

## KOSMOLOGIENS HISTORIE

I stort set alle kendte kulturer har man haft en *kosmologi* (læren om verdens struktur og udseende) såvel som en *kosmogoni* (læren om verdens skabelse eller tilblivelse). Givetvis har de forhistoriske samfund også haft myter, der forklarede verdens skabelse og udseende. Vi ved det bare ikke med sikkerhed, fordi de ikke har efterladt sig skriftlige kilder.

De tidligste kendte højkulturer i verden opstod i Mellemøsten ved en langvarig proces, som formentlig startede kort efter den sidste istid. Langsomt blev klimaet varmere og mere tørt, og på de flade sletter i Mesopotamien blev det nødvendigt med kunstvanding for at dyrke afgrøder i større mængde. Denne kunstvanding var teknisk vanskelig og krævede deltagelse af mange mennesker i samarbejde. Langsomt udviklede byer og organiserede samfund sig, og det medførte generelt en specialisering inden for forskellige fagområder.

Udviklingen af højkulturer havde en helt afgørende bivirkning, nemlig opfindelsen af skriftsproget. I Mesopotamien begyndte man omkring 3400 f.v.t. at bruge små lerbrikker med mærker for at lette administrationen i de store paladser. Forskellige mærker stod for forskellige varer og antal. Langsomt udviklede dette sig til et egentligt skriftsprog i løbet af de næste 500 år.

Mesopotamien og Egypten er ifølge vores nuværende viden de områder, hvor skriftsproget tidligst er blevet anvendt. Lige fra begyndelsen har et af de væsentligste formål været beskrivelser af guderne og deres gøren og laden samt selvfølgelig en kosmogoni, der forklarede verdens skabelse. For eksempel findes der i nogle af de tidligste sumeriske myter en beskrivelse af, hvordan himmelguden Anu skabte verden ud fra saltvandet, som udgjorde en slags oprindelig ursubstans.

## Grækernes kosmologi

De efterfølgende litterære kulturer havde tilsvarende skabelsesmyter. Også i det meget tidlige Grækenland havde man en mytologisk opfattelse på linje med, hvad man kender fra Egypten og Mesopotamien. Fra Grækenlands tidlige historie kender man først og fremmest de to digtere Homer og Hesiod. Homer tilskrives de kendte værker *Odyseen* og *Iliaden* (formentlig er de to værker samlinger af mundtlige overleveringer, måske nedskrevet omkring 700 f.v.t.), hvor gudernes og menneskenes verden er næsten fuldstændigt integreret.

Hesiod tilskriver man *Theogonien* (formentlig skrevet omkring 700-650 f.v.t.), hvor der blandt andet er en detaljeret beskrivelse af, hvordan det kendte univers opstod og siden har udviklet sig. I denne beskrivelse begyndte verden på samme måde som i den mesopotamiske skabelsesberetning, altså med en ursuppe. I den græske verden omtales ursuppen som *Kaos*. Ud af *Kaos* fødtes *Gaia*, urmoderen, som derefter fødte *Uranos*, himlen. *Uranos* og *Gaia* fik herefter børn i form af titanerne, hvis afkom endelig var guderne.

Dette tidlige græske verdensbillede er helt på linje med opfattelsen i de tidlige kulturer. Men omkring år 600 f.v.t. opstod et nyt fænomen: filosofien. Filosofien adskilte sig fundamentalt fra tidligere måder at betragte verden på. Den tilførte en kritisk og undersøgende metode, som mere eller mindre har bestået til nutiden. Filosoferne forsøgte at trænge ind i verdens egentlige natur og virkemåde. For eksempel begyndte man at spekulere over den fundamentale natur af den fysiske verden. Jorden og universet blev i Homers og Hesiods fremstillinger betragtet som styret af guderne, men mange af filosoferne anlagde en langt mere mekanisk anskuelse af verden og dens årsagssammenhænge.

Gennem hele resten af Grækenlands antikke historie levede mytologien videre sideløbende med den filosofiske verdensanskuelse i mange sammenhænge. For eksempel optræder guderne som en integreret del af Herodots historiefortælling i 400-tallet f.v.t. i form af anekdoter, hvor guderne er aktive deltagere i historiske begivenheder.

De græske filosoffer anså generelt verden som velordnet med rationelle forklaringer på alle de kendte naturfænomener. De kaldte denne ordnede verden for *kosmos*.

På et tidspunkt begyndte man helt at udelade det 'overnaturlige' eller mytologiske i beskrivelsen af, hvordan verden fungerer. I stedet begyndte man at anskue verden som opbygget efter fundamentale principper, der kunne afdækkes ved hjælp af studier.

Filosofferne havde en lang række meget forskellige bud på, hvordan universet er opbygget. Anaximander fra Milet (ca. 610-540 f.v.t.) mente for eksempel, at alle tings oprindelse var i Apeiron, en udtømmelig masse, der strakte sig i alle retninger uden grænser. På den anden side mente hans samtidige Anaximenes tilsyneladende, at det fundamentale stof var luft, som kunne kondensere i forskellige fysiske former. Fælles for alle disse filosoffer var dog en interesse i at nå ind til tingenes inderste natur, den substans af hvilken verden er sammensat. Filosofernes teorier og verdensanskuelse i det hele taget repræsenterede en radikal forandring i tilgangen til det at forklare verden. Hvis de forekommer naive, må man tænke på, at mange af vores nuværende fysiske teorier uden tvivl også vil virke latterligt naive om 2400 år.

Omkring 100 år senere fremsatte Demokrit og andre det synspunkt, at alle ting består af atomer, en slags mindste bestanddele. Ifølge Demokrit og hans disciple bestod verden af fundamentale atomer sammensat på forskellige måder. Kun på grund af atomernes forskellige sammensætning og bevægelse kommer forskellige substanser til at opføre sig forskelligt og se forskellige ud. En af de fundamentale forestillinger i deres verdensbillede var, at alle disse atomer bevæger sig fuldstændig mekanisk, uden nogen form for bagvedliggende vilje. Verdensbilledet er altså fuldstændigt deterministisk i den forstand, at ingen fri vilje eksisterer.

Også i antikken vakte det deterministiske verdensbillede modvilje hos mange, der ikke kunne acceptere den manglende eksistens af fri vilje. Epikur modificerede for eksempel atomteorien, således at der stadig var plads til en vis form for frihed fra determinismen. Kun en vis del af atomernes bevægelse var i hans model egentlig determinerede. Demokrits ekstreme udgave af atomteorien forsvandt dermed fra mainstream-filosofien, men den deterministiske opfattelse vendte stærkt tilbage i midten af 1600-tallet i kølvandet på renessancens naturvidenskabelige fremskridt.

Platon forkastede atomteoriens anskuelse som meningsløs. Der må være en form for vilje bag alle tings bevægelse. Ikke nødven-

digvis guders vilje, men en eller anden form for vilje. Platon fremstillede universet som værende skabt af en vilje, Demiurgen.

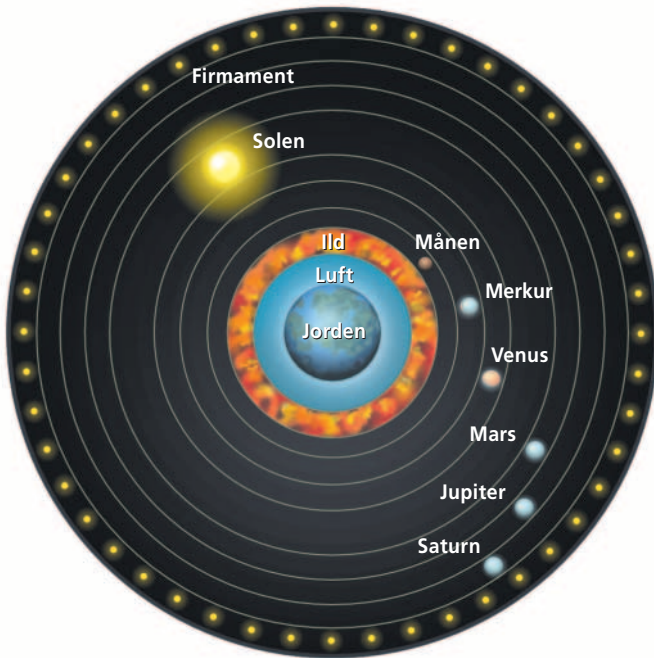
Aristoteles havde en anden opfattelse af verdens skabelse. Han benægtede aldeles muligheden for, at universet har en begyndelse. I sin natur må universet være evigt og uforanderligt. Universet kunne ikke bare opstå ud af ingenting, fordi det ville bryde alle fundamentale principper. Det er interessant, at denne problematik foregriber mange af de senere filosofiske diskussioner om universets mulige begyndelse. For mange fysikere i det 20. århundrede virkede tanken om et univers med en begyndelse også fundamentalt forkert. Efter at *big bang*-teorien blev etableret i 1930'erne, opstod der en sideløbende og konkurrerende teori, ifølge hvilken universet altid har eksisteret. Teorien blev kendt som *steady state*-modellen og havde mange fortalere i 50'erne og 60'erne, men blev endelig tilbagevist ved hjælp af observationer i slutningen af 60'erne.

Grunden til, at big bang-teorien af mange blev (og bliver) betragtet som uattraktiv, er, at den ikke indeholder nogen god forklaring på selve universets tilblivelse. Den moderne fysiks princip om energibevarelse er på den måde tæt på Aristoteles' ide om, at noget ikke kan komme ud af intet, og at universet derfor ikke kan have haft en egentlig begyndelse. Som vi senere skal se i kapitel 8, har der været forskellige forsøg på at lave modeller, hvor et univers kan opstå fra intet ved hjælp af kvantemekaniske effekter. Men på nuværende tidspunkt findes ingen eksakt kvantitativ forklaring på, hvad der skete i det øjeblik, universet blev skabt (hvis et sådant øjeblik overhovedet findes).

Aristoteles betragtede heller ikke universet som uendeligt. I den aristoteliske model er universet en stor sfære inddelt i en øvre og en nedre region af den kugleskal, hvor Månen befinder sig. Alt i den nedre eller sublunare sfære er foranderligt; der findes fødsel, død, vækst, forfald osv. I de øvre sfærer er alt uforanderligt. Ved hjælp af observationer kunne man skelne de to sfærer fra hinanden. I den nedre sfære ved vi, at alt bevæger sig i retlinede bevægelser, mens man på himlen kan se, at planeterne bevæger sig i cirkler. Cirklen blev i det hele taget betragtet som den perfekte form, og alle objekter i den himmelske sfære måtte derfor følge cirkelbevægelser eller kombinationer af cirkelbevægelser.

En naturlig konsekvens af det aristoteliske verdensbillede er

FIGUR 1: ARISTOTELES' VERDENSBILLEDE



*I Aristoteles' model for verdens opbygning befinder alt, som er foranderligt, sig tæt på verdens og Jordens centrum. Denne foranderlige verden udgøres af de fire elementer jord, vand, luft og ild. Uden for Månens bane ligger himmellegemernes evige verden, hvor intet forandres. Stjerneerne er ubevægelige og befinder sig på en ydre skal, firmamentet.*

også, at Jorden må være sfærisk, dvs. kugleformet. Man kunne allerede dengang måle Jordens radius. Astronomen Erasthones målte i 240 f.v.t. for første gang Jordens radius ved at måle Solens højde over horisonten ved to forskellige breddegrader samtidig. Han kom frem til en værdi, som er bemærkelsesværdigt tæt på den rigtige. Det vanskelige i metoden er, at man skal kende afstanden mellem de to steder på Jorden for at kunne beregne dens radius. Ved rent held fandt han stort set den rigtige afstand og fik derfor det rigtige resultat. Senere blev Erasthones' værdi fortrængt af en mindre værdi målt efter samme metode af filosoffen Poseidonios.

I modsætning til hvad mange tror, var de græske astronomers resultater for Jordens radius kendt gennem middelalderen i lærde kredse. Man vidste altså udmærket godt, at Jorden bestemt ikke er flad. Poseidonios' resultat var omkring 30% mindre end den værdi, Erasthenes tidligere havde fundet, og dermed også 30% mindre end den faktiske værdi. Blandt andet fordi Columbus brugte Poseidonios' værdi for Jordens radius, troede han, at sejltiden vestpå fra Europa til Asien kun ville være nogle få uger.

Det fremherskende astronomiske verdensbillede i den klassiske verden var altså *geocentrisk*, i overensstemmelse med Aristoteles' teori. Det betød dog ikke, at der ikke fandtes alternative modeller. Aristarchos fremsatte allerede omkring 250 f.v.t. en *heliocentrisk* model, altså en model hvor Solen og ikke Jorden befinder sig i universets centrum.

Man kan måske undre sig over, at denne model ikke blev betragtet som indlysende sand. Men der var ikke nogen egentlig grund til at gøre det. Tværtimod var der mange gode grunde til ikke at gøre det. Hvis Jorden virkelig skulle rotere rundt om Solen, måtte man for eksempel kunne observere, at stjernerne flyttede sig på himlen i forhold til hinanden, efterhånden som Jorden også flyttede sig. Et sådant fænomen blev ikke observeret, og selv med ret præcise observationer af planeternes baner kunne en præcis teori for deres bevægelse konstrueres ud fra en geocentrisk model.

Grækerne havde helt ret i, at en heliocentrisk model nødvendigvis måtte medføre, at stjernerne flyttede sig på himlen i forhold til hinanden. Fænomenet kaldes for parallakse og kan faktisk med moderne instrumenter måles for alle de nærmeste stjerner. Men på grund af stjernernes store afstand er det umuligt at observere fænomenet med det blotte øje. Den vinkel, en stjerne bevæger sig på himlen, er ca. jordbanens radius (150 mio. km) divideret med afstanden til stjernen. Den nærmeste stjerne, *Alfa Centauri*, har en afstand til Jorden på 4,2 lysår = 40000 mia. km. I dette eksempel er parallaksen i løbet af året altså ca. 1/10.000 grad, hvilket uden besvær kan observeres med et moderne teleskop, men umuligt med det blotte øje. Efter fuldstændig det samme princip har Hipparchos-satellitten på nuværende tidspunkt observeret parallakse for alle stjerner inden for 150 lysår af Jorden (opkaldt efter en græsk astronom, der blandt meget andet var en af de første til at ka-

talogisere stjerner på himlen – hans inddeling af stjerner i størrelsesklasser efter deres lysstyrke bruges stadig i astronomien i dag). Grunden til, at man er interesseret i at måle parallaksen, er netop, at man så kan bestemme afstanden til stjernerne, fordi man kender jordbanens radius.

Om nogle år vil den europæiske satellit GAIA forhåbentlig måle parallaksen for næsten alle stjerner i Mælkevejen og dermed give os et eksakt tredimensionalt kort over, hvordan vores egen galakse ser ud. Det bliver dog noget af en udfordring, fordi man er nødt til at kunne måle parallakser, der er så små som en  $1/1000.000.000$  grad. Til sammenligning svarer det cirka til at kunne måle størrelsen af en fodbold, der ligger på overfladen af planeten Mars.

I den senere græske kosmologi var matematikken en fundamental ingrediens. Den gjorde, at man var i stand til at komme med kvantitative forudsigelser af astronomiske fænomener, som for eksempel planeternes bevægelser på himlen. At bruge matematik i beskrivelsen af himmellegemernes bevægelse var på ingen måde noget nyt. Allerede babylonerne udviklede en temmelig avanceret matematik for at kunne beskrive forskellige fænomener, primært sol- og måneformørkelser. Den primære grund for babylonerne var, at forudsigelserne var vigtige for astrologien. For babylonerne var astrologi en vigtig videnskab, der kunne bruges til at forudsige kritiske perioder, hvor kongens og landets eksistens ville være i fare. Man afværgede disse farlige perioder for kongen ved inden periodens start at indsætte en substitut som konge. Han blev på alle måder behandlet som konge, indtil perioden var overstået, hvorefter han blev slået ihjel, og den rigtige konge uden fare kunne genindtage sin plads. Astrologi har langt op i tiden af mange været betragtet som en seriøs videnskab. For eksempel studerede fremtrædende astronomer som Tycho Brahe og Kopernikus også astrologi, men fra 1700-tallet blev astrologi ikke længere studeret som en naturvidenskab.

Den mest kendte matematiske astronom fra oldtiden er uden tvivl Ptolemæus. Han levede i Alexandria i det nuværende Egypten omkring 150 e.v.t. Han leverede et fantastisk bidrag til den generelle forskning og beskæftigede sig indgående med, hvorvidt det rigtige verdensbillede var geocentrisk eller heliocentrisk. Hans værk "Megiste syntaxis" (der blev overleveret til den moderne ver-

den takket være araberne, hvorved titlen blev til *Almagest*) beskæftigede sig med mange aspekter af astronomien. Mest kendt i eftertiden er uden tvivl dens diskussion af de heliocentriske kontra de geocentriske teorier. Ved hjælp af logiske argumenter og avanceret matematik nåede han til den konklusion, at alle observationer tydede på, at Solen virkelig roterede om Jorden. For at forklare planetbanerne måtte han kombinere forskellige cirkelbevægelser. Dels planeternes cirkelbevægelse om Jorden, dels en ekstra cirkelbevægelse om rotationspunktet. Denne model er i stand til at forklare alle planetobservationer, der foretages med det blotte øje. Kun med teleskoper kan man måle positionerne præcist nok til at se, at planeterne faktisk bevæger sig i ellipser om Solen. Der var derfor ingen grund til at tvivle på det geocentriske verdensbillede, der jo også passede med Aristoteles' fysiske teori for verdens sammensætning.

Ptolemæus var den sidste af de store astronomer i den klassiske græske verden. Efter den klassiske kulturs sammenbrud gik mange af de græske værker tabt, men en del blev kendt af araberne, der i 6-700-tallet erobrede en stor del af den tidligere græske kultursfære. Araberne blev efterhånden fremragende astronomer, der udviklede mange aspekter af den græske astronomi til nye højder. Specielt med hensyn til den observationelle astronomi blev der gjort mange fremskridt. Et eksempel er udviklingen af astrolabet, der bruges til måling af forskellige stjerners højde over horisonten. Hvis positionen kendes, kan man dermed måle tiden, og astrolabet blev brugt som et vigtigt navigationsinstrument, indtil det blev afløst af sekstanten i 1700-tallet. Yderligere bidrog araberne afgørende til udviklingen af den moderne fysik og astronomi ved at bevare mange af de klassiske græske tekster, der ellers var gået tabt i Vesteuropa, inklusive Aristoteles' og altså Ptolemæus' værker.

Udviklingen på den teoretiske front var til gengæld ret minimal indtil den sene middelalder, netop på grund af den fantastiske præcision af Ptolemæus model. Det er jo indlysende nok: Hvis der ikke kan spores afvigelser mellem teoriens forudsigelser og faktiske observationer, er der ingen grund til at konstruere en helt anderledes teori.



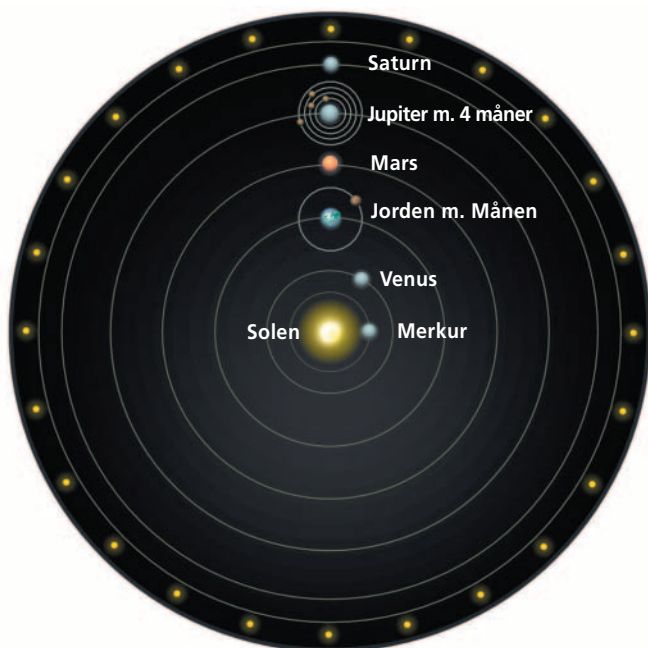
## Den senere udvikling

Det fundamentale problem for grækernes forsøg på at konstruere den rigtige model for solsystemet var deres insistens på, at kun cirkelbevægelser kunne indgå i modellen. I virkeligheden bevæger planeterne sig i elliptiske baner om Solen. For at kunne forklare observationerne var man derfor nødt til at konstruere kombinationer af cirkulære baner. Det blev blandt andet gjort af Aristoteles. Omkring 250 f.v.t. fremsatte den græske matematiker Aristarchos en heliocentrisk teori, hvor han foreslog, at planeterne bevæger sig rundt om Solen i cirkulære baner. Umiddelbart var teorien elegant og enkel, og den kunne da også forklare observationer med en nogenlunde præcision. Problemet var, at der var fænomener, den ikke kunne forklare. For eksempel vidste man, at årstiderne på Jorden ikke er lige lange. Hvis Jorden virkelig bevægede sig på en cirkelbane, skulle man nok forvente, at de var lige lange. Samtidig var hans teori ikke i ganske overensstemmelse med observationer af planetbevægelserne, afvigelse på ca. 10% forekom.

Efterfølgende beskrev Ptolemæus og Hipparchos planeternes bevægelse ud fra en geocentrisk model. For at forklare planeternes bevægelse var man nødt til at beskrive deres bevægelser ved hjælp af de såkaldte epicykler, der er en sammensætning af to forskellige cirkelbevægelser. Denne model kunne ekstremt præcist beskrive alle de forskellige planeters bevægelser. Måske endda lidt for godt, for det resulterede i, at astronomien udviklede sig forbløffende lidt de næste 1400 år. Vi skal helt hen til Kopernikus' teori, der netop placerer solen i centrum i stedet for jorden, før der sker en ændring.

I 1473 blev Nikolaus Kopernikus født i Torun i Polen. Han studerede astronomi, først i Krakow og derefter i Italien. Det er ikke klart, hvornår den revolutionerende nye teori begyndte at tage form i hans hoved. Men vi ved, at han på et tidspunkt opgav livet i Italien og derefter hengav sig til en munkeagtig tilværelse i Tyskland i de næste 30 år. Måske var han godt klar over, at hans teori ikke ville blive fantastisk godt modtaget i et land, hvor den religiøse intolerance var fremherskende og inkquisitionen en helt reel trussel for folk, der fremsatte så outrerede teorier.

FIGUR 2: DET KOPERNIKANSKE VERDENSBILLEDE



*I Kopernikus' model for solsystemet bevæger alle planeter sig på cirkelbaner om Solen, mens Jordens og Jupiters måner bevæger sig på tilsvarende, mindre cirkler om de to planeter. På Kopernikus' tid var Saturn den yderste af de kendte planeter, og hverken Uranus, Neptun eller Pluto optræder derfor på figuren. Uden for solsystemet befinder stjernernes sfære sig, akkurat som i Aristoteles' gamle verdensbillede.*

Først i Kopernikus' sidste leveår fik offentligheden kendskab til teorien, og den vakte øjeblikkelig en enorm interesse. Kopernikus' teori manglede stadig det ene essentielle element, som ville have gjort den eksakt, ellipsen. Den fundamentale geometriske form i hans model var stadig cirklen. Men i stedet for at lade Solen og de andre planeter bevæge sig rundt om Jorden postulerede han, at alle planeterne bevægede sig rundt om Solen i dobbelte cirkelbevægelser. Det gjorde modellen meget simplere end epicykelteorien, fordi den ikke behøvede en adskillelse mellem indre og ydre

planeter. Både epicykelteorien og Kopernikus' teori var i stand til at forklare alle observationer, der var tilgængelige på det tidspunkt. Grunden til, at Kopernikus' teori blev foretrukket af mange, var, at den var simplere. Hverken i Syd- eller Nordeuropa blev teorien modtaget med begejstring af kirken, for eksempel udtalte Martin Luther: "Den nar vil kuldkaste hele astronomien. Vi kan jo læse i det hellige skrift, at Joshua befalede Jorden, og ikke Solen, at stå stille".

Den tyske astronom Johannes Kepler (1571-1630), der var professor ved universitetet i Tübingen, læste Kopernikus' værk og blev inspireret. I Keplers model blev planetbanerne for første gang beskrevet som ellipser. På denne måde kunne alle observationer forklares på en utroligt simpel måde. Kepler opstillede også tre ligninger, som i dag kendes som Keplers love. Disse ligninger beskriver, hvordan planeterne bevæger sig.

Ligesom mange af sine samtidige var Kepler stærkt interesseret i mysticisme og ideen om det guddommelige i planeternes bevægelse. Han bemærkede matematiske forhold mellem planeternes bevægelse og nodeskalaer og udtænkte til sidst et guddommeligt musikalsk system, *Harmonices Mundi* (Verdensharmonier) i 1619, der beskrev solsystemets bevægelser som musikalske harmonier. Det var også i dette værk, at den sidste af hans tre love for planeternes bevægelser blev offentliggjort.

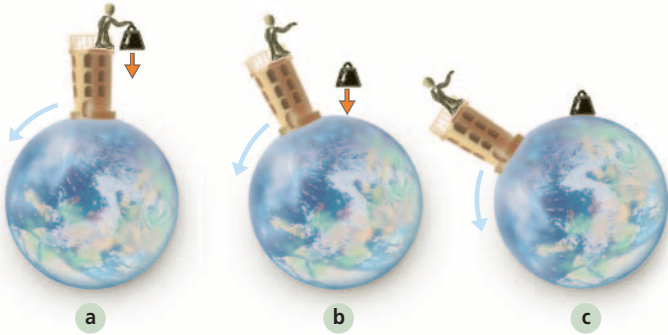
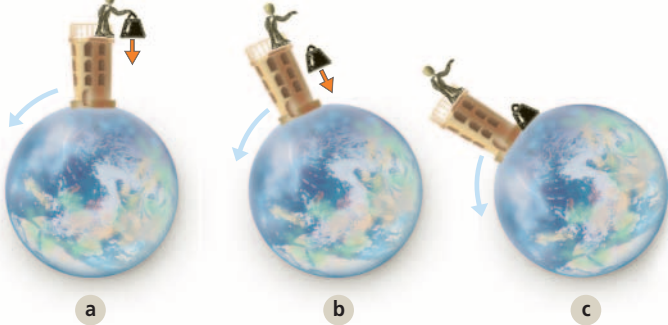
Selv efter Keplers succesfulde beskrivelse af planetbanerne som ellipser manglede der dog stadig en fundamental underliggende fysisk teori for, *hvorfor* planeterne bevæger sig, som de gør.

### Galilei og Newton – udviklingen af tyngdeloven

Den italienske matematiker, fysiker og astronom Galileo Galilei (1564-1642) var nogenlunde jævnaldrende med Kepler, men hans arbejde var af et helt anderledes tilsnit. Hvor Kepler primært var interesseret i tanken om det guddommelige i planeternes bevægelse og matematisk teori, havde Galilei en langt mere jordnær tilgang til fysikken. Han var i bund og grund eksperimentalfysiker og konstruerede mange af de eksperimenter, der kom til at bane vejen for den senere udvikling af en dynamisk teori for verden.

På Galileis og Keplers tid havde den kopernikanske model stadig mange indædte modstandere. Blandt de fremmeste var Tycho

FIGUR 3: TYCHO BRAHES OG GALILEIS FORUDSIGELSER

Tycho BraheGalilei

Den øverste del af figuren viser, hvad Tycho Brahe mente, der burde ske, når man slipper en tung genstand fra stor højde. Hvis Jorden roterede, skulle Jorden nå at flytte sig, mens genstanden faldt, og derfor ville genstanden ikke falde i en lodret linje.

Den nederste del af figuren viser Galileis forudsigelse. Genstanden, der bliver sluppet, har fra begyndelsen den samme hastighed som tårnet og Jorden, den roterer altså sammen med Jorden. Derfor bør den, akkurat som erfaringen fortæller os, falde på en lodret linje.

Brahe (1546-1601), som bestemt var tilhænger af det geocentriske verdensbillede. Ideen om, at Jorden skulle kunne bevæge sig gennem rummet, var uacceptabel for mange. Ifølge Brahe (og andre)

ville man for eksempel kunne observere Jordens bevægelse gennem legemers bevægelse. Han mente, at hvis man lod et objekt falde fra et tårn, ville det, hvis Jorden bevægede sig, ikke kunne falde i en ret linje på sin vej mod jorden, og da simple eksperimenter viser, at ting falder på næsten eksakt rette linjer, mente han dermed at have bevis for sin overbevisning. De meget små afvigelser, som rent faktisk kommer fra Jordens rotation, var alt for små til, at man kunne måle dem på den tid.

Galilei var derfor nødt til at komme med en forklaring. At objekter falder i rette linjer, forklarede Galilei ved at indføre et princip, som også er helt grundlæggende i den moderne fysik. Hvis et eksperiment udføres i et laboratorium, der bevæger sig med konstant hastighed, vil man få helt samme resultat, som hvis eksperimentet er i hvile. Med andre ord findes der altså ikke noget foretrukket referencesystem i verden. Hvis Jorden bevæger sig gennem rummet med jævn hastighed, vil man altså aldrig kunne se effekter af denne bevægelse i eksperimenter, man foretager på Jorden.

Samtidig gjorde Galilei også en iagttagelse, som blev meget væsentlig for udviklingen af en matematisk teori for, hvordan kraft påvirker legemer og får dem til at bevæge sig. Han kunne iagttagelse, at to legemer med helt forskellig masse faldt med nøjagtig samme hastighed, når de blev sluppet fra stor højde. Dette var helt i modsætning til Aristoteles' ide om bevægelse. Ifølge den aristoteliske model er ethvert legemes naturlige tilstand hvile. Et tungt legeme skulle falde hurtigere mod jorden end et let, fordi kraften, som trækker i det, er større. At kraften på et tungt legeme virkelig er større, er selvfølgelig indlysende, men på den anden side skal kraften flytte en tilsvarende større masse. Disse to effekter ophæver hinanden, og derfor falder alle legemer lige hurtigt. Når Aristoteles' teori ikke var blevet modbevist før, skyldes det formentlig, at man kan observere, at et blylod for eksempel falder meget hurtigere end en fjer. Det skyldes bare ikke tyngdekraften, men luftmodstanden. Fjeren har en langt større luftmodstand end loddet og falder derfor langsommere. Hvis man udfører eksperimentet med to blylodder, hvor det ene er dobbelt så tungt som det andet, vil man finde, at de falder lige hurtigt. Det endelige visuelle bevis for, at Aristoteles' teori var forkert, blev udført på Månen af den amerikanske astronaut David Scott. Han lod en fjer og et blylod falde

samtidig fra samme højde, så man virkelig kunne se, at fjeren faldt med nøjagtig samme hastighed som loddet.

Disse iagttagelser om naturen af begrebet kraft var som nævnt i modsætning til den gamle aristoteliske ide, og Galilei fik da også mange fjender af den grund. Måske hjalp det heller ikke, at han var notorisk arrogant og sarkastisk, når han nedgjorde andre.

Da Galilei på et tidspunkt blev gjort opmærksom på opfindelsen af teleskopet af den hollandske linsemager Lippershey, vakte det øjeblikkelig hans interesse. Galilei konstruerede med det samme selv et teleskop og brugte det som den første til at observere himlen. En af hans mest bemærkelsesværdige observationer var, at planeten Jupiter har fire store planeter, der kredser om den. Planeterne kan lige akkurat ikke ses med det blotte øje, men selv med en primitiv kikkert er det ikke noget problem. På en mørk nat vil man for eksempel kunne se Jupiters måner med en god prismekikkert. Observationen af månerne sandsynliggjorde efter Galileis mening yderligere det kopernikanske verdensbillede. Opdagelsen betød jo netop, at andre legemer end Jorden kunne have mindre legemer kredsende omkring sig. Derfor var der heller ikke længere nogen god grund til at tro, at de kendte planeter ikke skulle kunne kredse om Solen i stedet for Jorden. På grund af Galileis latterliggørelse af den ptolemæiske model for solsystemet kom han i konflikt med kirken. I begyndelsen blev han advaret høfligt om, at han ikke skulle fremture med sine ideer om Jordens bevægelse. Men da han fortsatte, blev det på et tidspunkt for meget for kirken, og den indledte en inkvisitionsproces imod ham i 1632. For at redde livet måtte Galilei afsvære ideen om den heliocentriske verden. Han tilbragte resten af livet i husarrest i Firenze, men det blev trods alt tilladt ham at modtage besøgende.

At det virkelig var nødvendigt for Galilei at afsvære sin overbevisning, kan ses af, hvordan det gik Galileis samtidige, Giordano Bruno (1548-1600). Bruno var dominikanermunk, men også filosof. Han støttede varmt Kopernikus' teori og havde endda den yderligere frygtelige overbevisning, at universet er uendeligt og fyldt med sole som vores egen. Disse sole ville alle have planeter, og befolkningerne på disse planeter ville også tro, at deres sol er centrum for verden. Da Bruno under inkvisitionen nægtede at afsvære sine ideer, blev han brændt som kætter i 1600.

Efter sigende var hans sidste bemærkning ved retssagen mod ham: "Jeg afventer dommen med mindre frygt end den, hvormed de fælder den. Den tid vil komme, hvor alle vil kunne se, hvad jeg ser." Eftertiden har givet ham mere ret, end man nok i sin vildeste fantasi kunne forestille sig i hans samtid. Ikke nok med at alle stjernerne faktisk viste sig at være sole. Inden for de sidste ti år har man fundet planeter omkring en stor del af de nærmeste stjerner. At Brunos tanker virkelig var kætterske, ses også af, at før man opdagede planeter om andre stjerner, var der faktisk mange forskere, som mente, at vores eget solsystems planeter var et ekstremt sjældent fænomen, og at man formentlig aldrig ville finde planeter som dem i vort solsystem. I spørgsmålet om muligheden for liv i andre solsystemer er forskerverdenen også stadig delt. Eftersom vi endnu ikke har fundet evidens for liv andre steder end på Jorden, er dette sidste spørgsmål stadig uafklaret, så om Brunos profeti går i fuldstændig opfyldelse, ved vi ikke endnu. Der har været flere forsøg på at opsnappe radiosignaler udsendt af andre civilisationer. Det mest kendte af projekterne er uden tvivl SETI-projektet (Search for Extraterrestrial Intelligence), som stadig kører.

I Nordeuropa var klimaet væsentligt mildere over for nye ideer. Det blev da også i England, at det endelige opgør med Middelalderens videnskabelighed kom i form af de teorier, Isaac Newton (1642-1727) fremlagde. Newton var tilknyttet universitetet i Cambridge fra 1661, først som studerende og siden som professor. Der er næppe nogen tvivl om, at Newton var en af de største og mest alsidige begavelser inden for naturvidenskaben gennem tiderne. Til gengæld er der heller ikke megen tvivl om, at han var en gennemført ubehagelig person og tilmed i mange sammenhænge uhæderlig.

Newtons bidrag til matematikken og fysikken er talrige. Et eksempel er, at han opfandt den gren af matematikken, der er kendt som differentialregningen. Uafhængigt og samtidigt blev den opfundet af den tyske matematiker G. W. Leibniz (1646-1716), og Newton brugte mange år af sit liv på at skændes med Leibniz om, hvem der egentlig havde gjort opfindelsen først. De største af hans opdagelser inden for fysikken blev præsenteret i værket "Philosophia Naturalis Principia Mathematica", bedre kendt som "Principia". I værket præsenteredes de ligninger, der senere er blevet kendt som Newtons tre love:

- 1) Et legeme, der ikke udsættes for nogen kraft, bevæger sig med konstant hastighed langs en ret linje. Det ligger ikke nødvendigvis stille, sådan som Aristoteles ville have sagt.
- 2) Et legeme, der udsættes for en kraft, accelereres. Størrelsen af accelerationen er givet ved ligningen  $\text{acceleration} = \text{kraft}/\text{masse}$ . Jo tungere et legeme er, desto større skal kraften altså være for at bevirke en bestemt acceleration.
- 3) Enhver aktion medfører reaktion. Hvis man skubber til et objekt med en bestemt kraft, vil objektet påvirke en med en kraft af samme størrelse i modsat retning.

Disse ligninger beskriver, hvordan alle legemer, inklusive planeterne og Solen, bevæger sig i forhold til hinanden, vel at mærke hvis man kender den kraft, som virker mellem objekterne. Samtidig siger de også, at hvis man kender en begyndelsestilstand tilstrækkeligt godt, kan man forudsige, hvordan alting bevæger sig ud i det uendelige.

Galileis og Newtons opdagelser havde også store filosofiske konsekvenser. I teoriens mest ekstreme form blev verden betragtet som en maskine, der opførte sig fuldkommen deterministisk. Newtons samtidige, den engelske filosof Thomas Hobbes (1588-1679), hævdede for eksempel ligesom de græske atomister, at den fri vilje egentlig ikke eksisterer. Alt er i stedet bestemt af logiske og kausale processer. Først med kvantemekanikken i det 20. århundrede ændrede denne opfattelse sig. I kvantemekanikken er der nogle fundamentale usikkerheder, som gør, at en del af det deterministiske i den klassiske newtonske model forsvinder.

Ud over de tre love indeholdt "Principia" også en færdig teori for tyngdekraften, den universelle teori, som beskriver både, hvor hurtigt legemer, der slippes fra stor højde, falder til jorden, og planeternes baner rundt om Solen. Keplers tre love for planeternes bevægelse kommer som en helt naturlig konsekvens af Newtons teori.

Newtons tyngdelov siger, at kraften mellem to legemer (uanset om legemerne er stjerner, planeter eller ærter ...) kan skrives som  $\text{kraft} = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$ , hvor  $m_1$  og  $m_2$  er masserne af de to legemer, og  $r$  er afstanden mellem dem.  $G$  er en konstant, der indgår i lig-



ningen, og som man er nødt til at bestemme ud fra målinger. Det fundamentale er, at konstanten  $G$  er den samme i alle tilfælde uanset sammensætningen af de to legemer osv. Den siger altså, at tyngdekraften alene virker på grund af legemernes *masse* og ikke deres specifikke sammensætning. I tilfældet, hvor man skal beregne hastigheden af et legeme, der falder mod jorden, er den ene masse Jordens masse, og den anden legemets masse.  $r$  er så afstanden fra Jordens centrum til legemet (ca. 6300 km). For at forstå, hvorfor to legemer med forskellig masse falder lige hurtigt mod jorden, kan man se på Newtons 2. lov: Acceleration = kraft/masse. Accelerationen for et objekt, der slippes og falder mod jorden, kan derfor skrives som

$$\text{acceleration} = G \cdot (\text{objektets masse}) \cdot (\text{Jordens masse}) / (\text{Jordens radius})^2 / (\text{objektets masse}).$$

I udtrykket for accelerationen skal man både gange og dividere med objektets masse. Den indgår altså overhovedet ikke som en faktor, og alle legemer accelereres derfor ens og falder til jorden med samme hastighed.

Newtons påvisning af, at en meget stor del af naturfænomenerne kunne beskrives matematisk, førte til det endelige paradigmeskift til det moderne verdensbillede. Den engelske fysiker Robert Hooke (1635-1703) bedyrede, at han havde formuleret gravitationsloven flere år før Newton, og at Newton havde stjålet den fra et brev, Hooke havde sendt til Newton i 1679. Dette er bare endnu et eksempel på de mange fejder, Newton havde med sine kolleger. Til gengæld er det uomtvisteligt, at "Principia" lagde grunden til en meget stor del af fysikkens udvikling indtil det 20. århundrede.

Spørgsmålet om universets mulige uendelighed var også fortsat noget, der optog naturforskerne.

Da Newton opstillede sin lov for tyngdekraften, blev han klar over et problem med den. Hvis universet bestod af en endelig samling stjerner, måtte de jo alle tiltrække hinanden, og derfor ville universet kollapse. Newton foreslog, at hvis universet er uendeligt, ville alle stjernerne føle den samme kraft i alle retninger, og de ville derfor ikke kunne 'falde' nogen steder hen. Dette er faktisk ikke

rigtigt, men problemet opstod, fordi begrebet 'uendelig' ikke blev benyttet konsistent. I dag ved vi, at det ikke er muligt at konstruere en model, der er både statisk og uendelig.

Et andet problem med det uendelige univers blev påpeget af ty skeren Heinrich Olbers (1758-1840) i 1823. Hvis universet består af en uendelig mængde stjerner som Solen, så ville vi kunne se lyset fra dem alle. De fjerne stjerner ville se mindre lysstyrke ud, men til gengæld ville der være tilsvarende flere af dem. Derfor burde hele himlen lyse lige så kraftigt som Solen selv, et problem der kendes som Olbers' paradoks. Olbers eget modargument var, at lyset fra de fjerne stjerner blev absorberet undervejs til os af noget mellemliggende stof. Men det argument nytter ikke noget, for det fører bare til, at stoffet bliver varmet op og til sidst begynder at udsende lys. Man kan se det ud fra den fundamentale lov om energibevarelse.

Den virkelige grund til, at himlen ikke lyser som Solen, er, at universet udvider sig, men dette blev man først klar over langt senere. Til gengæld betyder Olbers' paradoks ikke nødvendigvis, at universet kun har en endelig alder. Hvis universet blev født for kort tid siden, kunne man jo ellers forestille sig, at lyset fra de fjerne stjerner ikke havde nået os endnu, og at himlen derfor ville være mørk nu, men blive lysere og lysere, som tiden gik. Men det viser sig, at selv i et uendeligt gammelt univers forsvinder Olbers' paradoks, hvis bare universet udvider sig hurtigt nok.

Newtons love fungerede så fremragende, at det først i slutningen af det 19. århundrede blev nødvendigt at udvikle en ny teori, der kunne erstatte Newtons dynamiske love og hans teori for tyngdekraften. Resultatet blev Einsteins to relativitetsteorier.

Med hensyn til den observationelle side af astronomien skete der til gengæld en væsentlig udvikling fra Newtons tid til det 20. århundrede. På Newtons tid var teleskopet i sin barndom, men det blev ret hurtigt udviklet. Ved brug af teleskoper fandt man ud af, at Mælkevejen i virkeligheden består af enkeltstjerner, som ligger i et stort bånd på himlen. Den engelske astronom Friedrich Herschel (1738-1822) opdagede også, at der ud over stjerner var nogle lysende tågede pletter på himlen. Ved brug af stadig større teleskoper fandt han ud af, at i hvert fald nogle af tågerne bestod af enkelte stjerner, og at de kun lignede tåger, fordi de var så langt væk. I starten troede han, at de andre tåger også kunne opløses i stjerner, hvis

man havde et tilstrækkeligt stort teleskop. En del af de objekter, Herschel observerede, var faktisk andre galakser, men han opgav igen sin ide og mente, at de tågede klatter netop var tåger.

Immanuel Kant (1724-1804) skabte med stort klarsyn en model for vores galakse. Han mente, at galaksen var skiveformet, og at den var dannet som en fortætning af spredt materiale i universet; et forslag der ligger forbløffende tæt på virkeligheden. Samtidig foreslog han, at de uklare tåger observeret af Herschel var andre galakser. Han offentliggjorde sin ide i en bog med den imponerende titel "Almindelig naturhistorie og verdensrumsteori – Angående hele universets struktur og mekaniske tilblivelse ifølge de Newtonske principper".

Hen imod det 20. århundrede blev observationerne så gode, at man fik et statistisk overblik over, hvordan stjernerne i Mælkevejen er fordelt. Man fandt ud af, at Mælkevejen faktisk er en stor skiveformet struktur med en diameter på omkring 50.000 lysår. Uden for skiven fandtes der tilsyneladende meget få stjerner, bortset fra nogle stjernehobe, som befandt sig i en halo rundt om Mælkevejens skive. Specielt den hollandske astronom Jacobus Kapteyns (1851-1922) observationer i starten af det 20. århundrede viste, at universet tilsyneladende var endeligt og formet som en fladtrykt kugle, en såkaldt ellipsoide. Mælkevejens skive lå i centrum, og de kugleformede stjernehobe befandt sig udenom, i en elliptisk halo. Sådan var state-of-the-art inden for den observationelle kosmologi i perioden 1905-15, hvor Einstein konstruerede den generelle relativitetsteori.