Ole Rømers planetarium og eklipsarium

Poul Darnell og Frank Nielsen

Filosoffen og matematikeren G.W. Leibniz opfattede verden som en maskine. Ole Rømer og Christiaan Huygens, begge medlemmer af det franske videnskabelige akademi, var talsmænd for den samme tankegang, der i og for sig ikke var Leibniz' opfindelse – den lå i tiden. Disse tre indledte et frugtbart samarbejde, mens de opholdt sig ved Paris-observatoriet, og deres tanker om blandt andet lysets natur, skulle blive en af de grundsten, hvorpå Newton byggede. At bygge modeller af "Den Store Maskine" var derfor nærliggende. Både Ole Rømer og Chr. Huygens [1] kom til at beskæftige sig med konstruktion af planetmaskiner.

Rømer konstruerede flere planetmaskiner. Formålet var dels at illustrere himmellegemernes bevægelser, dels at anvende dem som mekaniske regnemaskiner for hvornår man rent faktisk kunne observere fænomenerne på himlen, idet man må huske på, at man på dette tidspunkt kun havde få tabelværker til rådighed, som angav stjernernes bevægelser.

De historiske planetmaskiner

Alle Rømers planetmaskiner blev konstrueret under opholdet i Paris, og de kan angives i følgende kronologiske rækkefølge:

1. Et planetarium (1677) som var i stand til at vise Tycho Brahes verdensbillede. Denne maskine blev senere opsat på Rundetårn (1697) for at ære Tycho.

2. Et jovilabium som var en maskine, der viste de inderste fire Jupitermåners kredsløb om planeten (1677). Denne maskine blev konstrueret i forbindelse med Rømers påvisning af, at lyset havde en endelig hastighed (1676).

3. Et Saturnilabium, som var en maskine, der viste de dengang tre kendte Saturnmåners kredsløb om planeten (1678).

4. Et planetarium som viser de dengang seks kendte planeters kredsløb om Solen (1680).

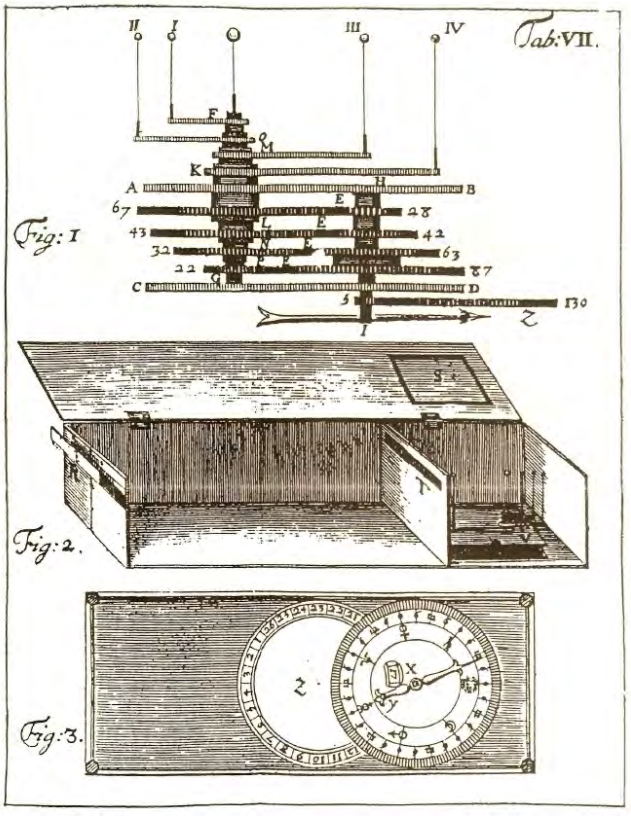
5. Et eklipsarium, som er en maskine, der er i stand til at vise såvel Solens som Månens formørkelser (1680).

Denne artikel vil primært beskæftige sig med de to sidstnævnte maskiner, som også er de to mest avancerede. Af de to maskiner blev der i alt udført tre sæt. Det første sæt blev fremstillet til Solkongen Ludvig XIV, og det blev anvendt til undervisning af kronprinsen, for hvem Ole Rømer var lærer.

Det andet sæt blev fremstillet som fyrstegave til shahen af Persien, og et tredje sæt blev delt mellem den kinesiske kejser K'hang-hsi og kongen af Siam. Formålet med disse gaver var primært at demonstrere Frankrigs tekniske og videnskabelige formåen[1]. Det fjerde sæt blev fremstillet til den danske konge Christian den Femte, der selv måtte betale 1200 rigsdaler for de to maskiner, som Rømer havde med sig hjem, da han vendte tilbage til Danmark i 1681.

Af de nævnte maskiner eksisterer i dag kun de danske og franske eksemplarer på henholdsvis Rosenborg Slot i København og på Bibliothéque Nationale i Paris.

Det danske eksemplar af planetariet har altid befundet sig i kongens samling på Rosenborg Slot, hvorimod eklipsariet på et tidspunkt blev udlånt til Søkadet Akademiet og benyttet til undervisning. Det blev nævnt, at maskinen var gået tabt ved en brand på Gammelholm i København i 1795. Påstanden om tabet blev gentaget så mange gange senere, at den til sidst blev den anset for at være sand!



Figur 1. Ole Rømers jovilabium, der viste de inderste fire Jupitermåners kredsløb om planeten.

Det skulle imidlertid senere vise sig, at maskinen stadigvæk fandtes, idet den i 1982 blev fremdraget bag et hemmeligt panel på Rosenborg Slot. I denne forbindelse tilbød det daværende Ole Rømers Museum

[1]Det kinesiske sæt har forfatterne eftersøgt i Peking; men det blev sandsynligvis ødelagt under boxeroprøret i 1906. Da Shahen fandt ud af, at det sæt. som han havde modtaget. ikke var af rent guld, men blot var forgyldt, blev hans eksemplar kasseret. Det sæt som kom til Siam har vi ikke kunnet finde nogen informationer om.

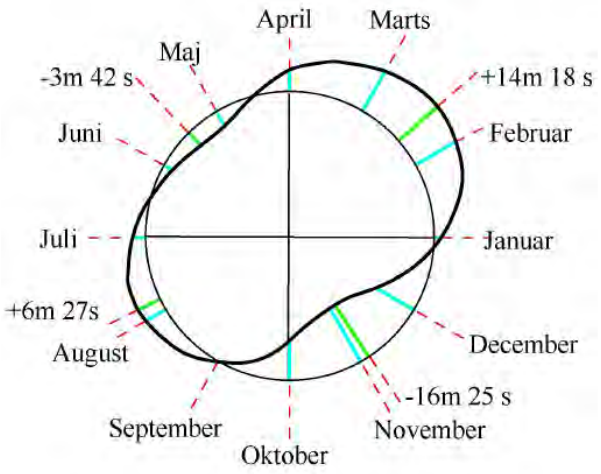
Rosenborg kvit og frit at adskille, opmåle, tegne og beskrive eklipsariet. Dette arbejde blev udført i årene 1982-84 af Poul Darnell, og det kom også til at omfatte Rømers planetarium.

Teknikken i planetmaskinerne

Teknikken i jovilabiet, saturnilabiet og planetariet består af rene tandhjulskonstruktioner. Figur 1 viser jovilabiet. Stikket stammer fra *Basis Astronomiæ* [2].

Som det ses, består apparatet af to sæt tandhjul. Hvert sæt består af 4 koncentriske tandhjul, som går i indgreb med tandhjulene i det andet sæt. På sættet til højre hvorpå viseren er fastgjort, er alle tandhjulene gjort fast til en fælles aksel, hvorimod tandhjulene på den anden aksel er frit bevægelige i forhold til hinanden, idet de sidder på hver sin hule aksel. Hver af disse aksler bærer foroven en af Jupiters måner. På denne måde opnåede Rømer, at når viseren drejes, da drejes også de fire jupitermåner med korrekte omløbstider, som angivet med viseren. Princippet med de to sæt tandhjul er bibeholdt i alle Rømers planetmaskiner på nær i eklipsariet, idet denne maskine udover tandhjul også er forsynet med to kurveskiver.

En kurveskive er en plan skive, hvis form er tilpasset dens formål, og som ikke er en cirkel, men som alligevel drejes om et centrum. Når kurveskiven drejes, aflæses skivens varierende radier kontinuerligt af en føler; eller – som man ville udtrykke det i dag – føleren læser de "data", som er "indlæst på skiven". Når kurveskiven har drejet 360 grader, gentages aflæsningen af skivens data.



Figur 2. Kurveskive benyttet i Tompions tidsækvationsur.

De første skriftlige beretninger vi har om anvendelse af kurveskiver, stammer fra den hollandske fysiker Christian Huygens. Han skriver i et brev til sin bror Constantin i London [3], der var sekretær for den engelske konge William den Tredje, at han havde konstrueret et tidsækvationsur, som: "også viser soltimerne uden behov for tidsækvationstabeller". Brevet er dateret den 4. marts 1695, og det fremgår også af dette, at broderen har talt med den engelske urmager Thomas Tompion herom.

Efterfølgende fremstillede Thomas Tompion et ur, som det ovenfor omtalte til William den Tredje, og dette ur findes i dag på Buckingham Palace.

Den nyreformede kurveskive, som blev benyttet i det engelske ur til at generere forskellen mellem middelsoltid og sand soltid, er vist på figur 2. Det ses at tidsækvationen er plottet i et polært koordinatsystem. Længderne af de grønne og de blå linjestykker angiver altså forskellen mellem middelsoltid og sand soltid i årets løb.

Ud fra ovenstående, er det derfor ganske tankevækkende, at Ole Rømer allerede 15 år tidligere havde benyttet ikke blot en men to kurveskiver af hver sin form og med hver sin omløbstid og -retning i sit eklipsarium. Rømers planetmaskiner blev fremstillet af Ludvig den Fjortendes hofurmager Isaac Thuret.

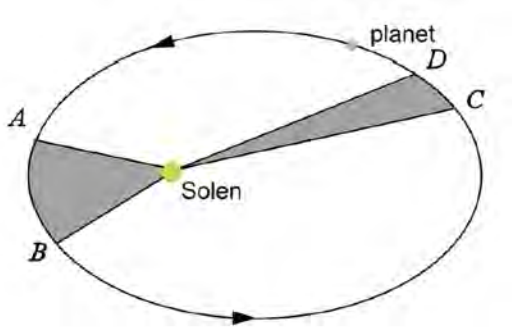
Planetbevægelsen

For at kunne konstruere et anvendeligt planetarium var det nødvendigt for Rømer at tage hensyn til Keplers berømte love for planetbevægelsen.

De to første love lyder (figur 3):

1. Enhver planetbane er en ellipse med Solen i det ene brændpunkt. Det andet brændpunkt er tomt.

2. Linien mellem Solen og en planet overstryger lige store arealer i lige lange tidsrum.



Figur 3. Planetbane med Solen i centrum.

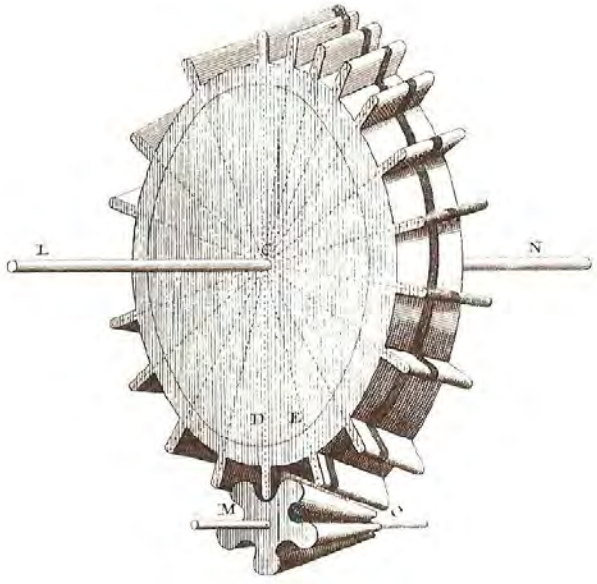
På figur 3 skal det altså være sådan, at når de to grå arealer er lige store, så bruger planeten samme tid om at gå fra A til B, som den bruger om at gå fra C til D.

Med hensyn til Keplers 1. lov gjorde Rømer den tilnærmelse at udføre alle planetbanerne som cirkler, hvilket de næsten også er.

Af Keplers 2. lov følger, at en planets hastighed varierer langs dens banekurve. Den er størst i perihelium, som er det punkt, hvor planeten er nærmest Solen, og mindst i aphelium, hvor den er længst væk fra Solen. Det var denne variation i planetbevægelsen der blev Rømers mekaniske udfordring!

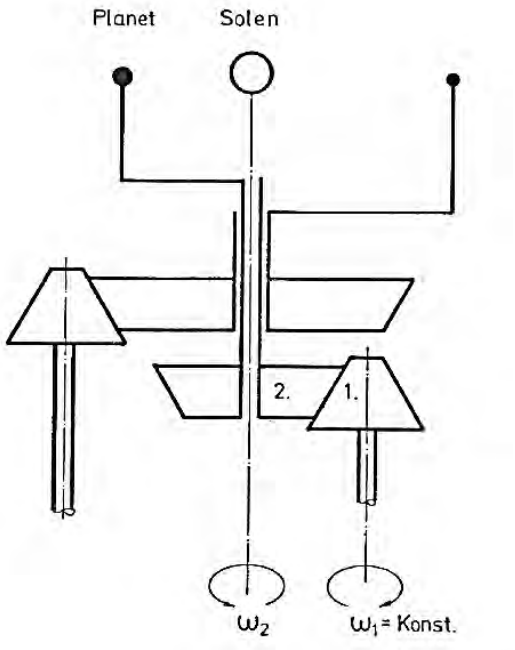
Forstudiet til planetariet

Da det planetarium som Rømer ønskede at fremstille, skulle være en maskine, som var i stand til at angive sammenhørende positioner og tider for planeterne, måtte han opfinde en mekanisme, som kunne omforme en konstant vinkelhastighed til en forudbestemt periodisk variation. Denne mekanisme måtte han så anvende for hver enkelt planet i sin maskine. At dette har voldt ham besvær, ses af en tilsyneladende ubenyttet opfindelse, som han må have gjort i denne forbindelse. (figur 4).



Figur 4. Udkast til tandhjul med varierende vinkelhastighed.

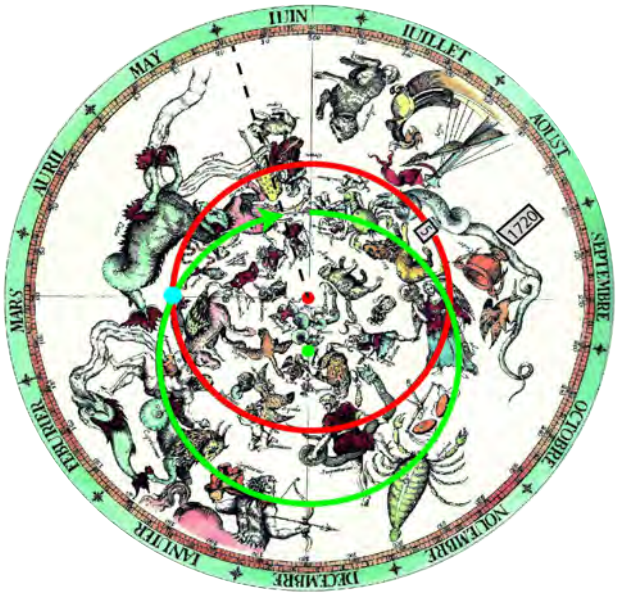
Som det ses af figuren, består mekanismen af to kegleformede tandhjul, der går i indgreb med hinanden. Hvis det lille tandhjul på akslen M-O antages drejet med en konstant vinkelhastighed ω_1, vil det store tandhjul få en varierende vinkelhastighed ω_2, fordi tænderne på det store tandhjul ikke er jævnt fordelt. Nogle steder sidder de tæt ved hinanden, andre steder er afstanden større. Denne uregelmæssighed gør indgrebet mellem de to tandhjul vanskeligt. Derfor forestillede Rømer sig, som vist på figuren, at man kunne gøre de to tandhjul kegleformede og dernæst kun beholde den tynde, sorte del af det øverste tandhjul. At mekanismen ikke blev anvendt skyldes sikkert, at den i praksis er næsten umulig at fremstille.



Figur 5. Mulig konstruktion med variable vinkelhastigheder.

Figur 5 viser forfatternes forslag til hvorledes Rømer principielt ville have været i stand til at sammensætte et planetarium ved anvendelse af ovennævnte koniske tandhjul; men Rømers konstruktion vil kunne udvides til seks par tandhjul; dvs. et par pr. planet.





Figur 6. Planetariets stjerneside. Øverst et fotografi og nederst et farvelagt aftryk lavet af urmager Søren Andersen. Der er to kredse på stjernekortet, som er svære at se, og derfor fremhævet på aftrykket. Stjerner på himlen, der ligger lodret over Jordens ækvator, ligger på himlens ækvator (den røde cirkel), som har centrum i den røde polarstjerne. Solens årlige bane mellem stjernerne er den grønne ekliptika med centrum i det grønne punkt. Solen krydser himlens ækvator fra syd mod nord i det blå punkt, der kaldes forårspunktet, hvor Solen står omkring den 21. marts. Der er to små vinduer i stjernesiden. I det ene vises et tiår fra 1580 til 1780, og i det andet et antal år fra 0 til 9. Når nøglen drejes en omgang med uret lægges der 1 til det årstal, der vises. På figuren er det årstallet 1725.

Fordi konstruktionen kun kunne udføres principielt og ikke i praksis, afstod Rømer åbenbart fra at løse problemet med planeternes hastighedsforhold på tilfredsstillende vis. Dette blev i hvert fald en manglende

finesse ved det planetarium, som blev færdiggjort i 1680.

Planetariets udseende

Det færdige planetarium fra 1680 fremstår som et fornemt, forgyldt kunsthåndværk lige så meget som et videnskabeligt instrument. Maskinen står på en udsmykket fod og kan betjenes fra begge sider. 2. For en mere detaljeret beskrivelse af planetariet henvises til [4].

Stjernesiden (figur 6) er domineret af et detaljeret stjernekort med mere end hundrede enkelte stjerner og mange graverede figurer, der forestiller de klassiske stjernebilleder. I midten sidder den nøgle, som brugeren drejer på. Når man drejer nøglen, bevæger timekredsen sig – en ring markeret med sorte romertal, der svarer til døgnets timer. Samtidig skifter årstallet i to små vinduer, så man kan stille maskinen til et bestemt år.

Inden for stjernekortet ligger to vigtige cirkler: himlens ækvator og ekliptika, Solens årlige bane blandt stjernerne. Det sted, hvor Solen krydser ækvator fra syd mod nord, er forårspunktet, og netop dette punkt spiller en central rolle i hele maskinens opbygning. Rømers stjernekort er særligt interessant, fordi det viser, hvordan han tænkte sig himlen ordnet, og hvordan han mekanisk omsatte denne forståelse til en drejelig skive.

Foran stjernekortet ligger to bevægelige ringe. Den inderste er timekredsen, der følger nøglen én omgang om året. Udenpå denne sidder horisontskiven, som markerer den del af himlen, der er synlig fra Jorden på et bestemt tidspunkt. Ved først at stille årstal, derefter dato og til sidst klokkeslæt, kan man på stjernesiden få et billede af den nattehimmel, man ville have set på det valgte tidspunkt.

Planetsiden (figur 7 og 8) viser en helt anden, men lige så fascinerende verden. Her står Solen i midten, og omkring den løber seks cirkulære baner for de planeter, man kendte i Rømers tid: Merkur, Venus, Jorden, Mars, Jupiter og Saturn. Hver planet er repræsenteret af en lille halvædelsten, som sidder på en messingring, der glider i en rille langs planetbanen. Når man drejer nøglen på stjernesiden, sættes disse ringe i bevægelse gennem et skjult system af tandhjul inde i maskinen.

Jordens bane er gjort bredere end de andres, fordi Rømer også har indbygget Månens kredsløb. Månen er markeret som en lille stift på kanten af en sølvskive, der bevæger sig rundt inde i Jordens bane.

Det mest elegante ved planetariet er samspillet mellem de to sider. Man kan først dreje planeterne frem til et bestemt tidspunkt på planetsiden, aflæse deres længde i forhold til ekliptika og derefter overføre denne position til stjernesiden. Her kan man se, om planeten befinder sig over horisonten, og dermed om den i praksis ville kunne observeres fra Jorden.

Hvert planetkredsløb styres af sit eget tandhjulssystem, så hver planet bevæger sig med sin egen hastighed – hurtigst for Merkur og langsomst for Saturn. Rømer har altså ikke blot drejet planeterne tilfældigt rundt; han har mekanisk indkodet deres indbyrdes forhold, så modellen så godt som muligt efterligner virkeligheden.

Selvom banerne er cirkulære af praktiske grunde, har Rømer forskudt Solens placering i forhold til banecentrene. Det giver små variationer i planeternes bevægelse, som minder om de reelle forskelle i hastighed, når planeterne er tættere eller længere væk fra Solen.



Figur 7. Planetariets planetside.

Planetbanernes geometri

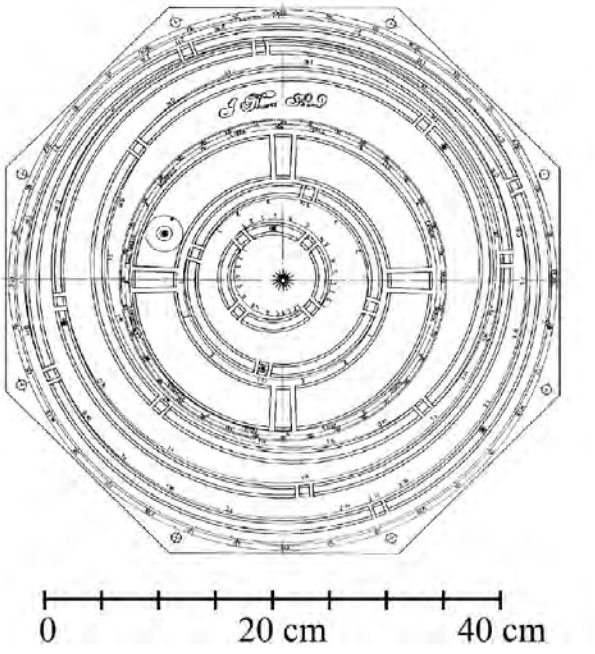
Når man ser på planetsiden som helhed, bliver det tydeligt, at Rømer har tænkt både æstetisk og videnskabeligt. Banerne ligger som smukke, koncentriske cirkler, men de er ikke helt jævnt fordelt. De inderste planeter – Merkur, Venus og Jorden – er placeret med forholdsvis realistiske indbyrdes afstande, mens Jupiter og Saturn er trukket tættere ind, end de egentlig burde være.

Denne sammenpresning var nødvendig for overhovedet at kunne bygge maskinen i en rimelig størrelse. Hvis Saturns bane skulle have haft sin korrekte afstand i forhold til Jorden, ville hele planetariet have været så stort, at det nærmest var upraktisk som bordmaskine.

Rømer har også markeret, at planetbanerne ikke ligger helt i samme plan. Små broer og tal på planetsiden viser, hvor planeterne krydser ekliptika og hvor meget de hæver sig over eller sænker sig under dette plan. Det er en subtil detalje, men den viser, at Rømer havde blik for de tredimensionelle aspekter af Solsystemet.

I moderne tid har man testet, hvor præcist planetariet faktisk er. Når man stiller maskinen til bestemte historiske datoer og sammenligner planeternes placering

med moderne astronomiske beregninger, viser det sig, at modellen fungerer overraskende godt – især for Mars og Jupiter.



Figur 8. Målfast tegning af planetsiden.

Merkur og Venus er mere upræcise, dels fordi deres bevægelser er hurtige og vanskelige at gengive mekanisk, og dels fordi Rømers tidspunkter for indstilling ikke altid passer perfekt med nutidens kalendere. Saturn viser de største afvigelser, hvilket især skyldes, at dens bane i modellen er for tæt på Solen i forhold til Jorden.

Alligevel er konklusionen klar: for Rømers samtid har planetariet været et yderst anvendeligt redskab til observationsplanlægning. Det gav ikke millimeterpræcise positioner, men det gav et pålideligt overblik over himlen – og det var netop det, man havde brug for.

Astronomiske forudsætninger for eklipsariet

For at forstå, hvad Ole Rømer ville med sit eklipsarium, må man først have en enkel fornemmelse af, hvornår formørkelser overhovedet kan ske.

En solformørkelse opstår ved nymåne, når Månen kommer ind mellem Jorden og Solen og kaster sin skygge ned på Jorden. En måneformørkelse sker derimod ved fuldmåne, når Jorden står mellem Solen og Månen og Jorden kaster sin skygge ud i rummet. Hvis Månen kredsede rundt om Jorden i præcis samme plan som Jorden kredser om Solen, ville vi have formørkelse hver måned – men sådan er virkeligheden ikke. Månens bane hælder omkring 5 grader i forhold til Jordens baneplan, og derfor passer Solen, Jorden og Månen kun sjældent helt præcist på linje.

Der findes en særlig linje i rummet – den såkaldte knudelinje – hvor Månens bane skærer Jordens baneplan. Kun når Solen står tæt på denne linje samtidig med nymåne eller fuldmåne, kan der opstå formørkelser. Denne knudelinje drejer langsomt rundt i løbet af cirka 346 dage, et såkaldt knudeår.

Rømers store udfordring var derfor: hvordan laver man en mekanisk maskine, der kan forudsige disse sjældne sammenfald?

Rømers formørkelsesmodel

I stedet for at forsøge at gengive hele Solsystemet realistisk byggede Rømer en overraskende abstrakt mekanisk model. I denne model findes der hverken en rigtig Sol eller en rigtig månebane.

Tanken var, at hvis man kunne få Månen til at bevæge sig på den rigtige måde i forhold til en roterende knudelinje, ville man automatisk ramme de tidspunkter, hvor formørkelser måtte forekomme.

Rømer indførte derfor en særlig kurveskive – den såkaldte baneskive – som roterede langsomt, mens Månen samtidig bevægede sig rundt på skivens rand. Når Månen ramte to bestemte punkter på denne skive, svarede det i virkeligheden til, at Solen og Månen stod på knudelinjen – og dermed til en formørkelse.

Det bemærkelsesværdige er, at modellen slet ikke ligner virkeligheden, men alligevel giver de rigtige tidspunkter for formørkelser.



Figur 9. Eklipsariets kalenderside.

Beskrivelse af eklipsariet

Det færdige eklipsarium er ligesom planetariet en dobbeltsidet messingmaskine. For en mere detaljeret beskrivelse af eklipsariet henvises til [5].

På den ene side findes kalendersiden (figur 9), hvor en stor viser langsomt drejer rundt én gang om året og peger på årets 365 dage. I to små vinduer kan man samtidig aflæse årstallet mellem 1580 og 1779. Når viseren bevæger sig, trækker den via tandhjul hele maskineriet i gang.

På den anden side findes månesiden (figur 10), som er langt mere kompleks. Her ses en stor, drejelig messingskive med en smal revne, hvorigennem en lille sort måneskive bevæger sig. Denne måneskive glider ikke blot rundt i cirkel, men bevæger sig også lidt ind og ud i forhold til centrum, som om Månen nogle gange er tættere på Jorden og andre gange længere væk.

Yderst på denne side findes to faste cirkler: en øverst, hvor solformørkelser vises, og en nederst, hvor måneformørkelser vises. Når den lille sorte måneskive rammer én af disse markeringer, betyder det: nu er der formørkelse.

Inde i maskinen ligger et indviklet system af tandhjul og to særlige kurveskiver, som tilsammen styrer Månens bevægelse og baneskivens rotation. Det hele drives af den årlige kalenderbevægelse, men omsættes til månens cyklusser gennem nøje udvalgte tandhjulsforhold.



Figur 10. Eklipsariets måneside.

I virkeligheden bevæger Månen sig ikke helt jævnt rundt om Jorden. Den går hurtigere, når den er tæt på Jorden, og langsommere, når den er længere væk.

For at tage højde for dette indførte Rømer en anden kurveskive – hastighedsskiven. Denne skive er ikke centreret som en normal cirkel, men let forskudt, så en følerarm vipper frem og tilbage, mens skiven drejer.

Denne vippen overføres mekanisk til måneviseren og gør dens bevægelse en smule ujævn – på omtrent samme måde som i virkeligheden.

Rømers løsning er ikke perfekt, men han valgte bevidst en moderat korrektion, så maskinen ikke blev for ustabil, men stadig mere realistisk end uden skiven.

Da eklipsariet blev genfundet på Rosenborg i 1982, blev det restaureret og senere kopieret. For første gang kunne man systematisk teste, hvor godt Rømers maskine faktisk fungerede.

Man sammenlignede maskinens visninger med virkelige formørkelser mellem 1687 og 1715. Resultatet var imponerende, for omkring 96% af alle virkelige formørkelser blev korrekt vist og samtidig viste maskinen kun få "falske" formørkelser. Uden hastighedsskiven ville præcisionen have været mærkbart dårligere, hvilket viser, at Rømers ekstra mekaniske finesse faktisk gjorde en reel forskel.

Afslutning

Ole Rømer forenede på en enestående måde teori og praksis. I Paris bidrog han til forståelsen af lysets natur og konstruerede sine berømte planetmaskiner, mens han i København udviklede centrale videnskabelige instrumenter som meridiankredsen og forbedrede termometre. Samtidig arbejdede han med praktiske samfundsopgaver som vandforsyning og veje.

Hans planetarium og eklipsarium viser denne dobbelte begavelse i konkret form. Hvor planetariet giver et mekanisk overblik over Solsystemets struktur, demonstrerer eklipsariet på snedig vis formørkelsernes rytme gennem en abstrakt, men yderst effektiv model.

Når man i dag ser maskinerne på Rosenborg Slot, står de som vidnesbyrd om 1600-tallets ambition om at forstå og ordne kosmos gennem en tæt forbindelse mellem videnskab og mekanik – og om Rømers særlige evne til at omsætte teori til mesterlig teknik.

Litteratur

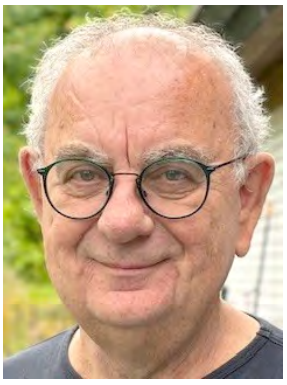
[1] H. C. King (1978) "Geared to the stars, The evolution of planetariums, orreries and astronomical clocks", Toronto.

[2] P. Horrebow (1735) Basis Astronomiæ, København.

[3] H. A. Lloyd (1958) "Some outstanding Clocks over seven Hundred Years 1250-1950", Leonard Hill Books, London, side 81.

[4] P. Darnell og F. Nielsen (2013) "Ole Rømers planetarium", *Meddelelser fra Ole Rømers Venner, Det Danske Rømer Selskab*, bind **21**, www.oleroemer.dk

[5] P. Darnell og F. Nielsen (2012) "Ole Rømers glemte formørkelsesmaskine fra 1680", *Meddelelser fra Ole Rømers Venner, Det Danske Rømer Selskab*, bind **20**, www.oleroemer.dk



Poul Darnell er pensioneret privatansat ingeniør. Han har modtaget Aarhus Universitets sølvmedalje i videnskabshistorie (1987).



Frank Nielsen er cand.mag. i matematik, fysik, astronomi og kemi og forhenværende lektor på DTU. Han er forfatter til lærebøger og artikler om matematik og har bidraget til hjemmesiden fysikhistorie.dk, som årlige har over 100.000 besøgende.