Danskernes Historie Online
Danske Slægtsforskeres Bibliotek

Dette værk er downloadet fra Danskernes Historie Online

Danskernes Historie Online er Danmarks største digitaliserings-projekt af litteratur inden for emner som personalhistorie, lokalhistorie og slægtsforskning. Biblioteket hører under den almennyttige forening Danske Slægtsforskere. Vi bevarer vores fælles kulturarv, digitaliserer den og stiller den til rådighed for alle interesserede.

Støt vores arbejde – Bliv sponsor

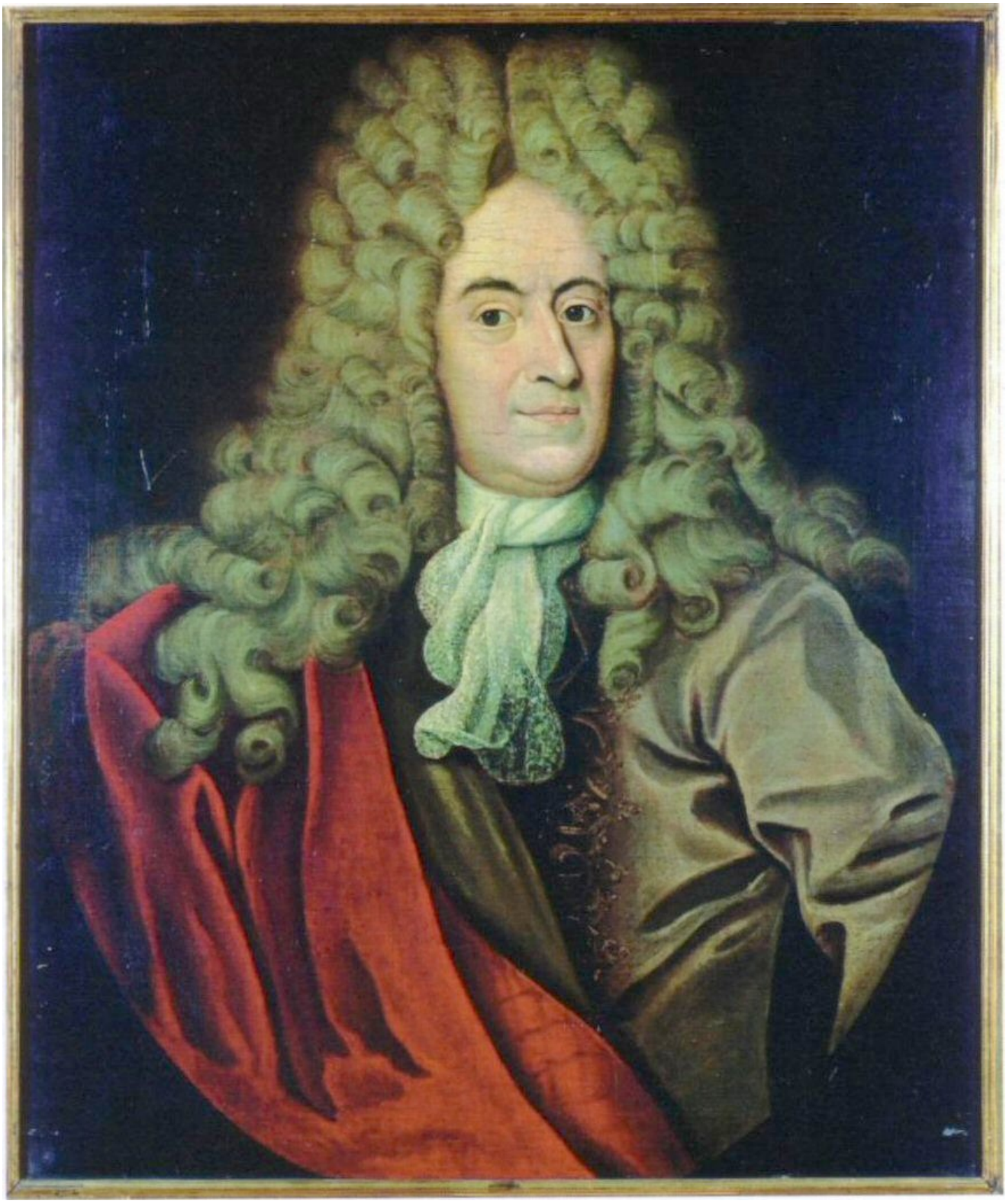
Som sponsor i biblioteket opnår du en række fordele. Læs mere om fordele og sponsorat her: https://slaegtsbibliotek.dk/sponsorat

Ophavsret

Biblioteket indeholder værker både med og uden ophavsret. For værker, som er omfattet af ophavsret, må PDF-filen kun benyttes til personligt brug.

Links

Slægtsforskernes Bibliotek: https://slaegtsbibliotek.dk
Danske Slægtsforskere: https://slaegt.dk



Meddelelser
fra
Ole Rømers Venner
2010

Meddelelser udgives af foreningen Ole Rømers Venner og udkommer hvert år med historiske artikler inden for foreningens virke. Forslag til emner modtages gerne.

Hjemmeside: www.oleroemer.dk

Ansvarshavende redaktør:
Ole Henningsen
olehen@vejrmolle.dk

Redaktør:
Jørgen Lyngbye
jin@c.dk

Teknisk redaktør:
Steen Lærke
Steen.Laerke@vip.cybercity.dk

Meddelelser i løssalg: 75 kr. inkl. porto.

Redaktionen af dette nummer er sluttet 14. september 2010.

ISSN: 1604 - 9322

Meddelelser

fra

Ole Rømers Venner

18. årgang 2010

Meddelelser 2010 5

Fra Kopernikus til Einstein. Opfattelsen af Solsystemet gennem tiden. 6

Bestyrelsen i Ole Rømers Venner

Ole Henningsen (formand)
Præstehusene 67
2620 Albertslund
Tlf.: 43 45 29 33 E-mail: olehen@vejrmolle.dk

Steen Lærke (kasserer & teknisk redaktør)
Hegnsvang 4
2820 Gentofte
Tlf.: 20 42 00 69 E-mail: steen.laerke@vip.cybercity.dk

Jørgen Lyngbye (redaktør)
Sofiegade 24
1418 København K
Tlf.: 32 57 64 77 E-mail: jin@c.dk

Karin Tybjerg
Kuhlausgade 7
2100 København Ø
Tlf.: 39 20 79 51 E-mai!: karin.tybjerg@cantab.net

Palle Munk Jensen
Kuglens Kvarter 9
2640 Hedehusene
Tlf.: 46 56 29 90 E-mail: greveogjensen@mail.dk

Finn Bo Frandsen
Bispebjerg Bakke 18 N, l. th.
2400 København NV
Tlf.: 21 43 19 65 E-mail: fbf@danskbyggeri.dk

Søren Andersen (suppleant)
Virketvej 17
4863 Eskildstrup
Tlf.: 54 43 80 54 E-mail: andersen@ateliera.dk

Meddelelser 2010

Den 19. september er det 300 år siden Ole Rømer døde. Vores opfattelse af solsystemet og universets opbygning har ændret sig utrolig meget siden, fordi mere nøjagtige instrumenter og smartere matematiske metoder har givet os større indsigt.

Årets Meddelelser fra *Ole Rømers Venner* giver en oversigt over de opdagelser, der har bidraget til vores ændrede verdensbillede og den modstand, der fra kirkelig side har været mod alle verdensbilleder, der ikke betragter jorden som universets centrum og stjernehimmelen som uforanderlig. Det var faktisk først i 1992, at pave Johannes Paul II ophævede inkvisitionsdommen over Galilei.

Det var som bekendt Ole Rømer, der som den første viste, at lyset bevæger sig med en endelig hastighed og beregnede dens størrelse. Nu godt 300 år senere har en anden dansk fysiker, Lene Vestergaard Hau vist, at lyshastigheden under specielle forhold kan falde fra 300.000 kilometer/sekund til 17 meter/sekund og at man med en speciel laser kan standse en lysimpuls helt og starte den igen. Hvad det kommer til at betyde for fremtidens data- og kommunikationsteknologi, kan vi kun gætte på, men der var helt sikkert ikke nogen der på Ole Rømers tid forestillede sig, at man ville anvende kendskabet til lysets hastighed til at måle afstande og hastigheder med.

Ole Henningsen, ansv. redaktør

Fra Kopernikus til Einstein

Opfattelsen af Solsystemet gennem tiden

Jørgen Lyngbye

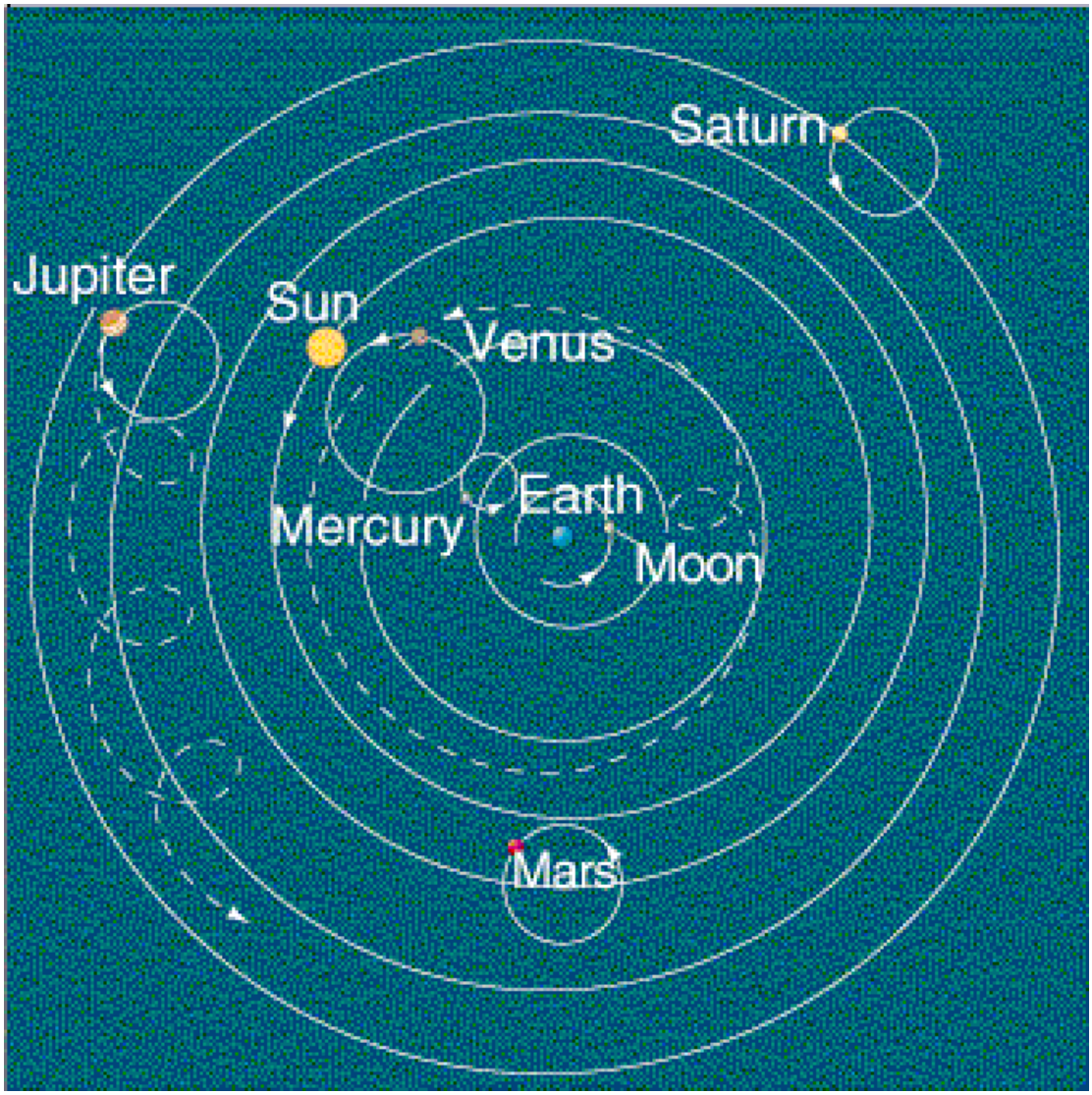
Claudius Ptolemæus (ca. 85-165) var den mest indflydelsesrige græske astronom og geograf på den tid. Han udførte astronomiske observationer i Alexandria i årene 127-141. Hans geocentriske teori dominerede opfattelsen af verdensbilledet i omkring 1400 år.



Claudius Ptolemæus

Med Jorden i centrum forklarede han de uregelmæssige planetbevægelser ved mindre cirkler, såkaldte epicykler, på de større cirkulære omløbsbaner. Alle himmellegemer var fastholdt af gennemsigtige (dvs. usynlige), roterende kugleskaller. Jordens centrale placering var dikteret af traditionelle, religiøst forbundne opfattelser.

Når Ptolemæus og før ham Aristoteles (384-322 f.Kr.) havde Jorden i centrum for universet, var det ikke fordi de mente, at den var ”centrum”, men fordi de troede, at Jorden, som det tungeste object, måtte befinde sig i centrum.



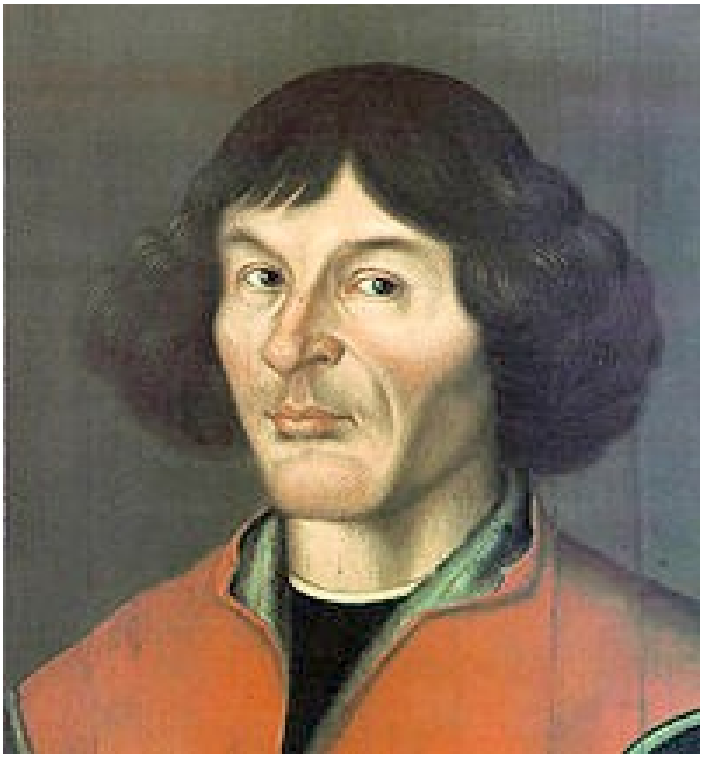
Ptolemæus' verdensbillede

Nicolaus Kopernikus (1473-1543) var kannik i Frauenburg i Polen (senere Østpreussen). Han var kendt som en lærd astronom længe før hans nye teori om verdensbilledet blev offentliggjort. Da pave Leo X i 1514 opfordrede teologer og astronomer til at bidrage til en præcis fastlæggelse af påsken, blev Kopernikus inddraget i arbejdet med at "måle" året og månederne præcist ud fra observationer af himmellegemer, især planeter.

Hans nye ideer om verdensbilledet var allerede udformet omkring 1506, men han brugte tiden på grundige astronomiske undersøgelser og observationer. Kun korte meddelelser udkom i hans levetid.

Kopernikus kunne under henvisning til sine observationer påvise, at problemer og unøjagtigheder ved Ptolemæus' system kunne løses ved at sidestille Jorden med de øvrige planeter og anbringe den på sin egen "kugleskal" (cirkelbane) omkring Solen, som nu overtog Jordens hidtidige rolle som "verdens centrum". Omtrent samtidig med den pavelige opfordring, udarbejdede Kopernikus et dokument, *Commentariolus* ("Den lille kommentar"), hvori han argumenterer for sit heliocentriske verdenssystem, med (tilsyneladende) stillestående fiksstjerner alleryderst.

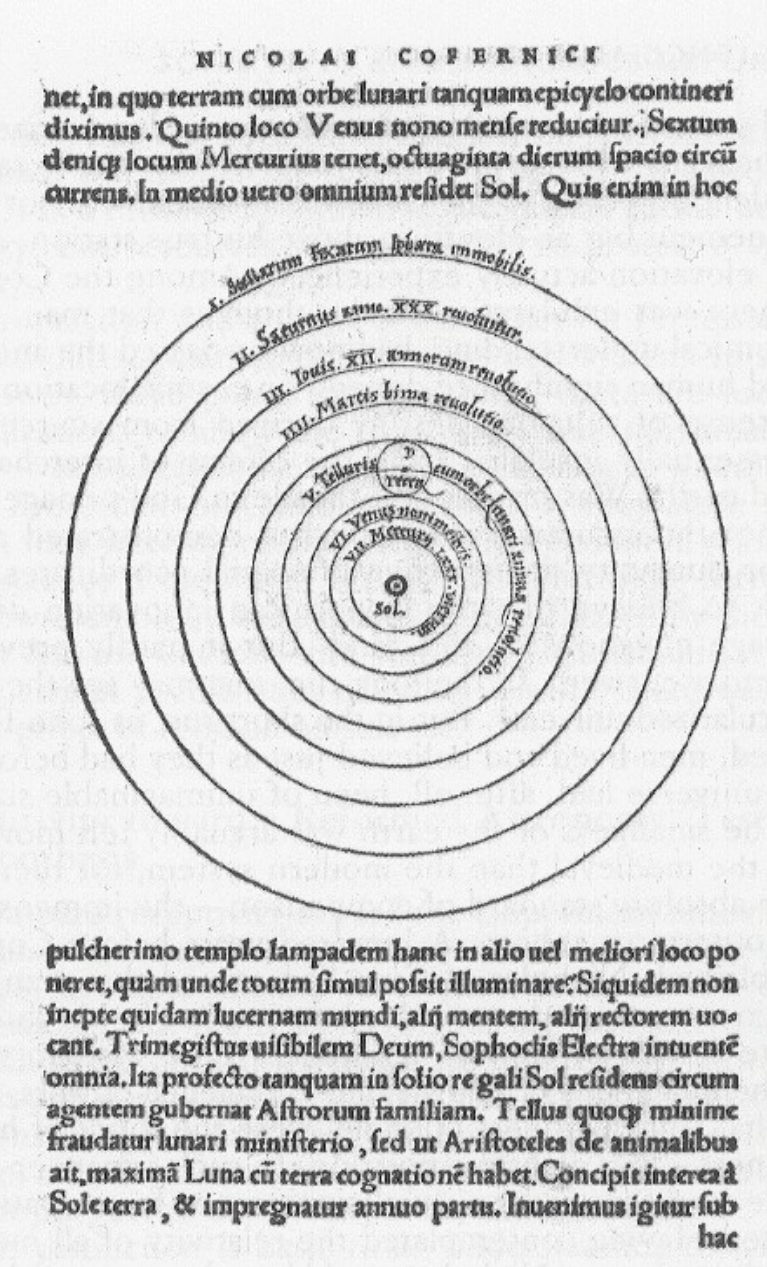
Kopernikus' verdenssystem vakte megen modstand, og senere opnåede han blandt andet den tvivlsomme ære, at hans *Commentariolus* senere blev opført på *Index librorum prohibitorum*, den katolske kirkes liste over forbudte bøger.



Nicolaus Kopernikus (1473-1543)

Hans skelsættende bog, *De revolutionibus orbium coelestium* (Om de himmelske sfærers omdrejning) blev først publiceret i 1543 umiddelbart før hans død. Han nåede at læse et udkast på sit dødsleje, men vidste ikke, at hans ven teologen Andreas Osiander (1498-1552) tilføjede et forord, der antydede, at verdensbilledet i bogen ikke nødvendigvis var sandt eller sandsynligt, men at det kunne bruges til beregningsmæssige formål. Det var sikkert ikke Kopernikus' mening, men årsagen til, at mange læsere af

bogen, som ikke var opmærksomme på Osiander som forfatter til forordet, fik den opfattelse, at Kopernikus ikke selv havde troet på hypotesen.


NICOLAI COPERNICI

net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur. Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circũ currens. In medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc

pulcherimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco ponere t, quàm unde totum simul possit illuminare? Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij rectorem uocant. Trimegistus uisibilem Deum, Sophocles Electra intuentẽ omnia. Ita profecto tanquam in solio regali Sol residens circum agentem gubernat Astrorum familiam. Tellus quoq; minime fraudatur lunari ministerio, sed ut Aristoteles de animalibus ait, maximã Luna cũ terra cognationẽ habet. Concipit interea à Sole terra, & impregnatur annuo partu. Inuenimus igitur sub hac

Kopernikus: De revolutionibus orbium coelestium

Det var en dristig og genial hypotese, der stred mod religionens dogmer. Kopernikus fjernede Jorden og menneskeheden fra den ophøjede position som centrum for universet, den havde haft siden den græske oldtid. Det var, som anført, ikke noget, der passede den katolske kirke, der senere bragte Galilei for inkvisitionen for at fremme opfattelsen af, at Jorden bevæger sig rundt om Solen.

Men måske var der ikke noget specielt ophøjet ved at være centrum i universet, og for det andet var det ikke den katolske kirke, som i begyndelsen førte an i anklagerne mod Kopernikus.

Kopernikus var opmærksom på, at hans tanker kunne bringe ham i vanskeligheder, fordi de var i modstrid med den katolske kirkes opfattelse af verdensbilledet.

Nogle har tolket dette, som om Kopernikus længe var bange for at offentliggøre sine teorier, men det er næppe tilfældet. Og hvis han frygtede kritik, var det formentlig ikke fra kirken, men snarere fra naturforskerne. Man kan mærke sig, at han allerede i *Commentariolus* havde præsenteret sin hovedide som et verdensbillede med Solen i centrum. Derfor var der i videnskabelige og kirkelige kredse et godt kendskab til Kopernikus' teorier, og de blev bl.a. præsenteret i et foredrag i Rom i 1533, hvor pave Clement VII og adskillige kardinaler deltog med stor interesse. I 1536 opfordrede kardinal Nicholas Schönberg endog Kopernikus til at offentliggøre sin teori.

Det var dog først, da den østrigske matematiker og astronom Georg Joachim Rheticus (1514-1574) besøgte Kopernikus i 1539, at det heliocentriske verdensbillede opnåede mere udbredt kendskab. Rheticus udgav året efter et lille skrift, *Narratio Prima*, om Kopernikus' teori, og han fik Kopernikus til at færdiggøre *De Revolutionibus Orbium Coelstium.*

Mange astronomer i Europa anerkendte således allerede i Kopernikus' levetid, at det heliocentriske verdensbillede var den mest omfattende beskrivelse af himmellegemernes bevægelse siden Ptolemæus. De brugte tilmed Kopernikus' tabeller og metoder, men var dog meget skeptiske over for en Jord, der bevæger sig, da det stred mod gældende videnskabsteorier. Martin Luther betegnede Kopernikus som en tåbe, der forkastede al astronomisk viden.

I det endelige univers var retningerne ”op” og ”ned” veldefineret. ”Ned” var retning mod centrum, ”op” var bort derfra i retning mod de sfærer, hvor stjernerne befandt sig. De fire elementer, jord, luft, vand og ild havde hver deres foretrukne plads i dette univers. Da sten faldt mod jorden, var den tunge Jord naturligvis trukket mod centrum, mens ild, som var let, blev trukket mod himlen. Denne teori forklarede, hvorfor Jorden, som det var tydeligt for enhver, var i hvile, fordi der var intet, som trak den væk.

Kopernikus havde derfor et videnskabeligt forklaringsproblem. Og da hans system i første omgang ikke var mere nøjagtigt end det gamle, blev det ikke opfattet som andet end et smart matematisk trick. Tycho Brahe (1546-1601) holdt fast i, at Jorden var i centrum, dog med den forskel i forhold til Ptolemæus, at planeterne kredsede om Solen, som kredsede om Jorden. Tycho Brahe kendte Kopernikus' teori, men mente med fuld ret, at et geocentrisk system passede bedre med hans observationer.

Tycho Brahes elev Johannes Kepler (1571-1630) havde derimod allerede, formentlig i 1590'erne, accepteret det heliocentriske system, for selv om det ikke var mere nøjagtigt, havde det visse indlysende fordele, da det eksempelvis lettere forklarede den "zigzagbevægelse", som Mars udviste i forhold til Jorden. Med udgangspunkt i Tycho Brahes detaljerede observationer var Kepler i 1619 i stand til at formulere, at planeternes bevægelser i det heliocentriske system ikke var cirkulære, men elliptiske. Og med Newtons bevægelseslove offentliggjort i 1687 fik man det teoretiske fundament, der endeligt afgjorde sagen til fordel for det heliocentriske verdensbillede.

Det er værd at erindre, at før Newton fandtes der ingen god beskrivelse af kraft og gravitation, så Kopernikus overvejede ikke om banerne var elliptiske. Cirkulære baner indebar efter den tids opfattelse en vis form for (guddommelig) stabilitet.

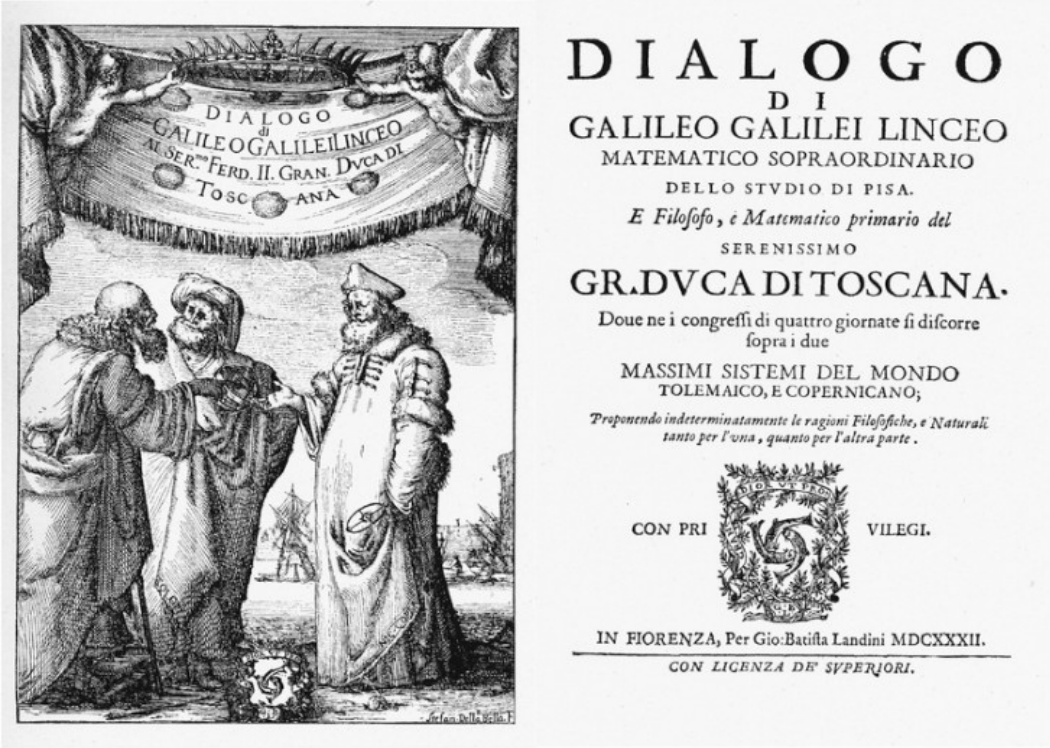
Kopernikus' teori om Jordens bevægelse ikke kun var et videnskabeligt problem, det var, som antydet, også et teologisk problem. Både kristne, jødiske og arabiske lærde havde en opfattelse af, at centrum egentlig kunne være det dårligste sted i universet, fordi det var her alt skidt blev samlet. Renæssancefilosoffen Giovanni Pico della Mirandola (1463-1494) beskrev bl.a., at mens Gud havde fyldt den underste verden med skidt, affald og dyr af enhver slags, boede ånderne og de evige sjæle derimod i himlen. I Dantes "Den Guddommelige Komedie" findes helvede i det absolutte centrum i Jordens indre. I overensstemmelse med Aristoteles' verdensbillede er der her ikke brandvarmt, men derimod iskoldt.

Efterhånden blev den katolske kirke dog opmærksom på, at det kunne have konsekvenser for læsningen af Bibelen, hvis Jorden bevægede sig. For ikke at lade protestantismen, der havde fremgang, være alene om kritikken, gik den katolske kirke derfor i 1616 til aktiv modstand mod det heliocentriske verdensbillede.

Protestanterne var de første til at kritisere Kopernikus, men også de første til at opgive modstanden på grund af de overvældende beviser. Den katolske kirke, som var en tungere og mere bureaukratisk organisation, fastholdt sin modstand længere. Efter inkvisitionen i 1616 havde fastslået, at det både ud fra et filosofisk og teologisk synspunkt var forkert at hævde, at Jorden var i bevægelse, kom Kopernikus' værker på listen over forbudte bøger. Den katolske kirke fjernede ikke sit forbud mod Kopernikus' bog før i 1822 og den forblev på den forbudte liste indtil 1835.

Hvornår opstod myten om, at centrum for universet var et særligt priviligeret sted? Det skete formentlig først omkring 100 år efter Kopernikus' død, dvs. i sidste halvdel af 1600-tallet, efter at videnskaben for længst havde accepteret det heliocentriske system. En forklaring kan være, at Solens position i centrum efterhånden blev tillagt en ophøjet position og at det derved kunne se ud som om Jorden var blevet detroniseret. Det var dog heller ikke i dette tilfælde kirken, som førte an i disse synspunkter, men i første omgang bl.a. franske forfattere som eksempelvis Savinien de Cyrano de Bergerac (1619-1655) og Bernard le Bouvier de Fontenelle (1657-1757). I oplysningstiden fik denne myte større udbredelse. I begyndelsen af 1800-tallet kunne Goethe fastslå, at en af de opdagelser, der har haft den største betydning for menneskets selvopfattelse, skyldes Kopernikus.

I 1610 havde Galileo Galilei (1564-1642) bekendtgjort resultatet af sine teleskopiske observationer, der efter hans opfattelse bekræftede Kopernikus' hypotese. Han fik i begyndelsen nogen støtte fra den katolske kirke, men i 1616 blev han beordret til ikke at diskutere det heliocentriske system før han havde definitive fysiske beviser. Dette antydede han at have i 1632 med udgivelsen af bogen *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (Dialog om de to vigtigste verdenssystemer), men beviset her var ikke korrekt, da det var baseret på, at Jordens bevægelse forårsager tidevand, mens Galilei afviste Keplers korrekte påstand om at månen er årsag til tidevand som "nytteløs fiktion".



Galilei: Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo

Som omtalt blev Galilei i 1633 anklaget for at nægte at adlyde den katolske kirke. Han accepterede et kompromis gående ud på, at han var gået for langt. Men af ukendte grunde afviste Inkvisitionen en sådan aftale og rejste en hård anklage, hvorefter Galilei blev tvunget til at afsværge det heliocentriske verdensbillede.

Galilei levede sine sidste ni år i en komfortabel husarrest, hvor det var ham forbudt at skrive mere om sin ide. Men han gjorde noget af sit bedste arbejde i den periode, hvor han i 1638 udgav *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze* (Diskurser og matematiske demonstrationer vedrørende to nye videnskaber). Det blev Galilei's sidste bog og en slags videnskabeligt testamente, som dækker en stor del af hans arbejde i fysik i løbet af de sidste tredive år. Her beskrev han kinematik omfattende legemers bevægelse. Det blev et udgangspunkt for Newton.

Først i 1992 ophævede pave Johannes Paul II inkvisitionsdommen over Galilei.

Isaac Newtons hovedværk, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Naturfilosofiens matematiske principper) udkom i tre bind i 1687. Newton publicerede yderligere to udgaver I 1713 og 1726.

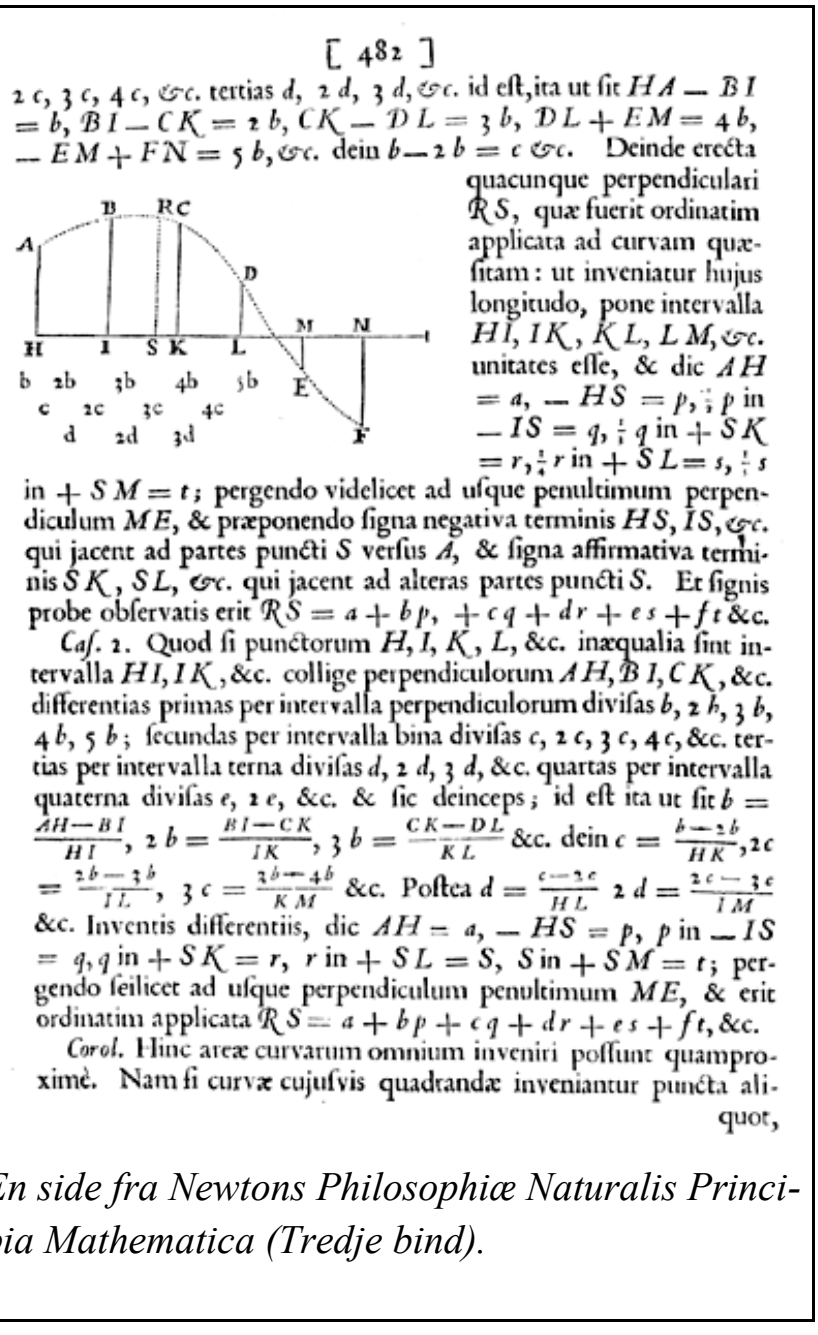


Isaac Newton (1643-1727)

Principia, publiceret på latin, beskriver Newtons bevægelseslove, som udgør grundlaget for klassisk mekanik. Endvidere loven for universal gravitation og en udledning af Keplers love for planetbevægelse (som Kepler fandt empirisk).

Principia betragtes som et af de vigtigste arbejder i videnskabens historie. Newton udviklede og benyttede matematiske metoder i Principia, der dog ikke ganske svarer til moderne matematik.

I forordet til Principia skrev Newton (på latin): ”*[…] Rational Mechanics will be the science of motions resulting from any forces whatsoever, and of the forces required to produce any motions, accurately proposed and demonstrated [...] And therefore we offer this work as mathematical principles of philosophy. For all the difficulty of philosophy seems to consist in this [...] from the phenomena of motions to investigate the forces of Nature, and then from these forces to demonstrate the other phenomena”.*



[482]

2 c, 3 c, 4 c, &c. tertias d, 2 d, 3 d, &c. id eſt, ita ut ſit $HA - BI = b$, $BI - CK = 2b$, $CK - DL = 3b$, $DL + EM = 4b$, $-EM + FN = 5b$, &c. dein $b - 2b = c$ &c. Deinde erecta quacunque perpendiculari RS, quæ fuerit ordinatim applicata ad curvam quæſitam: ut inveniatur hujus longitudo, pone intervalla HI, IK, KL, LM, &c. unitates eſſe, & dic $AH = a$, $-HS = p$, $\frac{1}{1}p$ in $-IS = q$, $\frac{1}{1}q$ in $+SK = r$, $\frac{1}{1}r$ in $+SL = s$, $\frac{1}{1}s$ in $+SM = t$; pergendo videlicet ad uſque penultimum perpendiculum ME, & præponendo ſigna negativa terminis HS, IS, &c. qui jacent ad partes puncti S verſus A, & ſigna affirmativa terminis SK, SL, &c. qui jacent ad alteras partes puncti S. Et ſignis probe obſervatis erit $RS = a + bp + cq + dr + es + ft$ &c.

Caſ. 2. Quod ſi punctorum H, I, K, L, &c. inæqualia ſint intervalla HI, IK, &c. collige perpendiculorum AH, BI, CK, &c. differentias primas per intervalla perpendiculorum diviſas b, $2b$, $3b$, $4b$, $5b$; ſecundas per intervalla bina diviſas c, $2c$, $3c$, $4c$, &c. tertias per intervalla terna diviſas d, $2d$, $3d$, &c. quartas per intervalla quaterna diviſas e, $2e$, &c. & ſic deinceps; id eſt ita ut ſit $b = \frac{AH-BI}{HI}$, $2b = \frac{BI-CK}{IK}$, $3b = \frac{CK-DL}{KL}$ &c. dein $c = \frac{b-2b}{HK}$, $2c = \frac{2b-3b}{IL}$, $3c = \frac{3b-4b}{KM}$ &c. Poſtea $d = \frac{c-2c}{HL}$ $2d = \frac{2c-3c}{IM}$ &c. Inventis differentiis, dic $AH = a$, $-HS = p$, p in $-IS = q$, q in $+SK = r$, r in $+SL = S$, S in $+SM = t$; pergendo ſcilicet ad uſque perpendiculum penultimum ME, & erit ordinatim applicata $RS = a + bp + cq + dr + es + ft$, &c.

Corol. Hinc areæ curvarum omnium inveniri poſſunt quamproximè. Nam ſi curvæ cujuſvis quadrandæ inveniantur puncta aliquot,

En side fra Newtons Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (Tredje bind).

Principia forklarede så mange aspekter om verdens natur, at Newtons metoder nærmest blev synonymt med begrebet ”fysik”. Det præger stadig den måde hvorpå fysikken bliver praktiseret i nutiden. I dag kalder vi de aspekter, som Newton understreger, for analyse og syntese.

Principia er et værk på tre bind, men består egentlig af to bøger, hvor den første var så omfattende, at den blev delt i to bind. De tre bind er:

1. *De motu corporum* (Om legemers bevægelse) er en matematisk analyse fulgt af udsagn om de grundlæg-

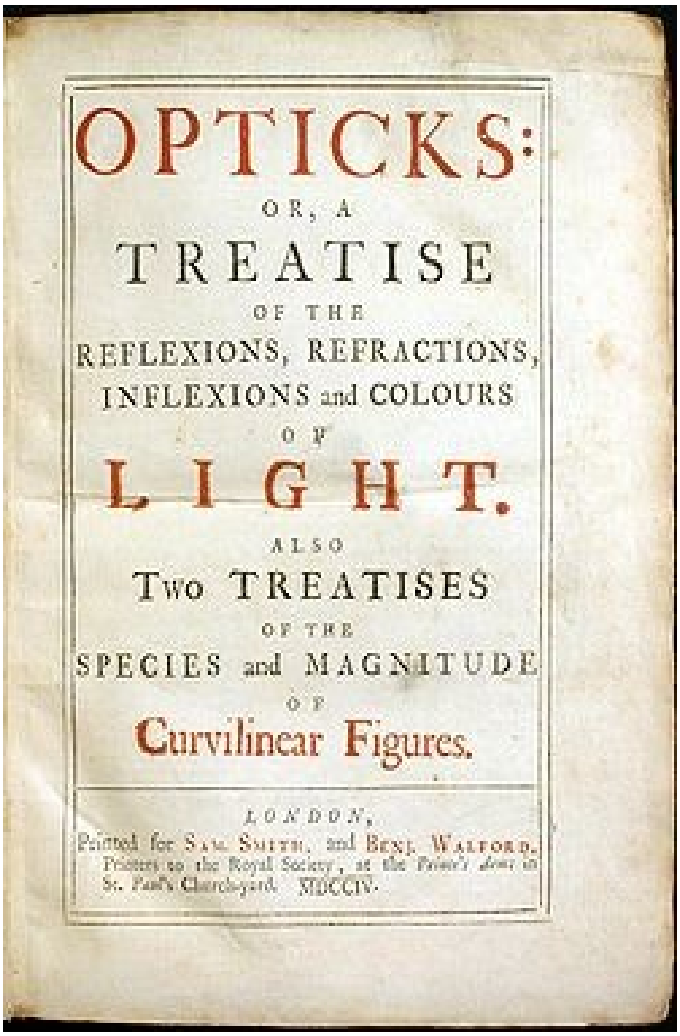
gende definitioner for dynamik og de første deduktioner baseret på disse. Bindet indeholder også fremlæg og beviser, som kun har lidt at gøre med dynamik som sådan, men som demonstrerer hvilke slags problemer, som kan løses med matematisk analyse.

2. Dette er fortsættelsen af det første bind. Det omhandler forskellige områder som bevægelse gennem et medium, som skaber friktion, beregning af former som giver mindst friktion, beregning af lydens hastighed og omtale af eksperimentelle test af resultaterne.

3. *De mundi systemate* (Om verdens system) er et "essay" om universel gravitation, som bygger på fremlæggene i de første bøger og bruger dem på de bevægelser, som kan observeres i solsystemet, dvs. regulariteterne og irregulariterne i månens kredsløb, udledning af Keplers love, appliceringer på Jupiters måners bevægelser, på kometer og på tidevandet (mange af disse data kom fra John Flamsteed). Bindet tager også den harmoniske oscillator i tre dimensioner i betragtning samt love for bevægelse under forskellige kræfter.

Principia omhandler primært faste legemer i bevægelse, først under en række betingelser og hypotetiske love mht. kraft såvel med som uden modstand. Således findes kriterier for ud fra observationer at afgøre, hvilke kraftlove der opererer i de fænomener, som observeres. Tredje og sidste bog omhandler fortolkning af bevægelser af planeter og deres satellitter. Det påvises, hvordan astronomiske observationer kan bekræfte tyngdeloven (med en nøjagtighed af høj af standard på den tid). Endvidere estimater af den relative masse for de kendte store planeter og for Jorden og Solen. En række effekter af tyngdekraften beskrives som f.eks. på månens indflydelse på tidevandet, og der angives det teoretiske grundlag for mange fænomener mht. kometer og deres aflange, nær-parabolske baner.

Newtons andet hovedværk *Opticks*, publiceret på engelsk i 1704, beskriver lysets refleksion, refraktion og farver. *Opticks* er et studie i lysets natur og de forskellige diffraktionsfænomener, som Newton betegnede "*inflexion of light"*. I denne bog gives en fuldstændig beskrivelse af Newtons forsøg med lysets farvespredning med prismer. Han viser hvordan farver opstår fra selektiv absorption, refleksion eller transmission af forskellige dele af det indfaldene lys. Optik videreføres herved på et nyt og højere niveau.


OPTICKS:
OR, A
TREATISE
OF THE
REFLEXIONS, REFRACTIONS,
INFLEXIONS and COLOURS
OF
LIGHT.
ALSO
Two TREATISES
OF THE
SPECIES and MAGNITUDE
OF
Curvilinear Figures.
LONDON,
Printed for SAM. SMITH, and BENJ. WALFORD,
Printers to the Royal Society, at the Prince's Arms in
St. Paul's Churchyard. MDCCIV.

Newtons Opticks fra 1704

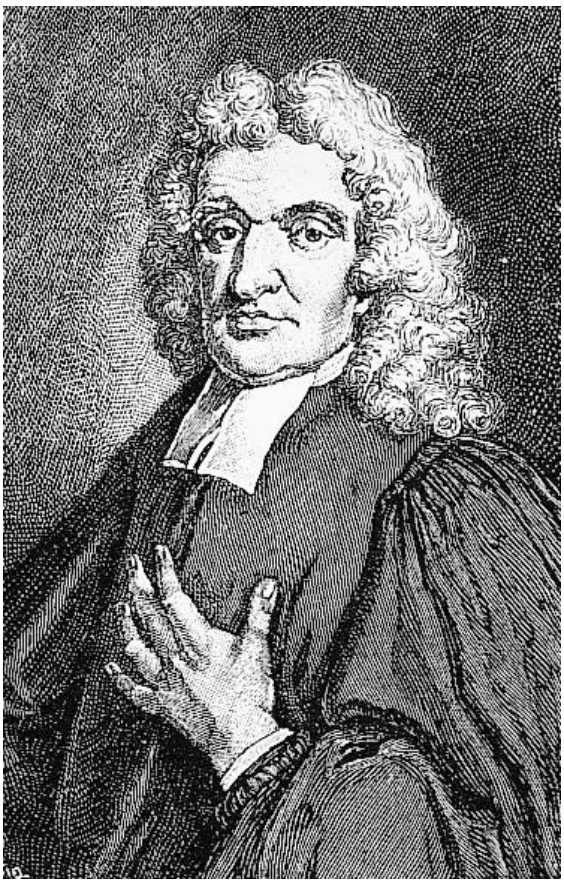
Opticks adskiller sig fra *Principia.* Sproget er ikke latin og stoffet er ikke præsenteret i en ren geometrisk form med proportioner bevist matematisk ud fra andre proportioner, lemmaer (hjælpesætninger, der indgår som led i bevisførelsen for en større sætning) eller aksiomer. Beviserne fremgår af eksperimenter. Her er mange eksempler på "kunsten" at udføre eksperimenter og drage korrekte konklusioner ud fra disse. Hans multiprisme konfigurationer blev en forløber for moderne laserteknologi næsten 300 år senere. En første rapport var publiceret i 1672.

Newtons opdagelser i *Principia* og optik udløste en langvarig strid med Newtons samtidige Robert Hooke (1635-1703), der hævdede prioritet på flere af opdagelserne. Det er muligvis årsagen til, at *Opticks* først udkom efter Hookes død.

Flere af Newtons samtidige ydede en betydningsfuld indsats inden for astronomi og fysik.

John Flamsteed (1646-1719) blev Englands første kongelige astronom (*Astronomer Royal*) i 1675 under kong Charles II.

Hans hovedopgave blev at udarbejde astronomiske tabeller til navigationsformål. I 1676 forestod han opførelsen af Greenwich-observatoriet nær London.



John Flamsteed (1646-1719)

John Flamsteed beregnede solformørkelser i 1666 og 1668. Han var ansvarlig for de tidligst registrerede observationer af planeten Uranus, som han forvekslede med en stjerne. Den første af disse observationer var i december 1690.

Flamsteed udarbejdede et stjernekatalog af hidtil uset nøjagtighed, baseret på kikkertobservationer. Først i 1725 var kataloget helt færdigt.

Flamsteed huskes tillige for sin konflikt med Newton, som var formand for *Royal Society* på den tid. Flamsteed nægtede at offentliggøre arbejdet, der var bestilt af kongen, men i 1712 offentliggjorde Newton og Halley en foreløbig version af Flamsteeds *Historia Coelestis Britannica* uden at kreditere forfatteren. Nogle år senere lykkedes det Flamsteed at opkøbe mange eksemplarer af bogen, som han brændte offentligt foran *Royal Observatory*.

I 1725 blev Flamsteeds færdige version af *Historia Coelestis Britannica* udgivet posthumt redigeret af hans hustru Margaret. Her er indeholdt Flamsteeds observationer

med et omfattede katalog af 2.935 stjerner af langt større nøjagtighed end noget tidligere arbejde. Dette blev betragtet som det første betydelige bidrag fra Greenwich Observatoriet og afløste Tycho Brahes katalog fra 1590'erne. De numeriske stjernebetegnelser i kataloget anvendes stadig og er kendt som Flamsteedbetegnelser. I 1729 udgav Flamsteeds hustru et stjerneatlas, *Atlas Coelestis* tegnet ud fra hans observationer.



Edmond Halley (1656-1742)

Edmond Halley (1656-1742) var en engelsk astronom, fysiker, matematiker og meteorolog.

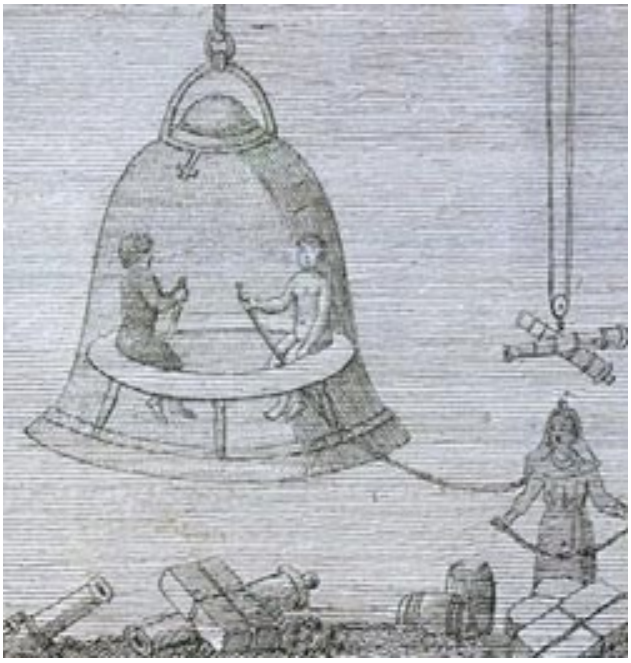
Halley forudsagde korrekt, at den komet, som var iagttaget i 1456, 1531, 1607 og 1682, ville vise sig igen i 1759.

Kometen viste sig som beregnet og er kendt som Halleys Komet. Desværre døde Halley i 1742 og så derfor aldrig sin forudsigelse blive bekræftet.

Halley var banebrydende for vor forståelse af mange forskellige emner og fænomener: Vindforhold, tidevand og stjernernes bevægelser samt navigation, statistik, kartografi og handel. Han opfandt dykkerklokker, som kunne gøre det muligt at udforske dybhavet.

Halley var af den fejlagtige overbevisning, at Jorden bestod af koncentriske kugler på størrelse med de inderste planeter, som hver kunne indeholde liv.

(Kilde: Matts Roos: Introduction to Cosmology, Wiley 2003)



Halleys dykkerklokke med luftforsyning, der kan fornyes ved at sende tunge tønder med luft ned fra overfladen.

Ole Christensen Rømer (1644-1710) var dansk astronom. Han deltog i revision og renskrift af Tycho Brahes observationsprotokoller, som kong Frederik III ville udgive efter at have købt dem af Johannes Keplers arvinger. Desværre døde kongen inden materialet i 1670 var klar til trykken.

I 1671 ankom astronomen Jean Picard fra observatoriet i Paris for at stedbestemme Uraniborg til brug for udnyttelse af Brahes observationer. Stedbestemmelsen skulle finde længdeforskellen fra Paris ved observationer af en formørkelse af Jupiters inderste måne. Picard viste stor interesse for Brahes protokoller og tilbød at lade dem trykke i Paris, hvorfor Rømer fik besked om at rejse med og sørge for projektets gennemførelse. De rejste fra Danmark i 1672. Trykprojektet gik det ikke så godt med, og der foreligger ikke andet end et prøvetryk.

Under sit Pariserophold bestemte Rømer lysets hastighed, som han kaldte for ”Lysets Tøven”. Opdagelsen blev forelagt *L'Académie française* den 21. november 1676. Rømer beskrev det forhold, at beregnede man tid for formørkelsen af en Jupi-

termåne, når jorden var nærmest Jupiter, fik man et resultat, der var 10-11 minutter kortere, end når jorden var fjernt fra Jupiter. Rømers opdagelse mht. lyshastigheden blev publiceret i en artikel i *Journal des Sçavans* i 1676. Et af Rømers resultater blev senere anvendt af Newton og Huygens.

Ved hjemkomsten til København i 1681 blev han professor ved universitetet og bestred samtidig stillingen som leder af Rundetårns Observatorium. I København indrettede han fra 1691 i sin bolig et privat observatorium. Desuden oprettede han i 1704 et observationssted i Pilenborg ved Vridsløsemagle, *Observatorium Tusculanum.*

Han konstruerede meridiankredsen, der er et af astronomiens vigtigste instrumenter, men fik det ikke publiceret. I årene 1687 til 1688 rejste Rømer til England, Holland og Frankrig.

Foruden de astronomiske studier og sin undervisning på universitetet fik han offentlige stillinger inden for politiet og retsvæsenet.

De fleste af Rømers notater gik til under Københavns brand i 1728. Hans *Adversaria* (notesbog) er bevaret.

I 1706 foretog Rømer en række observationer på landobservatoriet *Tusculanum,* som udgør den mest spændende del af hans astronomiske virke. I tre døgn (latin: *Triduum*) fra den 20. oktober kl. 4 eftermiddag til den 23. oktober kl. 6 eftermiddag registrerede Rømer og mindst to assistenter alle fiksstjerne- og planetpassager. Rømer nedskrev en del kopier af målingerne, som derfor overlevede branden. Yderligere er en del af Rømers korrespondance bevaret.

Rømer blev sat i gang med at reorganisere eller nydefinere et system for mål og vægt samt sikre en kontrol og justering af enhederne. De ensrettede mål skulle gælde for hele landet og blev indført ved en forordning i 1683.

Det blev af Kong Christian V pålagt Rømer at lede overgangen fra den julianske til den gregorianske kalender i Danmark. Forordningen blev udstedt den 28. november 1699 efter Christian V's død den 25. juli samme år. Selve overgangen fandt sted den 18. februar 1700, hvor datoen blev ændret til 1. marts. Da påsken ikke kunne fastlægges lokalt, måtte den forhandles med Leibniz i Regensburg, hvor den tyske rigsdag holdt møder. Men Leibniz fastholdt, det var umuligt at overbevise samfundet om det praktiske i Rømers forslag, så derfor blev fastsættelsen af påsken uden hensyntagen til månens stilling.

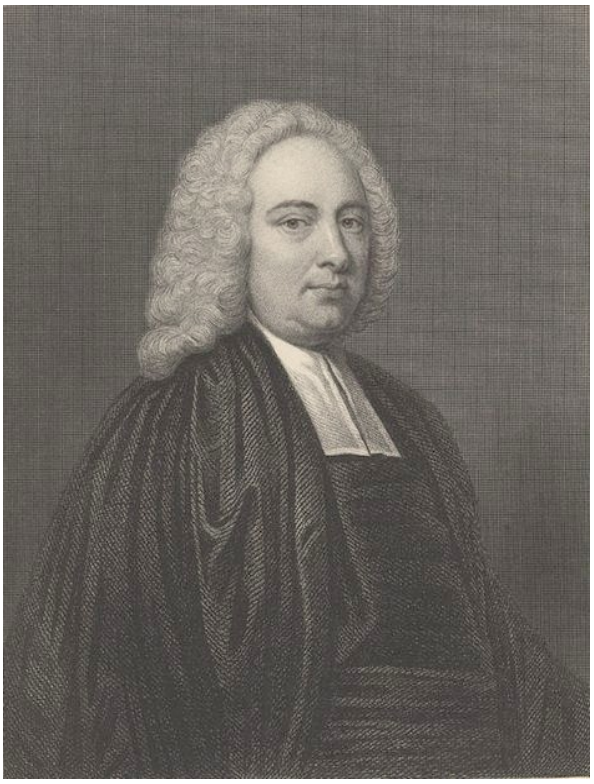
Rømers instrumentkonstruktioner og øvrige opdagelser blev først publiceret af hans elev, Peder Nielsen Horrebow (1679-1764), i værket *Basis Astronomiæ* i 1735. Herfra kendes indretningen af Rømers observatorium.



Model af Observatorium Tusculanum

Rømers bestemmelse af lysets hastighed er forbavsende nær den moderne værdi (i nutidige enheder): 225.000 km/sekund (1676). Bradley fandt i 1728 ved stellare observationer 280.000 km/sekund og Fizeau i 1849 313.000 km/sekund. Fizeau lod lys tilbagekaste fra et spejl gennem et roterende tandhjul. En moderne værdi er 299.793 km/sekund (1968).

James Bradley (1693-1762) var en engelsk astronom og *Astronom Royal* fra 1742. Bradley er bedst kendt for to grundlæggende opdagelser inden for astronomi, aberration af lys (1725-28), og nutation af Jordens akse (1728-48). Disse opdagelser blev kaldt "de mest geniale og nyttige i dette århundrede" af Jean Baptiste Joseph Delambre, astronom, astronomihistoriker og direktør for observatoriet i Paris, i 1821 i hans historie om astronomi i det 18. århundrede.

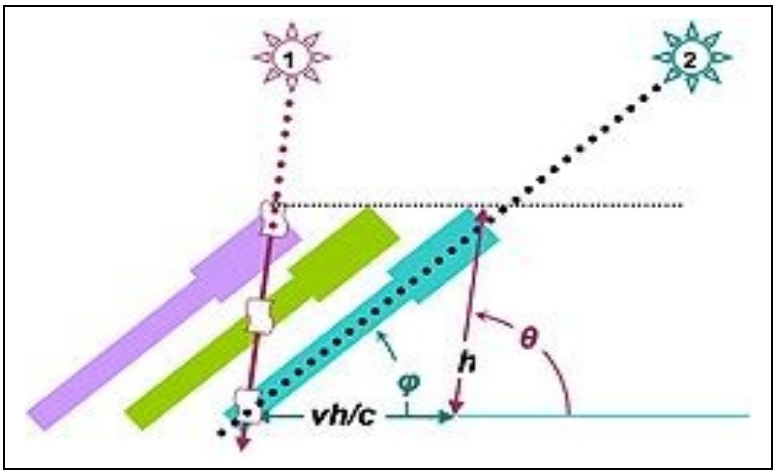


James Bradley 1693-1762)

Aberration *af lys (også betegnet astronomisk aberration eller stellar aberration) er et astronomisk fænomen, der på grund af jordens årlige bevægelse omkring solen og lysets endelige hastighed giver en tilsyneladende bevægelse af himmellegemer (stjerner) i forhold til deres rigtige placering.*

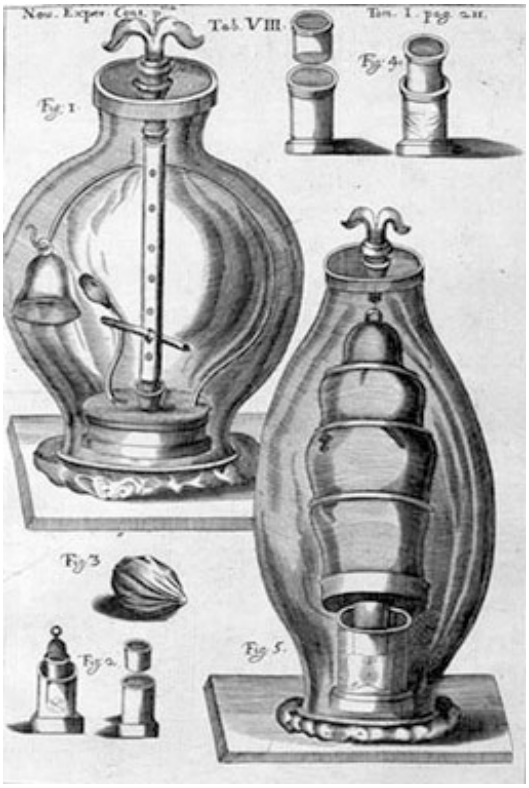
Nutation *(fra Latin: nūtāre, at nikke) er en lille uregelmæssig ("nikkende") bevægelse i omdrejningsaksen for et aksialt symmetrisk objekt, såsom en planet (Jorden) eller en gyro.*

Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819-1896) var en fransk fysiker. Ud over bestemmelse af lyshastigheden er han kendt for brug af en kondensator som et middel til at øge effektiviteten af en induktionsspole samt undersøgelser af dopplereffekten. Han blev medlem af *Académie des Sciences* i 1860.



Stellar aberration. Position 1 er den korrekte position. På grund af aberrationen ses stjernen fejlagtigt i position 2.

Robert Boyle (1627-1691) var en irsk-engelsk filosof, kemiker og fysiker. Han er mest kendt for i 1662 at have fremsat Boyles lov. Selv om hans kemiske forskning havde rod i alkymien, regnes han ofte for den første moderne kemiker. Boyles lov (også kaldet Boyle-Mariottes lov) foreskriver, at produktet af tryk og volumen er



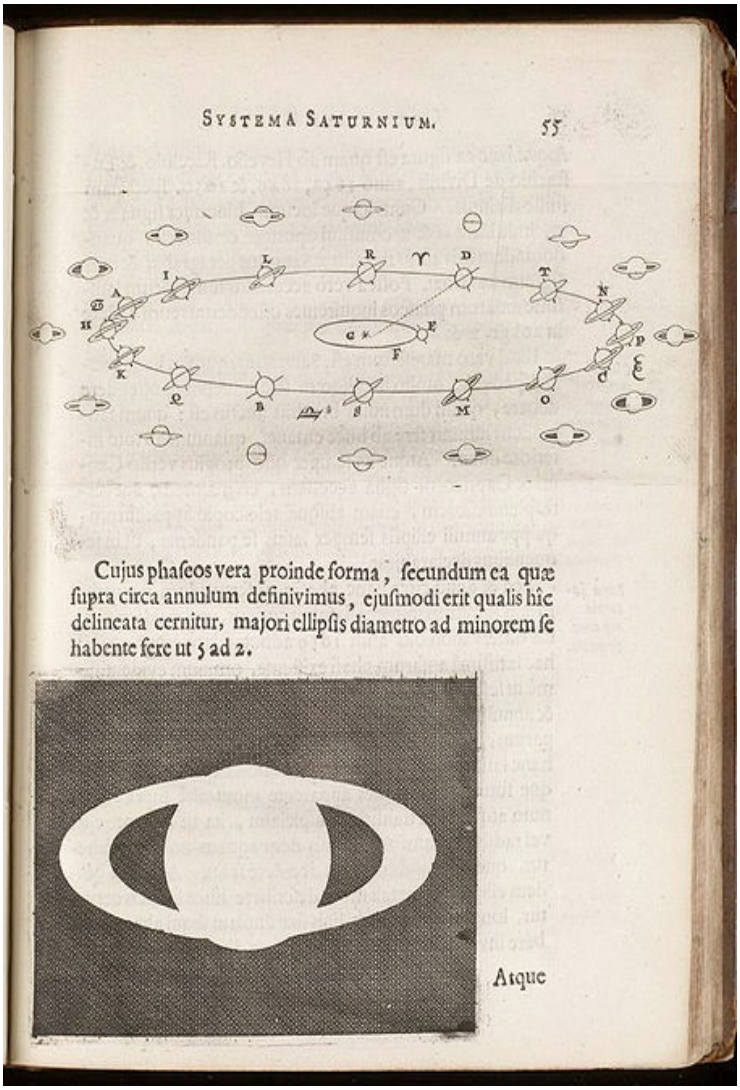
konstant for en idealgas, forudsat at temperatur og stofmængde er konstant.

Robert Boyle demonstrerede, at vakuum ikke transmitterer lyd. En klokke i vakuum kan ikke høres.

Boyle var en ivrig apparatkonstruktør bistået af sin samtidige Robert Hooke, som gennem længere tid var ansat hos den velhavende Boyle.

Han studerede også teologi og skrev afhandlinger herom.

Christiaan Huygens (1629-1695) var en fremtrædende hollandsk astronom, matematiker og fysiker. Huygens gennemførte omfattende teleskopiske observationer. I 1655 opdagede han, at Saturn var omgivet af en massiv ring: ”[…] en tynd, flad ring, der ikke rørte [planeten] noget sted og som synes elliptisk”. Idet han benyttede et teleskop, som han selv havde konstrueret, opdagede han også den største af


SYSTEMA SATURNIUM. 55

Cujus phaſeos vera proinde forma, ſecundum ea quæ ſupra circa annulum definivimus, ejuſmodi erit qualis hîc delineata cernitur, majori ellipſis diametro ad minorem ſe habente fere ut 5 ad 2.

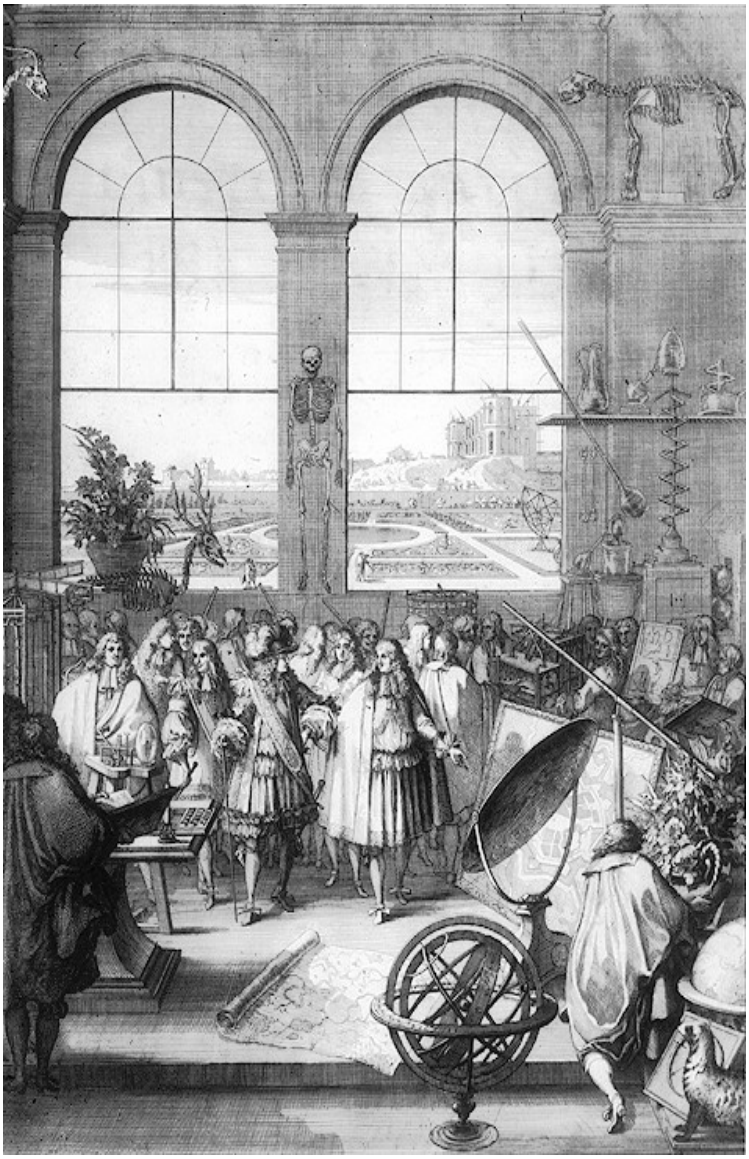
Atque

Huygens' Systema Saturnium 1659

Saturns måner Titan. Samme år iagttog og tegnede han Orion Nebula. Tegningen findes i hans værk *Systema Saturnium* fra 1659. Med sit gode teleskop kunne han identificere stjerner i denne nebula og i dag bærer den lyse inderste del navnet ”Huygens' Region”. I 1661 observerede han sammen med andre astronomer planeten Merkurs bane over Solen.

I 1673 publicerede Huygens en matematisk analyse af penduler i værket *Horologium Oscillatorium sive de motu pendulorum.* Hans opfindelse af penduluret var af stor betydning for astronomien.

Huygens gennemførte tillige studier over optik og undersøgelser af centrifugalkraft. Han mente, at lys udbredes som bølger, i modsætning til Newton, der opfattede lys som en partikelstrøm. Det blev senere afgørende for forståelsen af bølge-partikel dualiteten.



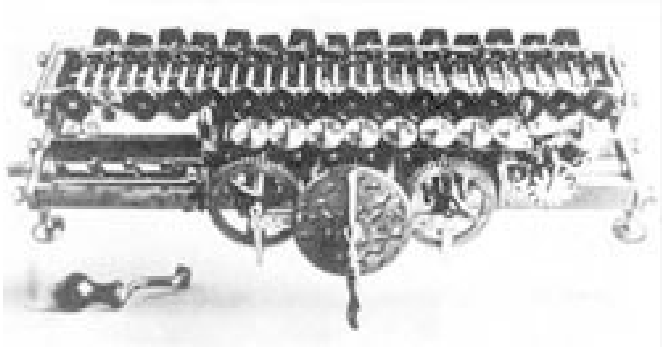
Kong Ludvig XIV og minister Colbert besøger Cassini og Huygens i det nye observatorium i Paris i 1671.

Huygens blev medlem af *Royal Society* i 1663. I 1666 flyttede han til Paris, hvor han tillige blev medlem af det franske *l'Académie des Sciences et fondation de l'observatoire*. Huygens flyttede tilbage til Haag i 1681 på grund af alvorlig sygdom. I 1685 ønskede han at vende tilbage til Frankrig, men ophævelsen af *L'edicte de Nantes* var en hindring.

Huygens troede på eksistensen af liv andre steder i universet. I 1695 kort før sin død færdiggjorde han en bog *Cosmotheoros,* som diskuterede dette problem. Han mente, at andre planeter lignede Jorden og at vand i flydende form var væsentligt for liv. Vand måtte derfor have forskellige egenskaber på kolde og varme planeter.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) er ikke kun kendt som filosof, men også som en indflydelsesrig matematiker og naturforsker.

Som matematiker opdagede Leibniz differential- og integralregningens grundlæggende læresætninger. Newton havde dog formuleret dem allerede 10 år tidligere, men Leibniz havde ikke noget kendskab til den opdagelse. Det medførte en langvarig strid med Newton. Leibniz nåede også at fremstille en regnemaskine.



Regnemaskine konstrueret af Leibniz.

Den kunne beregne kvadratrødder og simple aritmetiske funktioner.

I en periode var Leibniz involveret i det politiske liv og arbejdede for forskellige konger og fyrster. Hans indsats her fik dog ikke nogen stor betydning.

Et særligt træk i Leibniz' filosofi er hans tanker om, at de materielle ting som f.eks. stole og borde ikke består af atomer. Selv om et atom er ekstremt lille, kan det stadig deles, så snart det fylder noget. Han mente, at de delelige ting måtte være sammensat af udelelige ting. Derfor mente han, at verden i sidste ende består af størrelser, der ikke fylder noget, og som derfor ikke kan deles. Disse størrelser kaldte Leibniz for monader. Tankerne om monaderne er nok de vanskeligste at forstå. De blev beskrevet i *Monadologie* i 1714. Leibniz mente, at hvis den materielle verdens essens er udstrækning, som Descartes beskrev i sine Meditationer, ville dette medføre, at de materielle legemer kunne deles i en uendelighed.

Leibniz' filosofiske overvejelser fik betydning for hans forståelse af, hvem Gud er. Han mente, at der fandtes gudsbeviser, som kunne gøre det helt klart, at Gud er til. I historiens løb har mange spurgt, hvorfor det onde findes, hvis Gud både er almægtig

og god. Men Gud er både god og almægtig, og derfor har han skabt en verden, der er så god, som det overhovedet er muligt, mente Leibniz. Men man kan ikke forstå, hvad der er godt, hvis man ikke kender det onde. Man må forstå, at alle de lidelser, der findes i verden, er helt nødvendige, for de gør, at man kan sætte pris på det gode. Derfor er det ikke muligt at forestille sig, at Gud kunne have skabt en verden, der er bedre end denne.

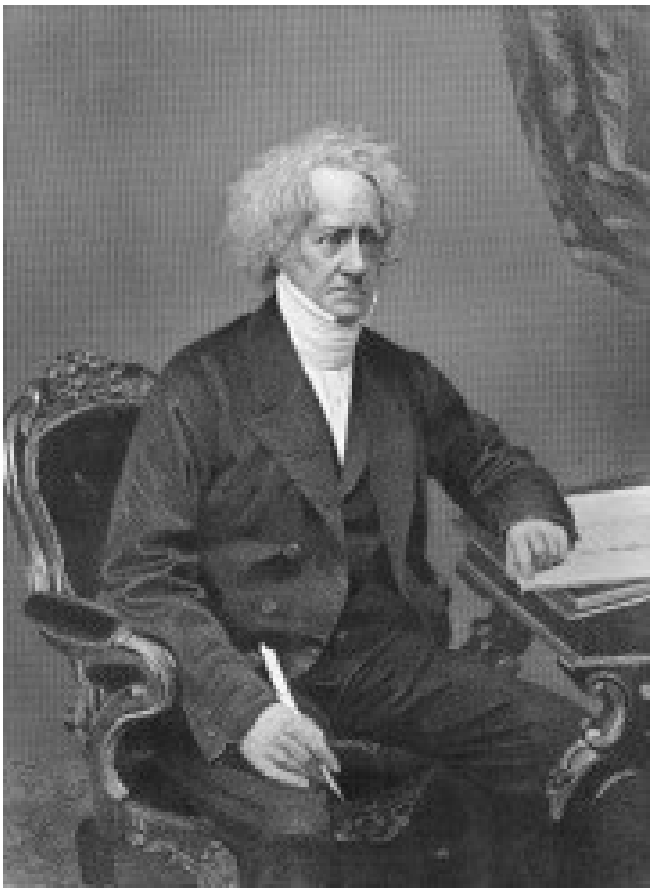
Lige fra skabelsen har Gud kendt hele verdenshistoriens forløb og vidst præcist, hvad det enkelte menneske ville tænke, mene og tro. Alligevel mente Leibniz, at mennesket handlede fuldstændig frit. Gud har valgt at skabe den enkelte, fordi han vil vælge at handle på en bestemt måde. Leibniz påstod, at Gud kunne have skabt mennesket anderledes, så det ikke ville synde, men det ville have betydet, at verden blev mindre perfekt end den er nu.

Leibniz mente, at den menneskelige fornuft i modsætning til sanserne kan give et helt præcist indblik i hvad virkeligheden er. Han mente, at en hvilken som helst påstand ville kunne bevises helt på samme måde, som man i matematikken har beviser.

Den første opdagelse i umindelige tider af en ny planet blev gjort af en engelsk organist den 13. marts 1781.

William Herschel (1738-1822) var ikke interesseret i Solsystemet, men i stjerner. Med sit hjemmelavede teleskop iagttog han stjernebilledet Gemini (Tvillingerne), hvor han skarpsindigt opdagede, at en af stjernerne så "abnorm" ud, noget som de professionelle astronomer aldrig havde tænkt over. Herschel noterede i sin journal: "*[...] a curious either Nebulous Star or perhaps a Comet"*. Hvis dette objekt hørte til i Solsystemet, ville det kunne bevæge sig i forhold til stjernerne. Fire dage senere iagttog han derfor igen objektet og så, at det havde bevæget sig. Da det ikke var en af de kendte planeter, mente han, at det var en komet.

De professionelle astronomer i *Astronomer Royal* kunne først intet abnormt se i Gemini. Først efter nogen tid måtte de give Herschel ret i iagttagelsen, som viste sig at være en ny planet, dvs. Uranus. Som omtalt havde Flamsteed tidligere set Uranus, men han antog den for at være en stjerne.



William Herschel (1738-1822)

Herschels succes udløste en jagt på eventuelle nye planeter baseret på både iagttagelser og beregninger, men uden resultat, - dog fandt man asteroider. Bl.a. opstod der nogen forvirring pga. et fejlagtigt stjerneatlas. Men den franske astronom Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877) gjorde de tyske astronomer i Berlin Observatoriet opmærksom på problemet. Her havde man et nyt og korrekt stjerneatlas fra Berlin Akademiet. Astronomerne i Berlin identificerede den 23. september 1846 på få minutter en "stjerne", som ikke fandtes i atlasset. Det var den nye planet, dvs. Neptun. Le Verrier måtte dele æren af opdagelsen med to andre astronomer, John Couch Adams (1819-1892) og Johann Gottfried Galle (1812-1910).

Opdagelsen var en triumf for Newtons dynamik. John Adams og Le Verrier havde uafhængigt at hinanden påvist, at de konstaterede uregelmæssigheder i Uranus bane var påvirkninger fra en planet endnu længere fra solen og beregnet, hvor denne planet befandt sig. Den nye planet Neptun blev ganske rigtigt observeret af J. G. Galle på det beregnede sted.



Le Verrier forklarer opdagelsen af Neptun til den franske kong Louis Philippe.

Opdagelsen af den sidste planet i Solsystemet måtte vente længe på sig. Pga. sin enorme afstand fra Jorden blev planeten Pluto først opdaget i 1930. Yderligere var opdagelsen et lykketræf.

En amerikansk forretningsmand, matematiker og astronom, Percival Lowell (1855-1916) fremsatte en teori om, at der var en niende planet efter Neptun. Teorien var baseret på beregninger af Uranus' og Neptuns bevægelser. Imidlertid viste de data, som dannede basis for beregningerne, sig senere at være fejlagtige, da Pluto var for lille til at kunne påvirke de store planeters bevægelser, - dette påvist ud fra data fra Voyager 2 (opsendt i 1977). Yderligere klargjordes det, at der ikke kunne være en tiende planet i Solsystemet.

Lowell oprettede i 1894 Lowell Observatoriet i Arizona og her begyndte man at lede efter den nye planet. Først på den tredje søgning og efter Lowells død lykkedes det. Observatoriets direktør Vesto Slipher (1875-1969) hyrede en ung fotograf fra Kansas ved navn Clyde Tombaugh (1906-1997) som assistent. På basis af fotografier taget med to ugers mellemrum identificerede Tombaugh et objekt, der havde bevæget sig på baggrund af stjernerne. På basis af disse observationer blev Pluto opdaget den 18. februar 1930. Navnet Pluto til den niende planet blev fastslået af Internationale Astronomiske Union samme år.

I 2006 afgjorde en afstemning blandt 2.500 af verdens førende astronomer på en konference i Prag, at Pluto ikke længere har status som planet. Fremtidig betegnes

den en ”dværg-planet”. Pluto blev diskvalificeret fra at komme med i den kosmiske ”top-klasse”, fordi dens kredsløb overlapper Neptuns. Pluto ligger sammen med tusindvis af mindre klippeobjekter i det såkaldte Kuiper-bælte i den yderste rand af Solsystemet.



Percival Lowell (1855-1916)

Når det drejer sig om indsigt i fysiske processer, kan umiddelbare erfaringer være vildledende. Eksempler kan være Ole Rømers geniale opdagelse af lysets begrænsede hastighed eller for den sags skyld at Newtons mekanik blev betragtet som helt eksakt frem til begyndelsen af det 20. århundrede. For at nå til en dyb forståelse kræves iderigdom, evne til utraditionel tænkning, genial omstillingsevne samt velkontrollerede forsøgsomstændigheder.

Før Rømer mente stort set alle, at lys udbredte sig momentant. Enhver kunne jo se, at når man tændte lys i et rum, måtte man ikke vente på, at væggene blev oplyst.

Rømers chef i Parisobservatoriet Giovanni Domenico Cassini (1625–1712), som før Rømer ankom havde udført observationer af Jupiters måner, tillod Rømer at fremsætte sin hypotese om lysets begrænsede hastighed på eget ansvar, men han anerkendte aldrig denne hypotese og støttede dette på sin iagttagelse af andre af planetens måner. Edmond Halley besøgte Parisobservatoriet i 1681. Han påviste i 1694 i

en redegørelse til *Royal Society,* at Cassinis argumentation var fejlagtig og at han derfor måtte støtte Rømers hypotese.

Trods det at vi ved, at den klassiske fysik strengt taget ikke er hele sandheden om universet, må vi dog indrømme, at den fortsat er anvendelig, fordi den for det første er enklere end andre teorier og derfor enklere at anvende, og for det andet fordi den giver præcise resultater under dagligdags betingelser. Den kan derfor med held anvendes til beskrivelse af planeters, raketters og selv store organiske molekylers bevægelser. Desuden er den forenelig med andre "klassiske" teorier som klassisk elektrodynamik og termodynamikken.



Albert Einstein (1879-1955) kendte resultatet af Rømers observationer og deres betydning. Hans specielle relativitetsteori blev formuleret i 1905, mens den generelle relativitetsteori først blev fremsat i 1915. I sin specielle teori modificerer Einstein den klassiske fysik, som den blev formuleret af Newton, til også at omfatte elektromagnetismen repræsenteret ved Maxwells ligninger.

James Clerk Maxwell (1831-1879) var en skotsk matematiker og teoretisk fysiker. Blandt hans vigtigste resultater kan nævnes opstillingen af Maxwells ligninger, inklusive en vigtig modifikation af Amperes lov. Disse ligninger var den hidtil mest fuldstændige beskrivelse af elektromagnetismen. Med dem forudsagde Maxwell, at der findes elektromagnetiske bølger, som bevæger sig med lysets hastighed og at lys er sådanne bølger. Maxwell kunne beregne lyshastigheden, men formodede, at hans resultat ikke havde almen gyldighed, men alene refererede til lyshastigheden relativt til en "æter", der måtte tænkes som et medium til at "bære" lys, på samme måde som luft bærer lyd.

Tidligere har fysikerne ment, at universet bevægede sig gennem en substans (æteren), mod hvilken hastigheder kunne måles. En radikal konsekvens af den specielle relativitetsteori er afvisningen af eksistensen af en absolut, unik referenceramme. Det såkaldte Michelson-Morley eksperiment afslørede, at enten måtte jorden opfattes som æterens centrum, eller også måtte eksistensen af en absolut referenceramme opgives. Det er historisk interessant, at dette forsøg, der ofte betragtes som det eksperimentelle grundlag for relativitetsteorien, ikke synes at have spillet nogen større rolle for Einstein mht. den specielle relativitetsteori.

I 1887 blev det berømte eksperiment udført af de amerikanske fysikere Albert Abraham Michelson (1852-1931) og Edward Williams Morley (1838-1923). I forsøget ville de påvise æterens eventuelle indvirkning på lys. De konstruerede et såkaldt interferometer, der skulle kunne vise lysstrålers eventuelle interferensvirkning. I forsøget blev en lysstråle delt op i to, hvoraf den ene bevægede sig i Jordens bevægelsesretning, og den anden på tværs af Jordens bevægelsesretning. Efter gennemløb af en bestemt strækning skulle de to lysstråler igen mødes. Hvis æteren havde haft forskellig indvirkning på de to adskilte lysstråler, da ville det have givet anledning til en interferensvirkning dér, hvor de to lysstråler igen mødtes. Resultatet var, at der ikke blev observeret nogen interferensvirkning. Flere forklaringer på resultatet af eksperimentet var mulige. En forklaring var naturligvis, at der ikke eksi-

sterer nogen æter, men andre forklaringer kunne eksempelvis være, at Lysets hastighed, målt i et valgt referencesystem, er uafhængig af lyskildens bevægelsestilstand i forhold til æteren eller at de geometriske forhold af apparaturet afhænger af apparaturets bevægelsestilstand i forhold til æteren.

I 1889 foreslog således den irske fysiker George Fitzgerald (1851-1901), at hvis legemer forkortes i deres bevægelsesretning, kunne dette give en forklaring på Michelson-Morleys forsøg. I 1892 fremsatte den hollandske fysiker Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) ligeledes tanken om en længdeforkortning.

Som konsekvens af Einsteins specielle relativitetsteori var Einsteins påstand, at der ikke eksisterer en universel æter. Den specielle relativitetsteori kunne redegøre for resultatet i Michelson-Morleys forsøg. Spekulationerne om en æter ophørte dermed for majoriteten af fysikere.

Den specielle relativitetsteori kaldes speciel fordi den kun gælder for situationer, hvor partikler, f.eks. myoner (se nedenfor), men også større objekter, enten er i hvile eller bevæger sig med en konstant hastighed i forhold til hinanden. I den generelle teori opgives denne begrænsning, og tyngdekraften inddrages i teorien. Den generelle relativitetsteori bliver dermed en relativistisk teori for tyngdekraften. Inden Einsteins gennembrud havde bl.a. Lorentz bemærket, at elektromagnetisme ikke overholdt den klassiske fysiks love, fordi observationer af elektromagnetiske fænomener vil variere afhængigt af om de foretages af en person i bevægelse eller ikke. Eksempelvis vil en person kunne påvise et magnetfelt i et bestemt område, mens en anden person ikke vil kunne påvise noget i det samme område. Lorentz foreslog indførelsen af en sammentrænings- og en udvidelsesfaktor, hvilket ville muliggøre en delvis overensstemmelse mellem elektromagnetisme og den klassiske fysik. Det er denne forestilling om transformation af fysikkens love mellem personer der bevæger sig relativt i forhold til hinanden, der har givet teorien dens betegnelse. Einstein ønskede imidlertid at konstatere, hvad der er invariant, dvs. det samme for alle obser-

vatører. Hans oprindelige betegnelse for teorien var derfor ”Det invariantes Teori”. Det var den tyske fysiker Max Planck (1858-1947), der foreslog betegnelsen invarians erstattet med relativitet. Relativitetsteorien medførte et omfattende paradigmeskift indenfor fysikken og den måde vi opfatter vor verden.

Myonen er en elementarpartikel af klassen lepton, oprindelig betegnet my-meson. Myonen er en tung analog til elektronen med en masse på ca. 207 gange elektronens. Myoner forekommer med positiv eller negativ elektrisk ladning som hinandens antipartikler. Den positive og negative myon har derfor præcis samme masse og levetid. De henfalder efter ca. 2 milliontedele sekund, den negative myon således til en my-neutrino, en elektron og en antielektron-neutrino og den positive til de tilsvarende antipartikler.

Myoner optræder i store mængder i partikelfysiske eksperimenter og i den sekundære kosmiske stråling. De dannes ved henfald af pioner, som selv dannes, når protoner i den primære kosmiske stråling rammer den øverste atmosfære. De bevæger sig her med en hastighed nær lysets. Ved en umiddelbar betragtning ville de i deres korte levetid kun kunne nå ca. 600 meter, men de når imidlertid ofte de ca. 10 km ned til Jordens overflade, fordi tiden for en så hurtig partikel ifølge relativitetsteorien ”går langsommere”.

Den specielle relativitetsteori postulerer, at lysets hastighed i vakuum er den samme for alle observatører. Den postulerede samtidig, at alle fysikkens teorier måtte tilpasses eller omformes, så dette er tilfældet. Postulatet, der udspringer af Maxwells ligninger for elektromagnetisme, har mange konsekvenser, der tilsyneladende strider mod almindelig dagligdags erfaring. Eksempelvis at tidsrummet mellem to begivenheder afhænger af, hvor hurtigt observatøren bevæger sig. To hændelser, der finder sted på samme tidspunkt på forskellige steder, behøver ikke være samtidige i en anden referenceramme (samtidighedens relativitet). Længder, arealer og rumfang kan

være forskellige fra et observationssystem til et andet. Dette er en klar modsætning til den klassiske fysik, der ikke tillader den slags forskelle.

En konsekvens af teorien er, at energi og masse, der tidligere blev anset for at være usammenlignelige størrelser, er ækvivalente og knyttet sammen gennem den berømte formel: $E = mc^2$, hvor E er energien, m er massen og c er lysets hastighed. Hvis et legeme bevæger sig med en hastighed v relativt til den observerende, kan dette omskrives til: $E = m_0c^2/\sqrt{(1 - v^2/c^2)}$, hvor m_0 er den masse, som man observerer, når den relative hastighed er 0 - også kaldet legemets hvilemasse. Når v er meget mindre end c kan formlen omskrives til: $E \sim= m_0c^2 + m_0v^2/2$, hvilket svarer til hvileenergien m_0c^2 og den klassiske fysiks kinetiske energi $m_0v^2/2$.

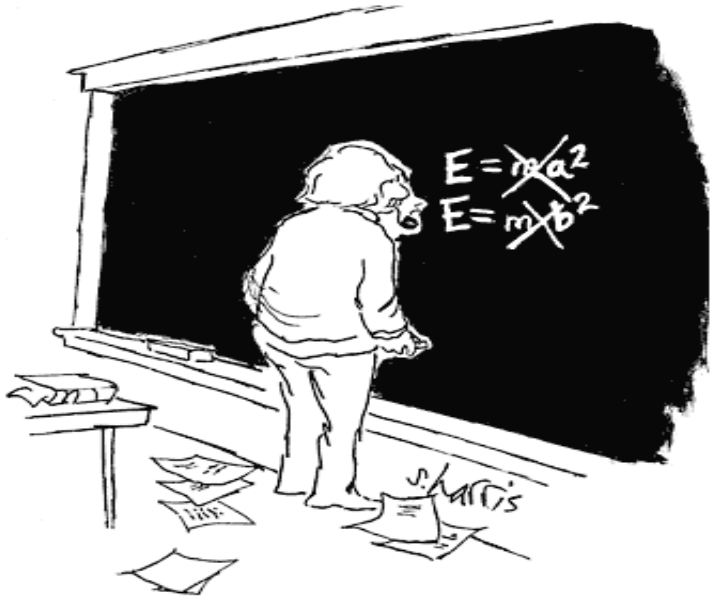
Dette er blot et af flere eksempler på, at den klassiske fysik og relativitetsteorien er sammenfaldende, når den relative hastighed er lav. Ved meget høje hastigheder (når v nærmer sig c), nærmer nævneren sig 0 i den anden ligning. Ved lysets hastighed ville energien E derfor være uendelig, hvilket er forklaringen på, at intet objekt med en hvilemasse kan bevæge sig med eller hurtigere end lysets hastighed.

Relativitetsteoriens vigtigste implikation er, at den klassiske mekaniks love ikke længere gælder, når legemer nærmer sig lysets hastighed. Intet der rummer masse kan overskride denne hastighed. Når et legemes hastighed nærmer sig lysets, vil den energi der kræves for at accelerere legemet yderligere tendere mod uendelig, hvilket gør det umuligt for legemet at nå helt op på lysets hastighed. Kun partikler uden masse som fotoner kan nå denne hastighed. Hypotetiske partikler, der skulle kunne bevæge sig hurtigere end lyset, har fået navnet tachyons, men det er ikke hidtil lykkedes at påvise eksistensen af sådanne partikler.

Som omtalt forudsætter den specielle relativitetsteori også, at samtidighed er relativt i forhold til observatørerne. Hvis stof bevæger sig ad en bane i rum-tids kontinuum

uden at ændre hastighed, kalder teorien denne bane for et "tids-lignende interval", da en observatør, som følger denne bane, ikke ville bemærke bevægelsen og derfor indenfor sin egen referenceramme blot ville rejse i "tiden". Tilsvarende betyder et "rum-lignende interval" en bane i rum-tid, ad hvilken hverken lys eller et langsommere signal vil kunne bevæge sig. Hændelser langs et rum-lignende interval kan ikke påvirke hinanden, hverken ved udsendelse af lys eller stof. De vil fremtræde som samtidige for en observatør indenfor den korrekte referenceramme. For observatører i andre referencerammer vil en hændelse X indtræffe før en hændelse Y (og omvendt). Dette gælder ikke for hændelser der er adskilt af tids-lignende intervaller.

Den specielle relativitetsteori er i dag universelt godtaget inden for fysikkens verden, dette i modsætning til den generelle relativitetsteori, der stadig ikke er tilstrækkelig verificeret eksperimentelt, og som derfor endnu ikke fuldstændig udelukker alternative teorier om tyngdekraften. Der findes kun meget få fysikere, der af forskellige årsager afviser den specielle relativitetsteori og som i stedet har fremsat konkurrerende teorier. Det vil primært sige æter-teorier.



Med formuleringen af den generelle relativitetsteori i 1915 overskred Einstein begrænsningen i den specielle relativitetsteori mht. kravet om referencesystemer. Ifølge den generelle relativitetsteori er gravitationen (tyngdekraften) en fremtrædelsesform for den lokale geometri af rum-tids systemet. Tilstedeværelsen af tyngdekraft medfører dermed at selve rummet krummer. Et krumt rum benævnes et ikke-Euklidisk rum, og den matematiske teori for dette blev udviklet af Riemann. Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866) var en tysk matematiker, hvis banebrydende studier i geometri dannede et matematisk fundament for relativitetsteorien.

Selv om vore dagligdags erfaringer fortæller os at rummet er "fladt", er der ikke noget logisk krav om, at dette altid er tilfældet, f.eks. i stærke gravitationsfelter. Meget præcise forsøg kan faktisk påvise effekterne af gravitationen på rum-tiden. Det gælder f.eks. Pound-Rebka eksperimentet fra 1959, hvor man kunne konstatere en ændring i bølgelængden på strålingen fra en koboltkilde, når den hævedes 22,5 meter op. Et andet eksempel er de atomare ure i GPS satellitterne, der må korrigeres for tyngdekraftens indflydelse.

Global Positioning System (GPS) er et system til navigation overalt på jordens overflade og i atmosfæren (jfr. nedenfor).

Den grundlæggende ide i relativiteten er, at det ikke er muligt at tale om de fysiske størrelser hastighed og acceleration uden først at definere en referenceramme. I den specielle relativitetsteori opererer man med referencerammer, der kan udvides uendeligt i alle retninger både i rum og tid. I den generelle teori anvender man lokale referencerammer, der er begrænsede i tid og rum. Som sammenligning kan man tænke over tegning af landkort. Man kan godt tegne flade kort over mindre dele af jorden, men forsøger man at udstrække kortet til hele jordens overflade vil det bevirke fortegninger. Inden for den generelle relativitetsteori antages det, at den specielle relativitetsteori gælder indenfor de lokale referencerammer. Specielt frie partikler bevæger sig i lige baner i lokalt inertielle systemer (jfr. Lorentz). Når disse baner for-

længes, fremtræder de ikke længere som lige og betegnes i stedet geodætiske kurver. Newtons første lov erstattes dermed af en lov for geodætisk bevægelse. Situationen er analog til bevægelsen af en bil på jordoverfladen. Selv om det ser ud som om den kører lige ud, vil jordens krumning betyde, at den i virkeligheden bevæger sig i en bue rundt om jordens centrum.

Vi skelner mellem inertielle referencerammer, hvor legemer har et uforandret bevægelsesmønster (med mindre de påvirkes af et andet legeme) og ikke-inertielle systemer, hvor legemer i bevægelse påvirkes af en acceleration fra selve systemet. I ikke-inertielle systemer optræder der en kraft, der kan forklares med accelerationen af systemet selv og ikke påvirkningen fra andet stof. Vi vil derfor føle en acceleration, når vi kører gennem et sving på landevejen og anvender bilen som vor referenceramme. Tilsvarende optræder der Coriolis- og centrifugalkræfter, når vor referenceramme baseres på roterende stof som eksempelvis Jorden eller en karrusel. Corioliskraften er en tilsyneladende kraft (fiktiv kraft), der synes at påvirke legemer, som er i bevægelse i forhold til et koordinatsystem, der roterer jævnt, (dvs. med konstant vinkelhastighed) i forhold til et inertielsystem.

Den generelle relativitetsteoris princip om ækvivalens tilsiger, at der ikke kan udformes noget lokalt forsøg, som kan skelne et ikke-roterende frit fald i et tyngdefelt fra ensartet bevægelse i et system, hvor tyngdefeltet er fraværende. Tyngdekraften optræder således ikke direkte, når referencerammen for et legeme i frit fald er legemet selv. Ud fra dette perspektiv er den tyngdekraft, som vi mærker ved jordens overflade, en kraft observeret i et referencesystem baseret på stof på overfladen, der ikke eksisterer frit, men som udsættes for gravitationskræfter fra stof inde i Jorden. Dette er i virkeligheden analogt til de g-kræfter vi observerer inde i en bil. Alt dette betyder ikke, at tyngdefeltet ikke eksisterer, men at man skal bruge andre elementer end de sædvanlige til en relativistisk beskrivelse af tyngdekraften. Disse andre komponenter er kendt som tidevandskræfterne, og er variationen af den sædvanlige tyngdekraft med tid og sted.

Den matematiske udformning af teorien for tyngdekraften fandt Einstein ved at lade rum-tidens krumning i et givet punkt afhænge af stress-energi-tensoren i dette punkt. Tensoren er udtryk for stoftætheden og energien. Krumningen betinger, hvordan stoffet bevæger sig, og stoffet betinger, hvordan rummet krummes. Det giver et antal ligninger der går under betegnelsen feltligningerne.

Den generelle relativitetsteori adskiller sig fra andre teorier om tyngdekraft ved dens (relative) enkelhed i beskrivelsen af forholdet mellem stof og rum-tidens krumning. Men vi venter fortsat på foreningen af den generelle relativitetsteori og kvantemekanikken samt erstatningen af feltligningerne med en mere fundamental kvantemekanisk lov. En sådan ny teori vil formodentlig svare til den generelle relativitetsteori i et grænsepunkt, på samme måde som den generelle relativitetsteori svarer til Newtons klassiske mekanik i et ikke-relativistisk grænseområde.

Einsteins feltligninger består af ti ligninger i et matematisk matrixsystem. Egentlig er der seksten ligninger, men da seks af dem er lineært afhængige kan man nøjes med de ti. Disse ligninger kan selv rutinerede problemløsere kun løse i nogle specielle tilfælde. Et af disse er den situation, der giver ophav til sorte huller. Dens løsning viser, at hvis massen af et objekt er tilstrækkelig stor, vil alt, der kommer tilstrækkelig tæt på objektet, blive indfanget, dvs. selv lys der har den højest mulige hastighed.

Feltligningerne indeholder en parameter betegnet den ”kosmologiske konstant” Λ, som oprindelig blev introduceret af Einstein for at tillade eksistensen af et statisk univers. Dette forsøg slog imidlertid fejl, idet statiske univers, som teorien beskrev, var ustabilt. Astronomiske observationer har længe vist, at universet ikke er statisk, men ekspanderer. Konstanten Λ blev derfor opgivet, men for få år siden har forbedrede

astronomiske teknikker bekræftet, at det er nødvendigt at operere med en værdi af Λ forskellig fra 0 for at forklare visse observationer.

Som omtalt nyformulerede Einstein Newtons tyngdelov, hvor vi ikke længere beskriver tyngdekraften med en simpel kvadratlov, men derimod som en krumning af rummet, der gør at ting afbøjes.

Hvor der stadig kan være tvivl om, i hvor høj grad Einsteins ligninger vil passe i ekstreme tilfælde, eksempelvis de meget tunge sorte huller, er der ikke nogen tvivl om, at de passer på alle fænomener, man faktisk har kunnet måle på. Den første begivenhed og bekræftelse på Einsteins beskrivelse, som allerede ved sin præsentation i 1915 kunne forklare uforklarede "fejl" i Merkurs bane, fandt sted allerede i 1919 under en fuld solformørkelse.

Ifølge Newtons teori bliver kun genstande med masse påvirket af tyngdekraften. Det vil sige lys, der er masseløst, skulle forblive upåvirket. Ifølge Einsteins teori bliver lys derimod påvirket. Det er fordi lys altid bevæger sig ad rette linjer. Men hvis rummet krummer, vil en ret linje ikke længere "gå lige ud". Tænk på jordoverfladen: Hvis man her blot bevæger sig ligeud, kommer man efter nogen tid tilbage til samme sted, netop fordi jorden krummer, over i købet så meget at en lige vej lukker om sig selv.

Under solformørkelsen kunne man i 1919 tæt på solens overflade, hvor man sædvanligvis ikke kan se noget, da solen lyser meget kraftigere end alt andet, observere stjerner, der beviseligt burde være skjult af solen. Disse stjerner blev synlige, idet deres lys, som burde være passeret forbi jorden var blevet afbøjet af solens krumning af rummet - noget der ikke er muligt i Newtons beskrivelse. Siden da har man set fænomenet ofte, når man ser ud i rummet. Det kaldes "*gravitational lensing",* dvs. gravitationelle linser.

En anden konsekvens af Einsteins beskrivelse er, at da rum og tid er "blandet sammen", er det faktisk rum-tiden der krummes af store masser (energi-tætheder). Det betyder, at tiden går langsommere tæt på en stor masse end længere væk. Forskellen

er ikke stor på jorden, men den er målbar, man kan f.eks. måle forskellen på tidens gang på toppen af Mount Everest og ved havoverfladen.

Et sted, hvor dette har store praktiske konsekvenser, er i forbindelse med GPS-baseret navigation. En GPS-satellit er grundlæggende bare et godt ur (et såkaldt atomur), og det uret gør, er hele tiden at udsende et signal, der siger hvad klokken er netop nu ombord på satelitten.

En GPS-modtager modtager mindst fire sådanne signaler og kan så ud fra kendskab til satellittens bane (som den også sender ud en gang imellem) regne sig baglæns til, hvor den er. Der er brug for mindst fire satellitter, da GPS-modtageren på Jorden ikke har et tilsvarende godt atomur.

Det er nødvendigt for at GPS-systemet fungerer, at man tager Einsteins ligninger i betragtning. Tidens passage på satellitten er tilpas forskellig til, at man ikke kunne bruge GPS-systemet til nogen særlig præcis navigation, hvis man ikke tog højde for det. Så der hersker ikke nogen tvivl om, at Einstein havde ret. I hvert fald der hvor man har målt efter.

Brugeren af systemet anvender en GPS-modtager, der på baggrund af signaler fra GPS-satellitter kan beregne geografisk position og evt. højde over havets overflade. Herudover sender GPS-satelliterne også et tidssignal. Systemet blev oprindelig udviklet af det amerikanske forsvarsministerium til militært brug under navnet NAVSTAR, men er siden 1980'erne i anvendelse i både kommercielt og privat øjemed. Amerikanerne driver stadig systemet og kan i krigssituationer gøre systemet mindre nøjagtigt eller helt utilgængeligt for alle andre end det amerikanske militær. På den baggrund er EU i gang med at udvikle et uafhængigt navigationssystem, Galileo, der ventes taget i brug omkring 2015.

Et interessant aspekt af relativitetsteorien er tolegeme-problemet.

Tolegeme-problemet er det problem, at man skal beskrive bevægelsen af to legemer, der er alene i universet. Det er legemer naturligvis sjældent, men da universet på mange måder kan opfattes som ganske tomt (i forhold til f.eks. selv et tomt rum på jorden, der jo er fyldt med luft), kan man ofte se bort fra alt det andet. Tolegeme-problemet i Newtons tyngdekraft er f.eks. et system bestående af en planet og en måne. Men problemet er sådan indrettet, at i stedet for at forsøge at beskrive to legemer, der begge bevæger sig rundt grundet kraften fra det andet legeme, kan man reducere problemet til at beskrive et legeme med en korrigeret masse, der bevæger sig rundt om et fast punkt. Denne korrigerede masse kaldes for den reducerede masse. Massen, der her er tale om, er naturligvis den inertielle masse, det vil sige den fra Newtons anden lov, der beskriver hvordan en kraft på et legeme forårsager en acceleration.

På trods af Einstein-teoriens succesfulde beskrivelse af mange observerede fænomener, kan man faktisk ikke, så vidt vides, løse tolegeme-problemet eksakt. Grunden er den simple, at Einsteins ligninger ikke er ”nemme” som Newtons tyngdekraft. Det vil sige man kan ikke ”snyde” med en reduceret masse og finde en enkel løsning.

Man kan søge at finde løsninger med en computer eller mere nærliggende lave en tilnærmelse. Man har kunnet lave ganske gode tilnærmelser og resultaterne passer naturligvis med Newtons beskrivelse, når det drejer sig om simple ting som Jorden og Månen. Det er der dog ikke megen interesse i at kigge på, da masserne er så små, at det ikke rigtigt er nødvendigt at tage Einsteins beskrivelse i brug. Hvad der er mere interessant, er at kigge på stjerner, der bevæger sig rundt om hinanden, de såkaldte binære stjernesystemer. Disse er interessante, idet Einsteins beskrivelse, modsat Newtons, har den konsekvens, at hvis to tunge legemer bevæger sig rundt om hinanden, ”river” de så meget op i rum-tiden, at der dannes bølger i den, såkaldte gravitationsbølger. Gravitationsbølger (gravitationel stråling, tyngdebølger) udbreder sig med lysets hastighed. Ifølge den generelle relativitetsteori udsendes de af et varierende tyngdefelt på samme måde, som elektromagnetisk stråling udsendes af et

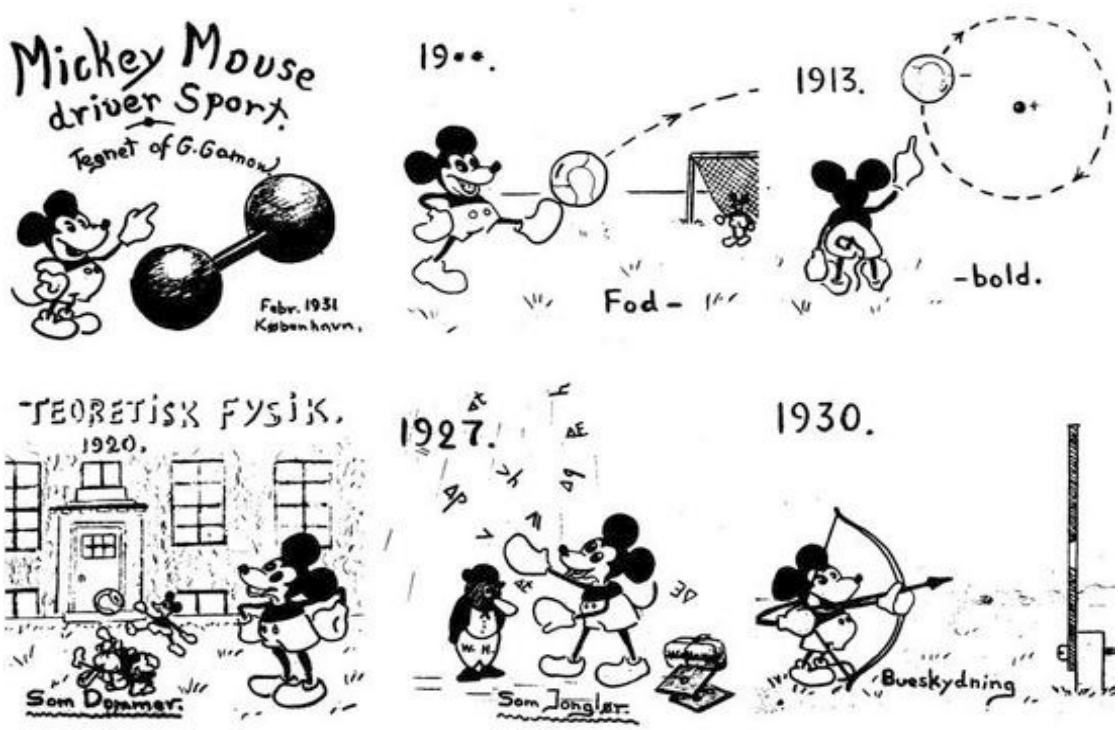
varierende elektromagnetisk felt. Hidtidige forsøg på direkte påvisning af disse gravitationsbølger er slået fejl, men de er påvist indirekte netop gennem studiet af dobbeltpulsarer. Et dobbeltstjernesystem må nemlig formodes at udsende gravitationel stråling og dermed miste mekanisk energi, som fører til ændring af omløbstiden. Kun for en dobbeltstjerne i tæt omløb er effekten målelig. I 1978 kunne Russell A. Hulse og Joseph H. Taylor Jr. som de første fremlægge data for en dobbeltpulsar, hvor omløbstiden ændrede sig systematisk i overensstemmelse med Einsteins forudsigelse om udsendelse af gravitationel stråling.

Da energien bevares må man forvente, at et sådant binært system, der udsender bølger, som indeholder energi, nødvendigvis må afgive denne energi, og det på en sådan måde, at bevægelsen bliver dæmpet. Det vil sige, at man forventer, at deres "rundtur" gradvis bliver langsommere.

Relativitetsteorien har betydning ved meget høje hastigheder, mens kvantemekanikken er nødvendig ved meget små afstande. Atomernes stabilitet, deres blotte eksistens, er således uforklarlig ud fra den klassiske fysik, men kvantemekanikken gør det muligt at nå til en meget detaljeret forståelse af atomernes struktur og lysudsendelse. Ifølge kvantemekanikken kan alle objekter opføre sig både som partikler og som bølger, der er udstrakt over en del af rummet. Mønstret af bølgetoppe og bølgedale findes ved at løse Schrödingerligningen, som er en andenordens partiel differentialligning, en såkaldt bølgeligning, hvis løsninger er bølgefunktioner.

En nøjere beskrivelse af kvanteteorien falder uden for rammerne af denne fremstilling, men her spillede Danmark og især Niels Bohr som bekendt en betydelig rolle.

Rejsen gennem 400 års stigende indsigt i universets mekanismer og fysiske fænomener er taget med få store og mange mindre skridt. De største er taget af Kopernikus, Newton og Einstein.



Niels Bohr som Mickey Mouse. Tegnet af George Gamow.

Noter

Herman Bondi: Relativity and Common Sense, Heinemann, 1964.

Robert Boyle: New Experiments PhysicoMechanical touching the spring of air and its effects. Oxford, 1660.

Sean Carroll: Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity. 2003.

Ray D'Inverno: Introducing Einstein's Relativity. Oxford Universty Press, 1993.

Dennis Danielson: The First Copernican: Georg Joachim Rheticus and the Rise of the Copernican Revolution. Walker & Company 2006.

Robin Engelhardt og Hans Siggaard Jensen: ERGO Naturvidenskabens filosofiske udvikling, Lindhardt og Ringhof 2007.

Per Friedrichsen (ed.): Ole Rømer - videnskabsmand og samfundstjener. Gads forlag, 2004.

Owen Gingerich: The Book Nobody read. William Heinemann, London 2004.

Michael Hoskin: The Cambridge Concise History of Astronomy. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom 1999.

A. Jensen & K. Han.: www.leksikon.org, 2003.

Bjarne Kousholt: Ole Rømer og lysets tøven. Polyteknisk Forlag, 2001.

Niels Madsen: Almen relativitetsteori. Videnskab.dk 27. februar 2010.

A. Michelson and E. Morley: On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. The American Journal of Science, vol. 34, 1887.

Olaf Pedersen & Helge Kragh. Fra Kaos til Kosmos. Gyldendal, 2000.

Asbjørn Petersen: Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). kristendom.dk 24. okt. 2005.

W. Perret & G.B. Jeffrey: The Principle of Relativity: A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity. New York Dover, 1923.

Jens Ramskov: Myterne om Kopernikus lever endnu. Ingeniøren, 4. april 2008.

Mano Singham: The Copernican Myths. Physics Today 48-52, December 2007.

Kip Thorne & Stephen Hawking: Black Holes and Time Warps. Papermac, 1995.