

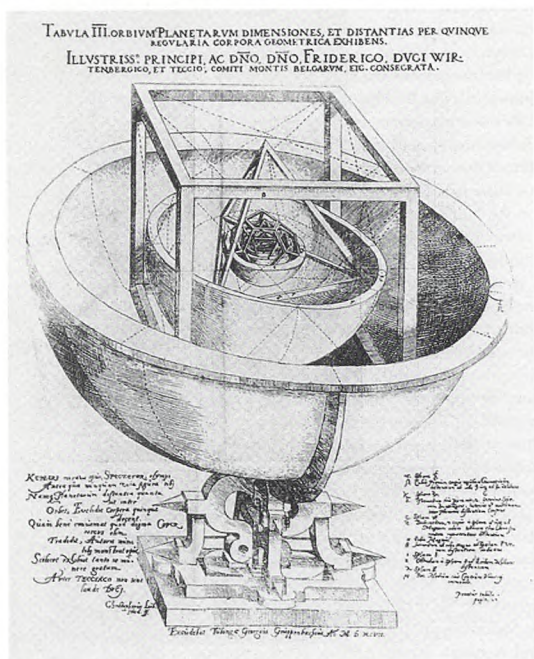
Fra Aristoteles til Newton – Træk af den naturvidenskabelige tænkemådes historie

Af Carl Henrik Koch, Institut for Medier, Erkendelse og Formidling, Københavns Universitet

“Der foregik ikke en naturvidenskabelig revolution, og dette er en bog om den”, skrev videnskabshistorikeren Steven Shapin i “The Scientific Revolution” fra 1996. Selve betegnelsen “den naturvidenskabelige revolution” er næppe mere end 75 år gammel, og siden den blev indført har der været diskussion om, hvorvidt der virkelig foregik en naturvidenskabelig revolution i det 17. århundrede, eller der blot er tale om en myte. I artiklen tages spørgsmålet op til en fornyet drøftelse.

Det 17. århundredes naturvidenskabelige revolution

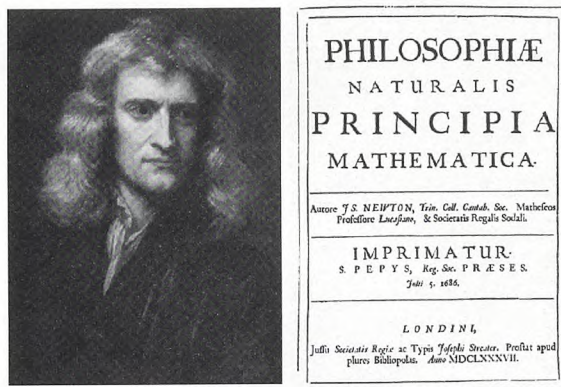
Man taler ofte om, at det 17. århundredes Europa oplevede en naturvidenskabelig revolution, der satte den stadigt accelererende videnskabelige udvikling i gang, som vi i dag ikke alene drager umådelig nytte af, men hvis virkninger vi også frygter. Videnskabshistorikere har imidlertid været uenige om, hvad denne revolution gik ud på, ja, nogle har endog hævdet, at den aldrig har fundet sted, og at den moderne naturvidenskab står på skuldrene af middelalderens og renæssancens naturfilosofi. Tanken om den videnskabelige udvikling som diskontinuert, dvs. som en serie af brud eller paradigmeskift, står over for en opfattelse af, at naturvidenskabens har udviklet sig kontinuert.



Figur 1. Tegning fra Johannes Keplers værk “Mysterium cosmographicum” (1596), der søgte at forklare størrelsen af planeternes baner ved hjælp af de platoniske legemer.

Uanset hvilken synsvinkel man anlægger, er der enighed om, at der skete noget i det 17. århundrede. Kongerækken: Johannes Kepler (1571-1630), Galileo Galilei (1564-1642) og – den største af dem alle – Isaac Newton (1642-1727) er ikke til at overse. Udviklingen fra Keplers *Mysterium cosmographicum* (Det kosmiske

mysterium) fra 1596, hvori han på spekulativt grundlag søgte at afdække universets matematiske natur, til Newtons *Philosophia naturalis principia mathematica* (Naturfilosofiens [dvs. fysikkens] matematiske principper, blot kaldt *Principia*) fra 1687, taler for sig selv. I dette værk blev den matematiske fysik systematiseret ud fra få fysiske begreber og principper ved hjælp af, hvad Newton selv kaldte en matematisk kraft, nemlig massetiltrækningskraften.



Figur 2. Isaac Newton (1642-1727) og titelbladet fra hans værk “Principia” (1687), der forklarede planeternes bevægelser ved hjælp af massetiltrækningskraften.

Hermed kulminerede fysikkens udvikling i det 17. århundrede samtidig med, at der skabtes en frugtbar grobund for videre udvikling. Noget lykkedes inden for naturvidenskabens i det 17. århundrede, noget, som uden held var forsøgt før, nemlig at skabe en matematisk fysik.

Men også andet ændrede sig inden for det 17. århundredes videnskab. Hvor videnskabens i renæssancen (ca. 1350-1600) var forbeholdt de få, de indviede, dvs. havde været et esoterisk anliggende, blev den op igennem det 17. århundrede i stadigt større omfang et offentligt eller eksoterisk anliggende ikke mindst i forbindelse med den praktiske udnyttelse af den nyindvundne viden. De videnskabelige sandheder blev ikke længere anset for at profaneres ved at blive offentligt kendt.

Ikke mindst fik vi i det 17. århundrede et andet begreb om naturlove end tidligere, ja selve begrebet om den natur, som var naturvidenskabens genstand

ændredes radikalt. Hvor en naturlov tidligere havde været en universel sand sætning, hvori en bestemt mængde af fænomener tilskrives bestemte, konstante karakteristika, blev naturloven hos Galilei en konstant relation mellem variable fænomener. I den klassiske tradition fra "videnskabens fader" Aristoteles (384-322 f.Kr.) var naturlove i almindelighed svar på spørgsmål af typen "Hvad er dette eller hint fænomens væsen (essens)?" svaret på, hvad der fx er menneskets væsen, var, at mennesket er et tænkende dyr. Hos Galilei og i den tradition inden for naturvidenskaben, som stammer fra ham, er naturlove overvejende svar på spørgsmål af typen: "Hvilke forhold bestemmer dette eller hint fænomens varieren?"; svaret på, hvad der fx bestemmer faldlængden s for et frit faldende legeme ved faldtiden t er, at den variable faldvej er bestemt af faldtiden i anden potens. Det er dette svar, som vi i dag kender som faldloven.

Hvor naturen ud fra en aristotelisk tankegang havde træk fælles med organismer – naturprocesserne er bestemt af stræben efter at virkeliggøre bestemte formål – eller at den ligefrem, som hos en række tidligere græske naturfilosoffer og i renaissancefilosofien, opfattes som en organisme, en aktivt frembringende moder, blev naturen i det 17. århundrede et kompliceret maskineri af materielle partikler. Ofte taler man om det 17. århundredes mekaniske naturopfattelse i modsætning til renaissanceens organicistiske natursyn. Naturen var derfor først og fremmest en ressource for mennesket i dets kamp for bedre livsvilkår. Kemikeren Robert Boyle (1627-1691) argumenterede ligefrem for, at tidens mekaniske naturopfattelse var den rette kristne naturopfattelse. I den mosaiske skabelsesberetning er kun guddommen skabende og frembringende. Forestillingen om en skabende og frembringende natur måtte således være i strid med traditionelle kristne forestillinger.



Figur 3. Robert Boyle (1627-1691) anså den mekaniske naturopfattelse for at være den rette kristne naturopfattelse.

Mit foreløbige svar på spørgsmålet: "Hvori bestod det 17. århundredes naturvidenskabelige revolution?" bliver således i al korthed, at det lykkedes at give en matematisk beskrivelse af den fysiske verden, og at det ændrede begreb om naturlove og om naturen selv accelererede både naturvidenskabens udvikling og den praktiske udnyttelse af dens resultater. Hvis der er tale om en revolution skyldes dette snarere en ændret måde at betragte naturen på, dvs. noget begrebsmæssigt, end opnåede resultater.

Med henblik på at begrunde eller belyse mit svar skal jeg i det følgende kort søge at beskrive

1. De antikke naturvidenskabelige traditioner, som var levende langt op i det 17. århundrede,
2. Det astronomiske nybrud i renaissanceen,
3. Træk af renaissanceens naturfilosofi, og
4. Den mekaniske naturopfattelse.

Men før jeg går i gang med dette program skal jeg gøre opmærksom på en principiel pointe i mit syn på videnskabens historie.

Videnskabens historie er ikke de for øjeblikket accepterede opfattelsers historie, men omfatter de institutioner, opfattelser og personer, der på et givet tidspunkt og inden for rammerne af en given samfundsstruktur har spillet den samme rolle, som de videnskabelige institutioner, videnskabelige teorier og forskere gør i dag. Derfor har fx også astrologi, alkymi og magi en plads i videnskabshistorien på linje med astronomi og kemi, og Aristoteles, hvis fysiske opfattelse dominerede europæisk naturvidenskabelig tænkning i næsten tusinde år, er videnskabshistorisk lige så betydningsfuld som fx Newton og Einstein. Videnskabshistorie er også historien om de opfattelser, vi i dag finder fejlagtige.

1. De antikke naturvidenskabelige traditioner

Platon og platonismen

Tre traditioner beherskede antikkens naturvidenskabelige tænkning, platonismen, aristotelismen og hvad man kunne kalde den positivistiske tradition, hvis ophavsmand var Archimedes (287-212 f. Kr.). Den første er endnu levende inden for matematikkens filosofi, den anden døde ud i det 17. århundrede, og den tredje fik med Galileis fysiske arbejder sit gennembrud i samme århundrede og præger stadig vores dages naturvidenskabelige tænkning.

Platonismen har sit navn efter ophavsmanden, den græske filosof Platon (427-347 f.Kr.). En videnskab, mente Platon, måtte lig geometrien bestå af evigt sande sætninger, hvori en eller flere genstande tilskrives en egenskab. Det usikre og sandsynlige kan ikke påberåbe sig videnskabelig status. Og når der er tale om evigt sande udsagn, må de genstande, disse udsagn handler om, være evige og uforanderlige.

Fx er det en egenskab ved en retvinklet trekant, at vinkelhalveringslinjerne skærer hinanden i et punkt.

Og det er en egenskab ved 4, at det er kvadrattallet af 2. Men de trekanter og tal, der tales om i geometri og aritmetik er ikke de tegnede trekanter og ikke de benævnte størrelser, som vi kender fra den verden, vi lærer at kende gennem vore sanser. Erfaringsverdenen er en foranderlighedens verden. De geometriske figurer og tallene hører til i en ideel virkelighed.

Når vi når til en erkendelse af, hvad der karakteriserer et menneske, er det ikke dette eller hint menneske, vi erkender noget om, men mennesker i almindelighed. Noget sådant findes ikke i erfaringsverdenen. Her findes Peter, Poul osv. Tallet 1 eller en trekant i almindelighed, som geometriens sætninger om trekanter handler om, findes heller ikke i erfaringsverdenen. Her findes fx enkroner og mere eller mindre nøjagtigt konstruerede konkrete trekanter. Et menneske som sådant er noget ideelt. Platon skelnede mellem en sans- eller fænomenverden på den ene side og en idéverden på den anden, og videnskabens sætninger angår den sidste. Hvad er nu forholdet mellem disse to verdener?

Når vi fx siger, at dette er en trekant eller et menneske, så må vi i forvejen vide, hvad der karakteriserer en trekant eller et menneske. Vi må, ville Platon sige, have viden om trekantens eller om menneskets idé, som de mennesker og trekantformede legemer, der foreligger i fænomenverdenen, så at sige er en slags billede af. Netop på grund af, at det forholder sig således, kan en tegnet trekant få os til at tænke på den ideelle trekant, som er geometriens genstand.

Denne opfattelse kom til udtryk i antikkens astronomi. Himmellegerne er fuldkomne legemer og må følgelig bevæge sig i fuldkomne baner. Den mest fuldkomne bane er cirkelbanen, idet begyndelsepunktet og endepunktet falder sammen. Men nogle himmelleger, nemlig planeterne – ordet kommer fra det græske ord for en omstrejfende person – bevæger sig tilsyneladende ikke i cirkelbaner. Opgaven for astronomen er derfor at forklare planeterne's gang over himmelhvælvingen ud fra et bagvedliggende system af cirkelbevægelser. Eller som det blev sagt inden for den platoniske tradition, det gjaldt om at "redde fænomenerne", dvs. at søge at reducere planeterne's uregelmæssige baner til cirkelbaner.

Den antikke astronomi kulminerede i alexandrineren Claudius Ptolemæus' (100-170) systematisering af antikkens astronomiske viden i, hvad der senere er blevet kaldt det ptolemæiske verdensbillede, hvor Universet opfattes som et endeligt univers, i hvis centrum den ubevægelige Jord befinder sig, og alle himmellegeres baner forklares ud fra det bagvedliggende system af regelmæssige cirkelbevægelser. For den antikke naturfilosofi, der stod på skuldrene af Platons filosofi, var opgaven at finde den matematiske struktur, der lå bag fænomenverdenens evige omskiftelser. Men med aristotelismens indtog i højmiddelalderen, kom dennes afvisning af, at matematikken kunne bruges som redskab til beskrivelse af den fysiske verden til med enkelte undtagelser at dominere middelalderens naturvidenskab. Først i det 17. århundrede lykkedes det at gendrive den aristoteliske fysik.

Aristoteles og aristotelismen

Hvor Platon hentede sit erkendelsesideal fra matematikken, var især biologien det grundlag, hvorpå Aristoteles opbyggede sin naturfilosofi. I den organiske verden kan vi iagttage ændringer, der har karakter som vækstprocesser. Hvad er det, der driver disse vækstprocesser fremad, dvs. hvad er årsagen til dem? For Aristoteles og stort set for de næste par årtusinders naturvidenskab var videnskab lig viden om årsager.

Et agern udvikler sig under gunstige omstændigheder til et fuldtudviklet egetræ. I agernet ligger, mente Aristoteles, en mulighed for at blive et sådant, og vækstprocessen er en virkeliggørelse af denne mulighed. Al bevægelse, alle ændringer i naturen, er en overgang fra mulighed til virkelighed. Virkeliggørelse er bestemt af endemålet, i dette tilfælde af det fuldtudviklede egetræ. Dette vil igen sige, at vi i dette har årsagen til den vækstproces, som tager sit udgangspunkt i agernet. Det er altså processens formål, der er dens årsag. En sådan lære om formålsårsager, som falder naturlig også for os i dag at anlægge, når talen er om biologiske fænomener, er grundlaget for den aristoteliske fysik.

Fysiske genstande er enten lette eller tunge. Hvis de tunge løftes op fra jordoverfladen, hvor de naturligt hører hjemme, falder de i en retlinet bane tilbage til deres naturlige sted, når understøttelsen fjernes. Omvendt med de lette. De stiger til vejrs ligeledes i en retlinet bane. Denne dagligdags opfattelse var også Aristoteles'. Det aristoteliske univers er som vores dagligdags univers et orienteret univers, et univers, hvor nogle naturlige bevægelser har retning opad, andre nedad.

Hvad bestemmer nu, at en sten, der kastes op i luften, falder tilbage til jordoverfladen? De lette genstande hører naturligt til over jordoverfladen, de tunge genstande på jordoverfladen. Når en sten løftes op over jordoverfladen er den således blevet en let ting, men det er mod dens natur eller essens, og derfor falder den ned, når den slippes. Denne faldproces er en virkeliggørelse af, hvad stenen i virkeligheden er, nemlig en tung ting. Som agernet spirer, og spiren udvikler sig til et egetræ, og således bliver til, hvad det i virkeligheden er, bliver stenen til det, den er, ved at falde ned imod jordoverfladen. Årsagen til en stens fald og årsagen til et agerns udvikling er i begge tilfælde det formål, der skal virkeliggøres.

Hvor de naturlige (i modsætning til tvungne) bevægelser nær jordoverfladen eller – som Aristoteles sagde – i sphæren under Månen er retlinede, er den naturlige bevægelse over Månen en cirkelbane. I modsætning til den platoniske tradition tilskrev aristotelismen op igennem middelalderen disse baner en fysisk realitet, idet det endelige univers blev anset for at være opbygget af en række koncentriske kugleskaller med centrum i den tunge Jord, og hvorpå planeterne er heftet. Disse kugleskaller drejede rundt, en bevægelse, som guddommen er den egentlige årsag til. En egentlig fysisk forklaring på bevægelser og ændringer var kun mulig for sphæren under Månen. For sphæren over

Månen lå forklaringen uden for det fysiske univers, og naturfilosoffen var henvist til kun at beskrive de himmelske legemers bevægelser. Som universet var opdelt i to sfærer, var den aristoteliske kosmologi opdelt i en jordisk fysik og en himmelsk kinematik.

I overensstemmelse med den gængse opfattelse i antikkens Grækenland er den fysiske verden ifølge aristotelismen opbygget af de fire elementer, ild, jord, luft og vand, hvorimod den himmelske verden er opbygget af et særligt, fuldkomment femte element, det der senere i middelalderlatin blev kaldt *quinta essentia* (kvintessensen). De fire fysiske elementer er hver karakteriseret ved to af de fire grundegenskaber eller grundkvaliteter: varme, kulde, tørhed og fugtighed. Ilden er varm og tør, jorden tør og kold, luften varm og fugtig og vandet fugtigt og koldt. Netop fordi den fysiske verden i overensstemmelse hermed måtte karakteriseres kvalitativt, var det med de matematiske redskaber, der var for hånden, udelukket at give en matematisk beskrivelse af fysiske processer. Muligheden for at opbygge en matematisk fysik på aristotelisk grundlag var ikke til stede. Dette var en af grundene til, at matematikken langt op i det syttende århundrede var et fag med lav videnskabelig status.

Archimedes

Archimedes' matematiske behandling af statikken, dvs. læren om stive og flydende legemers ligevægt, er højdepunktet i oldtidens naturvidenskab: Archimedes videnskabeliggjorde kunsten at bruge vægtstænger. Matematikken handlede for Platon og platonismen om en bagvedliggende virkelighed, og havde som konsekvens af aristotelismens kvalitative verdensbillede ikke nogen fysisk anvendelse. Archimedes derimod forsøgte med held at anvende matematikken på fysiske fænomener uden at bekymre sig om filosofiske overvejelser vedrørende matematikkens karakter. Jeg har kaldt den archimediske tradition for positivistisk. Hvorfor vil fremgå af min omtale af den naturforsker, der mere end nogen anden i det 17. århundrede gik i Archimedes' fodspor, nemlig Galilei. Men først skal de astronomiske nybrud i renæssancen og renæssancens naturfilosofi kort omtales.

2. De astronomiske nybrud i renæssancen

Nicolaus Copernicus

Som det er velkendt, publicerede Copernicus i 1543 – hans dødsår – sit heliocentriske verdenssystem i *De revolutionibus orbium coelestium* (Om himmelkredsens omdrejning). Her var de fuldkomne baner, som himmellegemerne bevægede sig i, stadig cirkelbaner, men hvor centret i det ptolemæiske verdenssystem var Jorden, var det hos Copernicus Solen. Men Copernicus betjente sig af de samme matematiske midler som Ptolemæus til at "redde fænomenerne". Det var først senere, at filosoffer som Nicolaus Cusanus (1401-1464) og Giordano Bruno (1548-1600) opgav tanken om, at Universet havde et centrum. Den copernicanske astronomi er en ren kine-

matik.

Som aristotelismen antog også Copernicus, at Universet var endeligt. De retlinede, naturlige bevægelser nær jordoverfladen og de himmelske legemers naturlige cirkelbevægelser forudsatte ikke et uendeligt univers. Det var først efter at Pierre Gassendi (1592-1655) og senere René Descartes (1596-1650) havde formuleret inertisætningen – kendt under navnet "Newtons første lov" – i medfør af hvilken den retlinede bevægelse er det eneste naturlige, at Universets uendelighed måtte forudsættes. Heliocentrismen var allerede blevet hævdet af Aristarchos (310-230 f.Kr.) – en af antikkens kendte astronomer – og skønt den ikke var glemt, så var den dog anset for gendrevet. Hvis Jorden går i en bane omkring Solen måtte der kunne konstateres en variation af vinklen mellem sigtelinjerne til to himmellegemer (parallaksen) alt efter hvor Jorden befandt sig i sin bane omkring Solen. Men en sådan variation kunne ikke konstateres – det var først i 1838, at den tyske astronom Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) påviste parallaksen. Copernicus imødegik indvendingen ved at hævde, at forholdet mellem Jordens afstand til Solen og hvad han kaldte firmamentets højde, dvs. fiksstjernerne afstand til Solen, var så meget mindre end forholdet mellem Jordens radius og dens afstand til Solen, at denne afstand var umærkelig i forhold til firmamentets højde. Dette måtte medføre, at vinklerne var nogenlunde konstante, uanset hvor Jorden befandt sig i sin bane.

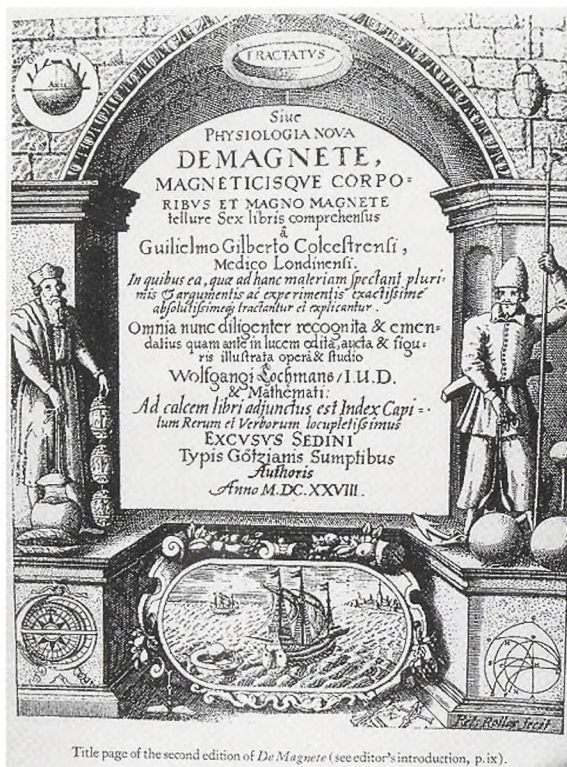
Tycho Brahe

Tycho Brahe (1546-1601) afviste Copernicus' opfattelse. Den tunge Jord kan umuligt cirkulere omkring den lette Sol. På dette punkt var der fuld overensstemmelse mellem Tycho Brahe og samtidens aristoteliske naturfilosofi. Og himmellegemernes naturlige bevægelser er stadig cirkelbevægelsen. Formålet med Tycho Brahes talrige observationer af den himmelske verden var at begrunde hans verdenssystem, der var en kombination af det heliocentriske og det geocentriske: Solen cirkulerer ligesom Månen omkring Jorden, og de øvrige planeter cirkulerer omkring Solen. Udover de for den tid uhyre nøjagtige observationer var Tycho Brahes bidrag til astronomien hans påvisning af, at kometerne bevægede sig over Månen, dvs. at middelalderens forestilling om et univers opbygget af faste, krystallinske kugleskaller var forkert. Sammen med hans iagttagelse af en supernova bidrog hans overvejelser over kometers bane også til, at der blev sat spørgsmålstejn ved forestillingen om, at den himmelske verden er evig og uforanderlig. Men verden ændrede sig selvfølgelig ikke på en dag. Også Galilei måtte i forbindelse med sine iagttagelser af solpletternes varierende størrelse kæmpe imod den gamle fordom.

Johannes Kepler

Som bekendt arbejdede Johannes Kepler i en kort, problemfyldt periode sammen med Tycho Brahe i Prag.

Efter dennes død fortsatte han med at løse den opgave, Tycho Brahe havde stillet ham, nemlig at bestemme Mars' bane. Kepler var først og fremmest interesseret i Tycho Brahes observationer for at få bekræftet det platonisk inspirerede verdenssystem, han havde opstillet i *Mysterium Cosmographicum*, men resultatet af Keplers arbejde med Tycho Brahes Mars-observationer blev de keplerske love, hvor planetbanerne i den første keplerske lov bestemmes som ellipser. Denne lov og den anden keplerske lov (radiusvektor beskriver i lige store tidsrum lige store arealer) publicerede Kepler i *Astronomia nova aitiologetos, seu physica coelestis* (Den ny astronomi baseret på årsager, eller den himmelske fysik) fra 1609. Titlen er værd at lægge mærke til. Kepler ville ikke blot som Ptolemæus og Copernicus opstille den himmelske kinematik, men også afsløre årsagerne til himmellegemernes bevægelse. Under udarbejdelsen af *Astronomia nova* skrev han i et brev, at det var hans agt at vise, at den himmelske maskine ikke er et guddommeligt og levende væsen, men en slags urværk, hvis mangfoldige bevægelser er forårsaget af en simpel magnetisk og materiel kraft. Han har her hentet inspiration hos englænderen William Gilbert (1544-1603), der i *De magnete* (Om magneter) fra 1600 havde beskrevet sine eksperimenter med fx kugleformede magneter.



Title page of the second edition of *De Magnete* (see editor's introduction, p. ix).

Figur 4. Titelbladet fra William Gilberts "De Magnete".

Mange år senere, i anden udgave af *Mysterium cosmographicum* fra 1621, skriver Kepler i en note, at hvis ordet "sjæl", som han havde brugt til at betegne årsagen til planeternes bevægelse, erstattes af ordet "kraft", så vil *Mysterium cosmographicum* ses at indeholde de principper for den himmelske fysik, som han havde fremlagt i *Astronomia nova*. Skønt det aldrig

lykkedes for Kepler at opstille en tilfredsstillende dynamik for himmellegemerne, dvs. en teori, der bestemmer bevægelserne ud fra deres årsager, var forestillingen om eksistensen af en fysisk kraft ledende for hans udformning af de matematiske love for Universet. På trods af, at han i forsøget på at opdage den matematiske struktur, der ligger bag den virkelighed, vi kender til gennem vore sanser, var påvirket af platonismen, tænkte han ikke kun matematisk, men også fysisk.

3. Træk af renæssancens naturfilosofi

Keplers afvisning af forestillingen om Universet som guddommeligt og levende var vendt imod renæssancens natursyn. Mere end 100 år senere, i anden udgave af *Principia* fra 1713 afviste også Newton renæssancens forestilling om en levende, besjælet natur. I den afsluttende, forklarende bemærkning skrev han bla. om guddommen, at: "Han styrer alt, ikke som en verdenssjæl, men som en herre over alt." Fysikeren Newton måtte også inddrage guddommen i sine overvejelser over Universet, men ikke på den måde, som det var sket hos visse renæssancefilosoffer. Newtons bemærkning antyder, at den naturvidenskabelige revolution i lige så høj grad var et opgør med renæssancens natursyn som med middelalderens aristotelisme.

Naturbegrebet i den såkaldte renæssancenaturalisme var begrebet om en skabende, levende og dermed besjælet natur. Centralt stod begrebet om en verdenssjæl hentet fra nyplatonikeren Plotin (ca. 205-270) – som det aktiverende og skabende princip bag Altets mangfoldighed. Naturen er en moder natur, gennemstrømmet af åndelige kræfter. Renæssancevidenskaberne alkymi, astrologi og magi bygger på dette natursyn. Alkymisten skulle i sit laboratorium genskabe de forhold, der herskede i Jordens moderskød, så der i hans kolber på samme måde som i Jordens hulheder kunne vokse metaller frem. Astrologen skulle påvise, hvorledes de åndelige kræfter, som har deres sæde i himmellegemerne, øver indflydelse på menneskenes skæbne, og da den ånd, der gennemstrømmer alt, er en meget subtil materie, kunne magikeren ved hjælp af sin forestillingsevne påvirke mennesker og situationer fjernt fra det sted, han befandt sig. Descartes' skarpe skel mellem den materielle substans, hvis væsen er udstrækning, og den åndelige substans, hvis væsen er tænkning, var netop et opgør med den naturopfattelse, som renæssancens såkaldte esoteriske videnskaber hvilede på. Ved at skelne skarpt imellem de to arter af substanser og dermed fjerne det ikke kvantificerbare fra det fysiske verdensbillede, blev Descartes en af hovedmændene bag den mekaniske naturopfattelse.

4. Den mekaniske naturopfattelse

Galileo Galilei

Kepler havde reformeret astronomien ved i sin planetteori at inddrage overvejelser over hvilken kraft, der bevæger planeterne. Galilei skabte grundlaget for en matematisk fysik ved i sine overvejelser at se bort

fra spørgsmålet om bevægelsens årsag og udelukkende give en matematisk beskrivelse af bevægelsen. Ved at undlade at stille det aristoteliske spørgsmål og afvise, at et legemes naturlige bevægelse bestemmes af dets essens (at det ifølge sin natur er et tungt eller et let legeme) åbnede han muligheden for en matematificering af fysikken.



Figur 5. Galileo Galilei (1564-1642).

I sine breve om solpletterne fra 1613 (*Istoria [...] delle macchie solari*) skrev Galilei, at videnskabens genstand ikke er de fysiske genstandes essens, men derimod de egenskaber, vi kan tilskrive dem ud fra iagttagelsen. Fysisk viden angår uanset om der er tale om jordiske eller himmelske legemer den verden, vi lærer at kende gennem vore sanser, og ikke, som Galilei skrev i sin store dialog fra 1632 om de to store verdenssystemer, det ptolemæiske og det copernicanske, (*Dialogo sopra i due massimi Sistemi del Mondo; Tolemaico, e Copernicano*), en papirverden, dvs. en model-forestilling opstillet ad tankens vej. Hans angrebsmål var ikke alene aristotelikerne, men også platonikerne og måske især den keplerske platonisme. Året efter at dialogen var udkommet, skrev Galilei endvidere, at Keplers måde at filosofere på var meget dristig og forskellig fra hans egen. Fysikeren beskæftiger sig med virkeligheden, som den foreligger for sanserne og søger ikke efter bagvedliggende årsager. Dette er en tankegang, som i dag vil blive kaldt positivistisk.

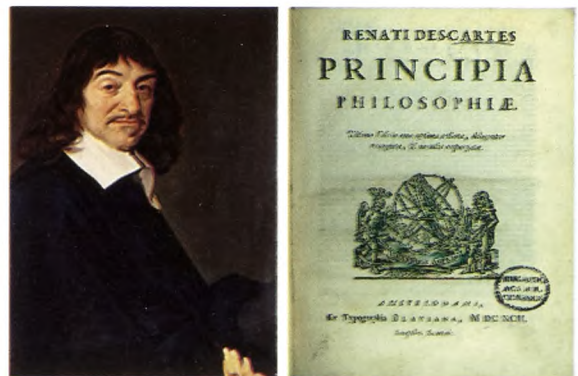
I 1623 udsendte Galilei et stridsskrift med titlen "Guldvægten" (*Il Saggiatore*) i forbindelse med en standende debat om kometernes natur. Her skrev han, at naturfilosofien står skrevet i naturens store bog, som altid er åben for os, og som kun forstås af den, der har lært det sprog, hvori den er skrevet. Og han fortsætter med den berømte udtalelse, at denne bog "er skrevet i matematikkens sprog og dens bogstaver er trekanter, cirkler og andre geometriske figurer, uden hvilke det er umuligt for mennesket at forstå et eneste ord." Matematikken er et instrument, som fysikeren betjener sig af og må betjene sig af, idet den matematiske erkendelse er sikker erkendelse; men matematikkens anvendelse på den faktiske, iagttagbare virkelighed kan kun retfærdiggøres ved de opnåede resultater. I sin opfattelse

af fysikkens karakter var Galilei i fuld overensstemmelse med den naturvidenskabsmand, han havde størst respekt for, nemlig Archimedes. Men forudsætningen for matematikkens anvendelse var, at aristotelismens kvalitative verdensbillede blev afløst af et kvantitativt.

Begrebet om en fysisk genstand, skrev Galilei i "Guldvægten", er knyttet sammen med forestillingen om en bestemt form, en bestemt position på et bestemt tidspunkt, og en bestemt bevægelsestilstand på samme tidspunkt. I begrebet indgår også, om genstanden berører andre materielle genstande, og om den er sammensat eller usammensat. Disse træk ved fysiske legemer er uadskillelige fra forestillingen om dem. Derimod synes egenskaber som varme, kulde, fugtighed og tørhed, og om den lugt og smag osv., der er forbundet med dem, ikke nødvendigvis at være indeholdt i vort begreb om en fysisk genstand. Uden sansorganer ville vi aldrig danne forestillinger om disse træk, hvormed genstandene opleves; de opstår først, når en genstands mindste dele, som har en bestemt form, størrelse og bevægelsestilstand, påvirker vore sansorganer og har ingen eksistens uafhængig af den sansende bevidsthed. Der er derfor ikke tale om egenskaber, der kan tilskrives de fysiske genstande. De er subjektive. Man taler om, at Galilei knæsatte princippet om sansekvaliteternes subjektivitet. Da de egenskaber, der med rette kan tilskrives fysiske legemer kan tilknyttes måletal, ligger vejen åben for en matematisk beskrivelse af den fysiske verden. Skønt Galilei således forberedte den mekaniske naturopfattelse, blev en sådan først systematisk udformet af andre, ikke mindst af Descartes.

René Descartes

I 1644 udkom Descartes' *Principia Philosophiae* (Filosofiens principper), hvori universet skildres som et kompakt system af materielle partikler, hvis indbyrdes interaktion var underkastet matematisk formulerbare naturlove, som kunne opstilles ud fra et relativt lille antal fundamentale mekaniske love for materielle legemers sammenstød. Skønt Descartes' fysik ret hurtigt viste sig at være uholdbar, genfindes den systematiske opbygning af videnskaben om Universet i Newtons *Principia*, hvis titel – hvilket ikke er utilsigtet – minder om Descartes' værk.



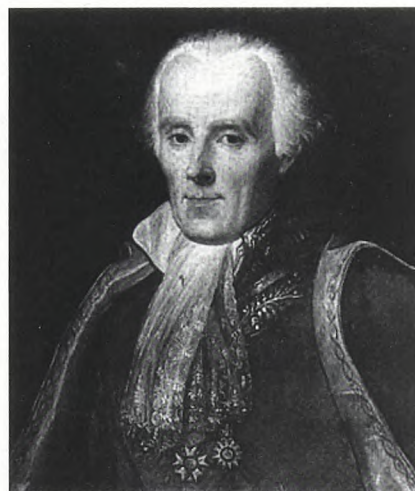
Figur 6. René Descartes (1596-1650) og titelbladet fra hans værk "Principia Philosophiae" (1644).

Isaac Newton

Forestillingen om, at den naturlige bevægelse i sfæren over Månen var en cirkelbevægelse men i sfæren under Månen var retlinet, fik sit endelige dødsstød med Newtons lære om massetiltrækningskraften, den kraft, der får et æble til at falde til jorden og holder Månen i dens bane. I Galileis ånd er *Principia* en bog om matematiske principper anvendt på naturen i den udstrækning, naturen fremstår ud fra eksperimenter og iagttagelser. I forbindelse med de indledende definitioner advarer han læseren mod at tro, at han med ord som tiltrækning, impuls eller dragning imod et center "karakteriserer en art eller en slags aktivitet eller en fysisk årsag eller grund, eller at jeg i sand og fysisk betydning tilskriver centre fysiske kræfter, når jeg siger, at centre tiltrækker eller at centre besidder kræfter." Massetiltrækningskraften er i *Principia* en "matematisk kraft". Begrebet om den bringer orden i naturerkendelsen, men i *Principia* tilskrives den ikke nogen fysisk realitet. Hans berømte udtalelse "Hypothesis non fingo", "jeg udtænker ikke hypoteser", er netop udtryk for, at han ikke – i hvert fald ikke i *Principia* – vil forsøge at udtænke, hvilken kausal mekanisme, der skulle være den fysiske realitet, som kunne beskrives som en massetiltrækningskraft.

Det betyder ikke, at Newton andre steder afholdt sig fra at søge kausale forklaringer på massetiltrækningen fx ved en æterteori. Det lykkedes ham imidlertid aldrig fysisk at fundere begrebet om en kraft, der virker over store afstande, der aftager ikke blot i forhold til, at afstanden mellem genstande forøges, men i forhold til kvadratet på afstanden, og virker som om et legemes hele masse er koncentreret i et legemes geometriske centrum. Nogle i samtiden, fx det fransktyske universalgeni Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), fandt, at Newton med sit begreb om massetiltrækningskraften havde genindført de okkulte, åndelige kræfter fra renæssancens natursyn i fysikken, som hans forgængere havde elimineret fra det fysiske verdensbillede.

Principia betragtes med rette som indfaldsporten til den moderne fysik. Men dette til trods, er der også træk i værket, der peger bagud. Det newtonske univers – som antages at være skabt af en guddom – må også til stadighed opretholdes af samme guddom for ikke at smelte sammen i et stort centrallegeme. Overvejelser over Gud, skrev Newton i første udgave af *Principia* "er visselig en del af naturfilosofien". Det sidste ord var i anden udgave fra 1713 udskiftet med "den eksperimentelle filosofi." Og hvad der er skabt af Gud har også et bestemt formål. En sådan betragtningsmåde inddrog Newton i sine overvejelser over kometer. Det var først den franske matematiker og fysiker Pierre Simon de Laplace (1749-1827), forfatteren til *Exposition du système du monde* (Fremstilling af verdenssystemet, 1796), der på Napoleons spørgsmål om, hvor Gud befandt sig i hans system, stolt kunne svare: "Jeg har ikke brug for denne hypotese!" Newton havde.



Figur 7. Pierre Simon de Laplace (1749-1827) havde ikke brug for Gud i sin "Fremstilling af verdenssystemet" (1796).

Var naturvidenskabens udvikling i det 17. århundrede en revolution?

Et af de ofte diskutererede problemer i videnskabsfilosofien er forholdet mellem iagttagelser og eksperimenter på den ene side og de begreber og teorier, der bruges til beskrivelse af iagttagelser og til at bestemme eksperimenterne på den anden. Også når forholdet anskues ud fra en historisk synsvinkel, er svaret ikke indlysende. På mange måder synes den naturvidenskabelige teoriudvikling i det 17. århundrede og den systematiske udforskning af naturen at gå hånd i hånd med den begrebsmæssige udvikling. Traditionelle og nyvundne begreber står side om side, og synes begge at bidrage til naturvidenskabens hastigt voksende indsigt. Svaret på det stillede spørgsmål bliver således både "ja" og "nej". Den tyske digter Novalis (Friedrich von Hardenberg, 1772-1801) sammenlignede naturvidenskabens teorier og begreber med fiskenet. Størrelsen af de fisk, man fanger, er bestemt af nettets masker. Billedet er senere ofte blevet brugt. I de net, som en række af det 17. århundredes naturforskere kastede ud, blev der fanget mange store fisk. Der var, som jeg tidligere har skrevet, noget der lykkedes i det 17. århundrede, som ikke var lykkedes tidligere. Om man vil kalde det en revolution eller ej er en smagsag.



Carl Henrik Koch, født 1938, mag. art. i filosofi (1965), ansat ved Københavns Universitet 1966, dr. phil. 1990. Har især virket som filosofihistoriker og har siden 2003 udgivet 3 bind om den danske filosofis historie fra oplysningstiden til det 20. århundrede, været medforfatter til et bind om dansk renæssancefilosofi og bidraget til *Dansk Naturvidenskabs Historie*, bd. 1 (2005) og bd. 4 (2006).