



NATIONALMUSEET

Fortællingen om universet



Indhold

Videnskabelige paradigmer og anomalier	3
Det Geocentriske Verdensbillede	4
Det todelte univers	5
Nicolaus Kopernikus (1473-1543) Solen er centrum	7
Tycho Brahe (1546-1601) Nova Stella – bruddet med den uforanderlige himmel	8
Kometen og forkastelsen af krystalfærerne	10
Det Tychoniske Verdensbillede	11
Galileo Galilei (1564-1630) Da himlen kom nærmere	12
Kikkertens heliocentriske beviser	14
Johannes Kepler (1571-1630) Det lovmæssige univers	16
Isaac Newton (1642-1727) Etablering af det heliocentriske paradigme	16
Principia	18
Principias perspektiver	19
Konklusion	20

Siden tidernes morgen har mennesket været fascineret af rummet. Myter om stjerner, Solen og Månen er en del af skabelsesberetninger i de fleste religioner fra jødedom og kristendom til islam, såvel som i den græske og den nordiske mytologi. I store kulturer verden over har astronomien gennem tiden spillet en afgørende rolle i forhold til tidsregning og fastsættelse af årets højtider. Nogle kulturer har dyrket himmellegemerne som guder, andre har troet, at de fortalte om menneskets liv og skæbne. I et historisk perspektiv bliver beskrivelser af universet et spejl på, hvordan mennesket til forskellige tider har opfattet deres tilværelse og verdens sammenhæng.

Fortællingen om universet har undergået en revolutionerende forandring i de sidste århundreder af menneskeheds historie. Der er langt fra skabelsesberetningen i Det Gamle Testamente til teorien om, at universet opstod ved et big bang for milliarder af år siden. For at forstå det spring, der er sket i menneskets viden om universet i løbet af de sidste 400 år, må vi forstå, hvad der skete i renæssancens naturvidenskabelige revolution i 1500- og 1600-tallet. Hvis vi skal forstå den videnskabelige revolution, må vi undersøge, hvordan videnskaben udvikler sig, og hvordan videnskabelige nybrud opstår.

Videnskabelige paradigmer og anomalier

Videnskabshistorikeren Thomas S. Kuhn (1922-1996) har i sit værk fra 1962, *The Structure of Scientific Revolutions* (på dansk *Videnskabens revolutioner*, 1973), undersøgt spørgsmålet om videnskabens natur. Hvad er det, der sker, når en videnskabelig teori går fra at blive anset som en sandhed til at blive betvivlet, forkastet og erstattet af en ny videnskabelig teori? For at beskrive denne proces arbejder Kuhn med to centrale



begreber: *paradigme* og *anomali*. Et paradigme betegner den overordnede teoretiske ramme, der altid vil findes for videnskabsfolks og almindelige menneskers forståelse af verden. Det er en ramme, man ikke kan tænke uden for, og er en grænse for menneskets erkendelse. Hvis en videnskabsmand i dag sagde, at Månen var centrum for planeterne baner, ville ingen tage ham alvorligt. Det videnskabelige paradigme, vi befinder os inden for, har en ufattelig mængde empiriske beviser og teorier, der siger, at Solen er centrum for planeterne baner. Videnskabsfolk og almindelige mennesker er overbevist om, at det er sandt, og den overbevisning skal der meget til at rykke. Men hvordan forklarer man så et videnskabeligt brud som renæssancens naturvidenskabelige re-

Armillarsfære.
Mekanisk model af universet med Jorden som centrum.
Josias Habrecht 1572.
Nationalmuseet.
Foto: John Lee.

volution, hvor én opfattelse af universet blev erstattet med en helt anden?

Ifølge Kuhn vil der inden for ethvert paradigme over tid opstå *anomalier*. Anomalier er noget, der ikke passer; en videnskabelig opdagelse, der ikke kan forklares af paradigmet. I takt med at der kommer flere og flere anomalier, vil paradigmets forklaringskraft blive mindre, simpelthen fordi der er for meget, den ikke kan forklare. Når der er opstået for mange anomalier, kan paradigmet ikke længere bruges, og det mister sin betydning som videnskabelig erkendelsesramme. Det vil blive forkastet, og et nyt videnskabeligt paradigme med nye forklaringsmodeller vil opstå. Den naturvidenskabelige revolution og overgangen fra det geocentriske til det heliocentriske verdensbillede er en god historisk illustration af en overgang fra et paradigme til et andet. Der er i det følgende lagt særlig vægt på astronomerne Tycho Brahe, Galileo Galilei og Isaac Newton.

Det Geocentriske Verdensbillede

Alle kulturer har haft mere eller mindre udviklede forestillinger om universets opbygning. I vores del af verden opstod det første samlede verdensbillede i det antikke Grækenland og blev formuleret af filosofen og naturvidenskabsmanden Aristoteles (384-322 f.Kr.).

Han søgte at give en sammenhængende videnskabelig forklaring på, hvordan universet var indrettet. Det vil sige, at han opstillede et verdensbillede, hvor guder og mytiske væsener ikke spillede nogen rolle, universet skulle forstås ud fra love og principper i naturen. Aristoteles gjorde sig til talsmand for et geocentrisk univers (geo betyder jord på græsk); det var altså et univers centreret om Jorden. Ifølge Aristoteles var den massive jordklode med dens bjerge og klipper alt for tung til at bevæge sig og hvilede ubevægelig i universets centrum. Rundt



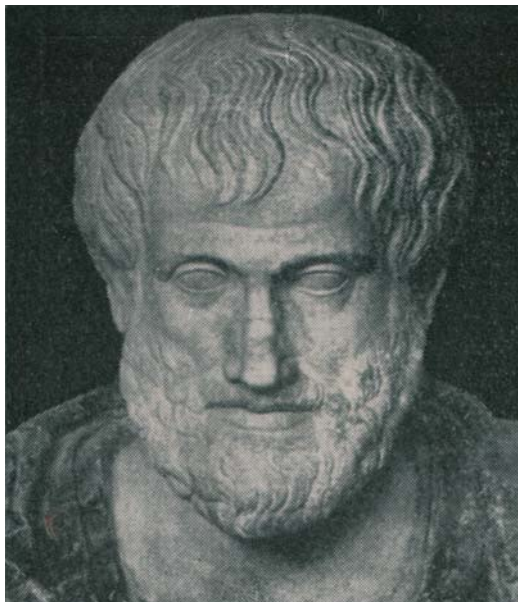
Himmeldgudinden Urania vægter verdensbillederne imod hinanden. Tycho Brahes vægter tunge end Kopernikus' heliocentriske verdensbillede. På Jorden ligger *Det Geocentriske Verdensbillede* forkastet. Fra *Almagestum novum* (1651) af Giovanni Riccioli. *Det Kgl. Bibliotek.*

om den kredsede alle himmellegemerne, men ikke i et åbent rum. Jorden og dens atmosfærer var lukket inde i ni uigennemtrængelige krystalkugleskaller.

Dette lille, afgrænsede univers var altså bygget op ligesom et løg med Jorden som midte. Hver af disse krystalsfærer, som kugleskallerne blev kaldt, bar ét af himmellegemerne på dets bane rundt om Jorden. Den første og mindste krystalsfære bar Månen, herefter fulgte sfærene med Merkur, Venus, Solen, Mars, Jupiter og Saturn. I *Det Geocentriske Verdensbillede* regnede man altså Solen og Månen til at høre med blandt planeterne. Stjernerne sad på den ottende sfære, der blev kaldt firmamentet. Den niende sfære blev tilføjet som det element, der overførte bevægelse til de andre og fik dem til at dreje rundt. Aristoteles fastslog, at krystalsfærene bevægede sig i evige, perfekte cirkelbevægelser omkring Jorden. På den måde forklarede han, hvad der var årsagen til Solens, Månens og planeternes bane igennem verdensrummet.

Det todelte univers

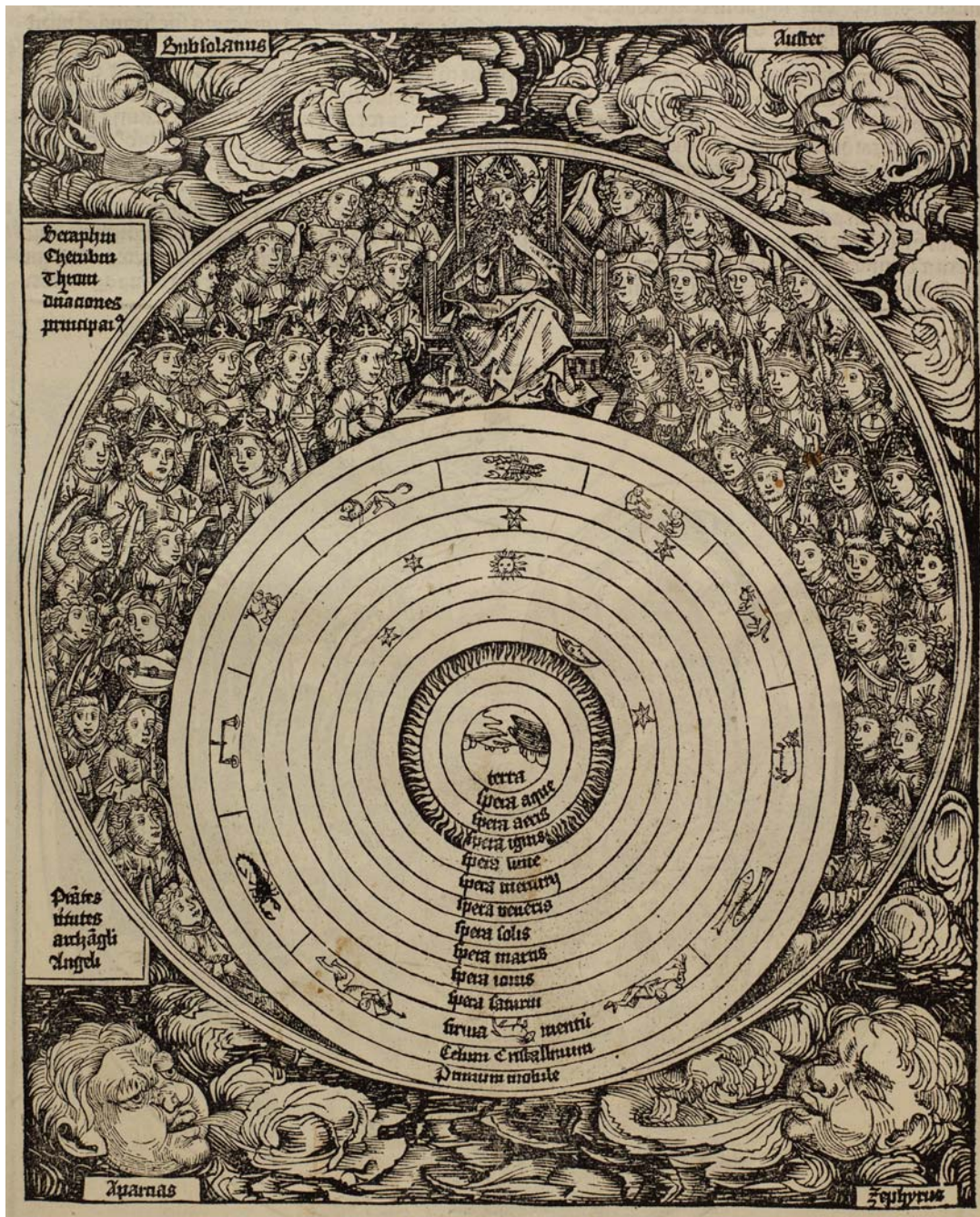
Aristoteles' fysik opdelte universet i to regioner over og under Månen. Der gjaldt forskellige love for hvert af områderne. Under Månen var Jorden og dens atmosfære stedet for forandringer. Når Aristoteles betragtede verden og naturen, kunne han se, hvordan dyr, mennesker og planeter opstod, forandrede sig og gik til grunde. Hvis man derimod rettede blikket imod rummet fra Månesfæren og længere ud, fremhævede filosofen, at man ingen forandringer ville se: Intet nyt opstod, og intet gik til grunde. Ifølge Aristoteles havde det været sådan, lige så længe mennesker havde iagttaget planeter og stjerner. Universet over Månen var altså perfekt og uforanderligt, kendetegnet af planeternes evige omdrejninger. Alt nyt, der opstod på himlen, måtte findes sig under Månen og dens sfære.



Buste af den græske filosof Aristoteles.
Det Kgl. Bibliotek.



Atlas, der bærer stjernehimlen på sine skuldre.
Nationalmuseet.
Foto: John Lee.



Det Geocentriske Verdensbillede med Jorden i midten. Bag krystalsfærerne var Guds himmel, hvor han tronede blandt de frelste.

Fra Hartmann Schedels *Liber chronicarum*, 1493. Det Kgl. Bibliotek.

Aristoteles beskrev i sin kosmologi, hvorledes *Det Geocentriske Verdensbillede* var opbygget, og hvilke love der gjaldt. Men han havde ikke givet astronomiske beskrivelser til nærmere fastlæggelse af himmellegemernes positioner. Denne astronomiske overbygning kom først et par århundreder senere, da matematikeren og astronomen Claudius Ptolemæus (90-168 e.Kr.) udformede sit store værk *Almagest*. Heri samlede han al tilgængelig astronomisk viden om det geocentriske univers, som kunne bruges af astronomer i deres arbejde, og som rejsende kunne navigere efter.

Værket skulle sammen med Aristoteles' fysik komme til at danne platformen for *Det Geocentriske Verdensbilledes* absolutte dominans de næste 1500 år. For de to grækernes geocentriske verdensbillede smeltede i den europæiske middelalder sammen med kristendommens opfattelse af Guds skaberværk. Blot med den tilføjelse at Guds bolig og den kristne himmel med alle de frelste blev placeret over de evige og uforanderlige krystalsfærer, langt fra Jordens foranderlighed og forfald.



Portræt af Kopernikus.
Det Kgl. Bibliotek.

Nikolaus Kopernikus (1473-1543) **Solen er centrum**

Det Geocentriske Verdensbillede stod uantastet indtil 1543. I det år blev et lille værk trykt i få eksemplarer, forfattet af en vis Kopernikus; det skulle komme til at vende verden på hovedet. Nikolaus Kopernikus blev født i den polske by Torun som søn af en rig stor-købmand og embedsmand. Han studerede teologi, jura, matematik og astronomi på universiteterne i Krakow, Bologna og Padova.

I værket *Om himmelsfærernes kredsløb*, der udkom i hans dødsår 1543, lancerede Kopernikus den banebrydende tanke, at det var Solen, der var universets centrum, og ikke Jorden. Jorden var blot en planet blandt andre planeter, der kredser om Solen.

I værket gav Kopernikus en samlet matematisk udformning af *Det Heliocentriske Verdensbillede*, der tvang astronomer til at tage idéen om jordklodens bevægelse som en planet alvorligt. Hans hovedargument var, at *Det Heliocentriske Verdensbillede* leverede en mere enkel astronomisk udregningsmodel til at forstå planeterne bevægelser, end det geocentriske gjorde. Der skulle dog gå et halvt århundrede, før folk for alvor fik øjnene op for hans idéer.

Kopernikus' heliocentriske verdensbillede.
Fra *Om himmelsfærernes kredsløb*, 1543, af Nikolaus Kopernikus.
Det Kgl. Bibliotek.





Portræt af Tycho Brahe.
Det Kgl. Bibliotek.

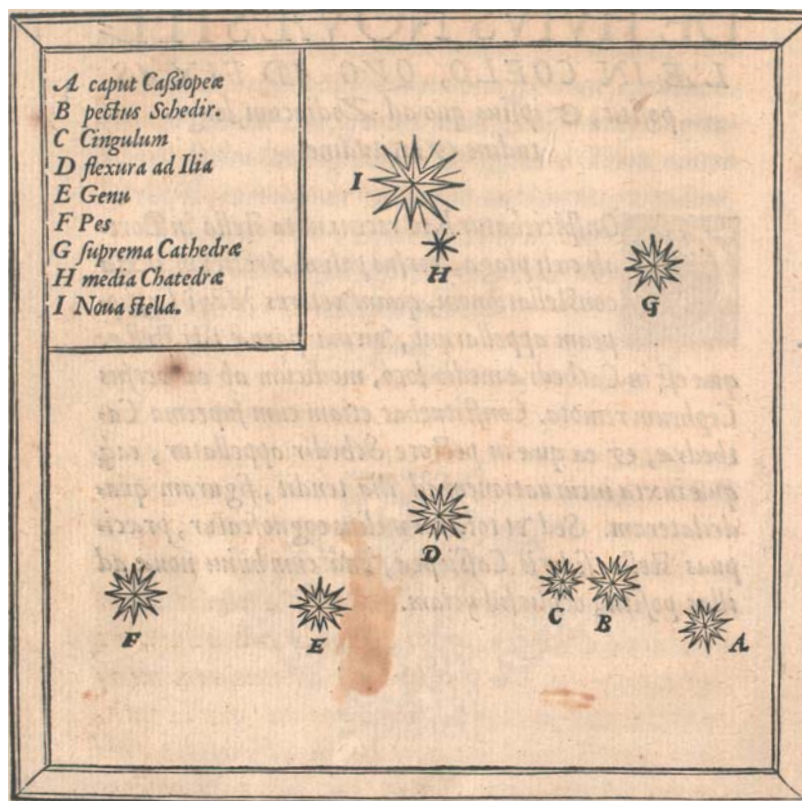
Tycho Brahe (1546-1601) **Nova Stella – bruddet med den uforanderlige himmel**

Den 11. november 1572 om aftenen var den danske astronom Tycho Brahe på vej over gårdspladsen på herregården Herrevad i Skåne, da noget greb hans opmærksomhed på den klare stjernehimmel.

Han undredes og fik fat i en tjener, der gav ham ret. I stjernebilledet Cassiopeia brændte en nye stjerne. Tycho Brahe skrev senere i værket *Nova Stella* om den nye stjerne, at det var et under, hvis lige ikke var set siden verdens skabelse.

For i de 18 måneder, stjernen brændte på himlen, kunne han observere, at den ikke bevægede sig i forhold til stjernerne i nærheden. Hvis Nova Stella havde været imellem Månen og Jorden, ville den have ændret position i forhold til disse stjerner, men det gjorde den ikke. Hans konklusion om Nova Stella kom til at give genlyd blandt Europas lærde: Nova Stella måtte befinde sig langt ude i universet blandt stjernerne. Men det var jo en umulighed ifølge det herskende paradigme, *Det Geocentriske Verdensbillede*. Filosofen Aristoteles havde fastslået, at himlen var uforanderlig, evig og perfekt, og

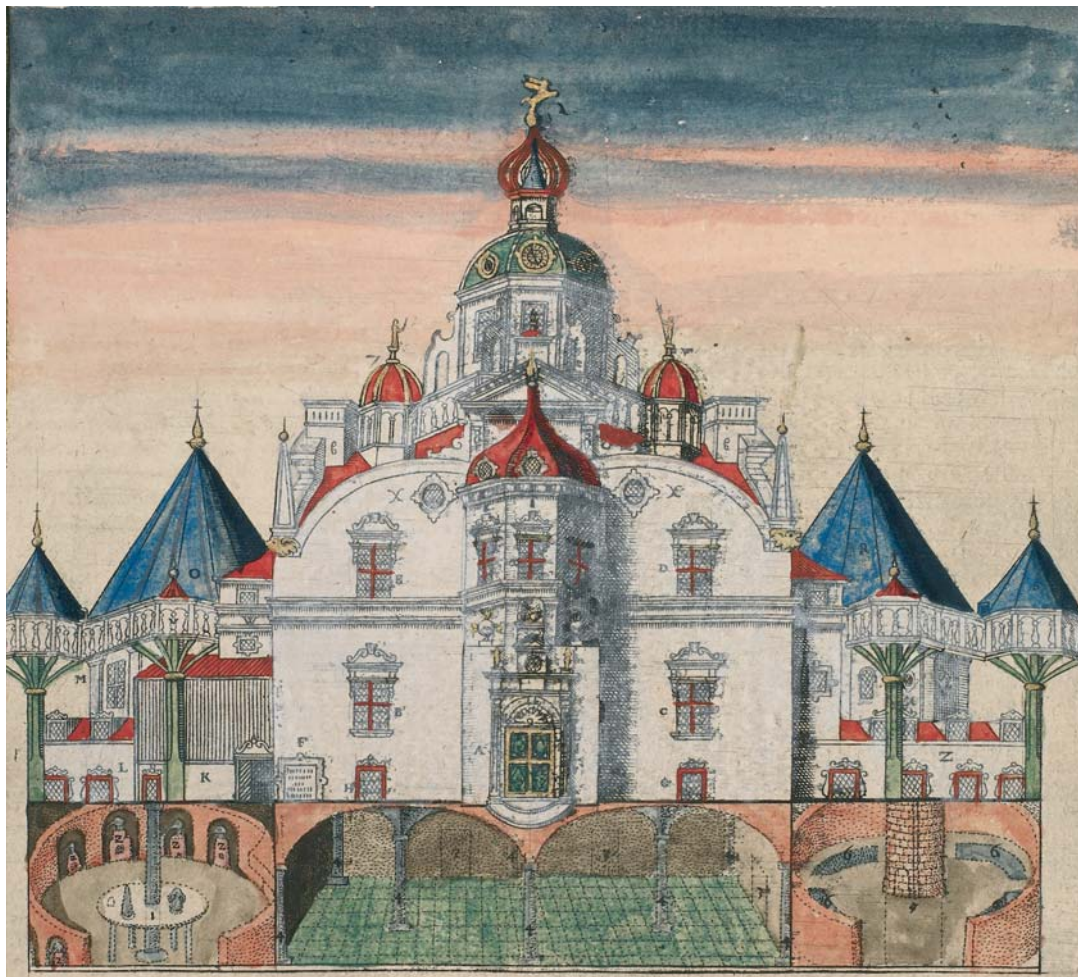
Den nye stjerne, Nova Stella, befandt sig i stjernebilledet Cassiopeia, her optegnet af Tycho Brahe. Fra *De Nova Stella*, 1573.
Det Kgl. Bibliotek.





stedet for forandring var Jorden og dens atmosfære under Månen, for over Månen opstod intet nyt. Nova Stella burde ikke kunne finde sted. Vi ved i dag, at det himmelfænomen, han observerede, var en *supernova*: En stjerne, hvis kernekraft er brugt op, så den bryder sammen under udsendelse af enorme lysmængder. Tycho Brahe havde med sin observation etableret en videnskabelig kendsgerning, en anomali, der ikke

Et af de tilbageværende Kronborgtapeter. På gobelinen står Frederik 2. i front med sin ældste søn, prins Christian (4). Bag ved kongen til venstre står Tycho Brahe med ryggen til Øresund. *Nationalmuseet*. Foto: John Lee.



Slottet Uraniborg, som Tycho Brahe byggede for Frederik 2.s regning på øen Hven. Svalegangene omkring slottets tårne blev brugt til at observere himlen fra. Fra Tycho Brahes *Astronomia instauratae mechanica*, 1598. Det Kgl. Bibliotek. Foto: Karsten Bundgaard.

passede ind i den herskende opfattelse af universet. Han havde påvist, at der kunne opstå nyt i Aristoteles' uforanderlige himmel. Værket om den nye stjerne blev læst over hele Europa, og Tycho Brahe blev internationalt berømt. Frederik 2., konge af Danmark, indså hvilken glans det ville kaste over kongeriget at give en astronom som Tycho Brahe ordentlige arbejdsforhold. Kongen forærede ham øen Hven i Øresund og betalte opførelsen af slottet Uraniborg, der var indrettet som et stort observatorium. Fra Hven skulle Tycho Brahe komme til at slå flere skår i *Det Geocentriske Verdensbillede*.

Kometen og forkastelsen af krystalsfærerne

Den 13. november 1577, næsten præcis fem år efter Nova Stella, slog en komet hul i universets uigennemtrængelige krystalsfærer. Tycho Brahe sad og fiskede i en af de damme, han havde indrettet ved Uraniborg på Hven, da han fik øje på en klar stjerne over Sjælland.

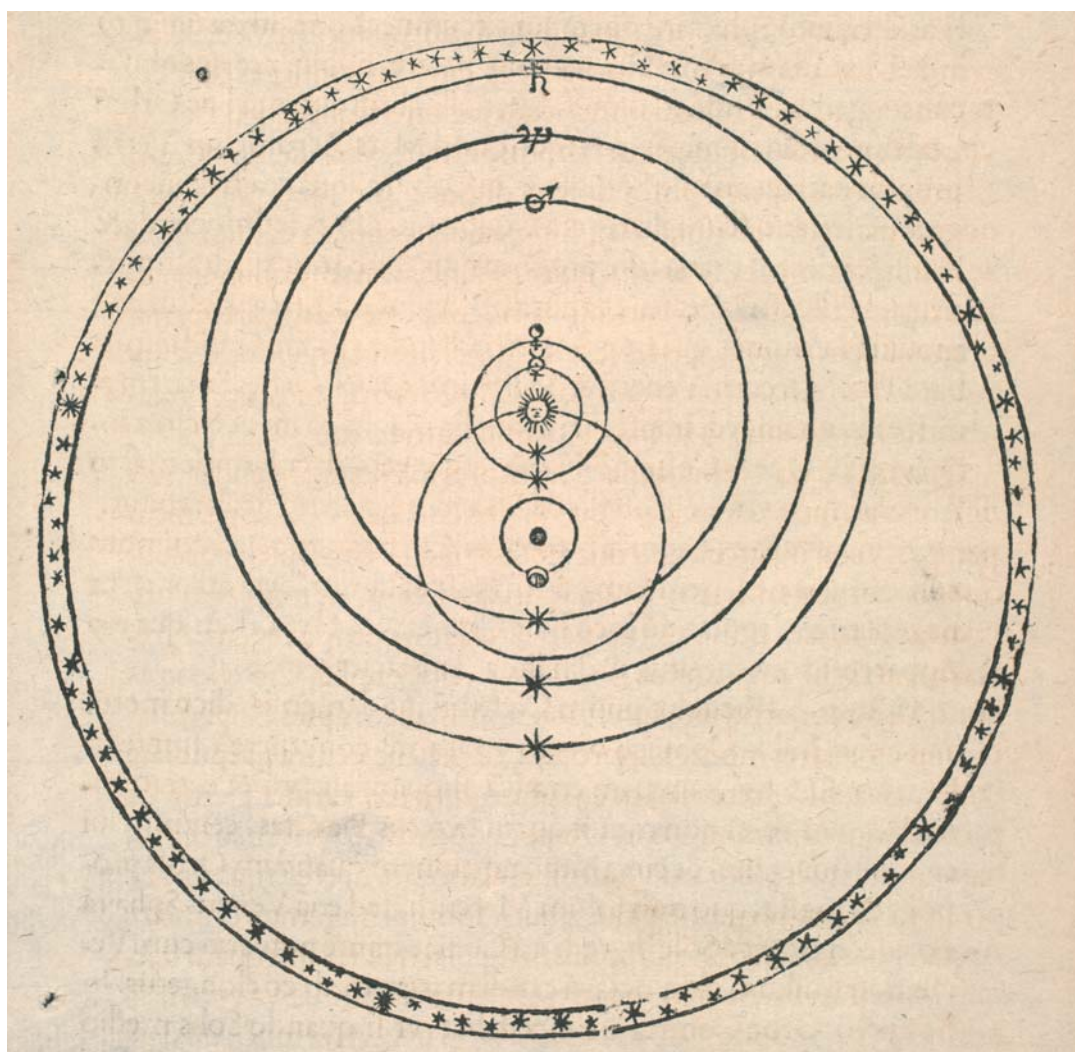
I takt med at mørket faldt på, voksede en lyshale frem efter stjernen – og Tycho Brahe havde set en komet for første gang. I *Det Geocentriske Verdensbillede* var der en teori om kometerne, der passede med paradigmets opdeling af universet over og under Månens sfærer. Aristoteles forklarede, at kometer var dampe fra Jorden, der steg op igennem luften og brændte op under Månens sfærer. Det var lyset fra afbrændingen, man kunne se fra Jorden. På den måde kunne

man forklare kometernes opståen, bevægelse og forsvinden uden at krænke himlens uforanderlighed. Tycho Brahe var ikke enig. Med hjælp fra sine assistenter observerede han kometen og konkluderede, at den bevægede sig over Månen i planeten Venus' sfære. Nova Stella og kometen var begge anomalier i *Det Geocentriske Verdensbillede*, og de viste, at Aristoteles' opdeling af universet ikke kunne passe, da der skete forandringer over Månen. Det tydede på, at det måtte være de samme love, der gjaldt i hele universet. I de næste ti år observerede Tycho Brahe en række kometer fra Hven og regnede på deres baner. Han kom frem til, at kometerne bevægede sig frit igennem universet over Månen. På denne baggrund afviste Brahe teorien om, at universet bestod af uigennemtrængelige krystalfærer, der bar planeterne, for kometerne bevægede sig uden hindring på tværs af, hvor sfærerne skulle være. Han offentliggjorde disse op-

dagelser, der i lighed med Nova Stella var fænomener, som *Det Geocentriske Verdensbillede* ikke kunne give forklaringer på. Det var anomalier, som rystede verdensbilledet i sin grundvold. Men opdagelserne rejste et centralt spørgsmål. Hvis det ikke var krystalfærer, der bar planeterne, Solen og Månen igennem universet, hvad var så årsag til himmellegemernes bevægelse?

Det Tychoniske Verdensbillede

På Uraniborg kastede Tycho Brahe sig ud i et omfattende astronomisk arbejde. Over årene registrerede han positioner for 777 stjerner i et katalog – en sådan systematisk optegnelse af stjernehimlen var ikke blevet foretaget før. Stjernernes positioner var et



Tycho Brahes verdensbillede med de to centre. Fra Tycho Brahes *De mundi aetheri recentioribus phaenomenis*, 1588. Det Kgl. Bibliotek.

vigtigt astronomisk arbejdsredskab, da man brugte stjernerne til at sigte efter, når planeterne baner skulle kortlægges. Jo flere stjerner man havde registreret, jo mere præcist kunne man beskrive planeterne bevægelser. Stjernerkataloget skulle årtier senere blive afgørende for, at Tycho Brahes elev, astronomen Johannes Kepler, kunne udregne sine matematiske love om planeterne ellipseformede baner omkring Solen.

Mens Tycho Brahe fra Hven observerede nattehimlen, videreudviklede og forfinede han sine observationsinstrumenter for at blive mere nøjagtig i sine målinger. I takt med at arbejdet skred frem, og Tycho Brahe blev stadig dygtigere, fandt han afgørende fejl i både Ptolemæus' geocentriske astronomi og Kopernikus' heliocentriske. Hans ambitioner voksede, og målet blev at skabe en helt ny teori om universets indretning ud fra hans nye observationsdata. I 1588 offentliggjorde han sit Tychoniske Verdensbillede med Jorden som universets centrum, med Solen og Månen kredsende omkring sig. Det nye var, at Solen var centrum for planeterne baner, mens den selv bevægede sig rundt om Jorden. *Det Tychoniske Verdensbillede* havde altså to centre. På denne måde mente astronomen, at han havde beskrevet universet mere præcist end Ptolemæus og Kopernikus.

Tycho Brahes afvisning af *Det Heliocentriske Verdensbillede* grundede i uenighed om universets størrelse, gudsforståelse og bibellæsning. Brahe antog, at hvis Jorden bevægede sig rundt om Solen på et år, så ville man kunne måle, at stjernernes positioner ændrede sig efter, hvor Jorden befandt sig i sin bane. En sådan vinkelforskydning, kaldet en årlig parallakse, var ikke mulig at konstatere. Dette kunne tolkes på to måder: Enten stod Jorden stille i universets centrum, eller også bevægede den sig om Solen. Hvis den bevægede sig om Solen, ville den manglende parallakse betyde, at afstanden ud til stjernerne var enorm, og at det var derfor, man ikke kunne måle stjernernes ændrede position.

Astronomen nægtede at tro, at der fra den yderste planet Saturn til stjernerne skulle være et umådeligt tomrum. Et så-

dant tomrum var ifølge Tycho Brahe absurd, fordi det var udtryk for uorden i universets indretning. Dette passede ikke med hans forestilling om, at Gud i umådelig visdom havde indrettet sit skaberværk i en perfekt geometrisk orden. Gud havde ingen grund til at skabe et gigantisk, uharmonisk univers med et nyttesløst tomrum mellem planeterne og stjernerne. I forhold til Jordens bevægelser var Tycho Brahe overbevist om, at den var alt for tung til at bevæge sig. Hans overbevisning om, at dette var rigtigt, fandt han bekræftet i Bibelen, der flere steder beskrev Jorden som universets urokkelige centrum.



Portræt af Galileo Galilei.
Det Kgl. Bibliotek.
Foto: Karsten Bundgaard

Galileo Galilei
(1564-1630)

Da himlen kom nærmere

I 1600-tallets begyndelse var der tre konkurrerende opfattelser af universets indretning: *Det Geocentriske*, *Det Tychoniske* og *Det Heliocentriske Verdensbillede*. De havde hver for sig stærke argumenter for, at de hver især repræsenterede sandheden om universets indretning, men der manglede afgørende beviser for de forskellige opfattelser. In-



Galileo Galilei viser kikkerten frem for Venedigs senat.
 Maleri af Luigi Sabatelli (1772-1850).
 Museo di Fisica e Storia Naturale,
 Firenze.

tet var afklaret, før en ny opfindelse i Holland med ét ændrede vilkårene for renæssancens astronomiske stridigheder. Teleskopet havde meldt sin ankomst på scenen. I det nordlige Italien havde en professor i matematik ved universitet i Padova, Galileo Galilei, hørt om dette instrument, der kunne få fjerne ting til at synes nære. Professorens var dygtig med sine fingre og en teknisk begavelse, og han fremstillede på egen hånd et instrument i 1609 og forbedrede dets styrke. I efterårsmørket rettede han som den første i Europa kikkerten imod stjernehimlen. Indtil det øjeblik havde astronomien og al refleksion om universet været baseret på iagttagelser med det blotte øje. Tycho Brahe havde perfektioneret sådanne observationer, men han døde få år før kikkertens opfindelse. Kikkerten, dette rør med en sleben glaslinse i hver ende, ændrede fundamentalt den information, der var tilgængelig for astronomerne.

På stjernehimlen gjorde Galilei i løbet af få måneder flere revolutionerende opdagelser end nogen astronom før ham. Instrumentet leverede de første empiriske indikatorer på, at *Det Heliocentriske Verdensbillede* var sandt. Ifølge *Det Geocentriske Verdensbillede* var Månen en del af det uforanderlige og evige

univers, uberørt af forandringer. Derfor kunne Galilei til sin store overraskelse konstatere, at Månen ligesom Jorden havde en



Galileis tegninger af Månen, som han så den igennem kikkertens glaslinser.
 Fra *Budskab om Stjernerne*, 1610,
 af Galileo Galilei.
 Det Kgl. Bibliotek.
 Foto: Karsten Bundgaard.

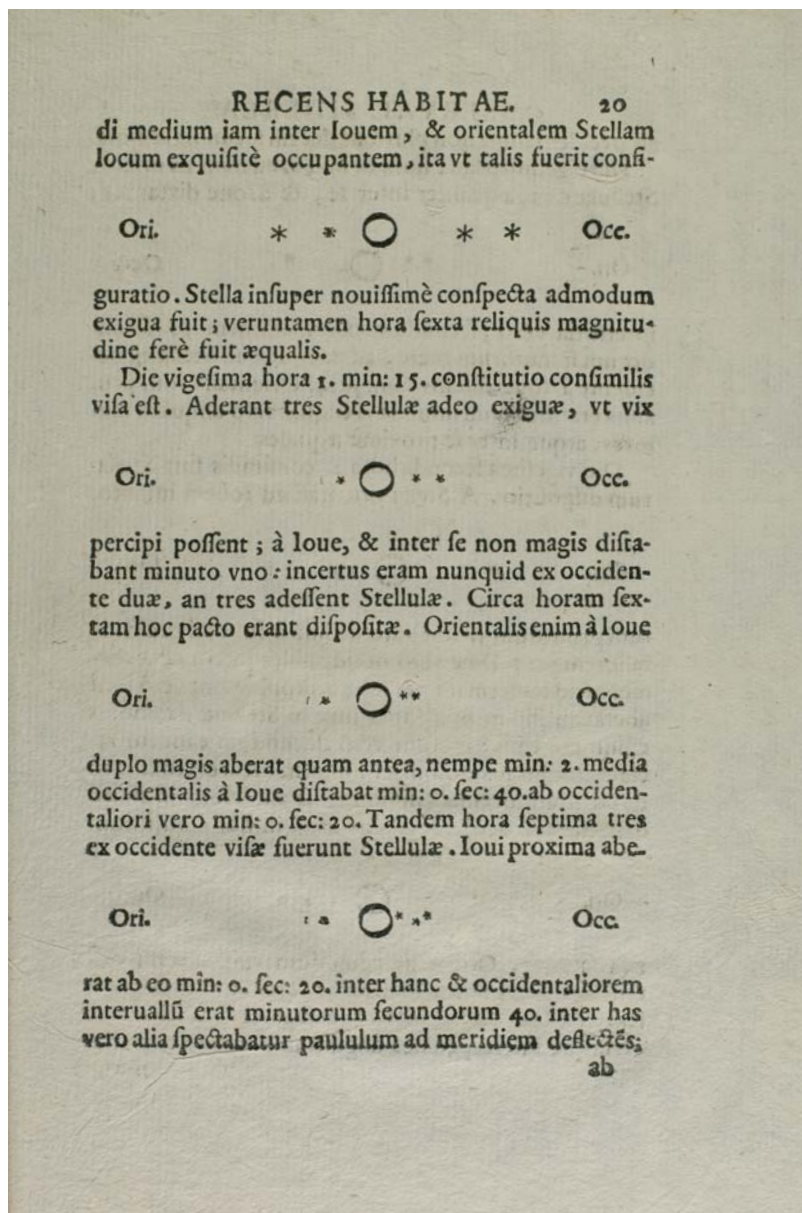
arret overflade med bjerge og dale. Det var altså ikke det perfekte, glatte himmellegeme, som man hidtil havde troet.

På baggrund af *Det Geocentriske Verdensbillede* forklarede Aristoteles, at det tågede bånd, som Mælkevejen tegner på nattehimmelen, var et fænomen ligesom komet. Det var dampe fra Jorden, der langsomt brændte op under Månens krystalsfære. Men kikkerten løste mysteriet om Mælkevejens natur, for igennem glaslinserne opløste Mælkevejens tåger sig i utallige stjerner. Galilei kunne iagttage, at planeterne viste sig som afgrænsede skiver i kikkerten, mens stjernerne forblev funkulende lyspletter. Denne iagttagelse kombineret med, at han i kikkerten kunne se mængder af stjerner, som ellers ikke var synlige, bestyrkede hans tanke om, at stjernerne lå uendeligt langt væk, spredt i et gigantisk univers. Dette gik direkte imod Tycho Brahes tanker om et lille, harmonisk univers og geocentrikernes teori om, at stjernerne sad fast på den ottende krystalkugleskal som knappenålshoveder på en tennisbold.

Kikkertens heliocentriske beviser

Mens Galileis astronomiske opdagelser nedbrød det geocentriske paradigme, var det samtidig iagttagelser, der var med til at opbygge teorien om *Det Heliocentriske Verdensbillede*. I begyndelsen af 1610 i januars vintermørke opdagede videnskabsmanden tre, snart fire mystiske stjerner ved Jupiter. De lå på lige linje ud fra planetens ækvator. Galilei observerede dem over tid og kunne se, at de skiftede position, og nogle af dem forsvandt for at komme til syne på den anden side af Jupiter. Konklusionen var uhørt: Jupiter havde fire måner.

En væsentlig indvending imod *Det Heliocentriske Verdensbillede* var, at Jorden ikke kunne kredse om Solen, for hvis den gjorde det, ville den jo flyve fra Månen i verdens-



rummet. Månen viste sig på nattehimmelen hver nat, ergo stod Jorden stille i universets centrum, lød ræsonnementet. Det var for Isaac Newtons påvisning af, hvordan den universelle tyngdekraft holder Månen i fast kredsløb om Jorden, mens denne kredser om Solen. Efter at Tycho Brahe havde afvist eksistensen af krystalsfærer, havde man ikke nogle stærke forklaringer på, hvad der holdt himmellegemerne på plads i deres baner. Med udgangspunkt i opdagelsen af Jupiters måner påpegede Galilei, at en planet godt kunne være i kredsløb om Solen uden at tabe sine måner. Hermed understregede han også det heliocentriske synspunkt om, at Jorden blot var en planet, der på lige fod med universets andre planeter kredsede om Solen.

En side fra *Budskab om stjernerne* (1610) med Galileis observationer af Jupiters fire måner.
Det Kgl. Bibliotek.
Foto: Karsten Bundgaard.

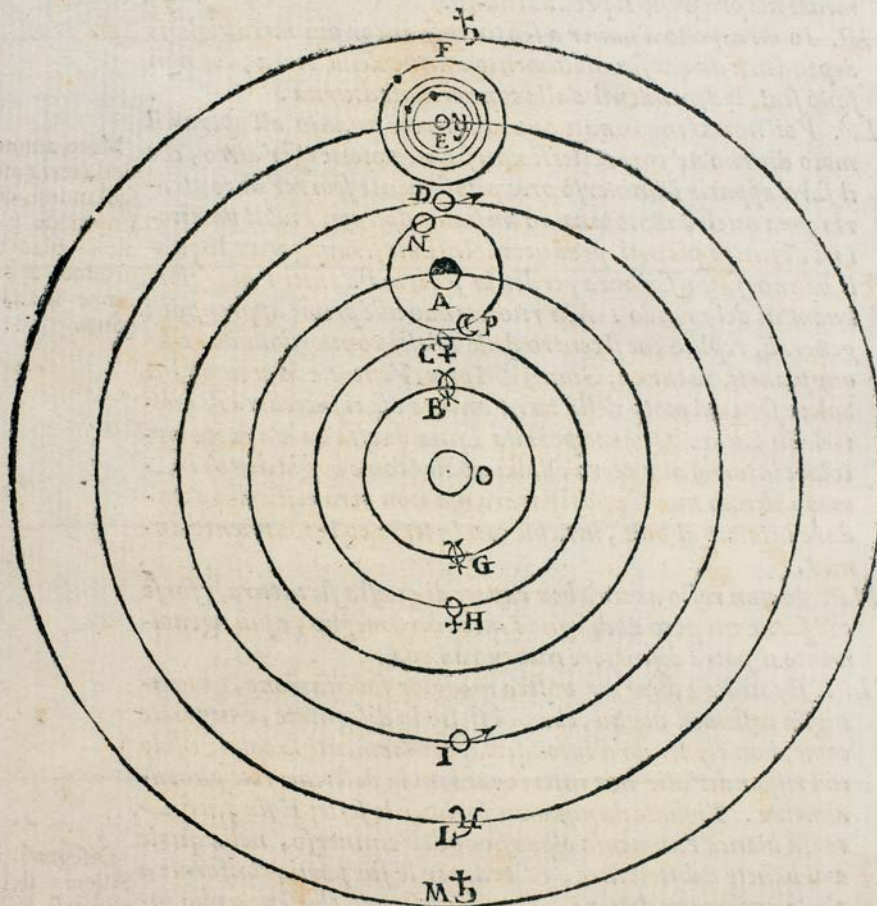
320

Dialogo terzo

SIMP. Sia questo segnato *A.* il luogo del globo terrestre.

SALV. Bene stà. So secondariamente, che voi sapete benissimo, che essa terra non è dentro al corpo solare, nè meno a quello contigua, ma per certo spazio distante, e però assegnate al Sole qual'altro luogo più vi piace remoto dalla terra a vostro beneplacito, e questo ancora contrassegnate.

SIMP. Ecco fatto: Sia il luogo del corpo solare questo segnato *O.*



SALV. Stabiliti questi due, voglio, che pensiamo di accomodar' il corpo di Venere in tal maniera, che lo stato, e mouimento suo possa sodisfar' a ciò, che di essi ci mostrano le sensate apparenze.

Et par år senere fangede planeten Venus Galileis opmærksomhed, idet den skiftede form. Videnskabsmanden iagttog, hvorledes Venus tiltog og aftog i faser ligesom Jordens måne. Den eneste måde at forklare det på var, ifølge Galilei, at den kredsedede om Solen, hvorved forskellige dele af den blev belyst, alt efter hvor den befandt sig på sin bane. Venus' faser var et stærkt argument for *Det Heliocentriske Verdensbillede* imod *Det Geocentriske*, der med Jorden som

centrum ikke kunne forklare planetens faser. *Det Tychoniske Verdensbillede* med de to centre kunne derimod godt forklare faserne og stadig have Jorden i centrum. Men Galilei undgik at diskutere verdensbilledet, som han afviste som vrøvl. Grunden til dette skal nok findes i, at han ikke umiddelbart kunne afvise Tycho Brahes system, der var underbygget af pålidelige observationsdata.

Det Heliocentriske Verdensbillede, hvor Galilei har indtegnet Jupiters fire måner. Fra *Dialoger om de to verdenssystemer*, 1632, af Galileo Galilei.

Det Kgl. Bibliotek.
Foto: Karsten Bundgaard.

Johannes Kepler
(1571-1630)

Det lovmæssige univers

Argumenterne for, at Solen var universets centrum, voksede i første halvdel af 1600-tallet. For mens Galilei gjorde konkrete astronomiske opdagelser, arbejdede matematikeren og astronomen Johannes Kepler på en matematisk beskrivelse af planeterne baner omkring Solen.

I modsætning til sin læremester Tycho Brahe var Kepler tilhænger af Kopernikus' heliocentriske verdensbillede. Da Brahe døde i 1601, overtog Kepler hans stjernekatalog og begyndte at regne på planeterne baner. Efter års forskning opstillede han tre matematiske love for planeterne bevægelser, der bestemte planeterne fart gennem universet og deres omløbstid omkring Solen. Han påviste også, at deres baner omkring Solen havde form som ellipser og ikke perfekte cirkler, som *Det Geocentriske og Det Tychoniske verdensbillede* hævdede. Johannes Kepler formulerede som den første med præcise matematiske udregninger egentlige naturlove i moderne forstand. Således beviste han, at der herskede matematisk påviselige lovmæssigheder for det heliocentriske univers.



Portræt af Johannes Kepler.
Det Kgl. Bibliotek.

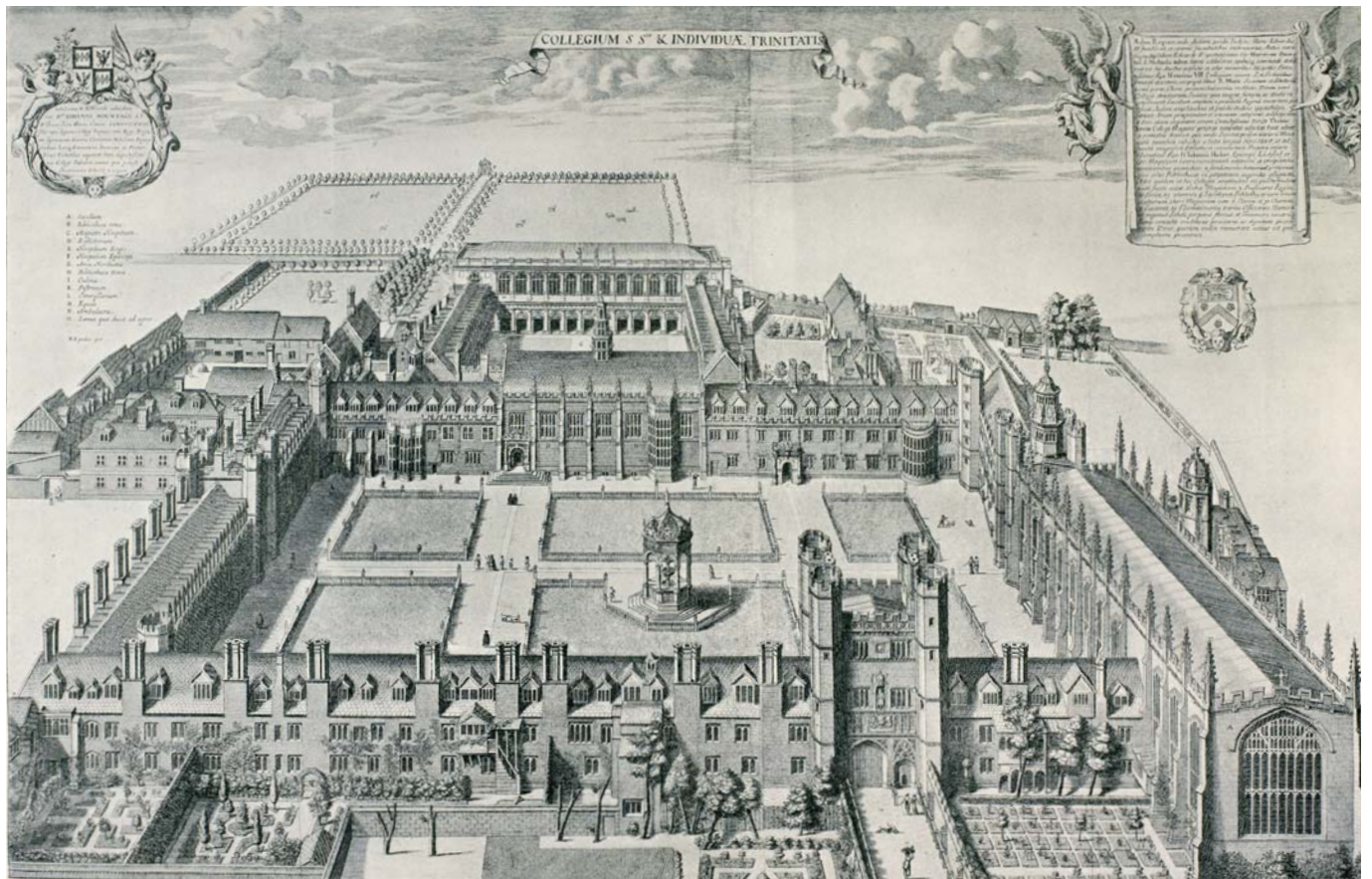
Isaac Newton
(1642-1727)

Etablering af det heliocentriske paradigme

Johannes Kepler og Galileo Galilei manglede til trods for deres forskning og iagttagelser stadig at svare på afgørende spørgsmål: Hvordan hænger det heliocentriske univers sammen? Hvad var årsag til planeterne bevægelser gennem universet, nu hvor der ikke længere var krystalfærer? I 1642,



Portræt af Isaac Newton.
Det Kgl. Bibliotek.
Foto: Karsten Bundgaard.



samme år som Galilei døde i en høj alder, blev Isaac Newton født i den midtengelske landsby Woolsthorpe. Han skulle med tiden blive grundlægger af den moderne fysik og give svarene på de ubesvarede spørgsmål.

Med ham sluttede renæssancens naturvidenskabelige revolution, og det heliocentriske univers defineret af den newtonske fysik blev i et par århundreder det herskende paradigme for forskeres arbejde og almindelige menneskers opfattelse af verdensrummet.

Da Isaac Newton i 1661 som 19-årig blev indskrevet på Trinity College i Cambridge, stod *Det Heliocentriske Verdensbillede* efterhånden stærkt.

Kopernikus', Galileis og Keplers astronomiske værker var tilgængelige for de fleste og kunne købes for penge, og deres tanker var ved at vinde indpas. En af Europas førende filosoffer, franskmænden René Descartes, havde endda besvaret spørgsmålet om, hvad der forårsagede planeternes bevægelser omkring Solen: De blev skubbet

rundt. Descartes mente, at hele universet bestod af små hårde usynlige kugler, som han kaldte atomer. Alle bevægelser i universet var forårsaget af, at disse tætpakkede atomer stødte sammen og skubbede til hinanden, hvorved bevægelsen forplantede sig igennem dem. Planeterne bevægede sig, fordi de blev skubbet gennem universet i en hvirvelstrøm af sammenstødende kugler med Solen som centrum. Descartes sammenlignede atomhvirvlerne med de vandhvirvler, der opstår i en spand vand, når man rører hurtigt i den. Atomhvirvelteorien blev meget populær i sidste halvdel af 1600-tallet; det var et videnskabeligt verdensbillede, man kunne forstå uden matematiske forudsætninger.

Isaac Newton brød sig ikke om den teori. Han troede ikke på, at planeternes rotation om Solen var et produkt af, at de blev skubbet mekanisk frem af sammenstødende atomer – der måtte være stærkere, mere aktive kræfter på spil.

Midt i Newtons studietid brød pesten ud i London og spredte sig mod Cambrid-

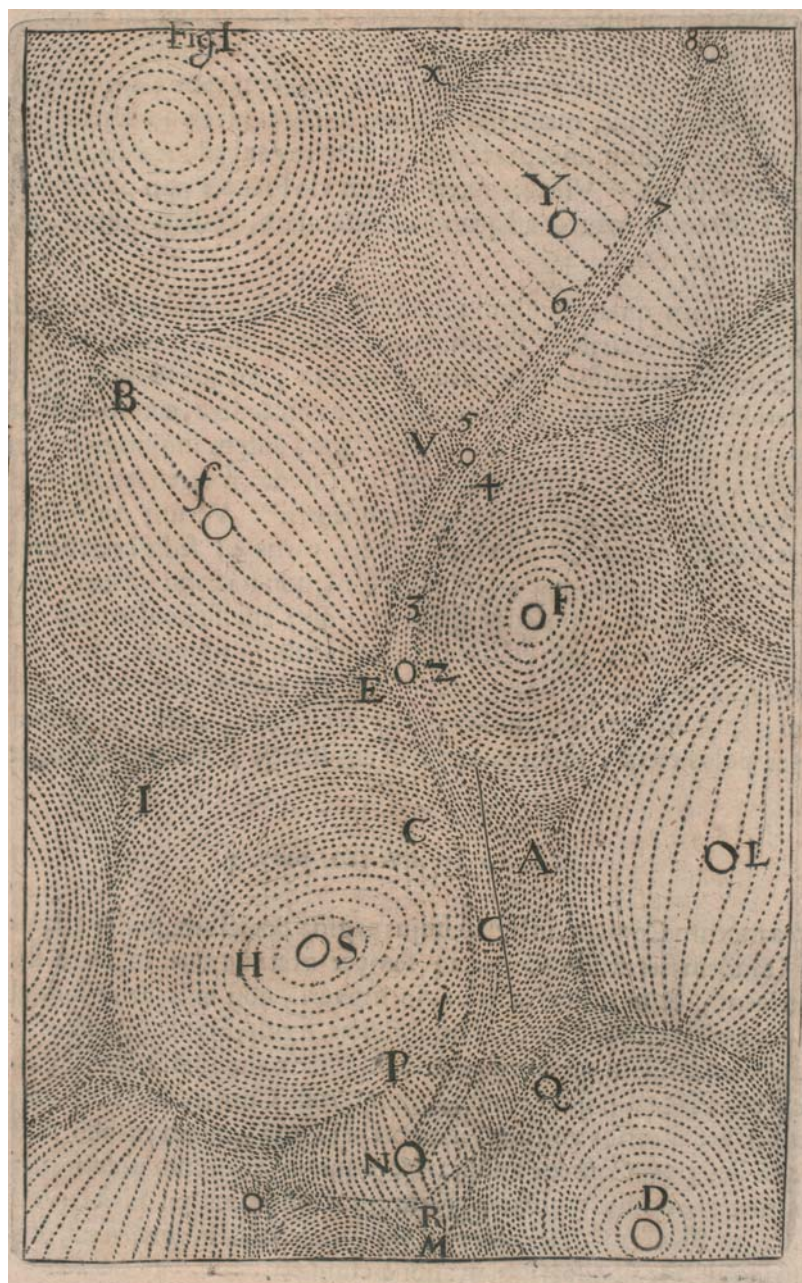
Trinity College, hvor Isaac Newton studerede, forskede og underviste.

Fra *Cantabrigia illustrata* af David Loggan (1635-92). *Det Kgl. Bibliotek*. Foto: Karsten Bundgaard.

ge. Universitetet lukkede, studenter og lærere søgte væk. Der gik to år, før det åbnede igen, og tiden brugte Newton på at drive rundt og tænke på sin families gård i Woolsthorpe. Det var ikke nytteløse tanker. Her lagde han grunden til sine videnskabelige opdagelser inden for matematik, fysik, astronomi og optik, da han var i begyndelsen af tyverne. Opdagelser, der skulle gøre ham til Europas førende videnskabsmand. Fra denne periode, da han var hjemme, stammer historien om, at han skulle have fået et æble i hovedet, mens han sad under et æbletræ. På Newtons tid var videnskabsmænd enige om, at der eksisterede en tyngdekraft ved Jordens overflade; spørgsmålet var, hvor langt den strakte. Det faldende æble gav Newton den idé, at tyngdekraften, der fik det til at falde, ikke var begrænset til en bestemt afstand fra Jorden, men strakte sig ud til Månen. Newton ræsonnerede, at når Månen bevægede sig med høj fart gennem rummet, burde centrifugalkraften sende den i en lige linje ud i universet. Men da Månen blev i sin bane om Jorden, var det, fordi, den var underkastet en modsatrettet kraft af samme styrke, nemlig Jordens tyngdekraft.

Principia

Newton publicerede ikke disse tidlige refleksioner – der skulle gå mange år, før hans teori var moden til offentliggørelse. En henvendelse fra astronomen Edmund Halley (1656-1742) fik Newton tilbage på sporet. Halley skrev til Newton i 1684, da han havde opdaget, at Solen tiltrak planeterne med en kraft, der aftog med kvadratet på planeternes afstand til Solen. Spørgsmålet gik på, hvilken bane en planet ville følge, hvis den var påvirket af en sådan kraft. Newton havde allerede regnet på det: Svaret var en ellipse, den form, som planeternes baner havde ifølge Keplers love. Newton funderede: Måske var denne kraft fra Solen, der trak planeterne, lig den kraft, der fik æblet til at falde fra træet? Måske var tyngdekraften gældende i hele univer-



Descartes' kosmologi med et univers, der bestod af usynlige atomer, der skubbede planeterne rundt. Fra *Filosofiske principper* af René Descartes. Det Kgl. Bibliotek. Foto: Karsten Bundgaard.

set? I 1687 udgav han sit hovedværk *Philosophia naturalis principia mathematica* ('Naturvidenskabens matematiske principper'), siden kendt som *Principia*.

Dette værk blev grundlaget for den klassiske fysik og et af videnskabshistoriens mest indflydelsesrige skrifter.

I værket opstiller Newton de tre berømte mekaniske bevægelseslove. Lovene beskriver sammenhængen mellem legemers bevægelse og de kræfter, de påvirkes af.

Den første lov om inertie: *"Et legeme forbliver i sin tilstand af hvile eller jævn, retlinjet bevægelse, med mindre det tvinges til at ændre denne tilstand."*

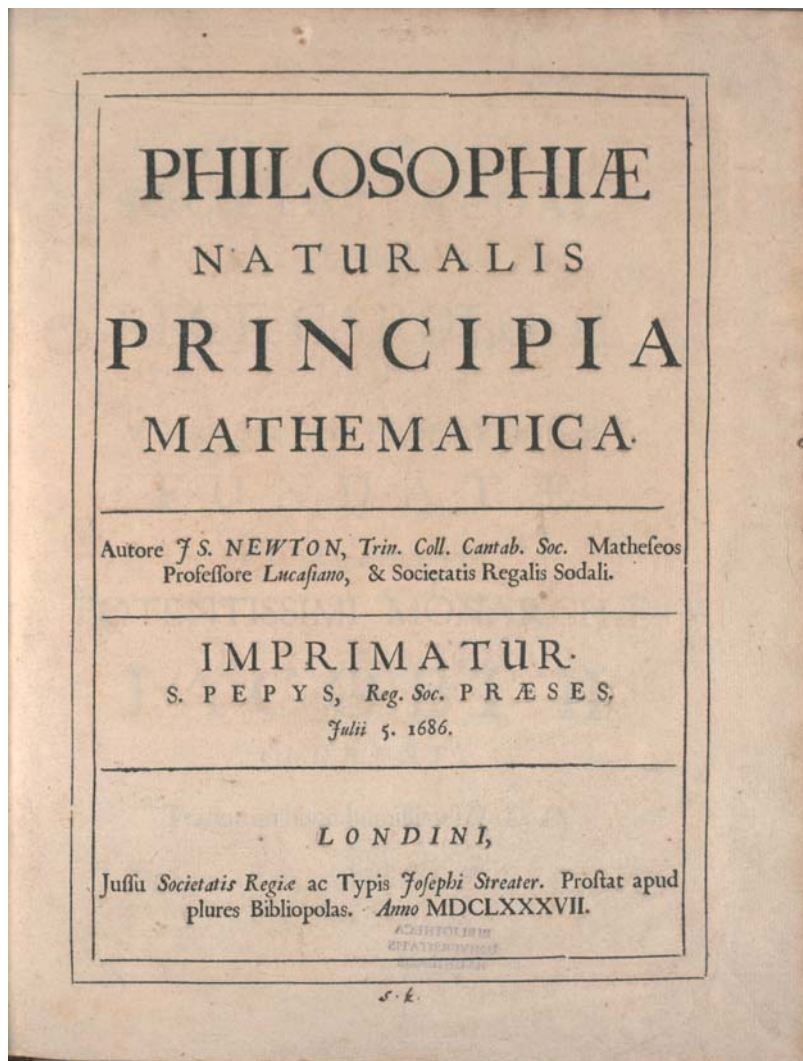
Den anden lov, kraftloven: *"Kraft er lig med masse gange acceleration ($F=ma$)."*

Den tredje lov om aktion og reaktion: *"Til enhver aktion svarer altid en lige så stor og modsatrettet reaktion."*

Ud fra disse love kunne Newton slutte sig til tyngdekraftens virkning mellem to legemer og opstille loven for universel tyngdekraft. Denne siger, at alle genstande med en masse tiltrækker hinanden med en kraft. Hvor stor denne kraft er, afhænger af de to genstandes masse og deres afstand, og det gælder for alle legemer i universet. Herved var han kommet frem til en dynamisk, aktivt virkende kraft, der manglede i Descartes' teori om sammenstødende atomer, der skubbede rundt på planeterne. Newton kunne forklare, hvorledes det var tyngdekraften fra Solens gigantiske masse, der holder sammen på det planetariske system.

Principias perspektiver

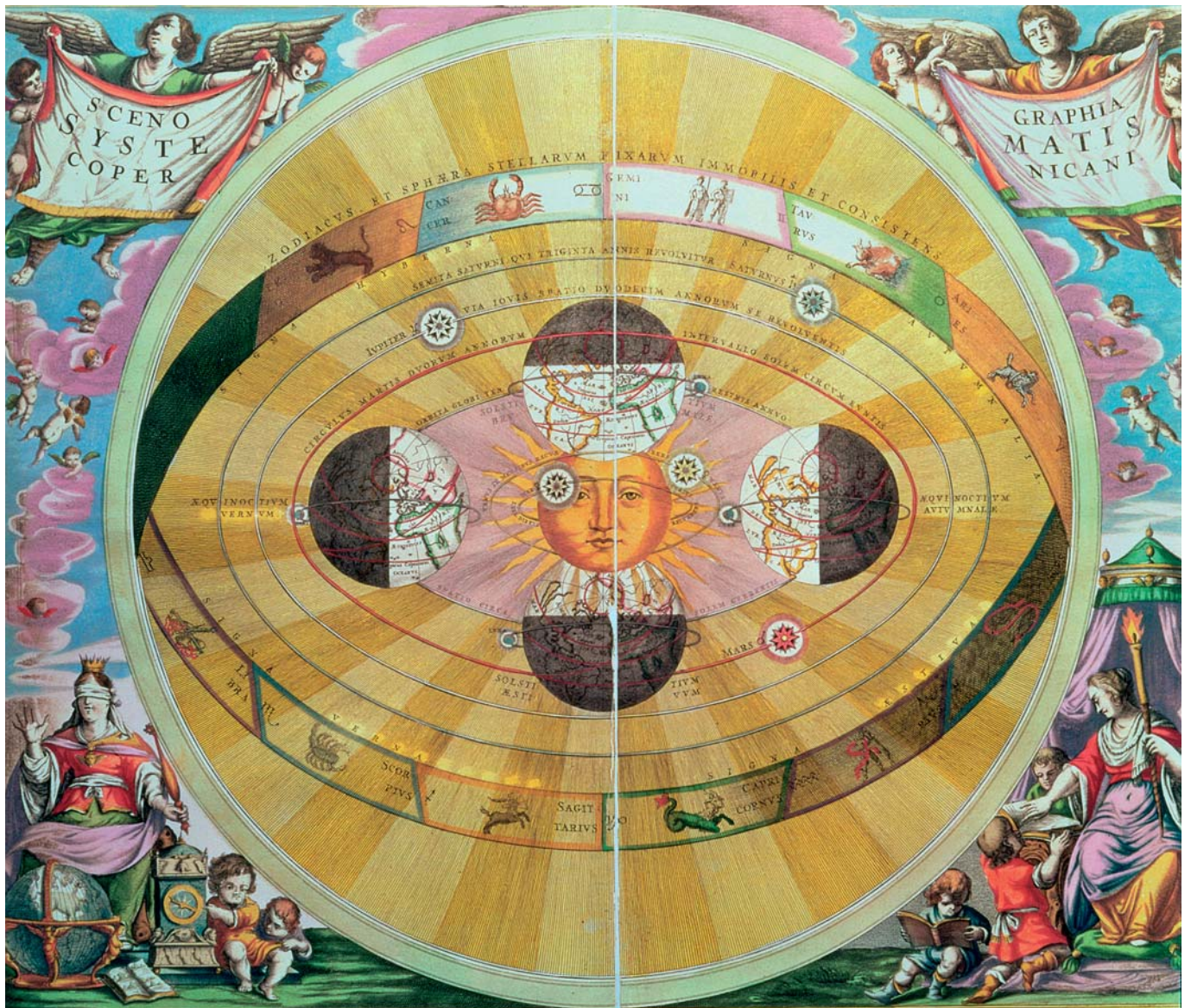
Ud fra sine love kunne Newton give en samlet forklaring på en mængde forskellige fænomener: Hvordan Månen kunne kredse om Jorden, mens den cirkulerede omkring Solen, kometernes baner, tidevandets stigen og falden, jordaksens vippen og Solens forstyrrelse af månebanen. Mens tilhængerne af *Det Geocentriske Verdensbillede* mente, at planeterne blev ført af krystalsfærer, var Newtons univers langt mere kompliceret med langt flere faktorer, der spiller ind på hinanden. Det var et harmonisk system, i hvilket alle legemerne regulerede hinanden i højere eller mindre grad. Jupiters måner påvirkede både hinanden og deres værtsplanet, som holdt dem fanget i sit tyngde-



felt, og som på sin side var grebet af Solen sammen med sin samling af planeter – og alle planeterne trak i hinanden og en lille smule i Solens vældige masse.

Værket fuldendte paradigmeskiftet til *Det Heliocentriske Verdensbillede* ved at samle universet over og under Månen, to verdener, der hidtil havde været adskilt. Det var de samme love, der gjaldt overalt i universet, den samme kraft, der fik æblet til at falde fra træet og Saturn til at blive i sin bane omkring Solen. Newton kunne dog ikke forklare tyngdekraften, han kunne kun påvise den matematisk, men ikke give fænomenet nogen fysisk begrundelse for genstandes gensidige tiltrækning over afstande, hvilket filosoffer og videnskabsfolk i hans samtid fandt utilfredsstillende. Men selv i dag er vi ikke kommet tyngdekraftens natur nærme; vi kan konstatere, at den er der, men ikke forklare den.

Forsiden af Isaac Newtons *Principia* fra 1687.
Det Kgl. Bibliotek.
Foto: Karsten Bundgaard.



Konklusion

Den naturvidenskabelige revolution tog halvandet hundrede år, fra *Det Heliocentriske Verdensbillede* var en tese i en lille uanseelig bog udgivet af Nikolaus Kopernikus i 1543, indtil det fremstod som et fuldstændigt verdenssystem i Isaac Newtons *Principia* fra 1687. Det var et radikalt brud med den måde, man hidtil havde forstået og forklaret universet på, både blandt almindelige mennesker og videnskabsfolk. Revolution synes derfor en meget god betegnelse. For det var en proces, der var så omsiggribende, at det er svært for et moderne menneske at leve sig ind i, hvordan man opfattede verden og universet før dette brud.

Thomas Kuhns begreber om paradigme og anomalier er en god ramme til at forstå videnskabelig udvikling og nybrud. Det geocentriske paradigme beskriver én herskende opfattelse af universet med Jorden hvilende i universets midte, lukket inde i evige, uigennemtrængelige krystallfærer med forskellige love over og under Månesfæren, indtil dette paradigme erstattes af et nyt, *Det Heliocentriske Verdensbillede*, med Solen som centrum for planeterne ellipseformede baner i et åbent, grænseløst univers, der holdes sammen af den universelle tyngdekraft. Overgangen fra det ene paradigme til det andet er en bevægelse, der kan beskrives trin for trin med de anomalier der opstod i *Det Geocentriske Verdensbillede*. Det startede med Kopernikus' lancering af teo-

Det Heliocentriske Verdensbillede med ellipseformede planetbaner. Fra *Atlas coelestis seu harmonia macrocosmica*, 1660, af Andreas Cellarius. *The Bridgeman Art Library*.

rien om *Det Heliocentriske Verdensbillede*.

Kort tid efter kom Tycho Brahes observationer i 1570'erne af Nova Stella og kometen, der viste, at universet ikke var uforanderligt, og at der ikke kunne være krystallfæjer. Udviklingen tog fart med Galileo Galileis kikkertopdagelser i 1610'erne, der gav empirisk belæg for *Det Heliocentriske Verdensbillede*, mens Kepler i samme periode kunne påvise tre matematiske love for planeternes ellipseformede baner omkring Solen. Den blev afrundet af Isaac Newton, der med formuleringen af teorien om den universelle tyngdekraft gav det heliocentriske univers en fuldstændig fysisk forklaring. De opdagelser, der som anomalier var med til at nedbryde *Det Geocentriske Verdensbillede*, fungerede således samtidig som byggesten for *Det Heliocentriske Verdensbillede*. Til trods for at der var tre forskellige konkurrerende verdensbilleder i begyndelsen af 1600-tallet, var det altså *Det Heliocentriske Verdensbillede*, der etablerede sig som det paradigme, menigmand og videnskabsfolk betragtede og fortolkede universet ud fra. Det var det, der gav de mest dækkende forklaringer på renæssancens astronomiske opdagelser.

Det Tychoniske Verdensbillede forblev et planetsystem, og det udviklede sig aldrig til at blive et paradigme. Det var ikke fuldstændigt nok til at fungere som overordnet ramme for videnskabelig erkendelse af universet, som det geocentriske system havde været, og som det heliocentriske system blev. I modsætning til både *Det Geocentriske* og *Det Heliocentriske Verdensbillede* kunne Tycho Brahe for eksempel ikke give nogen tilfredsstillende teori om årsagen til planeternes bevægelser.

Det Heliocentriske Verdensbillede sejrede og stod uantastet et par århundreder, men med tiden opstod der anomalier, som ikke kunne forklares. Et nyt radikalt brud opstod i begyndelsen af 1900-tallet med et paradigmeskifte anført af fysikerne Albert Einstein og Niels Bohr med udgangspunkt i kvantemekanikken og relativitetsteorien. Men det er en helt anden historie.



To sider af et konsolur fra 1642. Pladerne viser astronomerne Kopernikus og Tycho Brahe, der peger på hvert sit verdensbillede.

Nationalmuseet.

Foto: John Lee.

© Copyright: Skoletjenesten og Nationalmuseet 2010
Redaktør (ans.): Vibeke Mader, Skoletjenesten
Tekst: cand.mag. Peter W. Frederiksen
Billedredaktion: cand.mag. Peter W. Frederiksen
Layout: Kristin Wiborg/Skoletjenesten

