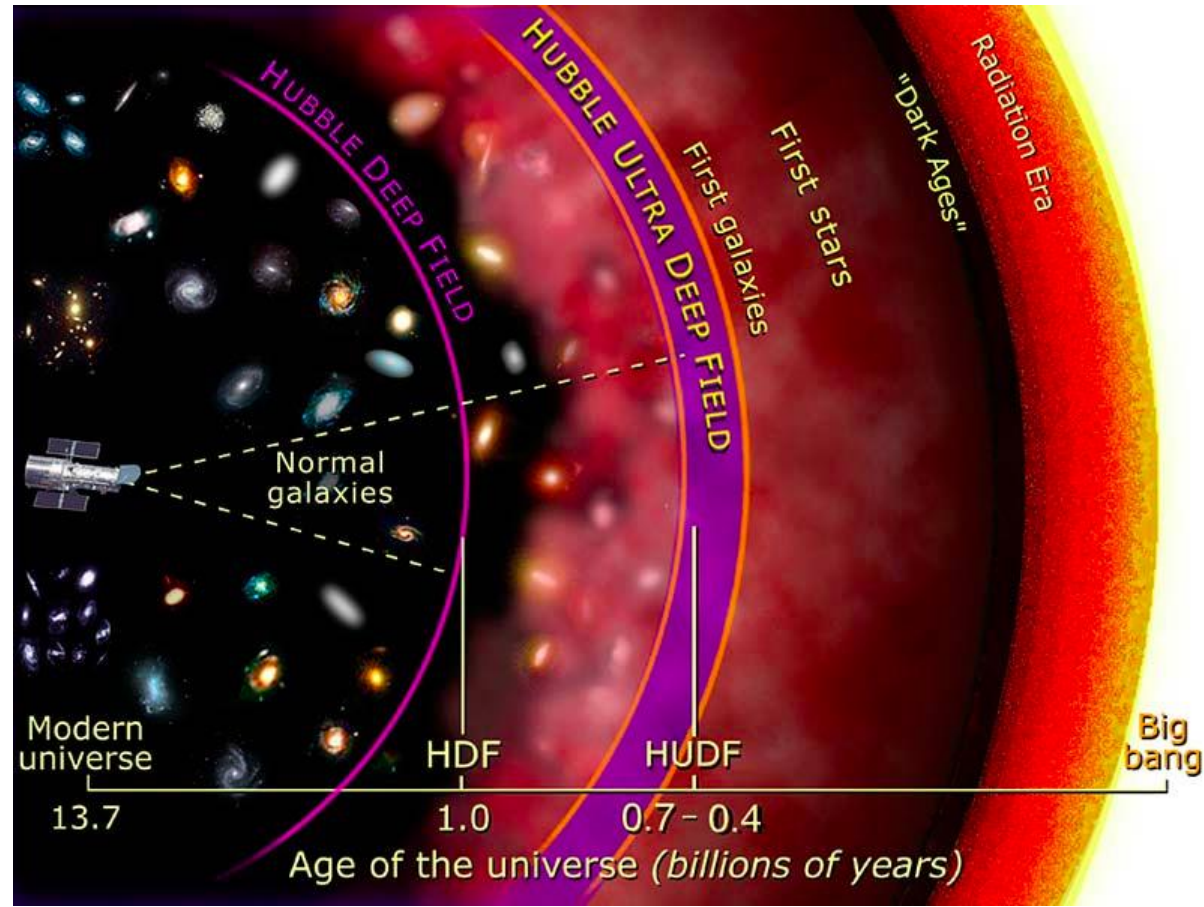
Hubble eXtreme Deep Field: 5500 galaxer, de avlägsnaste syns sådana de var för 13,2 miljarder år sedan.





9.1 Avstånd och tid

- När man observerar avlägsna objekt, ser man också bakåt i tiden.





9.2 Galaxer

- Galaxerna är universums synliga byggstenar.
- Uppskattningsvis 200 miljarder galaxer i den observerbara delen av universum.
- Galaxernas storlek varierar:
 - Massan* $10^7 - 10^{13} M_{\odot}$
 - Radien 0.5 – 100 kpc



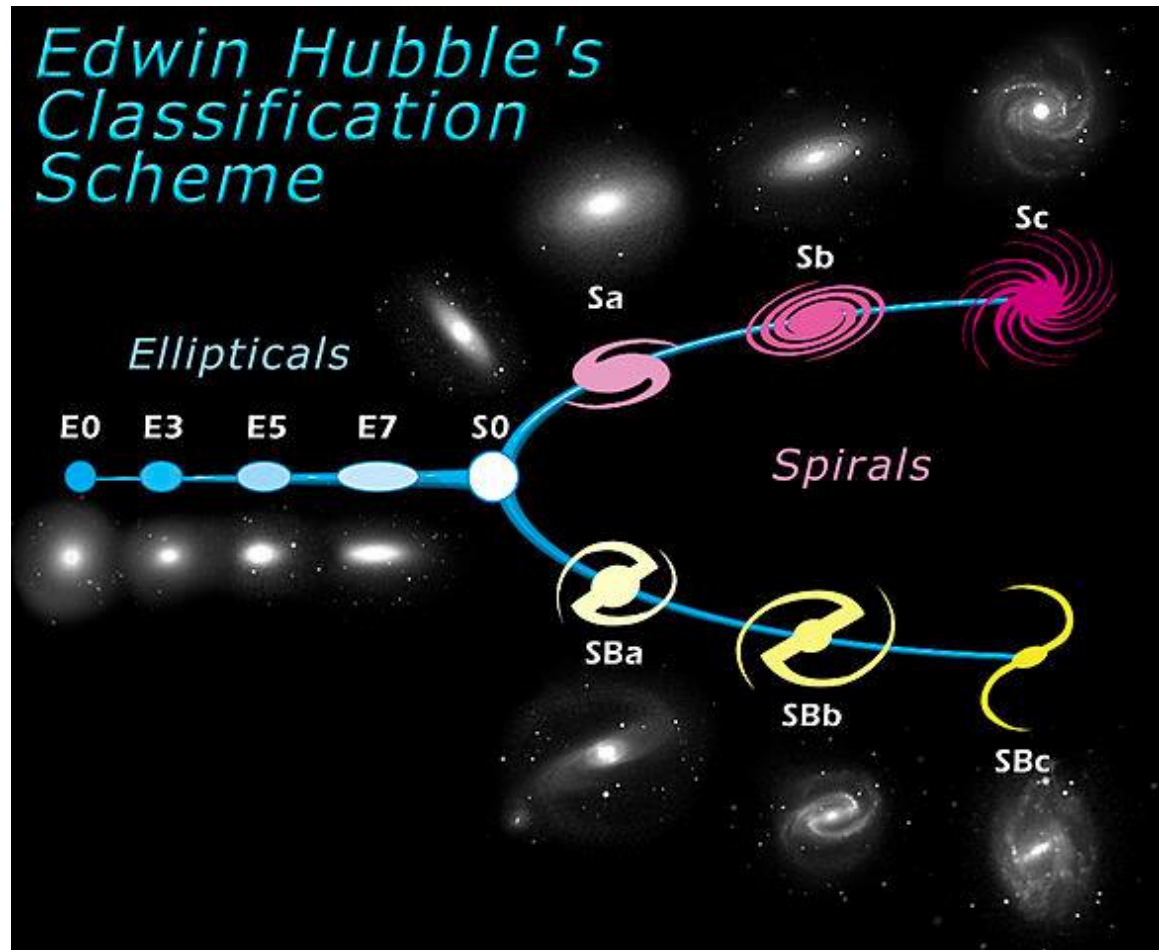
Galaxen M109 anses likna Vintergatan

*) Baryonisk (= "normal") materia



9.3 Hubbles stämngaffel

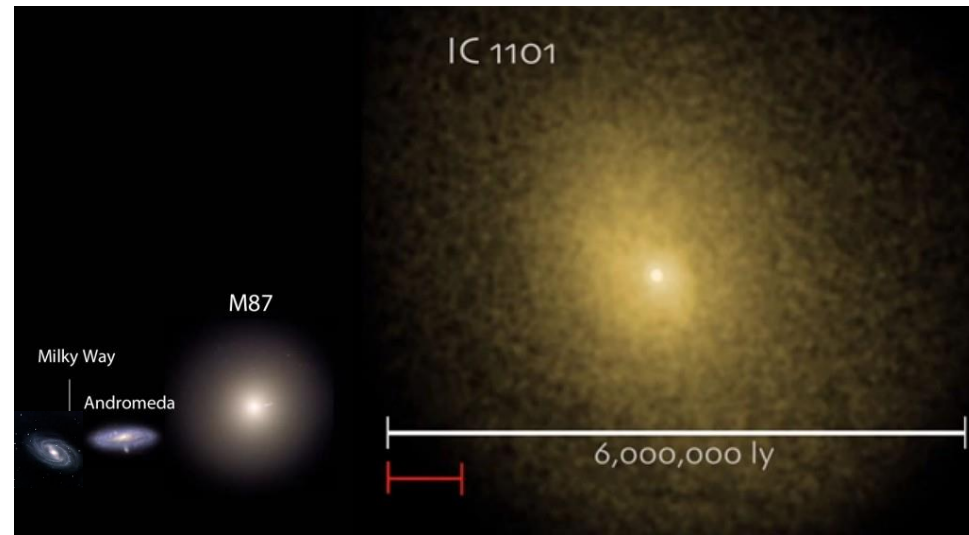
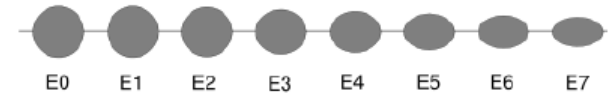
- Galaxer enligt utseende:
 - Ellipser
 - Spiraler
 - Linsformade
 - Irreguljära
 - Dvärg-galaxer
- Ingen direkt utvecklingssekvens.





9.4 Elliptiska galaxer

- Formen av en ellipsoid.
- Roterar långsamt.
- Innehåller lite kall gas och stoft => Har låg stjärnformation.
- Dvärgellipser *dE*
 - Mest gamla stjärnor (röda dvärgar och kompakta stjärnor).
- Jätte-ellipser *cD*
 - Har (oftast) uppkommit genom fusion av stora galaxer => massiv stjärnproduktion vid fusionen.

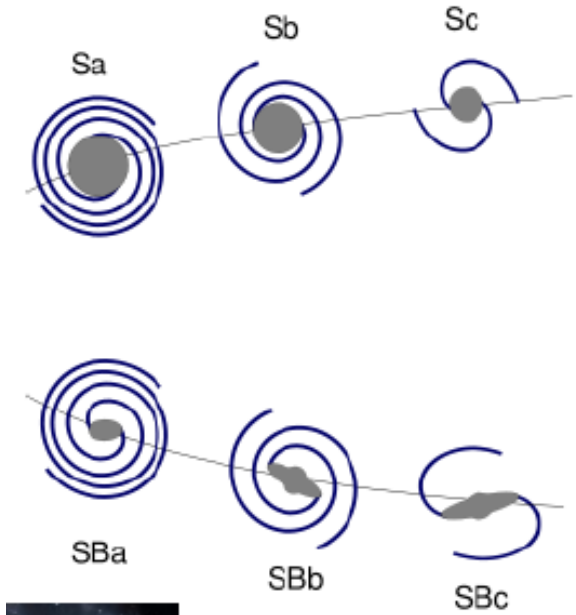


Vintergatan och Andromeda galaxen i jämförelse med jätte ellipserna M87 och IC 1101 (NASA)



9.5 Spiralgalaxer

- Kärna och tillplattad skiva med spiralarmar.
- Roterar snabbt.
- Vanliga spiraler (S) och stavspiraler (SB).
- Ca 60 % av alla stora galaxer.
- 2-15 % kall gas, nya stjärnor föds i spiralarmarna.



Vindsnurregalaxen M101 och stavspiralen UGC 12158 (Hubble ST)



9.6 Andra typer av galaxer

- Linsformade galaxer (*SO*):
 - Mellanform mellan spiraler och ellipser.
- Irreguljära el. oregelbundna galaxer (*Irr*):
 - Har ingen tydlig form och innehåller oftast en hel del kall gas.
 - Oftast mindre satellitgalaxer (t.ex. Lilla Magellanska molnet) eller två galaxer som kolliderar.
- Dvärggalaxer:
 - ~ några miljarder stjärnor.
 - Ellipsoider/sfäriska/spiraler/irreguljära.
 - Ofta satellitgalaxer som kretsar kring större galaxer, t.ex. Vintergatan har ca 30 satelliter.

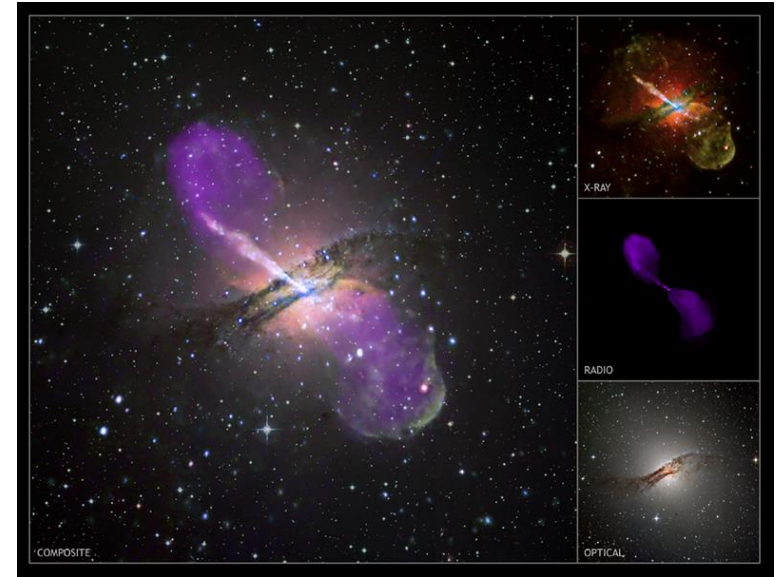


Bilder: Hubble ST



9.7 Aktiva galaxer

- Avvikande strålning.
- T.ex. extremt hög luminositet.
- Ofta synkrotron-strålning (radio).
- *Radiogalaxer* (elliptiska).
- *Seyfertgalaxer* (oftast spiral).
- Aktiviteten \Leftrightarrow massiva svarta hål.



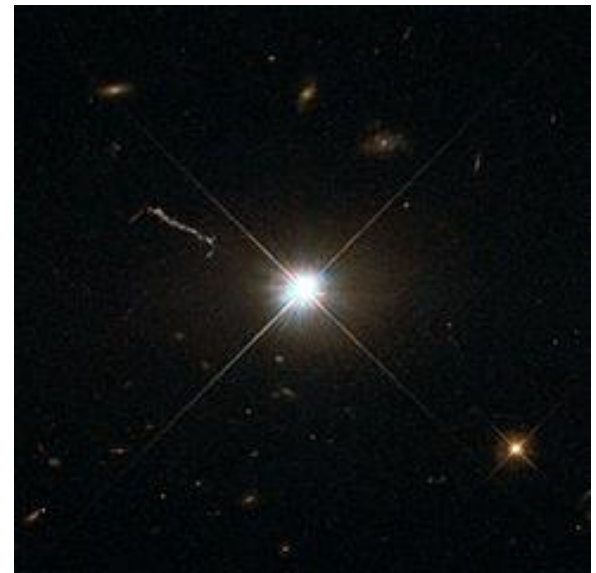
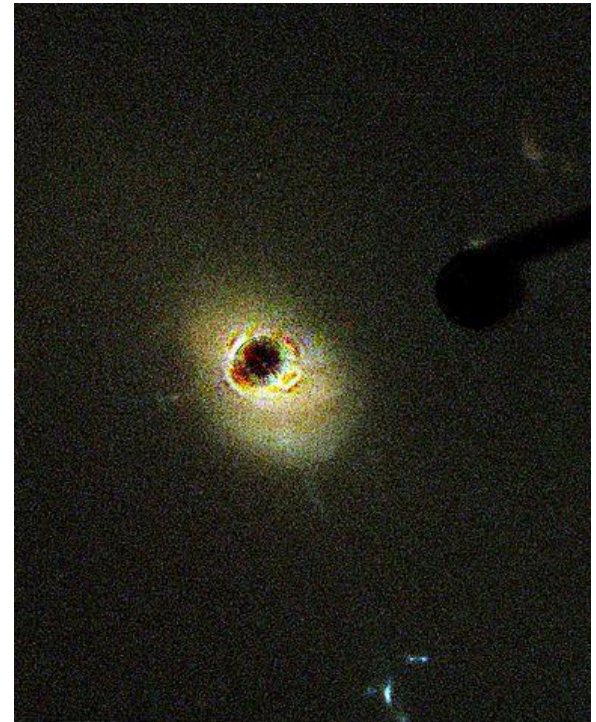
Radiogalaxen Centaurus A
och Seyfertgalaxen NGC 1097
(ESO/NASA)



9.8 Kvasarer

- Kvasarer = kvasistellära objekt.
- Avlägsna och extremt starkt lysande punktkällor.
- Strålningen kan motsvara hundratals galaxer och härstammar från ett område av solsystemets storlek => massivt svart hål.
- Galaxer har hittats runt de flesta kvasarerna => extremt aktiva galaxkärnor.
- Kvasarer förekom mest då universums ålder var 2-4 miljarder år.

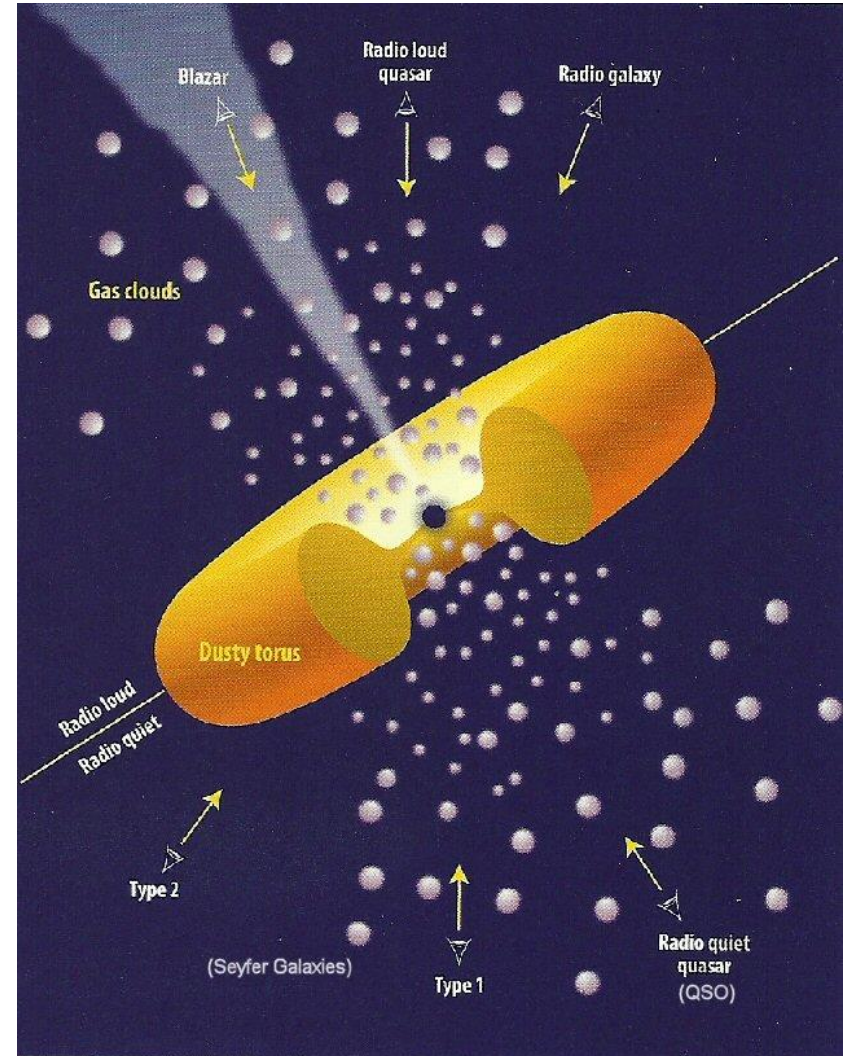
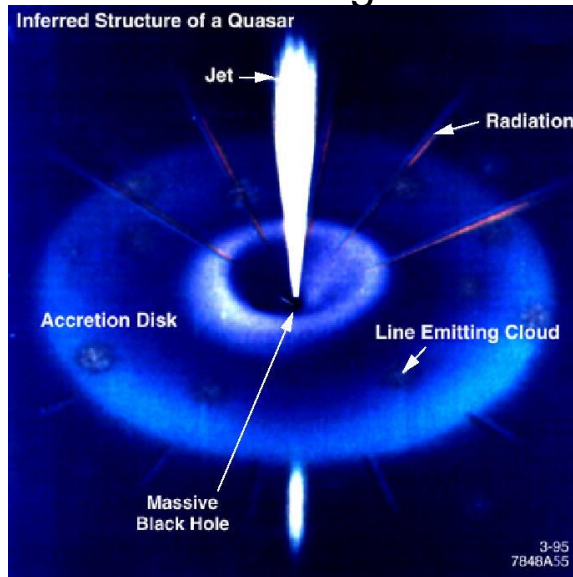
Kvasaren 3C273, fotograferad med två olika Hubble ST instrument.





9.9 Enhetsmodell för aktiva galaxer

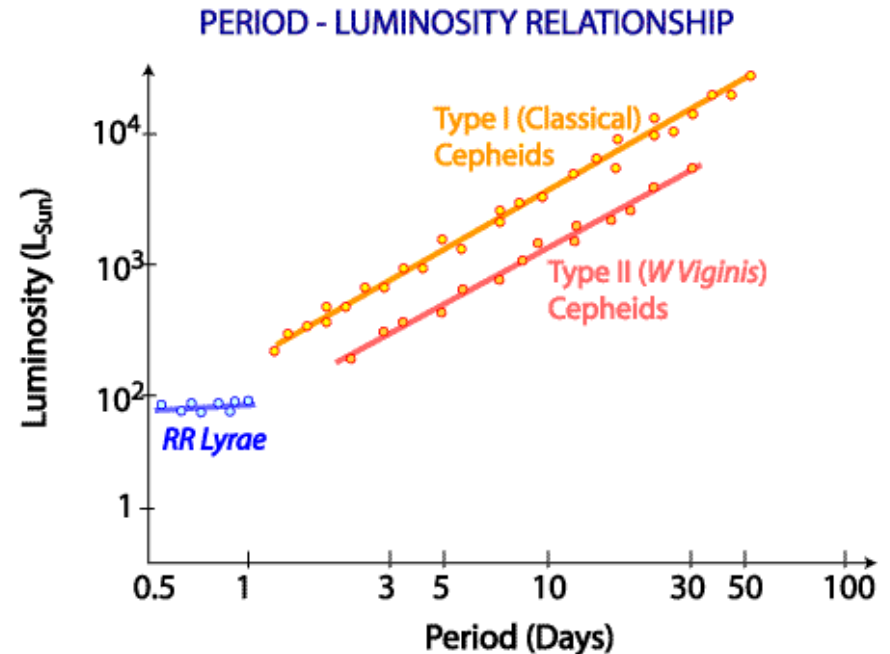
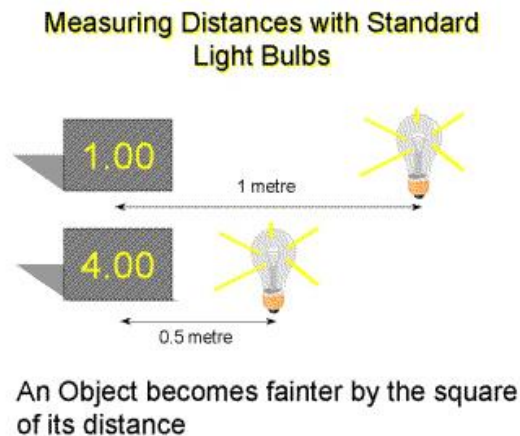
- Olika typer av aktiva galaxer kan vara samma typs objekt observerade från olika vinklar.
- De flesta stora galaxer haft en aktiv fas.
- Aktiviteten ökar om något "matar" supermassivt svart hål, t.ex. kollision mellan galaxer.





9.10 Avstånd till galaxer

- Första avstånden till övriga galaxer mättes genom Cepheider av Edwin Hubble på 1920-talet:
 - Cepheider är en typ av standardljus.
 - Visade att övriga galaxer är belägna utanför Vintergatan.





9.11 Hubble-Lemaître's lag

- Hubble & Humason (1931): Galaxer avlägsnar sig från oss med en hastighet som är proportionell mot avståndet.
- => Rödförskjutning ett avståndsmått.
- Hubble-Lemaître's lag \Leftarrow *Hela universum expanderar.*

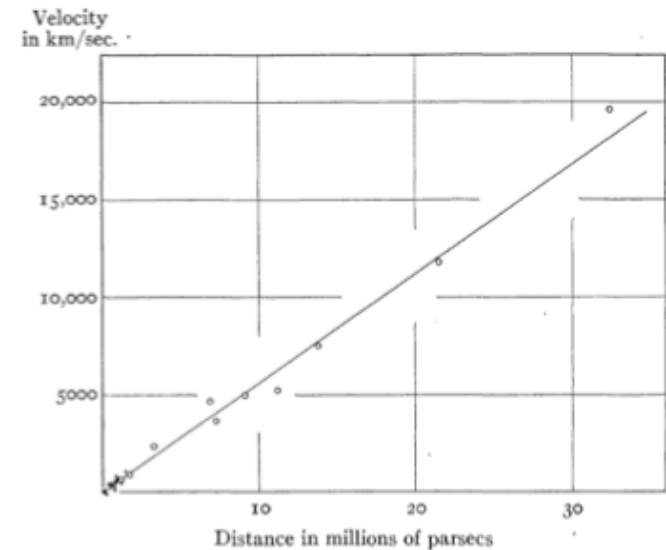
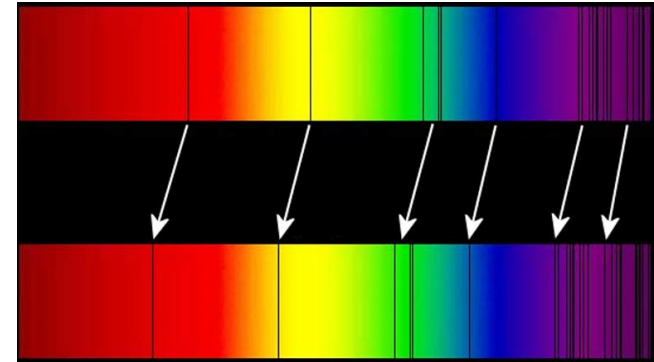
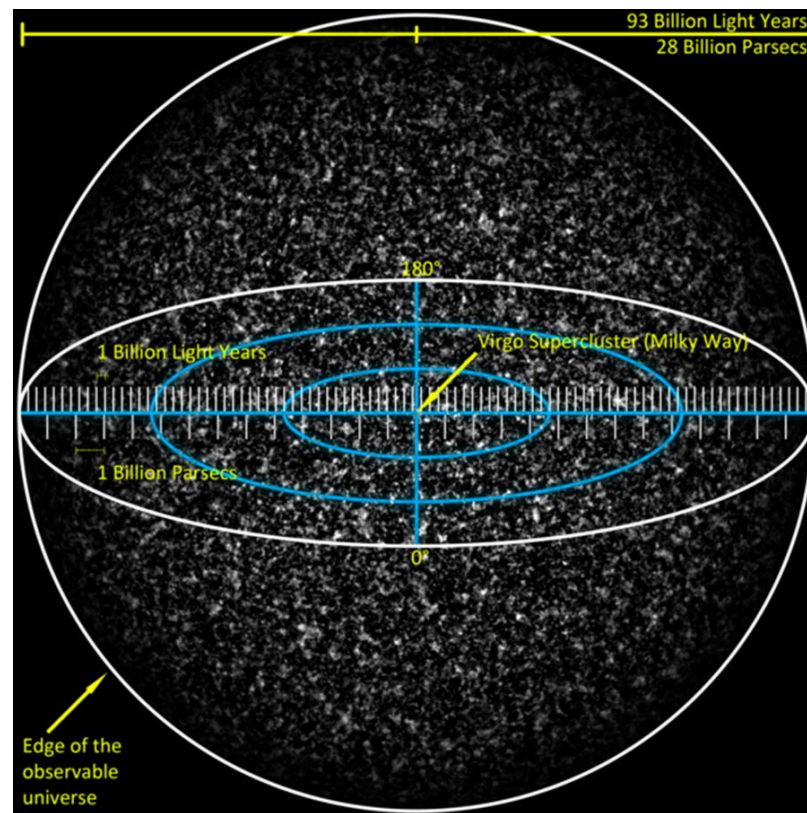


FIG. 5.—The velocity-distance relation. The circles represent mean values for clusters or groups of nebulae. The dots near the origin represent individual nebulae, which, together with the groups indicated by the lowest two circles, were used in the first formulation of the velocity-distance relation.



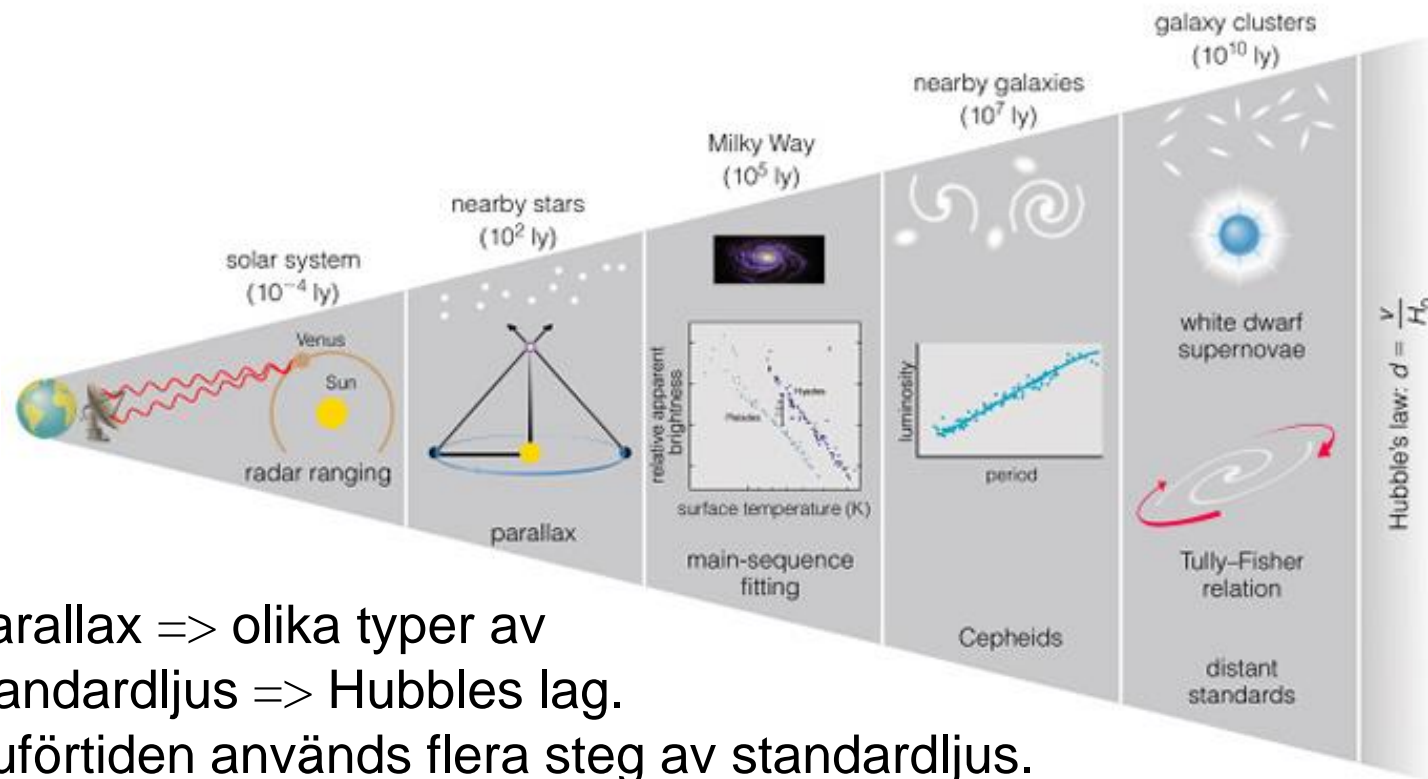
Uppgift

Universum är ca 14 miljarder år gammalt men vi kan observera objekt som nu är betydligt längre borta än 14 miljarder ljusår. Hur är detta möjligt?





9.12 Kosmiska avståndsstegen

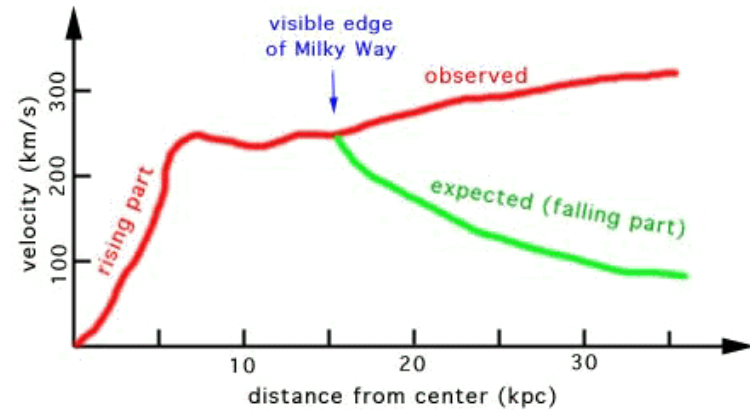


- Parallax \Rightarrow olika typer av standardljus \Rightarrow Hubbles lag.
- Nuförtiden används flera steg av standardljus.
- Avståndets osäkerhet ökar för varje steg.

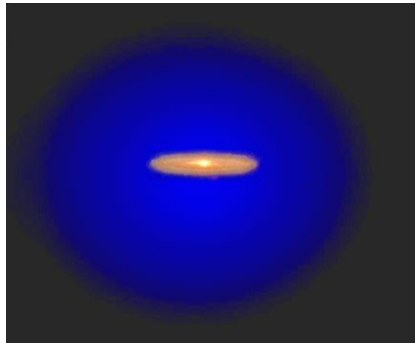


9.13 Galaxers dynamik och mörk materia

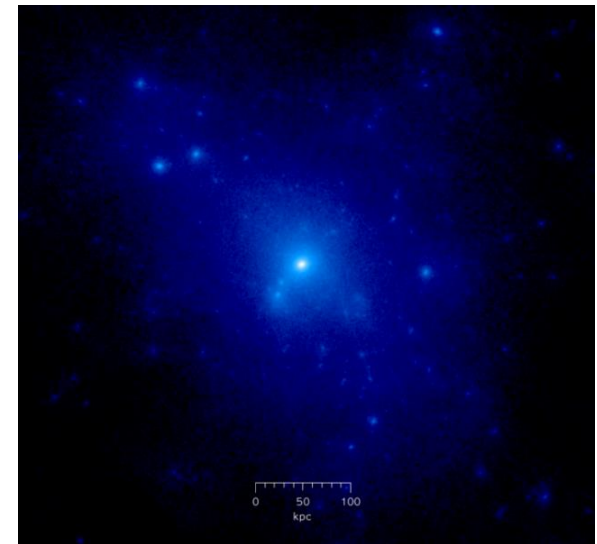
- Stjärnors rörelser i galaxer och galaxers rörelse i jämförelse med varandra.
- => galaxer består huvudsakligen av en halo av osynlig mörk materia.
- Galaxer skulle inte ha formats eller hålla ihop utan mörk materia.



Fördelning av mörk materia kring en galax.



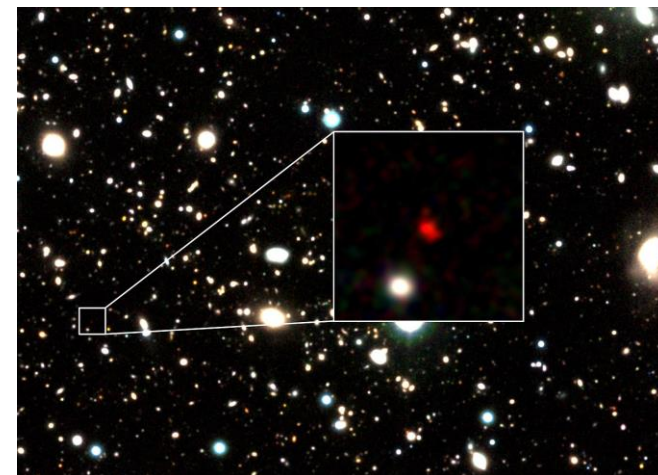
Mörk materia => intergalaktiska gasen het => röntgenstrålning.



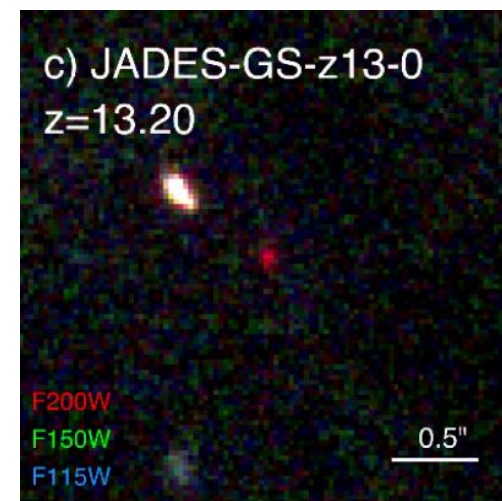


9.14 Äldsta galaxerna

- Äldsta observerade galaxerna är ca 13,6 miljarder år gamla.
- Äldre galaxer i regel mindre, innehåller mera gas och är mera oregelbundna.
- Galaxers aktivitet nådde en topp kring ca 2 miljarder år efter universums uppkomst.



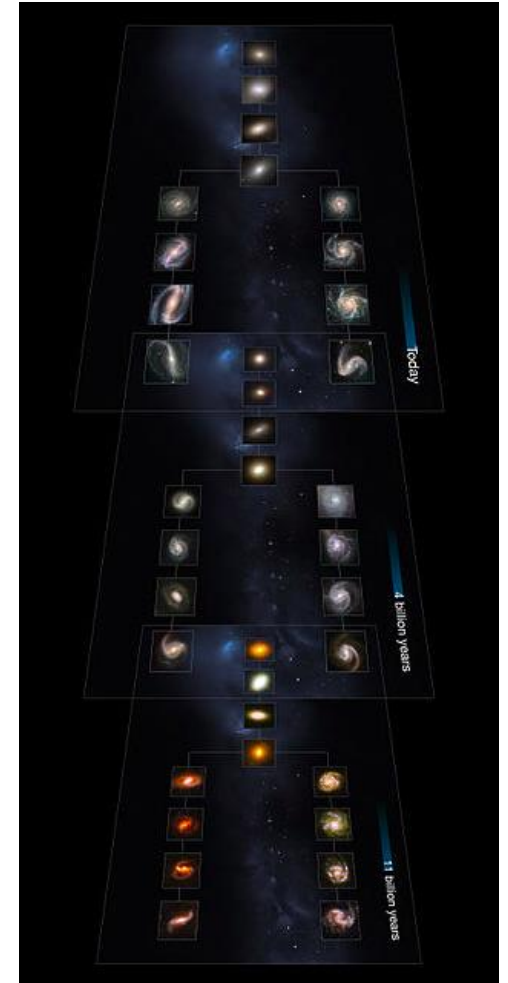
HD1 och JADES-GS-z13-0:
Kandidater för de mest avlägsna
och därmed äldsta galaxerna
(ESO/NASA).





9.15 Galaxers evolution

- De första galaxer uppkom då universum var ungt < 400 miljoner år.
- Galaxers uppkomst och evolution kan vara en kombination av ”*uppifrån ned*” och ”*nedifrån upp*” modellerna:
 - Både komprimering av stora strukturer och fusion av mindre galaxer.





9.16 Galaxers kollisioner och fusioner

- Kollisioner vanligare när universum var ungt, men förekommer fortfarande.
- Kan leda till explosionsartad produktion av stjärnor i de krockande galaxerna => "Starburst galax".



NGC 4676 och Antennagalaxen
(Hubble ST)



9.17 Möte mellan två aktiva galaxer: 3C 321

Partikelstråle från en radiogalax träffar en Seyfert-galax:

- Röntgen
- UV
- Optiskt
- Radio

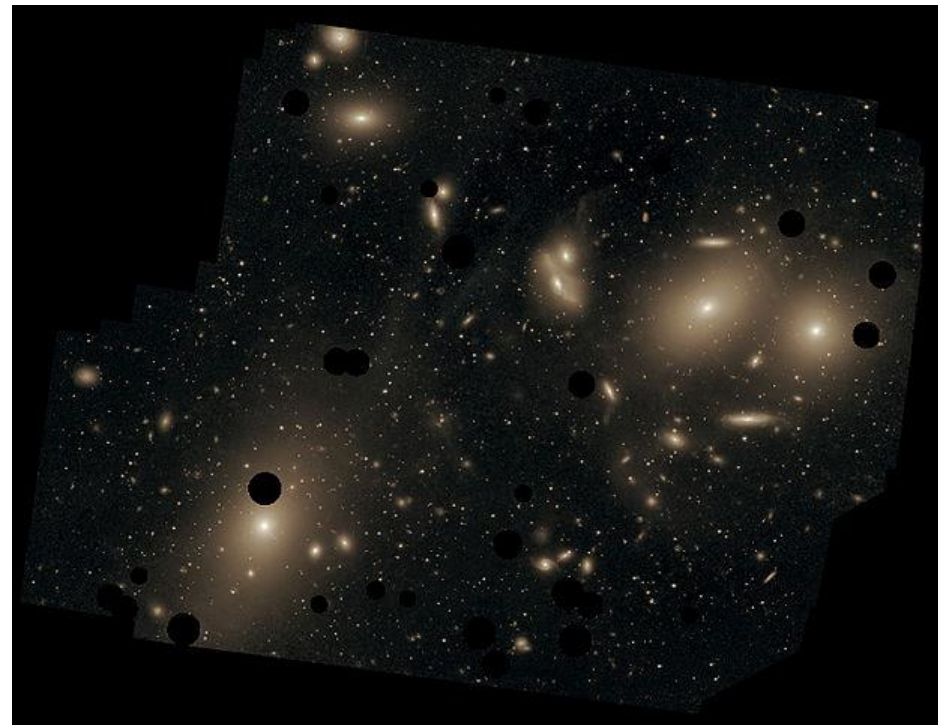
NASA/ESA, D. Evans
(NASA/CXC/CfA; NASA/STScI;
NSF/VLA/CfA; STFC/JBO/MERLIN)





9.18 Galaxhopar och -grupper

- Största delen av alla galaxer är samlade i hopar och grupper.
- Galaxgrupper < ca 100 galaxer.
- Galaxhopar > ca 100 galaxer.
- De största hoparna består av över 1000 galaxer och är de största gravitationellt bundna objekten i hela universum.



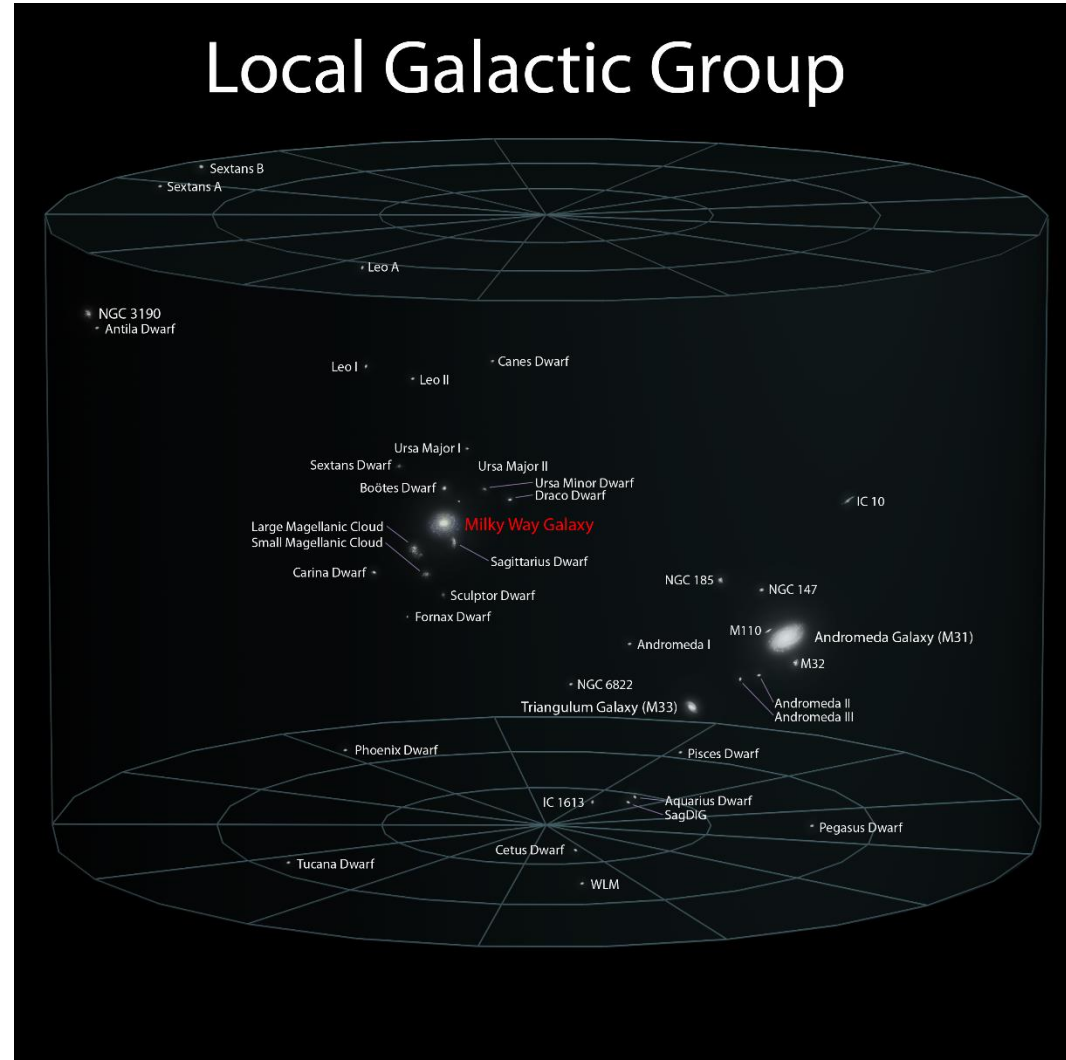
Virgo galaxhopen (ovan, Mihos/ESO)
Hicksons galaxgrupp (t.v., Schmidt/Gemini)



9.19 Lokala gruppen

- Tre spiralgalaxer:
 - *Vintergatan, Andromeda- (M31)* och *Triangelgalaxen (M33)*
- Minst 20 irreguljära galaxer.
- Minst 3 dvärgellipser.
- Minst 80 sfäriska dvärggalaxer.
- De flesta mindre galaxerna är satelliter till de 2 största.

Bild: Sun.org





9.19 Lokala grupper: "Familjeporträtt"

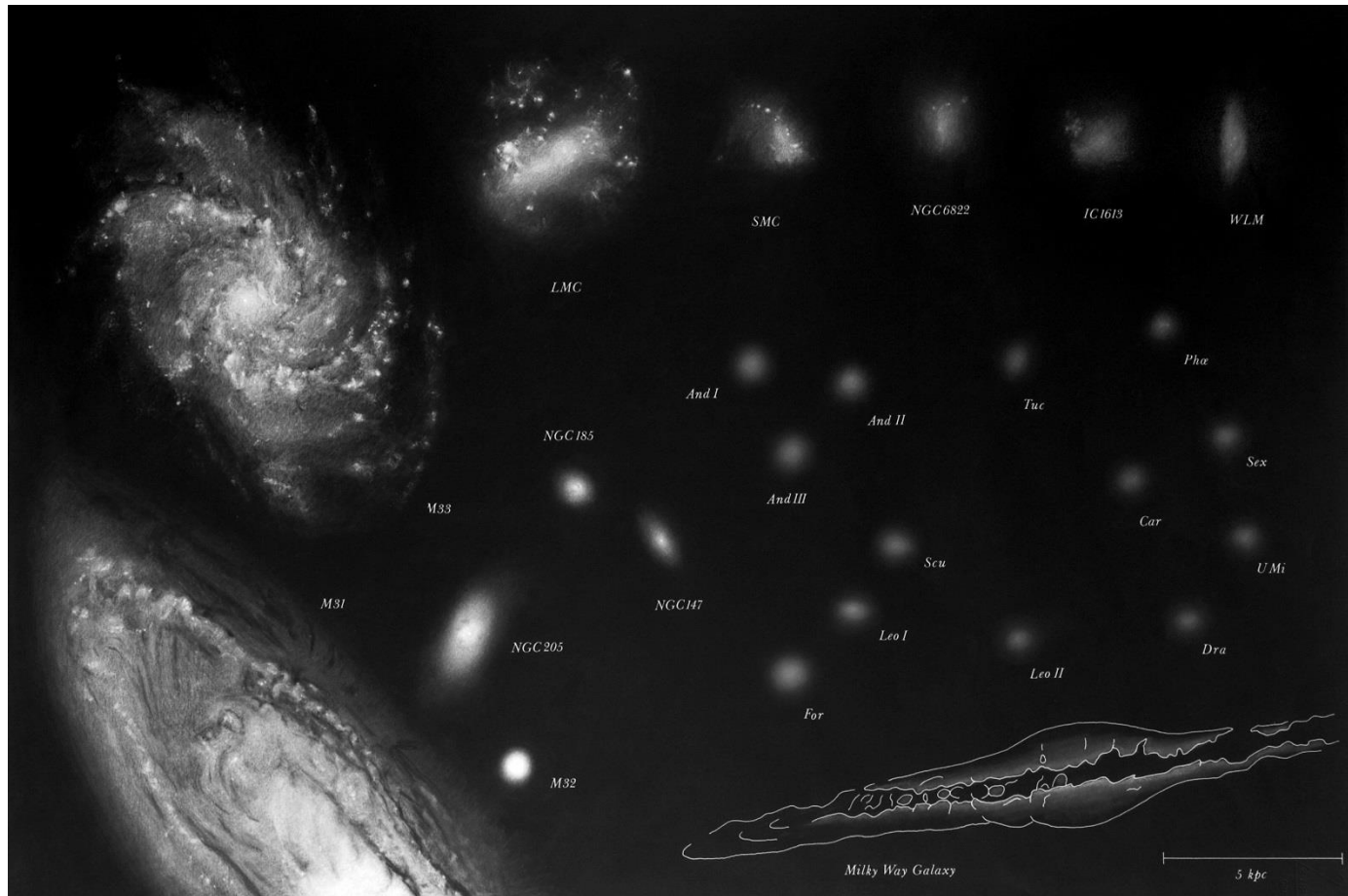
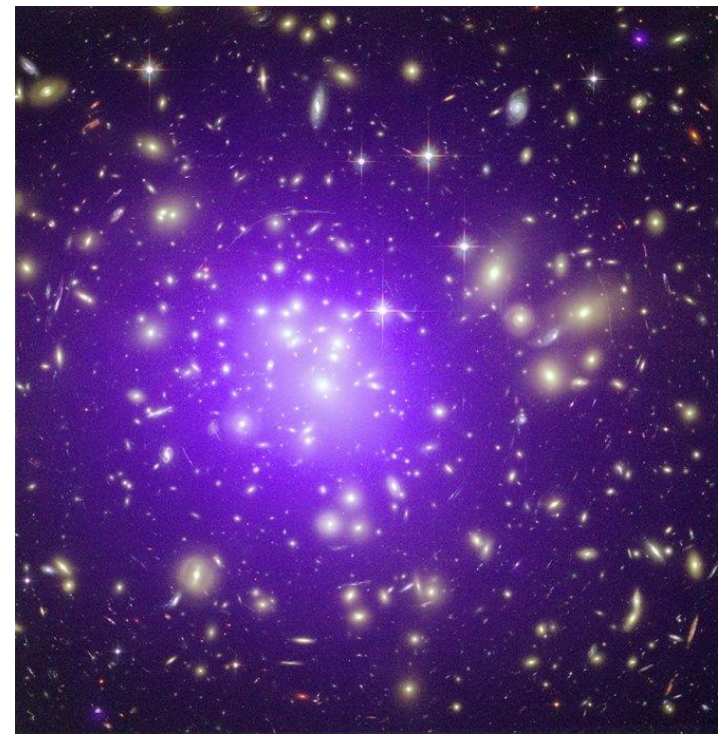


Bild: Bruno Binggeli

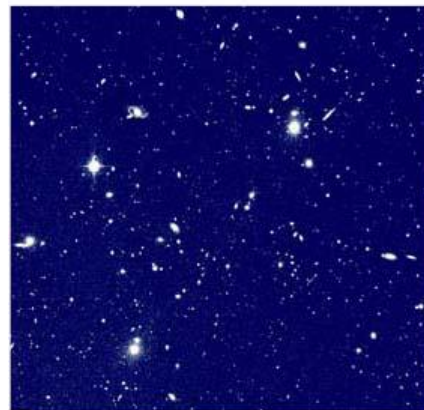


9.20 Galaxhopar

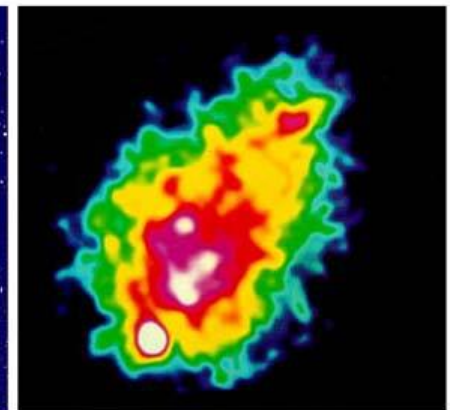
- Miljoner ljusår i diameter.
- Kollisioner och växelverkan mellan galaxerna relativt vanliga.
- Jätte-ellipser i mitten, har sannolikt uppstått genom kollisioner.
- Mellan galaxerna: Het gas (10-100 miljoner grader) som strålar röntgenstrålning.
- Synliga delen är bara några % av hopens totala massa:
 - Mest mörk materia.
 - Mera gas än stjärnmateria.



Galaxy cluster A1367



Optical



X-Ray

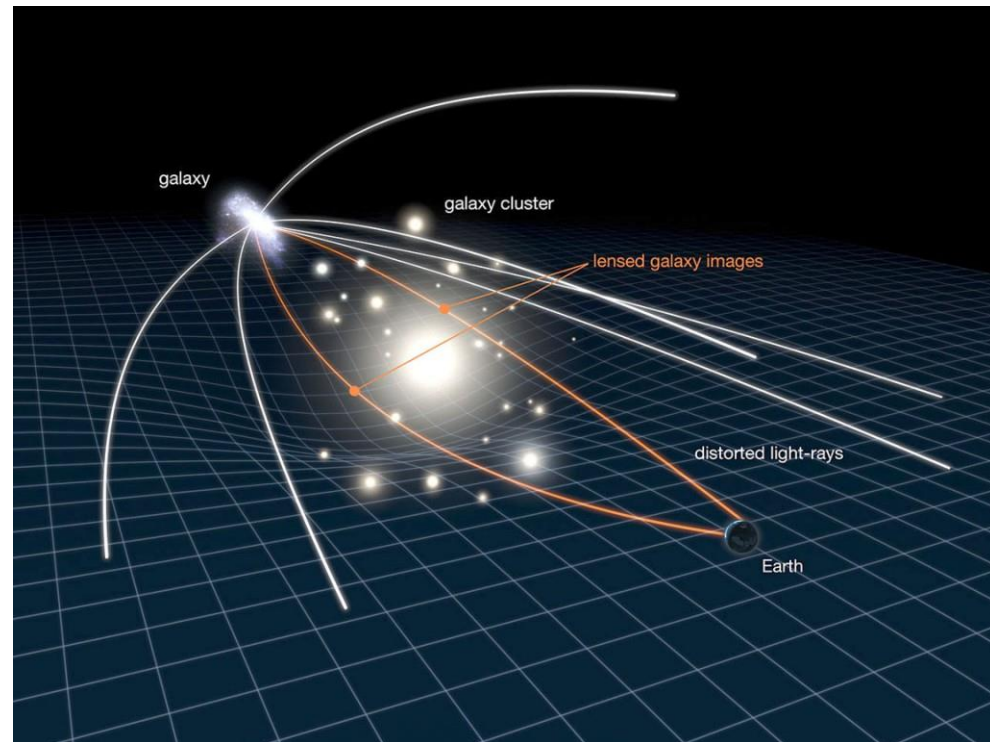
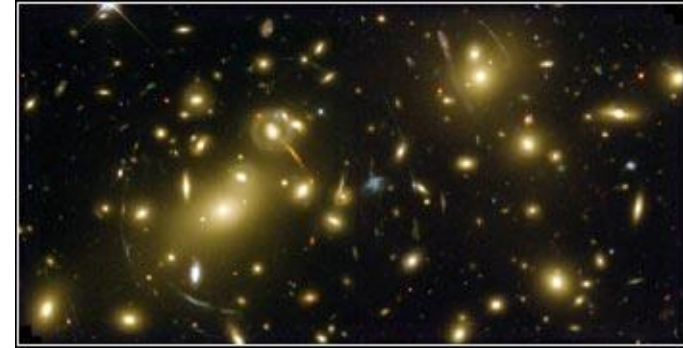
Bilder: Chandra



9.21 Gravitationslinser

Gravitationen kröker rymden \Rightarrow ljuset böjs \Rightarrow *gravitationslins*:

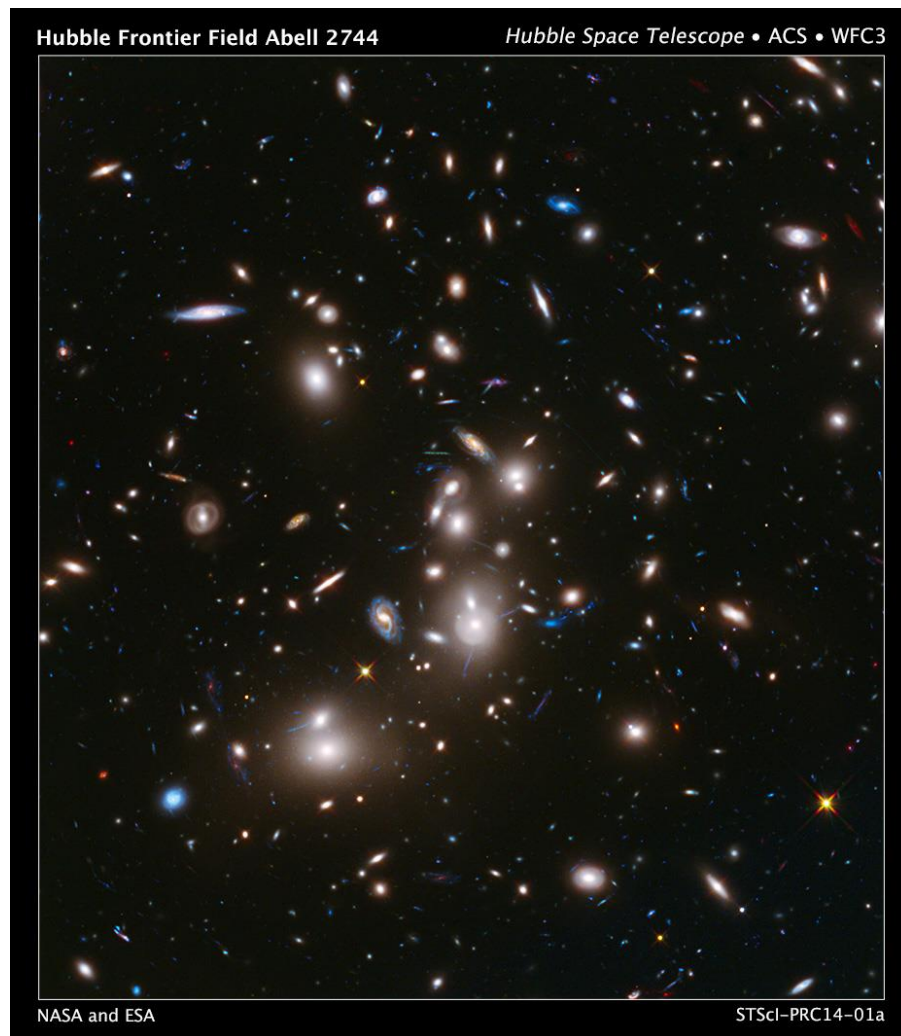
- Gravitationslinser kan förstora och förvränga bilden av t.ex. galaxer som finns bakom linsen (t.ex. en galaxhop)
- Då ljuset böjs vid mindre kroppar, t.ex. av planetstorlek \Rightarrow *mikrolinser*.
- Med gravitationslinser kan man mäta:
 - rymdens krökning
 - massan för galaxer och galaxhopar
 - avstånd
 - *mörk materia*





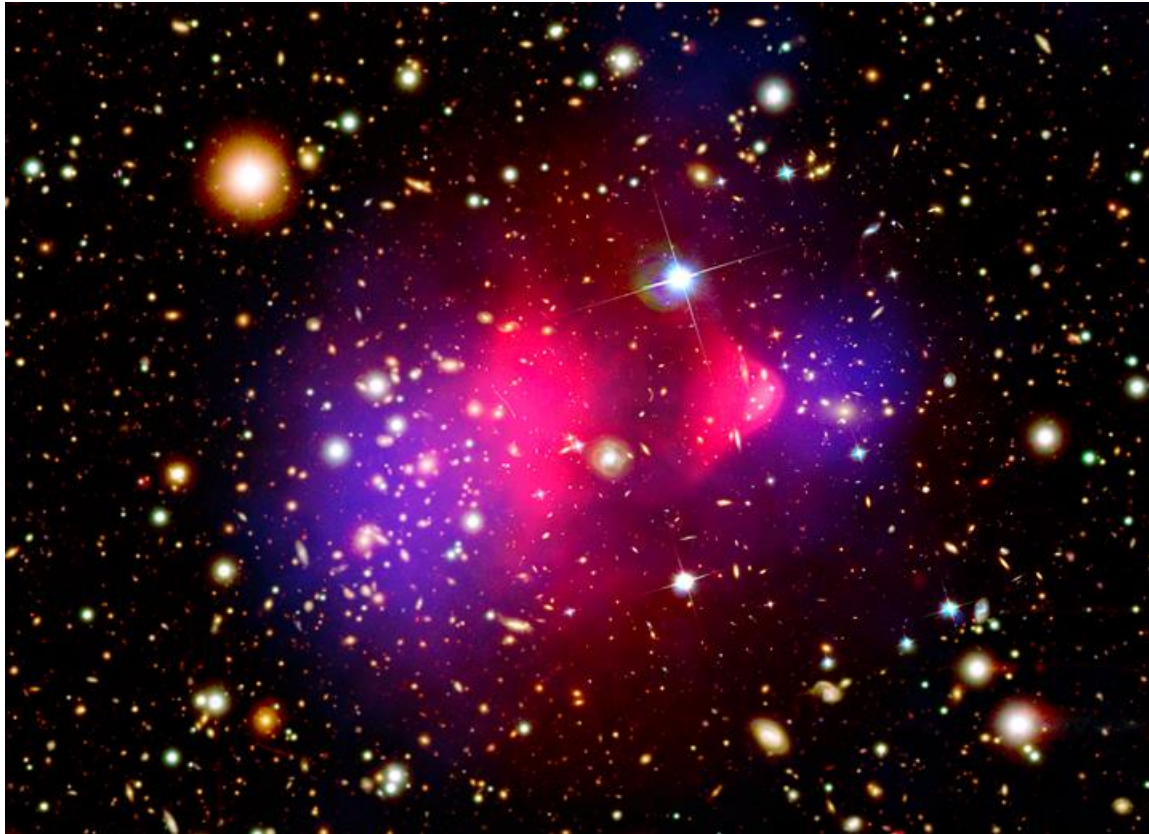
9.22 Gravitationslinsteleskop

- Gravitationslinser kan förstora bilden på avlägsna galaxer.
- Galaxer som vanligtvis inte skulle synas kan upptäckas bakom en stor galax eller galaxhop.
- => Galaxen eller galaxhopen kan användas som "teleskop" för att studera avlägsna galaxer.
- T.ex. *Frontier Fields*: Över 3000 galaxer bakom galaxhopen Abell 2744.





9.23 Mörk materia i galaxhopar

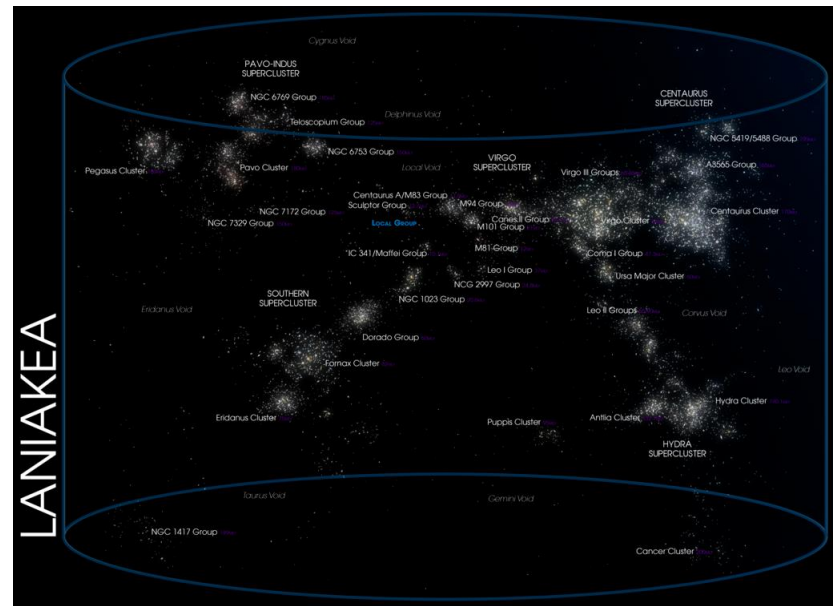


Bullet cluster: Första direkta beviset på mörk materia i en kollision mellan två galaxhopar (Weiss/Chandra).

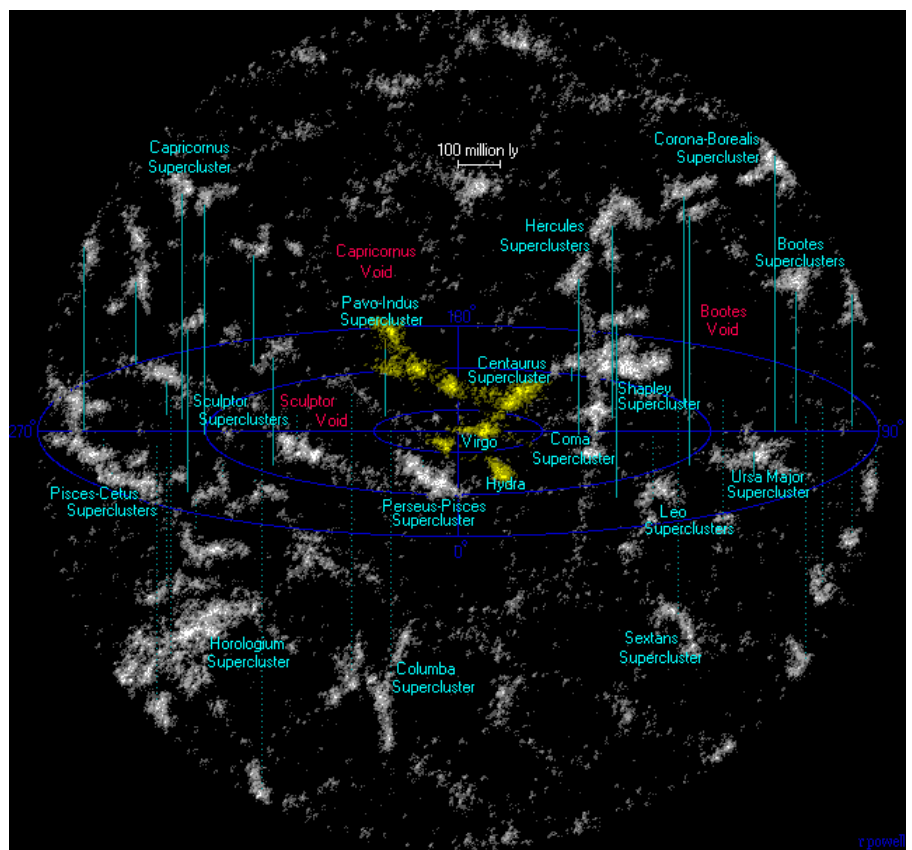


9.24 Superhopar

- Galaxgrupper och –hopar bildar superhopar.
- Den lokala gruppen hör till *Laniakea superhopen*.
- Större enheter än superhopar finns inte.



Laniakea superhopen (A.Z. Colvin 2018)

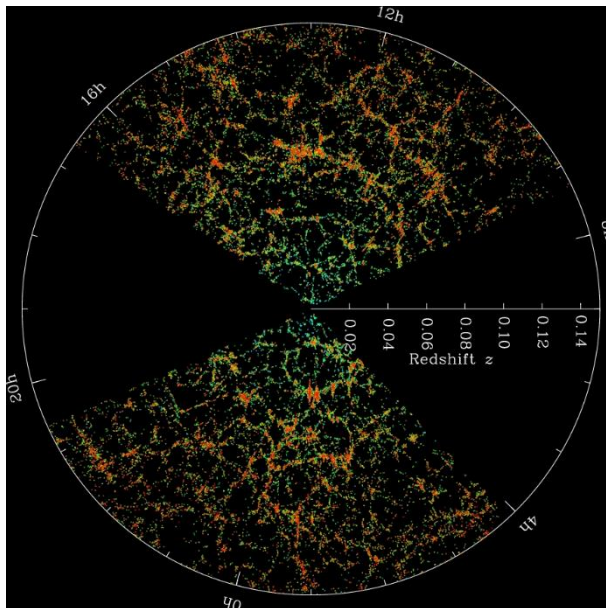


Närliggande superhopar (R. Powell 2016)

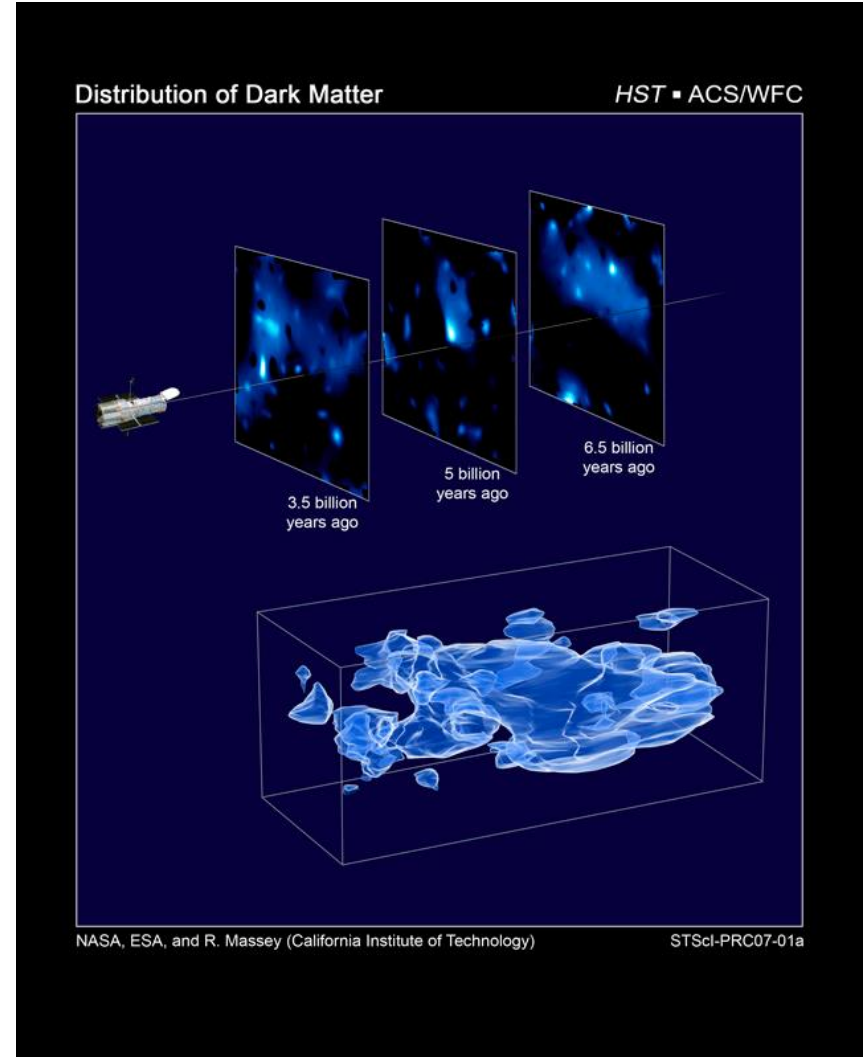


9.25 Storskalig struktur

- Galaxhoparna och superhoparna bildar en nätaktig struktur: Kedjor, väggar och tomma områden.



Sloan Digital Sky Survey (SDSS), karta av galaxer i en skiva ut till ca två miljarder ljusårs avstånd.



Cosmic Evolution Survey (COSMOS), 3D karta över distributionen mörk materia.