
DET EKSPANDERENDE UNIVERS

De første tre tiår af det 20. århundrede var af særlig betydning i kosmologiens historie. Det var i denne periode, et nyt verdensbillede blev til, baseret på nye målinger og en ny teori for gravitationen. Den måske vigtigste baggrund for det nye verdensbillede var astronomisk, nemlig den forbavsende information man fik via studiet af Mælkevejen og de øvrige galakser. Det fik kosmologien til at komme i astronomiens fokus, eller rettere vende tilbage hertil. Men astronomien havde ikke, og har ikke, monopol på kosmologien, heller ikke i dens videnskabelige version. Også blandt fysikere var der omkring 1900 en vis interesse for området, typisk i forbindelse med enten termodynamikken eller gravitationsteorien. Før vi går videre med problemet om Mælkevejen og galakserne, der vil være hovedemnet i dette kapitel, skal vi kort omtale disse to fysik-inspirerede traditioner.

Varmedøden

Termodynamikken eller den generaliserede varmeteorie blev til omkring 1850 og er baseret på to såkaldte hovedsætninger af universel gyldighed. Den ene er princippet om energiens konstans, og den anden er loven om entropiens vækst. Ifølge energiloven, der stammer fra 1840'erne, er den samlede energi i et isoleret fysisk system uforanderlig; den kan ændre form – f.eks. fra elektrisk energi til varmeenergi – men ikke størrelse. Entropien er et mere abstrakt begreb end energien. Den henviser til ændringen i varmemængde i forhold til den absolutte temperatur, men kan også fortolkes som et mål for den molekylære uorden: Jo mindre ordnet et fysisk system er, des større er dets entropi. Allerede i 1865 formulerede den tyske fysiker Rudolf Clausius, i den artikel hvori han indførte entropibegrebet, den 2. hovedsætning i en „kosmologisk“ version, nemlig at „universets entropi stræber mod et maksimum“ (og tilsvarende at „universets energi er konstant“). Nu vil en tilstand af maksimal entropi svare til et helt ensartet system, hvor tempera-

turen er lav og overalt den samme og hvor der ikke kan være ordnede strukturer af nogen art, hverken liv, krystaller eller molekyler. Konsekvensen af den absolutte gyldighed af termodynamikkens 2. hovedsætning kan derfor synes at være, at verden uimodståeligt går mod en sådan tilstand, mod en „varmedød“. Dette var da også, hvad Clausius foreslog i 1868, da han indførte begrebet om den kosmiske *Wärmetod*.

Spørgsmålet om universets varmedød kom til at spille en betydelig rolle i fysikken, ikke blot i det 19. men også langt op i det 20. århundrede. Med den statistiske formulering af 2. hovedsætning, som formuleret af Ludwig Boltzmann i 1877, blev det muligt at hævde (som Boltzmann gjorde), at der kunne eksistere anti-entropiske enklaver i universet, dvs. lokale områder hvor entropien aftog, og hvor varmedøden derfor ikke ville indtræffe. Ja, hvis universet var uendeligt måtte sådanne enklaver, om end usandsynlige, formodes at eksistere. Så måske er vores del af universet en sådan usandsynlig, anti-entropisk enklave? Den slags luftige ideer blev diskuteret af bl.a. Boltzmann, mens andre fysikere på anden vis argumenterede, at den uønskede varmedød ikke ville indtræffe.

Den store franske matematiker og fysiker Henri Poincaré var dybt interesseret i kosmogoniske spørgsmål, specielt i solsystemets stabilitet og oprindelse. I 1889 viste han matematisk det såkaldte „rekurrensteorem“, nemlig at et system af vekselvirkende partikler, der adlyder Newtons mekanik, på et eller andet tidspunkt må vende tilbage til sin begyndelsestilstand. Men hvis entropien er et mekanisk princip (hvilket Boltzmann og andre mente), måtte det vel betyde, at 2. hovedsætning ikke kunne være absolut gyldig, og at varmedøden derfor heller ikke var uundgåelig. Ud fra Poincarés teorem argumenterede den tyske matematiker Ernst Zermelo i en diskussion med Boltzmann, at entropisætningen ikke kunne være af mekanisk natur; men den østrigske fysiker hævdede, at det blot viste sætningens statistiske karakter. Verden vil vende tilbage til lavere entropi engang i fremtiden, men det vil tage så latterlig lang tid, at det kun kan have teoretisk interesse. Dette var et synspunkt, der ikke var meget anderledes end, hvad Poincaré havde hævdet i 1893, da han foreslog, at varmedøden måske blot var „en slags slummer, fra hvilken den [verden] vil vågne op efter millioner af århundreder“. Han synes dog at have opfattet rekurrensteoremet som et matematisk bevis, ikke en sætning med praktisk fysisk gyldighed; i 1898 slog han fast at „himmellegerne kan ikke undslippe Carnots lov [2. hovedsætning], ifølge hvilken verden tenderer mod en tilstand af endelig hvile“.

I 1895 forklarede Boltzmann, hvorfor vi ikke allerede har lidt varmedøden: „Hvis vi antager, at universet er stort nok, vil sandsynligheden ikke være lille for, at en så lille del af det, som vor verden er, skulle være i sin nuværende tilstand. ... Vor verden ville efterhånden vende tilbage til termisk ligevægt; men fordi universet er så stort, vil det være sandsynligt, at engang i fremtiden vil en anden verden afvige lige så meget fra termisk ligevægt, som vores verden gør nu.“ I dette bemærkelsesværdige scenario opererer Boltzmann altså med ideen om „vort univers“ kontra „hele universet“ og fremstiller menneskets eksistens som resultatet af en tilfældig entropisk afvigelse eller fluktuation.

2. hovedsætning og varmedøden, altså det apokalyptiske scenario om universets endelige skæbne i en fjern fremtid, vedblev med at optage og bekymre mange videnskabsmænd. De dystre fremtidsudsigter fascinerede *fin de siècle*-generationen og indgik i populære fremstillinger, som i astronomen Camille Flammarions meget læste *La fin du monde* (Verdens Undergang) fra 1894. Fysikere, kemikere og astronomer som Svante Arrhenius i Sverige, Walther Nernst i Tyskland, og William MacMillan og Robert Millikan i USA foreslog mere eller mindre kunstige løsninger for at forhindre den varmedød, de ikke kunne acceptere som en konsekvens af fysikkens love. Dette ledte mellem 1900 og 1940 til en række kosmologiske scenarier, hvor nedbrydningen af universet blev ophævet af skabelse af ny energi og nyt stof. Ifølge disse opfattelser var verden et evigt skuespil, hvor entropiens vækst blev modsvaret af livgivende spontane processer i universet, hvor f.eks. stjernernes strålingstryk mentes at spille en rolle. Det var ikke opfattelser, der vakte særlig interesse blandt astronomer, men de var repræsentative for mange forskere og filosoffer, der ikke kunne acceptere termodynamikkens kosmiske tyranni.

Et enkelt aspekt af denne noget diffuse diskussion fortjener at fremhæves, nemlig dens forbindelse, ikke med verdens afslutning, men med dens begyndelse. Hvis entropien altid har vokset, og hvis verden altid har eksisteret, hvorfor er den maksimale entropitilstand så ikke allerede indtrådt? Hvorfor er verden stadig fuld af liv, udvikling og strukturer? Som den engelske geofysiker Arthur Holmes udtrykte det i 1913:

Hvis udviklingen af universet overalt er mod den udjævnelse af temperaturen som termodynamikkens love medfører, så fører det til spørgsmålet – hvorfor, i overfloden af hedengangen tid, har denne melankolske tilstand ikke allerede overtaget os? Enten må vi tro på en bestemt begyndelse

... eller vi må antage at de fænomener, vi har undersøgt, blot genspejler vor begrænsede erfaring.

Holmes og mange andre foretrak den sidste løsning, at entropiloven ikke var absolut, mens de ikke tog hypotesen om „en bestemt begyndelse“ alvorligt.

Det skulle vare mange år endnu, før spørgsmålet om en kosmisk begyndelse blev af central betydning i kosmologien. Kosmogoni i den stærke betydning af ordet – universets oprindelse og udvikling – var ikke noget, der optog astronomerne. Tværtimod blev det opfattet som suspekt, for, som den engelske astronomihistoriker Agnes Clerke fremhævede i sin *Modern cosmogonies* fra 1905: „Hvad der *er*, må undersøges, før man kan slutte sig til hvad *var*.“ Det var utvivlsomt et fornuftigt metodologisk princip, men også et konservativt princip, der hæmmede astronomernes kreativitet og fantasi.

Gravitation og kosmologi før Einstein

Uanset hvordan stjernerne og tågerne var fordelt i Mælkevejen, var der almen enighed om, at universet måtte være styret af Newtons gravitationslov. I overensstemmelse med Newtons argumenter i hans gamle diskussion med Bentley (kapitel 7) blev det normalt antaget, at universet måtte være uendeligt stort, om end astronomer sjældent beskæftigede sig med verden hinsides de kraftigste kikkerters rækkevidde. Der var imidlertid velkendte problemer med det uendelige, newtonske univers, herunder Olbers' tidligere nævnte paradoks om den mørke nattehimmel. I en artikel i *Astronomische Nachrichten* fra 1895 påpegede Hugo von Seeliger et andet problem, nemlig at man ikke kunne tilskrive gravitationskraften en bestemt værdi i et uendeligt og homogent univers. Kraften på et bestemt legeme vil være den samlede kraft fra alle massedele i universet, og Seeliger viste, at denne kraft kunne blive hvad som helst (den vil ikke „konvergere“, som det udtrykkes matematisk). „Newtons lov anvendt på det umåleligt udbredte univers,“ skrev han, „leder til uovervindelige vanskeligheder og uopløselige modsætninger, hvis man betragter stofmængden, der er fordelt i universet, som uendelig stor.“ Seeligers matematiske analyse, der året efter blev suppleret af et tilsvarende arbejde af Carl von Neumann, viste, at der var problemer med grundlaget for Newtons kosmologi; det var derfor et argument, der måtte tages alvorligt.

De umiddelbare løsninger på problemet var at antage, enten at universet ikke er homogent, eller at Newtons gravitationslov ikke er absolut gyldig i hele universet; en tredje mulighed, at antage et endeligt univers med en begrænset stofmasse, blev ikke undersøgt. Den svenske astronom Carl Charlier

Boks 13.1 SEELIGERS KOSMOLOGISKE KONSTANT

Hvis Newtons gravitationslov, $F = GmM/r^2$, skal ændres i det meget fjerne, kan det gøres ved at indføre en afstandsafhængig faktor $f(r)$, så udtrykket ændres til $f(r)GmM/r^2$. Den nye faktor må naturligvis have en sådan form, at den kun er mærkbart forskellig fra 1 for meget store afstande, således at Newtons lov stadig gælder i den nære del af universet. Seeligers forslag var at bruge en eksponentialfunktion, så loven kommer til at lyde

$$F = \exp(-\lambda r) GmM/r^2,$$

hvor λ er en positiv, meget lille konstant af ukendt værdi. For astronomisk set ret små afstande bliver $f(r)$ næsten 1, dvs. vi får den almindelige gravitationslov. For meget store kosmologiske afstande kan $f(r)$ blive mærkbart mindre end 1, så gravitationskraften bliver mindre end hos Newton. Faktoren $f(r)$ kan derfor siges at fungere som en kosmisk frastødningskraft. Konstanten λ svarer til den kosmologiske konstant, Einstein i 1917 gjorde brug af i sin kosmologi (se kapitel 14).

udviklede i 1908 en ikke-homogen, newtonsk kosmologisk model i en artikel med titlen „Wie eine unendliche Welt aufgebaut sein kann“ (Hvorledes en uendelig verden kan bygges op). Charliers univers antog gravitationslovens strenge gyldighed, men også at alt stof var fordelt lokalt, og at universet havde en hierarkisk i stedet for en homogen struktur: Galakserne var arrangeret i galaksehobe, som var arrangeret i superhobe, som igen var arrangeret i endnu større hobe osv. Det var en slags konkretisering af den ide, som Kant havde diskuteret så tidligt som 1755. Med en passende hierarkisk struktur lykkedes det Charlier at undgå Seeligers dilemma, dvs. han var i stand til give gravitationskraften i hvert punkt en bestemt værdi. Charliers model blev diskuteret op til 1920'erne, men blev sjældent opfattet som et realistisk bud på universets virkelige struktur.

Om end gravitationsloven nød stor tillid, var den ikke en hellig ko, og det stod klart, at den muligvis måtte modificeres på meget store afstande for at undgå problemer som Olbers' paradoks og Seeligers dilemma. Der var omkring 1900 adskillige forslag til at ændre Newtons berømte lov eller give den en ny begrundelse. Flere fysikere, bl.a. Hendrik Lorentz fra Holland, søgte at give en elektromagnetisk fortolkning af gravitationsloven. De færreste tvivlede på lovens gyldighed for jordske eller almindelige astronomiske fæ-

nomener, hvor den passede næsten perfekt. Men hvorfra kunne man vide, at den også gjaldt i det uendeligt fjerne? Seeliger, der ønskede at bibeholde det uendelige, homogene univers, blev gennem sådanne overvejelser ført til en ændring af gravitationsloven for meget store afstande (boks 13.1). Hans modificerede lov for den universelle massetiltrækning gik over i Newtons for ret små afstande. Det er interessant, at Seeligers forslag opererede med en størrelse, der senere skulle blive berømt og kontroversiel i forbindelse med Einsteins verdensbillede: Den kosmologiske konstant.

De nævnte og andre forslag i perioden omkring 1900 blev ikke taget særlig alvorligt blandt flertallet af astronomer. Men de viser, at man var klar over de teoretiske problemer i newtonsk kosmologi og ikke blot accepterede Newtons teori som et dogme. Seeligers forslag var velkendt og spillede senere en rolle for Einstein, da han i 1917 formulerede et langt mere radikalt alternativ til det uendelige, newtonske verdensbillede. I dette alternativ genopstod Seeligers konstant (λ i boks 13.1) i en ny forklædning og, som vi skal se, fortsatte den med at være en kontroversiel størrelse i kosmologien gennem hele det 20. århundrede.