

de på, at det nok snarere var hjernen. Vesalius' bog var banebrydende både ved at skabe grundlaget for en videnskabelig og på observation baseret anatomi, og ved at være en uhørt velillustreret lærebog, der satte standarden for videnskabelige bøger i de følgende århundreder.

Næsten samtidig arbejdede geografen og kartografen Gerardus Mercator (1512-94) i Flandern med at fremstille ikke et anatomisk atlas, men et atlas over Jorden. Det blev offentliggjort i 1578. Han fremlagde også kort i en bestemt projektion, "Mercators projektion", der var af afgørende betydning for søfarten – nutidens søkort er stadig i denne projektion. Den har den afgørende egenskab, at den er vinkelbevarende. Med et sådant kort og et kompas kan man navigere meget effektivt med, idet kompasset netop viser vinklen mellem retningen til Nord og den vinkel, man bevæger sig efter. Mercator lagde typisk vægt på, at hans arbejde ikke bare var noget, der gav viden, men at denne viden også kunne anvendes i praksis.

Kopernikus, Vesalius og Mercator kunne fremlægge deres ideer og resultater i trykte bøger, der kunne sælges på et stort set frit marked. Og de kunne supplere teksten med billeder fremstillet ved gravering, hvilket muliggjorde en hidtil uset illustrationskvalitet. For anatomi og kartografi var det selvsagt revolutionerende. Først med fotografiets fremkomst sker der igen en væsentlig ændring.

Lad kendsgerningerne tale

Omkring 1600 begyndte en ny fase. I dette år fik den katolske inkvision den mystisk inspirerede munk Giordano Bruno (1548-1600) brændt for nogle kontroversielle anskuelser om verdens indretning. De var inspireret af Kopernikus' ideer, sammentænkte Gud og naturen, og indeholdt et opgør med det aristoteliske verdensbillede. Samtidig med denne kætterbrænding blev der flere steder startet nyt, afgørende arbejde. I England formulerede embedsmanden og filosofen Francis Bacon (1561-1626) et nyt anti-aristotelisk forskningsprogram i en række værker. Der skulle en ny begyndelse til, noget Bacon klart antydede i sine valg af titler: *Novum Organum* ("Nyt Værktøj") og *Great Instauration* ("Den store Genopbygning"). I Prag arbejdede astronomen Johannes Kepler (1571-1630) med en revidering af Kopernikus' beskrivelse af solsystemet på basis af Tycho Brahes omhyggelige og for samtiden uhyre nøjagtige observationer af planeter og andre him-

melfænomener. Og endelig i Pisa og senere Padova begyndte Galileo Galilei (1564-1642) at studere bevægelsesfænomener uden på forhånd at antage, at Aristoteles' teori om bevægelse var korrekt.

Kepler var i begyndelsen aristoteliker, men på et tidspunkt – formodentlig omkring 1605 – afsvor han sig disse anskuelser og ville starte på en frisk. Det skulle ske med nye instrumenter, først og fremmest kikkerten. Men som altid er det svært at være nyskabende på alle områder. Det var således en lang og træg proces, snarere end en pludselig revolution. Men det centrale var, at han ville foretage observationer og eksperimenter. Kepler og andre forskere opdagede dog hurtigt, at det er vanskeligt at forstå og fortolke observationer og eksperimenter, uden at man har nogle hypoteser og teorier at gøre det ud fra. Man kan sågar afvise relevansen af f.eks. observationer og eksperimenter – dengang kunne man f.eks. opleve forskere, der nægtede at godtage observationer foretaget med kikkert, fordi man her ikke så genstanden direkte, men igennem et rør og igennem glas. Hvordan kunne man vide, at kikkerten gav et korrekt billede af virkeligheden? Selvfølgelig kun ved at acceptere en teori om, hvordan kikkerten virker, dvs. optik. Og denne optiks gyldighed kunne der også være stor uenighed omkring. Man manglede ganske simpelt et fælles, anerkendt fundament at arbejde ud fra.

Men grundlæggende var den nye videnskabelige attitude, at man skulle basere sig på observation, på det man kunne se med egne øjne. Det blev tolket som at “læse i naturens bog”, snarere end i andre forfatteres bøger. Alle de, der skabte den moderne videnskab – Bacon, Galileo, Boyle, Newton m.fl. – fokuserer på det helt afgørende i, at man holder sig til, hvad man *selv* kan se, og ikke til hvad andre fortæller. Det bliver til begrebet om “kendsgerningerne” og deres tale. Det måske mest kendte eksempel, på hvad egen observation kan medføre, er Galileis oplevelser med kikkerten. I begyndelsen af 1600-tallet var kikkerten opfundet, og Galilei fik et eksemplar. I årene 1608-9 rettede han så denne kikkert imod himlen. Og det, han så, stred klart imod, hvad han efter autoriteterne burde se. Der var mange flere stjerner på himlen end de, man kunne se med det blotte øje. Månen havde noget, der lignede bjerge, den var ikke en glat kugle. Venus havde faser ligesom Månen, og der var måner omkring Jupiter. Verden var helt anderledes indrettet, end den ifølge de gældende bøger burde være.

Galilei publicerede sine observationer i bogen *Siderius Nuncius* (“Stjernerbudbringeren”) i 1610. Denne bog skabte sensation og gjorde Galilei



Den romersk-katolske kirke ville som bekendt ikke selv se efter i kikkerten, hvilket førte til en af de mest berømte retssager i verdenshistorien. På baggrund af sin bog *Dialogerne om de to verdenssystemer* blev Galileo Galilei i 1633 sat i husarrest. Først i 1992, 350 år efter Galileis død, indrømmede paven, at kirken havde behandlet sagen uheldigt, dog uden at indrømme, at kirken havde gjort en fejl ved at dømme Galilei for kætteri på basis af hans tro på, at Jorden drejer rundt om Solen. Her ses Galileis kikkerter, der i 1620 allerede kunne forstørre 30 gange.

berømt. Han havde med egne øjne – godt nok igennem en kikkert – set, at den aristoteliske videnskabs dogmer ikke passede med kendsgerningerne, med hvad man selv kunne se.

I enhver forskning er der imidlertid også tale om et intrikat samspil imellem fornuften og kendsgerningernes tale. Man kan tænke sig til en række ting, hvis man bare starter fra de rigtige udgangspunkter. Disse må være selvindlysende i den betydning, at de ikke baserer sig på nogen særlig autoritet eller overlevering, som ikke direkte kan efterprøves. Euklids geometri kan accepteres, mens aristoteliske påstande om, at alt søger imod Jordens centrum, fordi det er tingenes naturlige plads, ikke kan accepteres. Vi kan følge Euklids tanker, hvorimod Aristoteles' faktisk udelukker mange fænomener, som kan observeres i hverdagen.

Man stod altså på denne tid i et skisma: hvordan tænke over verdens fænomener, hvis det ikke skulle ske aristotelisk? Den nye måde blev den matematiske, som bl.a. Kepler, Galileo og Descartes tilsluttede sig. Tanken var, at det måtte være muligt at anvende matematisk tænkning på naturen, og at sammenknytningen skulle ske via målinger. Men måling resulterer i tal, og den overleverede matematik var geometrisk funderet. Det var derfor et afgørende problem at få skabt en matematik, der muliggjorde sammenknytning af observation, eksperiment og teori.

Den centrale skikkelse, der skabte sammenhængen mellem måling og beregning, var René Descartes (1596-1650). Med sit arbejde inden for matematikken viste han, hvordan det er muligt at udtrykke geometriske sammenhænge med en aritmetisk – dvs. talbaseret – matematik. Koordinatsystemer og ligninger blev den centrale måde at udtrykke viden og naturlove på. Linjer, parabler, cirkler og ellipser kunne beskrives aritmetisk, og det er muligt at omsætte tal til kurver og kurver til tal. Det kaldes den analytiske geometri.

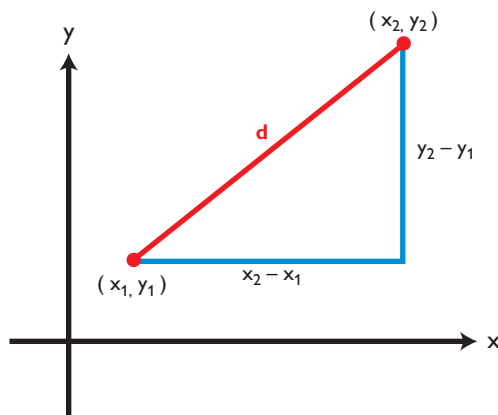
Man mente, at viden om naturen var matematisk, fordi naturens bog var skrevet i matematikkens sprog. Men matematikkens sprog ændrede sig lang-

somt til at være *tallenes* tale – den gik fra at være geometrisk til at blive aritmetisk. Det var en proces, der var fuldt gennemført efter midten af 1600-tallet. Tycho Brahe spillede en væsentlig rolle i denne udvikling med sine målinger i slutningen af 1500-tallet, der blev foretaget med stadig større nøjagtighed. Han samlede tusindvis af astronomiske observationer og arbejdede målrettet med at udvikle måleinstrumenter. I løbet af 1600-tallet udvikledes mange andre måleinstrumenter. Nøjagtigere ure, der kunne måle ikke kun tid som klokkeslæt, men netop tidsintervaller, dvs. hvor lang tid en bestemt proces tager. Termometre til måling af temperatur, barometre til måling af tryk, vægte til måling af masse osv. Udvikling af måleinstrumenter krævede også fastlæggelse af måleskalaer og måleprocedurer. Og det krævede teorier om, hvad det egentlig var, man målte – og teoretiske begrundelser for, at man faktisk kunne måle et bestemt fænomen med en bestemt metode.

Et berømt eksempel er lufttrykkets ændring, når man stiger op ad et bjerg. Dette problem hang nøje sammen med diskussionen om muligheden for det tomme rum, og forståelsen af hvad luft og lufttryk egentlig er. Hvis trykket faldt, når man steg opad, ville det bidrage til at bekræfte en teori om, at der var et lufttryk, og at det skyldtes vægten af den luftsøjle, der befandt sig over en. Hvis man steg op, ville denne vægt blive mindre, fordi luftsøjlen “blev kortere”, og en måling af trykket skulle kunne vise dette. Et barometer kunne altså være en art højdemåler. Men målingen krævede målemetoder med rimelig stor nøjagtighed og en brugbar måleskala. Matematikeren og filosofen Blaise Pascal (1623-62) var involveret i netop disse problemer omkring teorier for tryk, og hans bror steg i 1648 op på et bjerg i Midtfrankrig og viste, at trykket vitterligt faldt, når man steg opad.

Galilei arbejdede med det frie fald og med en kugles bevægelse ned ad et skråplan. Det involverede også måling, nemlig af tid og af længde. Tidsmåling var

Descartes' analytiske geometri gjorde, at man kunne beskrive geometriske kurver på en algebraisk form ved at bruge det cartesianske koordinatsystem. F.eks. ville man kunne finde afstanden d mellem hvilke som helst punkter (x_1, y_1) og (x_2, y_2) i det cartesianske koordinatsystem ved at bruge Pythagoras' sætning, dvs. $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$.





især et problem. Galilei havde allerede som ung observeret, at et pendul svingede med konstant svingningstid. Det blev en central faktor i udviklingen af nøjagtigere ure. Aristoteliske fysikere hævdede, at en genstand, der bevæger sig, har en hastighed, der er proportional med den kraft, der påvirker genstanden. Ville man forsøge at vise, at det var tilfældet, skulle man altså kunne måle både kraft og hastighed. Men man manglede ganske simpelt en brugbar teori om kraft. Galileo begyndte arbejdet med at udvikle en teori om bevægelse, og han opdagede, at den aristoteliske teori var forkert. I stedet beskrev han lovene for en jævnt accelererende bevægelse, sådan som han kunne observere dem.

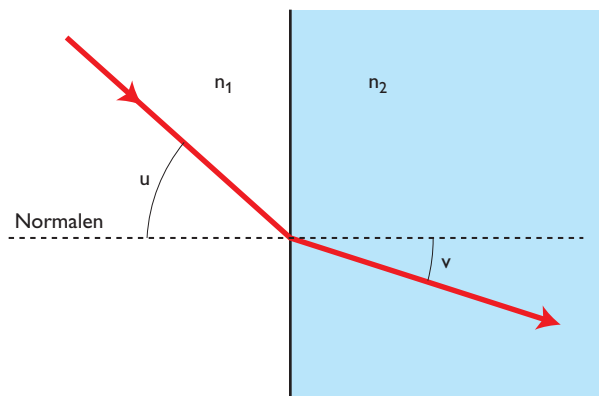
Galilei udviklede også en geometrisk model for et legeme i frit fald, som så kunne sammenknyttes med det observerede. Ud fra denne kunne han drage en hel række af væsentlige slutninger. Først og fremmest den, at under et frit fald er det accelerationen, der er konstant, og ikke hastigheden. Ved jævn hastighed, eller ved hvile, er der ikke nogen påvirkning. Dynamisk set er jævn bevægelse eller ingen bevægelse ikke til at skelne fra hinanden. Man kan altså ikke umiddelbart skelne mellem, om man befinder sig på en Jord, der er i hvile i universets centrum, eller en Jord, der med jævn hastighed bevæger sig rundt om

Galileo Galilei opdagede bl.a., at tætheden af en væske ændrer sig alt efter temperaturen. Uden at vide hvorfor det forholdt sig sådan, brugte han opdagelsen til at udvikle et tidligt termometer, det såkaldte termoskop, der indeholder små glaskugler med forskellig vægt, og som stiger op og synker ned alt efter temperaturen i rummet. Den aktuelle temperatur vises af den midterste glaskugle, som hverken flyder eller synker, men er i ligevægt med vandets massefylde. Her ses en moderne rekonstruktion.

Solen; og heller ikke, om Jorden står stille eller roterer omkring sin egen akse med en jævn rotationshastighed. Hvad der betyder noget, er derimod acceleration. Galilei gjorde også op med forestillingen om, at accelerationen var afhængig af et legemes masse, dvs. at tunge legemer ville falde hurtigere til jorden end lette. At dette ikke kunne være tilfældet, kunne nemt indsnes, hvis man f.eks. foretog et tankeeksperiment, hvor man bandt en lille og en stor kugle sammen. Hvis de to kugler hver for sig faldt med forskellig hastighed, den lille langsommere end den store, så måtte det betyde, at det sammenbundne objekt faldt langsommere, end den store kugle ville falde af sig selv, idet den lille kugle ville holde igen på den store. Men det sammenbundne objekt var jo tungere end den store kugle, og dét måtte ud fra samme regler medføre, at det faldt hurtigere end den tunge kugle. Det var en modstrid. Kun hvis de to kugler faldt lige hurtigt, kunne man undgå dette paradoks. Galilei arbejdede således ikke kun med konkrete fysiske eksperimenter og observationer, han søgte også at finde frem til, hvordan ting var, eller især ikke var, igennem tankeeksperimenter, og dermed afsløre logiske brist i tidligere teorier.

Galilei udtrykte sig stadig i et geometrisk sprog, men som nævnt arbejdede andre med at muliggøre, at natursammenhænge kunne udtrykkes i ligninger. Et af de første eksempler er loven om lysbrydning ved en lysstråles passage fra et medium til et andet, f.eks. når en lige pind, der stikkes ned i vand, opleves som knækket ved vandoverfladen. Descartes formulerede i 1637 denne lov som $\frac{\sin(u)}{\sin(v)} = k$, hvor u og v er vinklen mellem lysstrålen og en linje vinkelret på grænsefladen mellem de to medier, som lysstrålen passerer igennem.

Descartes brugte sin ligning til at forklare visse fænomener knyttet til regnbuer, ud fra en tese om at regnbuer opstår, når sollys brydes i vanddråberne i luften ved regnvejr. Descartes kunne så forudsige forskellige forhold og ved målinger vise, at de passede med det faktisk forekommende. Det blev ligesom Galileis arbejder med det frie fald og skråplanet meget indflydelsesrige eksempler på, hvordan man som videnskabsmand burde arbejde ud fra eksperiment og observation. Ydermere kunne man ud fra eksperimenter også drage tekniske og andre praktiske konklusioner. Galilei studerede således både kanonkuglers bevægelse og bygningers strukturelle egenskaber, primært knyttet til studier af bjælkens styrkeforhold. Det var studier, der resulterede i teorier af enorm praktisk betydning, ligesom de matematiske



Descartes' lov, også kaldet Snells lov (efter den hollandske matematiker Willebrord Snel (1580-1636), som fandt den uafhængigt af Descartes), bruges til at beregne refraktionsindekset k mellem to lysbærende medier. Den siger, at forholdet mellem de to vinkler u og v , vinkelret til grænsefladen (kaldet normalen), er det samme som forholdet mellem de to mediers refraktionsindeks n_1 og n_2 : $\frac{\sin(u)}{\sin(v)} = \frac{n_2}{n_1} = k$. Som tommelfingerregel vil lyset brydes i retning af normalen i et tættere medie som f.eks. vand, glas, krystaller osv., som det ses her.

studier af lyset og dets bevægelse i linser fik enorm betydning for udviklingen af nye instrumenter, såsom mikroskop og kikkert, og for forbedring af bl.a. briller.

Naturlove som norm

Kopernikus havde foreslået en model af universet, hvor Solen var i centrum, og planeterne bevægede sig i cirkler udenom. Men skulle dette passe med det observerede, gav det problemer. Hans system måtte modificeres, så det blev lige så komplekst som Ptolemaios' geocentriske system. Derudover var der et væsentligt problem med fænomenet parallaxse, dvs. det at sigtevinklen til en stjerne ændrer sig i løbet af året, fordi Jordens position i forhold til stjernerne ikke er konstant. Men man kunne ikke måle denne forskel, som burde være der. Kopernikus' system forklarede dog, hvordan det kunne være, at en planet som Mars tilsyneladende vandrede frem og tilbage på himlen. Der var også begrebslige problemer med Kopernikus' system, for hvis Jorden bevægede sig om Solen med stor hastighed, så burde ting opføre sig anderledes, end man oplevede – en sten kastet ud fra et tårn burde f.eks. lande et stykke væk fra tårnets fod. Hvis Jorden drejer én gang på 24 timer og har en omkreds på mere end 40.000 km, burde det endda være en ret stor afstand – over 400 m, hvis faldet varede i ét sekund. For at få tingene til at hænge sammen krævedes der en helt ny forståelse af bevægelse, af de mekaniske love. Det var det, Galilei gik i gang med i begyndelsen af 1600-tallet, og som Newton fuldførte nogle årtier senere.

På basis af en meget stor mængde observationer af planeterne formule-