

# Planeten Mars og væksten af orden i Universet<sup>1</sup>

*Jens Martin Knudsen, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.*

Stoffet – materien – er blevet mere og mere organiseret siden Universets fødsel. I de cirka 15 milliarder år, der er forløbet siden Det Store Brag (“The Big Bang”), har Universet udvidet sig, hvoraf følger at det til stadighed afkøles. Alle de strukturer vi ser omkring os – i.e. galakser, stjerner, planeter, roser, mennesker og universiteter – er i sidste ende et resultat af denne afkølingsproces. Medens galakser, stjerner og nu også planeter synes at forekomme overalt, er de forbløffende strukturer, vi kalder liv, kun konstateret her på Jorden. Er livet på Jorden opstået som et resultat af usædvanlige historiske tilfældigheder, eller opstår livet med tvungende nødvendighed, når de rette betingelser er tilstede? Lever vi mon i et selvorganiserende Univers? Planeten Mars vil spille en væsentlig rolle i studiet af sådanne problemer.

## Tycho Brahe og den naturvidenskabelige metode

Den 24. oktober i året 2001 er det 400 år siden den danske astronom Tycho Brahe døde. Hans arv er velkendt. På øen Hven byggede Tycho Brahe i årene fra 1576 til 1597 et astronomisk observatorium, der skulle få skelsættende betydning. Observatoriet på Hven, der dengang var dansk, er historiens første videnskabelige institut i stor skala. Observatoriet var et rent grundforskningsinstitut, bygget alene med det formål at måle planeters og stjerners gang over himlen, for derigennem at nå til en dybere forståelse af verdensaltet. Et helt afgørende nyt træk var, at Tycho Brahe for første gang i historien indførte systematiske målinger i videnskaben.

Tycho Brahes enkle og klare ide, at målinger og ikke vidtløftige filosofiske diskussioner skulle være afgørende for problemernes løsninger, har siden udgjort grundlaget for vor udforskning af naturen.

I året 1597 forlod Tycho Brahe Danmark og slog sig ned i Prag. Eet af de mest forbavsende og lykkeligste sammentræf af omstændigheder i menneskets historie var nu parat til at udspille sig: I Prag mødte Tycho Brahe den tyske astronom Johannes Kepler. Da Tycho Brahe døde i året 1601 overtog Kepler måleresultaterne fra Hven, og Kepler skulle vise sig den fornemme arv værdig. Tycho Brahes fine optegnelser over planeten Mars’ bevægelser blev – gennem et omfattende regnearbejde – det materiale, hvorpå Keplers tre love for planeterne blev opstillet. Og Keplers tre love blev grundlaget for Newtons berømte skrift over den mekaniske fysik og himmellegemernes

bevægelse, “*Philosophia Naturalis Principia Mathematica*”, offentliggjort i året 1687.

Med offentliggørelsen af “*Principia Mathematica*” nåede den kvantitative beskrivelse af naturfænomenerne sit højdepunkt. Den naturvidenskabelige metode var født.

De ideer og metoder, der lå gemt i naturvidenskabens principper ændrede menneskets skæbne totalt. Den naturvidenskabelige metode har bragt os dybtgående viden om den verden, der omgiver os, og den vil åbne den verden, der er inden i os. Anvendelsen af den videnskabelige metode – og den deraf følgende tekniske udvikling – er baggrunden for den kendsgerning, at fattigdommen i store træk er udryddet i nogle af verdens lande, og metoden har måske endog haft betydning for demokratiets fremvækst.

Den naturvidenskabelige metode har bragt os til Månen, den vil snart bringe os til Mars, og – hvem ved – måske vil vi i en fjern fremtid nå stjernerne.

## Bioteknologi, et hovedindsatsområde for Københavns Universitet

For få år siden blev Københavns Universitets forskningsstrategi på længere sigt offentliggjort. Man udvalgte 3 områder som hovedindsatsområder. De tre områder bærer følgende overskrifter:

*Bioteknologi*

*Nord-Syd problematikken*

*Miljøproblemer*

Områderne blev udvalgt, fordi de forventes at være af dyb betydning for vort samfund, ikke bare lokalt her i Danmark, men i verden som helhed. Derpå kan næppe noget menneske tvivle.

Det er imidlertid fristende at føje et par bemærkninger til det første område: Bioteknologi. Et Universitets forskning rækker jo langt udover teknologi. Et langsigtet mål for forskningen er at opnå dybere indsigt i den verden, den natur, der omgiver os, og indsigt i den natur, der er inden i os selv. Der hører mere til “bio” end teknologi!

For netop Københavns Universitet er der måske eet endog særdeles interessant aspekt i denne sag. Den enorme fremgang for den molekylære biologi i det seneste halve århundrede har skabt et grundforskningsproblem af stor betydning, et grundforskningsproblem som på en måde kan siges at være knyttet til Tycho Brahes bestræbelser.

<sup>1</sup>Den 25. oktober 2000 afholdt Jens Martin Knudsen sin afskedsforelæsning ved Københavns Universitet. Forelæsningen omhandlede bl.a. tekniske detaljer vedrørende Mössbauer spektroskopi på Mars. Teksten her udgør manuskriptet til beskrivelsen af baggrunden for studiet af Marsoverfladens udvikling.

På Hven blev de første spadestik til den bemandede flyvning til Mars taget for godt 400 år siden. Der er en sammenhæng mellem bioteknologi, den kommende bemandede flyvning til Mars, og det, der startede på Hven for 400 år siden. De følgende linjer redegør for denne måske lidt provokerende påstand.

### Dampmaskinen og Universets varmedød

Et af de mest betydningsfulde bidrag til naturvidenskaben i det 19. århundrede var opstillingen af termodynamikkens hovedsætninger.

Termodynamikkens 2. hovedsætning blev som bekendt fundet ved en skarpsindig analyse af dampmaskinens virkemåde; men 2. hovedsætning fik en betydning, der rakte langt udover studiet af forskellige typer af varmekraft maskiner.

Gennem opstilling af termodynamikkens hovedsætninger opdagede man en vigtig dissymmetri i naturen: En given mængde arbejde kan altid omdannes fuldstændig til varme. Derimod: En given mængde varmeenergi kan – i en periodisk virkende maskine – ikke fuldstændig omdannes til arbejde. Man fandt, at for at omdanne varme til arbejde – i en periodisk virkende maskine – må man nødvendigvis råde over en temperaturforskel. Maskinen skal virke mellem to varmereservoirer med hver sin temperatur  $T_2$  og  $T_1$  ( $T_2 > T_1$ ). Maskinen skal modtage varme fra det varme reservoir ( $T_2$ ) og aflevere varme til det kolde reservoir ( $T_1$ ). Den absolut højeste mulige mængde af nyttigt arbejde  $W$ , man kan opnå, når man tager energimængden  $Q_2$  fra det varme reservoir, er  $W = \frac{T_2 - T_1}{T_2} Q_2$ , som altid er mindre end  $Q_2$ . Den resterende energimængde,  $Q_1 = Q_2 - W$ , må nødvendigvis – i henhold til varmeteorien 2. hovedsætning – afleveres som varme til det kolde varmereservoir, fordi 2. hovedsætning kræver at entropien aldrig kan aftage.  $Q_2$ , taget fra det varme reservoir, kan altså ikke fuldstændig omdannes til nyttigt arbejde.

Varmeteorien 2. hovedsætning forlanger ligeledes, at spontant – d.v.s. af sig selv – vil varmeenergien strømme fra varmere til koldere legemer; aldrig (spontant) den anden vej. Desuden: Når et isoleret system har nået termodynamisk ligevægt, og dermed samme konstante temperatur overalt, kan systemet aldrig af sig selv forlade denne tilstand.

Men altså: Når varmen fra et legeme med høj temperatur strømmer til et legeme med lav temperatur, kan en vis del af varmeenergien i princippet omdannes til nyttigt arbejde, men det samlede resultat af den spontane proces må være – i følge 2. hovedsætning – at entropien i Universet er vokset.

Entropiens vækst er en anden betegnelse for, at Universets konstante energi (1. hovedsætning) spontant – i.e. af sig selv – til stadighed spredes ud på flere og flere frihedsgrader, og det kan aldrig gå den anden vej.

Varmeteorien 2. hovedsætning viste sig at indeholde nøglen til forståelsen af retningen af alle naturlige

processer, d.v.s. forståelsen af alle ændringer i Universet.

Den drivende kraft bag naturligt (spontant) forekommende processer i Universet er den kaotiske, formålsløse, ikke dirigerede spredning af Universets energi ud på flere og flere frihedsgrader. Ved enhver naturlig proces vokser Universets entropi.

Ved alle naturlige processer er energien altså bevaret (i følge varmeteorien 1. hovedsætning), men efter processen er energien fordelt på en anden måde (2. hovedsætning). I parentes: Hvis det er energiministeriets erklærede formål at spare på energien, kan man godt lukke ministeriet. Opgaven er håbløs. Energien i Universet er den samme før, under og efter enhver proces.

Man kan sige, at energien ustandselig korrumpes, i.e. energien synker ind i mere og mere kaotiske tilstande.

Anden hovedsætning dikterer retningen af alle spontane processer og dirigerer hermed Universets udvikling.

I året 1854 drog den tyske fysiker Hermann von Helmholtz en dramatisk konsekvens af varmeteorien 2. hovedsætning: Universet vil ende i den såkaldte varmedød.

Den ubarmhjertige vækst i entropi, som ledsager enhver naturlig proces, kan kun ende – hævdede Helmholtz – med ophør af al interessant aktivitet i Universet, idet hele kosmos glider irreversibelt mod en tilstand af termodynamisk ligevægt, hvor alle temperaturforskelle er udviskede.

Energien strømmer uophørligt fra varmere til koldere legemer. Hver eneste dag tømmer Universet sit lager af laventropisk energi. Nyttig energi omdannes ustandselig til nytteløst spildenergi, der ophobes ved lavere og lavere temperaturer. Denne ubønhørlige formøbling af en endelig ressource medfører, at Universet langsomt men sikkert dør; det kvæles i sin egen entropi. Vi er vidne til det: Solen og stjernerne brænder langsomt deres reserver af brændstof op, og sender den frigjorte energi ud i rummet som elektromagnetisk stråling. Før eller senere vil brændstoffet slippe op, og stjernerne vil slukkes. Vi lever på en slagge i verdensaltet, og vi vil se stjernerne langsomt blegne.

Ingen ny proces, ingen nok så snedig mekanisme – hævder teorien om "Varmedøden" – kan ændre vor skæbne på lang sigt, fordi enhver fysisk og kemisk proces er underlagt varmeteorien 2. hovedsætning, med dens nådeløse krav om entropiens vækst. De fleste naturvidenskabsmænd – alle – opfatter varmeteorien 2. hovedsætning som absolut fundamental. Den stadige vækst af entropi er uundgåelig. Ofte citeres i denne forbindelse flg. ord af Sir Arthur Eddington:

*The law that entropy always increases – the Second Law of Thermodynamics – holds, I think, the supreme position among the laws of Nature. If someone points out to you that your pet theory of the universe is in disagreement with Maxwell's equations – then so much the worse for Maxwell's equations. If it is found to be*

*contradicted by observation – well, these experimentalists do bungle things somethimes. But if your theory is found to be against the Second Law of Thermodynamics I can give you no hope; there is nothing for it but to collapse in deepest humiliation.*

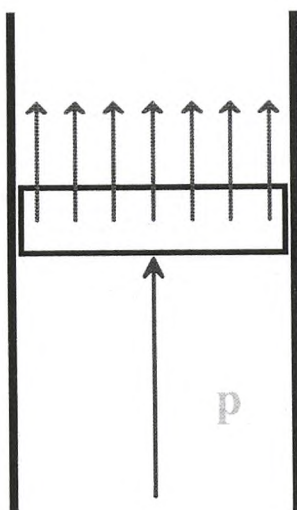
Naturens organiserede strukturer vil altså forsvinde. Uordenen vil vokse. Energien vil blive mindre og mindre brugbar, idet alle temperaturforskelle vil blive mindre og mindre. Til slut vil temperaturen blive den samme overalt, og alt liv vil da være udslukt.

Anden hovedsætning indeholder således den berømte “tidens pil”. Der er forskel på fortid og fremtid. Universets uorden vokser med tiden, eller – sagt på en anden måde – tiden har sin årsag i væksten af Universets uorden.

Det var denne opfattelse af Universets fremtid videnskaben havde omkring år 1900.

Vi skal imidlertid indse, at moderne fysik og astronomi tegner et noget andet billede af Universets historie. Et billede hvor der dog stadig mangler nogle vigtige aspekter, nogle detaljer. Det er een af disse detaljer, der har forbindelse til Hven.

Men først vil vi betragte dampmaskinen ud fra et lidt andet synspunkt.



**Figur 1.** I dampmaskinen omdannes noget af den strømmende, kaotiske varmeenergi til en ordnet bevægelse af atomerne i stemplet. Atomernes hastighedsvektorer er parallelle.

### Dampmaskinen og dannelse af koherente strukturer i Universet

Også i dampmaskinen strømmer varmen i en kaotisk strøm fra det varme til det kolde reservoir. Ved de processer, der forløber i dampmaskinen omskabes en vis del af den strømmende, kaotiske varmeenergi til en koherent struktur, eller – kan man sige – til en ordnet struktur. Energien, der i dampmaskinen kommer fra det varme reservoir, optages i maskinen i form af kaotisk varmeenergi, og energien, der afleveres til det

kolde reservoir, er ligeledes i form af kaotisk varmeenergi. Derimod: Den del af varmeenergien, der omsættes til stemplets bevægelse optræder som en koherent bevægelse af atomerne i stemplet. Se figur 1.

Hastighedsvektorerne for atomerne i stemplet er parallelle. Arbejde er atomernes koherente, i.e. ordnede, bevægelse. Varmeenergi er atomernes inkoherente, i.e. uordnede, bevægelse.

Ud af en kaotisk varmebevægelse er der således i dampmaskinen skabt en koherent bevægelse; man kunne sige, at der er skabt en koherent struktur. Orden er dannet ud af en kaotisk, uordnet varmebevægelse.

Den dannede koherente struktur afhænger helt af afkølingen, det vil sige af energistrømmen fra det varme til det kolde varmereservoir. Når denne energistrøm ophører forsvinder koherensen, “stemplet dør”.

Til sammenligning: Jorden virker som en varmekraftmaskine. Vi tager varme fra et varmt reservoir (Solen,  $T \approx 6000$  K) og afgiver varme til et koldt reservoir (rummet,  $T \approx 3$  K). De forbavsende ordnede strukturer, vi kalder livet, er skabt ved denne energistrøm fra Solen via Jorden til rummet. Strukturerne (biosfæren) er – som ved dampmaskinens strukturer – midlertidige. Når Solen brænder ud, ophører energistrømmen og strukturerne dør! Altsammen i overensstemmelse med varmeteorians 2. hovedsætning.

[I parentes: man siger undertiden, at vi lever af den energi, vi modtager fra Solen. Dette er ikke korrekt. Jorden udstråler den samme mængde energi, som den modtager fra Solen. (Faktisk lidt mere på grund af forekomsten af radioaktive grundstoffer i jordskorpen). Den energi vi modtager fra Solen er imidlertid laventropisk energi ( $\frac{Q}{T_{Sol}}$ ; “gule” fotoner), medens den energi Jorden udstråler er højentropisk energi ( $\frac{Q}{T_{Jord}}$ ; “infrarøde” fotoner). Jorden udstråler cirka 20 gange så mange fotoner til rummet, som den modtager fra Solen. Derved forøges Universets entropi. Livets ordnede strukturer opretholdes på bekostning af denne entropiproduktion].

Det afgørende: Ud fra den kaotiske varmestrøm fra Solen via Jorden til rummet kan der altså – i overensstemmelse med 2. hovedsætning – opbygges koherente strukturer. Fremvæksten af en plante fra et sædekorn, eller for den sags skyld fremvæksten af et barn fra moderen, er – set ud fra termodynamikkens synspunkt – det samme som dannelsen af arbejde i en dampmaskine. I de tre situationer dannes en koherent struktur i en lokal del af Universet: Ud fra atomer der er i nærheden af plantens blade og rodnet, ud fra atomer der er indtaget som føde og, i det sidste og simpleste tilfælde, af atomerne der udgør stemplet i dampmaskinen. I alle tre tilfælde er der tale om temporære strukturer. Alle strukturerne er midlertidige og omdannes til inkoherente strukturer, når de ikke længere drives af en varmestrøm.

Men, men: Der er en helt afgørende forskel. I tilfældet dampmaskinen kender vi præcist, ned til mind-

ste detalje, den mekanisme, der skaber den koherente struktur. Den mekanisme, derimod, der opbygger de forbløffende strukturer vi kalder liv, er endnu ukendt. Når vi observerer noget med en forbavsende struktur skal vi imidlertid ikke straks drage den konklusion, at strukturen er en konsekvens af "design", altså at der på en eller anden måde ligger en konstruktør bagved. Den observerede struktur kan være – og er! – resultatet af mange skridt, af hvilke hvert eneste er uden formål, ikke dirigeret. Alle skridt er resultatet af den spredning af energien, der fører til at kaos vokser i Universet. Det hele er et resultat af afkøling, også læseren.

Som den i dampmaskinen dannede struktur er mennesket en dissipativ struktur, hvis lave entropi (høje grad af orden) kompenseres af entropitilvækst andre steder. Når vi ikke længere kan koble til dissipationen – kaos – andre steder, synker vi mod ligevægt, altså graven. Men før dette sker, er vi koblede til kaos i Universet, og derigennem kan vi nyde en midlertidig stabilitet. Sommetider er vi måske fristede til at tilskrive hele vor livsproces en mening, måske oven i købet et formål. Der er imidlertid blot tale om, at vi er eet blandt umådelig mange led i Universets afkølingsproces.

Naturen afspejler dampmaskinen i essentielle aspekter. Energien strømmer fra høje mod lavere temperaturer, men spredningen af Universets energi er kanaliseret således, at der sker en kontrolleret langsom spredning. Temporære strukturer, som for eksempel mennesker, kan da opstå lokalt.

Vi er børn af kaos, men væk er formål; alt, hvad der er tilbage, er retning.

### Stoffets evolution. Baggrundstrålingen

Idag er de fleste astronomer af den opfattelse, at Universet blev født i en eksplosion af rum og stof i det såkaldte "Store Brag" (Big Bang), der fandt sted for omkring 15 milliarder år siden. Denne model af Universets oprindelse og udvikling er i stand til at forklare tre fundamentale observationer: galaksernes flugt fra hverandre, den kosmiske baggrundstråling, og mængden af helium i Universet. Indenfor denne model af Universets oprindelse og udvikling har astrofysikerne været i stand til at beskrive Universets historie, i nogen grad ligesom palæontologerne på grundlag af studier af fossiler i forskellige lag har været i stand til at redegøre for livets historie her på Jorden.

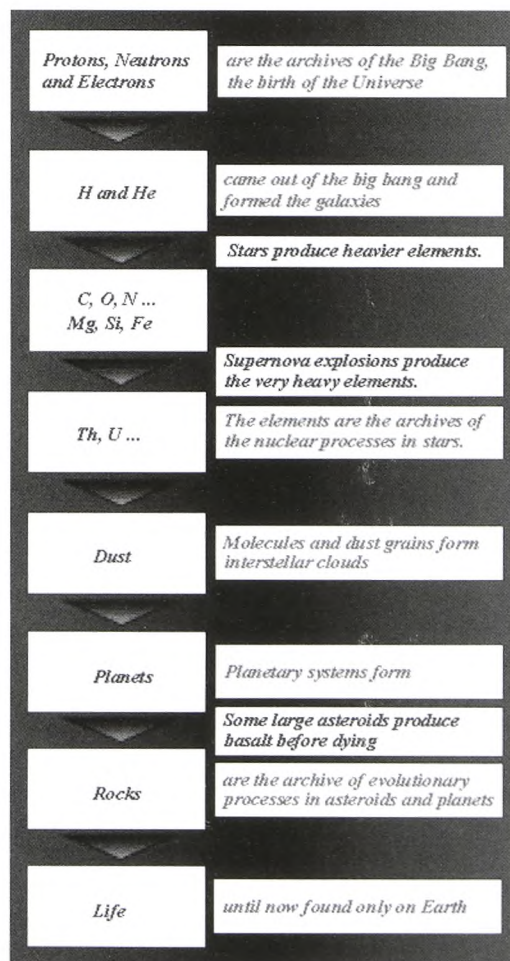
I Universets historie er der ifølge modellen to store epoker: Strålingens epoke og stoffets epoke.

Strålingsepoken er perioden fra Universets dannelse op til cirka 300.000 år efter Universets opståen.

Efter et tidsforløb, der måles i minutter efter "Det Store Brag", var de afgørende dele af stoffet dannet. Rummet var overalt fyldt med en blanding af elektroner, protoner og neutroner; og disse partikler bevægede sig i et bad af elektromagnetisk stråling. Alt – til at begynde med – i termodynamisk ligevægt ved en temperatur af mange milliarder grader.

Men: Ved "Det Store Brag" skabtes et Univers i stadig udvidelse og denne udvidelse forårsagede – og forårsager den dag idag – at Universet til stadighed afkøles.

I strålingsepoken udgjorde Universets indhold af stråling og ladede partikler en homogen "suppe", et såkaldt plasma. Universet var en udifferentieret masse, med samme temperatur overalt og ingen mulighed for dannelse af strukturer; og altså ingen atomer. Ved de høje temperaturer blev dannede atomer straks igen ødelagte.



**Figur 2.** Væksten af orden i Universet. Hører de ordnede strukturer, vi kalder liv, med til den almindelige, voksende organisation af stoffet i Universet?

Da Universets temperatur efter ca. 300.000 år var faldet til nogle få tusinde grader, dannedes de første atomer, idet protoner og helium kerner indfangede elektroner. Cirka 75% af stoffet var da brintatomer, resten helium. Det afgørende er nu:

Ved dannelsen af atomerne blev Universet gennemsnitligt for den elektromagnetiske stråling. Elektromagnetisk stråling vekselvirker stærkt med frie elektroner, men strålingen vekselvirker kun svagt med elektrisk neutrale atomer (bortset fra vekselvirkning ved visse udvalgte frekvenser). Ved afslutningen af

strålingsepoken blev stof og stråling altså afkoblet. Stråling og stof vekselvirkede kun yderst svagt herefter.

Ved strålingsepokens afslutning var Universets temperatur i det væsentlige den samme overalt, nogle få tusinde grader. Siden da er strålingsbadets temperatur – på grund af afkøling gennem Universets udvidelse – faldet til den temperatur strålingen har idag, ca. 2,7K. Det er den berømte baggrundsstråling, et fossilt men klart resultat af Det Store Brag (Big Bang).

Satellitbaserede målinger af denne kosmiske varmestråling svarer ret præcist til en Planck stråling med en temperatur af 2,7 K. Stråling og stof synes at have været i (næsten) termodynamisk ligevægt, da de to systemer afkoblede ca. 300.000 år efter “Det Store Brag”.

Stoffets epoke udgør resten af Universets historie, altså perioden fra strålingsepokens ophør ca. 300.000 år efter “Det Store Brag” til idag. Som en følge af den faldende temperatur begyndte de kosmiske gasser via tyngdekraften at kondensere; disse kondensater blev kimene til de første galakser, som således i det væsentlige bestod af de to simpleste grundstoffer brint og helium. I galakserne dannedes de første stjerner, og i disse naturens store ovne blev de tungere grundstoffer dannede. Gennem store stjerneeksplosioner spredtes de nydannede grundstoffer ud i rummet, og nye generationer af stjerner fulgte. Stoffet udviklede sig således fra brint og helium, via kulstof, ilt, ..., svovl, ..., jern osv. til molekyler, støv og planeter.

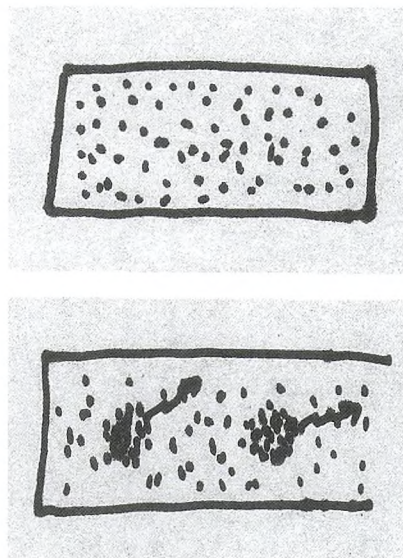
Figur 2 viser i skematisk form den forbavsende kendsgerning, at stoffet i Universet – siden “Det Store Brag” – er blevet mere og mere ordnet. Vi skal indse, at de mange forskelligartede strukturer vi idag ser i Universet – for eksempel galakser, stjerner, planeter, roser, mennesker, biblioteker og universiteter – er dannede som følge af at Universet til stadighed udvider sig og dermed afkøles. Alt hvad vi ser omkring os, altså også livet selv, mennesket ja hele vor kultur er et resultat af afkøling.

Hvordan kan denne dannelse af strukturer overhovedet finde sted? Er det ikke i modstrid med varme-teoriens 2. hovedsætning? Ved strålingsepokens udløb var temperaturen i det væsentlige den samme overalt i Universet, og entropien var således tilsyneladende tæt ved sit maksimum. Universet synes at være dødfødt set ud fra termodynamikkens resultater. Varmedøden – samme temperatur overalt – var tilsyneladende nået ved strålingsepokens ophør. Kun temperaturforskelle kan jo frembringe nyttigt arbejde eller – sagt på en anden måde – kun temperaturforskelle kan frembringe ordnede strukturer. Hvordan kan vi da forklare fremvæksten af strukturer fra det kosmiske plasma? Hvordan har entropien kunnet vokse siden strålingsepokens ophør, hvor Universets entropi tilsyneladende var tæt ved sit maksimum?

Svaret på disse spørgsmål er langt fra trivielt, men svaret er afgørende for vort emne. Nedenfor følger et forenklet og kortfattet forsøg på at give svaret.

## Entropi og Gravitation

I den elementære termodynamik lærer vi følgende (se figur 3): Entropien  $S$  af en gas i en lukket beholder med volumen  $V$  har maksimum, når temperaturen er den samme overalt, og når gassen fylder hele beholderen [ $S = a \ln V$ ,  $a$  er en konstant]. Gassen er da, siger man, i termodynamisk ligevægt. Ingen temperaturforskel vil mere kunne optræde i gassen og entropien kan ikke stige yderligere. Gassen kan ikke forlade den termodynamiske ligevægt.



**Figur 3.** En luftart indespærret i en beholder i laboratoriet har maksimal entropi, når luftarten udfylder hele beholderen ( $S = a \ln V$ ). Dette er ikke tilfældet, hvis beholderens dimensioner er sammenlignelige med Mælkevejens dimensioner. Se teksten.

Disse resultater gælder imidlertid kun, hvis vi ser bort fra tyngdekraften. Tyngdekraften er en langtrækkende kraft. Hvis den betragtede beholder har dimensioner som Mælkevejen vil gassen netop ikke fylde hele volumen. Tyngdekraften vil da skabe lokale koncentrationer af stof (“stjerner”) og entropien vil hermed stige gennem produktion af fotoner, først via varme og sluttelig gennem kernereaktioner. Den oprindeligt dispergerede gas har altså lav entropi. Gassens entropi kan vokse gennem lokale koncentrationer af stof via tyngdekraften, selvom der herved skabes temperaturforskelle i gassen.

Derfor: Når vi betragter både stoffet og det tilhørende gravitationsfelt, kan vi forstå, hvorfor Universet – på trods af 2. hovedsætning – var i stand til at skabe temperaturforskelle og derigennem at strukturere sig selv. Den oprindeligt dispergerede gas havde lav entropi, som kunne forøges yderligere gennem tyngdens virkninger.

Igennem hele strålingsepoken var gassen for varm til at kondensere. Den høje termiske agitation af gassens partikler modstod gravitationskraftens greb; men da Universets udvidelse – og den deraf følgende afkøling

– havde dæmpet de termiske bevægelser, kunne gravitationskraften stramme grebet og skabe lokale kondensater.

Denne noget simplificerede fremstilling lader os forstå, hvorledes temperaturforskelle kunne opstå i et Univers, der ved strålingsepokens ophør havde (nær) samme temperatur overalt, og dermed tilsyneladende allerede var i termodynamisk ligevægt.

Dette betyder imidlertid ikke nødvendigvis, at ideen om Universets sluttelige varmedød må forlades; men – og dette er ligeledes af central betydning – Universets udvidelse medfører, at entropien til stadighed kan vokse, uden nødvendigvis nogensinde at nå maksimalværdi. Den maksimale værdi af entropien i et ekspanderende Univers vokser med tiden, fordi Universets volumen bliver større. Fænomenet sammenlignes undertiden med et svømmebassin, der har vægge, der bevæger sig bort fra hverandre. Hvis vi forsøger at fylde et sådant svømmebassin med vand, kan mængden af vandet i bassinet vokse ustandselig, uden at vi nogensinde risikerer, at svømmebassinet bliver fyldt op og løber over. Det 19. århundredes statiske Univers ville være at sammenligne med et svømmebassin med faste vægge. Dermed ville varmedøden være uundgåelig.

Som en afsluttende sidebemærkning i denne sag:

Universets temperaturforskelle synes at vokse, i stedet for at aftage. Hvis Universet fortsætter med at udvide sig, kan varmedøden dog – i en meget, meget fjern fremtid – måske blive Universets skæbne. Dette vil da ske på en måde, der ligger umådelig langt fra de forestillinger, det 19. århundredes fysikere havde. Studiet af den måde, hvorpå tyngdekraften påvirker entropibegrebet, sammen med opdagelsen af Universets udvidelse, har fuldstændig ændret vor opfattelse af verdensaltet.

Som det ofte er fremhævet er videnskabens verdensopfattelse af temporær betydning. Videnskabens resultater er under stadig revision. Nye opdagelser kan ændre vor opfattelse af Universets historie. Som vi nedenfor skal se: Det er netop en sådan opdagelse, man er på jagt efter. Hovedspørgsmålet er: Lever vi i et selvorganiserende Univers?

### **Er livet et tvingende ledsagefænomen til dannelsen af visse typer af stjerner?**

Livet på Jorden er et fænomen, der optræder i fuld overensstemmelse med kravene fra termodynamikkens 2. hovedsætning. Dette betyder naturligvis ikke, at de forbavsende ordnede strukturer, vi kalder for liv, på nogen måde er forklarede. Et grundproblem knytter sig til følgende spørgsmål:

Hvilken rolle spiller livet i den fremadskridende ordning af stoffet i Universet?

Vi har konstateret, at den tavse stjernefyldte himmel ikke er en uforanderlig baggrund til fænomenerne her på Jorden. Tværtimod, Universet udvider sig og kompleksiteten af stoffet er vokset støt siden "Det Store

Brag". Denne evolution er selve tidens inderste kerne; den viser os retningen af tidens pil.

Betragter man Jorden i dette kosmiske perspektiv, kan vi måske opfatte livet som et trin blandt flere i stofets evolution mod højere og højere organisation, en evolution drevet i sidste instans af Universets udvidelse og den deraf følgende afkøling. Biologisk materiale er måske blot et yderligere – omend forbavsende – skridt i den til stadighed voksende organisation af atomerne i Mælkevejen.

Strukturen af de to simpleste atomer, brintatomet og heliumatomet, er velkendte. Grundtilstanden såvel som eksiterede tilstande af disse atomer kan beregnes med en høj grad af præcision. Vi kan ligeledes bestemme frekvens, intensitet og polarisation af det lys, der udsendes ved kvanteovergangene i disse atomer. Men som vi har set:

De muligheder der ligger gemt i brint og helium er mildest talt forbløffende! For ti milliarder år siden var vor galakse, Mælkevejen, en kæmpemæssig roterende sky af netop brint og helium. Gennem milliarder af års kosmiske udvikling har den galaktiske sky af brint og helium omdannet sig til stjerner, planeter og liv. Ud fra dette synspunkt kan biologisk materiale opfattes som en slags fysisk tilstand af stoffet. Stoffet i Mælkevejen har forskellige fremtrædelsesformer: plasma tilstand, flydende tilstand, fast tilstand og (måske) biologisk tilstand.

At forestille sig, at biologi er et fænomen udelukkende tilstede her på Jorden opfattes af nogle forskere som en tilbagevendende til tiden før Copernicus. Dengang opfattedes Jorden som Universets midtpunkt og mennesket som altings formål. Gennem observationer ved vi nu, at fjerne egne af Universet har samme fysik og samme kemi, som vi finder her på Jorden. Derimod leder det ofte til kontroverser, når talen falder på biologi. Det skyldes sandsynligvis den kendsgerning, at vi indtil idag ikke med sikkerhed har konstateret biologiske processer udenfor Jorden. Iøvrigt vil konstatering af extraterrestisk biologi sandsynligvis blive vanskelig!

Men: Livet opstod på Jorden ud af det råmateriale stjernerne producerede. Dette leder til vort fundamentale spørgsmål:

Er udviklingen af stoffet mod større og større kompleksitet – indbefattende biologiske fænomener – et universelt fænomen? Er biologi så at sige et "ordinært medlem" i den vækst mod højere orden, som stoffet i Universet gennemløber? Nedenfor vil vi formulere spørgsmålet som følgende: Lever vi i et selvorganiserende Univers?

Et betydningsfuldt forskningsprogram for det 21. århundrede vil netop være at afgøre om Jorden, med det liv den huser, er enestående som planet i Mælkevejen. Nært forbundet med dette problem er spørgsmålet om livets kosmiske udbredelse. Kommer livet med tvingende nødvendighed hver gang en stjerne som Solen dannes?

## Livets udvikling på Jorden

Livets oprindelse på Jorden forbliver et mysterium. Livets historie, derimod, er kendt med en ret høj grad af nøjagtighed takket være palæontologien og den molekylære biologi. Livet opstod for omkring 4 milliarder år siden, og livets lange historie viser med sikkerhed, at det bemærkelsesværdige fænomen vi kalder evolution, har fundet sted. Udviklingen fra en primitiv, encellet struktur til mennesket synes at vise, at også livets udvikling er gået i retning af mere og mere komplicerede strukturer. Livets evolution på Jorden synes at afspejle en udvikling af stoffet mod en stadig højere grad af ordnede strukturer. Der kan nævnes nogle få tilfælde af det, vi kalder regressiv evolution, men i det store og hele er evolutionen irreversibel og progressiv. En uddød art er aldrig genopstået. Såvel Universets udvikling i almindelighed, som livets udvikling her på Jorden, viser i hvert fald helt tydeligt, at nogle begivenheder går forud for andre. I fysikken siger man, at tiden flyder i en bestemt retning. Vi taler om tidens pil. Hvis vi således betragter Universet i sin helhed kan vi sige, at livets udvikling her på Jorden kan opfattes som eet aspekt af udviklingen af Mælkevejens stof mod stadig højere organisation.

Der er imidlertid forskellige opfattelser af denne sag. Her følger en kort beskrivelse af to aspekter af problemstillingen.

Traditionelt har biologerne opfattet livet som et særegent kemiens lune, som en slags gevinst i et kæmpemæssigt lotteri. Livet betragtes som en bizar foreteelse, et resultat af en så usandsynlig sammenkædning af molekyler, at den måske kun har fundet sted eet eneste sted i Universet, nemlig her på Jorden. Den franske biolog og nobelpristager, J. Monod, har udtrykt det således:

*... langt om længe ved mennesket at det er alene i det følelseskolde, uendelige Univers, hvoraf det udsprang ved en tilfældighed.*

Lignende overvejelser gælder livets evolution. I henhold til den ortodokse opfattelse er den darwinske udvælgelse fuldstændig blind. At evolutionen fra mikrobe til menneske synes at vise opadgående udvikling finder udelukkende sin begrundelse – siger darwinisterne – i menneskets arrogance. Vi opfatter os selv som en slags krone på værket. Men – siger darwinisterne – vejen gennem evolutionen er en tilfældig gang gennem de tilstedeværende muligheder. Filteret er den naturlige udvælgelse, som måske kan give indtryk af en retning, et "mål". Men: Der er ingen retning, ingen indre drivende kraft mod højere organisation. For eksempel ingen drivende kraft mod bevidsthed og intelligens. Skulle alt højere liv på Jorden, ved en katastrofe engang blive udsluttet, og evolutionens "film" så at sige spillet een gang til, ville mennesket ikke – ifølge den darwinske opfattelse – opstå igen. Evolutionen er fyldt med historiske tilfældigheder.

Bemærk, at denne opfattelse er helt forskellig fra den opfattelse, vi har af for eksempel stoffets evolution

i en stjerne. Denne evolution følger ganske bestemte fysiske love i detaljer, og resultatet kan forudsiges. Vi kan eksempelvis beregne, hvor meget kulstof og hvor meget ilt, der dannes i en stjerne af en given størrelse.

Der er imidlertid en helt anden opfattelse af livets oprindelse og udvikling end det ovenfor kort beskrevne darwinske synspunkt. En slags deterministisk skole, der på en måde udfordrer den klassiske darwinske opfattelse. Kort beskrevet: Komplexitet kan opstå spontant gennem processer, der går under betegnelsen selvorganisation. Stoffet har efter den deterministiske skole på een eller anden måde en indbygget – endnu ikke klarlagt – tendens til opbygning af organiserede strukturer. Man taler om selvorganiserende processer. Hvis dette viser sig at være tilfældet, er vejen til dannelse af liv ikke underlagt tilfældighedernes lune. Vejen til liv, til bevidsthed og intelligens er måske en helt anden end den tilfældighedens vej, der beskrives i darwinismen.

Selvorganisationens relevans for biologi er under debat. Opfattelsen antyder, at medens Universet i henhold til varmeteorien 2. hovedsætning bevæger sig mod "varmedøden", eksisterer der måske et andet fundamentalt træk i naturen: En progressiv tendens, hvor Universets stof bevæger sig mod højere og højere organisation. I henhold til denne deterministiske opfattelse er livet indbygget i den lovmæssighed, hvorefter stoffet i Universet udvikler sig. Livet er indskrevet i det store kosmiske drama på en helt grundlæggende måde. Livet fremkommer, ikke som et resultat af sjældne historiske tilfældigheders spil; men som een, omend forbavsende, så dog naturlig fremtrædelsesform for stoffet i Universet.

Der er således to helt forskellige opfattelser af livets stilling i Mælkevejens udvikling.

På den ene side det ortodokse syn med opfattelsen af den historiske tilfældigheds afgørende rolle. Den tilfældige mutation, der via det berømte filter, den naturlige udvælgelse ("survival of the fittest"), fører til en livets evolution uden nogen indbygget "vej mod højere og højere organisation af stoffet". På den anden side det vel noget overraskende syn, at vi måske lever i et selvorganiserende Univers, hvor stadig mere komplicerede systemer uophørligt formes. Lever vi måske i et Univers, hvor naturlovene fremtvinger en udvikling frem mod liv, bevidsthed og intelligens? Et Univers der, samtidig med at det synker mod kaos, mod varmedøden, på en måde "bliver bedre og bedre".

Eftersøgning af liv udenfor Jorden er den centrale prøvesten for de to rivaliserende opfattelser. Og her har vi den afgørende betydning af eftersøgning af liv på Mars.

For milliarder af år siden husede planeten Mars flydende vand i form af floder og søer. Mange mener desuden, at der på den nordlige halvkugle af Mars var et ocean sammenligneligt med Stillehavet her på Jorden. Da livet opstod på Jorden for cirka 4 milliarder år siden, var de klimatiske betingelser på Jorden og Mars altså

stort set de samme. Hvis livet kommer med tvingende nødvendighed, når de rigtige betingelser er tilstede, er der således den mulighed, at livet opstod på Mars såvel som på Jorden.

Der ligger måske en perle af potentiel kundskab gemt i klipperne på Mars. Hvis man finder en bakterie på Mars, fossil eller i live – og man kan påvise at denne bakterie er dannet på Mars uafhængigt af biosfæren her på Jorden – vil det på dybtgående vis påvirke vor opfattelse af stoffets udvikling i Mælkevejen.

Vi lever da – med en til vished grænsende sandsynlighed – i et selvorganiserende Univers. Derfor: Til Mars!

### **Hvor er den information kommet fra, der er indbygget i DNA molekylet?**

Det er ikke stedet her at redegøre for sammenhængen mellem termodynamik og informationsteori. I den matematiske teori for kommunikation vises det, at der er en forbindelse mellem det, der i kommunikationsteorien kaldes "støj", og det der i termodynamikken betegnes entropi. Når signalerne på telefonlinjen forstyrres, kan det opfattes på to forskellige måder: enten at der kommer støj på linjen eller at der flyder information bort fra linjen. I sin yderste konsekvens kan man sige, at resultaterne af varmeteorien 2. hovedsætning kan opfattes enten som væksten i entropi eller som fald i information. Efter disse løse bemærkninger vil vi formulere det afgørende spørgsmål:

Hvor er den uhyre mængde af information, der ligger gemt i for eksempel menneskets DNA molekyle kommet fra?

DNA molekylet indeholder som bekendt den information, der kræves for at konstruere et nyt individ, og også den information, der senere er nødvendig for individets funktion. Der er således tale om et anseeligt regnemaskine program, en instruktionsmanual af forbløffende kraft!

Set fra Darwinismens synspunkt er informationen skabt via det før omtalte berømte filter: Naturlig udvælgelse. Livet importerer information fra omgivelserne som et resultat af tilfældige mutationer. Mutationerne er biologisk set ækvivalente med støj på linjen. Succesfulde mutationer er de mutationer, der kan reagere på omgivelserne, så individet overlever. Omgivelserne udvælger så at sige den information, der efterhånden ender op i DNA molekylet. Miljøet føder ny information ind i den genetiske arvemasse via naturlig udvælgelse.

Men kunne vi tage fejl? Kunne der være en "konstruktionsvej" til DNA molekylet lige så "deterministisk" som vejen til dannelsen af kulstof og ilt i en stjerne ud fra brint og helium? Søg og I skal finde!

Til syvende og sidst ligger oprindelsen til biologisk information gemt i Universets udvidelse. På trods af, at temperaturen stort set var den samme overalt i Universet ved strålingsepokens afslutning, var – som vi har set

– Universets entropi langt fra maksimal. Gennem Universets udvidelse og gennem gravitationskraften skabtes der muligheder for temperaturforskelle og dermed for vækst af entropi. Overalt i Universet blev der således skabt de betingelser, der er nødvendige for at danne strukturer, i.e. orden via en varmestrøm. Ligger der her gemt en "deterministisk" vej til dannelse af DNA molekylet? Ingen ved det, men den ultimative kilde til information i DNA molekylet er Universets udvidelse i sammenspil med gravitationen. Alt, hvad vi ser omkring os, er et resultat af afkøling.

### **Afslutning**

I de kommende år vil vi se en omfattende udforskning af Mars, kulminerende med den bemandede flyvning til planeten.

Rejsen til Mars har det formål at udvide vort kendskab til Mælkevejens udvikling, og herunder især at opnå indsigt i de fysiske og kemiske betingelser, der fører til dannelsen af liv. Måske kan vi gennem studiet af planeten Mars besvare det helt afgørende spørgsmål: Lever vi i et selvorganiserende Univers?

Men rejsen til Mars vil indeholde meget mere. Den vil for eksempel sætte os i stand til at undersøge mulighederne for rejser til stjernerne; sætte os i stand til i realiteternes verden grundigt at overveje mødet mellem mennesket og det store Univers. Alt dette udvider menneskets horisont. Vor teknologi er underkastet vor fantasi, og ikke omvendt – vi tager til Mars, ikke på grund af vor teknik, men fordi vi ønsker at nå til en dybere forståelse af det Univers, hvoraf vi selv udsprang.

Det ville være en arv, der er Tycho Brahe værdig, hvis Københavns Universitet med kraft og vitalitet ville deltage i denne kommende udforskning af Mars. Det ville måske oven i købet være et mål for Øresunds Universitetet! Når mennesket om et par årtier sætter de første fodtrin i det røde støv på Mars, og bygger den første forskningsstation på planeten, bør denne station bære følgende navn:

#### **"Hven 2".**

Stjernerne over Øresund viste vejen mod uendeligheden.



Jens Martin Knudsen er dr.scient.