

Universets størrelse – tro og viden gennem 2500 år

Erik Høg, Astronomisk Observatorium, Københavns Universitet.

Det synlige Univers er en million milliarder gange større end Tycho Brahe troede, og med ham alle kristne og arabiske lærde siden grækeren Ptolemæus

Vi ser Sol, Måne og stjerner på himlen, som om de sidder indvendig på en himmelkugle. Men meget tidligt har mennesker haft forestillinger om dybden i himmelrummet. Grækeren Anaxagoras levede for 2500 år siden, og han påstod, at Solen er en rødglødende sten større end hele halvøen Peloponnes. Han blev anklaget for gudsbespottelse og måtte forlade Athen, hvor han havde boet i 30 år. Det var vel en rimelig anklage, når alle jo vidste, at solguden Helios hver dag kører fra øst til vest over himmelhvelvet i sin ildsprudende vogn og om natten færges tilbage i et gyldent skib.

Er det mon det ventende, endnu tomme, gyldne skib, vi ser på Himmelskiven fra Nebra? Denne guldbelagte bronzeskive (figur 1) stammer fra år 1600 f.Kr. og er således den første kendte afbildning af Kosmos i menneskehedens historie.

Hvad er der oppe i himlen? Mennesker til alle tider har lagt mærke til Måne, Sol, planeter og stjerner. Kristne i oldtid og middelalder har desuden ment, at Gud, englene og de salige boede i himlen. Nutidens astronomer finder naturligvis stadig Måne, Sol, planeter og stjerner oppe i himlen, men desuden stjernehaube, galakser, støv, gas, hvide dværge, neutronstjerner, sorte huller osv. osv., og endelig *tungt*, men *usynligt stof*, hvis sande fysiske natur er astronomiens største gåde i dag.

Men her skal vi mest se på, hvad mennesker i tidens løb har tænkt og troet om Universets størrelse med hensyn til afstandene til Måne, Sol, planeter og stjerner. Dog skal de seneste 100 år med galakser og big bang også have et par ord med på vejen til allersidst.

Dantes Univers

Fra nutiden springer vi først 700 år tilbage til Dantes berømte værk, Den guddommelige Komædie, inden vi senere vender tilbage til grækerne.

For nogle år siden begyndte jeg igen at læse klassikerne. Jeg sagde til mig selv: det er på tide, når man er oppe i tresserne, hvis det skal nås, mens hovedet er klart. Dante vandrer gennem Helvede, Skærsilden og Himlen, og det slog mig, så tit han omtaler astronomiske forhold. Han vidste god besked om sin tids videnskab, som han havde studeret på universiteterne i Firenze og Bologna. Det var åbenbart vigtigt for ham at få disse forhold med – selvfølgelig altid i poetisk klæde- dragt, men alligevel klart nok, hvis man læser kommentarerne.

I bunden af Helvede står den kæmpestore, lådne Lucifer med genitalierne lige i Jordens centrum, som man ser på Botticellis tegning fra ca. 1500 (figur 2). Dante skal forbi Lucifer for at nå kanalen, der fører gennem Jorden ud til Skærsildsbjerget på den anden side af kloben. Dante må nu ride på ryggen af sin guide, den romerske digter Vergil, der modigt tager fat i Lucifers pels og kravler nedad. Da han når til hoftens runding nær Jordens centrum, må han dreje, så hovedet vender den anden vej. Her møder vi Aristoteles' fysik, der siger, at alle ting søger mod deres naturlige sted, det vil her sige Jordens centrum. Der er altså ikke tale om en tyngdekraft, et begreb der først blev udviklet af Newton næsten 400 år senere.

Da de står på Skærsildsbjerget og skuer mod den opgående sol, lægger Dante mærke til, at solen går over hans *venstre* skulder. Vergil forklarer, som altid beredvilligt, at sådan er det på den sydlige halvkugle.

Sådan kunne jeg fortsætte med eksempler fra Dante. Hans beskrivelser er så klare, at man kan tegne et billede af Dantes og dermed middelalderens Univers med Jorden i centrum, omgivet af sfærerne for Ilden, Månen, Merkur, osv. til Saturn, fiksstjernerne, krystalhimen, og allerøverst Empyreum med de salige, englene og Gud.

Afstandene

Dantes billede af Universet med Jorden nederst og Gud øverst er derfor passende i tabellen, hvor vi angiver afstande i Universet, dels som angivet af Ptolemæus, dels de sande afstande.

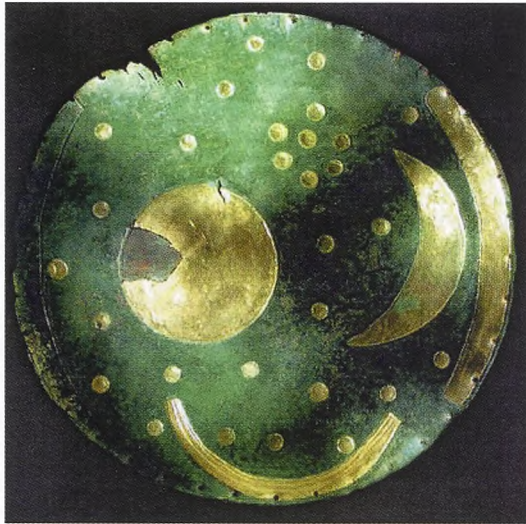
Dante har sikkert også vidst besked med afstandene i Universet som de var angivet af den store græske astronom Ptolemæus, der levede omkring 150 efter Kr., idet Ptolemæus' afstande var blevet anerkendt af hele den dannede verden, den kristne såvel som den arabiske.

Grækerne

Græsk tænkning over naturens orden trivedes i områderne langs hele det østlige Middelhav fra Archimedes i Syrakus på Sicilien til Eratosthenes og Ptolemæus i Alexandria, og den var levende og aktiv over et meget langt tidsrum fra ca. 600 f.Kr. til 200 e.Kr. Selvfølgelig var det kun et smalt lag i samfundene, der havde tid og interesse for den slags, men deres tanker blev husket til alle tider af romere og arabere op gennem Middelalderen.

Man søgte efter *naturlige forklaringer*, mens andre i samfundene stadig troede på de ofte meget menneskelige guders indgriben i alle begivenheder. Denne til-

sidesættelse af guderne kunne voves uden politiske anklager i netop de græske samfund med en demokratisk struktur. I andre samfund dengang, hvor herskerne kaldte sig selv for guder, eller påstod at være i nær familie med disse, måtte sådanne tanker opfattes som angreb på samfundsordenen med deraf følgende livsfare for den, der talte højt om naturlige forklaringer. Når Anaxagoras i Athen blev anklaget for gudsbespottelse, betragtes det af nutidens forskere som et led i den politiske kamp efter Perikles, som var Anaxagoras' gode ven.



Figur 1. Himmelskiven fra Nebra i Tyskland. Denne arkæologiske og kulturhistoriske sensation er dukket op i år 2002 og dateres til 1600 f.Kr., den ældre bronzealder. Enhver kan se at den har et astronomisk emne: Sol, Måne og stjerner. Det er den første afbildning af Kosmos, vi kender.

Grækerne stræbte efter at forstå hele Universet ud fra naturlige årsager. I 400-tallet f.Kr. formulerede de den opfattelse, at alle ting var opbygget af de fire elementer: ild, luft, vand og jord. Den opfattelse holdt sig i videnskaben helt frem til Boyle og Lavoisier omkring 1700, og vi møder den stadig i fjernsyn og ugeblade. Kineserne havde i samme tidsrum en lignende opfattelse, dog anså kineserne også træ for at være et grundelement.

Mange læsere vil formodentlig give mig ret i, at den opfattelse er helt forkert. Det er jo bare løs tale, når man går det efter i sømmene. Med *løs tale* mener jeg ikke det rene gæsteri, men i bedste fald en tænkning, der opstår af tænkerens dybeste forestillinger om naturens principper, men som kun har en upræcis, løs forbindelse til erfaringen. Det må dog ikke få os til at ryste overbærende på hovedet af de gamle tænkere. Man må tage til efterretning, at sandheden kan være meget vanskelig at finde, så vi lever stadig med mange vildfarelser. Men i matematik og naturvidenskab er det muligt, at nå en sådan grad af sikkerhed om mange ting gennem tænkning og erfaring, at der er meget lidt grund til tvivl.

Løs tale møder vi hos de fleste gamle tænkere, hvilket ikke er sagt for at forklejne den historiske rolle af fx Platon og Aristoteles, men her indtager

Archimedes (ca. 287–212 f.Kr.) en særlig stilling som den, hvis metoder og resultater har evig gyldighed, fx vægtstangsregelen og loven om legemers opdrift i vand. Archimedes burde kaldes den *moderne naturvidenskabs fader*. Al den løse tale udspringer vel af menneskers uimodståelige trang til at søge og til også at give en forklaring på alt, hvad de ser og oplever, fx på Solens natur og døgnet's gang, på Verdens og menneskets skabelse, på livet efter døden og på politikeres inderste motiver. Den kritiske sans og grundigt arbejde kan dog efterhånden føre os til at finde forklaringer (teoretiske beskrivelser vil en fysiker sige), der ikke er selvmodsigende, og som stemmer med de vigtigste observationer.



Botticelli: Lucifer. Fireogtredivte sang

Figur 2. Lucifer i Jordens centrum. Vergil med Dante på ryggen kravler nedad, og de vender "på hovedet", da de når centrum.

Grækerne indførte teori i astronomien for at kunne forudsige planeternes positioner og formørkelser af Sol og Måne. Man møder alle mulige opfattelser om Universet hos dem, indtil Ptolemæus' autoritet satte alt tidligere i skyggen. Anaximenes af Milet siger i 600-tallet, at Jorden er en cylinder, tre gange så bred som høj, og at den er omgivet af tre koncentriske ringe, der bærer Månen, Solen og fiksstjernerne. Disse ringe er henholdsvis ni, atten og syvogtyve gange Jordens diameter. Næsten samtidig erkender Pythagoras, at Jorden er en kugle, dels fordi han af rent matematiske grunde anser kugleformen for at være den idelle, dels fordi han ser Jordens cirkulære skygge på Månen ved en Måneformørkelse. Philolaus siger omkring år 400 at Jorden bevæger sig rundt om Solen på 24 timer.

Omkring år 350 møder vi Aristoteles, der sætter Jorden i centrum. Videre er Jorden omgivet af et system af koncentriske sfærer af vand, luft og ild og derefter sfærene med de himmelske legemer. Dette system skulle blive basis for kosmologi og fysik i de næste to tusind år.

Desværre vandt et meget interessant forslag fra Aristarch ikke tilslutning. Han mente omkring år 280, altså 1700 år før Kopernicus, at Jorden kredser omkring Solen på et år, mens den roterer om sin egen akse på 24 timer.

Tabel 1. Afstande i Dantes Univers og i nutidens. (Måleenhederne er 1 jordradius, der forkortes til 1 j.r. = 6400 km, og 1 lysår = 1.5 milliarder j.r.) Ptolemæus er langt fra at være den første, som angiver afstande til planeterne og stjernerne, men hans afstande får status som højeste autoritet i 1500 år. Sine værdier for Jordens radius og for Månens og Solens afstande havde han fra astronomer, der virkede omkring 300–100 f.Kr. Deres værdi for Solen var dog 20 gange for lille, og selv ikke Tycho Brahe vidste bedre. Men efter hans tid begyndte tvivlen at melde sig, først hos Kepler i 1617. Dog skulle der gå 150 år før Solens afstand var helt sikret.

Afstand til	Ptolemæus (ca. 150 e.Kr.) og Dante og Tycho Brahe	Sand værdi
Gud og englene	–	–
Yderste af det synlige Univers	Stjernerne: 20 000 j.r. = 0.000 014 lysår	15 000 000 000 lysår i år 2000
Fjerneste galakser med 5m teleskopet	–	2 000 000 000 lysår i år 1960
Stjernerne	20 000 j.r. = 0.000 014 lysår	Over 15 000 000 000 j.r. = over 10 lysår siden år 1838
Solen	1210 j.r.	25 000 j.r. siden år 1770
Månen	33–64 j.r.	60 j.r.
Jordens centrum	1 j.r. = ca. 6000 km	1 j.r. = 6400 km

Jordens størrelse får man på denne tid et nogenlunde rigtigt tal for. Man lagde mærke til at Solen fx ved sommersolhverv stod højere på himlen set fra en sydlig breddegrad end fra en nordligere. Ud fra højdeforskellen målt i grader og afstanden mellem de to steder på Jorden var det nu en let sag for Erathostenes at udregne Jordens omkreds, når han helt rigtigt antog, at Solen var meget, meget langt væk.

Månens afstand blev også bestemt. Hipparchos, kaldet *astronomiens fader*, gjorde det ud fra den solformørkelse, der havde fundet sted den 14. marts 189 f.Kr. Han havde beretninger, der sagde at Solen var helt dækket af Månen set fra Hellespont, mens kun fire femtedele af Solen var dækket i Alexandria. Han antog helt rigtigt, at Solen var meget længere væk end Månen og kunne nu let beregne Månens afstand.

Vinkelforskydningen af Månen i forhold til Solen mellem iagttagelser fra to steder på Jorden kaldes *Månens parallakse*. Den årlige parallakse anvendes i senere tider til måling af afstanden til stjerner. Her måler man ændringen af vinkelen mellem en nær og en fjern stjerne i løbet af tiden. Betragter man observationer udført med et halv års mellemrum, vil vinkelændringen være stor, fordi Jorden efter et halvt år befinder sig på den anden side af Solen, altså 150 millioner km forskudt.

Sfærernes musik

Planeternes rækkefølge og dimensionerne af kosmos var der ikke enighed om i oldtiden. Man finder fx rækkefølgen: Jord, Måne, Sol, planeterne og: Jord, Måne, Venus, Merkur, Sol, og: Jord, Måne, Sol, Venus, Merkur. Der blev først enighed efter Kopernicus, som satte Solen i centrum: Sol, Merkur, Venus, Jorden, mens Månen stadigvæk er nærmest ved Jorden.

For at finde banernes størrelse tog man musikken til hjælp, idet man anså de naturlige toners intervaller for grundlæggende for naturens orden, man talte om *sfærernes harmoni*. Sådanne betragtninger finder vi lige fra Pythagoras til Keplers *Mysterium Cosmographicum* i 1596. Vi kan nu se, at det er helt forkert og uden forbindelse med naturens love, og resultaterne er da også vidt forskellige hos datidens forskere.

Musikken som hjælpemiddel bliver selvfølgelig helt meningsløs og overflødig efter naturlovene i Newtons værk *Principia Mathematica* fra 1687. Newton beskriver naturlove ved hjælp af matematiske formler med begreber som hastighed, acceleration, kraft, masse, absolut tid og tyngdekraft, begreber som ikke tidligere havde haft en ordentlig, præcis mening.

Newtons love blev skabt på grundlag af lovene for planeternes bevægelse om Solen, som Kepler havde

fundet på grundlag af Tycho Brahes målinger. Men Newtons love har gyldighed i hele verden, i hele Universet. De anvendes siden for at beskrive alle fænomener i naturen, planeters bevægelse og atomers struktur. De anvendes alle steder i teknikken: ved bygning af broer, kikkerter, motorer, raketter osv.

Middelalderen

Vi må ikke glemme Middelalderens bidrag. Kristne tænkere beskæftigede sig meget med begreberne *tid*, *evighed* og *rum*, fordi den kristne Gud er evig og alle steds nærværende. De skabte et filosofisk sprog, hvori de kunne tale om den slags ting på en måde, der gav mening. Gennem oldtid og middelalder bekæmpede de kristne lærere (missionærer og præster) astrologi og anden gammel overtro, der dog stadig har stærkt tag i mange mennesker. Men overtroen er helt fjernet fra den kristne tro på et Univers, der er ordnet af den evige Gud, en Gud der ikke griber ind i hverdagen (se Figur 3). Om troen på mirakler passer sammen med kristendom, må vi her lade ligge.



Figur 3. Gud som arkitekt, illustration fra en middelalderbibel – Gud har skabt Universet efter geometriske og harmoniske principper. At søge disse principper var derfor at søge Gud, mente fx Kepler.

I det kristne Europa fandtes efterhånden et bredere lag af befolkningen med en teoretisk uddannelse end i det gamle Grækenland. Det var en ret udbredt mening i 1500 årene, at man gerne måtte udforske lovmæssigheder i naturen blot for at opdage disse love. Tidligere mandede sådanne studier altid ud i en lovprisning af Guds visdom og almagt. Denne frihed til at

forske nød både Tycho Brahe og Galilei godt af i en vis tid, men de måtte begge til sidst mærke, at de konservative teologer fik overtaget.

Hvad er sikkert?

Den opmærksomme læser må det springe i øjnene, at astronomerne har skiftet mening om afstandene, til tider meget langsomt, til andre tider hurtigt. De holdt fast ved Ptolemæus' afstande helt op til Tycho Brahe. Men nu er det synlige Univers en million milliarder (dvs. 10^{15} i 15de potens) gange større end Tycho Brahe troede, og det er "vokset" hurtigst i de sidste 100 år. Læseren må spørge: *Kan det fortsætte på den måde? Ved vi overhovedet noget sikkert om de astronomiske afstande?*

Svarene er henholdsvis: NEJ og JA.

Målemetoder og instrumenter er naturligvis afgørende for vor viden om Universet. Men det ville blive alt for teknisk og pladskrævende at beskrive disse ting og vore metoder til tydning af observationerne. Jeg vil i stedet forsøge at vinde læserens tillid gennem historiske oplysninger.

Jeg vover at påstå, at *vi ved noget sikkert*, fx var Jordens størrelse og Månens afstand stort set rigtige allerede omkring år 200 f.Kr. *Solens afstand* kunne imidlertid først måles, efter at kikkerten var opfundet og taget i brug til astronomiske observationer af Galilei i 1610. Men man måtte stadig afvente et meget sjældent fænomen, en passage af Venus hen foran Solen og udsende ekspeditioner til fjerne egen af Jorden for at skaffe observationer, der kunne give en pålidelig afstand. Det skete første gang i 1761.

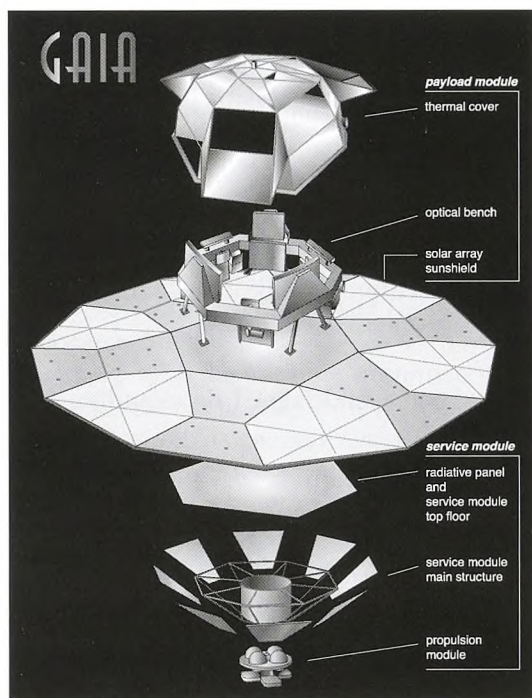
Videre fremskridt i måling af *stjerners afstande* kunne først ske efter den industrielle revolutions begyndelse. En af forudsætningerne for denne revolution var kendskab til de naturlove som Newton beskrev i 1687. En anden var den matematiske metode (mindste kvadraters metode) til analyse af observationer og disses fejl, som Gauss, kaldet matematikkens fader, angav i 1802.

Siden Kopernikus i 1543 skrev, at Solen er centrum for Jordens bane, har astronomer prøvet at måle stjerners afstande ved hjælp af den årlige parallakse. Men det kunne først lykkes efter udvikling af gode kikkerter, og ikke mindst en holdbar matematisk metode til analyse af observationer. Målingen og dataanalysen lykkedes for Bessel i 1838 for stjerne nr. 61 i stjernebilledet Svanen. Netop hans omhyggelige analyse var afgørende for at overbevise andre astronomer om afstandens realitet, i modsætning til de utallige andre "stjerneafstande" man havde læst om siden Kopernikus. Ole Rømer var en af dem, der prøvede med sin dertil udviklede *meridiankreds* i Vridsløsemagle fra 1705. Men han offentliggjorde intet om stjerners afstande, fordi han vidste, at hans målinger ikke var gode nok.

Der måtte store kikkerter til for at observere stjernernes spektr. For at tyde spektrerne behøvede man

varmeteori og atomteori, som blev udviklet i 1800 og 1900 årene. Det skete på grundlag af Newtons love, og man fandt siden andre dybe lovmæssigheder som *kvantemekanik* og *relativitetsteori*.

Gennem radioteknik og observationer uden for Jordens atmosfære er det blevet muligt i det sidste halve århundrede at studere stråling i alle bølgelængder, ikke kun i det smalle bånd af synligt lys, som al astronomi tidligere var baseret på. Man har observeret fjerne galakser, hvor lyset har været undervejs i 14 milliarder år (se tabel 1) altså næsten lige siden *big bang* for 15 milliarder år siden.



Figur 4. Satellitten GAIA, som ESA vil skyde op i 2009 – Med dette instrument vil stjerners afstande kunne måles med målefejl, der er 1000 gange mindre, end det var muligt for bare 20 år siden. GAIA vil skabe et nyt grundlag for astronomien. Man kan fx kortlægge det usynlige stof, der nok udgør 90 procent af Universets samlede masse, og som gennem sin tyngdekraft kan spores i stjernernes bevægelser.

Man har endog observeret en stråling, som blev udsendt, da Universet var 300 000 år gammelt, og dets temperatur var faldet til 3000 grader. Ved lavere temperatur blev Universet gennemsigtigt, så alle strålerne kunne fortsætte næsten uhindret. Disse stråler kan måles i dag, og man kan angive deres temperatur til 2.7 grad Kelvin, altså 2.7 grader over det absolutte nulpunkt på -273.1 grad Celsius. Strålerne har meget nær samme intensitet fra alle retninger i verdensrummet, netop svarende til, at de slap løs, da *ildkuglens* temperatur var faldet under 3000 grader. Denne *kosmiske baggrundsstrålings* lave temperatur skyldes Universets udvidelse siden starten for 15 milliarder år siden.

Her vil jeg nu slutte med det mest moderne instru-

ment til måling af stjernernes afstande. Figur 4 viser satellitten GAIA, som desuden skal måle stjernernes bevægelser gennem rummet og bl.a. deres farver og temperaturer. Dette projekt har jeg arbejdet på siden 1992, og jeg vil fortsætte.

Referencer:

Artiklen bygger på min afskedsforelæsning på Astronomisk Observatorium ved Københavns Universitet i september 2002. Den bog jeg varmest vil anbefale om tænkningens historie i disse årtusinder er Olaf Pedersens *Naturerkendelse og Teologi*.



Erik Høg er Dr.scient. og lektor ved Astronomisk Observatorium, Københavns Universitet. Han arbejder især med måling af stjerners bevægelser, afstande og lysstyrker fra satellitter.

PFEIFFER VACUUM

Totalleverandør

VACUUMKOMPONENTER

**Pumpesystemer
Ventiler og fittings
Specialkamre
Massespectrometri**

**Alt til systemopbygning
i laboratoriet
for
NANO FORSKNING**

Tel. 4352 3800 Fax 4352 3850
efa@pfeiffer-vacuum.dk