Galaksedannelse

- og Universets utvikling

Terje Bjerkgård

Trondheim Astronomiske Forening

Innhold

- Definisjoner – Hva er en galakse?
- Forskjellige galaksetyper
- Hvordan er galaksene gruppert?
- Oppbygning av galaksehoper
- Superhoper og superstrukturer
- Oversikt over Universets strukturer
- Utvikling av galaksene og strukturene i Universet

Galakser

Galakser

Galakser er store systemer som består av stjerner, planeter, et interstellart medium av støv og gass, samt store mengder mørk materie.

Ordet galakse kommer fra gresk galaxias som betyr melkeaktig og refererer til båndet som vi ser over himmelen av vår egen galakse – Melkeveien.

Galakser varierer fra dverggalakser med bare 10 millioner (10^7) stjerner til giganter med 100 billioner (10^{14}) stjerner.

Galakser

Galakser kan være alt fra irregulære til veldefinerte i sin form.

De regulære galaksene deles inn i tre hovedgrupper; elliptiske galakser, spiralgalakser og stavspiraler.

De elliptiske galaksene regnes å være eldre enn spiral-galaksene.

Det er flest elliptiske galakser i det kjente Universet.

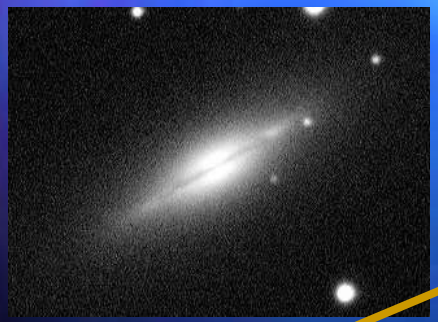
De irregulære galaksene er de minste og også de minst vanlige av galaksetypene.

Galakser

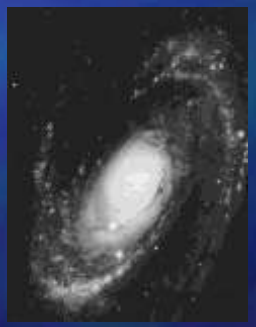
Hubbles klassifikasjonsdiagram

E0 → E6 Irr

SBa → SBb → SBc



S0



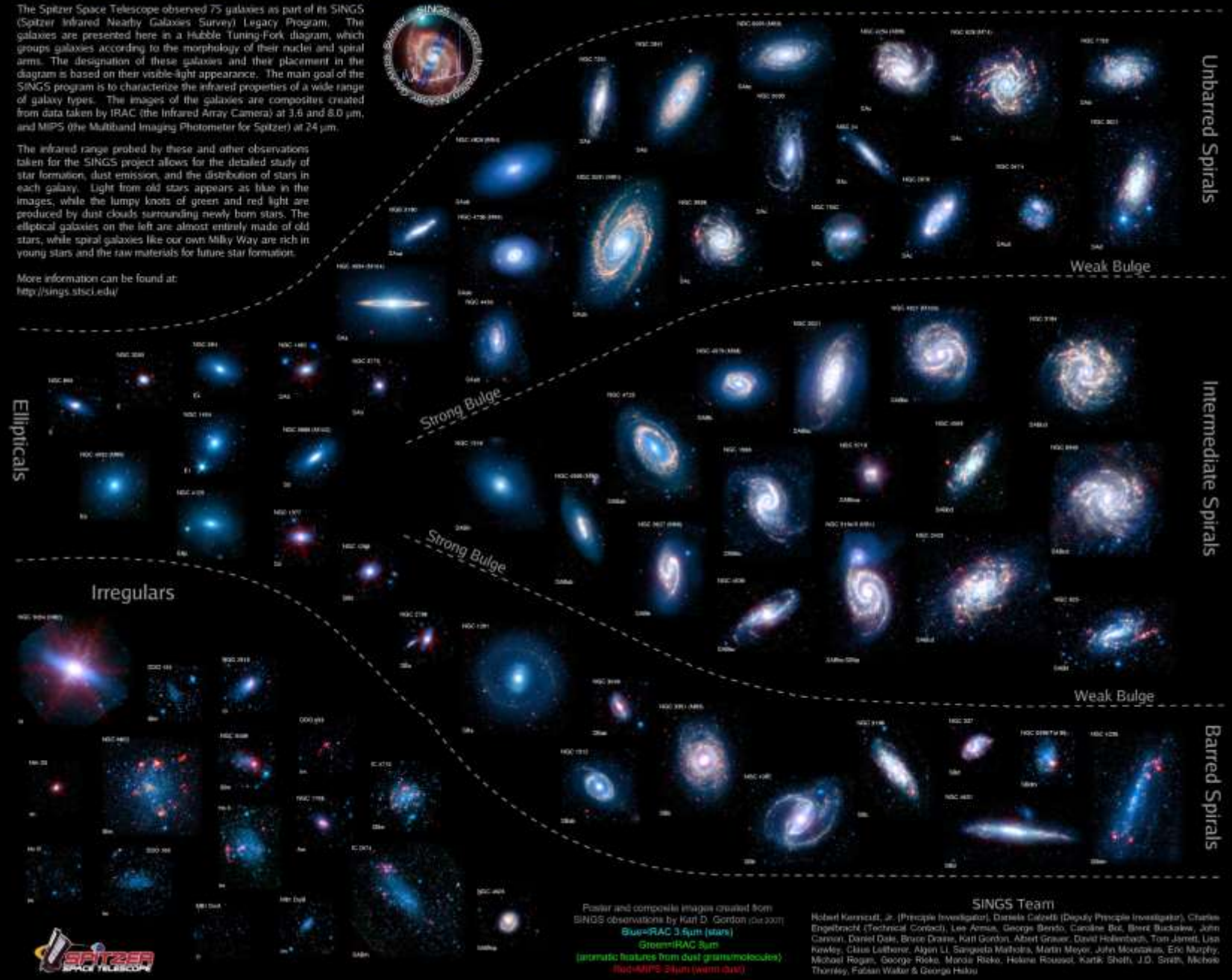
Sa → Sb → Sc

The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork

The Spitzer Space Telescope observed 75 galaxies as part of its SINGS (Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey) Legacy Program. The galaxies are presented here in a Hubble Tuning-Fork diagram, which groups galaxies according to the morphology of their nuclei and spiral arms. The designation of these galaxies and their placement in the diagram is based on their visible-light appearance. The main goal of the SINGS program is to characterize the infrared properties of a wide range of galaxy types. The images of the galaxies are composites created from data taken by IRAC (the Infrared Array Camera) at 3.6 and 8.0 μm, and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24 μm.

The infrared range probed by these and other observations taken for the SINGS project allows for the detailed study of star formation, dust emission, and the distribution of stars in each galaxy. Light from old stars appears as blue in the images, while the lumpy knots of green and red light are produced by dust clouds surrounding newly born stars. The elliptical galaxies on the left are almost entirely made of old stars, while spiral galaxies like our own Milky Way are rich in young stars and the raw materials for future star formation.

More information can be found at:
http://sings.stsci.edu/



Poster and composite images created from SINGS observations by Karl D. Gordon (Oct 2007)
Blue=IRAC 3.6μm (stars)
Green=IRAC 8μm
(aromatic features from dust grains/molecules)
Red=MIPS 24μm (warm dust)

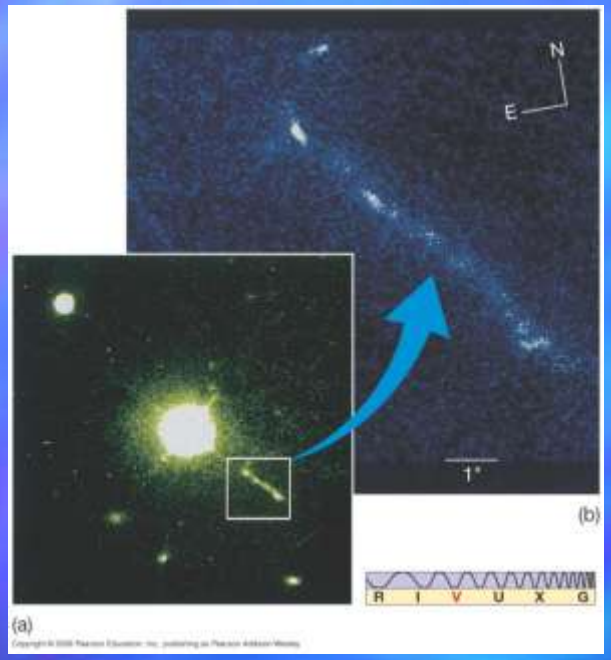
SINGS Team

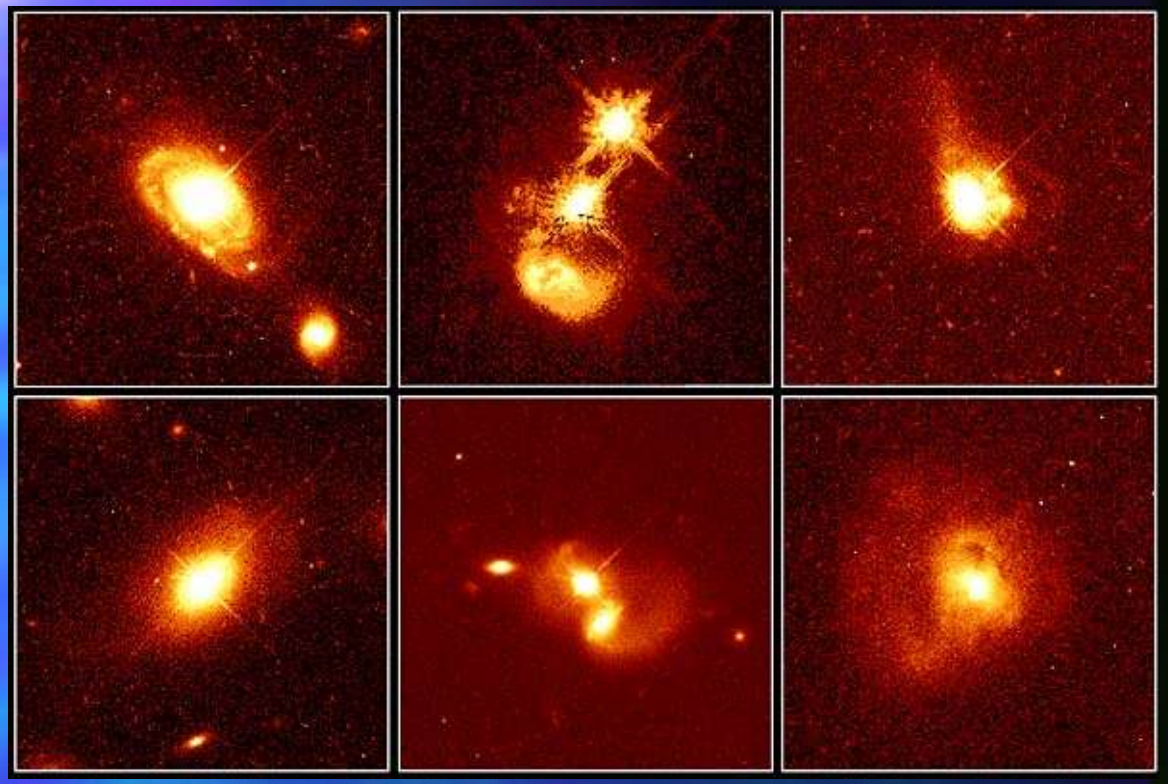
Robert Kennicutt, Jr. (Principle Investigator), Daniela Calzetti (Deputy Principle Investigator), Charles Engelbracht (Technical Contact), Lee Armus, George Bendo, Caroline Bot, Brent Buckalew, John Cannon, Daniel Dale, Bruce Draine, Karl Gordon, Albert Grauer, David Hollenbach, Tom Jarrett, Lisa Kewley, Claus Leitherer, Aigen Li, Sangeeta Malhotra, Martin Meyer, John Moustakas, Eric Murphy, Michael Regan, George Rieke, Marcia Rieke, Helene Roussel, Kartik Sheth, J.D. Smith, Michele Thornley, Fabian Walter & George Helou

Galakser

Egenskaper til galakser relatert til klassifikasjon						
	E0-E7	**S0**	**Sa**	**Sb**	**Sc**	**Irr**
Sentral utbulning	Bare utbulning, ingen skive	Utbulning & skive	Stor	→	Liten	Ingen
Spiralarmer	Ingen	Ingen	Tett/jevn	→	Åpen/ujevn	Sjeldne, spor
Gass	Nesten ingen	Nesten ingen	~1%	2-5%	5-10%	10-50%
Unge stjerner HII områder	Ingen	Ingen	Spor	→	Mye	Dominerer utseende
Stjerner	Bare gamle (~ 10^{10} år)	Gamle	Noen unge	→	→	Mest unge, men noen meget gamle
Spektraltype	G-K	G-K	G-K	F-K	A-F	A-F
Farge	Rød	Rød	→	→	→	Blå
Molmasser (Sola = 1)	10^8-10^{13}	(Mer) 10^{12}-10^9 (Mindre)				10^8-10^{11}
Luminositet (Sola = 1)	10^6-10^{11}	(Mer) 10^{11}-10^8 (Mindre)				10^8-10^{11}

Galakser - Kvasarer





Kvasarer drives av akkresjon av materie rundt supermassive svarte hull i kjernen til fjerne galakser. Dette gjør at kvasarer faller under en type galakser som kalles aktive galakser. Ingen annen mekanisme klarer å forklare den enorme energiproduksjonen og den raske variasjonen i blant annet lysstyrke.

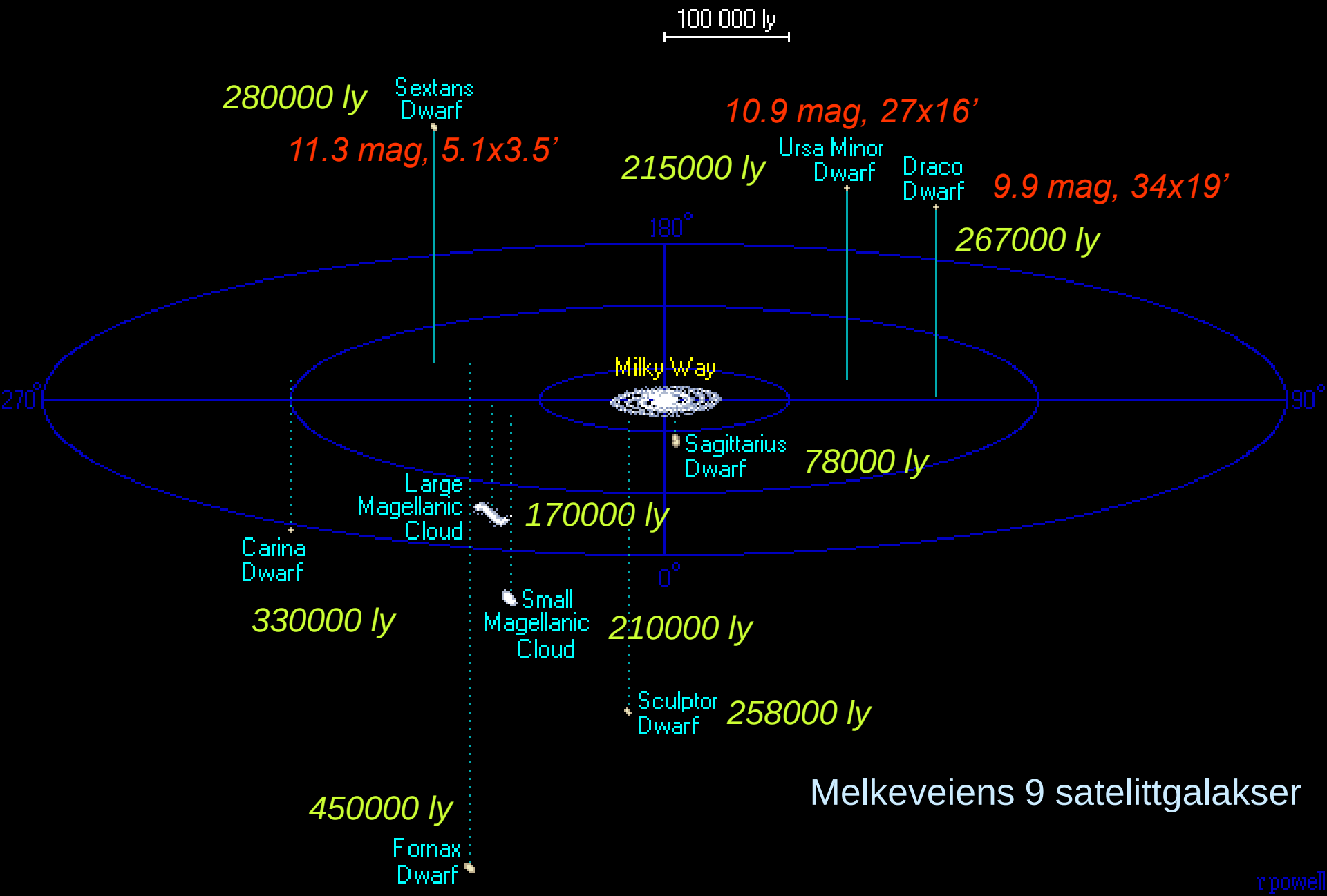
Den kjente kvasaren er 3C 273 i stjernebildet Virgo har en gjennomsnittlig tilsynelatende magnitude på 12.8 og en absolutt magnitude på -26.7. dvs. at ved en avstand på 10 parsec ville denne kvasaren lyse like sterkt som Solen. Dette gir en luminositet ca. 2 billioner (2×10^{12}) ganger større enn Solen, eller rundt 100 ganger større enn den totale luminositeten til gjennomsnittlige store galakser som Melkeveien.

Galaksegrupper

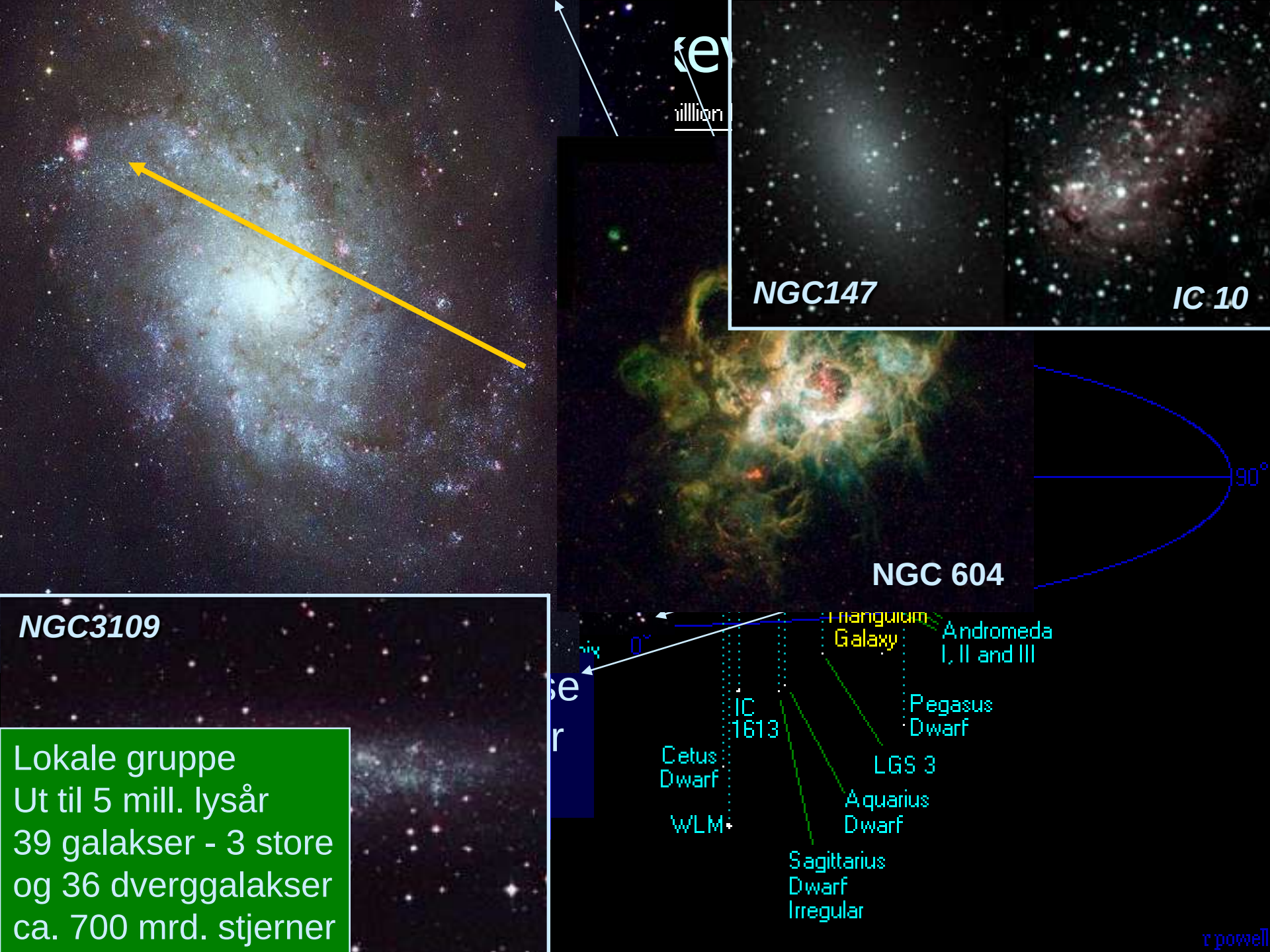
Galaksegrupper er mindre ansamlinger av galakser som holdes sammen av tyngekreftene, typisk er det færre enn 50 galakser i en gruppe. Den totale massen i gruppen kan være opptil 10^{13} (10 billioner) solmasser. Galaksenes innbyrdes hastighetsvariasjon i en gruppe er typisk opptil 150 km/s.

Stephans kvintett

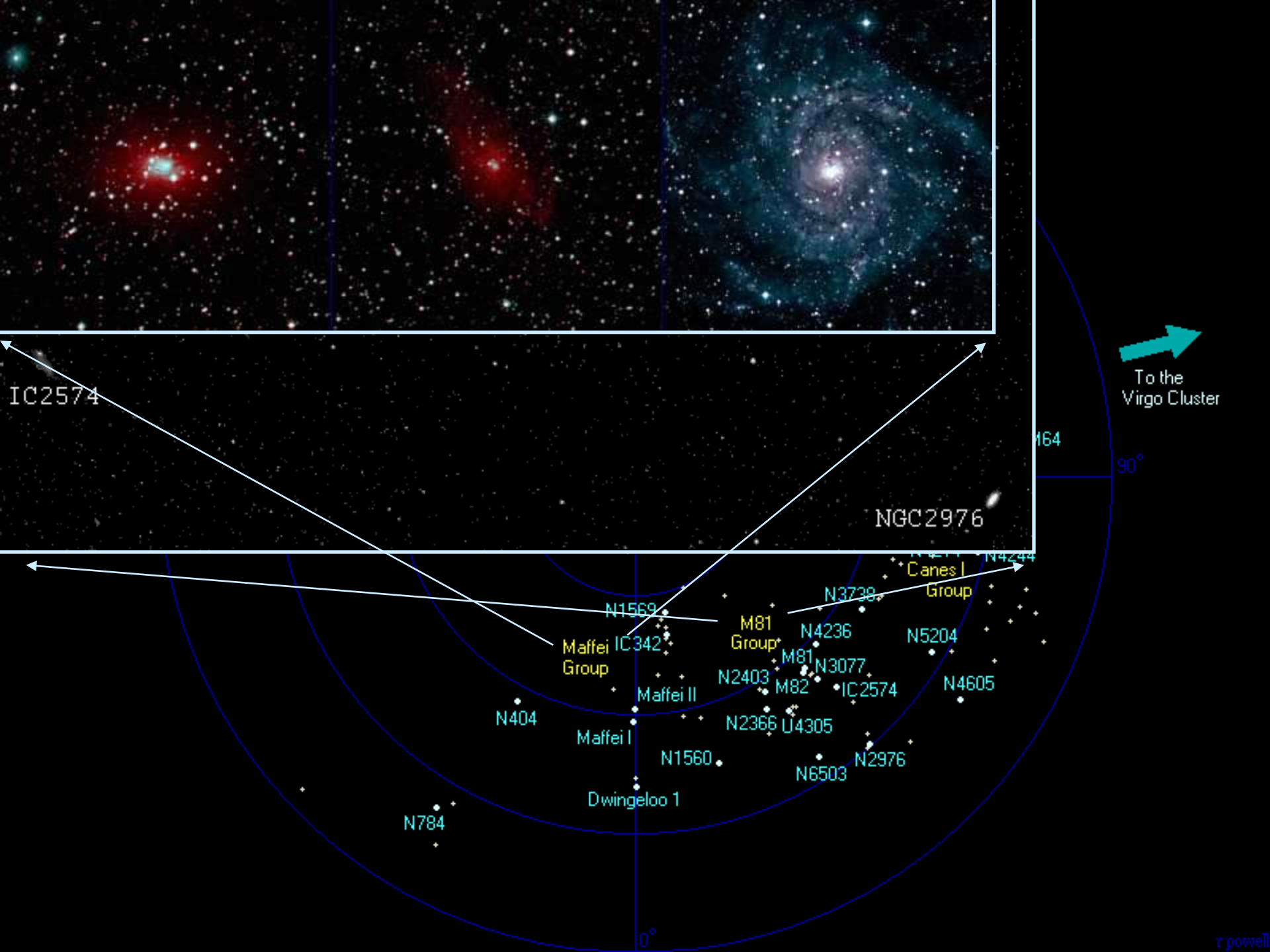
Melkeveiens nære "familie"



Melkeveiens 9 satelittgalakser



Lokale gruppe
Ut til 5 mill. lysår
39 galakser - 3 store
og 36 dverggalakser
ca. 700 mrd. stjerner


IC2574
NGC2976
To the
Virgo Cluster
90°
0°
Canes I
Group
N3738
N1569
M81
Group
N4236
N5204
Maffei
Group
IC342
M81
N3077
N2403
M82
IC2574
N4605
Maffei II
N404
N2366
U4305
Maffei I
N1560
N6503
N2976
Dwingeloo 1
N784

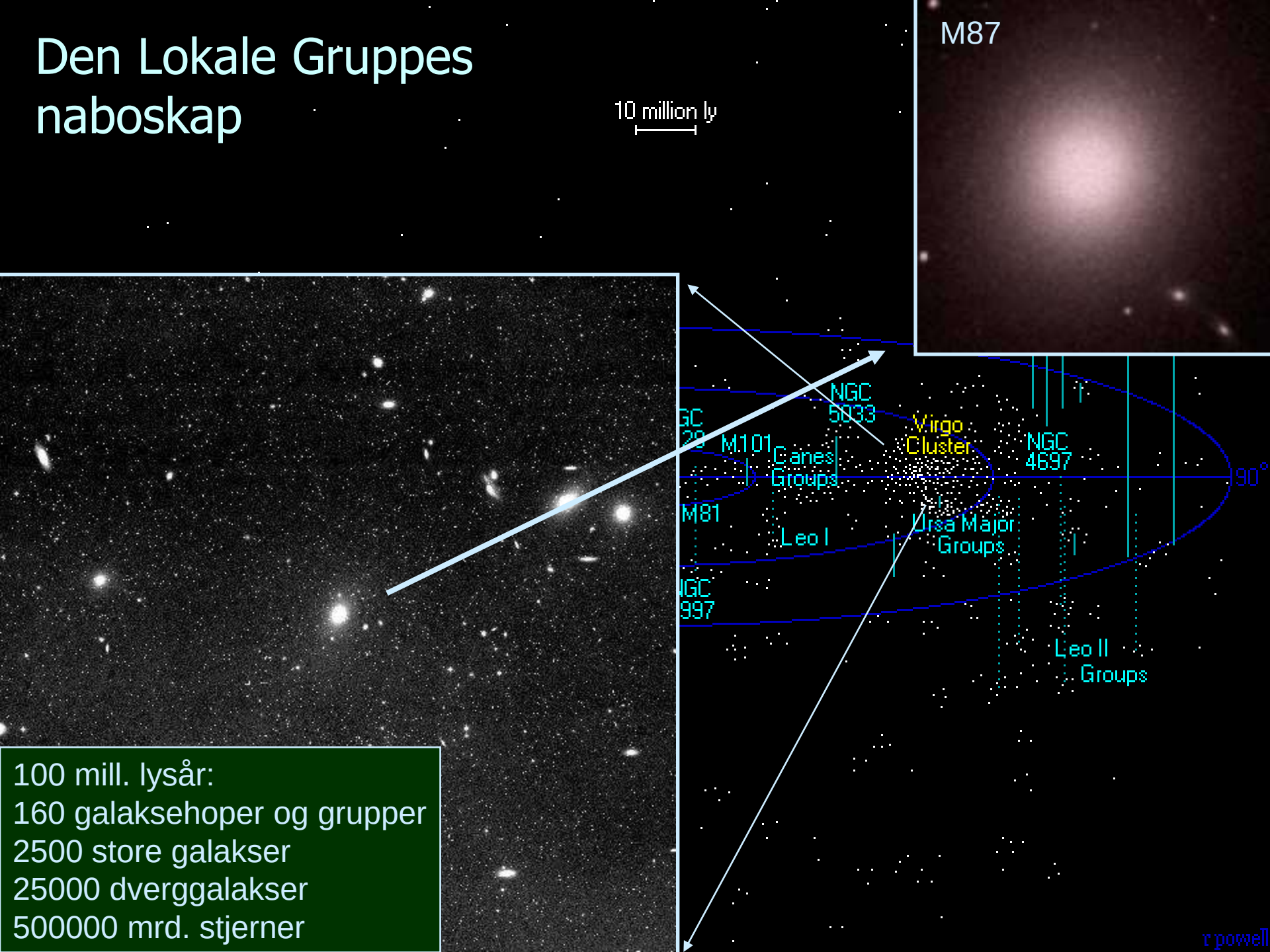
Galaksehoper

Galaksehoper skiller seg fra galaksegrupper ved å inneholde langt flere galakser, typisk flere hundre til tusener. Hopene er også mer kompakte, dvs. det er tettere mellom galaksene.

Hastighetsvariasjonen mellom medlemmene i en galaksehop er opptil 10 ganger større enn i en gruppe (800 – 1000 km/s).

Galaksehopene inneholder også supervarm gass i form av et såkalt ”intrahop medium” (eng. intracluster medium – ICM). Denne gassen har temperaturer mellom 10 og 100 millioner grader og sender ut store mengder røntgenstråling.

Den Lokale Gruppes naboskap



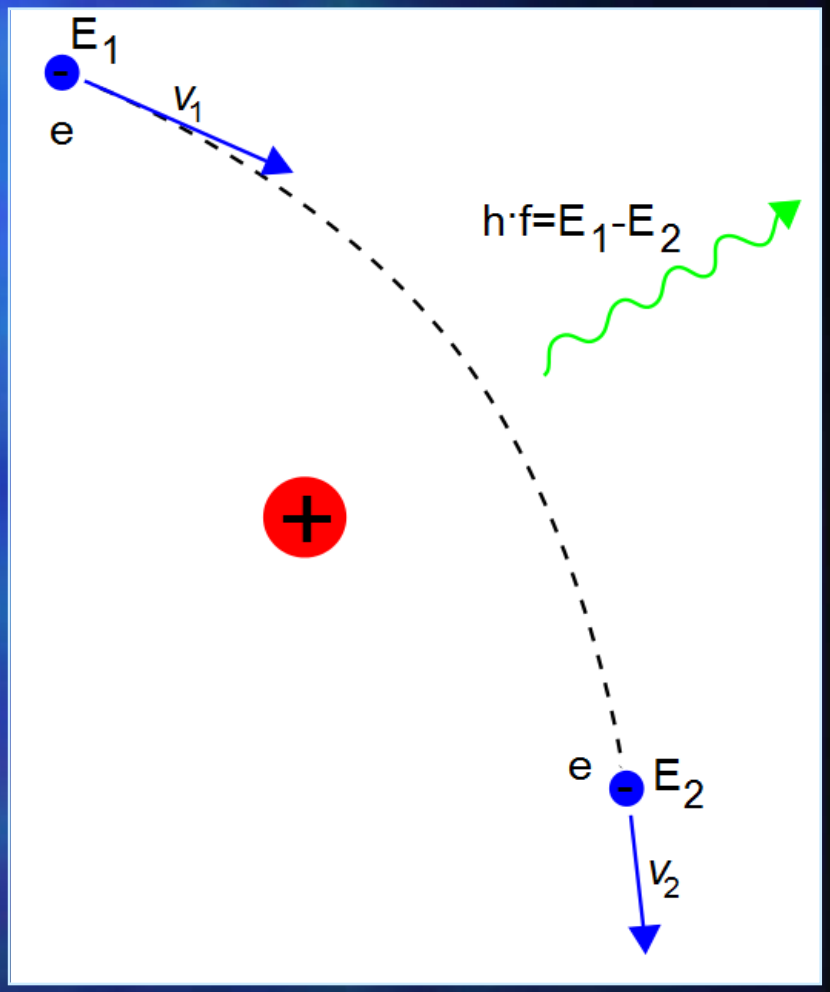
100 mill. lysår:
160 galaksehoper og grupper
2500 store galakser
25000 dverggalakser
500000 mrd. stjerner

Oppbygning av Galaksehoper

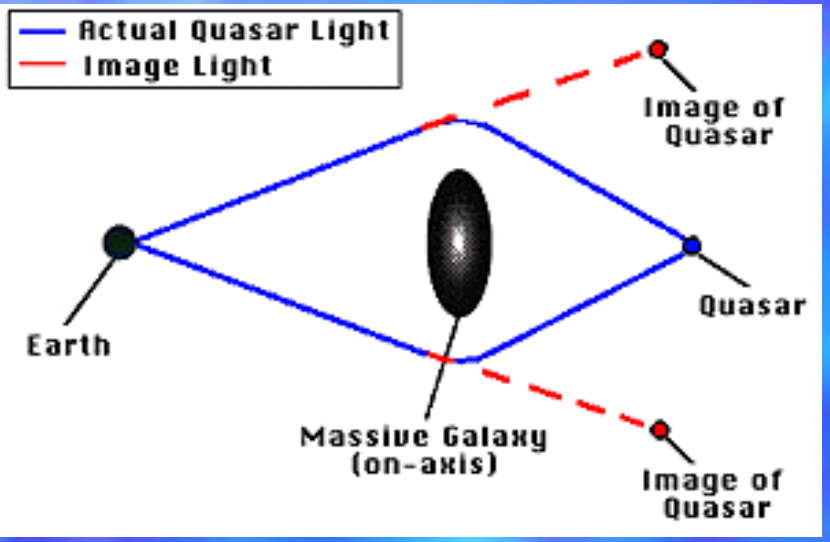
Galaksehopene består av to typer materie; synlig og mørk materie.
Det meste av den synlige materien er varm gass som opptrer mellom galaksene, såkalt intrahop medium. Den utgjør typisk 90 % av den synlige materien.

Gassen som har temperatur på 10–100 millioner grader sender ut røntgenstråling, og mengden gass er relatert til hvor mye stråling som observeres.

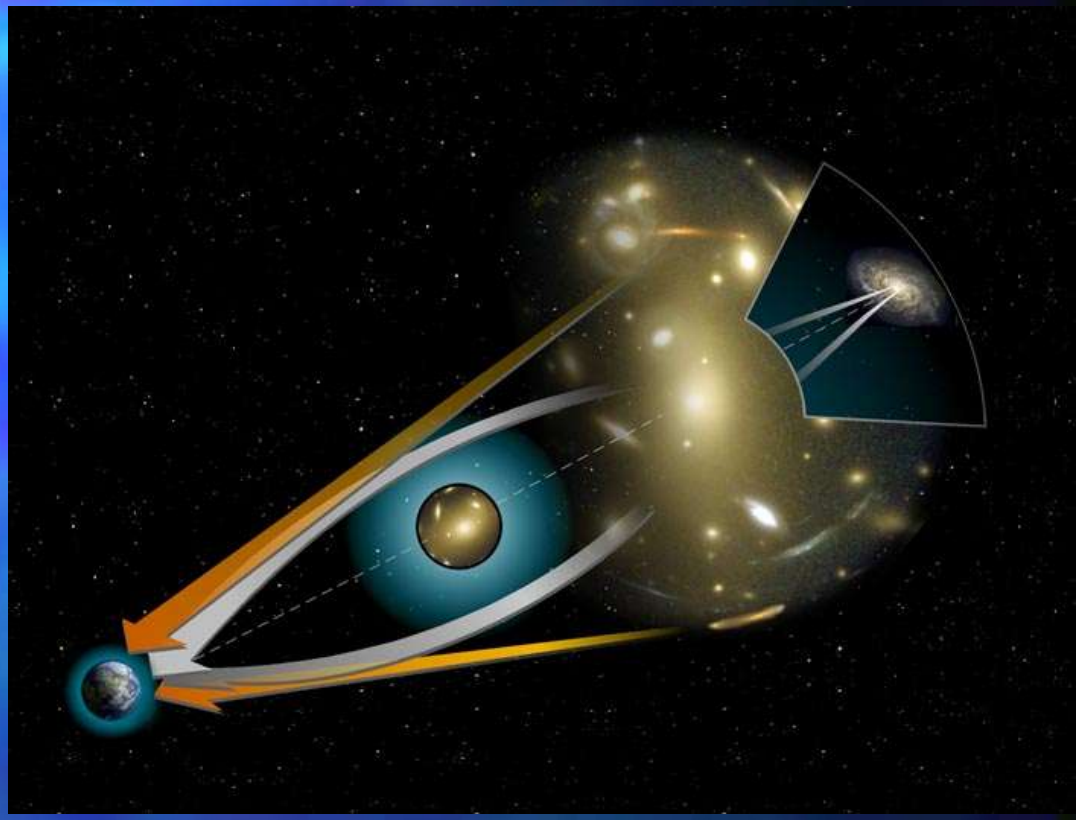
Strålingen er dominert av såkalt "brems-strahlung" som skapes i det en ladd partikkel (oftest et elektron) avbøyes av en annen ladd partikkels elektriske felt og et foton sendes ut.



Oppbygning av Galaksehoper

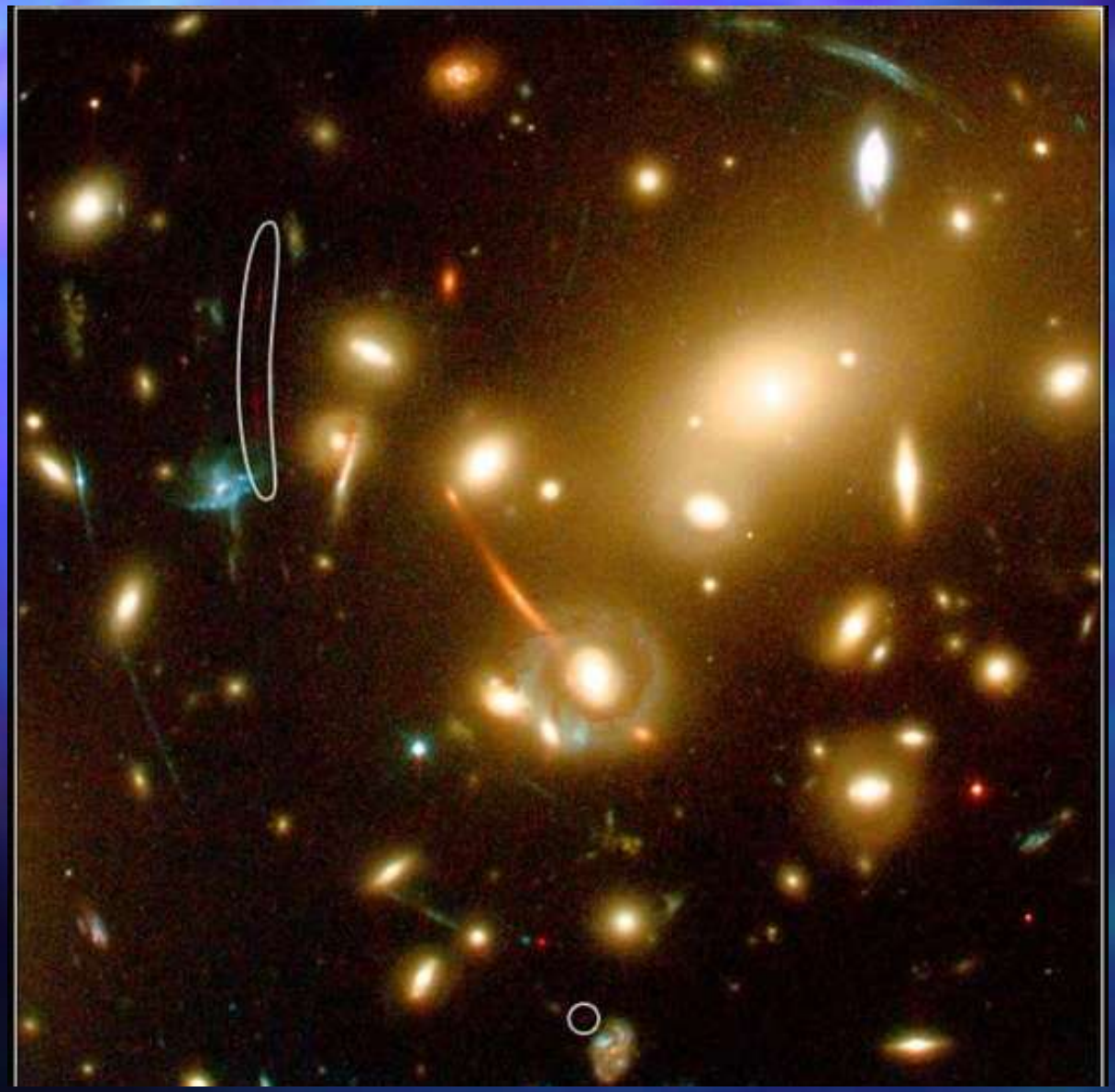


Prinsippet for gravitasjons-linsing



Den mørke materien synes alltid å utgjøre mer enn halvparten av all materie i galaksehopene og i noen hoper helt opp til 90 %. Ut fra hastighetsfordelingen til galaksene i en hop og mengde gass kan mengden av mørk materie beregnes. Ved å bruke gravitasjonslinse-effekten sammen med fordeling av synlig materie i en hop kan en kartlegge den mørke materien. Det viser seg at den mørke materien ikke er jevnt fordelt i en hop, men er konsentrert nær den synlige materien.

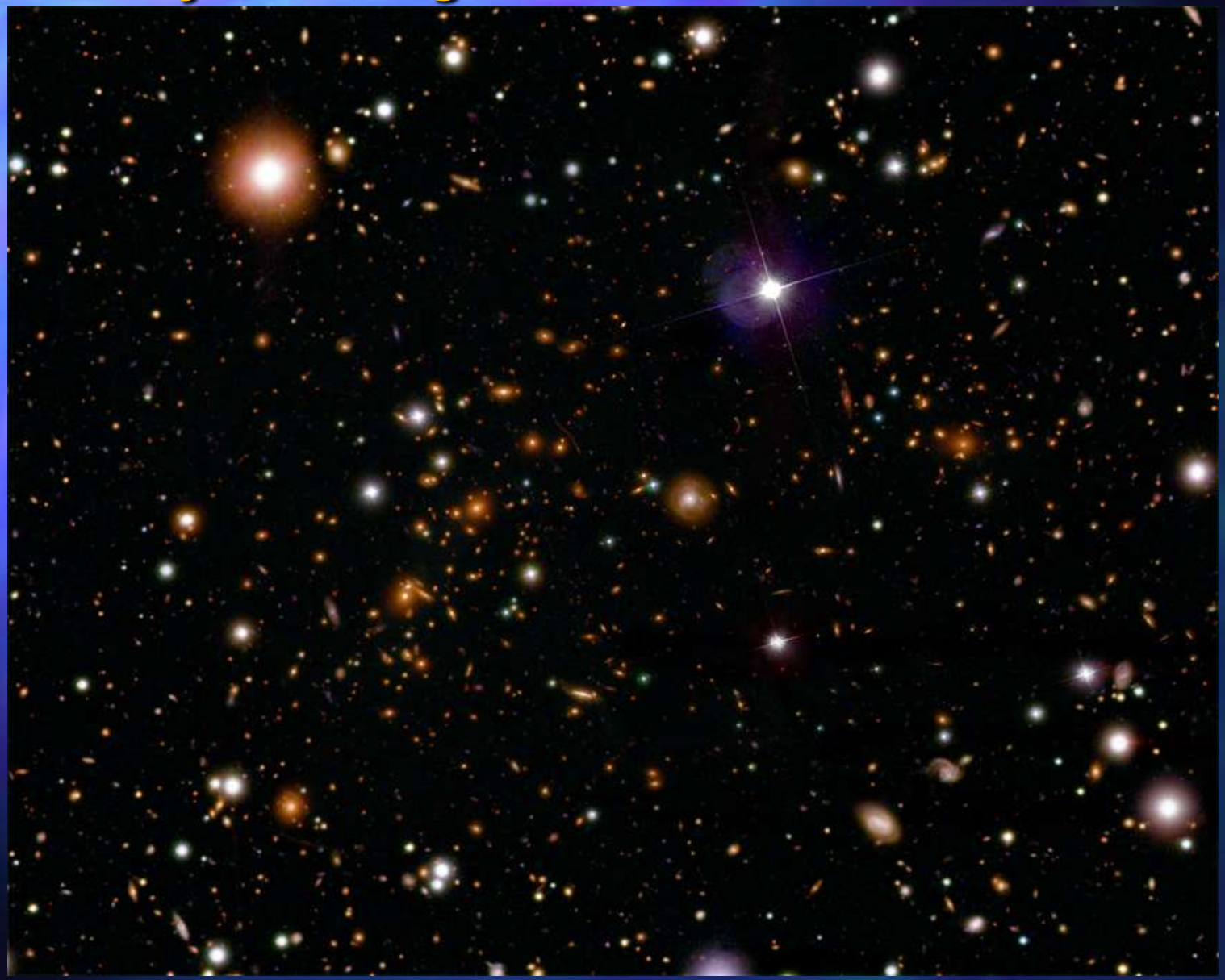
Gravitasjonslinsing



Det er imidlertid svært sjelden at en galakse befinner seg bak en hop som dette, så hva gjør vi da?

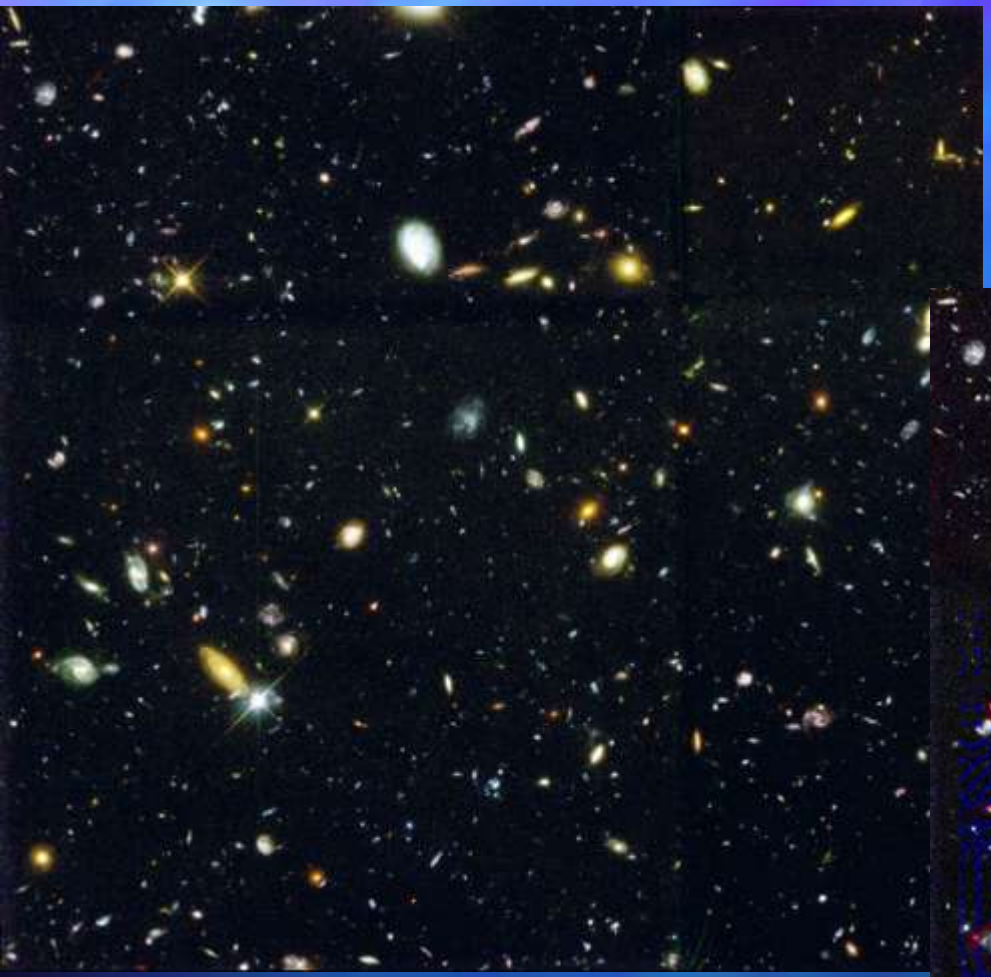
Eksempel på gravitasjonslinseeffekten i galaksehopen Abell 2218

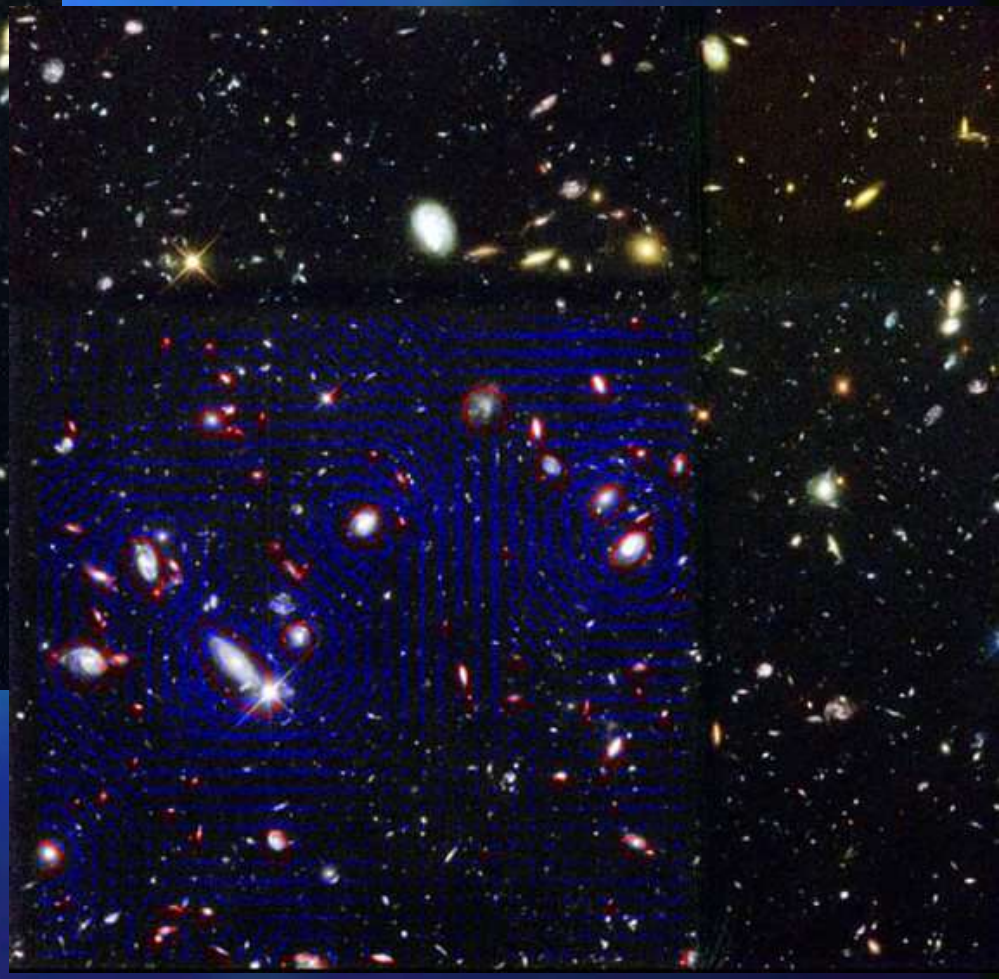
Gravitasjonslinsing



La oss ta en enormt rik galaksehop som denne. Her er det ikke noen galakser i bakgrunnen. Hvordan kan vi nå kartlegge den mørke materien?

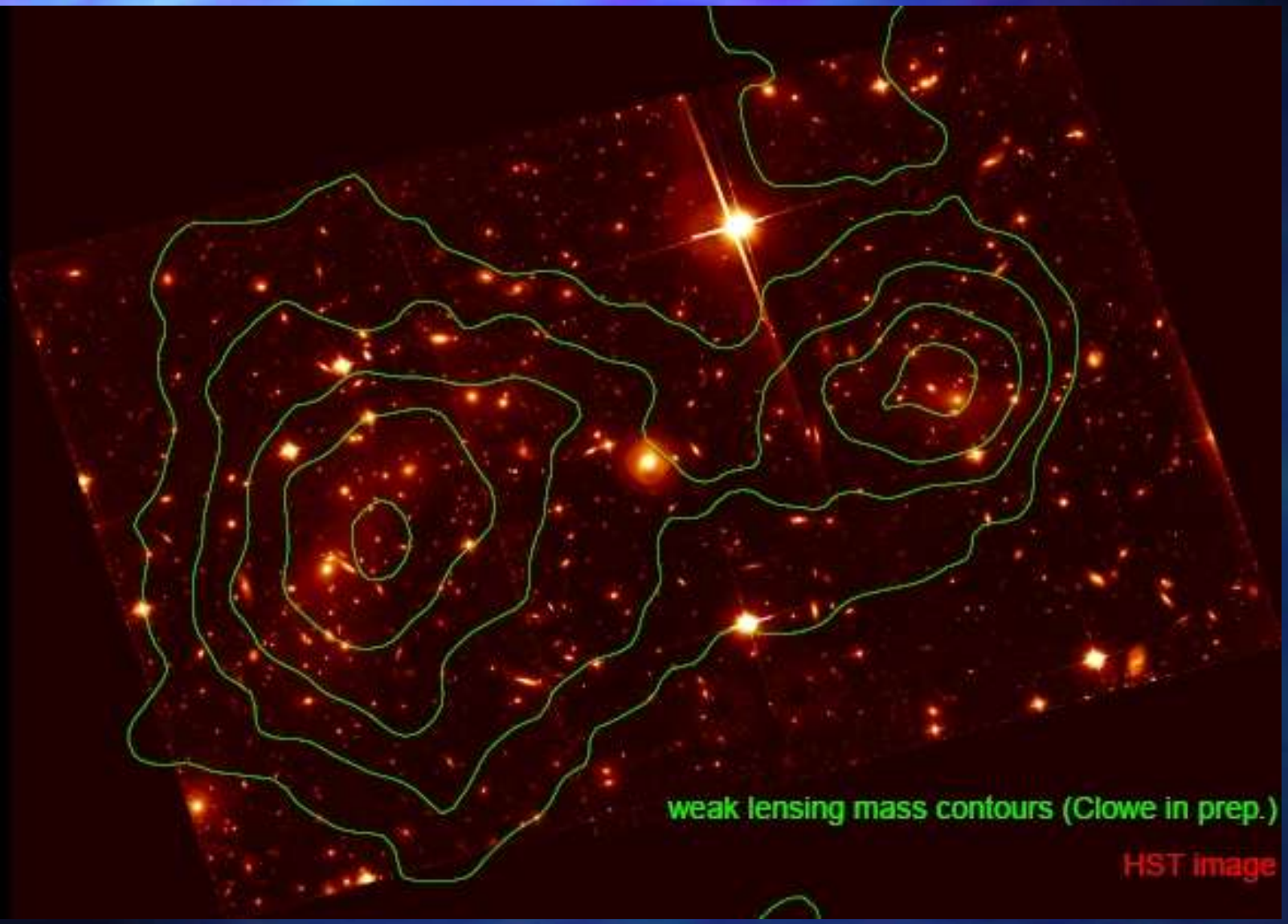
Gravitasjonslinsing





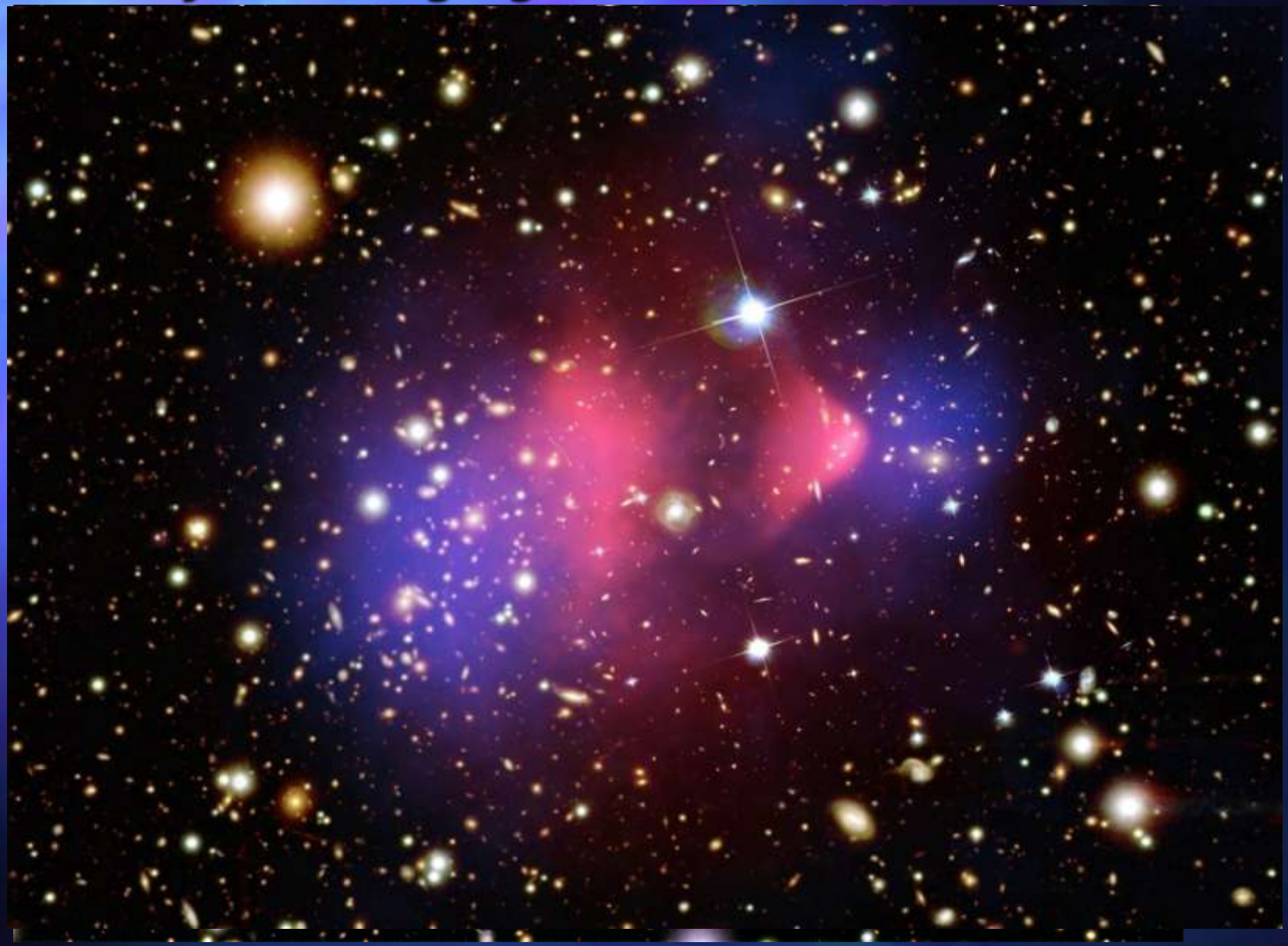
Prinsippet for såkalt svak gravitasjonslinsing.

Gravitasjonslinsing



Ved å kartlegge hvordan fjerne galakser i en hop forvrenges på grunn av mer nærliggende materie kan en finne fordelingen av mørk materie i hopen.

Gravitasjonslinsing og Mørk materie



Dette er den såkalte Bullet cluster og resultatet av kartleggingen. Det blå er mørk materie og det rosa røntgenstrålingen fra det intergalaktiske medium.

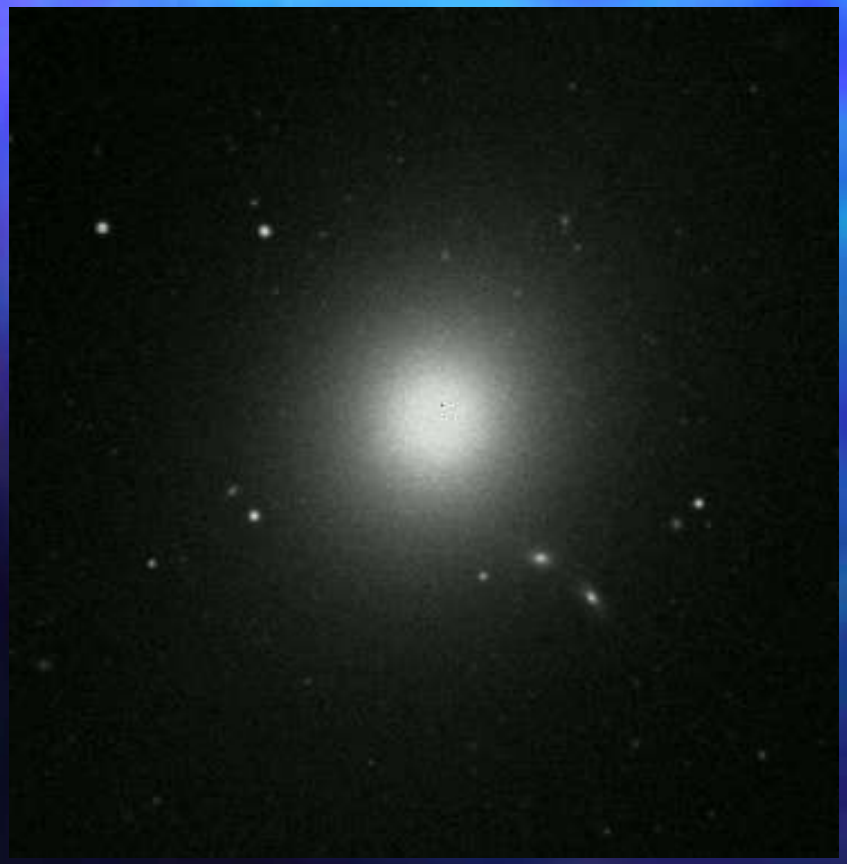
Gravitasjonslinsing og Mørk materie

Materiefordeling:
Galakser 5 %
ICM (gass) 20 %
Mørk materie 75 %

Abell 2744, også kjent som Pandora hop.

Klassifikasjon av galaksehoper

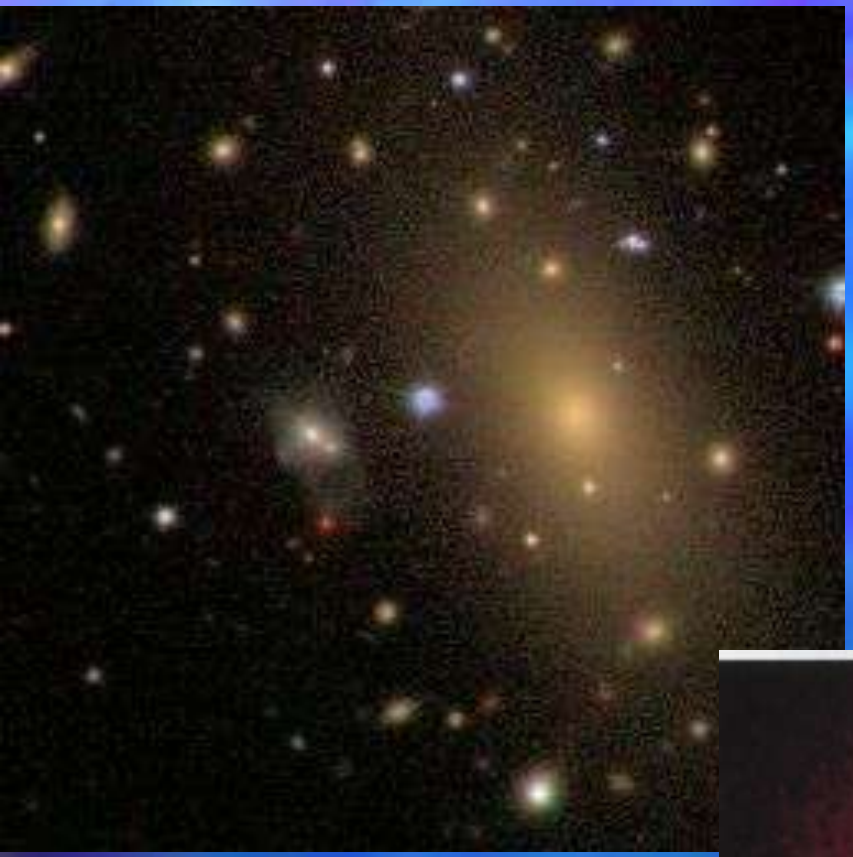
Galaksehopene er forskjellige når det gjelder antall og fordeling av de ulike galaksetypene. Dette har gitt opphav i ulike måter å klassifisere hopene på. Klassifikasjonene baserer seg blant annet på konsentrasjon av galaksene (kompakt til åpen), fordeling av de mest lyssterke galaksene, tilstedeværelse eller fravær av en cD galakse, underhoper, morfologi til de dominerende galaksene.



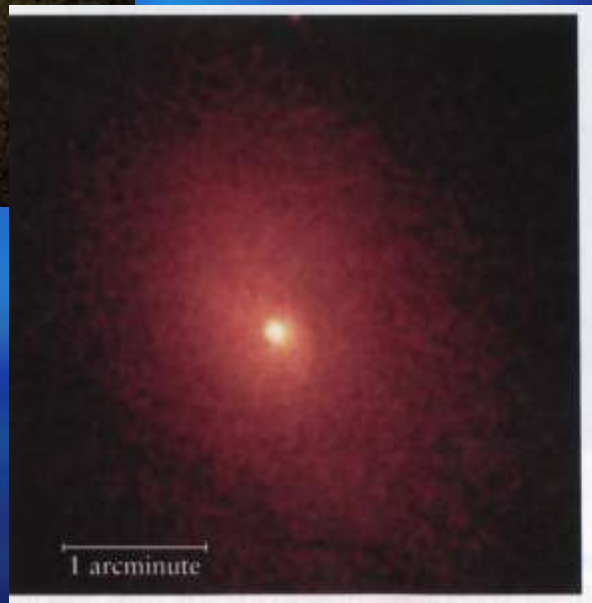
cD galakser er gigantiske elliptiske galakser som oftest finnes i eller nær sentrum av de største og rikeste galaksehopene *(cD = centrally-dominant)*. De tilsvarer E og S0 galakser i Hubbles klassifikasjon, men er mange ganger større. De dannes som resultat av sammensmelting og kollisjoner av mange galakser. De finnes derfor i de største og rikeste hopene.

M87 i Virgohopen

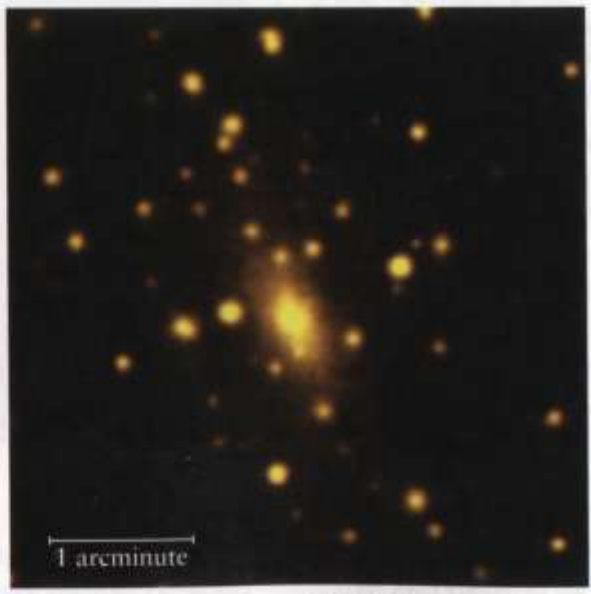
cD galakser



Den aller største av cD galaksene vi kjenner er IC1101 i hopen Abell 2029 i stjernebildet Serpens (Slangen). Diameteren er hele 5.5 millioner lysår. Til sammenligning er avstanden mellom Melkeveien og Andromedagalaksen 2.5 millioner lysår. Det er anslått at IC 1101 inneholder 100 billioner stjerner (10^{14} solmasser).

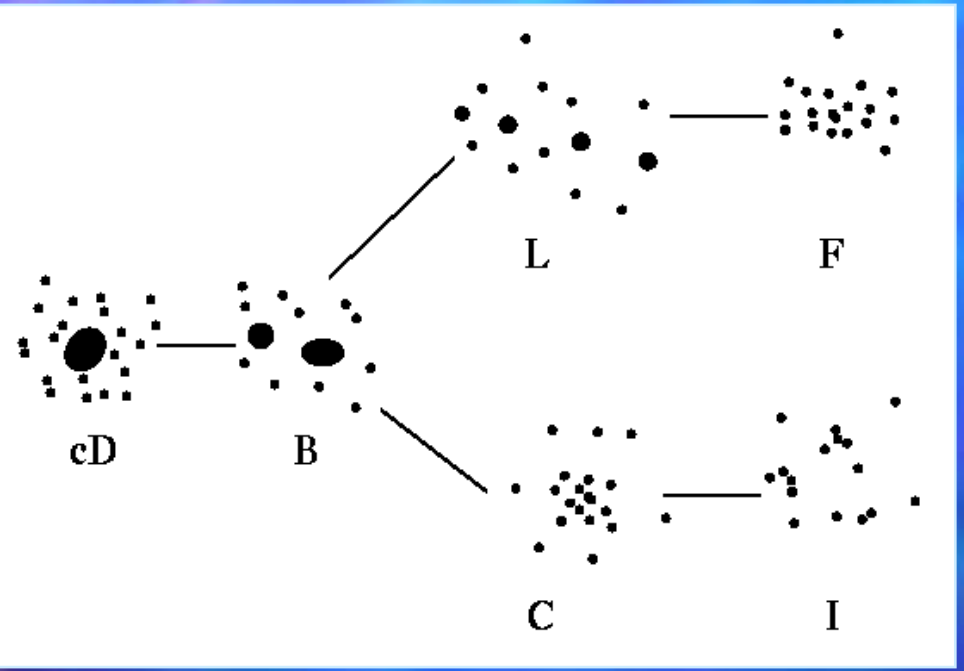


(a) An X-ray image of Abell 2029 shows emission from hot gas. R I V U **X** G



(b) A visible-light image of Abell 2029 shows the cluster's galaxies. R I **V** U X G

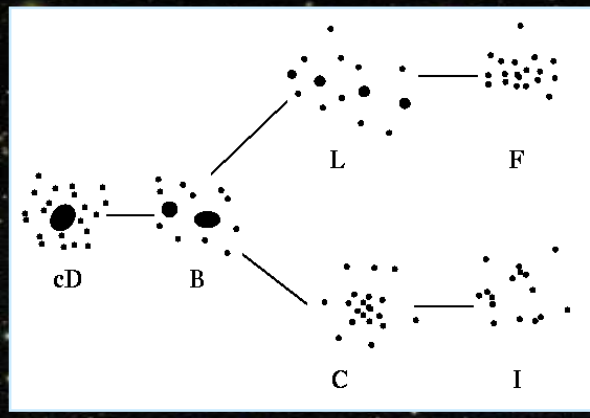
Klassifikasjon av galaksehoper – Rood-Sastry



cD – dominerende elliptisk (cD) galakse
B – to dominerende galakser
L – lineær fordeling av galakser
F – Flattrykt fordeling
C – tydelig kjernekonsentrasjon
I – irregulær fordeling

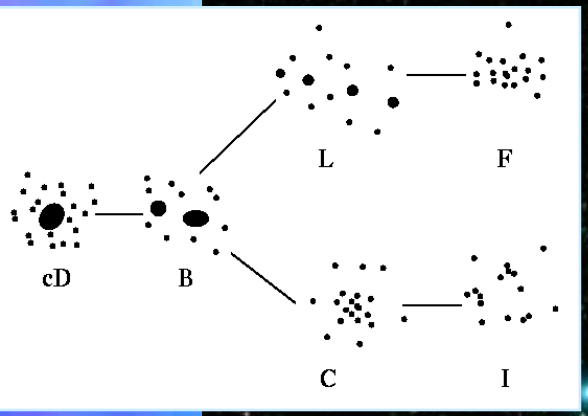
Rood-Sastry klassifikasjonen er basert på fordelingen til de 10 mest lyssterke medlemmene i en hop. Det er et slags stemmegaffeldiagram ala Hubbles klassifikasjon for galakser. Mot venstre i diagrammet øker konsentrasjonen av galakser i hopene.

Klassifikasjon av galaksehoper – Rood-Sastry



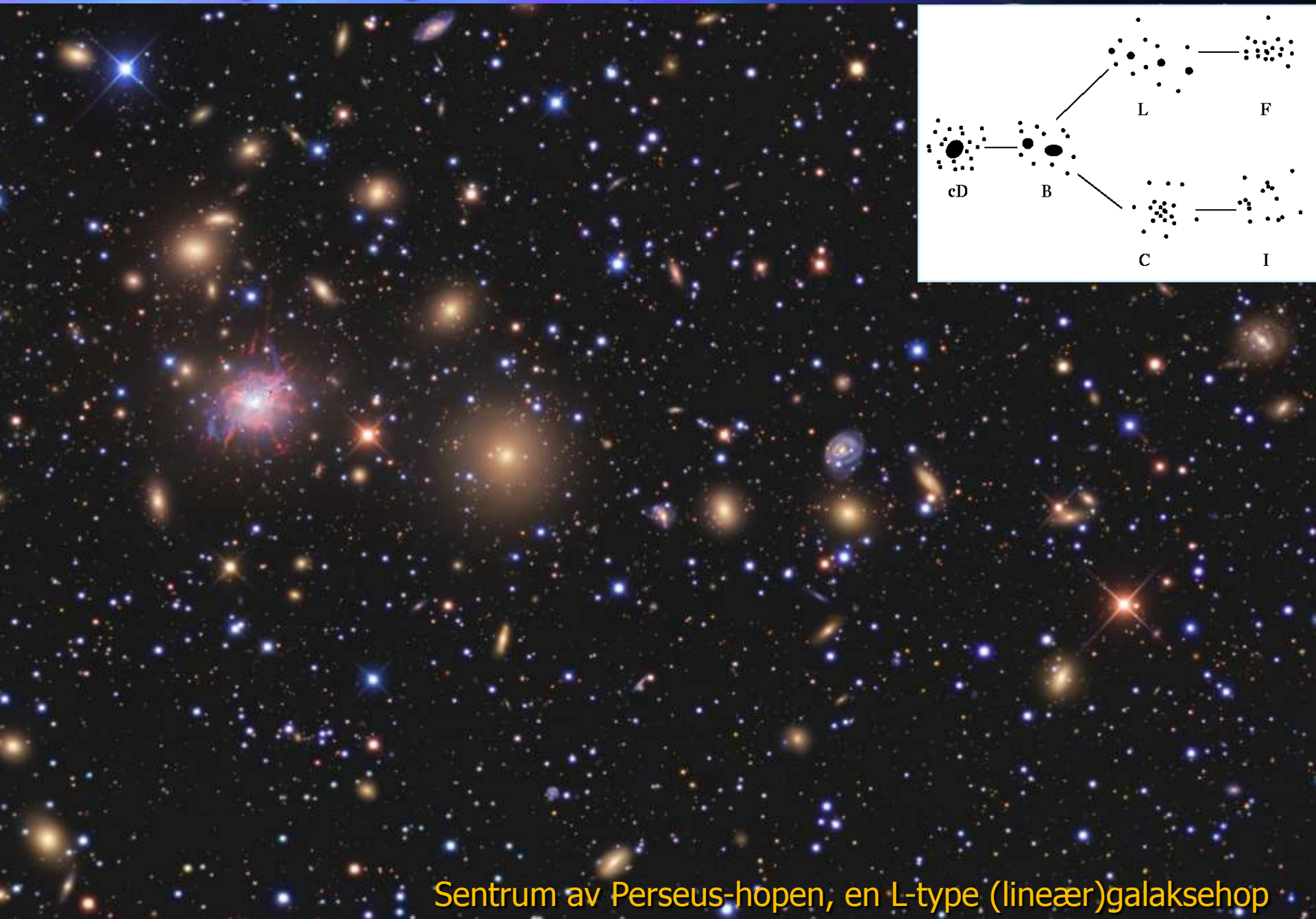
Abell 2029 en cD-type galaksehop

Klassifikasjon av galaksehoper – Rood-Sastry



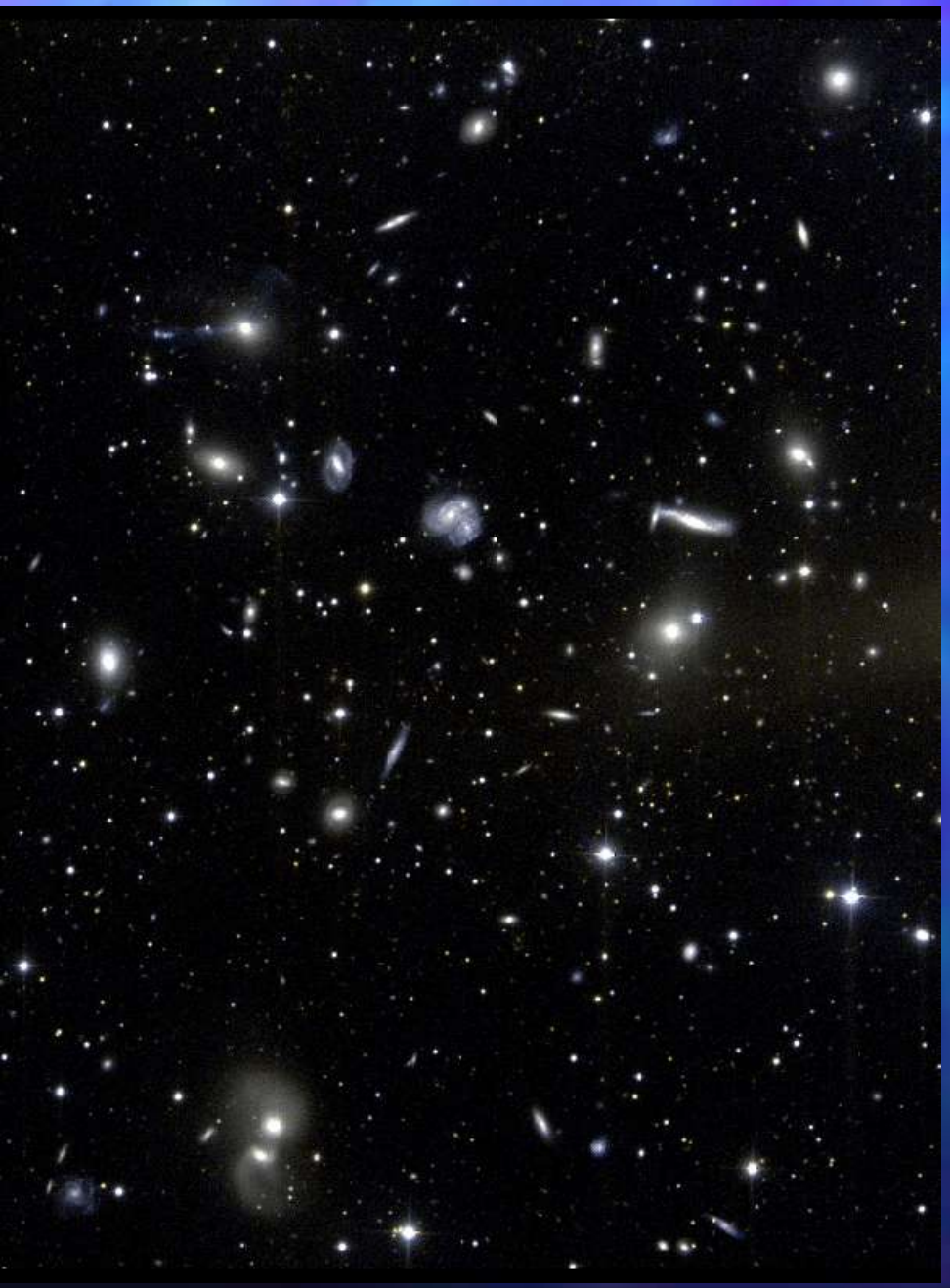
Sentrum av Coma-hopen med de to lyssterke galaksene NGC 4889 og NGC4874, en typisk B-type galaksehop

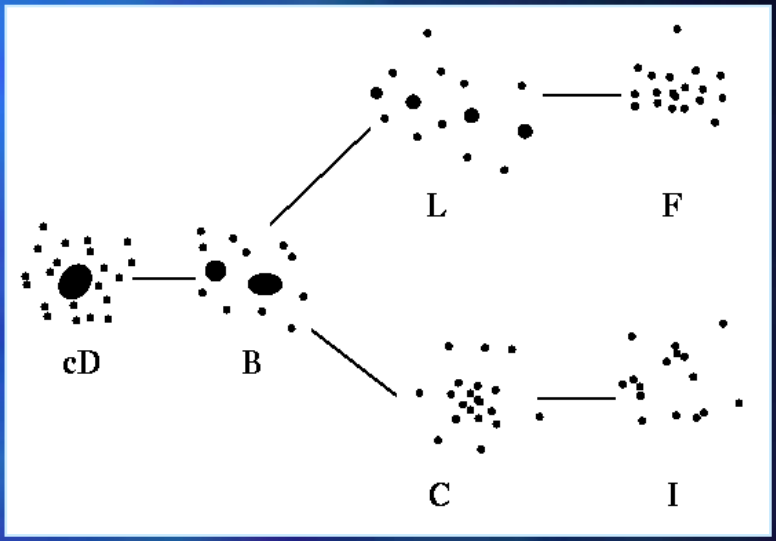
Klassifikasjon av galaksehoper – Rood-Sastry



Sentrum av Perseus-hopen, en L-type (lineær)galaksehop

Klassifikasjon av galaksehoper – Rood-Sastry





Hercules-hopen Abell 2151,
en I-type (irregulær) galaksehop

Fordeling av galaksetyper

Type:	cD	E+S0	S+I
Rike hoper	93	56	38
Fattige hoper	6	20	14
utenfor hop	< 6	< 24	48

Galaksehoper er svært viktige for å forstå utvikling til galaksene og Universet. Ved å sammenligne forskjellige typer hoper og hoper på forskjellig avstand synes det tydelig at sammensmeltning og kollisjoner mellom galakser er vanlige, spesielt i de rike hopene. Det synes også tydelig at det er flere elliptiske og store galakser i rike galaksehoper som tabellen viser. Elliptiske (E) og lentikulære (S0) er hyppigst i rike hoper, cD galakser finnes nesten bare i rike hoper mens spiralgalakser (S) og irregulære galakser (I) er hyppigst utenfor hopene.

Utvikling av galakser –tidlige modeller

I modeller fram til 1990-tallet ble det antatt at i de elliptiske galaksene hadde stjernedannelsen skjedd svært hurtig og at det var årsaken til at de hadde lite gass og at de fleste stjernene var gamle.

I spiralgalaksene og de irregulære galaksene derimot, skjer stjernedannelsen mer gradvis og kontinuerlig, noe som skulle forklare at de hadde mer av unge blå stjerner.

Det ble også antatt at galaksene i stor grad var isolerte selv-regulerende systemer. Men faktum er at relativt til galaksenes størrelse, er det mindre avstand mellom dem enn mellom stjernene i Melkeveien!

Da Universet var yngre var avstanden ennå mindre, og sjansen for kollisjon mellom galakser var temmelig stor. Videre, de gamle teoriene innbefattet heller ikke mørk materie.

Galaksekollisjoner

Eksempler på galaksekollisjoner

Galaksekollisjoner – Melkeveiens dannelse

I forbindelse med de to Magellanske skyene er det observert 600 000 lysår lange filamenter av gass som følger galaksene i banene rundt vår galakse. Filamentene kan være dannet av tidevannskreftene fra Melkeveien.

SagDEG, en elliptisk dverggalakse i Sagittarius (Skytten), ble funnet ved en tilfeldighet i 1994. Galaksen befinner seg på motsatt side av Melkeveiens sentrum, men stjerner fra den er faktisk spredt i en gigantisk bue rundt vår galakse.

Noen forskere har funnet indikasjoner på at SagDEG og den Store Magellanske Sky begge er deler av en større galakse som ble revet fra hverandre da den kom nær Melkeveien.

Melkeveiens dannelse

Utvikling av galakser –Datasimuleringer

Det er gjort en rekke datasimuleringer for å forsøke å forstå hva som skjer når to store spiralgalakser kolliderer.

Slike modelleringer må ta med i betraktning påvirkningen fra gravitasjonen fra så mange stjerner og gass-skyer som mulig og hva som skjer med dem. Dette krever enorm datakraft og i de seineste simuleringene har forskerne brukt datamaskiner i superklynger for beregningene.

De gir et realistisk bilde på det som skjer og i tråd med hva teoretiske modeller også dels forutsier.

Galaksekollisjoner

Kollisjonsvideo 1 Kollisjonsvideo 2 Kollisjonsvideo 3

Videoer av simuleringer av galaksekollisjoner med supercomputere

Utvikling av galakser –dagens modeller

Modellene for galaksedannelse må ta mørk materie med i betraktning. I dag vet vi at det meste av en galakses masse ligger i en halo av mørk ”kald” materie utenfor den synlige del av galaksen.

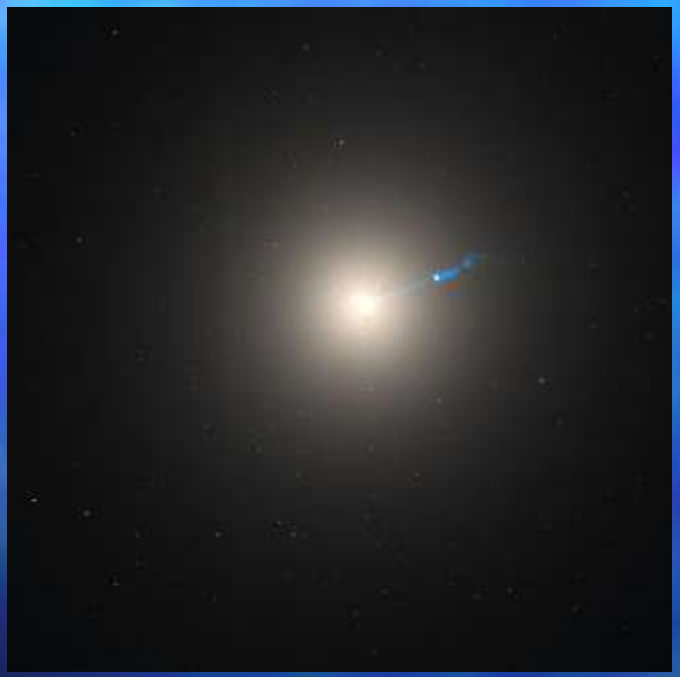
Forskerne mener at denne mørke materien er det som gjorde at gassen i en galakse ble dratt sammen av tyngdekreftene og førte til stjernedannelse.

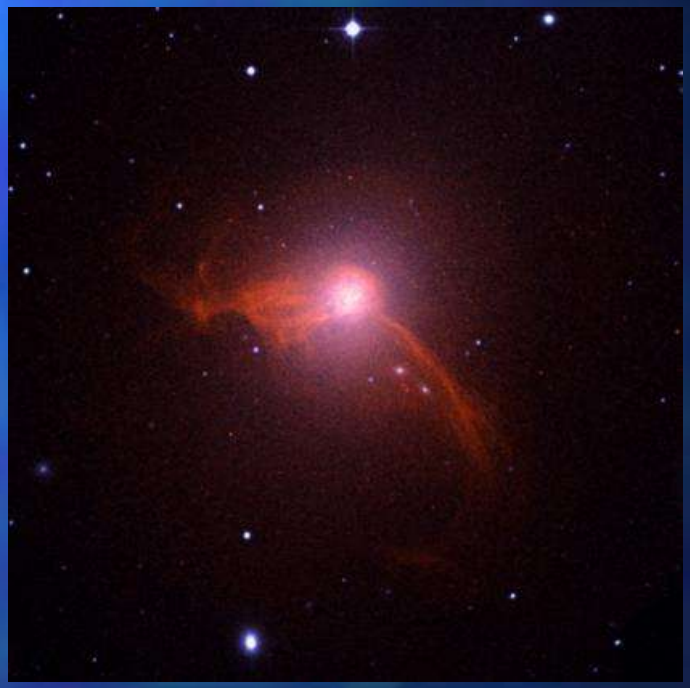
Når to galakser kolliderer og smelter sammen, smelter de to haloene av mørk materie sammen og den økte tyngdekraften fra denne samlede materien fører da til en ekstrem stjernedannelse i den nye større galaksen.

Antakelig når etter hvert galaksene en størrelse hvor de blir spiralgalakser, men det er fremdeles usikkert når dette skjer, og ved hvilken masse. Det ser hvertfall ut til at det er færre spiralgalakser i de fjernere deler av Universet

Utvikling av galakser –dagens modeller

Simuleringene støtter også opp om teoriene om at kollisjoner mellom store spiralgalaksene fører til dannelse av elliptiske galakser. I motsetning til de mer regelmessige stjernebevegelsene i en spiralgalakse beveger stjernene seg i alle retninger i elliptiske galakser. Dette begynner man også å se ved å ta gassdynamikk med i betraktning i datasimuleringene.





M87 er et eksempel på dannelsen av en gigantisk elliptisk galakse som følge av kollisjoner og sammensmelting av en rekke mindre og større galakser. Galaksen sender ut store mengder energi gjennom jetstråler og minner sterkt om en kvasar. Det supermassive svarte hullet har en masse på hele 7 milliarder solmasser!

Utvikling av galakser –dagens modeller

Simuleringene bekrefter at galakser vokser ved å kollidere og smelte sammen.

Gravitasjonskrefter som slippes løs under sammensmeltingen viser seg å lede gass inn mot kjernen av galaksen og fører til intens stjernedannelse.

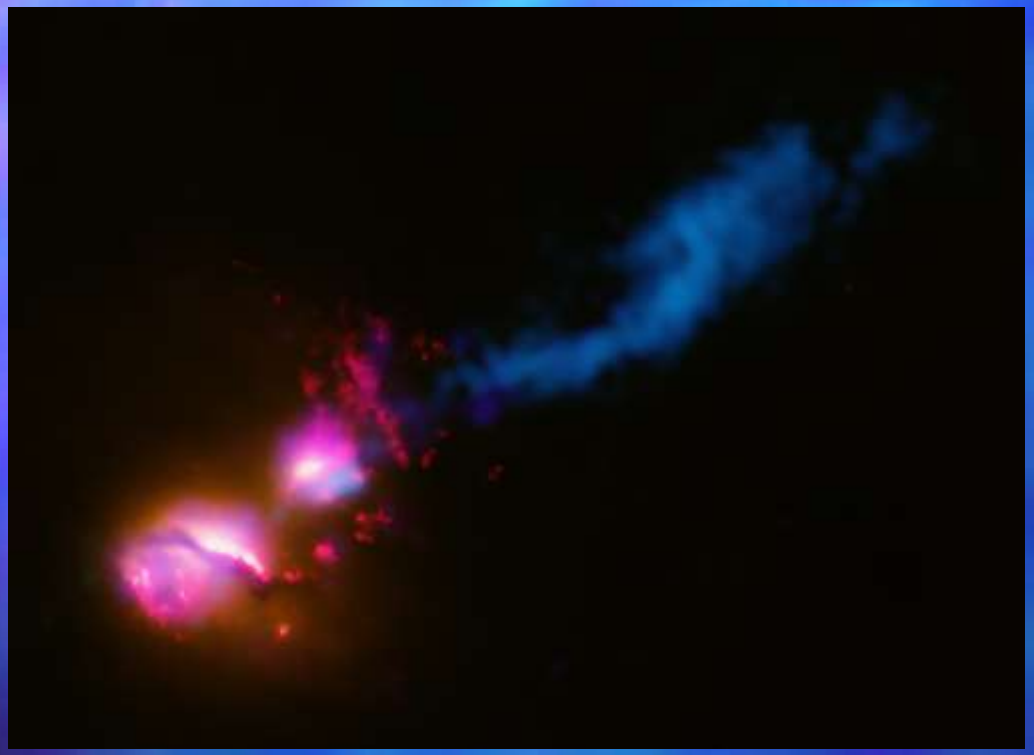
De store mengdene gass fører også til at det sentrale svarte hullet vokser hurtig, faktisk nærmest eksponentielt. Gassen rundt hullet varmes opp til ekstremt høye temperaturer og genererer ufattelig store mengder energi. Det dannes en kvasar.

Men når energien fra kvasaren overstiger en kritisk verdi, dannes det en ekstremt energirik overopphetet plasmastråle som blåser vekk all gass fra det svarte hullet. Dette gjør at det ikke er mer materie som kan falle inn mot hullet og hele systemet kollapser.

Simuleringene viser også at kvasarfasen kan vare bare om lag 10 millioner år. Dette kan forklare hvorfor kvasarer er så sjeldne nå og sees bare på store avstander. De hadde sin storhetstid da Universet var bare noen få milliarder år gammelt og galakse-sammensmeltninger var langt mer vanlig.

Kvasar-video

Utvikling av galakser –dagens modeller



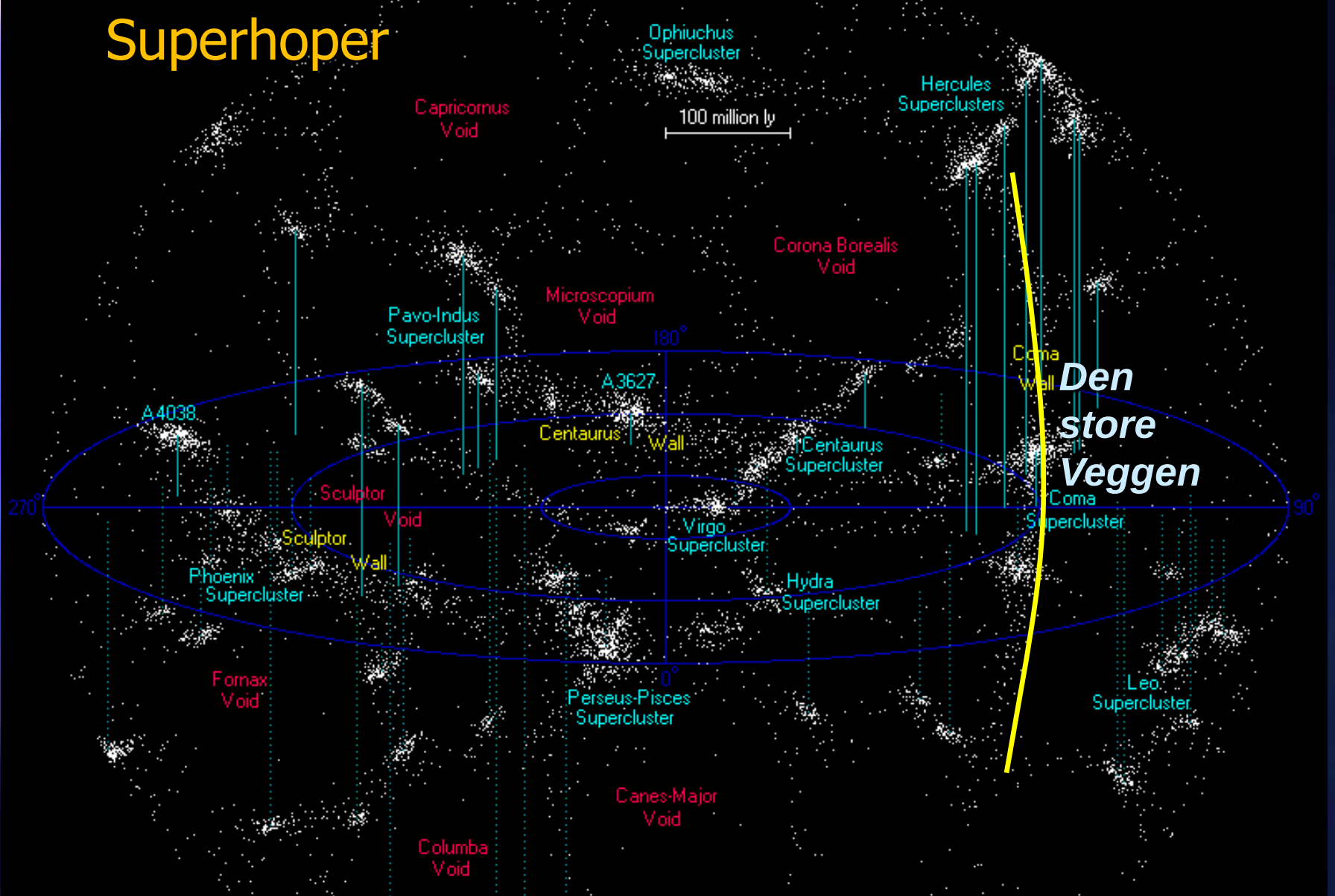
To kolliderende galakser, der den største har et supermassivt svart hull som har sendt ut en ekstremt energirik jetstråle som treffer den andre galaksen.
Begge galaksene har hurtig voksende sorte hull.

Bilder tatt i synlig lys og UV (Hubble), røntgen (Chandra) og radiobølger (VLA og Merlin).

Simuleringer av galakse-sammensmeltninger kan også forklare hvorfor de sentrale svarte hull i galaksene nesten alltid har en masse som er 0.2 % av massen i enten den sentrale utbulningen i spiralgalakser eller hele massen i elliptiske galakser. Det er nemlig slik at når det sentrale svarte hullet når en gitt kritisk masse dannes det en kvasar, som da vil blåse galaksen fri for gass.

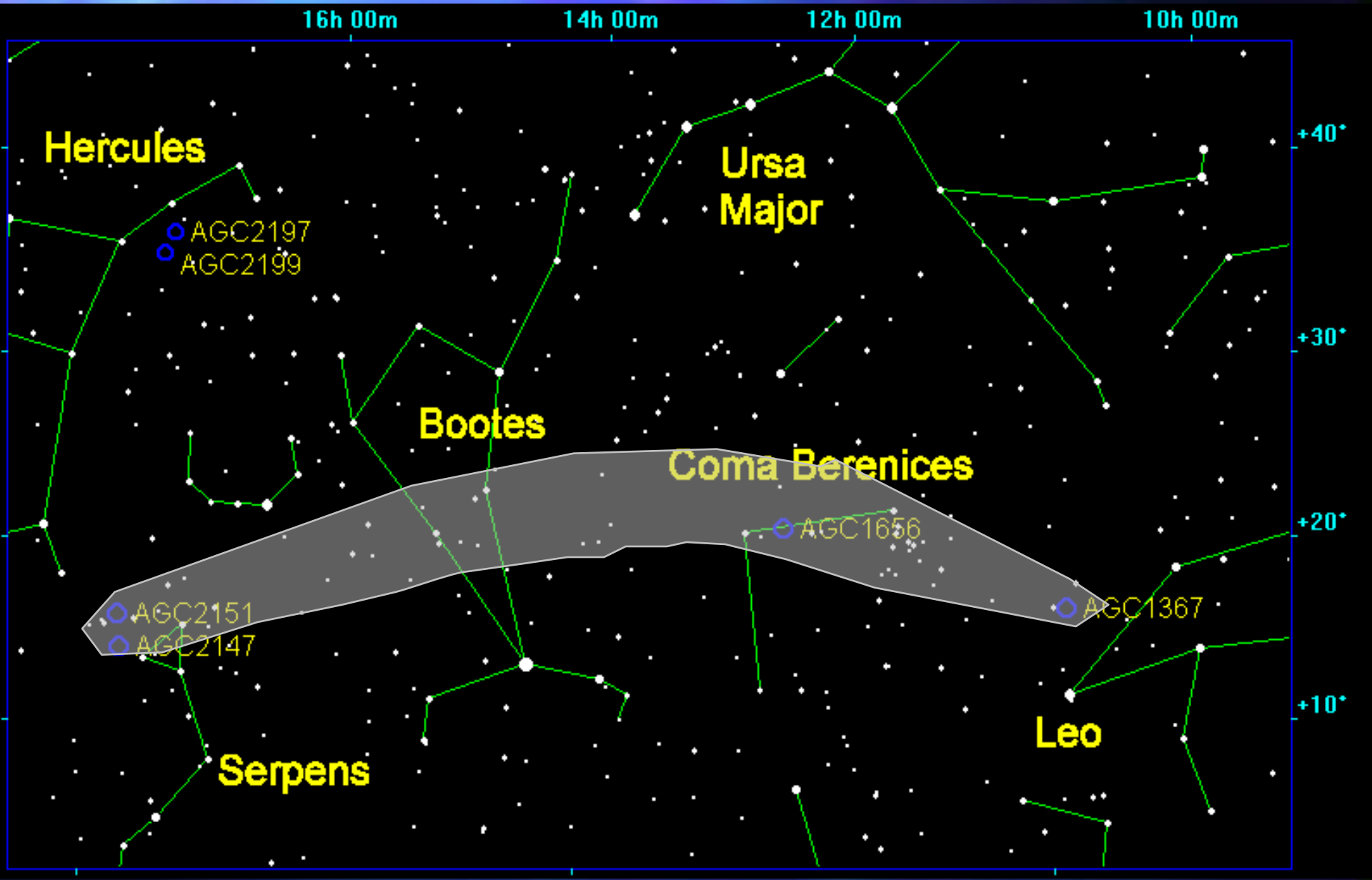
De store strukturene
- og litt om Universets utvikling

Superhoper

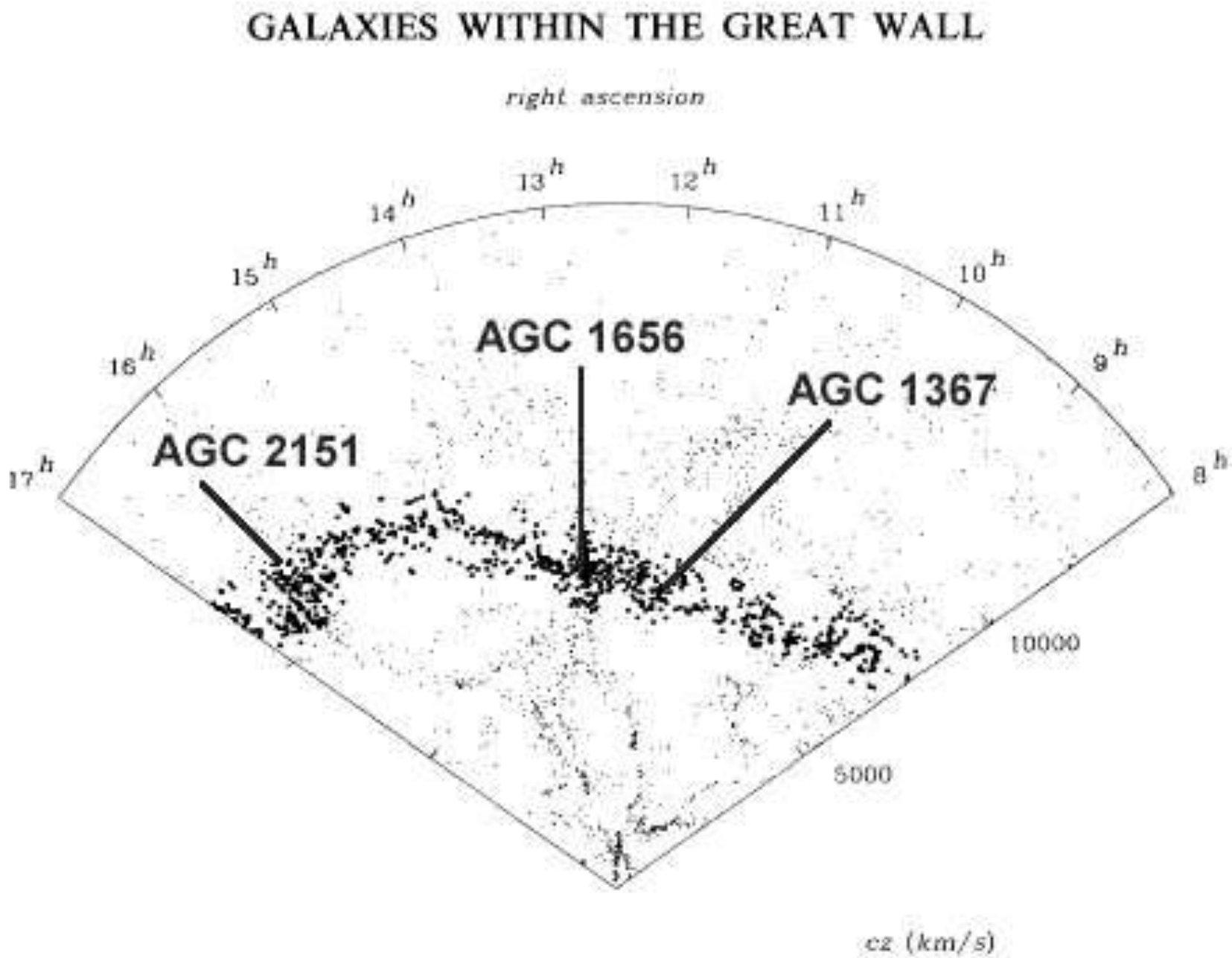


Galaksehopene er ikke jevnt fordelt i Universet, men danner store ansamlinger eller filamenter som omgir mer tomme rom der det ikke synes å være noen galakser. Disse ansamlingene kalles superhoper. Filamentene kan ha lengder på mange hundre til en milliard lysår.

"Den Store Veggen"

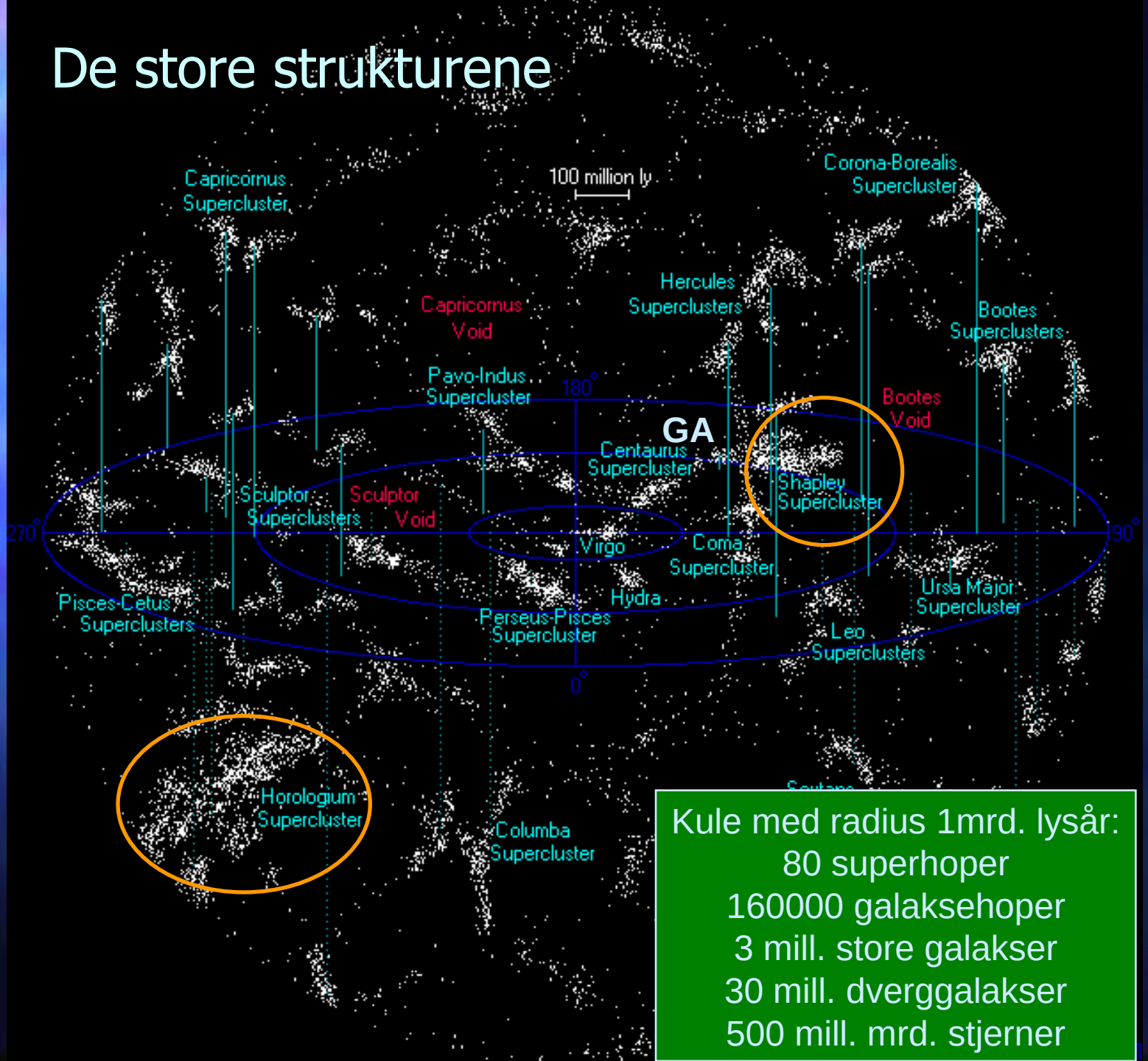


"Den Store Veggen"



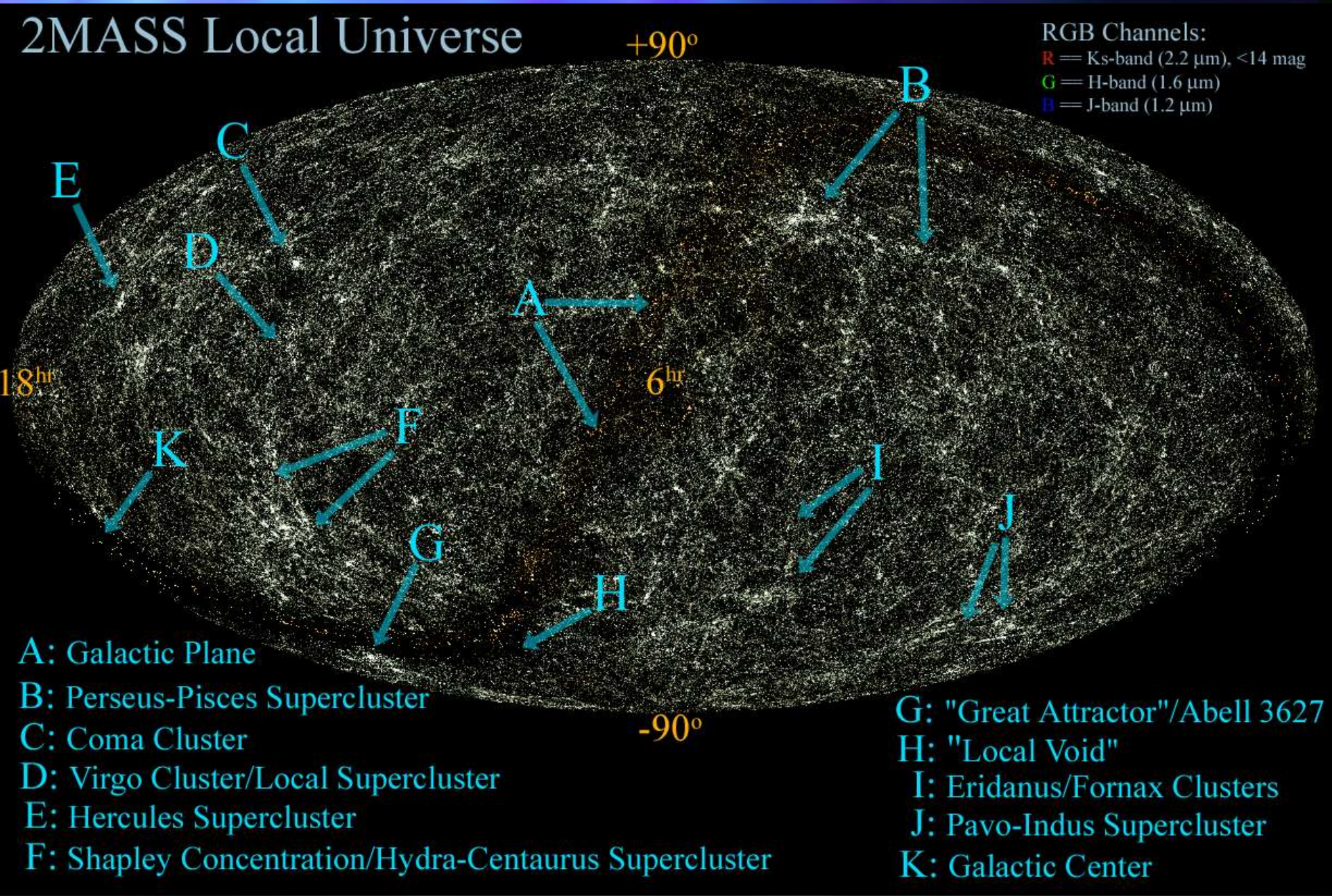
Abell 2151 en del av Herkules superhopen

De store strukturene

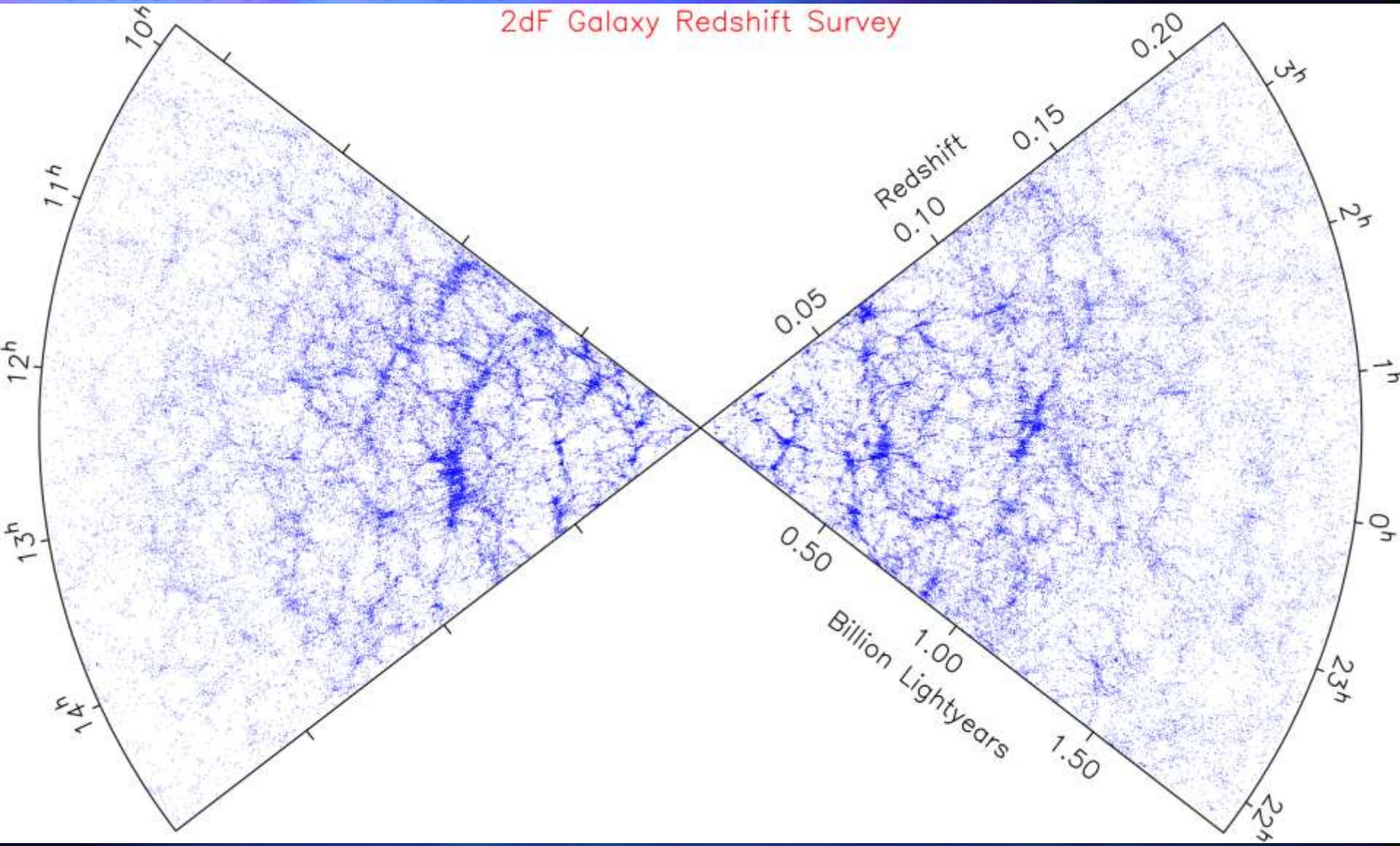


Kule med radius 1mrd. lysår:
80 superhoper
160000 galaksehoper
3 mill. store galakser
30 mill. dverggalakser
500 mill. mrd. stjerner

De store strukturene

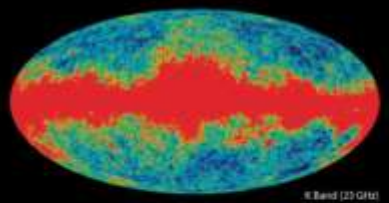


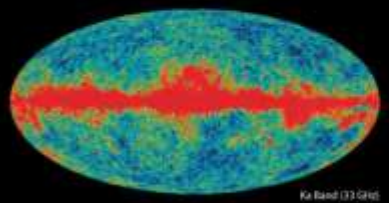
De store strukturene

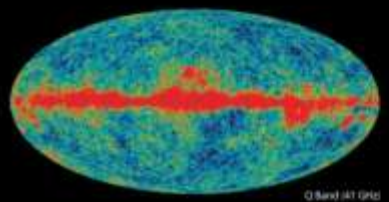


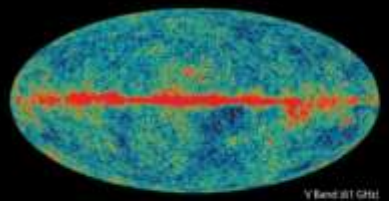
Fordelingen av 220000 galakser. ut til 2 mrd. lysår. Galaksehopene er altså ikke jevnt fordelt. De danner filamenter som er mange hundre til en milliard lysår i utstrekning. Mellom disse er det områder med få eller ingen galakseansamlinger.

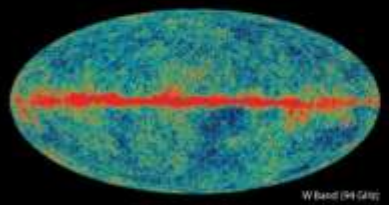
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)



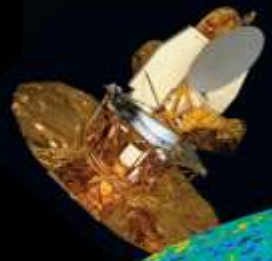


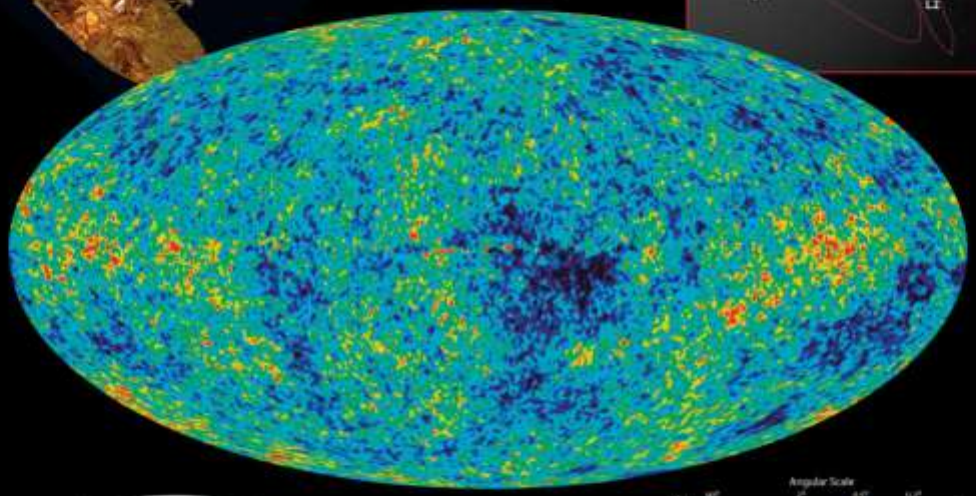


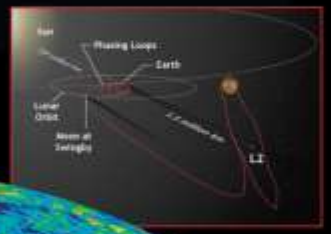


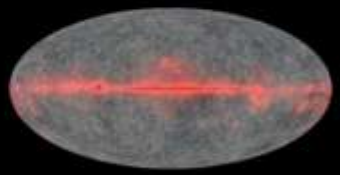


WMAP Full-sky Maps

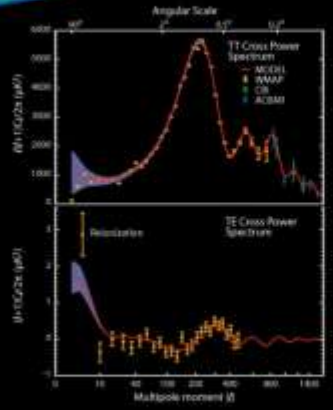


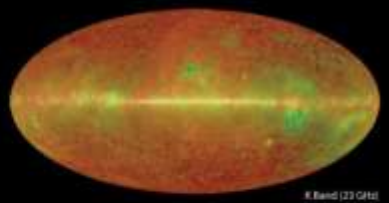


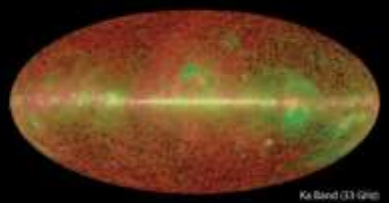


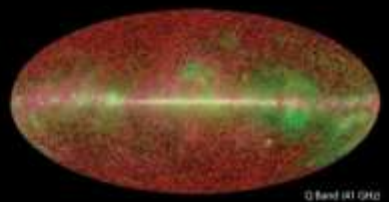


WMAP Foregrounds vs. Cosmic Microwave Background





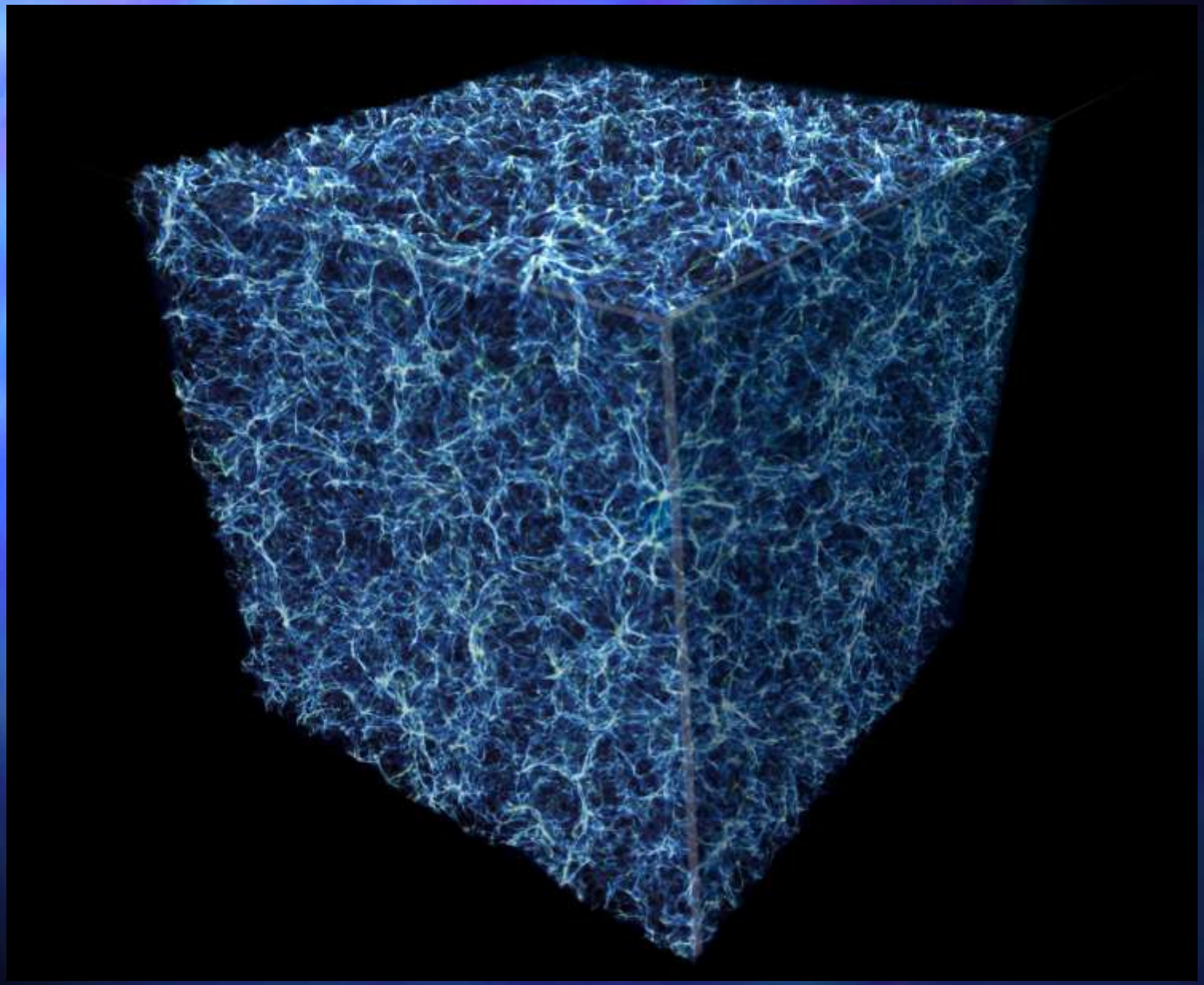




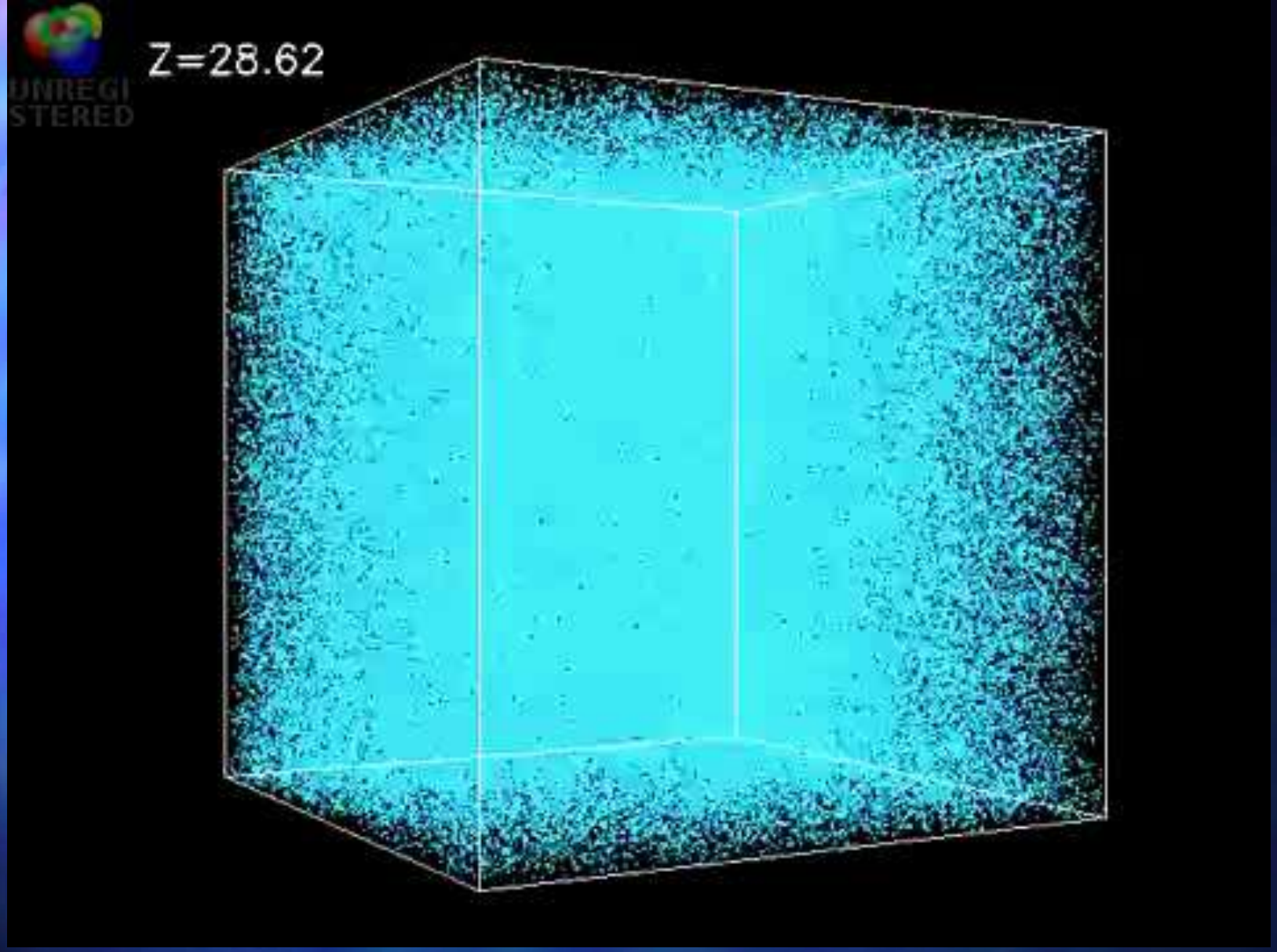
WMAP Foregrounds

Goddard Space Flight Center • Princeton University • University of Chicago • UCLA • University of British Columbia • Brown University
http://map.gsfc.nasa.gov • http://lambda.gsfc.nasa.gov

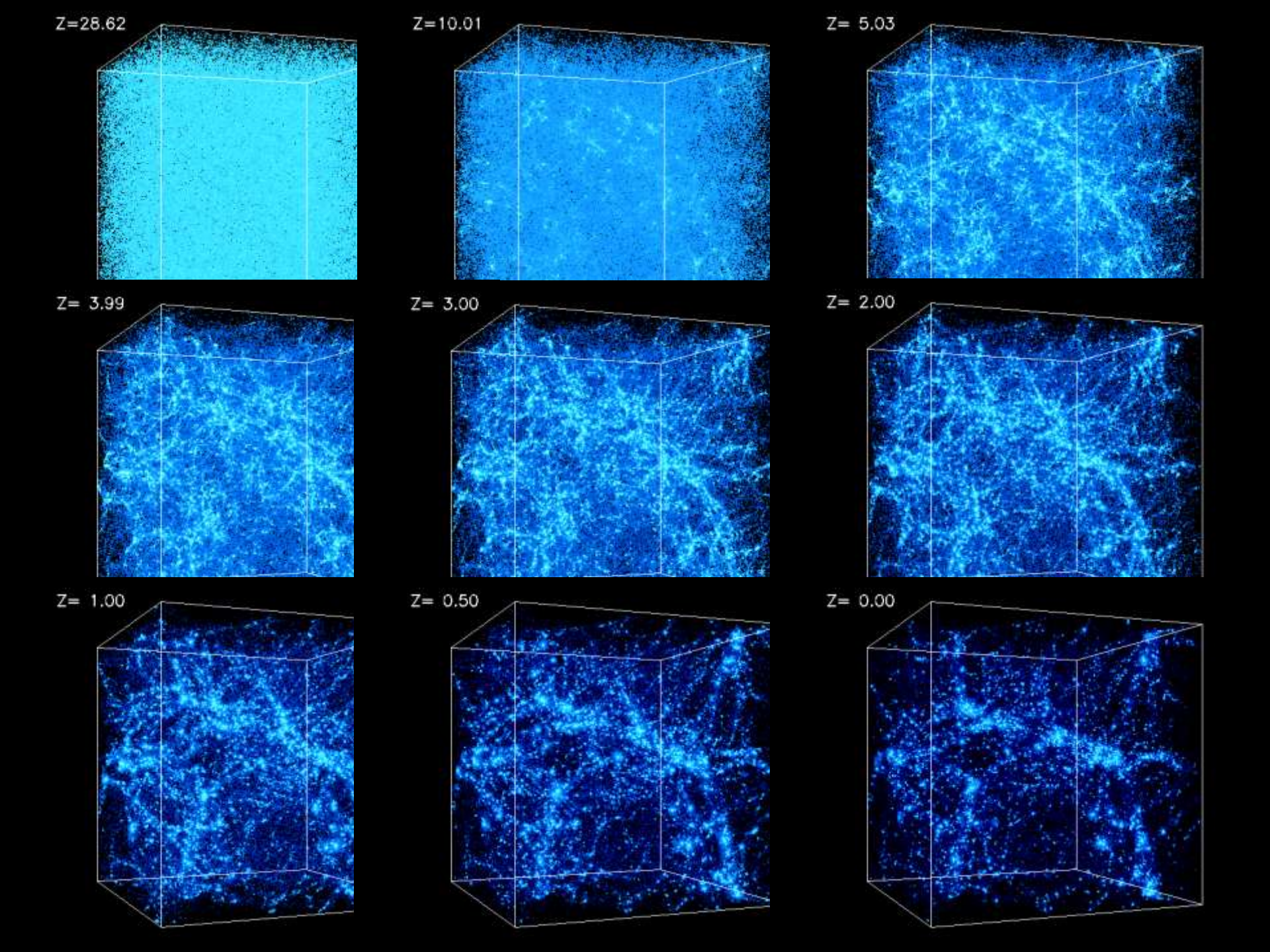
De store strukturene



Datasimulering av strukturene i Universet



Simulering som viser utvikling galaksehoper og filamenter i en såkalt kald mørk materie modell med mørk energi. Boksen er 140 millioner lysår i omkrets og utviklingen er fra rødforskyvning z = 28.62 til nå (z=0).


Z=28.62
Z=10.01
Z= 5.03
Z= 3.99
Z= 3.00
Z= 2.00
Z= 1.00
Z= 0.50
Z= 0.00