

Kosmologi *Galakser*

Hvordan blir spiralgalakser til?

Mysteriet bak de flotte spiralarmene.

STORSLÅTT SPIRAL: Dette bildet av Spinneteingalaksen (M101) er et av de største og mest detaljerte bildene som er tatt av en spiralgalakse.

Foto: ESA/NASA Hubble

Galakser kommer i mange forskjellige størrelser, former og farger. Noen er små og rotete, andre er fulle av støv og noen spyr ut gass med hastighet på flere hundre kilometer i sekundet.

Å klassifisere galakser kan hjelpe astronomer med å forstå hvordan de utvikler seg. En temmelig subjektiv, men likevel meget nyttig måte å klassifisere galakser på, er etter morfologisk type, det vil si hvordan de ser ut og hvordan strukturen deres er.

Galaksetyper

De to vanligste typene galakser er de strukturløse og ensfargede elliptiske galaksene og de fargerike og fine spiralgalaksene, og nå skjønner du antakeligvis hva mine personlige preferanser er. Som du kan lese om i artikkelen på side 8, hører vår egen galakse, Melkeveien, til den siste gruppen. I denne artikkelen skal vi se nærmere på hvordan disse vakre galaksene dannes. Men før vi kan få en spiralgalakse, må vi selvfølgelig lage en galakse først. Så la oss starte med det.

Gravitasjonell kollaps

Nesten alle strukturer i universet samles i første omgang ved hjelp av tyngdekraften. Det gjelder alt fra de aller største galaksehopen, som er flere millioner lysår store, til stjerner, planeter og ned til kilometerstore steiner, kalt planetesimaler.

Like etter at universet ble til i big bang, fikk tyngdekraften små klumper i en ellers jevn fordeling av gass og mørk materie, til å vokse seg større, motstå universets ekspansjon og til slutt kollapse innover seg selv. Turbulens i gassen fikk disse protogalaksene til å rotere. Når en gassky

roterer, kolliderer den til en flat skive (se faktaboks). På denne måten ble de første galaksene dannet knapt 200 millioner år etter big bang.

Første observasjoner

Den første som beskrev spiralgalakser, var den irske astronomen William Parsons, 3. jarl av Rosse, som på begynnelsen av 1840-årene fikk bygd et veritabelt monster av et teleskop: Leviathan of Parsonstown, oppkalt etter det bibelske havuhyret Leviatan. Selv etter våre dagers standard var dette teleskopet, med sin diameter på 1,8 meter, litt av et teleskop.

Den store forskjellen på den gang og nå, var at det ikke fantes astrofotografering den gang. Lord Rosse kunne derfor ikke dra fordel av lange eksponeringstider som kameraer har, men måtte stole på sitt eget syn, som heldigvis var usedvanlig godt.

Den gang visste man ikke hva spiraltåkene man så på himmelen egentlig var, og man trodde at de var en del av Melkeveien. Først i løpet av 1920-tallet skjønte astronomene at Malstrømgalaksen (M51) og andre spiraltåker ikke ligger i vår egen galakse, men at de er selvstendige «øy-universer» (se artikkel på side 34). Men hva kunne årsaken til den vakre strukturen være?

Oppvindingsproblemet

Galakseskivene roterer ikke som faste legemer slik som for eksempel en LP-plate. Gass og stjerner nært sentrum roterer raskere enn de som ligger lenger unna sentrum. En gassky vil derfor bli strukket ut i et spiralmønster, akkurat som løpere på friidrettsbanen hvis de fortsetter å løpe

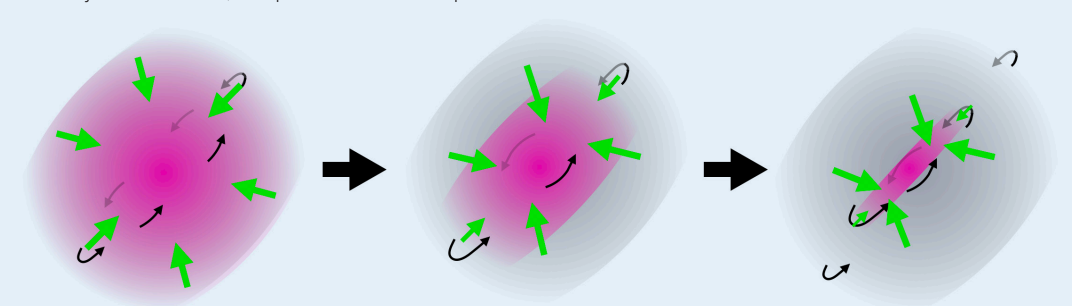


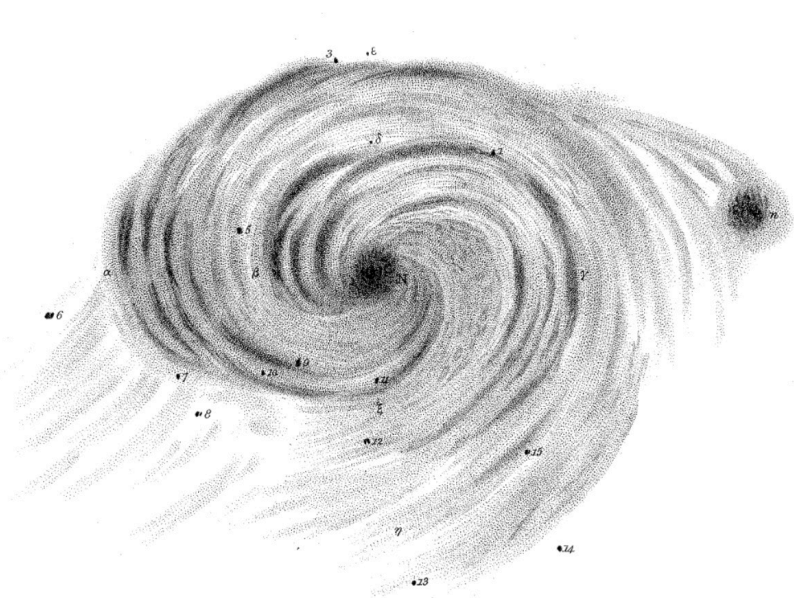
PETER LAURSEN
Astrofysiker ved
Cosmic Dawn Center,
Niels Bohr Institutet,
Københavns Universitet
og DTU Space

Galaksedannelse

Dannelsen av en protogalakse: En sky av gass (rosa) og mørk materie (grå) kolliderer under sin egen vekt. Sentrifugalkraften gjør at skyen ikke kolliderer i rotasjonsplanet, og derfor kolliderer den bare langs rotasjonsaksen og blir til en skive. Den mørke materien har imidlertid ikke like lett for å kollapse som gassen, og blir derfor hengende igjen rundt gasskyen som en halo.

Illustrasjon: Peter Laursen, først publisert hos videnskap.dk





DEN «FØRSTE» SPIRALGALAKSEN:
Lord Rosses håndtegning (til venstre) av galaksen M51 og et bilde tatt av Hubble-teleskopet (høyre). Galaksen ble oppdaget av Charles Messier i 1773, men fikk etter Lord Rosses observasjoner navnet Whirlpool Galaxy, eller Malstrømsgalaksen.
Tegning: Lord Rosse (1845)
Foto: S. Beckwith/STScI/ ESA/ NASA (2005)

i hver sin bane. Kunne denne såkalte differensielle rotasjonen være årsaken til spiralstrukturen? Astronomene fant fort ut at rotasjonen ville oppløse spiralstrukturen veldig raskt sammenlignet med hvor gamle galaksene faktisk er. Dette er det såkalte oppvindingsproblemet (se faktaboks). At spiralarmene etter flere milliarder år ikke er vundet opp, tyder på at de ikke kan bestå av det samme stoffet hele tiden. Det virker kanskje rimelig at en spiralarm ikke er et «materielt» legeme, ettersom den består av gass og stjerner. Men ideen er ikke helt feil, for den interstellare gassen er gjennomtrengt av kosmiske magnetfelt. Hvis noe av gassen er ionisert, det vil si at noen av elektronene i gassen er revet bort, blir den elektrisk ladd. Magnetfelt kan holde fast elektrisk ladde gasskyer. På 1950-tallet var dette den mest aksepterte forklaringen på spiralarmene. Man kan imidlertid vise at energien i kosmiske magnetfelt er altfor svake til å spille noen rolle i spiralarmenes struktur på stor skala.

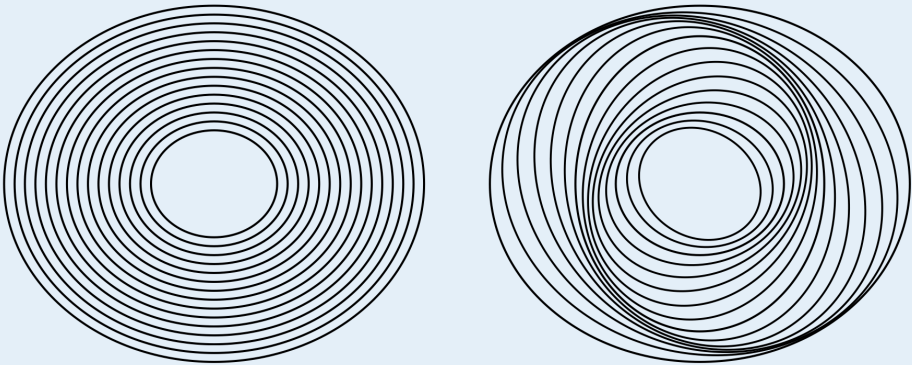
Resonans i stjernebaner
Fra 1920-tallet til sin død i 1965, arbeidet den svenske astronomen Bertil Lindblad som en gal med å løse gåten om spiralarmenes dannelse



og opprettholdelse. Lindblads grunnleggende idé var å se på spiralarmene som mønstre som oppstår som følge av banene til enkeltstjerner. Vekselvirkningen mellom disse banene kunne gi opphav til kvasistasjonære spiralmønstre, altså mønstre som har en fastfrossen form og beveger seg med en hastighet som ikke er den samme som stjernenes hastigheter. Stjernene vil, ifølge denne teorien, ha en overordnet bane rundt i galaksen, men vil svinge litt fram og tilbake rundt denne banen. Hvis disse svingningene er i resonans med den overordnede banen, det vil si hvis antallet svingninger per runde rundt galaksen er et helt tall, vil banene ha en tendens til å bli mer elliptiske. Hvis stjerner i forskjellige avstander fra sentrum følger elliptiske baner, og orienteringen (retningen til den store halvaksen) langsomt forskyves, vil det oppstå områder i galaksens skive hvor tettheten av stjerner er større enn i resten av skiven. Som du kan se i faktaboksen om spiralbølger, vil disse «overtetthetene» være spiralformete. Lindblads teori kunne forklare visse aspekter ved spiralarmene, men han har nok vært hemmet av mangel på observasjoner, datakraft og mest av alt falsifiserbare forutsigelser. Dessuten

**Teori 1
Lindblads kinematiske spiralbølger**

Til venstre ses elliptiske baner hvis store akser er den samme for alle. Til høyre er fasen forskjøvet mer og mer desto større banen er. Resultatet er en spiralformet overtetthet av stjerner.
Illustrasjon: Peter Laursen



forandret han mening underveis i sine mange og tunge artikler. Likevel har alle problemer som har dukket opp i senere teorier om spiralarmen, vist seg å være påvirket av Lindblad.

Tetthetsbølgene
Like før Lindblad døde i 1965, kom det et stort gjennombrudd. Ved å se på gassen og stjernene som kontinuerlige væsker og bruke likninger kjent fra hydrodynamikken, viste den kinesisk-amerikanske matematikeren Chia-Chiao Lin og hans student Frank Shu at spiralstrukturen kunne oppfattes som tetthetsbølger i gass, omtrent som lydbølger i luft. Den grunnleggende ideen i Lin og Shus teori er at bølger med økt tetthet av materie, skapt av tyngdekraften fra hovedsakelig stjerner, beveger seg gjennom den galaktiske skiven. Akkurat som i Lindblads teori er tetthetsbølgene kvasistasjonære, og blir derfor ikke vundet opp. Når gass og stjerner er inne i bølgen, beveger de seg litt langsommere enn ellers. Da er tettheten her litt større enn utenfor bølgen. Effekten kan sammenlignes med biler på en motorvei som hoper seg opp bak en langsom lastebil. Da må bilene kjøre saktere, og tettheten av biler bak lastebilen er større. Selve spiralmønsteret beveger seg altså ikke med samme hastighet som gassen og stjernene. Innenfor en viss avstand fra galaksens sentrum

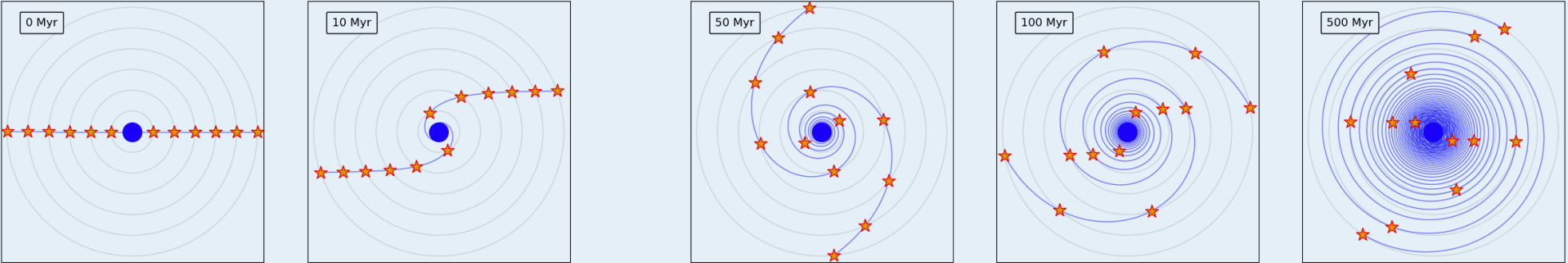
beveger materien seg raskere enn bølgene. Lenger ute er det bølgene som tar igjen materien. Når gasskyer beveger seg inn i en spiralarm, utsettes de for et sjokk og presses sammen. Denne effekten får skyene til å kollapse og danne mange nye stjerner. Stjerner blir født i forskjellige størrelser. De små bruker drivstoffet sitt langsomt ved lave temperaturer, noe som gjør at de er lyssvake og røde, mens de store stjernene raskt bruker opp drivstoffet sitt og er derfor veldig lyssterke og blåhvite.

«Spiralarmene er bare tydelige fordi det er her de mest lyssterke stjernene befinner seg.»

Etter hvert forlater de nydannede stjernene spiralarmene. Men på grunn av sin korte levetid, dør de lyssterke, blåhvite stjernene før de forlater armene. Derfor er det bare de lyssvake stjernene som ligger mellom armene. Selv om det ser ut som om alle stjernene i en spiralgalakse ligger inne i armene, er tettheten her bare omtrent 50 prosent større enn rommet mellom armene. Spiralarmene er bare tydelige fordi det er her de mest lyssterke stjernene befinner seg.

Simulering av oppvindingsproblemet

Stjerner som starter med å ligge på linje og roterer med samme fart rundt galaksens sentrum, vil i begynnelsen danne et spiralmønster. Mønsteret blir imidlertid vundet opp etter noen hundre millioner år, i motsetning til det faktum at vi ser mange spiralgalakser som er mye eldre enn dette. I denne simuleringen har galaksen en radius på 10 000 lysår, og stjernene har en hastighet på 200 km/s (Myr = millioner år).
Grafikk: Peter Laursen





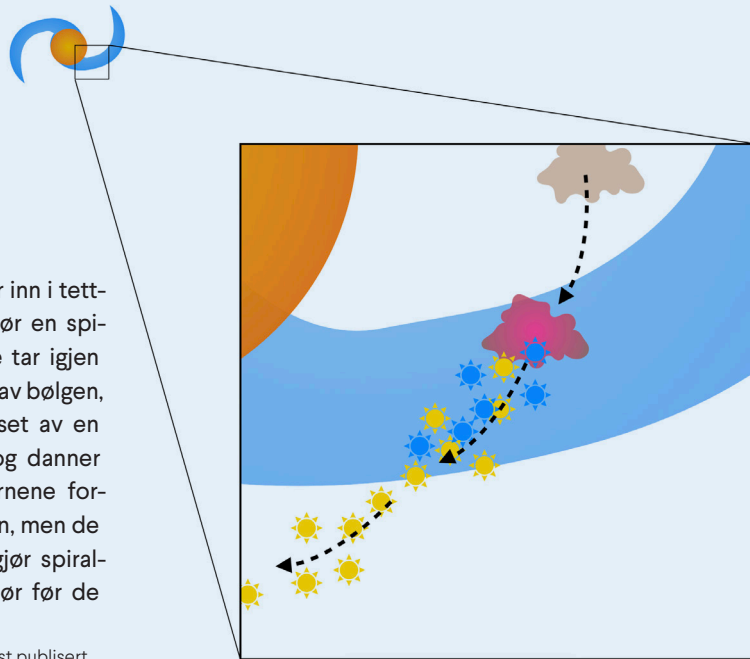
SPIRALARM: Nærbilde av spiralarmen til stavspiralgalaksen NGC 1300.

Foto: NASA, ESA og The Hubble Heritage Team STScI/AURA)

Teori 2 Tetthetsbølger

Når en gassky kommer inn i tetthetsbølgene som utgjør en spiralarm, enten fordi de tar igjen eller selv blir tatt igjen av bølgen, blir den sammenpresset av en sjokkbølge, oppdelt og danner stjerner. De små stjernene forlater etter hvert bølgen, men de store stjernene som gjør spiralarmene så tydelige, dør før de forlater spiralarmene.

Illustrasjon: Peter Laursen, først publisert hos videnskab.dk



Startskuddet for spiralmønsteret

For å sette i gang bølgene kreves det en slags forstyrrelse i starten som sprer seg utover. Det er ikke helt klart hva som setter i gang tetthetsbølgene, og de kan ha flere årsaker, som for eksempel gravitasjonell ustabilitet eller påvirkning fra en nabolakse.

Man kan få litt fra simuleringer på datamaskiner. Slik kan man studere hvordan galakser utvikler seg i 3D. Slike simuleringer utføres ofte parallelt på tusenvis av datamaskiner som kjører i flere måneder. Da har man programmert inn all fysikken man kjenner, for eksempel tyngdekraft, magnetohydrodynamikk, stjernedannelse, kjemisk utvikling av de tunge grunnstoffene i en gass, effekten av svarte hull og mye mer.

Det er ikke vanskelig å simulere spiralarmen. Det er tvert imot nesten litt for enkelt. Selv om man utelater alle detaljer i fysikken og bare tar med den mørke materien og tyngdekraften fra den i isolerte galakser, oppstår det spiralmønstre. Selv en feil i programmet eller avrunding av tall kan gi opphav til spiralmønstre, så selv om man har fått til en spiralgalakse på datamaskinen, er det ikke sikkert man har funnet selve sannheten som spiralgalaksene.

«Sjokkbølger fra supernovaer feier gjennom galakseskiven og skaper nye stjerner.»

Andre teorier

Selv med over femti år på baken, og selv om det er stadig flere uklare og uforklarte omstendigheter ved spiralarmene, er tetthetsbølgeteorien fortsatt en av de to ledende teoriene for å forklare spiralstrukturen. Og det er ikke uten grunn. Denne teorien kan forklare mange ting om spiralgalaksene, slik som tettheten i armene, bredden på armene og deres levetid, samt hvor støvskyene ligger.

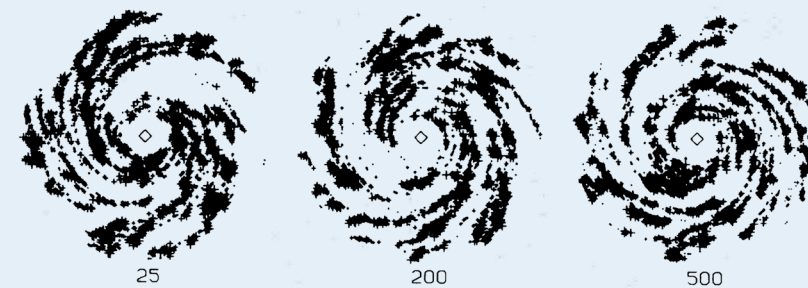
Likevel er det ikke hele forklaringen, og flere andre teorier er blitt presentert. Spesielt én teori har fått stor anerkjennelse, nemlig den om såkalt selvpropagerende stjernedannelse, som astronomene Mark W. Mueller og W. David Arnett kom med i 1976, og som ble forbedret to år senere av Humberto Gerola og Philip E. Seiden. Bak dette litt tunge navnet skjuler det seg en helt annen mekanisme. Når de tyngste stjernene eksploderer som supernovaer, sender de ut «detonasjonsbølger» gjennom den interstellare gassen. Gasskyer i nærheten vil kollapse på grunn av sjokkbølgen fra en supernova og danne stjerner. Deretter vil stjernedannelsen spre seg, eller propagere, utover som ringer i vannet etter hvert som nye stjerner også blir supernovaer. Det er bare en viss sannsynlighet for at en sjokkbølge forårsaker en ny sjokkbølge. Derfor er det litt tilfeldig hvor de nye stjernene dannes.

På grunn av den differensielle rotasjonen som galakseskiven har, vil disse ringene, eller områdene med stjernedannelse, som ligger nærmest sentrum av galaksen, stikke av fra



FLOKKULENT GALAKSE: En flokkulent galakse med det poetiske navn NGC 4414.

Foto: Hubble/AURA/STScI/NASA



Teori 3 Selvpropagerende stjernedannelse

Tidlig datasimulering av selvpropagerende stjernedannelse. De tre bildene viser galaksen henholdsvis 25, 200 og 500 millioner år etter simuleringen startet. Spiralmønstre skapt av den differensielle rotasjonen er tydelige, selv om det ikke er så lett å si hvor mange armer galaksen har.

Grafikk: Gerola & Seiden, 1978

de som ligger lengst unna. Disse ringene, som består av unge, lyssterke stjerner og gasskyer som blir lyst opp av stjernene, blir derfor hurtig dratt ut i avlange formasjoner.

Resultatet er en såkalt flokkulent spiralgalakse. Dette ordet betyr «ullaktig» på latin og peker på at skiven består av mange smådelar av spiralarmen, som til sammen gir et slags spiralmønster av sammenfildrede smådelar. De enkelte delene vindes hurtig opp, men nye dannes hele tiden. Flokkulente galakser har derfor vanligvis ikke, i motsetning til for eksempel Malstrømgalaksen (M51), et veldefinert antall spiralarmen.

Man kan altså si at i teorien til Lin og Shu om tetthetsbølger, er det spiralarmene som er opphav til stjernedannelsen, mens det i Mueller og Arnetts teori er stjernedannelsen som er opphav til spiralarmene.

Melkeveiens spiralarmen

I noen galakser kan man se helt klart at det er den ene eller den andre teorien som er forklaringen, mens i andre, som for eksempel Melkeveien,

kan det være en blanding av flere mekanismer.

Spesielt Melkeveien er gjenstand for aktiv forskning. Andre galakser som ikke er for langt borte, kan lett observeres, men i Melkeveien kan vi så å si ikke se skogen for bare trær. Vi ligger inne i Melkeveiens skive, og må derfor stole på forskjellige indirekte målemetoder når vi skal kartlegge den.

Så sent som tidligere i år gikk det opp for astronomene at den spiralarmen som Sola ligger i er lengre, og at to av de andre armene er mindre vundet opp, enn man hadde trodd tidligere. Og mens vi tidligere trodde at Melkeveien hadde fire armer, ble det nylig funnet en langstrakt gassky på den andre siden av galaksen som kanskje er en femte arm.

Det er altså mye å gi seg i kast med som spiralarmforsker. Men med stadig bedre teorier, teknologiske framskritt, bedre datamaskiner og programmer, og bedre observasjoner, for eksempel med Gaia-teleskopet, kommer vi stadig nærmere en forståelse av dette vakre og forunderlige fenomenet som spiralgalakser er. /