

Nanna Dissing, Bay Jørgensen & Marie Sørensen

DEN NATURVIDENSKABELIGE REVOLUTION 1500-1750

> DEN NATURVIDENSKABELIGE REVOLUTION 1500-1750

Engang troede man, at der var låg på universet. Midt i universet stod Jorden bomstille, og rundt om den drejede Solen, planeterne og stjernerne på kugleskaller.

På den anden side af stjernerne var der ingenting.

I mere end tusind år troede folk, at universet så sådan ud. Men i 1543 offentliggjorde astronomen Nikolaus Kopernikus en banebrydende teori, der slog det gamle verdensbillede itu. Han hævdede, at Solen – og ikke Jorden – var universets centrum. En modig hypotese, som astronomerne Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileo Galilei og Isaac Newton i løbet af de næste 200 år beviste og udbyggede. Det gjorde de ved hjælp af helt nye og revolutionerende metoder: systematiske observationer, eksperimenter og beregninger. Disse metoder skulle for altid ændre naturvidenskaben og menneskets syn på universet.

Følg de fem videnskabsmænds livshistorier og opdagelser i denne bog.

Býarbókasavnið
Boks 358 FO-110 Tórshavn



000003636593

SYSTIME >

Den naturvidenskabelige revolution

© 2008 Nanna Dissing Bay Jørgensen, Marie Sørensen
og Systeime A/S

Kopiering fra denne bog må kun finde sted i
overensstemmelse med aftale mellem Copy-Dan
og Undervisningsministeriet.

Ekstern redaktion:
Ole Keller og Knud Ryg Olsen

Omslag:
Marianne Gulstad

Omslagsfoto/illustration:
Maleri af Heinrich Hansen, 1882. *Tycho Brahes observatorium ved nattetid.*
Det nationalhistoriske museum på Frederiksborg. Foto: Hans Petersen

Sat med Garth Graphic 11/13

Grafisk tilrettelæggelse og produktion:
Publizon A/S

Trykt hos:
Nørhaven Book, Skive
Printed in Denmark 2008

1. udgave, 1. oplag
ISBN-13: 978-87-616-1381-3
(ISBN 87-616-1381-9)

SYSTIME >

Skt. Pauls Gade 25
DK-8000 Århus C
Tlf.: 70 12 11 00
www.systeime.dk

1 4 DKT. 2008

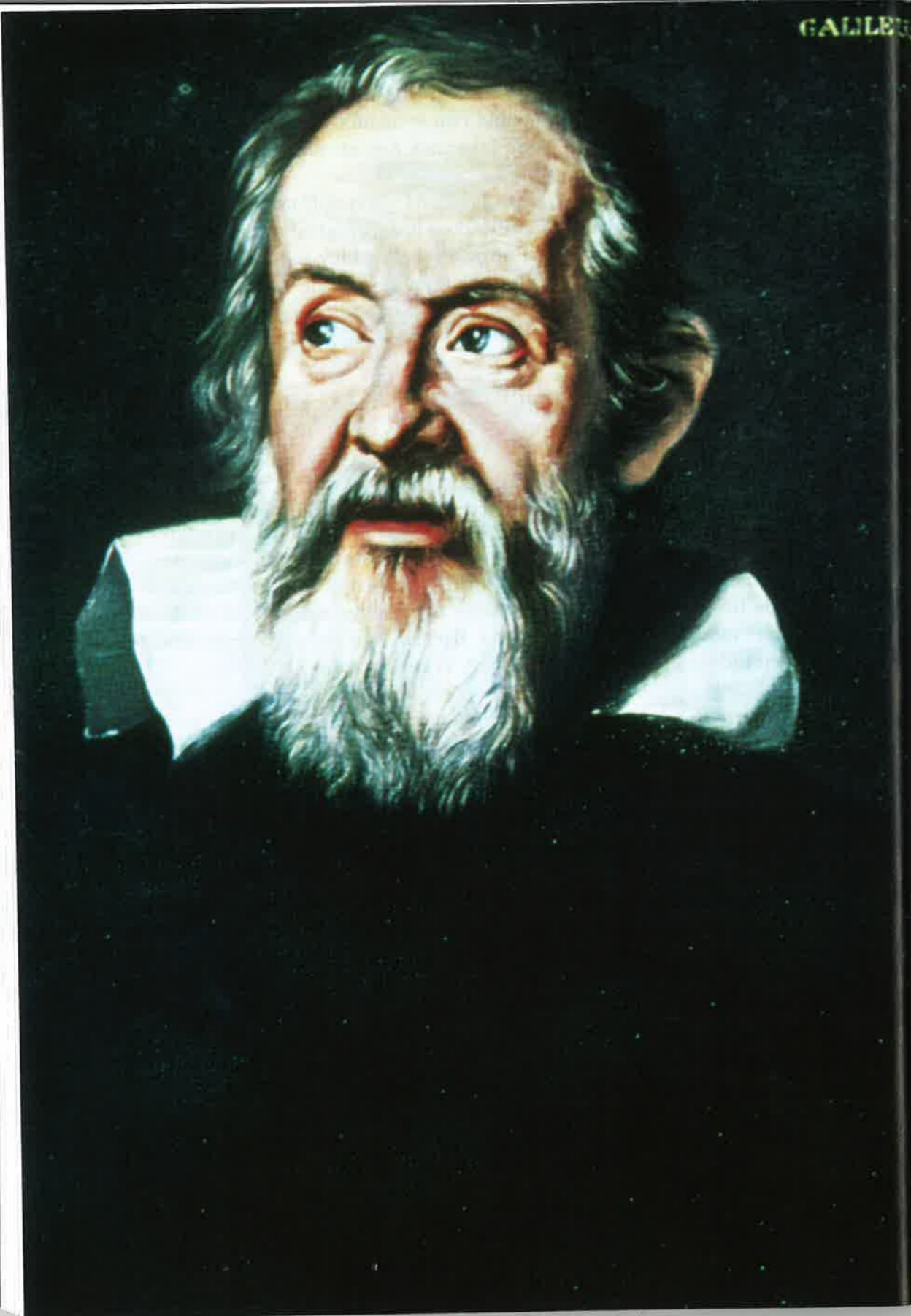
INDHOLDSFORTEGNELSE

TIDSLINJE	5
INTRODUKTION	7
KAPITEL 1 NIKOLAUS KOPERNIKUS (1473-1543)	13
Renæssancen	14
Opdagelsesrejserne	16
Barn af renæssancen	19
Filosoffen Kopernikus	21
Det kopernikanske system	27
Første påstand: Solen er centrum i universet	27
Anden påstand: Jordkloden bevæger sig	29
Tredje påstand: Planeterne og stjernerne sidder fast på kuglerunde sfærer	31
Udgivelsen	32
Arven efter Nikolaus Kopernikus	35
KAPITEL 2 TYCHO BRAHE (1546-1601)	37
Feudalismen	38
Reformationen i Danmark	40
Barn af adelen	41
Stjernekyggen Tycho Brahe	44
Induktion – deduktion	46
Jakobsstaven	47
Den nye stjerne	48
Livet på Hven	52
Det tychoniske system	57
Flugten fra Danmark	60
Arven efter Tycho Brahe	63
KAPITEL 3 JOHANNES KEPLER (1571-1630)	65
Reformationen	65
Trediveårskrigen	67
Barn af reformationen	69
Matematikeren Kepler	72
Det traditionelle, guddommelige og spekulative verdenssyn	72
Det nye, kritiske og empiriske videnskabssyn	73
Det geometriske solsystem	75
Mødet med Tycho Brahe	78

Keplers love.....	79
Keplers første lov.....	80
Keplers anden lov.....	81
Keplers tredje lov.....	82
Arven efter Johannes Kepler.....	85
KAPITEL 4 GALILEO GALILEI (1564-1642).....	87
Modreformationen.....	88
Inkquisitionen.....	90
Barn af Toscana.....	91
Praktikeren Galilei.....	92
Teleskopet.....	95
Månen.....	97
Stjernerne.....	98
Mælkevejen.....	98
Jupiters måner.....	99
Nye astronomiske opdagelser.....	100
Venus' faser.....	101
Solpletter.....	102
Galilei og den katolske kirke.....	103
Processen mod Galilei.....	106
Galileis faldlove.....	108
Arven efter Galileo Galilei.....	112
KAPITEL 5 ISAAC NEWTON (1642-1727).....	115
Merkantilismen.....	115
Puritanismen.....	118
Barn af puritanismen.....	120
Videnskabsmanden Newton.....	121
Lyset.....	123
Professor i matematik.....	124
Spejlteleskopet.....	126
Tyngdekraften.....	128
Principia.....	130
Tyngdelovens anvendelse.....	134
Optics.....	136
Arven efter Isaac Newton.....	138
AFSLUTNING.....	140
VIDERE LÆSNING.....	144
BILLEDLISTE.....	145
STIKORDSREGISTER.....	147

TIDSLINJE

Antikken (750 f.Kr.-500 e.Kr.)	Pythagoras (570-500 f.Kr.) Platon (427-347 f.Kr.) Aristoteles (384-322 f.Kr.) Euklid (325-265 f.Kr.) Aristarchos (310-230 f.Kr.)
Romerriget bliver stormagt i Middelhavet (282-146 f.Kr.)	Archimedes (287-212 f.Kr.) Claudius Ptolemæus (90-168 e.Kr.) Nyplatonisme (200-tallet e.Kr.) Hermetisme (sen-antikken)
Kristendommen bliver statsreligion i Romerriget (389 e. Kr.)	
Romerrigets fald (410 e.Kr.)	Goterne plyndrer Rom Augustin (354-430 e.Kr.)
Middelalder (ca. 700-1400)	Den katolske kirke bliver den stærkeste institution i Europa Antikkens tekster oversættes til latin fra slutningen af 1100-tallet Thomas Aquinas (1225-1274)
Opdagelsesrejser (14-1500-tallet)	Christopher Columbus opdager Amerika (1492)
Renæssance (ca. 1300-1600)	Nikolaus Kopernikus (1473-1543)
Reformation (1517)	Martin Luther kritiserer den katolske afladshandel (1517) Reformation i England (1533) Jean Calvin (1509-1564)
Reformation i Danmark (1536)	Tycho Brahe (1546-1601)
Modreformation (1545)	Giordano Bruno (1548-1600) Francis Bacon (1561-1626)
Trediveårskrigen (1618-1648)	Galileo Galilei (1564-1642) Johannes Kepler (1571-1630) René Descartes (1596-1650)
Kolonisering (15-1600-tallet)	
Merkantilisme (16-1700-tallet)	Isaac Newton (1642-1727)



KAPITEL 4

Galileo Galilei

1564-1642

Natten mellem den 7. og 8. januar 1610 var kold og stjerneklar. Et stykke uden for Venedig stod en mand indhyllet i en lang frakke ude i sin have. Han var 46 år gammel, havde rødt fuldskæg og store nysgerrige øjne. Foran ham stod et stativ med et teleskop, der var vendt mod den klare nattehimmel. Mandens navn var Galileo Galilei, og det, han så i sit teleskop, skulle for altid ændre menneskets opfattelse af universet.

I teleskopet så Galilei planeten Jupiter. Men han så også tre små lysende pletter tæt på Jupiter. Først troede Galilei, at pletterne var stjerner, men det undrede ham, at de lå placeret på en lige linje med Jupiter.

De kommende nætter observerede Galilei de tre lysende pletters bevægelser, og den 13. januar opdagede han en fjerde plet. Han noterede omhyggeligt pletternes placering i forhold til hinanden og den store planet. Og nu var der ikke længere tvivl i hans sind. De små lysende pletter var måner, der systematisk kredsede om Jupiter. På samme måde som Månen kredser om Jorden. Det var en epokegørende opdagelse, for indtil da havde man troet, at kun Jorden – der var skabt af Gud – var omdrejningspunktet for en måne.

MODREFORMATIONEN

Europa var i 15- og 1600-tallet domineret af en strid mellem katolikker og protestanter. Striden var så omsiggribende, at den havde stor indflydelse på vilkårene for tidens videnskabsmænd. Således også for Galileo Galilei. For den magtfulde katolske kirke holdt skarpt øje med videnskabens opdagelser.

Den religiøse strid tog for alvor sin begyndelse i 1517, da den tyske munk Martin Luther (1483-1546) indledte et opgør med den katolske kirke. Hidtil havde den katolske kirke ellers været den eneste institution, der bandt det europæiske kontinent sammen. Den kristne kirke var blevet gjort til statsreligion i Romerriget i år 389. Efter Romerrigets fald i år 410 fulgte middelalderen, hvor den kristne katolske tro udgjorde grundlaget for europæernes daglige liv. Og i starten af 1500-tallet var det religiøse liv stadig koncentreret omkring landsbykirken og den lokale præst, som hørte under paven i Rom. Paven var den katolske kirkes overhoved med residens i Vatikanstaten i Rom. I Vatikanstaten – også kaldet Vatikanet – er paven ikke kun den religiøse leder, men også statsoverhoved.

Men nu kritiserede Luther den katolske kirke for at udnytte sin enorme magt til at tjene penge. På baggrund af Luthers tanker blev der grundlagt nye protestantiske kirker, og i midten af 1500-tallet endte det med, at reformationen splittede den fælles europæiske kirke. England, Skandinavien, dele af Frankrig, de tyske fyrstendømmer og Nederlandene blev protestantiske, og mange af disse steder overtog fyrster og konger kirkens gods. I Spanien og på den italienske halvø stod den katolske kirke derimod stadig stærkt.

Martin Luthers kritik kaldte på et svar. Og mange katolske gejstlige (ansatte i kirken) ønskede også at gøre noget ved den korrupsion, som protestanterne kritiserede katolikkerne for. Det var dog først i 1545, at den katolske kirke begyndte at svare på kritikken og formulerede, hvad dens kristendom stod for. Og hermed startede katolikkernes reaktion på reformationen – modreformationen.

Den katolske kirke imødekom protestanternes kritik på enkelte områder. Det blev forbudt biskopper at have embeder i flere områder, ligesom de nu skulle bo i deres stift, som er det område, der hører under bispesædet. Disse tiltag skulle mindske korrupsionen. Desuden blev afladshandel forbudt. Endelig skulle præster nu uddannes på seminarier, hvor det blev vurderet, om de var stærke nok i deres tro til at forkynde Guds ord til andre.

Bortset fra disse indrømmelser, var katolikkerne og protestanterne uenige. For det første var de ikke enige om, hvilke tekster, der gengav Guds ord. Begge retninger var jo kristne og troede derfor, at Biblen var sand. Men katolikkerne mente også, at andre tekster indeholdt en guddommelig sandhed. Det drejede sig om tekster skrevet af munkene Augustin (354-430 e.Kr) og Thomas Aquinas (1225-1274) – de såkaldte kirkefædre. Derimod mente Luther, at kun Biblen indeholdt Guds ord.

For det andet var de to kristne retninger uenige om, hvilke ceremonier præsterne kunne udføre. Luther kritiserede den katolske kirke for at tillægge sakramenter for megen betydning. Sakramenter er hellige, rituelle handlinger, der formidler Guds nåde til den enkelte. I den katolske kirke har man syv sakramenter: dåb, firmelse (bekræftelse af dåben), nadver, skriftemål, ægteskab, præstevielse og de syges salvelse (ritual, der giver den syge kræfter til at bære sygdommen sammen med Jesus). Til sammenligning har den lutheranske kirke kun to sakramenter: dåb og nadver. Luther mente, at disse to sakramenter var de eneste, der indviede den enkelte i den kristne tro.

For det tredje havde de to retninger forskellige opfattelser af, hvad der skete under nadveren, når præsten giver vin og brød til menigheden. Ifølge katolikkerne omdanner præsten under nadverens ritual vitterlig brødet og vinen til Jesu legeme og blod. Dette kaldes transsubstantiationslæren.

Protestanterne er enige i, at brødet og vinen er Jesu legeme og blod. Men de mener ikke, at det er præsten, der omdanner brødet og vinen. De mener, at Jesus omdannede det en gang for alle ved den første nadver, som det står beskrevet i Biblen.

Uenighederne førte som nævnt til, at den fælles europæiske kirke blev splittet. I det protestantiske Nordeuropa var kirken blot et samlingspunkt for troende – den enkelte skulle selv dyrke sin tro gennem bibellæsning og bønner. I det katolske Sydeuropa var kirken og præsterne derimod Guds stedfortrædere på Jorden. Katolikker tillagde altså kirken som institution større betydning end protestanterne. Og under modreformationen ønskede kirken i Sydeuropa at manifestere sin magt – både over for protestanterne, men også over for katolikkerne.

En konsekvens af denne magtdemonstration var, at den katolske kirke begyndte at blande sig i videnskabelige spørgsmål. Kirken holdt øje med de troende og med videnskabsmænd, for der var ikke plads til videnskabelige teorier, der stred imod den katolske kirkes definition af Guds ord. Og kirken satte hårdt ind mod de personer, der ikke adlød Vatikanet i Rom. Et af den katolske kirkes værktøjer mod de såkaldte kættere – altså afvigere fra den officielle religion – var den romerske inkquisition.

INKVIGATIONEN

Inkquisitionen hørte under paven og havde derfor kun indflydelse i de katolske områder. Inkquisitionen fungerede som en domstol med seks kardinaler, der er romersk-katolske præster af højeste rang efter paven. Inkquisitionen havde myndighed til at anklage og dømme folk fra alle samfundslag, og den anklagede havde ikke nogen rettigheder. For eksempel var det ikke usædvanligt, at inkquisitionen brugte tortur til at aftvinge den anklagede en tilståelse. Og efter en sådan tilståelse blev mange dømt til døden og brændt på bålet som kættere. Det hændte, at selv katolske præster, der var kritiske over for eller uenige med Vatikanet, blev brændt. Af samme grund flygtede mange intellektuelle og præster fra Italien i 1560'erne.

Nogle katolske områder forsøgte dog at begrænse inkquisitionens indflydelse. Et eksempel på dette var republikken Venedig. Her frygtede de mange beskæftigede i bogindustrien, at inkquisitionens liste over forbudte bøger ville skade handlen med bøger. Denne liste blev offentliggjort for første gang i 1558. Derfor gjorde dog

(fyrsten) af Venedig meget for at bevare og styrke republikkens tolerante klima, hvor videnskabelige og humanistiske tanker kunne florere frit.

Samme tolerante klima fandt man ikke i 1600-tallets Firenze. Byen Firenze havde haft sin storhedstid i 1300- og 1400-tallet under renæssancen og havde efter erobringen af byen Siena i 1559 udviklet sig til hertugdømmet Toscana. Under ledelse af Medici-familien var Toscana blevet et centrum for kunst og kultur. Hertugdømmet var en af de rigeste regioner på den italienske halvø og spillede en stor rolle i det politiske magtspil. Men det var også en region, hvor den regerende fyrstefamilie havde tætte forbindelser til Vatikanet.

BARN AF TOSCANA

Galileo Galilei blev født i Pisa den 15. februar 1564. Hans far Vincenzo Galilei (1520-1591) var en berømt lutspiller og musiklærer og havde skrevet bogen 'Dialog om antik og moderne musik'. Som 12-årig blev Galilei sendt til Camaldolese-klostret lidt uden for Firenze. Munkenes isolerede tilværelse tiltalte den unge og meget religiøse Galilei, og han planlagde at blive munk. Det var imidlertid ikke en del af forældrenes planer. De tvang ham til at forlade munkeordenen og begynde at studere medicin på universitetet i Pisa. Den diskussionsivrige Galilei brød sig dog ikke om studiets passive udenadslære, og han forlod medicinstudiet uden at færdiggøre det. I stedet begyndte Galilei at få privatundervisning i matematik, og snart underviste han selv i matematik i både Firenze og Siena. Galilei opfattede matematikken som et redskab, han kunne bruge til at udforske verden. Med matematikken kunne han afprøve nye og gamle teorier.

Det var ikke kun den teoretiske del af matematikken, der tiltalte Galilei. Også disciplinens praktiske anvendelsesmuligheder tiltrak ham, og han eksperimenterede med at konstruere regnemaskiner og et kompas. Galilei fandt blandt andet inspiration i den græske filosof Archimedes' (287-212 f.Kr.) skrifter og opfindelser. I mod-

sætning til den store græske filosof Aristoteles (384-322 f.Kr.) havde Archimedes ikke været så interesseret i at forklare, *hvorfor* naturen fungerede, som den gjorde, men hellere *hvordan*. Og dertil brugte han matematik. Archimedes havde for eksempel konstrueret en vægt, der kunne måle et legemes væggtab, når det nedsænkes i vand. På den måde kunne man bestemme legemets volumen og massefylde og blandt andet finde ud af, om smykker var lavet af ægte guld. Med udgangspunkt i princippet bag Archimedes' vægt, byggede Galilei en vægt. Han kaldte den for La Bilancetta, hvilket på italiensk betyder den lille vægt. Det var også titlen på en bog om vægten, som Galilei skrev i 1586.

I 1589 blev Galilei udnævnt til professor på universitetet i Pisa på trods af, at han ikke havde fået en universitetsgrad. Her skulle han undervise i matematik og kosmologi, der er studiet af universets struktur og udvikling. I det katolske Italien indbefattede disse fag undervisning i det geocentriske system, fordi det stemte overens med Biblens ord om, at Jorden står stille (se boks s. 10).

Den rationelle Galilei blev imidlertid stadig mere kritisk over for de gamle grækeres idé om Jordkloden som verdensrummets stillestående centrum og ikke mindst deres skelnen mellem jordisk og himmelsk fysik. Han havde en idé om, at den jordiske og himmelske fysik var tættere forbundne end som så. Og derfor gik han i gang med at undersøge den jordiske fysik nærmere.

PRAKTIKEREN GALILEI

I stedet for at sidde og tænke sig frem til et nyt verdenssystem foretrak Galilei at afprøve sine teorier gennem eksperimenter. En tankegang og metode, der i sig selv var ny og banebrydende.

Denne idé om, at mennesket med sine sanser og fornuft kunne opdage og skabe, var et produkt af renæssancen. Renæssancen havde sat de menneskelige evner i centrum. Og Galileis videnskabsyn byggede netop på tilliden til menneskets praktiske – ja, nærmest håndværksmæssige – evner kombineret med brugen af matematik.

At eksperimenterer metodisk bestod ikke i at prøve sig frem på må og få. Derimod definerede Galilei nøje, hvad han ville undersøge. Dernæst foretog han målinger og observationer, indtil han nåede en teori, som han kunne opstille i en matematisk formel. Ud fra eksperimenter udledte Galilei altså almengyldige love om naturen. At finde frem til love om naturens indretning gennem eksperimenter havde stort set ingen tænkt på at gøre før Galilei. Andre videnskabsmænd havde udført forsøg, men Galilei var en af de første, der gjorde det så systematisk, at han kunne opstille love på baggrund af eksperimenterne. Med Galilei så det videnskabelige eksperiment altså dagens lys, og han anses derfor for en af grundlæggerne af den naturvidenskabelige metode.

Idealet om, at naturens sammenhænge kan beskrives matematisk, blev på Galileis tid klart udtrykt af den franske filosof René Descartes (1596-1650). Ifølge Descartes var det nødvendigt at tvivle for at nå frem til grundlæggende sandheder. Mennesket skal tvivle på al erfaring og tillært viden og huske, at intet er sikkert. Ligesom i matematikken skal man arbejde sig bagud og analysere forudsætningerne for det, man tror, man ved. Til sidst når man et punkt, hvor kun de fundamentale og åbenlyse sandheder står tilbage. Sandheder, der ikke kan betvivles. Én af disse sandheder er Descartes' berømte udsagn: 'Cogito, ergo sum', der betyder 'Jeg tænker, altså er jeg'. Idet Descartes tvivlede – og altså tænkte – måtte det være sikkert, at han eksisterede.

At bruge tvivlen som metode lå til grund for Descartes' erkendelsesteori ved navn rationalismen. Rationalismen er den opfattelse, at virkeligheden kun kan forstås fuldt ud ved hjælp af menneskets fornuft og ikke gennem sanserne. Med fornuften kan mennesket beskrive og kortlægge naturens enkeltdele, hævdede Descartes. Tanken afslører Descartes' såkaldte mekaniske verdensbillede. Han opfattede naturen som et urværk, der én gang for alle er blevet sat i gang af en guddommelig kraft, som ikke længere griber ind i udviklingen. Universet består altså af mekanik, som mennesket i kraft af sin fornuft kan undersøge og forklare. Descartes' fokus på fornuften var den filosofi, der lå bag hele den naturvidenskabelige revolution.

Mens Galilei underviste i matematik i Pisa, begyndte han at lave forsøg med faldende genstande. Galilei ønskede at undersøge, hvor hurtigt objekter falder. Afhænger hastigheden af objektets vægt eller af højden, hvorfra objektet falder? Han ville altså finde de love, der gælder for mekanikken, som er den del af fysikken, der handler om legemers bevægelse og ligevægt.

Galilei lod objekter af forskelligt materiale falde fra forskellige højder. Myten lyder, at dette skete fra det skæve tårn i Pisa, men det er højst sandsynligt opspind. Under alle omstændigheder beskrev han i 1590 sine forsøg i bogen med den latinske titel 'De Motu', der på dansk betyder 'Om bevægelse'. Men bogen udkom aldrig. Grunden var måske, at Galilei godt var klar over, at hans teorier endnu ikke var korrekte. Først efter et langt liv med systematiske eksperimenter, beskrev Galilei i 1636 loven bag et faldende objekts hastighed – bedre kendt som Galileis faldlov – hvilket uddybes senere i dette kapitel.

Da Galileis kontrakt i Pisa udløb, søgte han om ansættelse på universitetet i Padova i nærheden af Venedig. Venedig var en republik kendt for et mere tolerant klima end hertugdømmet Toscana. I Padova blev Galilei professor i matematik i 1592, og han boede de følgende atten år af sit liv i Venedig. Her fik han tre børn med en venetiansk kvinde.

Med tiden steg Galileis skepsis over for Ptolemæus' geocentriske verdensbillede, og han blev stadig mere overbevist om, at det heliocentriske system var korrekt. I det heliocentriske system er Solen (helios på græsk) centrum i universet. Dette system var første gang blevet beskrevet af den polske astronom Nikolaus Kopernikus (1473-1543).

Også den tyske astronom Johannes Kepler (1571-1630) mente, at Kopernikus' heliocentriske system var det rigtige, hvilket han beskrev i bogen 'Universets hemmelighed' fra 1596. Da Galilei havde læst denne bog, skrev han i 1597 til Kepler, at også han var tilhænger af det heliocentriske system. Galilei skrev endvidere, at han havde beviser for systemets rigtighed. Da Kepler bad om at se disse beviser, ophørte korrespondancen mellem de to matematikere imidlertid i 12 år.

TELESKOPET

Indtil begyndelsen af 1600-tallet var det menneskelige øje det eneste redskab, man havde til at observere stjernerne. Men med opfindelsen af kikkerten åbnede der sig helt nye muligheder for observationer af nattehimmelen.

Ingen ved, hvornår det blev opdaget, at optisk glas – det vil sige bearbejdet glas, der er slebet til linser – kunne bruges til at forbedre synet. De første optegnelser om brug af brilleglas stammer fra 1200-tallet. Og i starten af 1600-tallet opdagede den hollandske

Galilei demonstrerer sit teleskop. Ikke alle troede på, at det, de så i teleskopet, var virkeligt. En tysk astronom mente endda, at Galilei måtte have bygget himmellegemerne ind i teleskopet. Siden Galileis tid har teleskoper været uundværlige for astronomien.



optiker Hans Lippershey (1570-1619), at linser også kunne bruges til bedre at se objekter, der lå meget langt væk.

"Vi er sikre på", skrev Galilei i 1623, "at den første opfinder af teleskopet var en brillemaker, som helt tilfældigt sad med to brillelglas, det ene konvekst (buer udad og er lyssamlende) og det andet konkavt (buer indad og er lysspredende), og lige så tilfældigt kom til at se gennem dem begge på én gang". En anden beretning fortæller, at to børn sad og legede med linser i Lippersheys værksted og morede sig over, at de kunne se en vejrhane på kirketårnet langt væk, når de satte to forskellige linser sammen.

Under alle omstændigheder var kikkerten i hvert fald opfundet. Selvom Lippershey forsøgte at holde opdagelsen hemmelig, genlød nyheden snart i Europa, hvor man i Milano, London og Venedig kunne købe cylindre, hollandske træstammer eller perspektiver, som kikkerterne blev kaldt.

Den engelske videnskabsmand Thomas Harriot (1560-1621) var den første, der brugte kikkerten til at studere astronomiske fænomener, og han producerede tegninger af Månen, som den tog sig ud i kikkerten. Disse tegninger er dog først blevet fundet mange hundrede år senere, og Galilei blev derfor kendt for at være den første, der brugte kikkerten til at udforske rummet.

Da Galileo Galilei hørte om kikkertinstrumentet, skyndte han sig at konstruere et eksemplar, der var tre gange stærkere end Hans Lippersheys. I første omgang tænkte han primært på kikkertens fordele for en søfartsnation som Venedig og dermed fordelene for ham selv som instrumentmager.

Måske derfor demonstrerede Galilei kikkerten for en række indflydelsesrige købmænd. De var alle forbløffede over, at de fra San Marcos kirketårn midt i Venedig kunne se skibe og kirketårne, der befandt sig så langt som 30 kilometer væk! Også senatet i Venedig var begejstret og fordoblede Galileis løn, ligesom de forlængede hans ansættelse på universitetet i Padova på livstid.

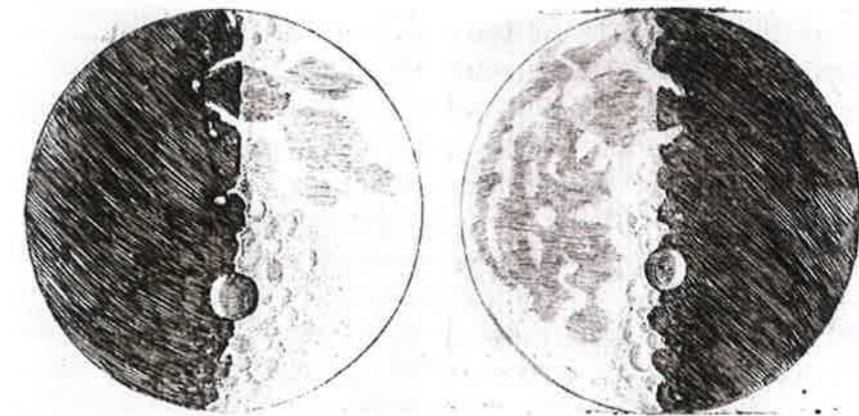
I 1609 konstruerede Galilei en endnu stærkere kikkert. Den kunne forstørre op til 20 gange, og dermed havde han opfundet teleskopet. Et teleskop er en stor kikkert, der bruges til astronomiske observationer. Og med sit teleskop begyndte Galilei at observere nattehimmelen. Observationerne var så banebrydende, at Galilei al-

lerede efter kort tid, i marts 1610, udgav bogen med den latinske titel 'Sidereus Nuncius'. Bogens danske titel er 'Budskab om stjernerne'. Heri beskrev Galilei følgende astronomiske opdagelser, som han havde foretaget med sit teleskop.

MÅNEN

I december 1609 observerede Galilei Månen gennem sit teleskop. Og det, han så, stod i skarp kontrast til den opfattelse af Månen, der lige siden Aristoteles havde været fremherskende. Aristoteles havde hævdet, at den himmelske sfære begyndte med Månen, som bestod af himmelsk æter og var glat og ensartet. Men nu kunne Galilei gennem sin kikkert se, at Månen ingeni lunde var, som Aristoteles havde troet. Faktisk lignede Månen Jorden med bjerge og dale. Galilei skrev derfor i 'Budskab om stjernerne', at Månen måtte være lavet af samme stof som Jordkloden.

For mange i samtiden var dette en uforståelig tanke. For hvis Galilei havde ret i, at Månen og Jorden var lavet af samme materiale, betød det, at der måske slet ikke var nogen forskel på Jorden og Månen. Det åbnede op for tanker, som mange slet ikke turde eller kunne tænke. For det første at Jorden ikke var unik. Og for det andet at himmellegemerne – som man hidtil havde anset for at være fuldkomne og uforanderlige, fordi de var guddommelige – ikke var mere fuldkomne end Jorden.



Månefaserne malet af Galilei. Før Galilei observerede Månen, troede man, at Månen var lavet af himmelsk æter og havde en glat overflade. Men med sit teleskop kunne Galilei se, at Månen var ujævn, havde kratere og faktisk lignede Jorden.

STJERNERNE

Når man kigger på nattehimmelen med det blotte øje, ser det ud, som om alle stjernerne sidder fast på indersiden af en kugleskal. Derfor troede man, at stjernerne sad fæstnet på en hvælving. Men da Galilei kiggede op mod stjernerne gennem teleskopet, kunne han se, at rummelrummet havde dybde.

Desuden gjorde han en anden opdagelse. Gennem teleskopet så han så mange stjerner, at han var ude af stand til at tælle dem. Der lod faktisk til at være uendeligt mange stjerner. Galilei vidste godt, hvad det kunne betyde. I sit teleskop, som kunne forbedres og dermed afsløre endnu mere, kunne han se uendeligt mange stjerner. Hvor mange stjerner ville han så ikke kunne se i et endnu bedre teleskop?

Han konkluderede, at rummet strakte sig meget længere væk, end man før havde kunnet forestille sig. Kunne verdensrummet være uendeligt? Galilei var en meget troende mand, og han vidste godt, at den idé stod i skarp kontrast til kirkeens lære om det afgrænsede univers.

MÆLKEVEJEN

Som konsekvens af Galileis opdagelse af det uendelige antal stjerner kunne han nu løse problemet om Mælkevejens natur. Mennesker havde længe før Galilei kunnet se, at der om natten var et lysende hvidt bånd hen over himlen. Og mange havde forsøgt at forklare dette fænomen. Ifølge Aristoteles var Mælkevejen en langsom forbrænding af tørre uddunstninger fra Jorden, der var nået op i ildsfæren lige under Månens sfære. Denne forklaring hang sammen med hans teori om, at rummelrummet var bygget op af kugleskaller. Den danske astronom Tycho Brahe (1546-1601) mente derimod, at Mælkevejen var en fortætning af den himmelske æter, hvorfra nye kometer og stjerner opstod.

Nu fejede Galilei med ét alle disse teorier af bordet. Han kunne nemlig se, at Mælkevejen bestod af en enorm mængde stjerner grupperet i klynger. Denne opdagelse var med til at slå hul i Aristoteles' verdensbillede. For hvis Mælkevejen bestod af et antal af stjerner, var der måske slet ikke nogen ildsfære eller for den sags skyld månesfære?

JUPITERS MÅNER

Den vigtigste opdagelse i 'Budskab om stjernerne' var Jupiters måner, som Galilei så i januar 1610. Han troede først, at de lysende pletter var stjerner og gik derfor ud fra, at det måtte være planeten Jupiter, der flyttede sig i forhold til stjernerne. Men da Galilei nogle nætter senere så, at de lysende pletter igen havde flyttet sig, gav han sig til at observere stjernerne mere minutiøst. Han tegnede deres positioner og målte afstanden imellem dem. Det sidste havde han dog svært ved, fordi pletternes positioner – til dels på grund af Jordens bevægelse – ændrede sig så hurtigt, at det var umuligt at registrere afstandene time for time.

Da Galilei havde gjort sine observationer, var han ikke længere i tvivl. De fire vandrende pletter var måner, der kredsede om Jupiter. Denne konklusion kom Galilei frem til, fordi månerne hele tiden fulgte Jupiters position. Desuden varierede månernes afstande til Jupiter kun inden for snævre grænser. De fire måner havde altså deres eget kredsløb, der ikke lod til at afhænge af hverken Solen eller Jorden.



Galileis notater, der viser observationerne af Jupiter den 7. januar 1610. Galilei troede først, at pletterne rundt om Jupiter var stjerner. Men da han så, at de bevægede sig og hele tiden fulgte Jupiters position, forstod han, at det var måner. Observationen blev et vigtigt argument til fordel for det heliocentriske verdensbillede.

Galilei anså opdagelsen af Jupiters måner for at være et enestående argument for det heliocentriske verdensbillede. En af indvendingerne mod dette verdensbillede var nemlig, at Jorden i kraft af Månen var unik, og derfor umuligt kunne kredse om Solen med resten af planeterne. Men nu var Jupiters måner et bevis på, at der også kredsede måner om andre planeter i universet. Det faktum, at Jupiter havde måner, gjorde altså op med tanken om, at Jorden i kraft af Månen var enestående. Det tydede altså på, at Jorden blot var en planet som resten af universets planeter.

Observationerne af Jupiter tilbageviste også en anden indvending mod Kopernikus' system. Modstandere af det heliocentriske system mente, at hvis Jorden var i omløb om Solen, måtte den nødvendigvis tabe Månen undervejs. Hvad skulle dog holde Månen svævende?, lød spørgsmålet. Men at fire måner kredsede omkring Jupiter uden at blive tabt talte for, at Månen vel også kunne kredse om Jorden, selvom Jorden bevægede sig rundt om Solen. Opdagelsen af Jupiters måner overbeviste derfor Galilei om, at Jorden drejede om Solen.

NYE ASTRONOMISKE OPDAGELSER

Offentliggørelsen af Galileo Galileis opdagelser gjorde ham snart berømt i hele Europa, og hans bog 'Budskab om stjernerne' blev læst så langt væk som i Kina. Den ærekære Galilei sendte eksemplarer til astronomer over hele Europa, ligesom han rejste rundt for at demonstrere sit teleskop. Ikke alle var dog lige begejstrede. Den aristoteliske filosof Cesare Cremonini (1550-1631) fik for eksempel ondt i hovedet af at se igennem linsen, og desuden kunne han ikke få øje på det, som Galilei påstod, han kunne se. Florentineren Francesco Sizzi (ca. 1585-1618) mente, at intet kunne observeres med én sans alene. Og den tyske matematiker og astronom Christoffer Clavius (1538-1612) hævdede, at Galilei måtte have bygget himmellegemerne ind i teleskopet.

For Galilei kastede opdagelserne også langt mere jordnære fordele af sig. Da Galilei ønskede at blive ansat ved hoffet i Toscana, dedikerede han 'Budskab om stjernerne' til den nye storhertug i

Firenze, Cosimo II (1590-1621), der som barn havde fået privatundervisning af Galilei. Desuden opkaldte Galilei de fire måner efter Cosimos slægt Medici'erne, så månerne kom til at hedde De Mediciske Stjerner. Anstrengelserne bar frugt. I september 1610 blev han ansat som storhertugens førstematematiker og flyttede fra Venedig til Pisa. I hertugdømmet Toscana havde den katolske kirke større magt end i republikken Venedig, for i Toscana var jesuiternes indflydelse stor. Jesuitterne var modreformationens ivrigste forkæmpere. Men Galilei havde endnu ingen problemer med den katolske kirke. Tværtimod rejste han til Rom i 1611, hvor han blev modtaget som en hædersgæst og demonstrerede sit teleskop for den lærde kardinal Roberto Bellarmine (1542-1621). Bellarmine og Galilei havde siden Galileis tid som professor i Pisa diskuteret videnskabelige spørgsmål i talrige breve.

Galilei fortsatte altså ufortrødent sine observationer, og han holdt stadig Jupiters måner under konstant observation. Han ønskede nemlig at fastsætte, hvor lang tid det tog månerne at rotere om Jupiter, hvilket kaldes deres omløbstid. Hvorfor var det så vigtigt at kende månernes omløbstider? Jo, Galilei indså, at man kunne bruge den regelmæssige formørkelse af månerne, når de bevægede sig om bag Jupiter, som et slags ur. Derfor udarbejdede Galilei tabeller, der viste på hvilket klokkeslæt, månerne begyndte at bevæge sig om bag Jupiter, og på hvilket klokkeslæt, de igen kom til syne. Det var imidlertid vanskeligt at skelne månerne fra hinanden, ligesom de tidsmålere, man dengang havde til rådighed, ikke var præcise. Galilei opgav derfor projektet, fordi tabellerne ikke var tilstrækkeligt nøjagtige.

VENUS' FASER

I oktober 1610 vendte Galilei sit teleskop mod planeten Venus. Han observerede, at størrelsen på det stykke af planeten, man kan se fra Jorden, ændrer sig fra nat til nat. På samme måde som det stykke af Månen, vi kan se fra Jorden, ændrer størrelse fra nat til nat. Galilei konkluderede, at den del af Venus, som vi kan se, ændrer størrelse, fordi Venus vandrer rundt om Solen. For det måtte være sollyset, der oplyser Venus. Fra Jorden kan vi kun se den belyste

del af Venus, og hvor stor denne del er, afhænger af hvordan Venus og Jorden befinder sig i forhold til hinanden. Dette fænomen kalder man, at planeten har faser. Galilies observationer af Venus' faser fik ham derfor til at konkludere, at Venus fik sit lys fra Solen. Venus måtte altså være i kredsløb om Solen og ikke om Jorden!

Selvom Galilei mente, at observationerne af Venus' faser var endnu et bevis på det heliocentriske system, var mange ikke enige. Venus' faser kunne nemlig også forklares ved hjælp af Tycho Brahes system, der – selvom det var forkert – også byggede på observationer af nattehimlen. I det tychoniske system er Jorden i centrum af universet. Herom kredser Solen, og rundt om denne kredser alle planeterne. Dette system var ikke i modstrid med Biblen og kom derfor hverken på kant med protestantismen eller katolicismen. På dette tidspunkt godtog mange astronomer derfor hellere Tycho Brahes system.

Galilei var imidlertid sikker på, at hans observationer ville overbevise alle skeptikere om, at Jorden drejer rundt om Solen. Stædigt fortsatte han sine observationer og analyser.

SOLPLETTER

I foråret 1611 foretog Galilei en række observationer af Solen, hvilket sandsynligvis medvirkede til, at han senere blev blind. Dét, han observerede, var de såkaldte solpletter. Solpletterne blev i middelalderen tolket som planeter, der passerede hen foran Solen. Men Galileis omhyggelige analyser af pletternes fordeling og bevægelse gjorde det nu klart, at der vitterligt var tale om pletter på Solens overflade.

I dag ved vi, at solpletterne er områder, der ser mørkere ud, fordi de er koldere end resten af Solens overflade på grund af et kraftigt magnetisk felt i dem. Pletterne kan være af mange forskellige størrelser, men en stor solplet er mange gange større end Jorden. Antallet af pletter er ikke konstant. De dukker pludselig op og kan ses i nogle uger eller måneder, hvorefter de forsvinder igen.

Ved at måle solpletternes bevægelse hen over Solen kunne Galilei konkludere, at Solen roterer omkring sin egen akse. Kopernikus, der som den første havde fremsat teorien om, at Solen var i centrum af universet, var ikke sikker på, hvorvidt Solen bevægede sig. Men nu kunne Galilei altså fastslå, at Solen roterer om sin egen akse. I dag ved vi, at Solen har en omdrejningstid på cirka 25 døgn.

GALILEI OG DEN KATOLSKE KIRKE

Konsekvenserne af Galileis observationer bragte ham efterhånden i konflikt med den katolske kirke. Mange af kirkens folk mente, at alt, hvad mennesket behøvede at vide, stod nedfældet i Biblen. Og her står der udtrykkeligt, at Jorden ligger stille og udgør universets centrum.

Den vigtigste person i Vatikanet med hensyn til naturfilosofi og fortolkning af Biblen var kardinal Roberto Bellarmine, der havde kigget gennem Galileis kikkert i 1611. Bellarmine anerkendte Galileis videnskabelige arbejde, men han var uenig i Galileis tolkning af opdagelserne. Bellarmine holdt fast i den urgamle opfattelse, at når Solen kunne ses bevæge sig over himlen, og Jorden syntes urokkelig, så måtte det være Solen, der drejede om Jorden. Ligesom der stod i Biblen. At der rundt om Jupiter muligvis kredsedde fire måner, var ikke bevis nok på det modsatte, mente Bellarmine. Galilei mente derimod, at hans opdagelser var rigeligt bevis, og ved diskussioner og offentlige fremvisninger af kikkerten i Firenze og Rom førte Galilei sig frem som overbevist fortaler for Kopernikus' heliocentriske system. Dette system var ifølge Bellarmine blot et matematisk tankeeksperiment, der ikke beskrev den fysiske virkelighed som beskrevet i Biblen. Men Galilei mente, at sandheden både fandtes i Biblens sprog og i naturens sprog, der begge var Guds sprog. Han gjorde det således ganske klart, at det heliocentriske system for ham ikke blot var et teoretisk system, men en fysisk realitet.

Striden endte i første omgang med, at den katolske kirke i 1616 indledte en retssag, der skulle undersøge, om det kopernikanske verdensbillede var foreneligt med Biblen. Rådgiverne var teologiske eksperter. Den 24. februar 1616 mødtes inkquisitionen for at træffe en afgørelse. Dommen faldt ikke ud til fordel for det kopernikanske system. Kopernikus' teori om, at Solen er centrum i universet blev erklæret for en videnskabelig absurditet og teologisk kætteri, da den modsiger Biblen. Også påstanden om, at Jorden bevæger sig, blev defineret som absurd. Dommen medførte en polarisering mellem videnskab og teologi samt en mistænkeliggørelse af det heliocentriske system. Nikolaus Kopernikus' bog 'Om himmelsfærernes kredsbevægelser' blev sat på den katolske kirkes liste over forbudte bøger. Men kardinal Roberto Bellarmine oplyste samtidig Galilei om, at han ikke ville få problemer, hvis han nøjedes med at fremstille det kopernikanske system som en ubevist hypotese.

Det var da heller ikke noget problem for Galilei at få udgivet sit astronomiske hovedværk med den italienske titel 'Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo' i 1632. På dansk kaldes bogen 'Dialog om de to store verdenssystemer'. Galilei håbede, at han med bogen kunne omvende den katolske kirke, og få den til at acceptere det heliocentriske verdensbillede. Derudover ønskede han at gøre almindelige mennesker interesserede i astronomiske opdagelser og skrev derfor bogen på talesproget italiensk i stedet for latin.

Bogen er udformet som en samtale mellem Simplicio, der fremfører den katolske kirkes aristoteliske synspunkter, Sagredo, der stiller kritiske spørgsmål, og Salviati, der er talerør for Galileis heliocentriske synspunkter. Salviatis hovedargumenter bygger på Galileis teori om tidevandet, som ifølge ham var forårsaget af Jordens bevægelse. Denne teori var imidlertid forkert. I dag ved man, at tidevandet primært skyldes Månens tyngdekraft, der trækker i Jordens vandmasser. På trods af Galileis fejlagtige teori demonstrerede hans fremgangsmåde en helt ny måde at anskue naturens sammenhæng på: han forklarede et fænomen på Jorden ud fra observationer af himlen.



Titelbladet til Galileis berømte værk 'Dialog om de to store verdenssystemer' fra 1632.

'Dialog om de to store verdenssystemer' blev mødt af massive protester samtidig med, at den blev meget populær. Få måneder efter bogens udgivelse flød Galilei i breve fra beundrere, der talte om nye sandheder og nye tidsaldre. Men pave Urban VIII (1568-1644) bandlyste bogen. Der er givet mange forklaringer på, hvorfor paven, der havde været Galileis ven, nu fór så hårdhændet frem. Nogle mener, at han opfattede Simplicio som en karikatur på ham selv. Andre hævder, at paven på grund af magtkampe i Vatikanet ikke længere ville støtte hertugdømmet Toscana, hvor Galilei var hofmatematiker. Og endelig kan det tænkes, at han i tråd med modreformationen ønskede at fremstille den katolske kirke som en seriøs vogter af Biblen.

Under alle omstændigheder blev Galilei beordret til at møde for inkquisitionen i Rom, der anklagede ham for kætteri. Den berømte astronom var på dette tidspunkt alvorligt syg og endte i februar 1633 med at blive transporteret på en bære hele vejen til Rom.

Retssagen mod Galilei er blevet et symbol på religiøs intolerance over for videnskabelige fremskridt. Sagens omdrejningspunkt blev, hvorvidt Galilei i 1616 var blevet forbudt at undervise i det kopernikanske system. Var det dengang blevet gjort ham klart, at paven ikke billigede videnskabeligt arbejde, hvis det faldt ud til fordel for det heliocentriske system?

Den 16. juni 1632 faldt dommen. 'Dialog om de to store verdenssystemer' blev totalt forbudt, og Galilei skulle offentligt tage afstand fra konklusionerne på sine videnskabelige resultater. Galilei blev tvunget til – på knæ og med hånden på Biblen – at afsværge sin kopernikanske overbevisning. Han skulle indrømme, at han siden forbudet i 1616 havde undervist i det kopernikanske system, hvilket han fremover ville undlade. Endelig skulle han sværge, at han altid havde troet på den katolske kirkes lære, og at han ville melde tilhængere af det kopernikanske system til inkquisitionen. Myten vil, at Galilei efter afsværgelsen rejste sig op og på italiensk hviskede: "eppur si muove", hvilket betyder "den bevæger sig dog". Det menes imidlertid at være en opdigtet detalje.

"De, Galilei, (...) blev i 1615 anmeldt over for inkquisitionen for at anse den af nogle forkyndte falske lære for sand, at solen er verdens centrum og ubevægelig, og at jorden bevæger sig, også med daglig bevægelse (...) og for at have svaret på de henvisninger til Den hellige Skrift, som gang på gang blev tilstillet Dem, ved at tolke bemeldte Skrifter efter Deres eget forgodtbefindende.

Da man derefter fremlagde en kopi af et dokument i form af et brev, og da der heri forekommer diverse påstande i overensstemmelse med Kopernikus' lære, som er i modstrid med Den Hellige Skrifts sande mening og autoritet (...) så blev de 2 sætninger, om solens stabilitet og jordens bevægelse, af de teologiske granskere (...) Karakteriseret på følgende måde: Sætningen, at solen er centrum for verden og ikke bevæger sig fra sin,

er absurd og falsk filosofisk set og formelt kættersk, da den tydeligvis er i strid med Den hellige Skrift. Sætningen, at jorden ikke er verdens centrum og ubevægelig, men bevæger sig med daglig bevægelse, er ligeledes falsk filosofisk set og må teologisk i det mindste betragtes som en vildfarelse, hvad angår troen (...)

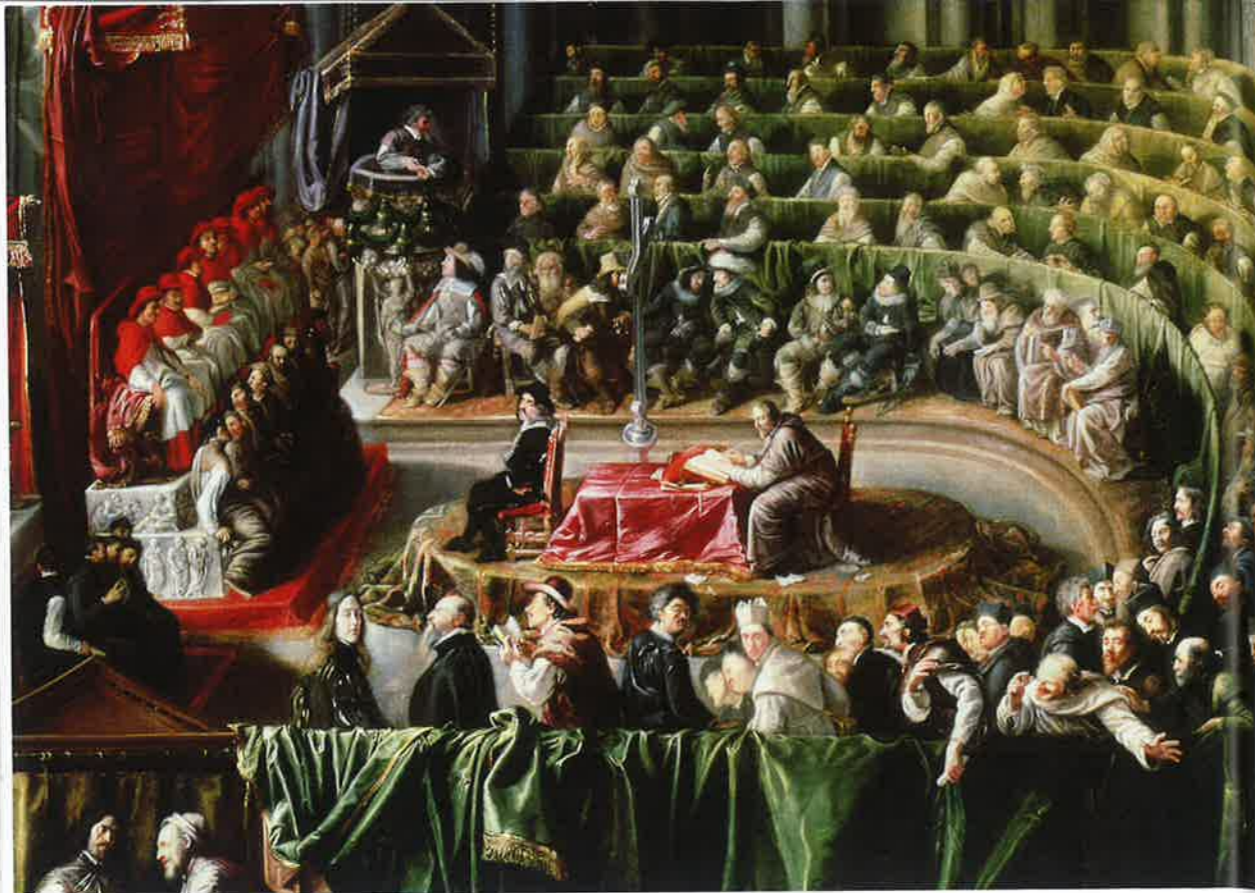
For at en så ødelæggende lære kunne blive helt udryddet og ikke yderligere blive spredt til stor skade for den katolske sandhed, blev der udfærdiget et dekret af den hellige indexkongregation, som forbød de bøger, der behandler denne lære (...)

Da så en bog nylig udkom, hvis titel viser, at de er forfatteren: 'Galileo Galileis dialog om de store verdenssystemer'; og da den falske lære om jordens bevægelse og solens stabilitet gennem publiceringen af denne bog for

hver dag blev mere og mere udbredt, så blev denne bog underkastet en omhyggelig undersøgelse. I den blev fundet en åbenlys krænkelse af det ovennævnte forbud (...)

Vi udtaler, dømmer og fastslår, at De, ovennævnte Galilei (...) har gjort Dem skyldig i kætteri (...) og at De følgelig er omfattet af alle de censurer og straffe, som findes fastlagt og formuleret i den hellige kanoniske lov og andre love, almene og specielle, vedrørende sådanne tilfælde. Vi glæder os dog over, at De kan befries herfor, forudsat at De først af et ærligt hjerte og med en tro, der ikke er påtaget, over for os afsværges, forbander og giver udtryk for afsky for de nævnte misforståelser."

Efter: Flemming Clausen m.fl.: 'Skabt til at skabe', Aschehoug 2001, s.36-37.



Galilei foran inkvisitionen i 1633. Galilei var anklaget for kætteri, fordi hans opdagelser var i modstrid med Biblen. Mange blev dømt til døden, når de blev kendt skyldige i kætteri. Galilei blev dømt til livslang indespærring og tvunget til at trække resultaterne af sine opdagelser tilbage.

Inkvisitionen dømte Galilei til livslang indespærring. Han fik dog en mild form for afsoning. Det første stykke tid opholdt han sig hos ærkebiskoppen i Siena, hvorefter Galilei tilbragte de sidste otte år af sit liv i husarrest i villaen Bellosguardo i udkanten af Firenze. Galileis datter Maria Celeste (1600-1634) – der var nonne – fik indtil sin død lov til at besøge sin far og fremsige syv bønner om dagen, som var en del af hans straf.

GALILEIS FALDLOVE

Mens Galilei sad i husarrest, fortsatte han arbejdet med sin livslange passion – matematikken og mekanikken. Galilei havde indset, at mekanikken – læren om legemers bevægelse og ligevægt –

kunne modbevise den aristoteliske fysik og dermed støtte teorien om, at Jorden drejer rundt om Solen. Derfor genoptog Galilei sine eksperimenter med faldende genstande.

Modstandere af det heliocentriske system hævdede, at hvis Jorden bevægede sig om Solen, burde genstande, der kastes fra et tårn, nødvendigvis falde bag tårnet, fordi Jorden vil nå at rykke sig. Og det kunne enhver jo se ikke skete. Tilhængere af det geocentriske system brugte derfor denne konstatering til at fastslå, at Jorden måtte ligge stille i universet. For at afmontere dette argument ville Galilei undersøge, hvorfor en genstand faldt, som den gjorde – selv på en Jordklode i bevægelse.

Hidtil havde man fæstet lid til den aristoteliske fysik. Aristoteles mente, at alt på Jorden bestod af en sammensætning af de fire elementer: vand, jord, luft og ild. Hvert af disse elementer søgte mod deres naturlige udgangspunkt: Luft og ild var lette elementer, der søgte opad. Jord og vand var derimod tunge legemer, der søgte nedad mod Jorden. Hvis et legeme primært bestod af elementet jord, ville dette legeme derfor søge mod Jorden. Hvor et objekt søgte hen, afhang altså af hvilket element, objektet bestod af. Af samme grund steg et tungt legemes hastighed, jo tættere det kom på Jorden. Ifølge Aristoteles faldt et legeme med en hastighed, der var proportional med legemets tyngde. Vejede en sten 10 kilo, faldt den 10 gange hurtigere end en sten, der vejede ét kilo – mente Aristoteles.

Gennem forsøg med genstande i frit fald konstaterede Galilei – ligesom Aristoteles – at et faldende legemes hastighed stiger, efterhånden som legemet falder. Men til forskel fra Aristoteles mente Galilei ikke, at det havde noget med legemets vægt at gøre. Han var altså overbevist om, at man kunne bestemme legemets hastighed uden at kende legemets vægt.

Galilei kom gennem sine eksperimenter og målinger frem til, at alle legemer accelererer med konstanten g . Og når accelerationen er den samme, kunne Galilei slutte, at alle legemer i et lufttomt rum falder lige hurtigt. Når en fjer falder langsommere end en sten, skyldes det altså luftmodstanden og ikke forskellen i vægt. Galileis første faldlov udtrykker således det faktum, at alle legemer falder lige hurtigt i et lufttomt rum.

Galileis første faldlov:

$$v = g \cdot t$$

hvor v er hastigheden for et faldende legeme, g er accelerationen og t er den medgåede tid.

Konstanten g har man siden målt til cirka $9,82 \text{ m/s}^2$. I dag ved vi, at det er Jordens tyngdekraft, der giver alle legemer samme acceleration. Det er derfor den tid, som Jordens tiltrækningskraft virker i, der bestemmer hvilken hastighed et legeme opnår. Derfor falder et objekt hurtigere, jo højere oppe det slippes.

Galilei fortsatte med at eksperimentere. Han lod en blykugle glide ned ad en skrå flade og ned på et bord. Ved at lave forsøgene på et skråplan, kunne han fastsætte og ændre det stykke, som legemet skulle falde – kaldet faldstrækningen. Tiden, det tog for kuglen at glide ned ad den skrå flade, målte Galilei så præcist, han kunne med et vandur eller ved hjælp af sin puls. Ved at ændre hældningen og længden på skråplanet undersøgte han sammenhængen mellem strækningen og tiden. Det viste sig, at jo længere en strækning, kuglen tilbagelagde, jo højere fart fik den, fordi der skete en konstant acceleration. Gennem forsøgene fandt Galilei ud af, at faldstrækningen er proportional med faldtiden i anden potens. Sætningen er i dag kendt som Galileis anden faldlov.

Galileis anden faldlov:

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

hvor s er faldstrækningen, g er accelerationen og t er den medgåede tid.

Galilei forstod nu, at der kunne opstilles love for faldende objekter. Love, der var meget mere systematiske end Aristoteles' årsagsforklaringer. Galilei gik derfor videre med sine eksperimenter. Han ville undersøge, hvad der sker med faldende objekter, som ikke bare slippes og falder frit i rummet. Galilei gav sig til at beregne banen for et projektil affyret fra en kanon.

Aristoteles havde hævdet, at et projektil bevægede sig i en lige linje, indtil det mistede sin impetus (bevægelseskraft) og derefter faldt ned på jorden. Nu kunne Galilei imidlertid forklare, at et affyret projektils bane ikke afhang af en bevægelseskraft i projektilet. Derimod er projektilets bane bestemt af to bevægelser: en vandret og en lodret. Den vandrette bevægelse har en konstant hastighed og vil fortsætte i det uendelige, hvis ikke projektilet møder nogen modstand. Den lodrette bevægelse er en konstant acceleration.

Galileis opdagelser var et afgørende opgør med den aristoteliske fysik. Aristoteles havde som nævnt forklaret en faldbevægelse med en bestemt tendens i objektet alt afhængig af, om objektet bestod af ild, vand, jord eller luft. Nu kunne Galilei derimod påvise, at alle legemer faldt lige hurtigt, forstået på den måde, at alle legemer faldt med samme acceleration og derved opnåede samme hastighed. Jordisk fysik kunne altså forklares ved hjælp af matematik.

Galilei nedfældede i 1636 sine opdagelser i bogen med den italienske titel 'Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze'. På dansk betyder titlen 'Afhandlinger og matematiske beviser vedrørende de to nye videnskaber'. I værket beskrev Galilei loven for det frie fald og for projektilbevægelsen. Kirkens censur ville dog ikke lade Galilei publicere sit værk, og det måtte smugles ud af Italien. Det blev siden trykt af en hollandsk bogtrykker og udkom på latin i 1638. På dette tidspunkt var Galilei imidlertid blevet blind.

Han døde nogle år senere, den 8. januar 1642. Galileis sidste ønske var at blive begravet ved siden af sin far i Santa Croce-kirken i Firenze. Men hans slægtninge frygtede problemer med den katolske kirke, og ikke før 1737 fik Galilei en hæderlig begravelse.

Først i 1822 gav den katolske kirke tilladelse til at undervise i Kopernikus' lære. Og i 1979 udtalte pave Johannes Paul II (1920-2005), at kirken muligvis havde gjort uret i at dømme Galilei. Der blev derfor iværksat en undersøgelse, der konkluderede, at Galilei ikke burde have været dømt.

ARVEN EFTER GALILEO GALILEI

Galilei er med rette blevet en af de mest berømte videnskabsmænd i verdenshistorien. Det skyldes blandt andet, at han fik den enkle, men banebrydende idé at anvende et teleskop til at foretage astronomiske observationer. Nu var det ikke længere nødvendigt blot at forestille sig, hvordan universet så ud. Galilei byggede sine konklusioner på det, han kunne observere, måle og beregne.

Og det, han observerede, var ikke så lidt. Med teleskopet opdagede Galilei, at verdensrummet omkring Jorden så helt anderledes ud, end noget menneske før ham havde kunnet forestille sig. Han så, at Jupiter har måner. At Venus har faser, fordi den bevæger sig rundt om Solen. At Mælkevejen ikke består af uddunstninger fra Jorden, men af uendeligt mange stjerner. At Månen ikke består af himmelsk æter, men af det samme stof, som Jordkloden er lavet af. Derved fjernede Galilei det skel, som munke og videnskabsmænd siden Aristoteles havde holdt fast i: at der var en væsentlig forskel på den jordiske og den himmelske fysik.

Også inden for mekanikken gjorde Galilei store fremskridt. Ved hjælp af beregninger og forsøg tilbageviste Galilei Aristoteles' teorier om, at et legemes bevægelse skyldtes legemets tendens til at søge mod sit naturlige udgangspunkt, og at et legeme faldt med en hastighed proportional med legemets tyngde. Derimod – beviste Galilei – falder alle legemer i et lufttomt rum med samme acceleration og opnår derved samme hastighed.

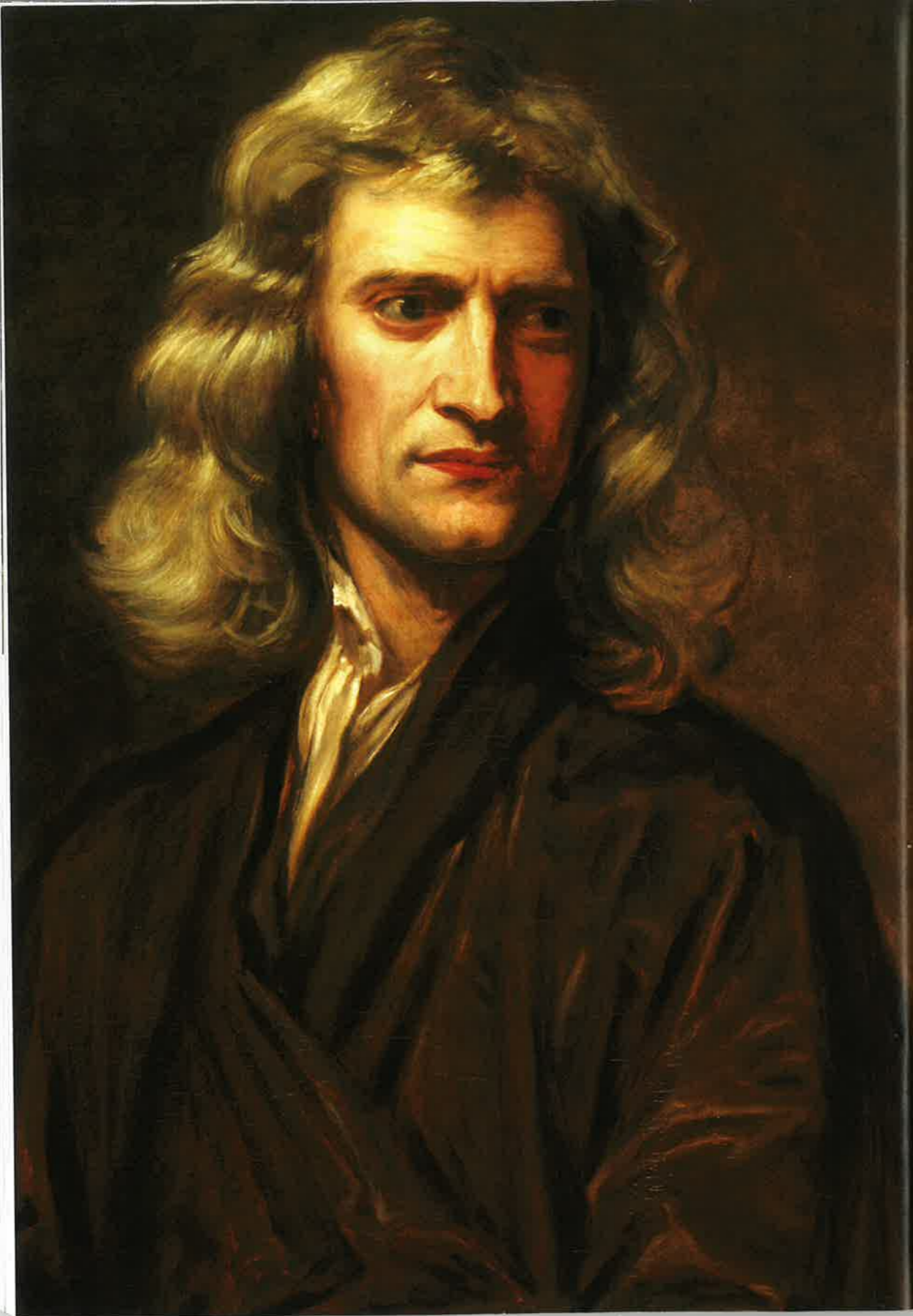
Galileis fysiske og astronomiske opdagelser frembragte imidlertid ikke kun nye resultater – de fornyede også den naturvidenskabelige metode. Helt på linje med Descartes' erkendelsesfilosofi viste Galilei, hvorledes nøjagtige observationer, præcise beregninger og en stringent brug af fornuften kunne føre til videnskabelige opdagelser. Dermed var Galilei med til at grundlægge den moderne videnskabelige metode, og hans beregninger og faldlove kom til at danne udgangspunkt for den engelske videnskabsmand Isaac Newtons (1642-1727) opdagelse af tyngdekraften.



Galilei demonstrerer sin faldlov. Han var den første videnskabsmand, der byggede sine resultater på systematiske forsøg. Galileis forsøg med faldende genstande er grundlaget for moderne bevægelseslære.

Galilei viste, hvor langt et enkelt menneske kunne komme med eksperimenter og observationer. Men processen, som inkvisitionen førte mod ham, voldte stor skade på senere videnskabelig fremgang. Efter dommen mod Galilei følte mange katolske astronomer sig nødsaget til at acceptere Tycho Brahes system som det eneste mulige alternativ til det ptolemæiske verdensbillede.

Mange videnskabsmænd afholdt sig fra at diskutere eller undersøge verdensbilledet, og i stedet helligede de sig mere ukontroversielle observationer. Det blev derfor i England – langt væk fra Vatikanet – at nye landvindinger inden for naturvidenskaben skulle gøres.



KAPITEL 5

Isaac Newton

1642-1727

Over den engelske landsby Woolsthorpe skinnede efterårsolen fra en klar blå himmel. Lyset var blændende hvidt. På trods af det gode vejr sad en 24-årig mand inde på gården Woolsthorpe Manor bag lukkede skodder. Den unge mand var kun hjemme for en kortere tid. England var nemlig plaget af pesten, og for at undgå sygdommen var han flygtet fra byen Cambridge, hvor han studerede.

I en af vinduets skodder havde han boret et hul, så en lille stribe af lys trængte ind i værelset. Manden holdt et prisme – en gennemsigtig kantet genstand – hen foran lysstrålen, hvorefter strålen ramte et hvidt klæde på en stol. Og dér skete der noget smukt og besynderligt. På klædet så han ikke blot det hvide lys, men alle de farver, der kan ses i regnbuen. Han gentog forsøget, og det samme skete. Lyset deltes i violet, blå, grøn, gul, orange og rød. Det var første skridt på vejen mod en stor opdagelse, som den unge mand senere skulle slå fast: at hvidt lys i virkeligheden består af farver. Året var 1666, og mandens navn var Isaac Newton.

MERKANTILISMEN

I løbet af 1600-tallet udviklede England sig til Europas rigeste land. Landbruget blev mere effektivt, og der var en stigende handel i kraft af de engelske kolonier rundt om i verden. Denne udvikling skabte et frodigt klima for tekniske opfindelser og videnskabelige opdagelser. I modsætning til resten af Europa herskede der i England ikke en religiøst betinget frygt for, hvad videnskabelige opdagelser kunne afsløre om verdens indretning. Tværtimod.

Englands rivende udvikling skyldtes flere faktorer. For det første betød effektivisering af landbruget og et stigende befolkningstal, at mange søgte arbejde. Det store udbud af arbejdskraft medførte, at arbejdsgiverne kunne nøjes med at give lave lønninger til de heldige, der fik arbejde. På den måde blev produktionen billig og omsætningen forøget.

For det andet bragte handelsstationer – en slags havne – i Indien og Vestafrika og kolonierne i Nordamerika store indtjening hjem til England. Indtjeningen skete blandt andet gennem den såkaldte trekantshandel. Den bestod i at fragte slaver fra Afrika til Nordamerika, hvor de blev brugt som arbejdskraft til at dyrke råstoffer såsom bomuld, der siden blev transporteret til England. Her lavede man tekstiler af bomulden på spindemaskiner, der netop var taget i brug i England. Derefter blev tekstilerne solgt til de andre europæiske lande og Englands kolonier.

For det tredje sørgede englænderne for at sikre sig kontrollen over store dele af skibsfarten ved fra 1651-63 at vedtage de såkaldte Navigationslove. Disse love fastslog, at al handel med Englands kolonier skulle foregå på engelske skibe. Indtil da havde andre lande tjent gode penge på at fragte varer for englænderne. Navigationslovene ramte derfor søfartsnationen Holland hårdt. Holland var den anden store europæiske kolonimagt, og i årene 1652-74 kom det til krig mellem England og Holland. England vandt og stadfæstede derved sin position som verdens ledende søfartsnation.

Alt i alt havde England altså en blomstrende økonomi, hvilket var en direkte konsekvens af merkantilismen. Merkantilisme er navnet på den økonomiske politik, der blev ført i England – og mange andre europæiske lande – fra cirka 1600 indtil slutningen af 1700-tallet. Hensigten med merkantilismen var at styrke de nationalstater, der på dette tidspunkt havde afløst middelalderens stændersamfund. Opbyggelsen af de nye stater krævede, at der blev postet store summer i administration, militær og hof. Disse udgifter finansierede staten gennem en række skatter og toldindtægter. Men for at have indkomstkilder at beskutte var en blomstrende handel og industri nødvendig. En af forudsætningerne for netop udviklingen af handel og industri var et stabilt og ensartet møntvæsen. Det engelske parlament fokuserede derfor på at sikre tilgangen af penge (guld og sølv) til landet og sørge for, at pengene

blev i England. Det gjorde man ved at fremme eksporten af indenlandsk producerede varer, mens man indskrænkede importen. En af måderne, hvorpå England kunne begrænse sin import, var ved at udnytte landets kolonier. Når eksportindtægterne således var større end importudgifterne, strømmede pengene ind fra udlandet.

England havde haft et parlament siden middelalderen. Man skulle imidlertid være adelig for at sidde i parlamentet, og derfor var kun en lille del af befolkningen repræsenteret. Alligevel var den engelske adel langt større end i andre europæiske lande, fordi landets mange rige købmænd nemmere kunne optages i adelstanden. Disse købmænd var interesserede i at støtte teknologiske og videnskabelige fremskridt, fordi det kunne hjælpe konkurrenceevnen og økonomien på vej.

Det engelske samfund havde altså et udtalt behov for teknisk kunnen og viden. Det gjaldt både i landbruget og i produktionen på fabrikkerne. Videnskab var ikke blot noget, som lærde sad og syslede med i deres studerekamre. Nej, videnskab var en række discipliner, hvis fremskridt kunne hjælpe samfundet mod bedre levevilkår og øget rigdom. Og man fulgte derfor interesseret med i, hvad naturvidenskaben helt praktisk kunne bruges til. Man gjorde sig således ikke spekulationer om, at mennesket ikke havde evner til at udforske naturen. Og der var heller ikke mange, der af religiøse årsager var bange for at udforske verden.

Sådan forholdt det sig ikke i resten af Europa. Her havde omfattende religiøse stridigheder medført, at videnskabsmænd ikke turde sætte sig imod Guds ord. Mange var simpelthen bange for at fremsætte nye videnskabelige opdagelser, der var i uoverensstemmelse med Biblen.

Disse religiøse stridigheder var blevet startet af den tyske munk Martin Luther (1483-1546). Han havde hævdet, at den magtfulde katolske kirke misbrugte sin magt, hvorefter reformationen i Europa begyndte. Luther kritiserede kirken for at være korrump og for, at man kunne købe sig til syndsforladelse gennem afladshandel. Luthers kritik førte til en splittelse af den fælles europæiske kirke og oprettelsen af nye lutheranske kirker. Mange katolikker var godt klar over, at Luther havde ret i sin kritik. Derfor forbød den

katolske kirke – der var plaget af korrupsion – at præster kunne være biskopper flere steder på én gang. Og også afladshandlen blev forbudt. Men samtidig ville den katolske kirke vise, at katolicismen stadig var den rette tro. Katolikkerne lod derfor den religiøse domstol, inkquisitionen, straffe de katolikker, der ikke fulgte den officielle lære.

Netop inkquisitionen fik en stor indflydelse på den videnskabelige udvikling i Europa. Inkquisitionen bandlyste den italienske astronom Galileo Galileis (1564-1642) videnskabelige opdagelser, der modsagde Biblens ord. Galilei havde med sit teleskop observeret, at himmelrummet så meget anderledes ud, end kirken mente. Dommen over Galilei gjorde mange videnskabsfolk bange for at forske. Tænk, hvis deres opdagelser også bragte dem på kant med den magtfulde inkquisition? Men da Galilei stod over for inkquisitionen i Rom i år 1632, havde man i England brudt med den romersk-katolske kirke.

PURITANISMEN

England havde indtil 1500-tallet været katolsk. Men det ændrede sig, da den engelske konge Henrik VIII (1491-1547), der var kommet på tronen i 1509, ønskede at blive skilt fra sin første hustru. Årsagen var, at hun ikke havde givet ham en mandlig arving. Pave Clemens VII (1477-1534) nægtede imidlertid at anerkende en skilsmisse. Derfor indkaldte Henrik VIII i 1529 det engelske parlament og gennemførte et brud med den katolske kirke i Rom. I 1534 blev kongen overhoved for statskirken, der hed Den engelske Kirke. De katolske klostre i England blev opløst, og kirkens jord blev solgt. Den engelske Kirke frigjorde sig altså fra Vatikanet i Rom, men indholdet i gudstjenesten forblev ikke desto mindre overvejende katolsk.

Alligevel fik den protestantiske lære større og større indflydelse i England, hvor en udbredt gren af protestantismen var puritanismen. Puritanismen krævede renhed i troslæren. Det vil sige, at den troende skal leve så enkelt som muligt. Samtidig krævede puritanerne, at gudstjenesten blev rensset for alle katolske ceremonier. Puritanerne var inspireret af tanker formuleret af franskmænd

Jean Calvin (1509-1564), der var med til at oprette den protestantiske kirke i Europa. Calvin var fortaler for, at mennesket strengt skulle overholde de moralske og religiøse love, der stod nedskrevet i Biblen. Der var derfor ikke brug for menneskeskabte love. De engelske puritanere gik således ind for mådehold og ydmyghed og var imod kirkelige autoriteter. Politisk var puritanerne skeptiske over for en for stærk kongemagt. De kom derfor til at stå i modsætning til Den engelske Kirke, hvis overhoved som sagt var kongen.

Under Dronning Elisabeth I (1558-1603) indførtes Den anglikanske Kirke, der var et kompromis mellem katolikkerne i Den engelske Kirke og puritanerne. Den anglikanske lære var baseret på skriften, traditionen og fornuften. Den anglikanske Kirke indførte altså fornuften som en del af den religiøse lære for at undgå de stridigheder mellem videnskab og tro, der havde plaget Europa. For eksempel havde både protestanter og katolikker benægtet, at Jorden drejer rundt om Solen, da det står i Biblen, at Jorden ikke bevæger sig. Når fornuften var en del af den religiøse lære, betød det, at Den anglikanske Kirke godt kunne acceptere videnskabelige opdagelser, selvom de talte imod Biblens ord.

Inden for Den anglikanske Kirke fortsatte uenighederne mellem puritanerne og katolikkerne imidlertid. Det puritansk dominerede parlament ønskede at fjerne de katolske islæt ved Den anglikanske Kirke. Men den katolske konge, Charles I (1625-1649), modarbejdede disse tiltag. Han ville indføre enevælde, hvilket førte til borgerkrig i England fra 1642 til 1649. Borgerkrigen endte med, at Charles I blev henrettet af de sejrende puritanere. Herefter kom puritanernes militære leder, Oliver Cromwell (1599-1658), til magten og styrede England som et militærdiktatur.

I 1658 døde Cromwell, hvorefter kongeslægten atter vendte tilbage til magten. Charles I's søn, Charles II (1630-85), der havde levet i eksil i Frankrig, blev indsat som konge i 1660. I løbet af hans regeringstid blev katolikkerne i England udsat for en stærkt diskriminerende lovgivning vedtaget af det engelske parlament. For eksempel kunne kun medlemmer af statskirken søge om ansættelse inden for statsapparatet. Dette ændrede sig dog, da Charles II's søn, James II (1633-1701), kom til magten i 1685. James II var nem-

lig katolik, så han annullerede mange af de diskriminerende love mod katolikker. Det førte endnu engang til oprør, og den hollandske fyrste William af Oranien (1650-1702) indsatte – på opfordring af en række engelske politikere – en hær i England. Han var gift med James II's datter, Mary (1662-1694), som var protestant.

Samtidig vedtog parlamentet, at kongen ikke kunne opkræve skatter, oprette særdomstole eller opretholde en hær uden parlamentets samtykke. Desuden måtte kongen heller ikke være katolik. Ved at acceptere disse bestemmelser – kendt under navnet Bill of Rights – blev William og Mary indsat som Kong William III og Mary II. Disse begivenheder kaldes af englænderne 'The glorious revolution' (1688-1689). For hermed blev parlamentet i England stærkere end kongemagten.

Mens store dele af Europa fra midten af 1600-tallet gik over til enevælde, gik englænderne altså den modsatte vej og stadfæstede parlamentets ledende rolle. Men også i parlamentet var der spor af de religiøse stridigheder. Medlemmerne delte sig i to partier. Nogle ønskede at bevare en stærk kongemagt samt styrke Den anglikanske Kirkes katolske traditioner. Andre ønskede derimod at styrke parlamentets rolle og give indrømmelser til puritanerne i religiøse spørgsmål.

BARN AF PURITANISMEN

Af de to dominerende religiøse retninger var det den puritanske lære, der kom til at spille en stor rolle for Isaac Newton. Gennem puritanismen blev Newton nemlig opdraget til, at hårdt arbejde og ydmyghed var vejen til frelse. En opdragelse, der førte skelsættende videnskabelige landvindinger med sig.

Isaac Newton blev født juledag 1642. Præcis samme år som den italienske astronom Galileo Galilei døde. Newton kom til verden på gården Woolsthorpe Manor i egnen Lincolnshire i England. Hans far døde, inden Isaac Newton blev født, og hans mor flyttede kort tid efter fødslen væk fra byen med sin nye mand. Hun efterlod den lille Isaac Newton hos hans bedstemor, der også boede i landsbyen Woolsthorpe. Bedstemoderen var puritaner og meget

troende. Isaac Newton voksede derfor op i et hjem, hvor Guds vilje blev åbenbartet gennem bibellæsning og moralsk mådehold.

Da Newton var 12 år, kom han på latinskole i den nærliggende by Grantham, hvor han blev undervist i antikkens klassiske tekster på latin og græsk. Til at begynde med var Isaac Newton ikke særlig glad for skolen. Han var ensom og en af de dårligste elever i klassen. Men da Newton opdagede, at han kunne vinde de andre elevers respekt ved at være dygtig, engagerede han sig i skolearbejdet, ligesom han i fritiden konstruerede vindmøller, vandure, drager, kornkværne, lamper og solure. Der gik ikke lang tid, før han var klassens dygtigste elev, og hans intellekt blev efterhånden kendt i lokalområdet.

VIDENSKABSMANDEN NEWTON

I 1661 blev Newton optaget på Trinity College i byen Cambridge for at studere teologi, matematik og filosofi. Den 19-årige Newton var to år ældre end de andre studerende, der startede, og han var betydeligt fattigere. Han skulle derfor arbejde som en slags tjener for sin vejleder og opvarte sine lærere ved middagsbordet. Men størstedelen af sin tid brugte Newton på at studere. Og som så mange andre steder i Europa blev der også i England undervist i det geocentriske verdensbillede (se boks s. 10).

Undervisningen i det ptolemæiske system interesserede imidlertid ikke Newton. Han var nemlig bekendt med de matematiske og astronomiske landvindinger, der var sket i 15- og 1600-tallet. Newton var derfor mere interesseret i Galileis observationer af, at der kredser måner omkring planeten Jupiter, ligesom han ivrigt studerede Galileis love om acceleration.

Også de nyeste matematiske opdagelser blev nærstuderet af Newton. Heriblandt den bog, der introducerede decimalbrøkerne i Europa, som den hollandske matematiker Simon Stevin (1548-1620) havde skrevet i 1585. Og det matematiske begreb logaritmer, som skotten John Napier (1550-1617) havde udtænkt i begyndelsen af 1600-tallet. Ved hjælp af logaritmerne erstattes multiplikation (gange) og division (dividere) med addition (plus) og subtraktion (minus). Før regnemaskinerne og computernes tid brugte man lo-



Newton med sit prisme. Hans forsøg med at bryde lyset førte til opdagelsen af, at hvidt lys består af farver. Før denne opdagelse troede mange, at det var prismet, der plettede lyset.

garitmetabeller med færdigberegnete logaritmer. Dermed blev det meget nemmere at udføre store astronomiske beregninger. Det var dog især den franske filosof René Descartes' (1596-1650) matematiske studier, der interesserede Newton. Descartes havde opfundet koordinatsystemet. Koordinatsystemet betød, at en ligning nu kunne udtrykkes som en kurve – og omvendt. Udover disse nye matematiske redskaber var Newton også draget af Descartes' teori om, at verden består af partikler i bevægelse. En teori, der kom til at påvirke Newtons hypotese om hvidt lys.

LYSET

På Newtons tid vidste man ikke, hvad hvidt lys bestod af. Den antikke filosof Aristoteles (384-322 f.Kr.) havde hævdet, at hvidt lys var uforanderligt, fordi det tilhørte den himmelske fysik. Og i 1664 udkom René Descartes' bud på, hvad lys er. Med udgangspunkt i en forklaring af lyset kortlagde bogen 'Verden eller traktat om lyset', hvordan hele verden fungerede. Descartes mente nemlig, at lys – ligesom alt andet i verden – bestod af partikler i bevægelse.

Newton var ikke enig med Descartes i, at alt i verden består af partikler i bevægelse. Men han var meget interesseret i Descartes' teori om, at lys består af partikler. Og i 1666 begyndte Newton selv at beskæftige sig med optikken, som er den del af fysikken, der omhandler lysets egenskaber.

Året før havde han fået sin bachelorgrad fra Trinity College, men samtidig havde pestepidemien ramt London, hvor 7.000 mennesker var døde. Da epidemien nåede Cambridge, lukkede universitetet, og Newton var taget til sin fødeby Woolsthorpe. Her opholdt han sig i halvandet år og gjorde nogle af sine mest banebrydende opdagelser. Og det var her, han begyndte at studere lyset.

Newton lod sollyset, der faldt ind fra vinduerne i hans hjem i Woolsthorpe, skinne igennem et prisme, som er en gennemsigtig kantet genstand. Prismet forårsagede en brydning af lyset – en spaltning af lyset i farver. Farverne fremstod i samme rækkefølge som far-

verne i regnbuen: rød, orange, gul, grøn, blå, indigo og violet. Foretog han det modsatte eksperiment: først at lade en lysstråle skinne igennem et prisme og så lade regnbuestrålens farver passere gennem endnu et prisme, så han, at farverne atter samlede sig i én hvid lysstråle. "Jeg har ofte med stor beundring set alle prismets farver blive bragt sammen og blandet igen, hvorved der bliver genskabt lys, som er helt og perfekt hvidt", skrev Newton.

Newtons eksperimenter viste altså, at hvidt lys kan brydes op i forskellige farver. Allerede på Aristoteles' tid havde man været klar over, at sollys, der passerer gennem et prisme bliver til farver. Imidlertid troede man dengang, at det skete, fordi prismet plettede sollyset. Man var altså overbevist om, at selve lyset var uforanderligt, og at det var prismet, der indvirkede på lyset. Men Newtons eksperimenter afslørede nu, at farverne var en del af lysets fysiske egenskaber.

Opmuntret af sine opdagelser arbejdede Newton i det stille videre med sine teorier om lyset og dets hastighed. I forlængelse af Descartes' teori om, at lys består af partikler i bevægelse, kom Newton i første omgang frem til, at lys bevæger sig hurtigere i vand end i luft. Dette er ikke korrekt. Men da Newton ikke havde de tekniske hjælpemidler til at måle lysets hastighed, kunne han ikke efterprøve hypotesen ved forsøg.

Omtrent samtidigt konkluderede den hollandske fysiker Christian Huygens (1629-1695) det stik modsatte. Han hævdede, at lys bevæger sig hurtigere i luft end i vand. I dag ved vi, at det er korrekt. Dette resultat var Huygens kommet frem til, fordi han mente, at lys består af bølger – og ikke af partikler. Disse to forskellige teorier udviklede sig til en bitter strid mellem de to fysikere. Måske derfor publicerede Newton endnu ikke sine resultater.

PROFESSOR I MATEMATIK

I 1667 vendte Newton tilbage til universitetet i Cambridge og til sin læremester Isaac Barrow (1630-1677). Barrow var professor i matematik og klar over, at Newton havde særlige matematiske ev-

ner. Barrow hjalp derfor den sky Newton i hans karriere, hvilket dog ikke altid var let.

For eksempel var Isaac Newton som enhver anden puritaner kritisk over for kirkelige autoriteter. Den puritanske videnskabsmand accepterede altså ikke uden videre kirkens lære – han ville selv undersøge baggrunden. Newton kom blandt andet frem til, at Treenigheden – Gud, Helligånden og Kristus – var et påfund, som Biblen ikke gav belæg for. Jesus Kristus var altså ikke guddommeligt, og den eneste, man burde tilbede, var derfor Gud, mente Newton. Det var en provokerende tanke, der andre steder i Europa allerede havde fået tragiske konsekvenser. For eksempel var den spanske præst og læge Miguel Serveto (1511-1553) blevet brændt på bålet som straf for at hævde, at Treenigheden ikke eksisterede. Måske derfor rådede Isaac Barrow den unge Newton til at holde sine tanker for sig selv. Ikke kun på Trinity College, men også generelt i England, der var præget af de religiøse stridigheder mellem puritanere og katolikker.

I 1669 trak Barrow sig tilbage som professor i matematik på Trinity College, og Newton blev hans efterfølger. For at besidde denne stilling skulle man normalt præstevies. Men på grund af Newtons forhold til religion sørgede Barrow for, at Newton ikke behøvede at følge denne skik.

Ved siden af sit arbejde som matematikprofessor eksperimenterede Newton med alkymi. Alkymi var forsøg på at fremstille guld. Det lykkedes aldrig nogen at finde formularen på guld, hvilket for os er en indlysende sandhed, da vi ved, at guld er et grundstof. Ikke desto mindre var alkymi grundlaget for moderne kemi, fordi disciplinen går ud på at undersøge og omdanne stoffer. De mange eksperimenter og forsøg var derfor med til at udvikle den nye naturvidenskabelige metode. Newtons alkymistiske eksperimenter betød, at han blev god til at fremstille instrumenter. En evne, der kom ham til nytte inden for astronomien. Der var nemlig brug for bedre teleskoper, som på dette tidspunkt blot var meget lange kikkerter.

SPEJLTELESKOPET

Det teleskop, som Galilei havde brugt til at observere stjernehimlen, var et såkaldt linseteleskop. Sådan hedder det, fordi billedet, man ser i kikkerten, dannes gennem to glaslinser, der er placeret i hver sin ende af instrumentet. Den linse, der sidder længst væk, og som indfanger den genstand, man vil se på, kaldes objektivet. Og den linse, der er vendt mod øjet, og som forstørrer det billede, som objektivet indfanger, kaldes okulalet. Det var altså to glaslinser – objektivet og okulalet – der hidtil havde viderebragt billedet i et teleskop.

Newtons spejlteleskop, der blev opfundet i 1671. Spejlteleskopet danner den dag i dag princip for opbygningen af astronomiske teleskoper.



Men denne konstruktion var ikke altid hensigtsmæssig. For efterhånden som flere observerede nattehimlen, blev der bygget større og større teleskoper. Og jo længere teleskopet blev, jo mere forstørrede længden det billede, man fik frem i okulalet. Takket være sine eksperimenter med lyset vidste Newton, at dette skyldtes lysets brydning i glaslinserne. Jo længere lyset skulle transporteres gennem kikkerten, jo større risiko var der for, at det blev uskarpt, når lysstrålerne blev samlet i okulalet.

Derfor byggede Newton i 1668 en helt ny form for teleskop. Han erstattede objektivet med et hulspejl i bunden af kikkerten og flyttede okulalet ud på siden af kikkerten. Hulspejlet samlede lysstrålerne og sendte dem via spejling i et lille glasprisme hen til okulalet. På denne måde kunne der bygges kortere teleskoper, der samtidig gjorde billederne skarpere. Newton havde dermed opfundet spejlteleskopet, der den dag i dag danner princip for opbygningen af astronomiske teleskoper.

Spejlteleskopet blev en stor succes, og Barrow kaldte Newton til London for at fremvise det for den engelske konge, Charles II. Herefter blev Newton i 1671 optaget i 'Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge', også kaldet Royal Society. Det var et selskab, som Charles II havde oprettet i 1660. Selskabet var for særligt dygtige videnskabsmænd, der med kongens økonomiske støtte fremmede den såkaldt nye filosofi. Sådan kaldte man den naturvidenskab, der ikke byggede på Aristoteles' lære.

Det var en stor ære at blive optaget i Royal Society, men det var også her, Newton løb ind i kritik. Nogle uger efter fremvisningen af spejlteleskopet sendte Newton en afhandling til Royal Society om lysets brydning. Heri præsenterede han sin teori om, at lys er en strøm af små partikler, der udsendes af alle lysende legemer. Teorien bragte Newton i konflikt med den engelske fysiker Robert Hooke (1635-1703), der også var medlem af Royal Society. Hooke tilhørte nemlig den gruppe af videnskabsmænd, der inspireret af hollænderen Christian Huygens mente, at lys udbredes som bølgebevægelser. Stridighederne mellem Newton og Robert Hooke førte til, at den psykisk skrøbelige Newton i 1678 fik et nervesammenbrud og nægtede at offentliggøre sine opdagelser om lyset.

I næsten hundrede år efter Newtons død eksisterede Newtons partikelteori og Huygens' bølgeteori side om side. I begyndelsen havde partikelteorien flest tilhængere, men efterhånden blev flere og flere overbevist om, at bølgeteorien var bedst, og i løbet af 1800-tallet var ingen længere i tvivl. En lang række eksperimenter viste, at bølgeteorien var den rigtige. Moderne kvantefysik giver dog også lyset partikelegenskaber, så i dag opfatter man lys som både en elektromagnetisk svingningsbevægelse og som en strøm af partikler. Derfor ligger både Newton og Huygens' teorier om lyset til grund for vores nutidige forståelse af lys.

TYNGDEKRAFTEN

På trods af uoverensstemmelserne mellem Newton og Hooke vedblev de to fysikere at være i kontakt. Og det skulle vise sig gavnligt for Newtons videre undersøgelser. Robert Hooke beskæftigede sig nemlig også med astronomi, og i 1679 sendte han et brev til Newton med sin teori om planeternes bevægelser. Brevet fik Newton til at gå videre med nogle tanker, han havde gjort sig i 1666, mens han opholdt sig i Woolsthorpe på grund af pestepidemien. Tanker, der ledte Newton frem til opdagelsen af tyngdekraften.

Historien – der formentlig er sand – lyder, at Newton i Woolsthorpe havde iagttaget et æble falde til jorden fra et træ i haven. Han fik den idé, at æblet falder mod jordoverfladen på grund af en gensidig tiltrækning mellem æblet og Jordkloden. Og denne kraft, tænkte Newton, er ikke nødvendigvis begrænset til Jordens umiddelbare nærhed. Ligesom der eksisterer en gensidig tiltrækning mellem Jorden og æblet, forestillede han sig, at der eksisterer en gensidig tiltrækning mellem Jorden og Månen. Denne gensidige tiltrækning var tyngdekraften.

Fra Newton fik idéen, til han udgav den endelige udformning af den matematiske teori for tyngdekraften, gik der mange år. Det skyldtes ikke mindst, at den matematiske formulering af teorien krævede helt nye matematiske metoder. En af disse var fluxionsregningen, som er Newtons form for differential- og integralregning. Fluxionsregning er grundlag for moderne infinitesimal- og differentialregning – regnemetoder, som kan bruges til at regne

med uendeligt små størrelser. Med fluxionsregningen blev det muligt at beregne øjebliksværdier af hastigheder og accelerationer under planeternes bevægelser.

Mens Newton regnede videre på sin teori, foretog Robert Hooke og den engelske astronom Edmund Halley (1656-1742) en række udregninger af Solens tiltrækning på planeterne. Halley var en ihærdig astronom, der blandt andet havde analyseret en række kometer. Ud fra uregelmæssigheder i observationerne havde han fundet ud af, at observationerne faktisk beskrev den samme komet. Ved hjælp af differentialregning forudsagde han, at kometen ville vende tilbage i 1758. Det gjorde den. Kometen hedder i dag Halleys komet og blev sidst set i 1986.

Hooke og Halley var kommet frem til, at Solen tiltrak planeterne med en kraft, der aftog med kvadratet på planetens afstand til Solen. Det vil sige, at hvis planetens afstand til Solen fordobledes, ville kraften kun være en fjerdedel af det, den var før. Deres resultater stemte imidlertid kun overens med planeternes bevægelser, hvis de antog, at planeterne bevægede sig i cirkler. Men den tyske astronom Johannes Kepler (1571-1630) havde jo bevist, at planeter bevæger sig i ellipser. Hooke og Halley manglede altså det matematiske bevis for, at deres udregninger også gjaldt for ellipsebevægelser. Hooke påstod over for Halley, at han havde det matematiske bevis, men bare ikke ville offentliggøre det. Rasende sendte Halley i 1684 et brev til Isaac Newton.

I brevet spurgte Halley Newton, hvilken banekurve en planet ville følge, hvis den var påvirket af en kraft, der aftog med kvadratet på planetens afstand til Solen. "En ellipse", svarede Newton med det samme. Han fortalte endvidere Halley, at han havde regnet beviset ud fire år tidligere, men siden havde forlagt papirerne på sit kontor. Halley overtalte nu Newton til at genskabe beviset, hvorefter Newton skrev en afhandling om udregningerne bag teorien. Den ni sider lange afhandling fik den latinske titel 'De motu corporum', hvilket betyder 'Om legemernes bevægelse'. Og da Halley havde læst afhandlingen, opfordrede han Newton til at skrive et mere udtømmende værk.

PRINCIPIA

Efter knap to års koncentreret arbejde lå manuskriptet klar til Newtons hovedværk, 'Philosophiae naturalis Principia mathematica', kendt som 'Principia'. På dansk betyder titlen 'Naturfilosofi-ens matematiske principper'. Det var et trebindsværk skrevet på latin, hvoraf de to første bind udkom i 1686 og det sidste i 1687.

I dette banebrydende værk redegjorde Newton for sine tre berømte bevægelseslove. Lovene beskriver sammenhængen mellem legemers bevægelse og de kræfter, de påvirkes af. På baggrund heraf udledte Newton den almene tyngdelov ud fra Johannes Keplers love for planetbanerne. Han leverede med andre ord den matematiske teori bag Keplers love for planeternes bevægelse om Solen.

Newton's første bevægelseslov om inerti:

Et legeme forbliver i en tilstand af hvile eller i en retlinet bevægelse med uforandret hastighed, med mindre det påvirkes af ydre kræfter

Denne tilbøjelighed til enten at forblive i hvile eller fortsætte bevægelsen kaldes inerti.

Hvis et æble falder mod Jorden, forbliver det ikke i hvile eller fortsætter med uforandret hastighed. Tværtimod accelererer æblets hastighed på vej mod jordoverfladen, fordi æblet er under konstant påvirkning af Jordens tyngdekraft – en ydre kraft. På samme måde stopper en fodbold med at trille, fordi gnidningskræfter fra luften og græsset – ydre kræfter – påvirker bolden.

Newton's anden bevægelseslov om kraft:

Kraften F på et legeme er lig med legemets masse m ganget med legemets acceleration a

Dette kan udtrykkes med ligningen:

$$F = m \cdot a$$

Hvis en skøjteløber på isen bliver trukket fremad med en konstant kraft, vil han bevæge sig hurtigere og hurtigere. Skøjteløberen vil altså accelerere. Jo større kraft, han trækkes med, jo mere vil han accelerere. Hvis skøjteløberen er meget tung – det vil sige har en stor masse (m) – bliver accelerationen mindre.

Newton's tredje bevægelseslov om aktion og reaktion:

Enhver aktion vil altid blive modsvaret af en lige så stor modsatrettet reaktion

Når en fodboldspiller sparker til en fodbold, påvirker han bolden med en kraft, men fodbolden påvirker fodboldspilleren med en



Newton under et æbletræ. Myten vil, at han opdagede tyngdekraften, da et æble faldt ned i hovedet på ham. Man mener dog, at han bare iagttog æblet falde ned fra træet.

nøjagtig lige så stor og modsatrettet kraft. Og når en person slår på en mur, påvirker han muren med en kraft, men muren påvirker også personen med en lige så stor og modsatrettet kraft.

Ved hjælp af disse tre bevægelseslove kunne Newton kortlægge tyngdekraftens virkning mellem to legemer. Han fandt ud af, at tyngdekraften mellem to legemer afhænger af legemernes masse og af afstanden mellem dem.

Newton's tyngdelov:

To legemer med masserne m_1 og m_2 adskilt af afstanden r vil hver især opleve en gensidig, tiltrækkende kraft F

Dette kan udtrykkes med ligningen:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$G = 6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ er den universelle gravitationskonstant.

Ifølge Newton's tyngdelov – også kaldet loven om massetiltrækning – tiltrækker alle genstande med masse hinanden med en kraft. Hvor stor denne kraft er, afhænger af de to genstandes masse og af deres indbyrdes afstand. Der er tale om én kraft, der gælder for begge legemer. Det vil sige, at selvom det ene legeme har en mindre masse end det andet, vil deres gensidige tiltrækningskraft være den samme.

For eksempel trækker to sten i hinanden med en kraft. Fordi stenenes masser er små, er denne kraft dog så lille, at vi ikke mærker noget til den. Derimod har Jorden en meget stor masse og derfor er tiltrækningskraft mellem Jorden og for eksempel en sten tilsvarende større. Denne kraft – tyngdekraften – er ansvarlig for, at mennesker og objekter holdes på Jorden.

Også i rummet gælder tyngdekraften mellem to legemer. For eksempel tiltrækker Jordens kraft Månen. Dette kaldes centripetal-kraften (centripetal betyder midtpunktsøgende). Og Månen tiltrækker samtidig Jorden med en lige så stor og modsatrettet kraft. Tiltrækningskraften mellem Jorden og Månen kombineret med en tilstrækkelig høj fart, som Månen har haft fra sin begyndelse, er det, der gør, at Månen ikke falder ned og heller ikke flyver væk – men netop holder sin bane omkring Jorden.

Princippet svarer til, at man kaster et legeme ud fra toppen af et bjerg. Legemets bevægelse vil være sammensat af en jævn bevægelse lige ud og et fald mod Jordens centrum. Kaster man hårdt nok vil legemet gå i bane om Jorden holdt fast af tyngdekraften præcis som Månen. Jo større legemets hastighed er, jo større vil banen være.

Det samme princip gør sig gældende for planeterne. Grunden til, at en planet holder sin bane omkring Solen, er, at der er en tiltrækkende kraft mellem Solen og planeten. Planeterne holder sig altså i deres baner omkring banernes centrum, Solen, fordi der eksisterer en gensidig tiltrækning mellem planeterne og Solen.

Selvom Newton's udregninger udelukkende byggede på observationer af Månen og de kendte planeter, insisterede han på at kalde sin teori for læren om den universelle tyngdelov. Han var med andre ord sikker på, at den gjorde sig gældende i hele universet. Newton mente nemlig, at "de egenskaber ved legemer, som hverken forstærkes eller svækkes, og som findes ved alle legemer inden for vort erfaringsområde, må anses for at findes ved alle legemer overhovedet".

Ifølge mange var denne antagelse yderst kontroversiel. De mente, at Newton havde indført en nærmest okkult kraft i fysikken. Over for disse indvendinger kunne Newton blot påpege de mange fænomener, der lod sig forklare ved hjælp af tyngdekraften. Og i det lange løb skulle denne form for argumentation også vise sig at være den mest holdbare. Newton's ønske om, at matematikken kunne forklare alle naturfænomener, blev opfyldt.

ISAAC NEWTON:
'PRINCIPIA', 1687

"Jeg ville ønske, at vi kunne udlede resten af naturens fænomener ud fra samme slags tankegang byggende på mekaniske principper, for jeg har mange grunde til at forvente, at de alle må afhænge af visse kræfter, ved hvilke legemers partikler på grund af hidtil ukendte årsager er enten trukket mod hinanden og hænger sammen i regulære figurer, eller frastødes eller trækker sig fra hinanden. Fordi disse kræfter er ukendte, har filosoffer hidtil angrebet udforskningen af naturen forgæves; men jeg håber, at principperne, der fremlægges her, vil kaste noget lys enten over dette eller en mere sand filosofisk metode."

Efter: Flemming Clausen m.fl.: 'Skabt til at skabe', Aschehoug 2001, s. 45.

TYNGDELOVENS ANVENDELSE

Lige siden antikken havde man troet, at Jorden havde form som en kugle. Men i 'Principia' hævdede Newton nu, at Jorden ikke er kuglerund, men derimod har form som en appelsin. Det skyldes – sagde Newton – at Jorden roterer om sin egen akse. Bortset fra en tynd skorpe er Jorden flydende. Jordens rotation om sin egen akse får Jorden til at slynge masse udad og bule ud ved ækvator og være fladtrykt ved polerne.

Gennem sine udregninger nåede Newton frem til, at Jorden har form som en ellipsoide med en faldtrykning i forholdet 1:230. En ellipsoide fremkommer ved at dreje en ellipse – en fladtrykt cirkel – 360 grader om sin egen akse.

Newtons teoretiske resultater stred imidlertid imod gradmålinger foretaget af den franske forsker Jacques Cassini (1677-1756) i Frankrig. Cassinis opmålinger af breddegraders længde viste nemlig, at Jorden var langstrakt mod polerne og blev trykket flad omkring ækvator ligesom en citron. Denne uenighed gav anledning til en voldsom videnskabelig strid.

Der måtte nye målinger til. Gennem gradmålinger i Lapland og Peru fra 1736-44 udført af ekspeditioner udsendt af det franske videnskabsakademi blev det påvist, at Newton havde haft ret. Jordens faldtrykning blev dog korrigeret til at være 1:300. Som følge af denne fladtrykning er Jordens radius 21 kilometer større ved ækvator end ved polerne.

Newton kunne nu også forklare, hvordan Solens tyngdekraft påvirkede Månens bane rundt om Jorden. Et fænomen, der kaldes perturbation. En perturbation er en ændring af en planets bane fremkaldt af en andens planets tiltrækning. Hvis Jorden og Månen alene bevægede sig rundt om hinanden, ville de bevæge sig i rene ellipser. Men Solens tiltrækningskraft påvirker både Månens bane og dens hastighed. Det forklarede de uregelmæssigheder, som den danske astronom Tycho Brahes (1546-1601) opmålinger havde afsløret hundrede år tidligere.

Et andet forhold, Newton kunne redegøre for ved hjælp af tyngdekraften, var tidevandet. Tidevand er en rytmisk hævnning og sænkning af havoverfladen over en periode på flere timer. Galilei havde troet, at tidevandet var forårsaget af Jordens bevægelse. Men Newton mente, at det var Månen og Solens tyngdekraft, der skabte tidevand på Jorden. Det har vist sig at være korrekt. I dag ved vi, at det primært er Månen, der er årsag til, at vi har højvande (flod) og lavvande (ebbe) på Jorden. Det skyldes, at Månens tyngdekraft trækker i Jordens vandmasser. Og vandet giver sig, fordi det er en væske. Da afstanden til Månen ikke er den samme overalt på Jorden, oplever det punkt på Jorden, der er tættest på Månen, den største massetiltrækning, og det punkt, der er længst væk, den mindste. Højvande følger således Månens færd rundt om Jorden. Newtons forklaring på tidevandet understregede teorien om, at Månen ydede en tiltrækning på Jorden. Det betød, at Månen havde nogle af de samme egenskaber som Jorden.

Newtons argumenter gjorde det endnu sværere for tilhængere af det geocentriske verdensbillede at opretholde idéen om, at Jorden var universets centrum, fordi den var unik og guddommelig. Newton havde vist, hvor langt matematik kunne bringe mennesket i opdagelsen af verden.

OPTICS

Da Newton havde udgivet 'Principia', hævdede hans gamle arvefjende Robert Hooke, at han burde tilskrives en del af æren for de videnskabelige landvindinger i værket. Newton blev rasende og truede med ikke at udgive tredje og sidste bind af værket. Det endte i stedet med, at Newton fjernede alle henvisninger til Hookes navn i sidste del af værket, der udkom i 1687.

Efter udgivelsen vendte Newton tilbage til sit arbejde som professor i matematik ved Trinity College på universitetet i Cambridge. Arbejdet involverede ham i de religiøse stridigheder, der havde præget England gennem hele 1600-tallet.

På Trinity College gav det sig udslag i, at den katolske konge James II i 1687 forsøgte at tildele en benediktinermunk doktorgraden, som er den højeste grad, man kan få på et universitet. James II ønskede at udnævne munken til doktor for at forbedre katolikernes stilling i England, efter at de gennem lovgivningen var blevet diskrimineret af hans far, Charles II. Men munken opfyldte ikke betingelserne for at få en doktorgrad. Derfor nægtede universitetet at udnævne munken. Newton var talsmand for de ansatte på Trinity College, og sammen med universitetets vicerector blev han stævnet for en domstol. Vicerectoren blev afsat. Men året efter blev James II tvunget til at flygte ud af landet, og vicerectoren fik sin stilling tilbage. Som tak for sin indsats blev Newton udnævnt til universitetets repræsentant i det engelske parlament. På dette tidspunkt var det normalt i England, at betydningsfulde institutioner såsom et universitet havde en repræsentant i parlamentet.

Newton gjorde sig imidlertid ikke specielt bemærket som parlamentsmedlem. Så vidt vides tog han kun ordet en enkelt gang, og da var det for at bede nogen om at lukke et vindue!

I 1696 blev Newton udnævnt til bestyrer af Den engelske Mønt. Det var den myndighed, der varetog den engelske møntfod – lovene for et lands møntenhed.

I England var der mange problemer med falskmøntneri, hvilket Newton med liv og sjæl gik op i at bekæmpe. Han tog personligt rundt på Londons mest berygtede værtshuse for at afhøre forbryderne – et arbejde, der bragte ham mange fjender. I 1699 blev han udnævnt til chef for Den engel-

ske Mønt, og i 1703 blev Isaac Newton udnævnt til præsident for Royal Society.

I 1703 døde Newtons arvefjende, Robert Hooke. Newton havde længe båret nag til Hooke ikke mindst på grund af deres uenighed om, hvorvidt lys består af partikler eller bølger. Derfor havde den psykisk skrøbelige Newton ikke villet arbejde videre med sine teorier om lys. Først året efter Hookes død udkom således Newtons andet store værk med den engelske titel 'Opticks, or, A treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light'. Det betyder på dansk 'Optik eller afhandling om lysets refleksioner, brydninger, afbøjninger og farver'. Ofte omtales bogen med den nuværende engelske skrivemåde blot som 'Optics'.

Værket var en udbygning af den afhandling, Newton havde skrevet til Royal Society i 1671, efter at han havde fremvist sit spejlteleskop. Men 'Optics' indeholdt også et afsnit om Newtons udvikling af fluxionsregningen, som han havde introduceret i 'Principia'.

Dette afsnit førte dog til stridigheder med Newtons ven, den tyske filosof og matematiker Gottfried Leibniz (1646-1716), der havde udgivet sin version af differentialregningen i 1685 – altså næsten ti år før udgivelsen af 'Optics'. Leibniz havde læst nogle af Newtons tidligere værker om matematik, og nu beskyldte de to matematikere hinanden for at have stjålet den andens resultater. Da både Newton og Leibniz havde lavet deres egne udregninger, er det ikke muligt at sige, at én af de to alene har opfundet differential- og integralregningen. De havde en bitter brevveksling, hvori især Newton ikke formåede at styre sin vrede. Selv efter Leibniz' død i 1716 vedblev Newton at kritisere ham i sine publikationer. Siden blev det en national strid: englænderne fortsatte derfor frem til 1800-tallet med at bruge Newtons fluxionsmetode, og tyskerne brugte Leibniz' metode. Og det er derfor Leibniz' metode og skrivemåde, der bruges i dag i matematikundervisningen i Danmark.

Værket 'Optics' var langt mere læsevenligt end 'Principia' og blev genoptrykt mange gange. Newton nåede at udarbejde både en anden og en tredje udgave, mens han passede sit arbejde for Royal Society og Den engelske Mønt. I 1722 blev Newton syg, og i 1725 flyttede han til landsbyen Kensington i håb om, at den rene luft

ville gøre ham godt. Landluften kunne dog ikke kurere den store videnskabsmands helbred, der blot blev værre. Isaac Newton døde i London den 20. marts 1727, 85 år gammel.

ARVEN EFTER ISAAC NEWTON

Johannes Kepler havde med sine love om planetbanernes bevægelser slået fast, at planeterne bevæger sig i ellipser rundt om Solen. Han havde altså forklaret, hvordan solsystemets bevægelser fungerede. Men selvom han havde en idé om, at der udgik en kraft fra Solen, havde Kepler ikke været i stand til at give en definition af denne kraft. Han manglede nemlig de matematiske instrumenter.

Det blev Newton, der udviklede de matematiske redskaber i form af differential- og integralregningen. Han brugte disse matematiske opdagelser til at forklare en række naturfænomener, som Brahe, Kepler og Galilei havde prøvet kræfter med uden at finde det præcise svar.

Det grundlæggende svar var den universelle tyngdelov. Tyngdeloven fastslog, at alle legemer med masse tiltrækker hinanden med en kraft. Hvor stor, denne kraft er, afhænger af de to legemers masse og af deres indbyrdes afstand. Det er denne gensidige kraft mellem Solen og Jorden, der fastholder Jorden i dens bane om Solen. Ligesom det er den gensidige tiltrækningskraft mellem Jorden og Månen, der holder Månen fast i sin bane om Jorden. Desuden kunne tyngdeloven bruges til at beregne og forudsige planeternes fremtidige bevægelser. Sammen med differentialregningen åbnede det op for endnu flere muligheder inden for den såkaldte himmelmekanik.

De matematiske instrumenter, Newton havde skabt, kunne også bruges til at løse mere jordnære problemer. Matematikken blev teknologiens følgesvend. Kikkerter, pumper, dampmaskiner og anlægning af kanaler og veje kunne raffineres ved hjælp af matematiske beregninger.

Men Newtons opdagelser havde ikke kun teknologisk og matematisk betydning. Når alt i universet kunne forklares ved hjælp af matematik, blev der med ét mindre behov for en guddommelig kraft. Nu behøvede mennesket ikke ty til religiøse spekulationer for at forklare naturfænomener og himmellegemernes bevægelser. Newton fik derved stor betydning for det opgør med kirkens monopol på viden, der var en del af 1700-tallets oplysningstid.

Udviklingen frigjorde den enkelte. For når et menneske ikke længere havde brug for religiøse forklaringer i sin dagligdag, var personen også mindre tilbøjelig til at lade kirken og religionen bestemme, hvad der var en moralsk korrekt levevis. Men et frigjort individ er også i fare for at være et menneske uden mening. Hvilken betydning havde mennesket i universet, hvis Jorden ikke var unik og skabt af Gud? Hvad var da meningen med eksistensen?

Disse spørgsmål kunne matematikken ikke give svar på. Som Newton selv udtrykte det: "Jeg ved ikke, hvad verden tænker om mig, men selv synes jeg kun, jeg er som en dreng, der leger ved havets bred og morer sig med at finde en sten, der er glattere, eller et sneglehus, der er smukkere, end man plejer at finde dem, medens sandhedens store ocean stadig ligger uudforsket foran mig."