

Mørk energi

Anja C. Andersen, Dark Cosmology Centre, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

En af de mest opsigtsvækkende opdagelser inden for astronomien er, at Universet udvider sig. Det var den amerikanske astronom Edwin Hubble, der i 1920'erne fandt, at fjerne galakser bevæger sig væk fra os. Dette skyldes ikke, at vi befinder os et særligt sted i Universet. En observatør i en hvilken som helst anden galakse vil også se alle andre galakser fjerne sig. Eftersom alle galakser bevæger sig væk fra hinanden, må de en gang have været meget tættere på hinanden.



Figure 1: Udsnit af Hubble teleskopets ultra dybe observation på den sydlige halvkugle. På billede ses nogle af de fjerneste galakser som hidtil er observeret. Galakserne er så fjerne at lyset fra dem har været mere end 11 milliarder år om at nå frem til os. (kredit: NASA & ESA)

Dette resultat førte til ideen om et Big Bang hvor Universet, og alt hvad det indeholder, blev skabt på et splitsekund. Der er i dag mange tegn på at Universet blev

til for omkring 13,7 milliarder år siden, og at det lige efter Big Bang var meget mindre, meget tættere og meget varmere end i dag.

Hvad er Universets skæbne? Vil udvidelsen vare ved? Inden for rammerne af Einsteins teori er disse spørgsmål ganske ligetil at undersøge. Hvis der er nok stof i Universet, vil tyngdekraften bremse udvidelsen og på et tidspunkt få Universet til at begynde at trække sig sammen. Som følge heraf, i en meget fjern fremtid, vil hele Universet falde sammen i en slags omvendt Big Bang – et Big Crunch. Men hvis der derimod ikke findes nok stof i Universet, så vil udvidelsen fortsætte for evigt og Universet vil blive mere og mere tomt, koldt og mørkt.

Det hele afhænger således af, om der er nok masse i Universet til at skabe så stor en tyngdekraft, at det kan bremse udvidelsen. For at bestemme om Universet vil blive ved med at udvide sig eller måske ligefrem trække sig sammen bliver vi så at sige nødt til at finde ud af, hvad Universet vejer – eller rettere måle hvor meget masse, der findes i Universet. Det er ikke så let direkte at veje hele Universet. I stedet kan man forsøge at se hvordan Universets udvideshastighed ændrer sig med tiden.

Hvis Universet udvideshastighed bestemmes som den er nu, dvs. tæt på os selv og i det tidlige univers, dvs. langt fra os – er det muligt at udlede, med hvilken hastighed udvidelsen foregik for længe siden. Hvis Universet indeholder en masse stof, som bremser udvidelsen, burde udvidelsen have været betydeligt hurtigere før i tiden. Så det gælder om at måle udvidelsen på flere tidspunkter i Universets historie.

På trods af at dette har været klart siden Hubbles dage, har det i praksis vist sig svært at måle, hvordan udvideshastigheden ændrer sig med tiden. Der findes ingen simpel måde at måle afstande på i Universet. Problemet ligger i, at hvis vi ser to galakser eller stjerner for den sags skyld, med sammen lysstyrke, så kan det være meget svært at skelne, om de lyser lige meget, fordi de ligger i samme afstand fra os, eller fordi den ene er mere lysstærk end den anden og samtidig ligger længere væk.

Supernova-fyrtårne

For at kunne se helt ud til store afstande er det nødvendigt med meget kraftige lyskilder. Astronomerne blev i 1960'erne nødt til at antage, at galakser af samme type altid lyser lige meget, for på denne måde kunne de vha. de observerede lysstyrker af disse galakser bestemme deres afstande til Jorden. Antages det, at alle de galakser, vi kikker på, udsender præcis lige meget lys, er den mængde lys, vi modtager fra én galakse i en afstand, fire gange større end den mængde lys vi modtager fra en anden galakse i den dobbelte afstand.

Med den centrale antagelse om at galakserne udsender samme mængde lys, kunne den målte lysstyrke af galakserne bruges til at bestemme deres afstand. På den måde var det muligt at sammenligne, hvor hurtigt galakserne bevægede sig på store afstande (svarende til for længe siden) med hvor hurtigt galakser bevæger sig tættere på Mælkevejen (svarende til i dag).

Resultaterne fra dengang var dog ikke entydige – og de er siden vist sig at være helt forkerte. Galakser kan ikke bruges som afstandsmålere, fordi galakser – og dermed det lys de udsender – udvikler sig med tiden. Gennem Universets 13,7 milliarder år lange historie ændrer galakserne deres lysudsendelse en hel del. De galakser, vi ser

tæt på, udsender ikke samme mængde lys som de fjernere galakser. Da galakser således ikke er standardlyskilder kan vi ikke bruge deres lys til at måle nøjagtige afstande i Universet med. Så i dag forsøger vi i stedet at benytte supernovaer til at måle afstande med, fordi supernovaer lader til at være gode standard-lyskilder.

Supernovaer er imidlertid ganske sjældne. I Mælkevejen er Keplers supernova i 1604 den sidstevi har observeret. En supernova er en kort varig kraftig lyskilde. Efter nogle ugers opblussen bliver supernovaen usynlig. Det gælder derfor om at observere standard-lyskilden i en fart! De største kikkerter i verden bliver brugt til jævnligt at gennemse en større bid af himlen i et forsøg på at finde nye lysende objekter i det fjerne univers. Nærmere studier af disse objekter er påkrævet for at påvise, om det virkelig drejer sig om den rette type supernova. Måling af en supernovas lysstyrke – og dermed dens afstand – samt den hastighed med hvilken den bevæger sig væk fra os – kan derefter anvendes til at måle Universets udvidelse.

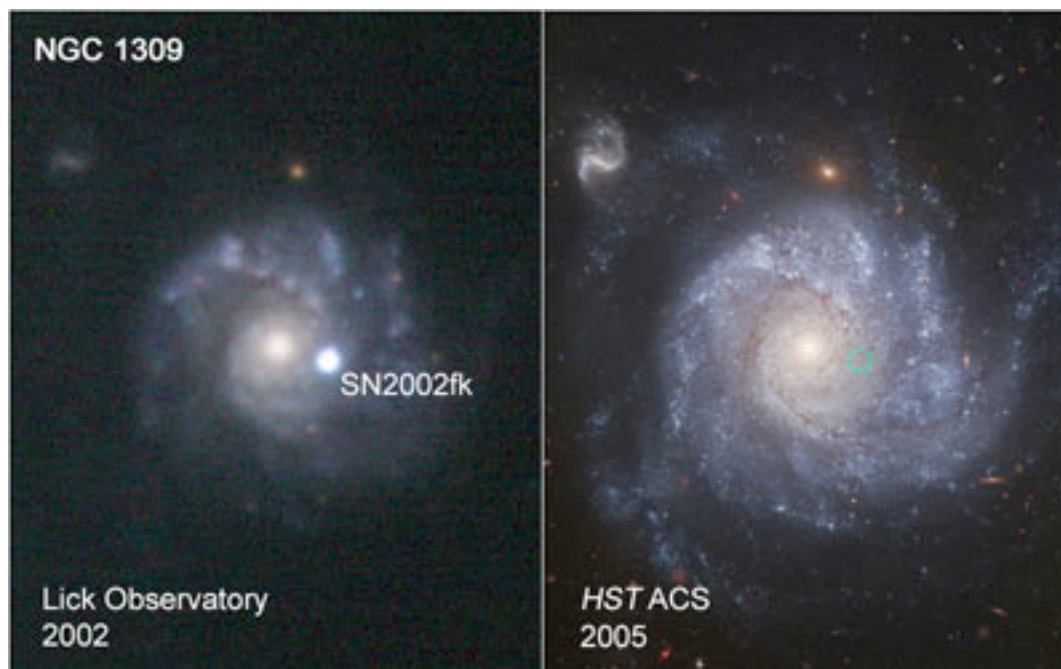
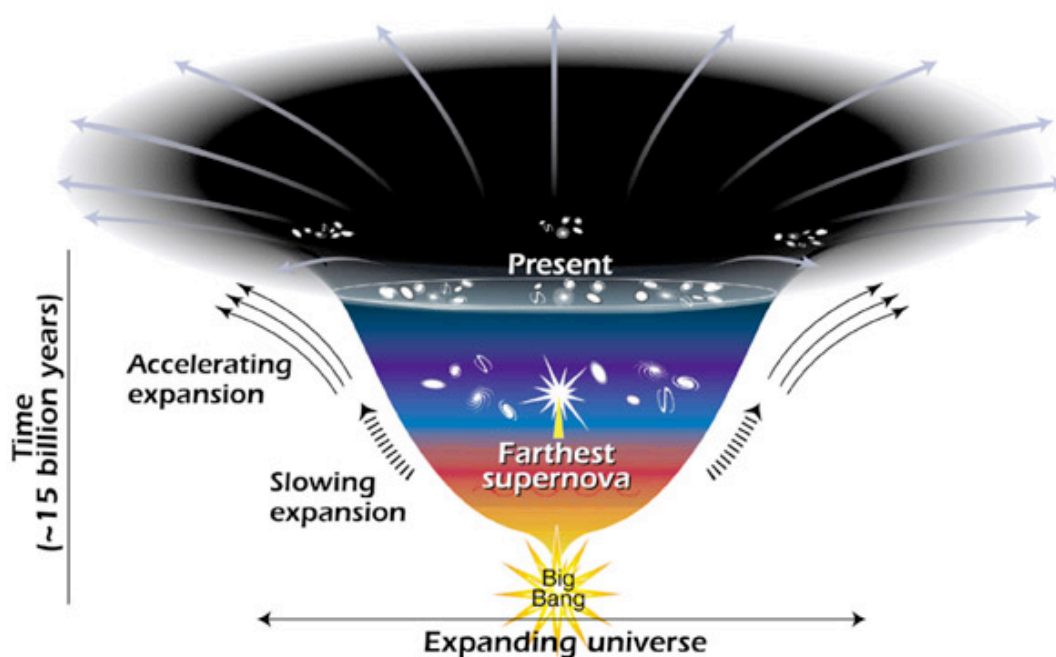


Figure 2: Galaksen NGC 1309 hvor i der blev observeret en supernova i 2002. Til venstre er et billede taget med supernovaen fra et teleskop på Jorden. Til højre er et billede af galaksen taget 3 år senere med Hubble rumteleskopet. (kredit: NASA, ESA & the Hubble Heritage Team).

Opdagelsen

Al form for stof – almindelig såvel som mørkt stof – udøver en tyngdetiltrækning på resten af Universet, og det vil derfor virke opbremsende på Universets udvidelse. Hvis Universet udvider sig langsommere og langsommere, må det forventes, at de fjerne supernovaer (hvis lys blev udsendt for længe siden) bevæger sig hurtigere væk fra os end de nære supernovaer (hvis lys blev udsendt for nylig). Men Universet opfører sig ikke, som forventet. Resultaterne af observationer af supernovaer har vist

at Universet ikke blot udvider sig men at udvidelsen går hurtigere og hurtigere. Universet accelererer!



This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers theorize that the faster expansion rate is due to a mysterious, dark force that is pushing galaxies apart.

Figure 3: Model af hvordan universet har udviklet sig siden Big Bang. Universet udvidelsehastighed var langsommere for 7,5 milliarder år end den er i dag. Det tyder på at Universets udvidelse accelererer. Årsagen til denne acceleration menes at skyldes tilstedeværelsen af mørk energi. (kredit: NASA/STSci/Ann Feild).

Siden disse observationer blev offentliggjort i 1998, har astronomer undret sig. Ingen havde forventet noget sådant. Universets accelererende udvidelse peger på, at der findes en slags "anti-tyngdekraft" som i mangel af et bedre navn kaldes for mørk energi. Einsteins kosmologiske konstant er én model for den mørke energi, men det kan også være at svaret skal findes et helt andet sted. At forstå, hvad den mørke energi virkelig er, ligger nu allerøverst på ønskesedlen hos alverdens astronomer og fysikere.

Supernova-astronomerne har ledt efter eventuelle fejlfortolkninger i observationerne. Måske er supernovaerne alligevel ikke standard-lyskilder? Måske bevirker kosmisk støv, at supernovaerne ser svagere og dermed fjernere, ud end de i virkeligheden er? Måske vil fremtidige observationer vise, at det relativt lille antal supernovaer man hidtil har set, ikke er repræsentativt? Men efter flere års systematiske og gentagne undersøgelser af supernovaresultaterne synes disse dog at være holdbare. Faktisk har observationer af flere supernovaer kun gjort resultaterne endnu mere pålidelige.

Hvordan ser Universets fremtid da ud? Det kan vi ikke sige med sikkerhed. Det beror i høj grad på den mørke energis egenskaber, og derom ved vi endnu meget lidt. I det simpleste scenario ændrer den mørke energi sig ikke med tiden. Det indebærer at den bliver vigtigere og vigtigere for Universets udvikling, da udvidelsen gør, at stoffet tyndes ud. I et sådant scenario bliver Universets udvidelse ved med at accelerere. Galakser farer længere og længere væk fra hinanden, og Universet bliver i fremtiden et koldt, tomt og mørkt sted. Men måske forandres den mørke energis egenskaber med tiden, og Universets udvikling ændres. Mange astronomer finder det lige mærkeligt nok, hvis den mørke energi er konstant. Det vil betyde, at fremtidens Univers vil være helt domineret af mørk energi. Det vil også betyde, at den mørke energi var helt ubetydelig i Universets barndom. I det tidlige Univers var det normale stof meget tættere, og dette gjorde at tyngdekraften fra dette stof dominerede over den mørke energis anti-tyngdekraft.

I de kommende år vil den mørke energi blive kortlagt, blandt andet vha. resultaterne fra supernova-observationerne samt ved undersøgelser af den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling.

Den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling

Den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling er et slags ekko fra Universets hede ungdomsår. Opdagelsen i 1965 af denne svage reststråling blev belønnet med Nobelprisen. I dag giver baggrundsstrålingen en fantastisk mulighed for at studere Universets barndom, det er nemlig det første vi kan observere af Universet. Observationer viser, at baggrundsstrålingen kommer fra alle retninger på himlen, og at den er lige varm (eller snarere kold nemlig 2,7K) i alle retninger. Men der er dog små bitte variationer i temperaturen. Disse mikroskopiske temperaturvariationer skyldes "klumper" i fordelingen af stof omkring 300.000 år efter Big Bang.

Detaljerede studier af temperaturvariationerne har bidraget med viden om Universets overordnede egenskaber og udvikling. Det allervigtigste resultat er at krumningen af Universet ser ud til at være meget lille. Universets tredimensionelle geometri er med andre ord "flad". Meget energi giver et univers med krumning som en kugle (positiv krumning). Lidt energi giver et univers med krumning som en cykelsattel (negativ krumning). Et univers med en tilpas mængde energi giver ingen krumning – et "fladt" univers. Temperaturvariationerne i den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling viser, at Universet er "fladt", men det stemmer ikke rigtigt med den målte mængde af stof i Universet.. Alt kendt stof, vi har set eller på anden vis målt tilstedeværelsen af, bidrager kun med ca. en tredjedel af den energi, der skal til for at få et fladt univers. Der mangler altså ca. 70 % energi for at få regnskabet til at gå op, og det er her, den mørke energi kommer ind i billedet. Kun ved at tilføje 70 % mørk energi kan vi opnå et konsistent billede af Kosmos. Denne energi fungerer som en slags anti-tyngdekraft, som får Universets udvidelse til at accelerere. Mørk energi påvirker Universets krumning på samme måde som energien i almindeligt stof. Tilsammen giver det præcis den mængde energi i Universet, der skal til for at få en flad geometri.

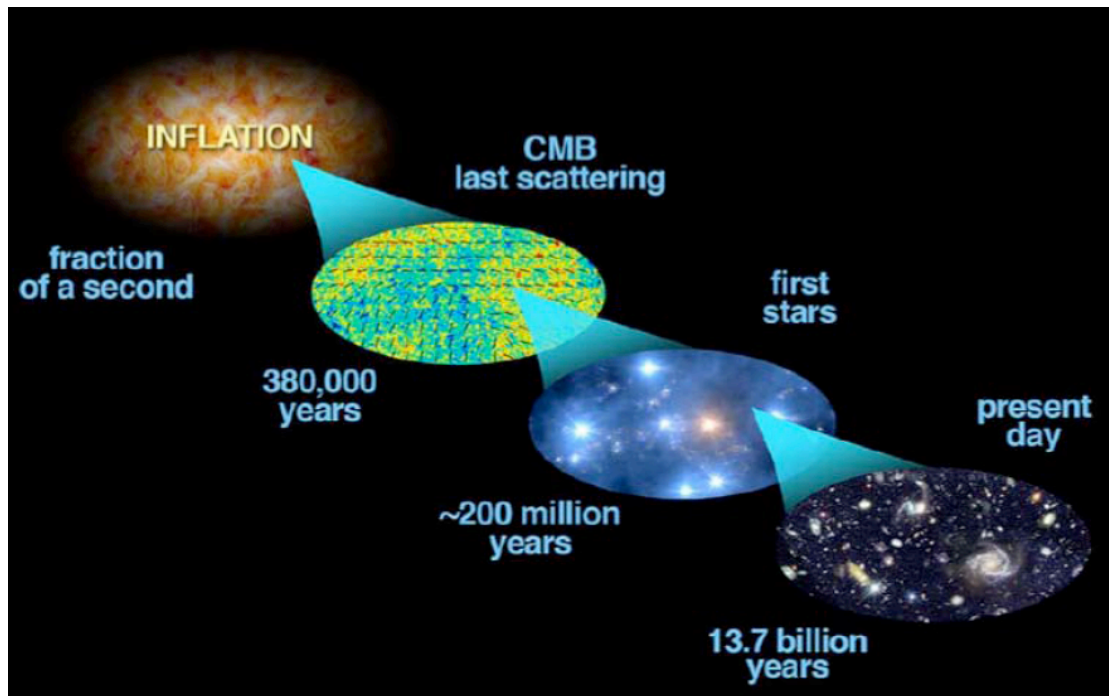


Figure 4: Observation af mikrobølge baggrundsstrålingen som den er fordelt over hele himlen. Strålingen stammer fra 13,7 milliarder år siden dengang universet blev gennemsigtigt for stråling. (kredit: NASA/WMAP Science Team)

I dag ved vi meget mere om Universet end for bare 10 år siden. Vi har et billede, der stemmer overens med flere uafhængige observationer af Universet. På den anden side er der mange ubesvarede spørgsmål. Dagens Univers består af 70 % mørk energi – og vi har ingen anelse om, hvad det egentlig er. Et bud er, at der er tale om ”vakuumergi” altså energi, som er til stede i det tilsyneladende tomme rum. Ifølge Einsteins ligning $E = m \cdot c^2$ har denne vakuumenergi masse. Det betyder, at vakuumenergien har en gravitationsvirkning på Universets udvidelse. Men bemærkelsesværdigt nok er vakuumenergiens virkning den omvendte af stofs. Stof forårsager at udvidelsen går langsommere og kan med tiden standse eller vende den, mens vakuumenergien altså skulle få udvidelsen til at accelerere.

Så meget tyder på, at det tomme rum ikke er helt tomt, men at det indeholder en smule energi. Og da Universet udvider sig, og mængden af tomt rum herved bliver større og større, bliver der mere og mere af denne energi.