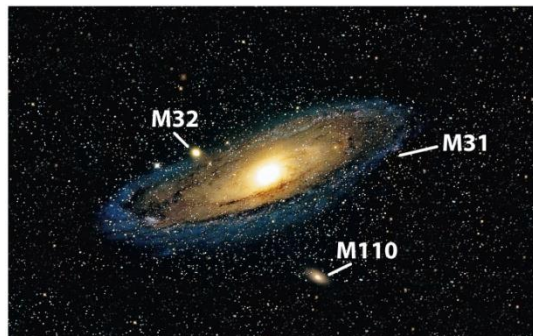


# Leksjon 15: Galakser, stjernehopper og avstander i universet

## 1.1 Andromeda galaksen og Kassiopeia



Andromeda galaksen M31, vi ser også satellitt galaksene M32 og M110

Edwin Hubble (1924) tok mange bilder av Andromeda tåken, han sammenliknet bildene og oppdaget en lyssvak Cepheide stjerne i tåken. Fant stjernens tilsynelatende lysstyrke og bestemte avstanden ut til M31. Hubble konkluderte med at Andromeda tåken måtte ligge på utsiden av Melkeveien.

Beregninger basert på data av ny dato viser at avstanden til Andromeda tåken er 2,5 millioner lysår. Den har en diameter som er 230 000 lysår. Til sammenlikning har Melkeveien en utstrekning på 160 000 lysår. Den tilsynelatende størrelsen på Andromeda galaksen er omtrent 6 ganger større enn fullmånen.



Andromeda galaksen M31 ligger i nærheten av Kassiopeia. Vinkelavstanden er omtrent 18 grader fra stjernen i sentrum av Kassiopeia til Andromeda galaksen (Starry Night)

## 1.2 Immanuel Kant (1724-1804) og William Herschel (1738-1822)

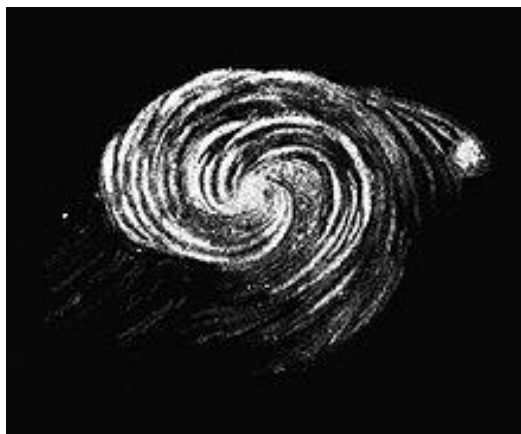
William Herschel oppdaget Uranus i 1781. Han oppdaget også en klynge tåkeflekker i stjernebildet Jomfruen (Virgo Cluster). Det var disse tåkeflekkenes som interesserte filosofen Immanuel Kant (1724-1804), han mente at disse tåkene var en samling stjerner som hadde gruppert seg utenfor Melkeveien.

Den irske adelsmannen William Parsons ble inspirert av Kant og bygde et uhyre av et teleskop i 1845. Hans ønske var å få undersøkt disse diffuse tåkene på himmelen.



(Kilde: Birr Scientific and Heritage Foundation)

Teleskoprøret (den sorte sylindere på bildet) var 18 meter langt. Speildiameteren var 1,8m.



Parsons skisse av stjernetåken M51 (kilde: Wikipedia)

William Parsons tegnet M51 slik han så tåken gjennom Uhyret. Parsons fant at den diffuse tåken M51 hadde hvirvelstruktur, som kanskje kunne være et isolert univers. Det er ikke lenger enn 100 år siden astronomene trodde de diffuse tåkene (flekkene) på himmelkula tilhørte Melkeveien og at der fantes intet utenfor Melkeveien. Det var en stor oppdagelse når astronomene forstod at dette bildet var aldeles galt. Melkeveien er bare en av milliarder andre galakser i universet som er strødd utover et volum som har en utstrekning på mange milliarder lysår.



Kilde: NASA/Hubble teleskopet

[M51](#) har fått navnet Malstrøm galaksen, den har størrelsen  $8 \times 11$  bueminutter. Galaksen på bilde blir også kalt for NGC 5194, vi ser glødende H II områder som markerer spiralarmene. I disse områdene blir stjerner dannet. Bildet viser også en spiralarm som streker seg mot galaksen NGC 5195. Gravitasjonskreftene knytter disse to galaksene sammen. Hvirvelgalaksen (M51) ligger omtrent 4 grader fra stjernen Alkaid, stjernen i bjørnens haletipp

### 1.3 Vår galakse – Melkeveien

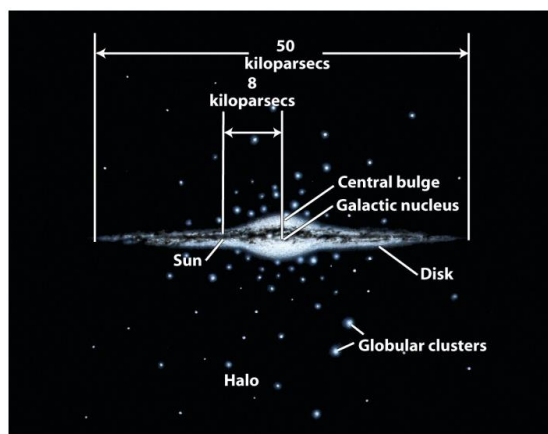
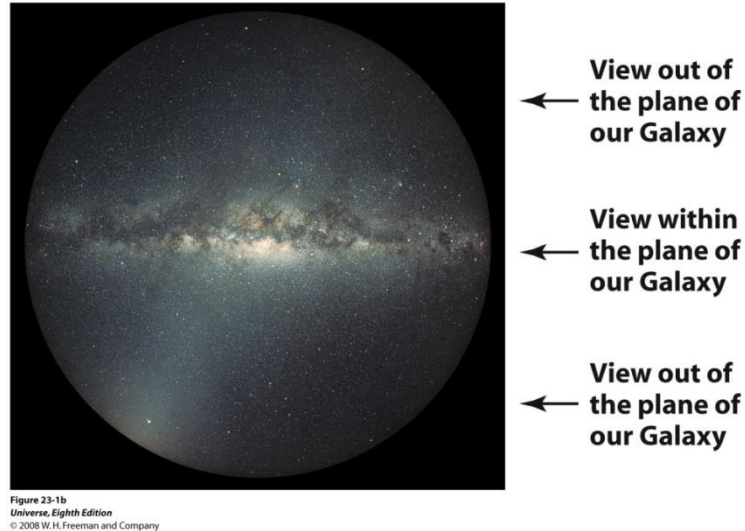


Figure 23-7  
Universe, Eighth Edition  
© 2008 W. H. Freeman and Company

En skjematisk “Edge-on” tegning av vår galakse. Avstanden fra Solen til sentrum av galaksen er 8kpc eller 26000ly. Vår galakse har en diameter på 50kpc eller 160 000ly, den består av tre hoveddeler: en skive, en sentral bulk og en halo. Skiven består av gass og støv og metallrike

(Populasjon I) stjerner. Haloen er sammensatt utelukkende av gamle metallfattige (Populasjon II) stjerner, disse stjernene har stor relativ fart i forhold til Solen og blir kalt for "high-velocity stars". 1% av halostjernene er samlet i hoper, observasjon av de variable LL Lyra stjernene i hopene har ført til lokaliseringen av sentrum av galaksen.



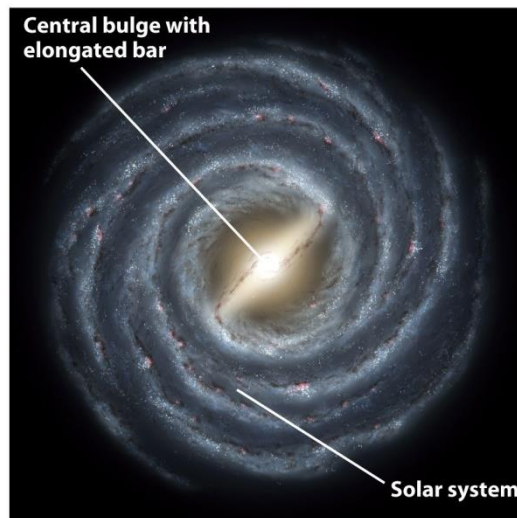
Bildet har et synsfelt på 180°, sentrum av bildet viser sentrum av Melkeveien som ligger i stjernebildet Sagittarius. De mørke stripene som krysser Melkeveien skyldes interstellart støv i planet av vår galakse.

Det er umulig å oppdage spiralarmene på bilder tatt av Melkeveien i det synlige lyset, fordi gass og støv hindrer lyse fra å komme ut av galakseplanet. Det var radioastronomene som oppdaget spiralstrukturen i Melkeveien, radiobølgene blir ikke hindret av det interstellare mediet.

Radioastronomene benytter radiostråling fra kaldt hydrogen. Kaldt hydrogen betyr at hydrogenet er i grunntilstanden eller hydrogenet er kaldt når omgivelsene ikke kan eksistere (tilføre energi) hydrogenatomene.

Elektronet og protonet i hydrogenatomet roterer, disse to partiklene er små magneter fordi begge har ladning og begge roterer. **Når de to rotasjonsaksene er parallelle og har samme retning, vil hydrogenatomet inneholde mer energi enn om rotasjonsaksene er parallelle og har motsatt retning.** Elektronet og protonet roterer i motsatt retning når rotasjonsaksene (spinnvektoren) har motsatt retning. Når hydrogenatomet går fra den største energitilstanden til en lavere tilstand sender atomet ut radiostråling på bølgelengden 21 cm. Denne effekten kalles for "spin-flip transition" (**spinnvippe overgang** på norsk).

Denne radiostrålingen fra interstellart hydrogen ble første gang oppdaget i 1951 av H. Ewen og E. Purcell, denne spinnvippeovergangen i nøytralt hydrogen ble teoretisk forutsagt i 1944. I dag benyttes denne spinnvippe overgangen som medisinsk verktøy (MR-undersøkelse). Bokstavene MR står for magnetisk resonans.



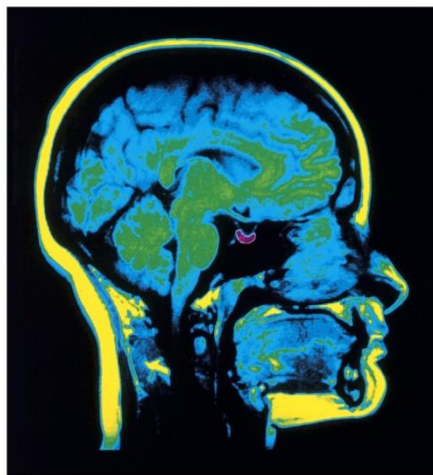
**The structure of the Milky Way's disk**

Figure 23-16a  
 Universe, Eighth Edition  
 © 2008 W.H. Freeman and Company

*Tegningen viser spiralarmene i vår galakse ("Face-on view")*

Vår galakse har en diameter på omtrent 160 000 lysår. Solsystemet vårt ligger omtrent 26 000 lysår fra sentrum av galaksen. Den sentrale bulken har større lengde enn bredde, lengden er omtrent 27 000 lysår og danner tilnærmet 45 grader med linjen fra solsystemet til sentrum av galaksen.

#### 1.4 Spinnvippe overganger som medisinsk verktøy



Box 23-1  
 Universe, Eighth Edition  
 © 2008 W.H. Freeman and Company

*Magnetisk resonans bilde (MRI) av et menneskehode.*

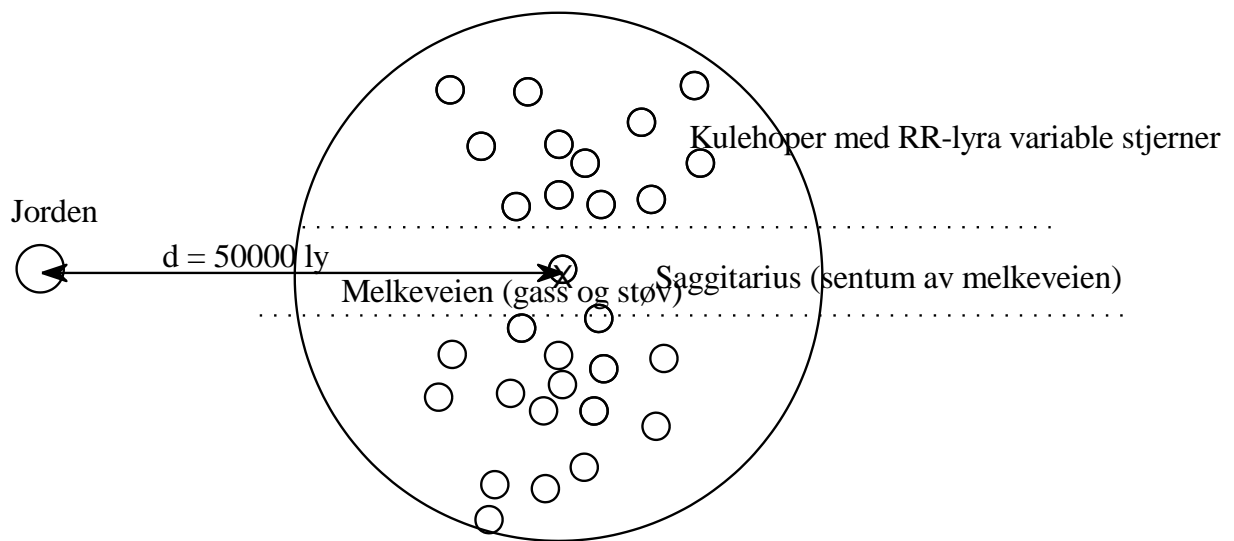
#### 1.5 Hvilken posisjon har Solen i galaksen vår?

William Herschel (1785) mente at Solen ligger i sentrum av vår galakse. Han telte stjerner innenfor små regioner og fant formen av galaksen. Han fant også at antall stjerner innen alle regionene var den samme og konkluderte at Solen var i sentrum av vår galakse. I dag vet vi at konklusjonen til

Herschel var feil fordi interstellart støv hindret utsikten til de stjernene som hadde stor avstand fra Jorden.

Hvordan finne sentrum av Galaksen?

Harlow Shapley, en ung astronom ved Mount Wilson Observatoriet, studerte RR Lyra variable stjerner i 93 globale hoper og fant noe av disse hadde en avstand større enn 100 000 lysår i forhold til Jorden. En annen påfallende egenskap ved de 93 hopene var lokaliseringen av hopene, de lå fordelt på den ene halvdel av himmelen, sprett i området rundt stjernebildet Sagittarius. Shapley tegnet de 93 hopene inn i et tredimensjonalt rom og fant at disse lå i en halo rundt et punkt i nærheten av Sagittarius. **I 1920 konkluderte Shapley at Solen ikke var sentrum i vår galakse, men et punkt som lå i retning av Sagittarius.** Gravitasjonskreftene sørget for at hopene fordelte seg i et område rundt galaksens sentrum og ikke i et område rundt Solen.



Tegningen viser en skisse av en del globale stjernehopar som tilhører vår galakse og som ikke er formørket av det interstellare støvet i Melkeveien (SmartSketch/TP).

Moderne målinger viser at Shapley estimerte en avstand til sentrum av vår galakse som var en faktor 2 for stor. Han tok ikke hensyn at rommet mellom observatør og stjernene demper lyset. Shapley viste at Solen ikke lå i sentrum av vår galakse, det betyr at Jorden har ikke en spesiell posisjon i Melkeveien.

## 1.6 Standardstjernene RR-Lyra og Cepheidene

Shapley benyttet de variable RR-Lyra stjernene og fant avstanden ut til hopene. I det følgende skal vi ta utgangspunkt i kulehopen M3 og vise metoden.



Et bilde av kulehopen M3 (Starry Night), magnituden er 7.00 og ligger 12 grader fra Arcturus. M3 i har stjerner som endrer den tilsynelatende lysstyrken, astronomene kaller disse stjernene for RR-Lyra variable stjerner. Alle RR-Lyra har en periode mindre enn en dag og de har en luminositet om er omtrent 100 Solens luminositet. Astronomene har funnet mange RR-Lyra stjerner i M3, de måler den tilsynelatende lysstyrken og bestemmer avstanden til hopen omtrent 35 000ly.

## 1.7 Standardstjernene RR-Lyra og Cepheidene RR-Lyra metoden

Benytter sammenhengen mellom luminositeten (L), tilsynelatende lysstyrke (b) og avstand (d)

$$L = 4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b$$

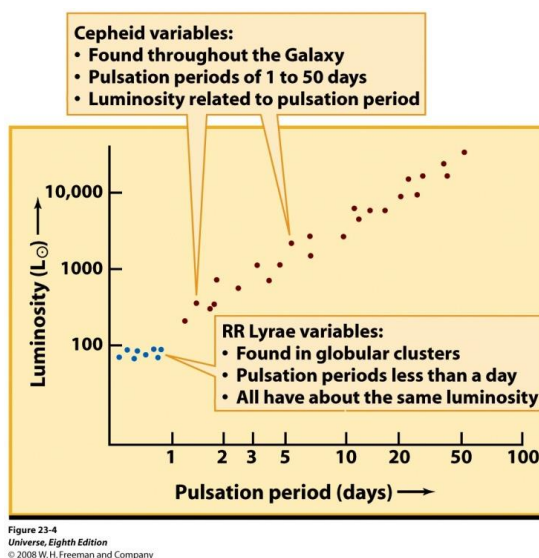
Vi skal finne avstanden til RR-Lyra stjernen i kulehopen M3 når L og b er gitt:

$$b = 2.8 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad L = 100 \cdot 3.9 \cdot 10^{26} \cdot \text{W} \quad d = \sqrt{\frac{L}{4 \cdot \pi \cdot b}} \quad d = 3.5 \cdot 10^4 \cdot \text{ly}$$

Denne metoden forutsetter observatør bestemmer perioden for den variable stjernen i hopen, er denne mindre ett døgn, vil luminositeten være omtrent  $100L_{\text{sol}}$ . Observatør må også bestemme stjernens midler tilsynelatende lysstyrke. Beregningene viser at avstanden ut til hopen er 35 000 lysår. Vi få forutsette at stjernene i hopen er født i samme sky og har tilnærmet lik avstand.

## Cepheid metoden

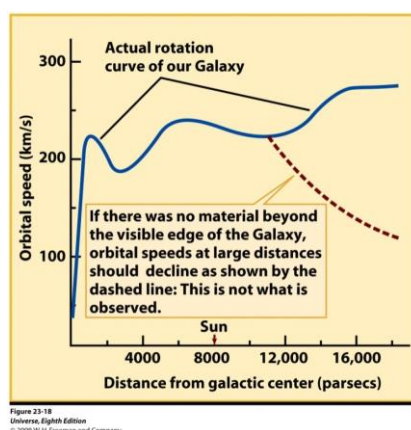
Som nevnt benyttet Hubble Cepheide stjerner da han fant avstanden til Andromeda tåke, disse har større luminositet og kan sees på større avstand (Søk i YouTube: ClassroomAid – Cepheid and RR Lyrae variable stars» David Butler)



### Perioden og luminositeten for Cepheidene og RR Lyra stjernene

Grafen viser forholdet mellom periode og luminositet for Cepheidene og RR Lyra stjernene. Cepheidene har en periode som øker når luminositeten øker. RR Lyra stjernene (ligger på horisontalgrenen i H-R diagrammet) har derimot omtrent samme luminositet (omkring  $100 L_{\odot}$ ) og en periode mindre enn en dag.

## 1.8 Rotasjonskurven for vår galakse



### Rotasjonskurven for vår galakse

Den blåe kurven viser variasjonen i banehastigheten for stjernene i skiven fra sentrum av galaksen til ut til avstanden 18 000 parsec (60 000 lysår). Dersom det ikke er masse utenfor den synlige



kanten av vår galakse ( $12\,000\text{pc} = 39\,000\text{ly}$ ) ville hastigheten avta (stiplet kurve). Hastigheten blir derimot ikke mindre for stjernene i disse ytre områdene, denne oppdagelsen kom overraskende på astronomene. De hevder at en ukjent materie som må være til stede i vår galakse uten at vi kan se den. Mørk materie sender ikke ut elektromagnetisk stråling og den må utgjøre hele 90% av galaksens totale masse. Rotasjonskurven viser at den ukjente materien må strekke seg ut i stor avstand fra sentrum av vår galakse og den må ha en kuleformet halo sentrert om sentrum av galaksen vår.

**Oppgave:** Benytt Newtons modifisering av Keplers 3. lov og bestem massen av vår galakse som ligger innenfor Solens bane (Boks 23-2). Anta at Solens bane er sirkulær og har en radius på 26 000 lysår og at Solens fart i banen (i forhold bakgrunnen som ikke deltar i rotasjonen, bakgrunnen kan være en fjern galakse) er 220 km/s.

(Svar: 90 milliarder solmasser, beregningene forutsetter at massen utenfor solbanen er jevnt fordelt over kulen. Den mørke massen som dominerer i vår galakse har en kulefordeling mener astronomene.)

### 1.9 Hva har astronomene observert i sentrum av vår galakse?

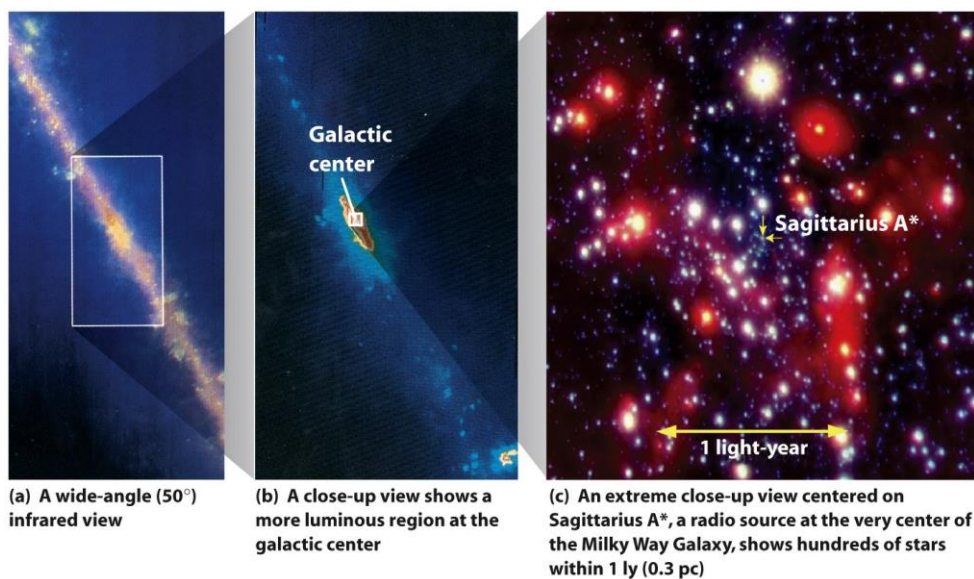


Figure 23-26  
Universe, Eighth Edition  
© 2008 W. H. Freeman and Company

Bildene (infrarøde) viser sentrum av vår Galakse

Bilde (a) viser et infrarødt bilde (falske farger) av galaksens sentrum. De røde båndene viser støv i galakseplanet, de blå flekkene er interstellare skyer som blir varmet opp av unge O og B stjerner. Bilde (b) er et infrarødt nærbilde av arealet begrenset av det hvite rektangelet i bilde (a). Bilde (c) er tatt med adaptiv optikk i det infrarøde området, bildet avslører mange stjerner i nærheten av galaksens sentrum. Bildet har stor oppløsning og viser et hundretalls stjerner innenfor et område på ett lysår rundt Sagittarius A. ([weblink 23.12](#))

Astronomene har overvåket stjernebevegelsen i nærheten av Sagittarius A. De fant flere stjerner som hadde en banefart på over 1500 km/s (Jordens banefart rundt Solen er 30km/s, Solens banefart rundt sentrum av Melkeveien er 220 km/s). **Stjerne SO-16 ble observert i 2000, farten i banen var 12 000 km/s (4% av lyshastigheten), den hadde en avstand fra Sagittarius A på omtrent 45AU.** Beregninger viser at Sagittarius A må ha en masse på 3,7 millioner solmasser. Sagittarius A må være et supermassivt sort hull.

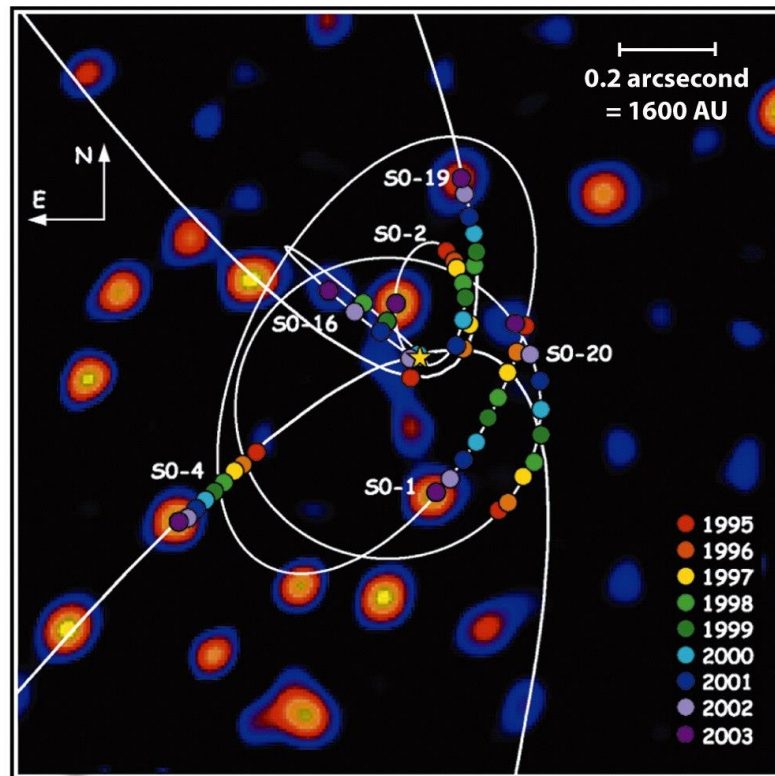
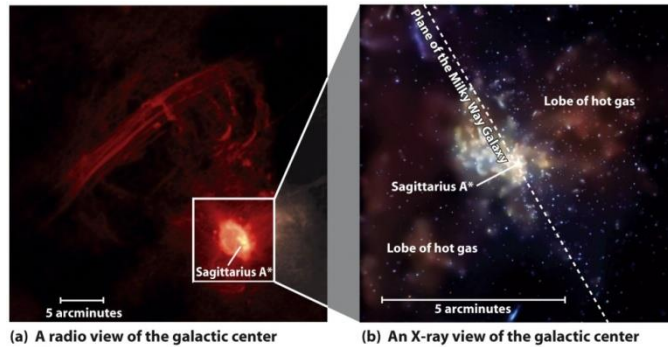


Figure 23-27  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W.H. Freeman and Company

### Stjerner i bane rundt radiokilden Sagittarius A\*

Bilde viser bevegelsen av seks stjerner i nærheten av radiokilden Sagittarius A (markert som en gul stjerne). Posisjonen ble målt over en periode på 8 år. Det er disse baneobservasjonen som førte til at et sort hull må ligge i posisjonen til Sagittarius A.

Chandra X-ray observatoriet oppdaget et plutselig røntgenutbrudd (flare) som varte i 10 minutter. Astronomene antar at X-ray flare oppstår når klumper av stjerne materiale blir presset sammen og varmet opp på veien inn i det sorte hullet. Denne observasjonen er et bevis for at et sort hull ligger i sentrum av vår galakse. Størrelsen på dette hullet kan ikke være større enn 1,2AU.



(a) A radio view of the galactic center

(b) An X-ray view of the galactic center

Figure 23-28  
Universe, Eighth Edition  
© 2008 W. H. Freeman and Company

*Store energimengder i sentrum av galaksen.*

Bilde (a) viser radiostråling fra et område som tilsvarer vinkelstørrelsen til fullmånen. Sagittarius A er den største radiokilden i på himmelen. Magnetfeltet danner flotte gassbuer. Bilde (b) er et sammensatt bilde, viser røntgenstrålingen på bølgelengdene fra 0,16 til 0,62 nm rundt Sagittarius A. Astronomene mener at disse strålingsområdene er rester etter en stor eksplosjon for en tid tilbake. Temperaturen i gassen som sender ut denne strålingen er omtrent 20 millioner grader. **Astronomene vil i framtiden bygge radioteleskoper med bedre oppløsning i håp om å oppnå en bedre forståelse av de sentrale delene av vår galakse.**

## 1.10 Hvordan finne avstanden til fjerne galakser?

Vi har sett at ESA-satellitten kan måle avstanden ut til omtrent 500 pc. Satellitten Gaia ble skutt opp i desember 2013, den skal til å måle avstanden ut til 20 000 pc eller 65 000 ly. Parallaxemetoden kan ikke benyttes når avstanden er større enn 65 000 ly. Astronomene benytter variable stjerner (Avsnitt 1.7) og supernovaer når de beregner avstanden til galaksene. **Cepheidene er standardiserte, det vil si at disse stjernene har en kjent sammenheng mellom periode og luminositet. Type Ia supernova er også en standardisert stjerne, astronomene har bestemt luminositeten for denne stjernetypen, denne størrelsen sammen med stjernens tilsynelatende lysstyrke bestemmer avstanden til galaksen.**

Utfordringen for astronomene er å finne disse lyskildene i fjerne galakser. Finner Hubble teleskopet Cepheider i nærliggende galakser (omkring 100 millioner lysår eller 30 Mpc) vil avstanden bestemmes med tilstrekkelig nøyaktighet (se oppgave 1).

RR Lyrae stjernen er mindre lyssterke og kan benyttes når avstanden er omtrent 300 000 lysår (100 kpc). Når avstanden er større enn 100 millioner lysår (30 Mpc) kan standardkilden Type Ia supernova benyttes, denne lyskilden kan oppnå luminositet som er 9 milliarder større enn Solens luminositet (se oppgave 2). Astronomene har benyttet denne metoden på galakser som har en avstand på 3 milliarder lysår (1000 Mpc).

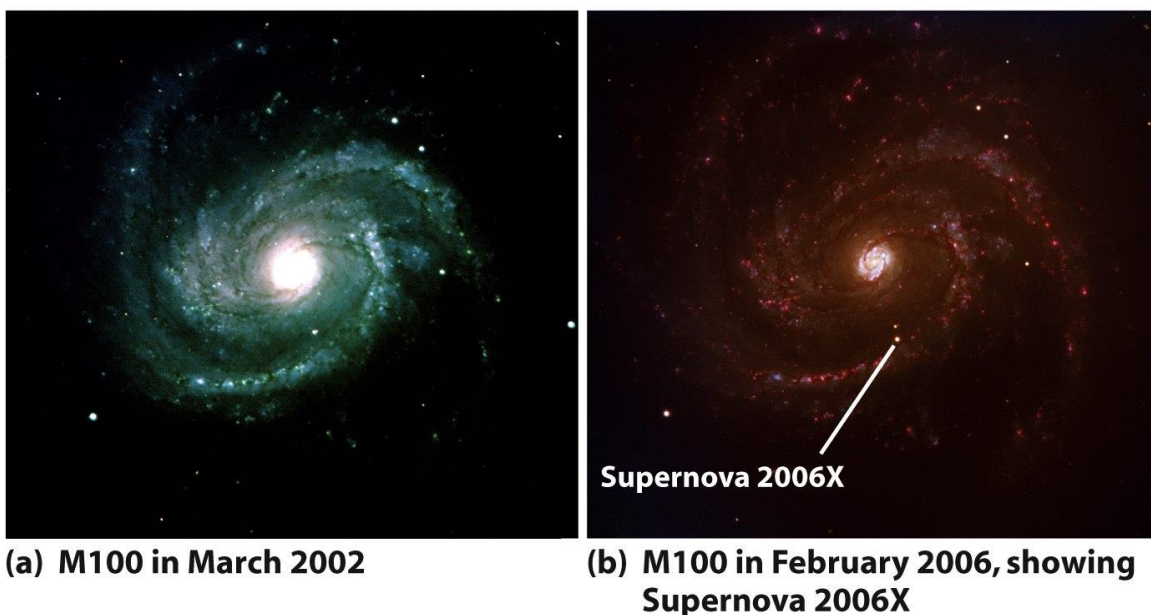


Figure 24-13  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W. H. Freeman and Company

*En supernova i spiralgalaksen M100*

Bilde a (visuelt) viser galaksen før utbruddet. Bilde b (visuelt pluss infrarødt) viser Type Ia supernova etter eksplosjonen i 2006. (bildene er tatt med ulike fargefiltre). Avstanden til M100 er 17 Mpc (56 millioner lysår), en avstand som også er funnet ved hjelp av Cepheide observasjoner. (Universe Figure 24-4). **Det er betryggende at de to avstandsmetodene gir samme resultat**

1.11 Galaksene grupperer seg i hoper og superhoper.

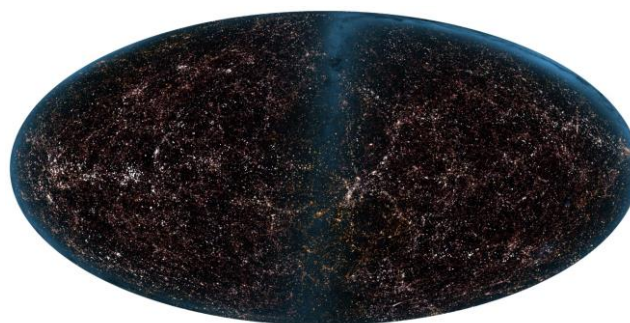


Figure 24-23  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W. H. Freeman and Company

Strukturen i det nærliggende Uivers (infrarødt bilde)

Bildet er tatt med infrarødt lys og viser 1,6 millioner galakser. Hele himmelen er projisert inn i ovalen på bildet, det blåe båndet på tvers er lyset fra skiven i Melkeveien. Legg merke til at galaksene danner strukturer som kan beskrives som filamenter eller tråder. Legg også merke til at

der er mørke områder (“voids” eller hulrom) som inneholder få galakser. Før astronomene kan si mer om disse trådene er superhoper er det nødvendig med en tredimensjonal kartlegging av galaksenes posisjon.

## 1.12 Hva skjer nå to galakser i klyngen kolliderer med hverandre?

Astronomene kan forutsi at Andromeda galaksen (M31) vil kolliderer med Melkeveien om noen milliarder år. Når to galakser støter mot hverandre vil enorme mengder gass og støv endre kurs og legge seg mellom eller utenfor galaksene som støter sammen. Astronomene mener at interstellart materie (gass og støv) med så høy temperatur kan kun oppstå i en kollisjon med to galakser.

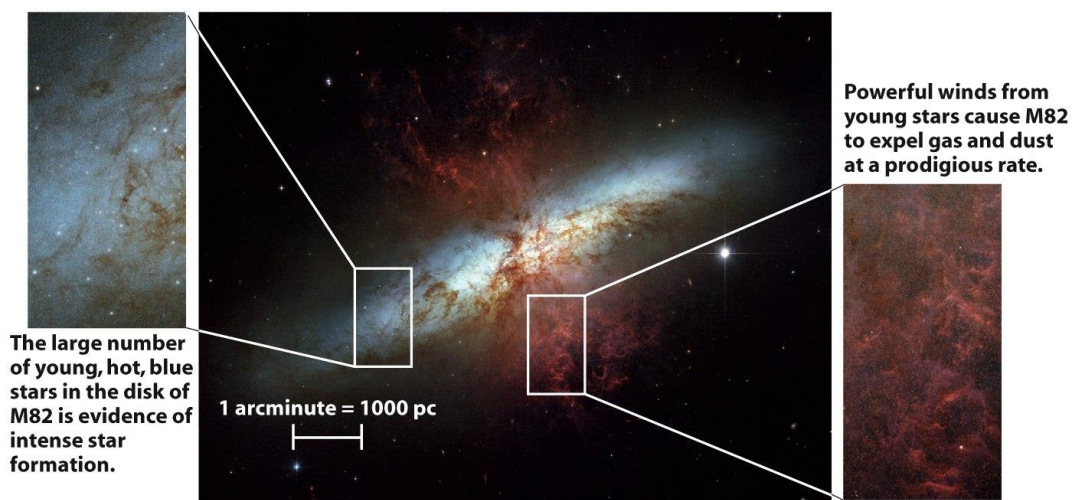


Figure 24-26  
*Universe, Eighth Edition*  
© 2008 W.H. Freeman and Company

### En “Starburst” galakse (M82) (infrarødt pluss visuelt)

Hyppig stjernedannelse forekommer i sentrum av den irregulære galaksen M82. Det infrarøde bildet viser rester etter kollisjonen og stjernevind fra de nyfødte stjernene. Bildet til venstre viser et stort antall nyfødte og blåe stjerner. Det er lyset fra disse stjernene som “tenner” galakseskiven. M82 er omtrent 3.6 Mpc (12 millioner lysår) fra Jorden og ligger i stjernebildet Storebjørn.

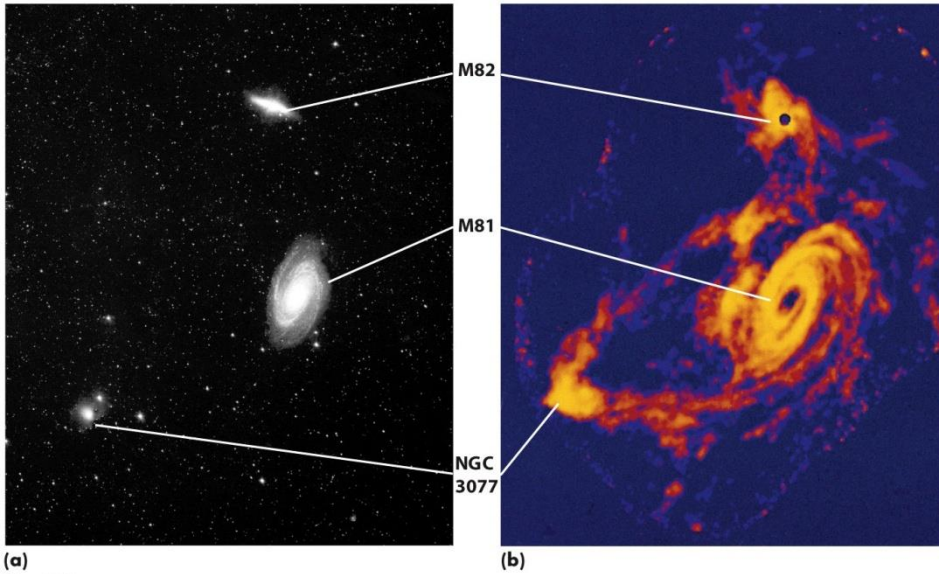


Figure 24-27  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W. H. Freeman and Company

### Galaksegruppen M81

“Starburst” galaksen M82 er en del av en klynge galakser som inneholder omkring et dusin galakser. Bildet (a) viser tre av de lyssterke galaksene i gruppen. Synsfeltet er omkring  $1^\circ$ . Bilde (b) viser radiostrålingen fra dette området, viser at disse galaksene har kontakt med hverandre, de er i kollisjon.

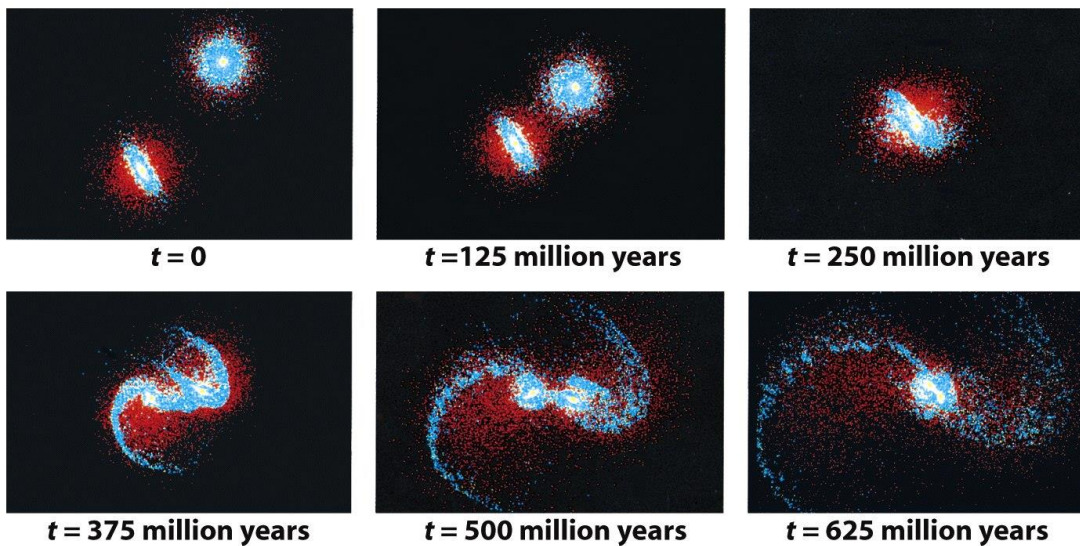


Figure 24-28  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W. H. Freeman and Company

Bildeserien viser kollisjon mellom to galakser som til slutt smelter sammen til en galakse. Vi ser også at stjerner blir slynget ut i rommet. Stjernene i skiven er markert med blått. Stjernene i sentrum av galaksene er markert med gul/hvitt. Rød farge i området rundt skiven viser mørk materie. Tidsintervallet mellom hvert bilde er 125 millioner år.

### 1.13 Hvilke observasjoner som viser tilstedeværelse av mørk materie i andre galakser?

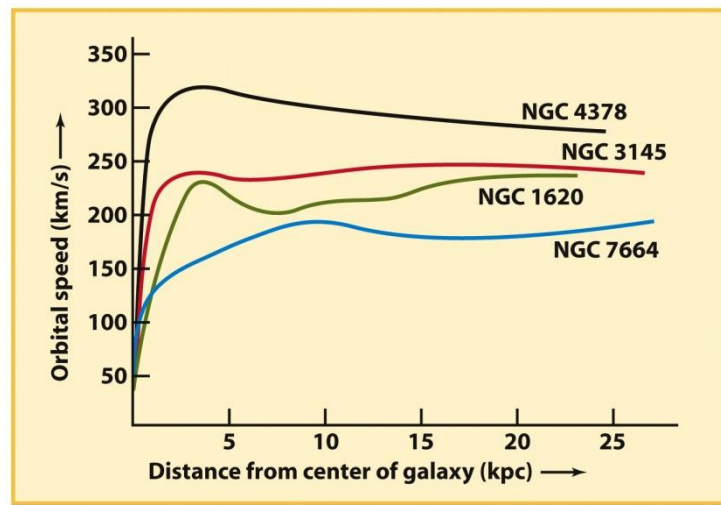
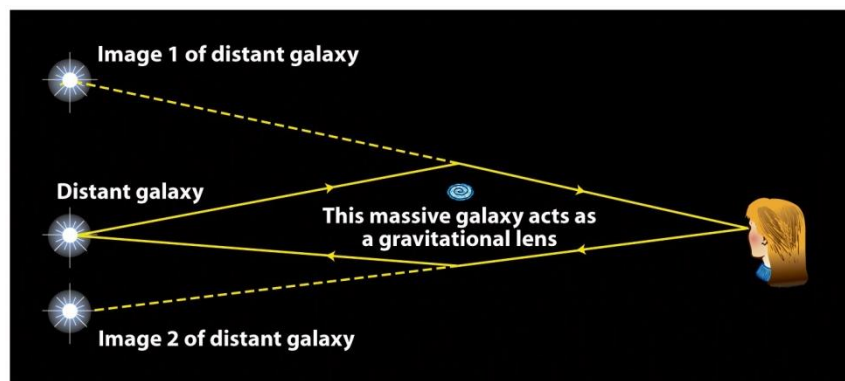


Figure 24-29  
Universe, Eighth Edition  
© 2008 W.H. Freeman and Company

#### Rotasjonskurven for fire spiralgalakser

Den synlige masse i en galakse avtar med økende avstand fra galaksens sentrum, som følge av denne massereduksjonen vil også banehastigheten avta med økende avstand (Keplers 3. lov). Astronomene observerer ikke reduksjon i banehastigheten, men flate rotasjonskurver som vist i bildet. Disse observasjonene indikerer at galaksene har en halo av mørk materie.



#### How gravitational lensing happens

Figure 24-30a  
Universe, Eighth Edition  
© 2008 W.H. Freeman and Company

Bildet viser hvordan en galakse kan fungere som en gravitasjonslinse

Galaksen til venstre i bildet, den massive galaksen i midten og Jorden ligger på tilnærmet samme linje. Lyset fra galaksen kan nå Jorden ved å følge en bane på oversiden og en bane på undersiden av galaksen. Gravitasjonen sørger for at lysstrålene går i bue rundt den massive galaksen i midten og vi ser den ene galaksen som to galakser.

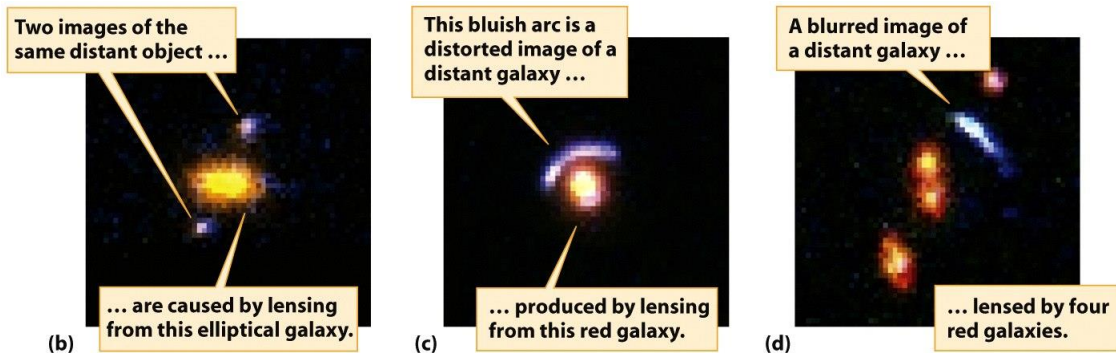
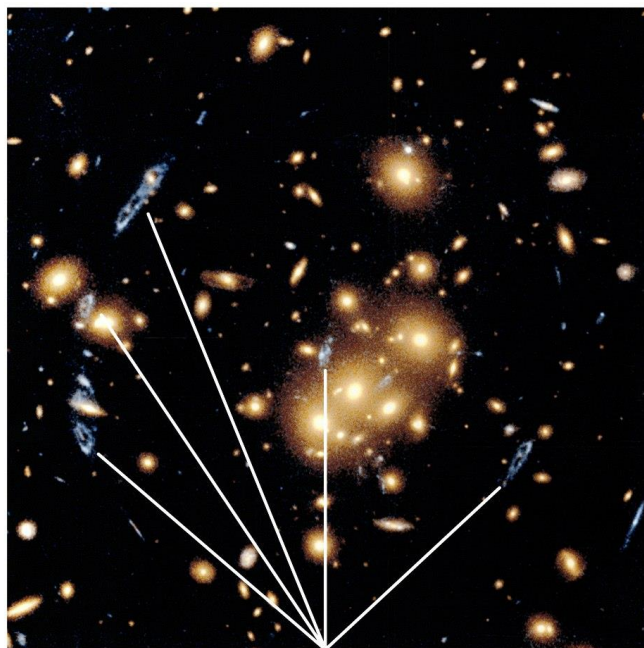


Figure 24-30bcd  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W.H. Freeman and Company

### Gravitasjonslinser i praksis

Bilde (b) viser en observasjon som viser at en galakse sees som to galakser.. Den fjerne galaksen i bildet (c) vises som en lysbue dersom de to galaksene og Jorden ikke ligger på linje. Bilde (d) viser at flere galakser kan være en gravitasjonslinse.



**All of these blue arcs are images of the same distant galaxy.**

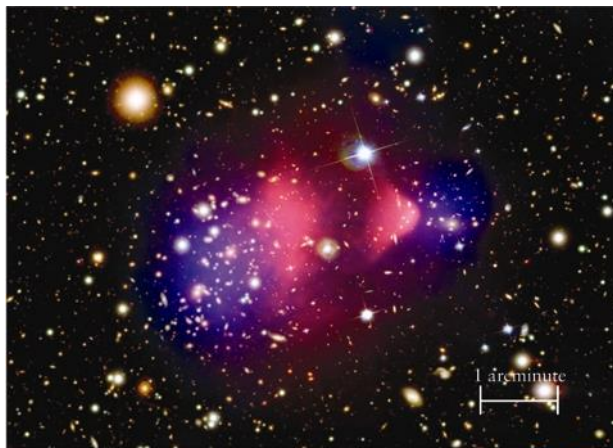
Figure 24-31  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W.H. Freeman and Company

På bildet ser vi galaksehopen CL00241654, vi ser også fire blåe lysbuer. Det er galaksehopen som “splitter” lyset fra en fjerntliggende blå galakse. Hopen er omtrent 1600 Mpc (5 milliarder lysår) fra Jorden. Den blåe galaksen har en dobbels så stor avstand. Galaksen er blå fordi den inneholder mange unge stjerner.

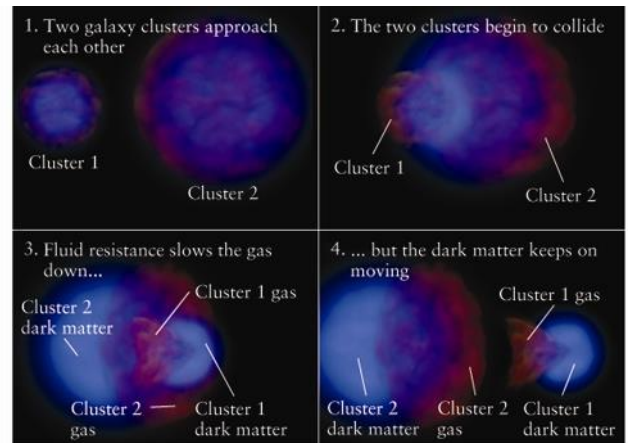
Beregninger viser at den mørke materien utgjør omtrent 90% av galaksehopens totale masse. Den synlige massen er ikke tilstrekkelig for dannelsen av lysbuene i bildet.



I dag er ikke egenskapen til mørk materie kjent, det er blitt spekulert om mørk materie består av et stort antall svake stjerner som ikke observerbare, eller små sorte hull eller brune dverger.



(a) Composite image of galaxy cluster 1E0657-56 showing visible galaxies, X-ray-emitting gas (red) and dark matter (blue) R I V U X G

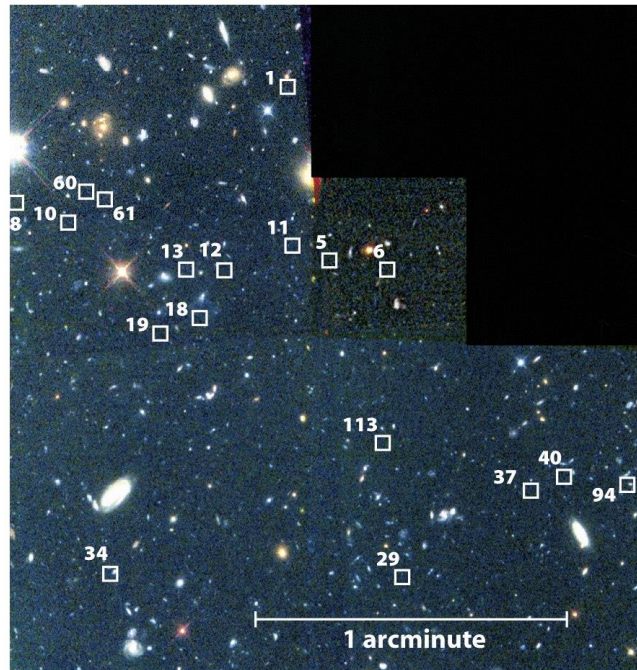


(b) A model of how the gas and dark matter in 1E0657-56 could have become separated

Bildet til venstre viser to galaksehoper som har kollidert med hverandre. Den røde delen er et røntgenbilde har Chandra teleskopet tatt. Den mørke materien i de to galaksehopenene har passert uhindret gjennom kollisjonen (den blåe delen av bildet). Den mørke delen er blitt synlig fordi den mørke materien som har fungert som en gravitasjonslinse. Den mørke materien har samlet lyset som kommer fra baksiden av galaksehopen. Den synlige materien får på grunn av friksjonskreftene under kollisjonen en uregelmessig form. [Denne animasjonen](#) er ikke virkelig, men viser hvordan den mørke materien oppfører seg når to galaksehoper kolliderer med stor fart (Universe 8 side 660)

### 1.14 Hvordan galaksene dannes og utvikler seg?

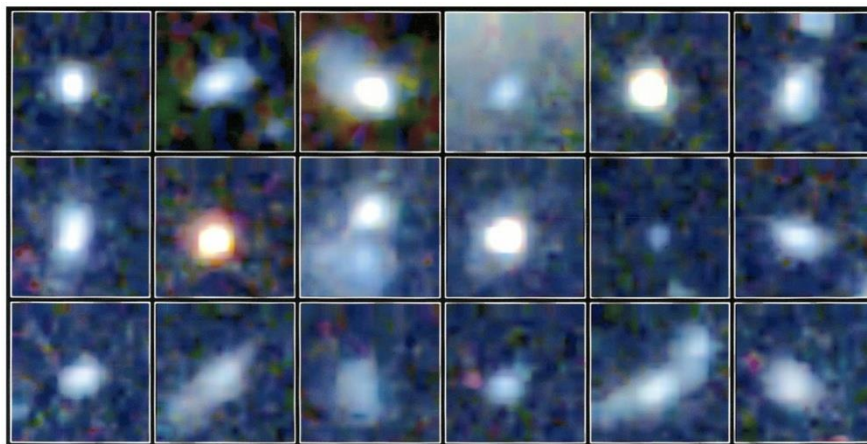
Astronomene kan se inn i fortiden. Ser vi på en galakse som ligger 10 milliarder lysår fra oss, vil vi se galaksen slik den var for 10 milliarder år siden.



**A portion of the constellation Hercules**

Figure 24-33a  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W. H. Freeman and Company

Bildet viser hvordan Hubble teleskopet “ser” universet slik det var for 11 milliarder år siden



**Closeup images of the numbered objects in (a)**

Figure 24-33b  
*Universe, Eighth Edition*  
 © 2008 W. H. Freeman and Company

Et forstørret bilde av objektene (“subgalactic”) i Figure 24-33a, disse objektene er byggesteinene for galaksene slik vi kjenner dem i dag. Disse ”subgalactic” objektene vil med stor sannsynlighet utvikle seg til protogalakser, deretter til elliptiske eller spiralgalakser.

Disse objektene er sprett over et relativt lite område, et område som tilsvarer avstanden mellom M31 og Melkeveien. Det er stor sannsynlighet for at gravitasjonskreften vil føre dem sammen og danne større objekter og tilslutt blir til galakser slik vi kjenner dem i dag. Objektene i boksene på

bildet har en avstand på 3400 M pc (11 milliarder lysår), diameter på tvers fra 600 til 900 pc (2000 til 3000 ly), større enn en stjernehop men mindre enn elliptisk dverg galakse (Figure 24-9, Universe side 642)

### Oppgave 1 (Eksempel 1 Boks 24-1)

I 1992 oppdaget astronomene en Cepheide stjerne i galaksen IC 412, den hadde en midlere tilsynelatende lysstyrke på  $m = +22.0$ . Spekteret av stjernen viste en metallrik Type I Cepheide. Cepheiden hadde en periode på 42.0 dager som tilsvarer en midlere lysstyrke på  $33\,000L_{\text{Sol}}$ .

- a) Anta at Solens absolutte lysstyrke er  $M_{\text{Sol}}$  lik 4,8. Finn Cepheidens midlere absolutte lysstyrke (lysstyrken i avstanden 10pc).  
 b) Finn avstanden til galaksen IC 4112

Løsning:

Gitt:  $M_{\text{Sol}} := 4.8$   $L_{\text{Ceph}} := 33000L_0$   $m_{\text{Ceph}} := 22.0$

a) Teori (Kapittel 17, formelsamling side 14)  $m_2 - m_1 = 2.5 \log \left( \frac{b_1}{b_2} \right)$

Beregninger:  $M_{\text{Ceph}} := M_{\text{Sol}} + 2.5 \log \left( \frac{L_0}{L_{\text{Ceph}}} \right)$   $M_{\text{Ceph}} = -6.5$

b) Teori (Kapittel 17, formelsamling side 14)  $m - M = 5 \cdot \log(d) - 5$   $d = 10^{\frac{m - M}{5} + 1}$   
 d er avstanden i parsec

Beregninger:  $m_{\text{Ceph}} - M_{\text{Ceph}} = 5 \cdot \log(d) - 5$   $d := 10^{\frac{m_{\text{Ceph}} - M_{\text{Ceph}}}{5} + 1}$

Avstanden i parsec:  $d = 5.003 \times 10^6$

Avstanden i lysår  $d \cdot 3.266 = 1.634 \times 10^7$

Refleksjon:

Avstanden til galaksen er 16 millioner lysår. Det var perioden, spekteret til den lyssvake Cepheiden og egenskapene til Cepheidene som dannet grunnlaget for bestemmelse av avstanden til IC4112

### Oppgave 24-2 (Eksempel 2 Boks 24-1)

Astronomene kan finne avstanden til fjerne galakser dersom de finner en Type I supernova i galaksen. Astronomene vet at det er den hvite dvergen i et dobbeltstjernesystem som eksploderer (avsnitt 20-9), alle Type I supernova har samme lysskurve og når omtrent samme maksimale luminositet eller samme absolutte magnitudo.

I 1937 nådde Type I supernovaen i galaksen IC4182 en tilsynelatende lysstyrke på 8,6.

a) Finn den absolutte magnituden for denne supernovaen, benytt avstanden vi fant i oppgave 24-1.

b) Finn supernovaens luminositet

Gitt:  $m_{\text{sup}} := 8.6$        $d_{\text{sup}} := 5.0 \cdot 10^6 \cdot \text{pc}$        $d_{\text{sup}} := 5.0 \cdot 10^6$

Teori: a) Teori (Kapittel 17, formelsamling side 14)       $m - M = 5 \cdot \log(d) - 5$

d er avstanden i parsec

Beregninger

$$m_{\text{sup}} - M_{\text{sup}} = 5 \cdot \log(d_{\text{sup}}) - 5$$

$$M_{\text{sup}} := m_{\text{sup}} - \frac{5 \cdot \ln(d_{\text{sup}})}{\ln(10)} + 5 \quad M_{\text{sup}} = -19.9$$

Teori; b) Teori (Kapittel 17, formelsamling side 14)       $M_2 - M_1 = 2.5 \cdot \log\left(\frac{L_1}{L_2}\right)$

Beregninger:

$$M_{\text{sup}} - M_{\text{Sol}} = 2.5 \cdot \log\left(\frac{L_0}{L_{\text{sup}}}\right)$$

$$L_{\text{sup}} := 10^{\frac{2 \cdot M_{\text{Sol}}}{5} - \frac{2 \cdot M_{\text{sup}}}{5}} \cdot L_0 \quad L_{\text{sup}} = 8 \times 10^9 \cdot L_0$$

Refleksjon:

Denne luminositeten er i stemmer over ens med observasjonene i figur 20-22.

Astronomene har funnet to forskjellige objekter som kan benyttes som avstandsmålere for fjerne galakser. Som vi har sett kan astronomene benytte Cepheider og Type I supernova når avstanden til en fjern galakse skal bestemmes. Astronomene må leite etter disse objektene i galaksene skal avstanden ut til disse bestemmes.