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



Ole Rømers planetarium

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@vejrmølle.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
den 10. juni 2013

ISSN: 1604 - 9322

Meddelelser

fra

Ole Rømers Venner

Det Danske Rømer Selskab

21. årgang 2013

Særnummer juni 2013

Ole Rømers planetarium

Forside: Planetariet set fra planetsiden

Redaktion 4

1 Indledning 6

2 Den historiske baggrund 6

3 Teknikken i planetmaskinerne 8

4 Planetbevægelsen 9

5 Forstudiet til planetariet 10

6 Planetariets udseende 12

7 Stjernesiden 14

8 Betjening af planetsiden 21

9 Teknisk beskrivelse af planetariet 25

10 Planetsidens geometri 29

11 Valg af begyndelsesbetingelser og test 36

12 Afslutning 39

Referencer 40

Bagside: Planetariet set fra stjernesiden

Meddelelser 2013

Særnummer

Med udgivelsen af dette særnummer om Ole Rømers planetarium og udgivelsen af et tilsvarende særnummer sidste år om hans eklipsarium, foreligger der nu to fuldstændige beskrivelser af disse maskiner, som blev fremstillet i 1680. Det er paradoksalt, at der skulle gå 333 år, før de endelige beskrivelser af Rømers to eneste bevarede astronomiske instrumenter foreligger!

Årsagen er, at Rømer ikke selv efterlod sig nogle former for beskrivelse af instrumenterne, og at de to franske beskrivelser der findes, begge er meget kortfattede og ufuldendte. Den første franske beskrivelse er dateret 19. februar 1682 og findes i *'Journal des Sçavans'*. Den anden beskrivelse stammer fra en bog om opfindelserne ved *Académie Royale des Sciences*, der udkom så sent som i 1735, hvor både Rømer og instrumentmageren Isaac Thuret for længst var afgået ved døden.

Heller ikke i Danmark blev der lavet beskrivelser af maskinerne, fordi Peder Horrebow, Rømers elev og efterfølger som astronomiprofessor, ikke havde adgang til kongens samling, hvor de to apparater befandt sig. Horrebow beskriver indgående Rømers andre planetmaskiner i sin bog 'Basis Astronomiæ' fra 1735, men nøjes med at nævne, at planetarium og eklipsarium fandtes i kongens samling.

I 1944 udkom der en del bøger om Rømer i forbindelse med markeringen af hans 300 års fødselsdag; men også her blev planetmaskinerne stort set forbigået i tavshed. Det var først i 1982, der kom gang i forskningen i planetmaskinerne, fordi Rømers eklipsarium det år blev "genfundet" på Rosenborg slot, selvom det var behørigt registreret i Rosenborgs samlinger.

Det er derfor med stor glæde, at Ole Rømers Venner nu kan udsende den endelige beskrivelse af Ole Rømers planetarium.

Ole Henningsen, redaktør

Ole Rømers planetarium fra 1680

Poul Darnell og Frank Nielsen

1. Indledning

Apparater til demonstrering af det kopernikanske verdensbillede fremkom først omkring år 1600, og de kan bedst betegnes som ”genialt legetøj”[1)], idet den egentlige udvikling af et videnskabeligt anvendeligt kopernikansk planetarium først fandt sted senere i samme århundrede ved Det Franske Videnskabelige Akademi i Paris.

Det var først og fremmest Ole Rømer, der under sit ophold ved akademiet i årene 1672-1681 kom til at beskæftige sig med udvikling af planetmaskiner, og hans arbejde blev senere videreført af hans kollega fysikeren Christian Huygens. [1)]

Rømer konstruerede forskellige planetmaskiner, og formålet med disse var dels, at de kunne illustrere himmellegemernes bevægelser; men også at de kunne anvendes som regnemaskiner for hvornår man rent faktisk kunne observere fænomenerne på himlen. Man må huske på, at man på dette tidspunkt kun havde få tabelværker til rådighed, som angav planeternes bevægelser.

2. Den historiske baggrund

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. Den maskine blev senere opsat af Rømer 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.

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

4. Det planetarium som denne artikel handler om og 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).

De to sidste maskiner planetarium og eklipsarium blev udført som sæt, og der blev i alt fremstillet 4 af disse.

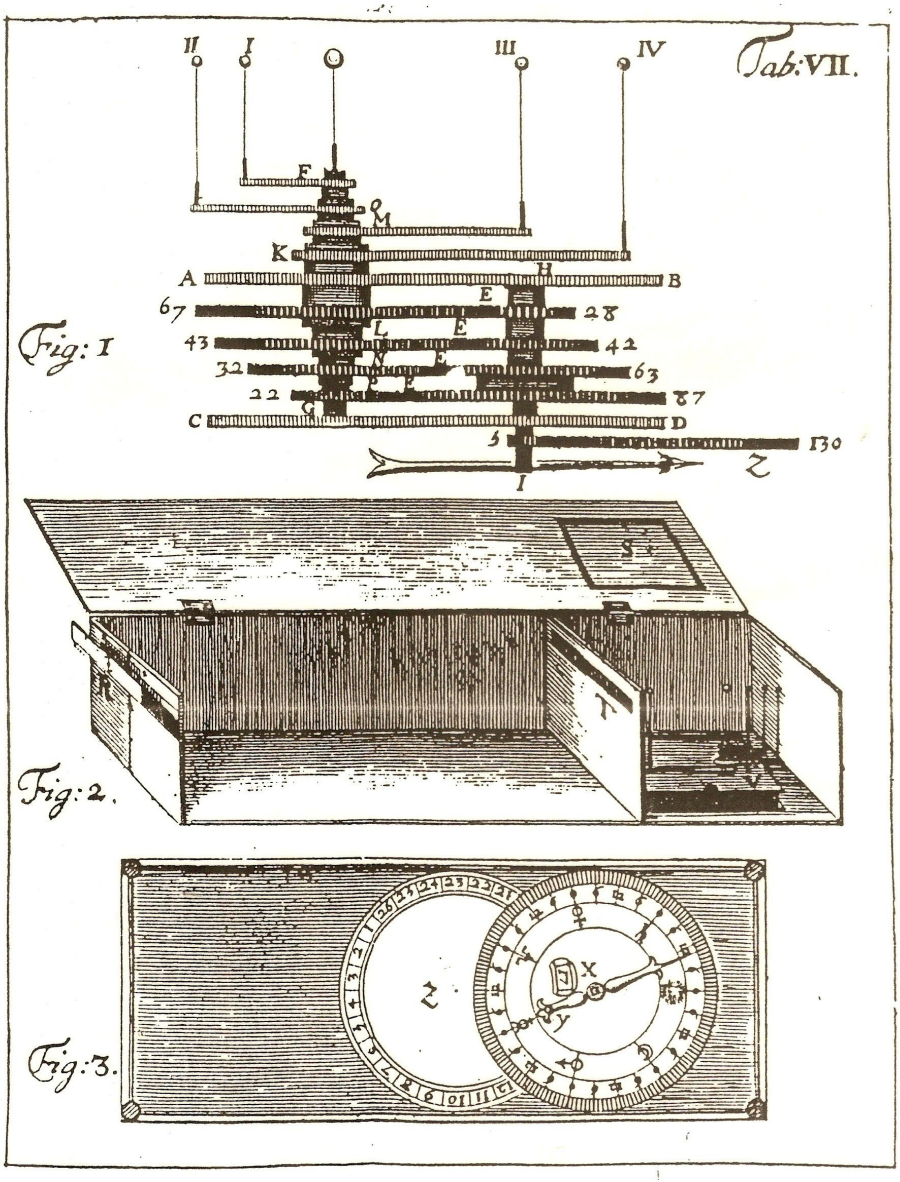
Det første sæt udførtes til Solkongen Ludvig XIV, og det blev anvendt til undervisning af kronprinsen, for hvem Rømer var lærer. Det andet sæt blev fremstillet til Shahen af Persien som fyrstegave, og et tredje sæt blev delt mellem den kinesiske kejser K´hang-hsi og kongen af Siam. Formålet med disse gaver var udelukkende at vise (prale med), hvor dygtige man var i Frankrig indenfor natur-videnskab og teknik. 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 fire nævnte sæt eksisterer i dag kun de danske og de franske eksemplarer på henholdsvis Rosenborg Slot i København og på Bibliothéque Nationale i Paris. Det franske eksemplar af planetariet er – så vidt forfatterne ved – aldrig blevet nærmere undersøgt.

For de som er interesserede i en mere generel beskrivelse af alle Rømers planet-maskiner henvises til bogen: ”Ole Rømer – I kongens og videnskabens tjeneste”.[2)]

3. Teknikken i planetmaskinerne

Teknikken i jovilabiet, saturnilabiet og planetariet består af rene tandhjulskonstruktioner. Figur 3.1. viser jovilabiet. Stikket stammer fra Basis Astronomiæ [3)].



Figur 3.1. Rømers jovilabium

Som det ses af stikket, 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.

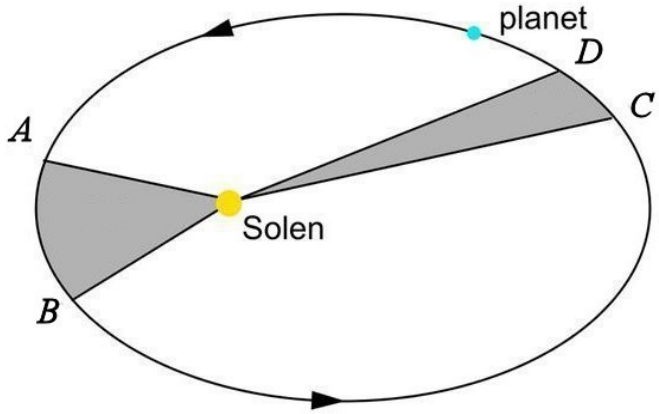
4. Planetbevægelsen

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

De to første af lovene lyder (fig. 4.1):

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

2. Linjen mellem Solen og en planet passerer altid lige store arealer i lige lange tidsrum.



Figur 4.1. En planetbane

På figur 4.1 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.*

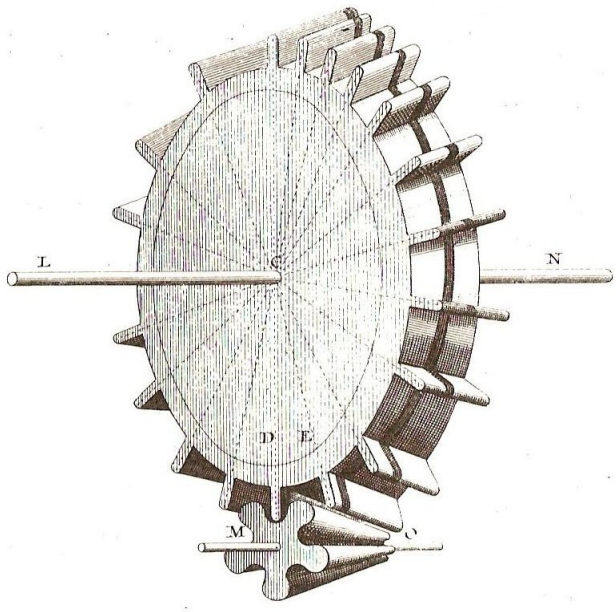
Med hensyn til Keplers 1. lov gjorde Rømer den tilnærmelse at udføre alle planetbanerne som cirkler, hvilket de næsten også er.

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 største mekaniske udfordring!

5. 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.

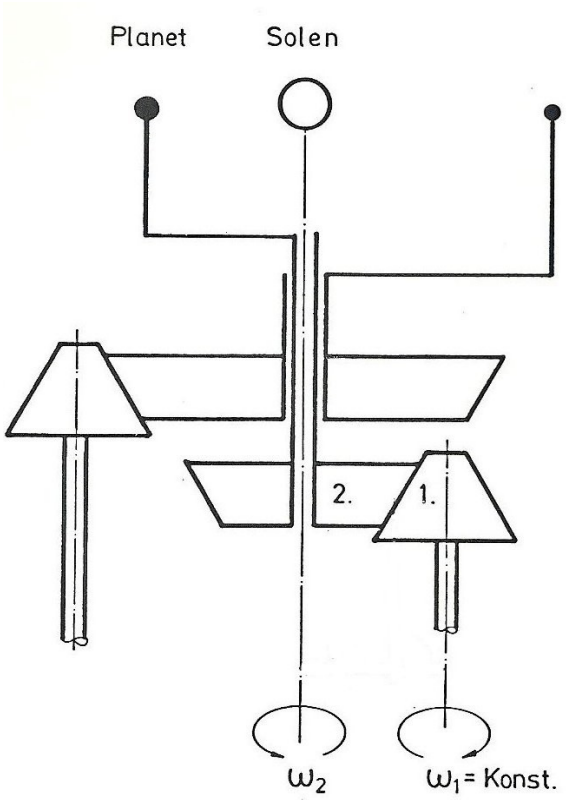
At dette har voldt ham besvær, ses af en tilsyneladende ubenyttet opfindelse [4)], som han må have gjort i denne forbindelse (se figur 5.1).



Figur 5.1. 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 er blevet anvendt skyldes sikkert, at den i praksis er næsten umulig at fremstille.

Fig. 5.2. viser forfatternes forslag, til hvorledes Rømer principielt ville have været i stand til at sammensætte et planetarium ved anvendelse af ovennævnte koniske tandhjul. Principskitsen viser kun to par tandhjul; men Rømers konstruktionen vil kunne udvides til seks par tandhjul, dvs. et par pr. planet.



Figur 5.2. Mulig konstruktion med variable vinkelhastigheder

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.

6. Planetariets udseende

Under Rømers ophold i Paris i perioden 1672 - 1681 foregik der omfattende astronomiske observationer, især af planeterne og deres måner. Et af formålene med planetariet var at bidrage til en rationel planlægning af disse observationer. Ved hjælp af planetariet kunne man finde ud af, hvor planeterne står mellem stjernerne på et givet tidspunkt, man kunne finde op- og nedgangstider, og man kunne se, hvilken del af stjernehimlen der var over horisonten på det valgte tidspunkt. Sammen med Rømers Jovilabium var planetariet nyttigt, når man skulle planlægge de vigtige observationer af Jupiters måner.



Figur 6.1. Planetariets stjerneside

Stjernesiden indeholder et fastsiddende stjernekort med over 100 enkeltstjerner og mange figurer, der repræsenterer stjernebillederne. I midten sidder der en nøgle. Med den kan man dreje timekredsen, der har sorte romertal, og man kan stille årstallet, som ses i de to små grå udskæringer. Endelig kan man dreje den svagt synlige horisontskive, som hele tiden rører indersiden af timekredsen.

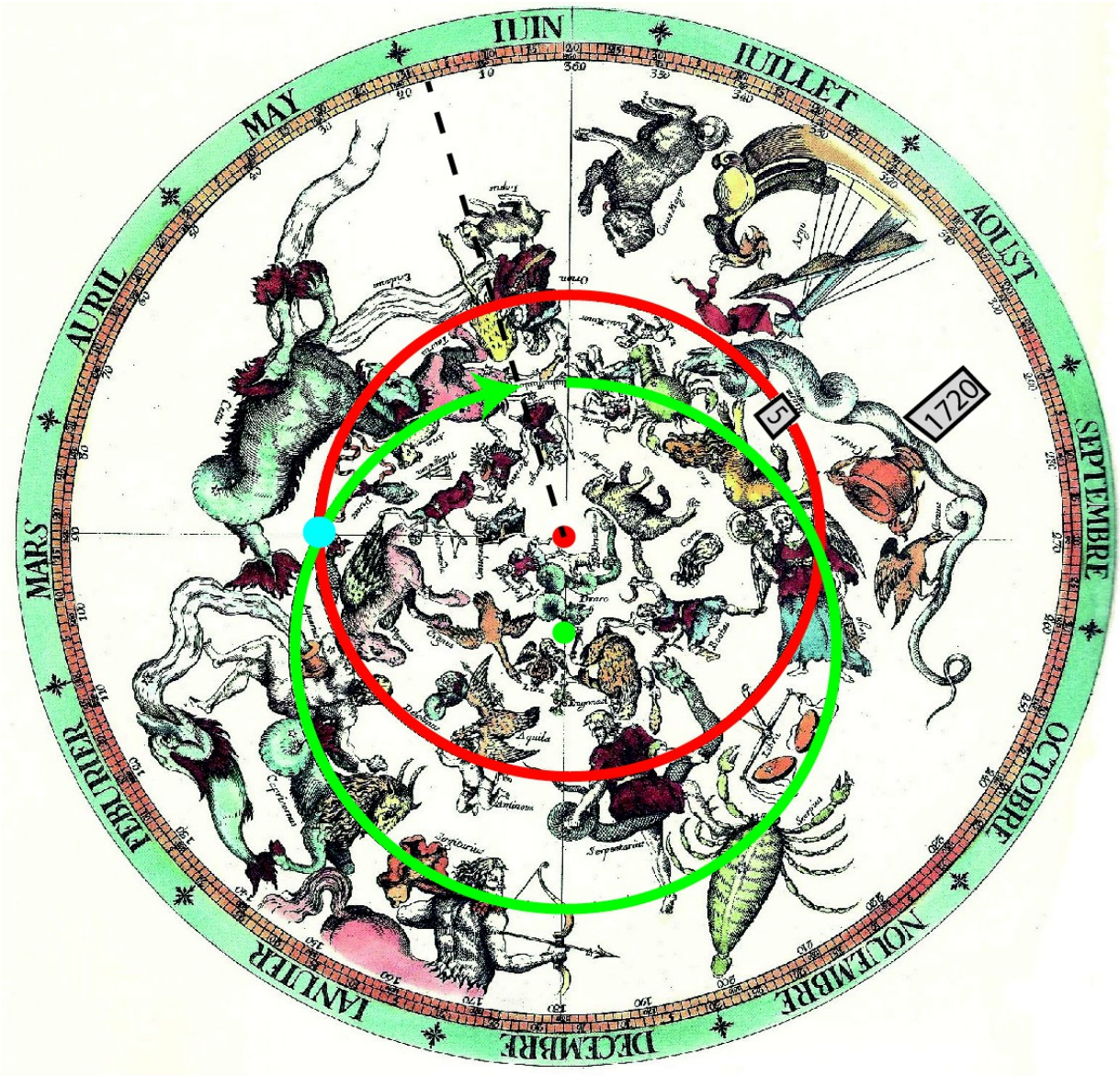


Figur 6.2. Planetariets planetside

Planetsiden indeholder cirkelformede baner for de 6 planeter, man kendte dengang. I midten står Solen, og hver planet er repræsenteret af en lille halvædelsten. Planeterne bevæger sig, når man drejer på nøglen på stjernesiden. Jordens cirkelformede bane er meget bred. Det giver plads til, at Månen kan bevæge sig i sin bane om Jorden. Planetariet og jovilabiet blev altså brugt som analogregnemaskiner til bestemmelse af henholdsvis planetpositioner og omtrentlige formørkelsestids-punkter for Jupiters måner.

7. Stjernesiden

Det kan være svært at se detaljerne på fotografiet af stjernesiden. I det følgende bruger vi derfor nedenstående billede, der er et farvelagt aftryk af den faste stjerneside. Aftrykket og farvelægningen er lavet af urmager Søren Andersen, der også fremstillede den kopi af planetariet, som står på Kroppedal Museum, og som forfatterne har haft adgang til.



Figur 7.1. Planetariets stjerneside

Der er to kredse indtegnet på stjernekortet, men de er svære at se, derfor har vi fremhævet dem. De stjerner på himlen, der ligger lodret over Jordens ækvator, ligger på himlens røde ækvator. Den har centrum i den røde polarstjerne. Solens årlige bane mellem stjernerne er den grønne ekliptika. Den har centrum i det grønne punkt. Det punkt, hvor Solen krydser himlens ækvator fra syd mod nord er det blå punkt; det kaldes forårspunktet. Der står Solen omkring den 21. marts. "Længden" af et punkt på ekliptika er vinkelafstanden fra forårspunktet, målt med uret. Så den grønne pilespids har længden 73 grader. Planeterne bevæger sig (tæt) på ekliptika.

På billedet nedenfor kan man se, at der er gradstreger på begge kredse. Gradstregerne på ekliptika peger mærkeligt nok mod ækvators røde centrum, ikke mod ekliptikas grønne centrum. Derfor begynder den punkterede sigtelinje på figur 7.1 i det røde punkt.

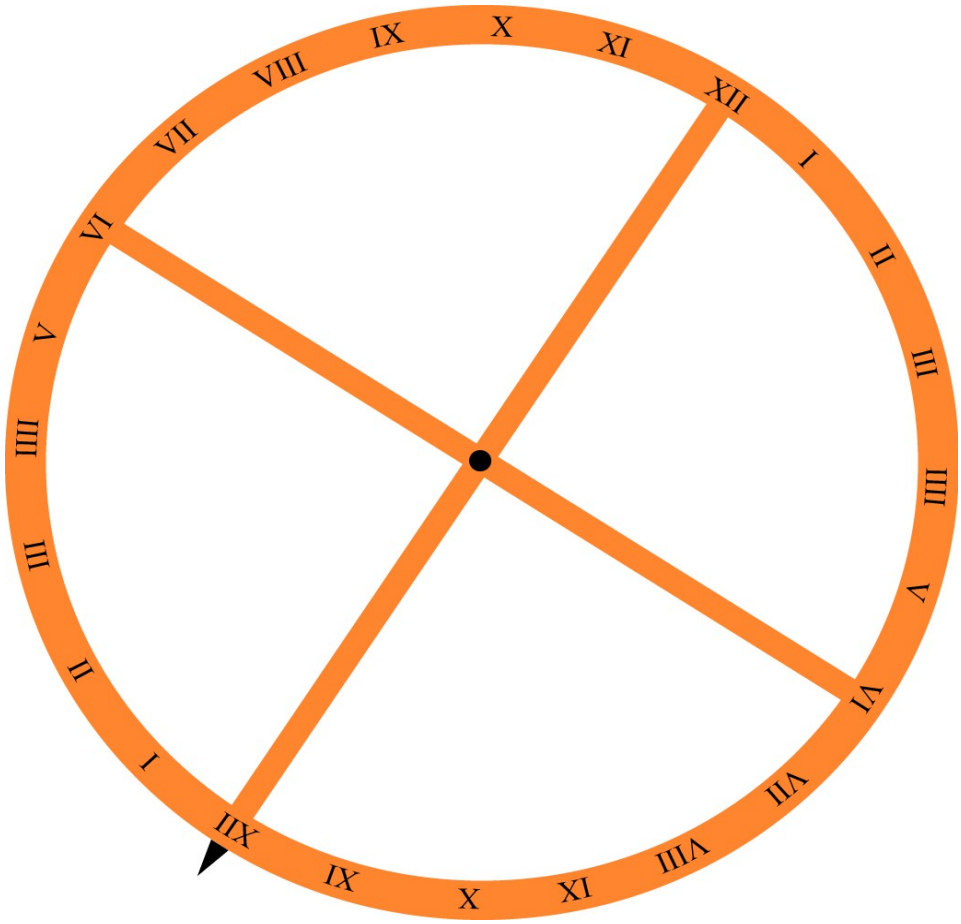


Figur 7.2. Skrå gradstreger

Stjernekortet er af Rømer tilpasset de skrå streger på den måde, at f. eks stjerner, der i virkeligheden har længde 73˚ er afbildet på den punkterede linje ovenfor. Yderligere er stjerner, der i virkeligheden står på ekliptika, tegnet ind på eklipsariets ekliptika. Stjernekort var ikke almindelige på Rømers tid, og her får vi altså en vis information om, hvordan Rømer konstruerede stjernekort.

I centrum af stjernesiden sidder der en nøgle. Vi tænker os, at den drejer sig jævnt med uret, en omgang på et år, som er 365,25636 døgn. Nøglen drejer sig altså med samme vinkelhastighed som Solen mellem stjernerne.

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 figur 7.1 vises årstallet 1725.

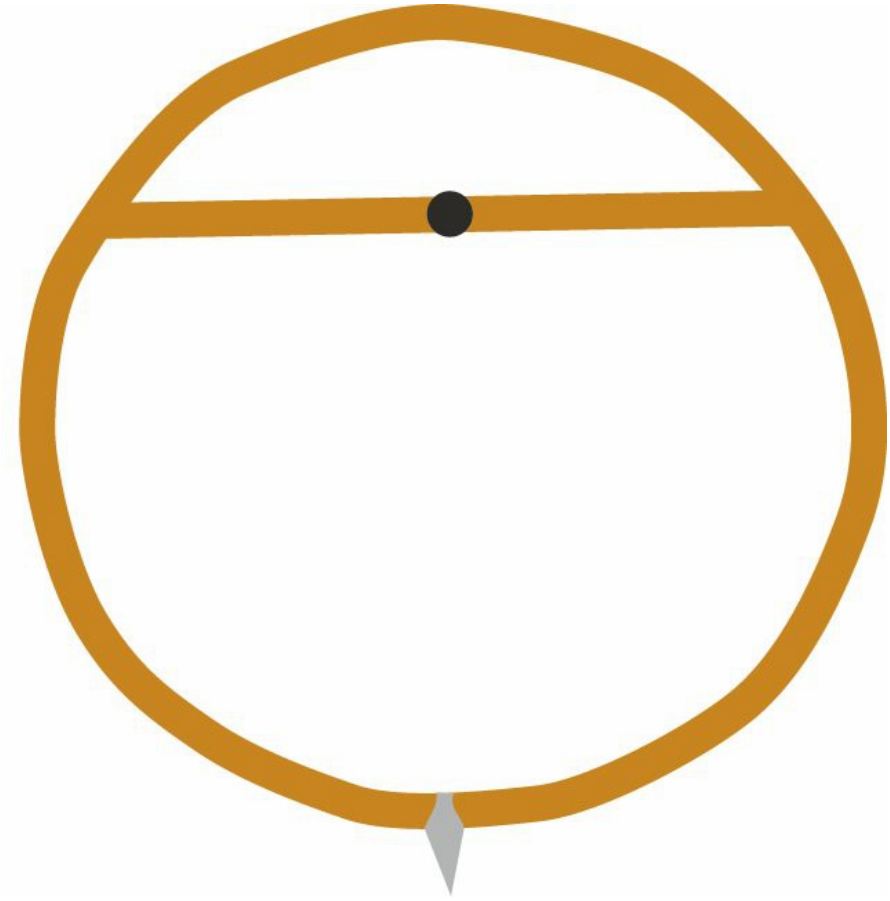


Figur 7.3. Timekredsen

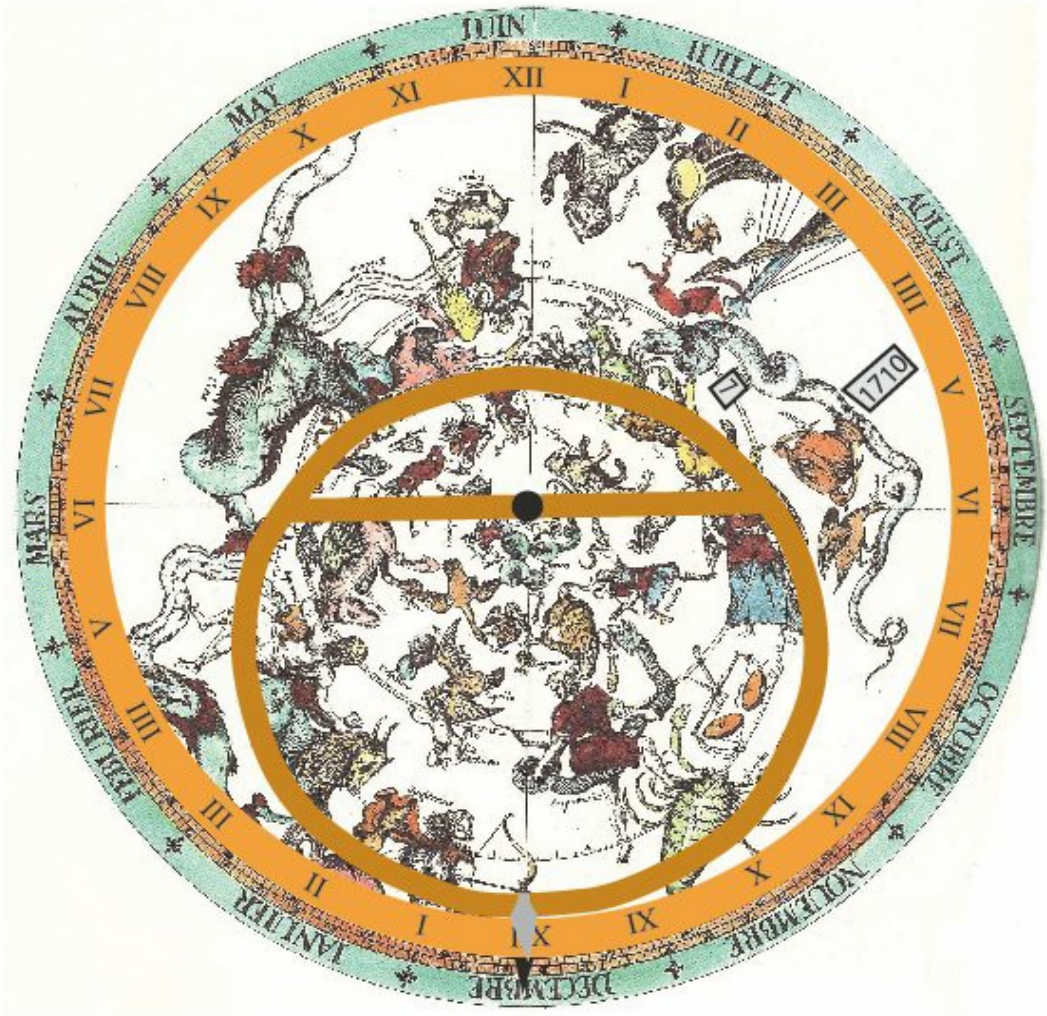
Stjernekortet er omgivet af tre fastsiddende kredse. Yderst står månedernes navne med Sankt Hans for oven. Lige indenfor står datoerne, øverst den 20. juni og nederst den 17. december, ½ år senere. Inderst er der en gradskala der begynder ved den 20. juni.

Foran stjernekortet er der anbragt to kredse, der kan dreje sig om kortets centrum, himlens nordpol, inderst timekredsen og yderst horisontkredsen.

Timekredsen er inddelt i døgnets 24 timer. Kredsen følges med nøglen, én gang rundt på et år. Der sidder et sort pilespids på kredsen. Den sidder ved kl. 12 midnat, altså ved døgnets begyndelse. På de følgende figurer sletter vi de to diametre. Så bliver det mere overskueligt.



Figur 7.4. Horisontkredsen



Figur 7.5. Stjernesidens begyndelsestidspunkt

Uden på timekredsen sidder horisontkredsen. Horisontkredsen er ikke bevaret fra Rømers tid, den er en rekonstruktion fra 1983. Den er dimensioneret, så den tangerer indersiden af timekredsen og drejer sig om centrum. Den har en grå pilespids. Horisontkredsen sidder sådan, at man kan dreje den med hånden.

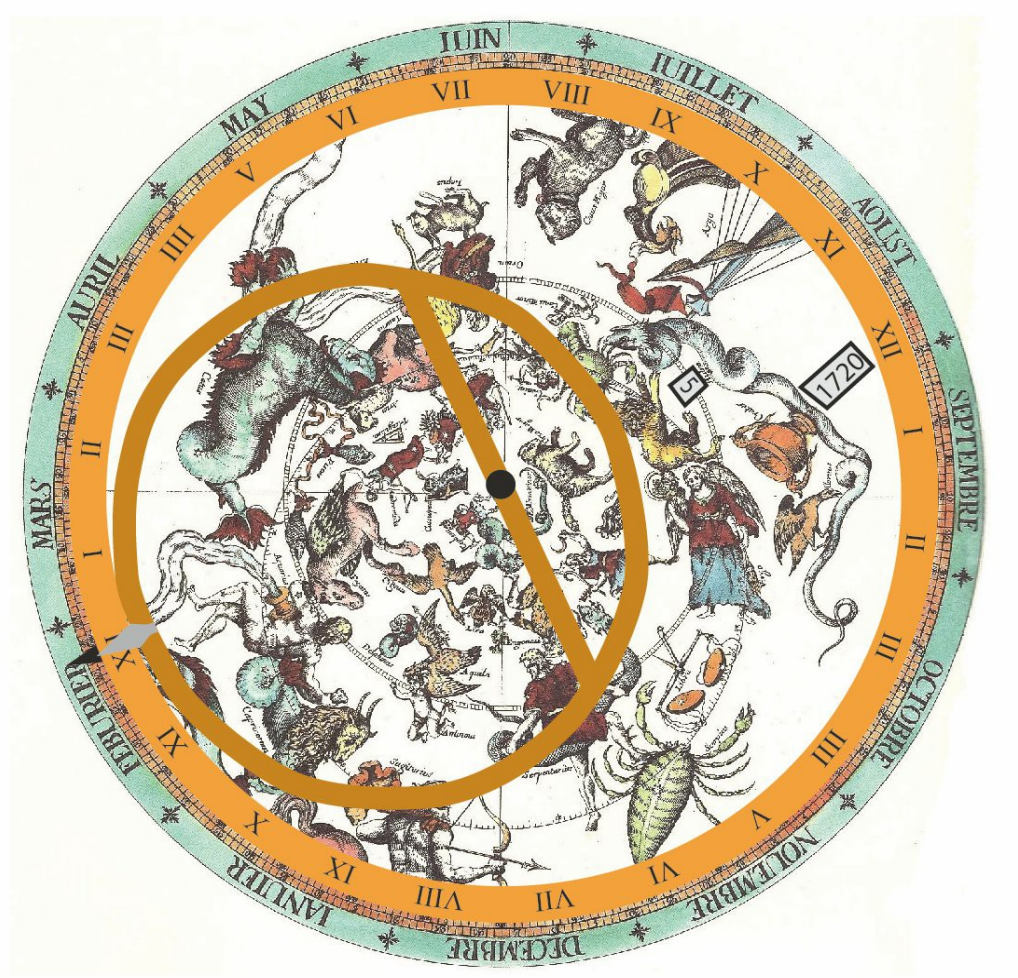
Som starttidspunkt vælger vi døgnets begyndelse kl. 00 midnat den 17. december 1717. Vi sørger for, at dette årstal vises i de to vinduer, vi anbringer kredsene så begge pile peger nedad, og horisontskiven er lavet sådan, at den omslutter præcis den del af himlen, som i virkeligheden kan ses på starttidspunktet.

Vi går nu over til at beskrive, hvordan timekredsen og horisontkredsen skal bevæge sig i tidens løb. For ikke at gøre det for abstrakt vælger vi et konkret, men tilfældigt

valgt tidspunkt, nemlig år 1725, den 23. februar kl. 3:15. Indstillingen foregår nu således:

1. Først drejes nøglen 8 gange med uret. Så skifter tallet i vinduerne til 1725, og andet sker der ikke på stjernesiden.

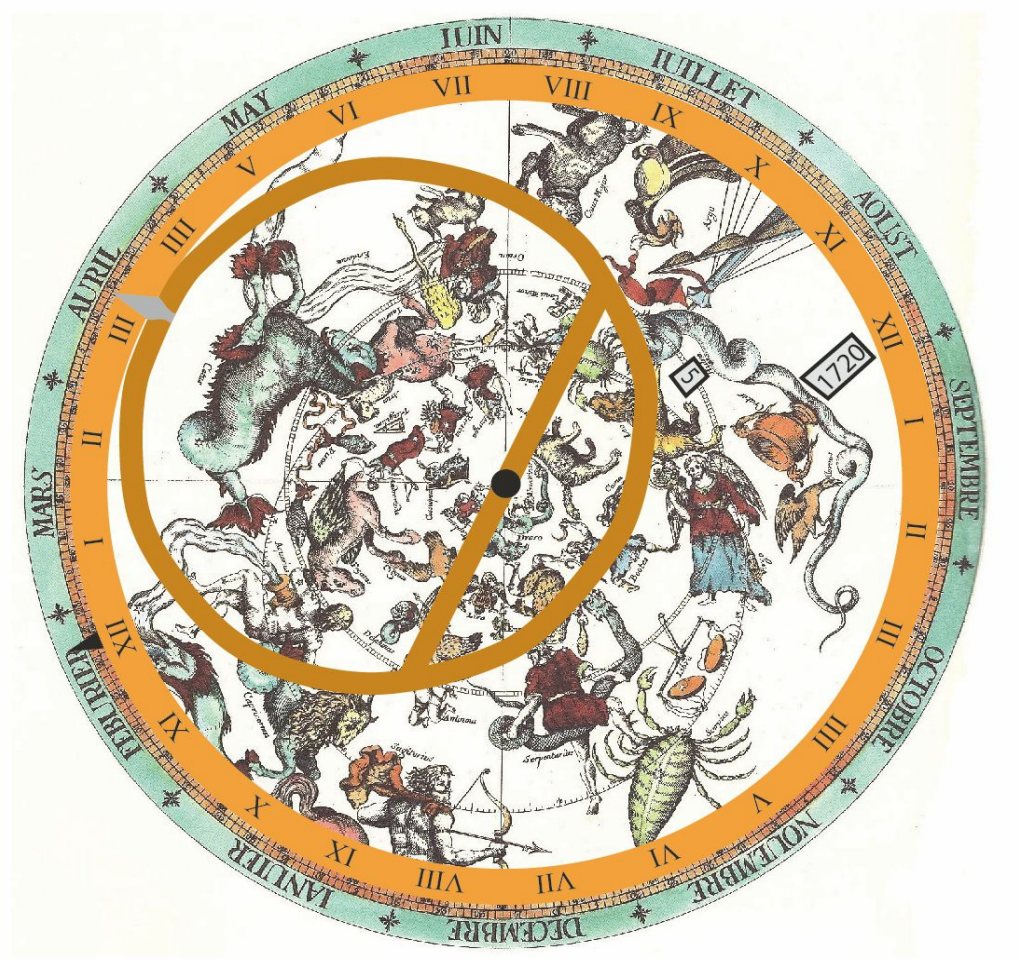
2. Så drejes de to skiver i retning med uret, indtil begge visere peger på 23. februar. Det antal grader, vi har drejet, er lig med det antal grader, som stjernehimlen i den årlige bevægelse har drejet sig fra årets begyndelse. Derfor omslutter horisontskiven nu stjernehimlen den 23. februar ved midnat:



Figur 7.6. Stjernesiden stillet på dato

3. Til sidst drejer vi horisontskiven alene indtil dens viser peger på tidspunktet 3:15.

Det antal grader vi har drejet, er lig med det antal grader, som stjernehimlen har drejet sig fra midnat i den daglige bevægelse. Derfor omslutter horisontskiven nu stjernehimlen den 23. februar. kl. 3:15:

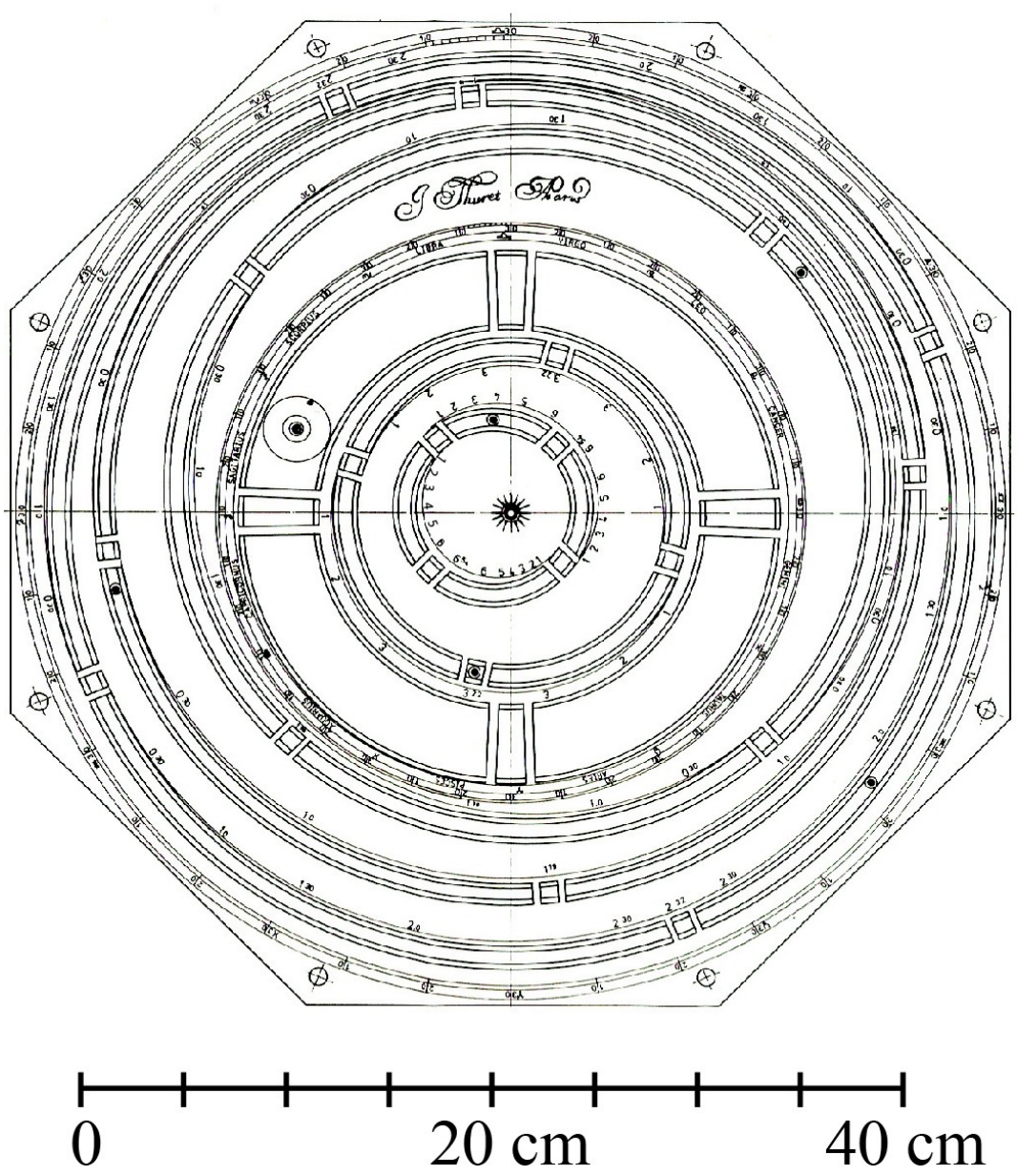


Figur 7.7. Stjernesiden stillet på klokkeslæt

Vi er nu nået frem til følgende resultat:

Når man på denne måde vælger årstal, dato og tidspunkt med ca. et kvarters nøjagtighed, så omkranser horisontkredsen den del af stjernehimlen, som man i virkeligheden kan se på dette tidspunkt.

8. Betjening af planetsiden



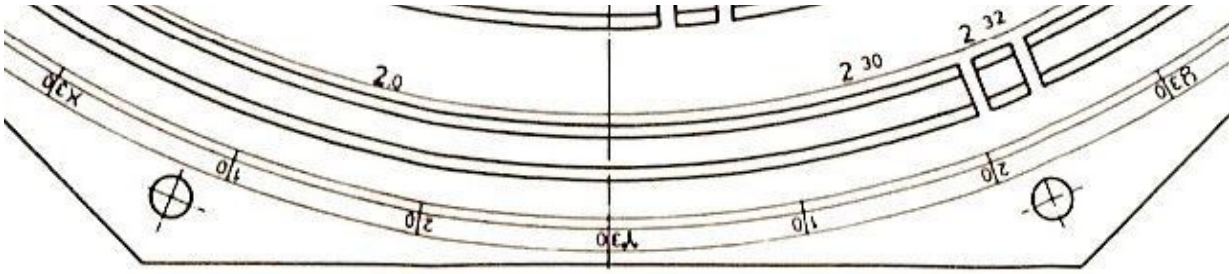
Figur 8.1. Målfast tegning af planetsiden

På planetsiden er hver af de 6 planetbaner en cirkelformet , ca. 1 cm bred rille. For at gøre plads til Månens bane er Jordens rille dog bredere. For at holde sammen på hele planetsiden er der over hver rille fire dobbelte broer. Nede i hver rille ligger der en messingring, som af nøglen på stjernesiden drejes rundt i rillen. På hver ring sidder der en halvædelsten, som repræsenterer planeten: Inderst Merkur, derefter Venus, Jorden, Mars, Jupiter og yderst Saturn. Planeterne bevæger sig mod uret.

Planeternes omløb skabes ved drejning af nøglen i centrum af stjernesiden. Omløbstiderne er bestemt af tandhjulsudvekslinger inde i eklipsariet. Resultatet er, at omløbstiderne afviger mindre end ½ % fra de virkelige omløbstider. I afsnit 9 beskriver vi de tekniske detaljer nærmere.

Banerne er cirkelformede. Det følger af Keplers love, at de burde være ellipser med Solen i det ene brændpunkt. Men ellipseformen af planetbanerne viser sig først og fremmest ved, at Solen ikke er i centrum. På billedet kan man tydeligt se det for Merkurs vedkommende. I afsnit 10 vurderer vi betydningen af denne tilnærmelse og andre aspekter af planetsidens geometri.

Mekanikken inde i planetariet er konstrueret sådan, at når nøglen drejes med uret, så bevæger planeterne sig mod uret, når man står foran planetsiden.



Figur 8.2. Forstørret tegning af det nederste af planetsiden

Stjernetegnene for fiskene, vædderen og tyren ser således ud:



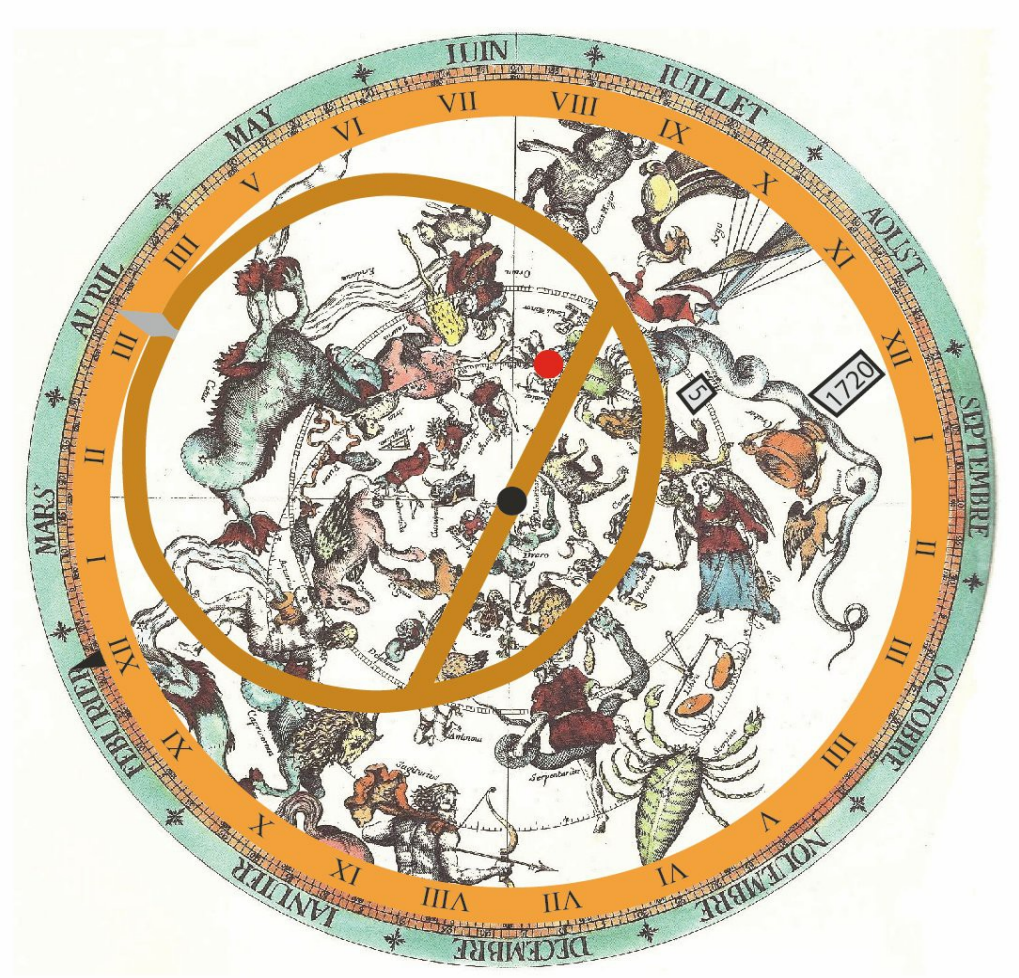
Fiskene Vædderen Tyren

På figur 8.2 ser man i den nederste kreds til venstre stjernetegnet for fiskene, i midten vædderen og til højre tyren, tegnene står på hovedet. Det dokumenterer, at Rømer har valgt at placere forårspunktet lodret nede, og at længden vokser når man går mod uret. Under bevægelse vokser planeternes længde altså.



Figur 8.3. Sigtelinjer fra Jorden til Merkur

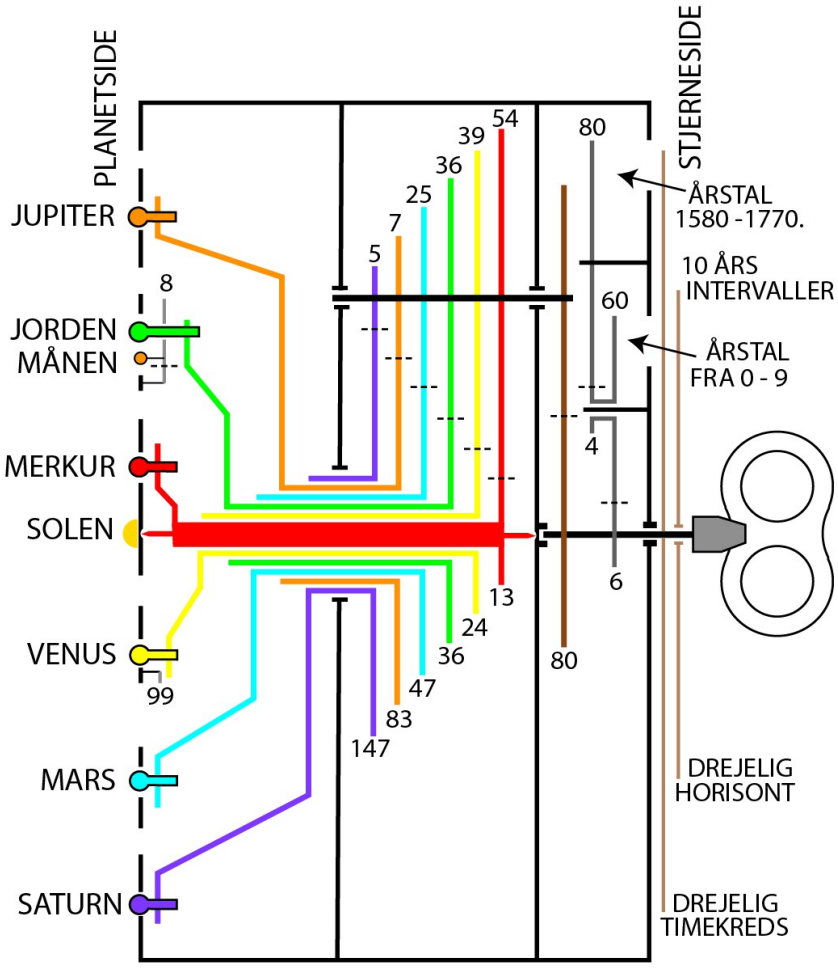
Formålet i det følgende er at beskrive hvordan en iagttagen position på planetsiden omsættes til en position på ekliptika på stjernesiden. På figur 8.3 ser man til venstre Jorden, i midten Solen og lidt længere til højre Merkur i sin bane. Den nederste punkterede linje er derfor synslinjen fra Jorden til Merkur. På gradskalaen længst til højre peger den på 91 grader. Længere ude er der endnu en skala, men hvis man bruger den får man et lidt større gradtal, og det går jo ikke. Det korrekte er at foretage en parallelforskydning af sigtelinjen. Så får man den øverste punkterede linje, der går gennem Solen, og man kan nu aflæse, at set fra Jorden er Merkurs længde 112 grader, lige meget hvor stor gradskalaen er. Det resultat kan så omsættes til en position på stjernesiden, sådan som det er vist med det røde punkt på figur 8.4:



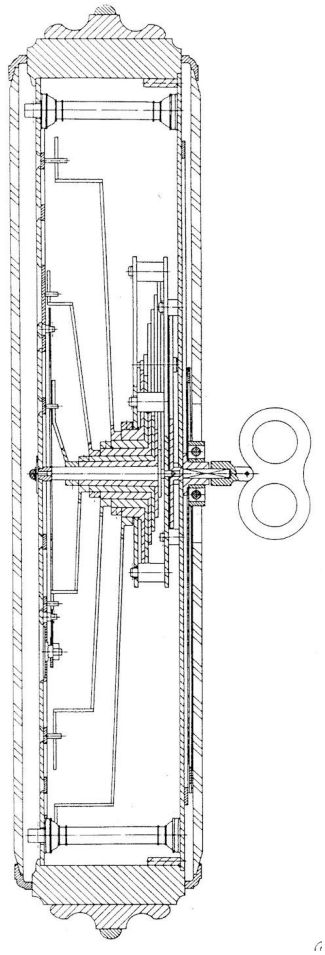
Figur 8.4. Merkurs placering mellem stjernerne

Ved at dreje horisonten kan man se, at Merkur først går ned næste eftermiddag ved 5-tiden – og det kan man jo ikke se! På planetariet kan man ikke sætte er rødt punkt. I stedet kan man finde de 112 grader på ekliptikaskalaen, og se om dette punkt ligger inde i horisontskiven.

9. Teknisk beskrivelse af planetariet



Figur 9.1. Principsnit i planetariet



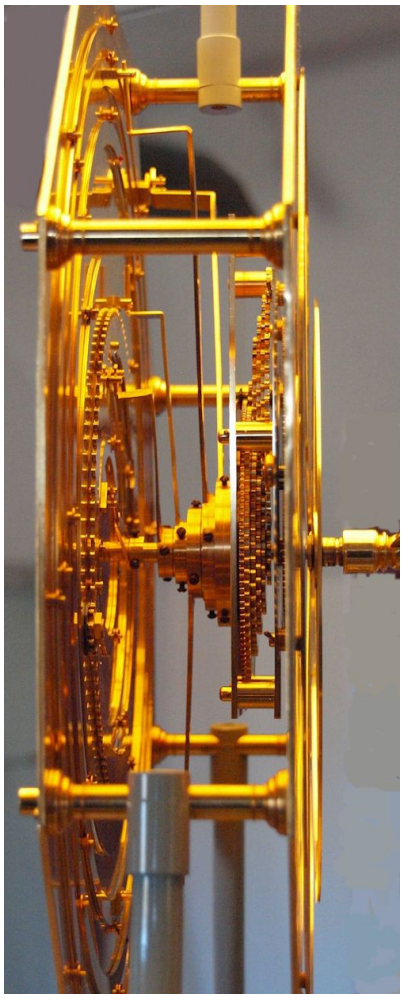
Figur 9.2. Målfast tegning af planetariet

Formålet med mekanikken inde i planetariet er først og fremmest at sørge for, at planeterne i deres baner bevæger sig med korrekte omløbstider. Herudover skal det årstal, der vises i de to udskæringer vises korrekt, og timekredsen skal dreje sig en omgang på et år. De astronomiske konstanter, der optræder i det følgende stammer fra [5)].

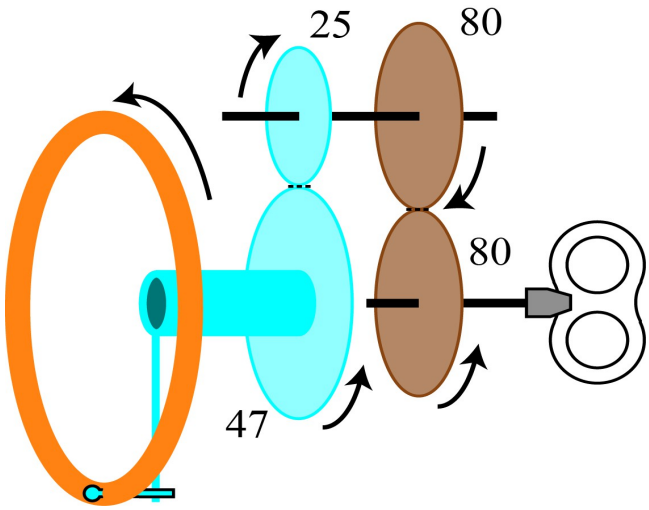
På figur 9.1 kan man mellem nøglen og den sorte kasse yderst se horisontkredsen, og lige bag den ses timekredsen, der følger med nøglen rundt, en gang rundt på et år. Inde i kassen driver nøglen 4 grå tandhjul. De sørger for, at årstallene vises som de skal. Årstallene er anført på siden af de to tandhjul med 60 og 80 tænder. De

punkterede trepunkts linjestykker markerer tandhjul i indgreb, og tallene er antallet af tænder.

Til venstre for de grå tandhjul sidder der to lige store brune tandhjul. De tjener til at overføre bevægelsen til de 6 andre tandhjul, der sidder fast på den øverste sorte aksel. Alle disse tandhjul drejer sig altså en gang rundt på et år. Det røde længst til højre driver ved hjælp af tandhjulet med 13 tænder Merkur rundt om Solen, det næste sørger for Venus osv. Det foregår ved hjælp af en snedig mekanisme, der er beskrevet af Kepler, men som først med Rømer kommer til fuld udnyttelse.



Figur 9.3.Foto af eklipsariet



Figur 9.4. Mekanikken bag bevægelsen af Mars

På figuren ovenfor til højre viser vi som et eksempel, hvordan planeten Mars bevægelse bliver frembragt.

De brune tandhjul er fælles for alle planeterne. Pointen er nu, at den rørformede tykke blå aksel passer ind i Jupiters hule aksel, mens Jordens hule aksel passer ind i den blå. Alt i alt er der 5 hule aksler, der alle sammen drejer sig om Merkurs røde aksel, der er massiv (figur 9.1). På figur 9.3 kan man lige i midten se de 5 tykke hule aksler, der er forskudt i forhold til hinanden, og man kan også se nogle af de stænger, der fører planeterne rundt. Stangen, der på figur 9.4 går nedad fra rørenden deltager i rotationen, og den fører Mars og den orange banecirkel af messing med rundt. Banecirklen glider rundt i en rille i planetsiden. For Mars vedkommende bliver omløbstiden i planetariet et år gange 47/25 = 686,68 døgn, og i virkeligheden er omløbstiden O=686,98, så der er en fejl F på 0,3 døgn pr. omløb. Fejlen i grader pr. omløb bliver så $(F/O)\cdot 360^\circ$=0,157 grader pr omløb, og for at få det lavet om til grader pr år skal men dividere med antallet af år i et omløb, dvs. med $T = O/365$. Resultatet bliver, at Mars bevæger sig med en fejl på 0,08° pr. år. Sådan en udregning kan også udføres for de andre planeter. Resultaterne er vist i tabellen nedenfor

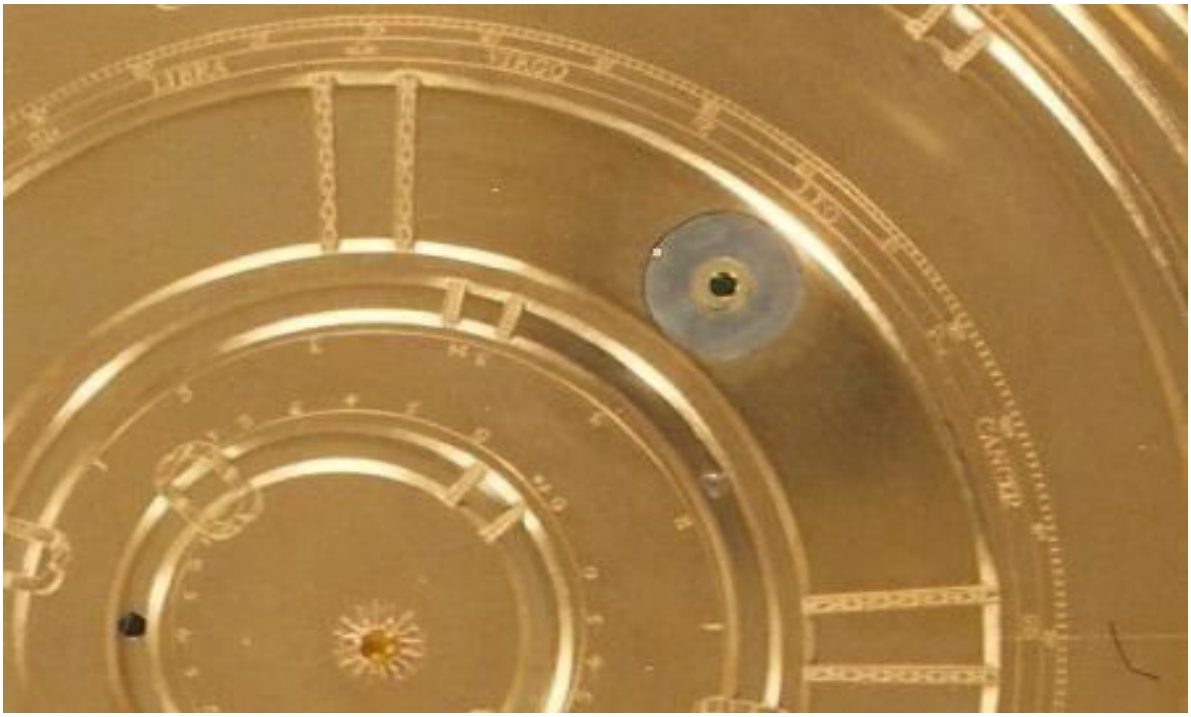
	Omløbstid O i døgn	Fejl F i døgn pr. omløb	Omløbstid T i år	Fejl i grader pr. år
Merkur	87,969	0,037	0,24	0,63
Venus	224,70	0,07	0,62	0,18
Mars	686,98	0,3	1,88	0,08
Jupiter	4332	1,69	11,87	0,012
Saturn	10759	20,69	29,48	0,02

Hvis vi tænker os, at formålet med planetariet er observationsplanlægning så er fejl på op til måske 5° - 10° acceptabel. Som man ser, når Merkur hurtigt op på fejl af denne størrelse, men for de øvrige planeter varer det længere.

Da planetbanerne ikke har centrum i Solen skal f.eks. den blå stang på figur 9.4 gå gennem et hul i den korte vandrette stang, så der under rotationen kan ske en lille

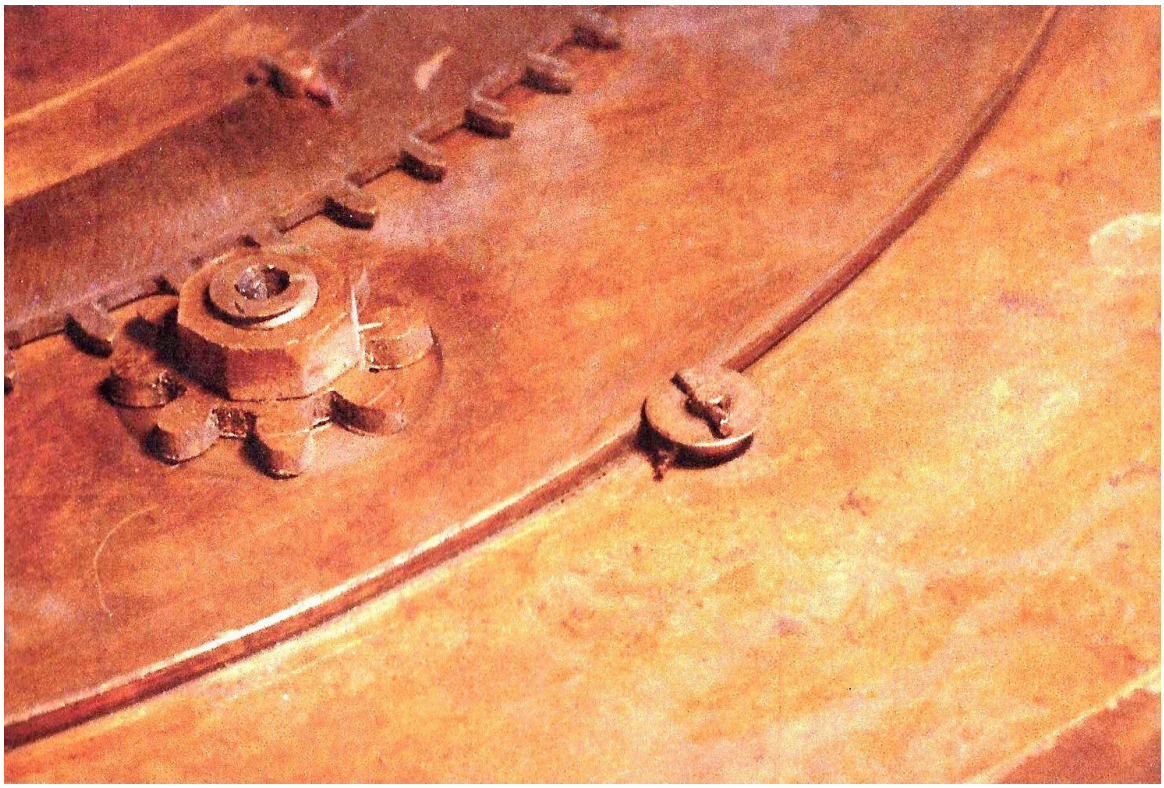
forskydning. Disse forskydninger bevirker små variationer i planeternes hastigheder. Hastigheden bliver størst, når planeten er længst fra Solen i planetariet. Ifølge Keplers 2. lov er planethastigheden i virkeligheden størst, når planeten i virkeligheden er tættest er tættest ved Solen, og så er den også tættest ved Solen i Planetariet. Så her er en lokal fejlkilde. ”Lokal” i tid, omløbstiden er jo den samme hele tiden, så fejlene summeres ikke i tidens løb, sådan som fejlen i omløbstid gør.

Den messingring, der bærer Jorden er meget bredere end de andre 5 ringe. Det skyldes, at Månen også er repræsenteret i planetariet:



Figur 9.5. Månen er en lille stift på randen af en skive af sølv.

På månebanens aksel sidder der på indersiden af Jordens banering et lille tandhjul med 8 tænder:

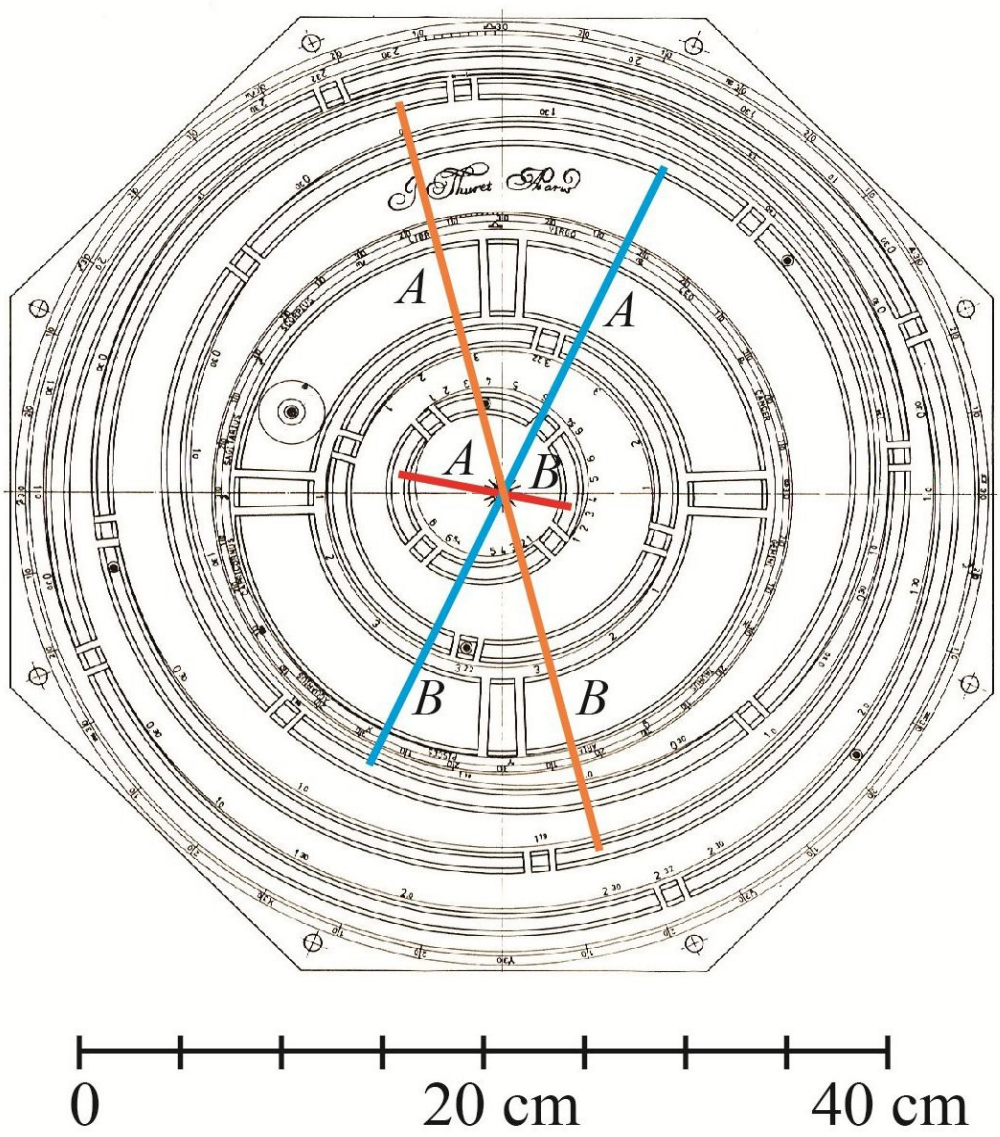


Figur 9.6. Tandhjul i det gamle planetarium på Rosenborg

Tandhjulet er i indgreb med et fastsiddende ringformet tandhjul med 99 tænder. Så dets omdrejningstid er 365,2563 gange 8/99 = 29,5156 døgn. Det er Månens synodiske omløbstid med en fejl på 0,05%. Figur 9.6 er et af de få billeder, der blev taget af eklipsariet i 1983, inden det blev istandsat. Det ser ud som om tænderne på det lille tandhjul er af en meget speciel form, som Rømer fandt, og som vakte en del opsigt i samtiden, [6), 7)]

10. Planetsidens geometri

Da detaljer er svære at se på fotografier af planetsiden, bruger vi i stedet tegningen på figur 10.1, som er målfast. Yderst er der en gradskala med standardsymbolerne for de 12 stjernetegn i ekliptika. Det fremgår af figur 8.2, at Rømer har tænkt sig, at forårspunktet er placeret nederst, lodret under Solen.



Figur 10.1. Planetsiden med tre storakser

A. Banernes form og ekcentricitet

Rømer har valgt cirkelformede planetbaner. Selv om banerne i virkeligheden er lidt fladtrykte, er de tæt på at være cirkler. Selv for Mars, som har den mest ekcentriske bane, er fladtrykningen under 1%. Ekcentriciteten viser sig tydeligere derved, at Solen ligger i et brændpunkt, lidt forskudt i forhold til banecirklens centrum. Storaksen for en ellipse forbinder de to punkter der ligger fjernest (i afstand A) henholdsvis nærmest (i afstand B) fra Solen. På figuren har vi vist storakserne for Merkur, Mars og Jupiter.

Storaksernes retning er dårligt bestemt, men længderne A og B kan på tegningen måles med tilfredsstillende nøjagtighed. Man kan matematisk bevise, at ekcentriciteten af planetariets planetbaner er:

$$e = (A - B)/(A+B)$$

Ved måling, udregning og tabelopslag får vi følgende ekcentriciteter:

	Planetariet	Virkeligheden
Merkur	0,21	0,206
Venus	0,0	0,007
Jorden	0,0	0,017
Mars	0,09	0,093
Jupiter	0,044	0,048
Saturn	0,0	0,054

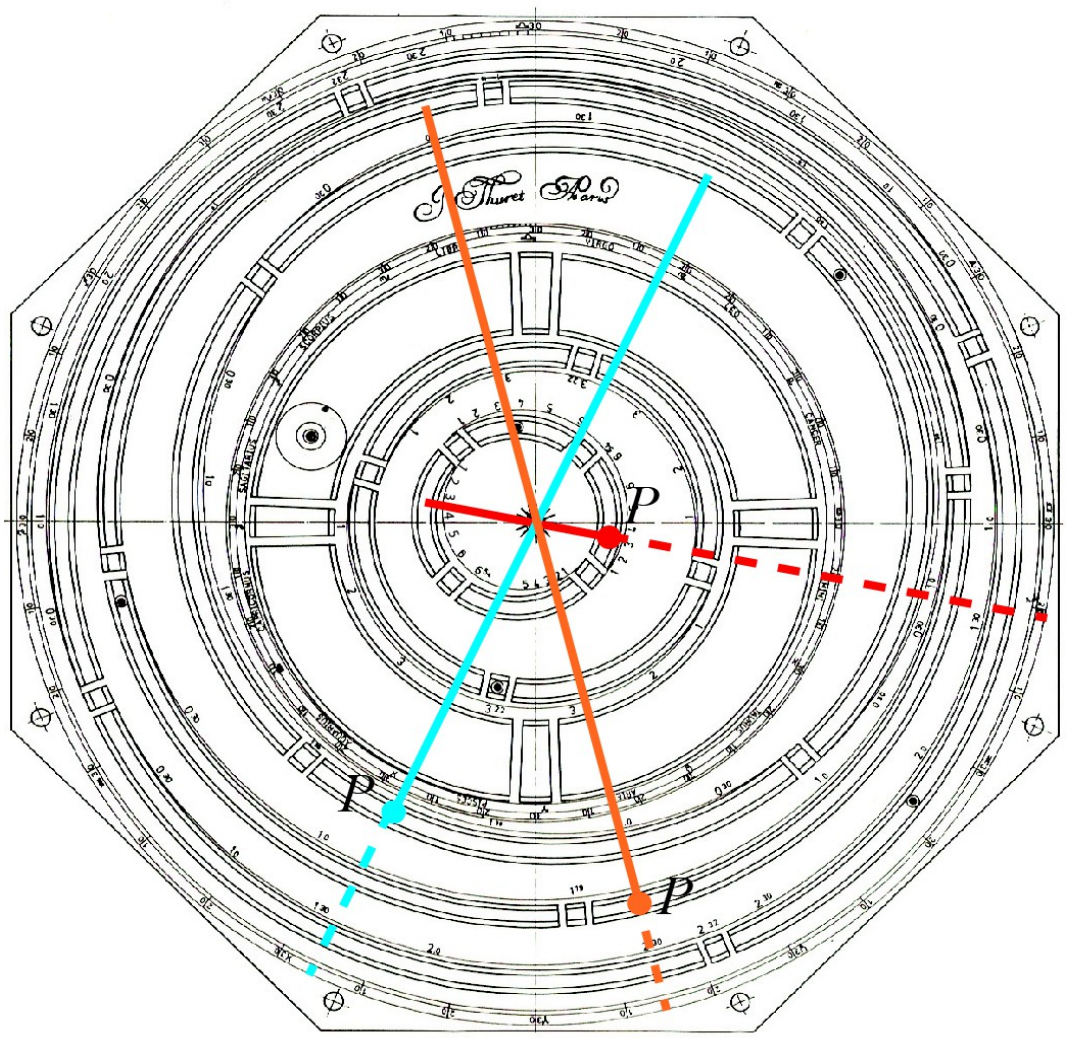
Rømer har sat Solen i centrum for banerne for Venus og Jorden. Man ser en tilfredsstillende overensstemmelse undtagen for Saturn, hvis bane har Solen i centrum, og det burde den ikke have.

På planetariet er banecentrerne forskudt i forhold til Solen. Vi har her givet en forklaring på størrelsen af disse forskydninger.

B. Beliggenheden af storakserne.

Retningerne af de tre storakser, der er vist på figur 10.2 er bestemt af moderne tal. Perihelerne P er de tre punkter på banerne, der ligger nærmest ved Solen. Deres længder kan aflæses ved hjælp af de punkterede sigtelinjer. De er for Merkur 76

grader, for Mars 334 grader og for Jupiter 13 grader. Disse tal kan ikke (med denne nøjagtighed) aflæses på planetariet, men overensstemmelsen er tilfredsstillende.

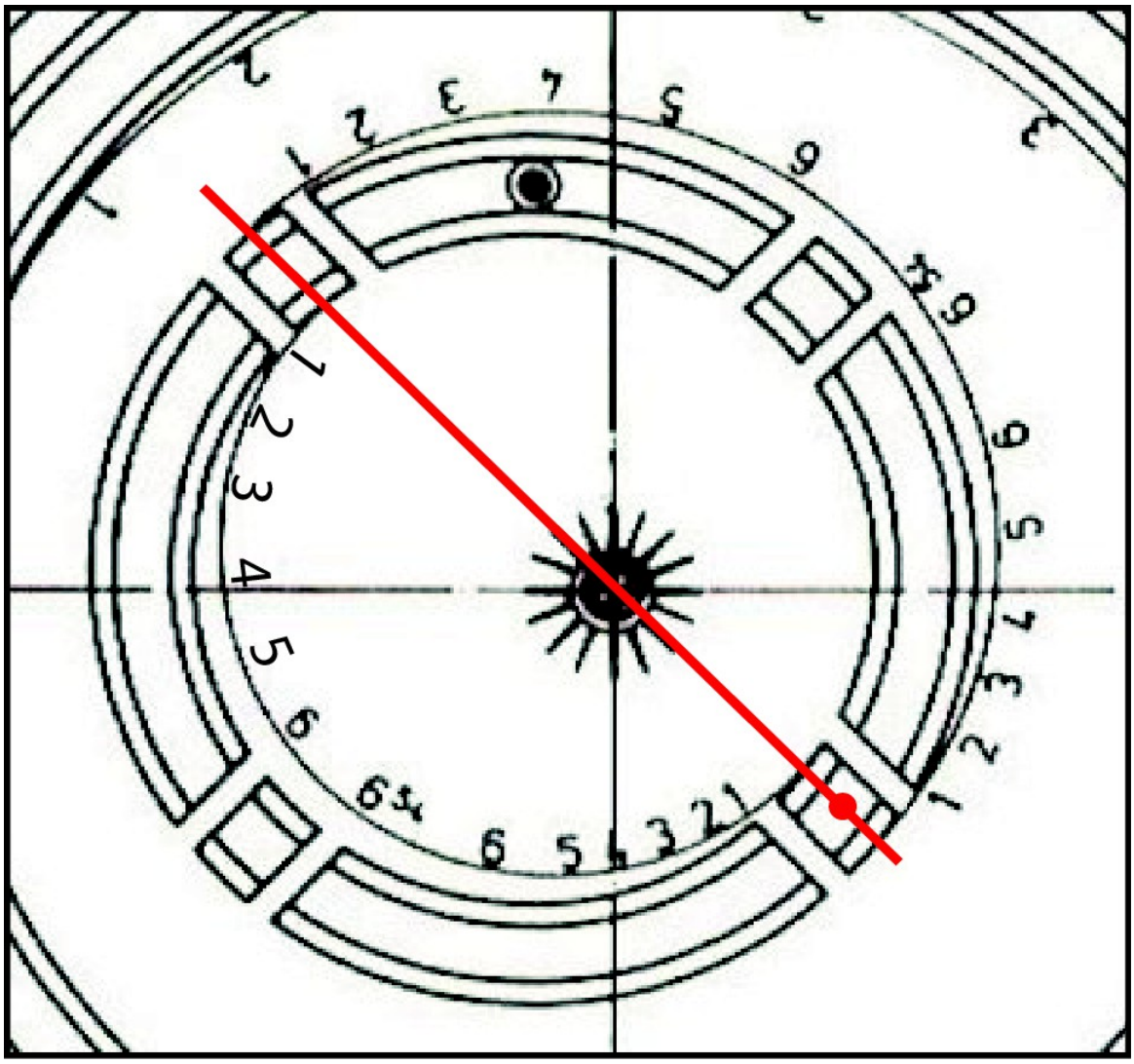


Figur 10.2. Retningen af storakserne

På planetariet er banecentrerne forskudt i forhold til Solen. Vi har her givet en forklaring på retningen af disse forskydninger.

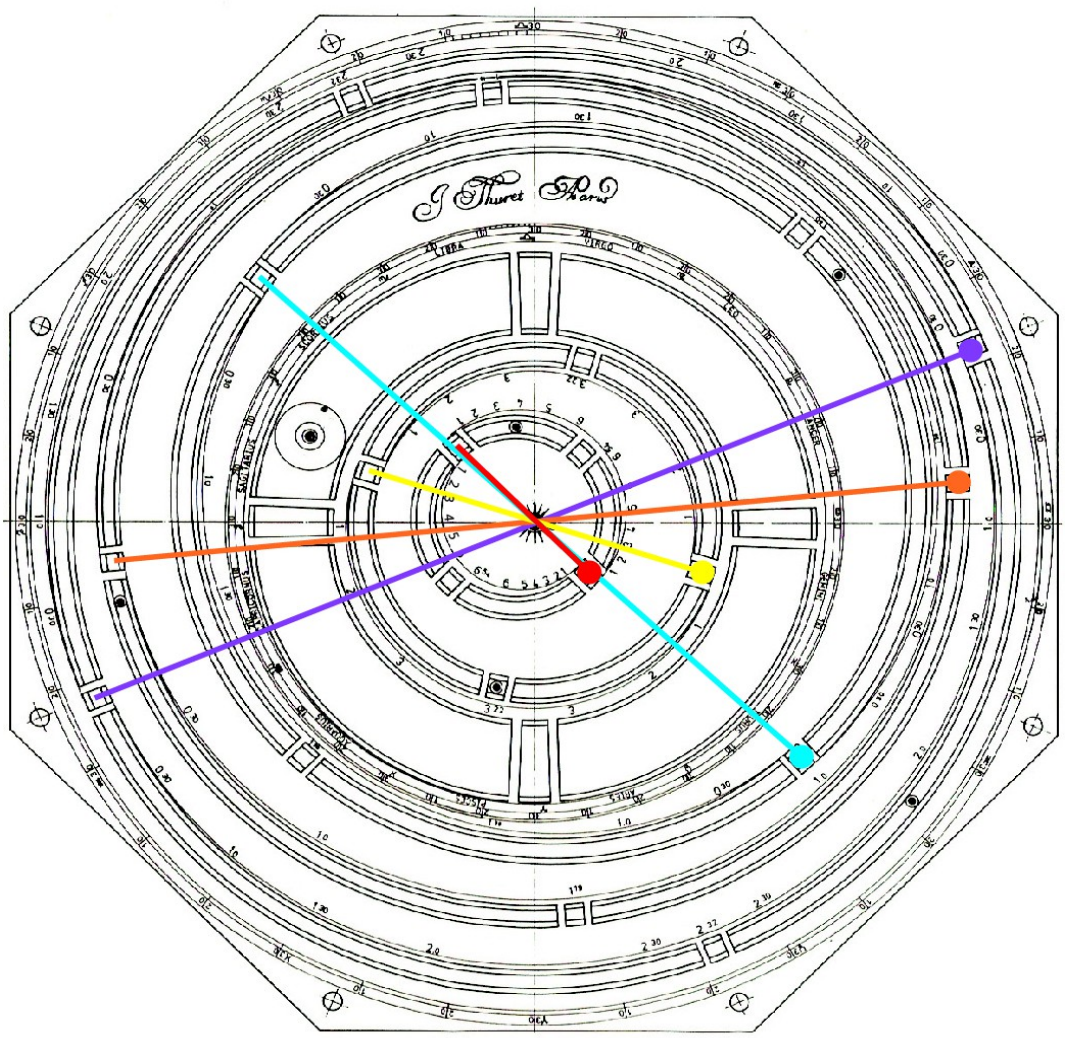
C. Beliggenheden af knudelinjerne

Indtil nu har vi forestillet os at planetbanerne ligger i Jordens baneplan, ekliptikas plan. Men i planetariet er der faktisk information om planetbanernes små hældninger i forhold til ekliptikas plan. På figuren nedenfor viser vi, hvordan det foregår for Merkurs vedkommende:



Figur 10.3. Merkurs knudelinje. Det røde punkt er den opstigende knude

Den røde linje er knudelinjen, hvor merkurbanens plan skærer ekliptikas plan. Det røde punkt markerer det sted, hvor Merkur kommer op over ekliptikas plan, "den opstigende knude" hedder det. Dets længde er 46 grader, og i virkeligheden er det 47,5 grader. Rømer har markeret knudelinjen med de to broer. På sin videre gang opad i banen passerer Merkur tallene 1, 2, 3, osv. Disse tal angiver, hvor mange grader Merkur er hævet over ekliptikas plan, set fra Solen. Rømer skriver at den maksimale højde er 6 grader og 54 minutter, og det passer med vinklen mellem ekliptikas plan og merkurbanens plan. Tallene forneden og til venstre angiver på tilsvarende måde hvor langt under ekliptika Merkur er, når den står ved tallet.



Figur 10.4. De 5 knudelinjer

På figur 10.4 viser vi alle 5 knudelinjer og de opstigende knuder vist, Merkur er rød, Venus gul, Mars blå , Jupiter orange og Saturn lilla.

Hvad angår længderne af de opstigende knuder (OK) og banehældningerne (BH) i grader er der god overensstemmelse mellem virkeligheden (VIR) og planetariet (PLA). Det viser vi i en tabel:

	OK VIR	OK PLA	BH VIR	BH PLA
Merkur	47,3	46	7	6,54
Venus	74	76,3	3,24	3,22
Mars	49	46	1,51	1,5
Jupiter	99	96	1,18	1,19
Saturn	113	115	2,29	3,32

I alle 5 tilfælde har Rømer placeret en bro i den opstigende knude.

D. Banecirklernes radier.

Vi bruger her jordbanens radius som enhed, og i tabellen viser vi de virkelige radier og radierne i planetariet:

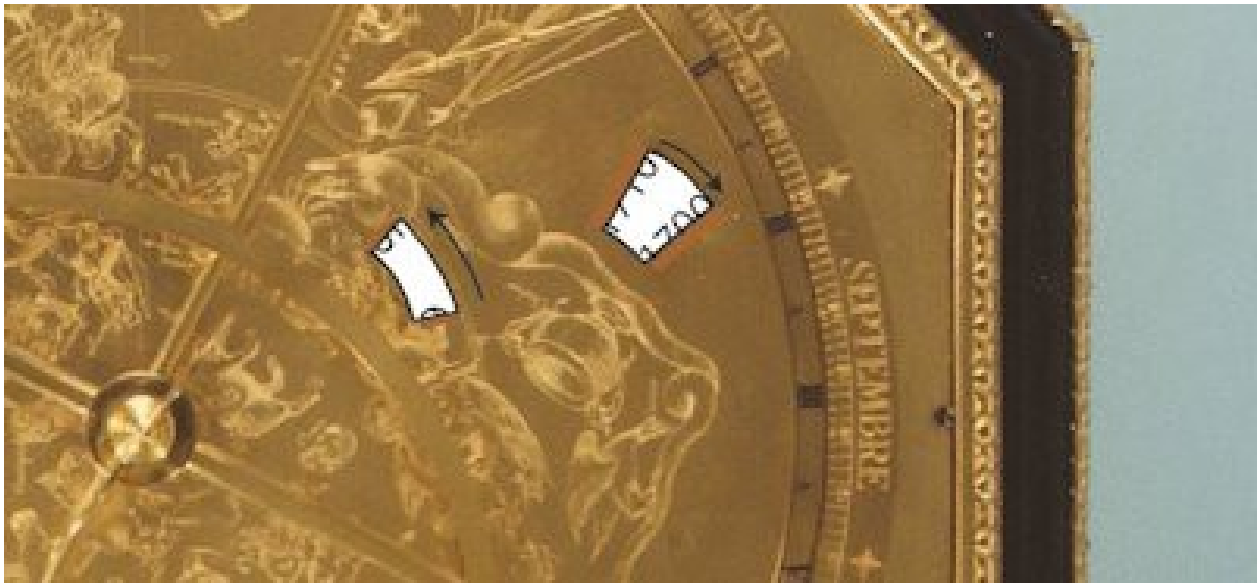
	Radius i virkeligheden	Radius i planetariet
Merkur	0,39	0,4
Venus	0,72	0,73
Jorden	1	1
Mars	1,52	1,54
Jupiter	5,2	1,78
Saturn	9,6	1,99

Man ser, at de relative størrelser af radierne i planetariet passer godt med virkeligheden for de 4 førstnævnte planeter, mens der for Jupiter og Saturn ikke er

nogen overensstemmelse. Grunden til, at Rømer har valgt det sådan, kunne være, at hvis han havde givet også banerne for Jupiter og Saturn korrekte størrelser, så ville Merkurs baneradius være 4% af Saturns, og det ville være mekanisk ugennemførligt. På figur 8.3 har vi vist betydningen af, at sigtelinjen fra Jorden til en planet er korrekt. Det vil den være når planeten er Merkur, Venus eller Mars. Men retningerne af sigtelinjerne fra Jorden til Jupiter eller Saturn kan være behæftet med større fejl.

11. Valg af begyndelsesbetingelser og test

Ved en justering af planetariet på Kroppedal Museum foretaget af Søren Andersen i 2013 valgtes begyndelsespositionerne af planeterne som de stod den 17. december 2005. Længderne var følgende: Merkur 183˚, Venus 68˚, Jorden 85˚, Mars 68˚, Jupiter 213˚ og Saturn 126˚. På planetsiden måles længderne ud fra det nederste punkt og i retning mod uret. Samtidig stilledes tidspunktet til midnat mellem 16. og 17 december 1705. Årstallet ses i de to udskæringer på stjernesiden, som vist på figur 11.1, og dato og klokkeslæt markeres ved, at de to pile på stjernesiden peger lodret nedad.



Figur 11.1

Alt i alt opnås herved, at planeternes længder aflæses korrekt i vor tid, hvis man lægger 300 år til det årstal, der aflæses i de to udskæringer på stjernesiden. Så der er foretaget en opdatering af planetariet. Forfatterne har udført en test af planetariet. Planetsiden iagttoges med 16 tidsindstillinger, nemlig 15. januar 1707 og derefter med 13 måneders mellemrum frem til 15. april 1723. Hver enkelt planets position blev altså målt på 16 forskellige tidspunkter. Ud over positionen på planetsiden brugte vi også den metode, der er beskrevet i tilknytning til figur 8.3 til at bestemme planetens position på ekliptika set fra Jorden. Resultaterne blev sammenlignet med de faktiske positioner på himlen, set fra Solen og Jorden, således som de bliver angivet i computerprogrammet ”Guide, Version 8.0, Projekt Pluto”.

Den første tabel beskriver fejlene i grader i planetposition set fra Solen målt på planetsidens ekliptika. Der er som nævnt 16 observationer af hver planet:

	Antal observationer med fejl $\leq 3^\circ$	Gennemsnitsfejl målt i grader	Den maksimale fejl målt i grader
Merkur	6	9,9	30
Venus	1	8,9	14
Jorden	5	4,2	9
Mars	10	1,8	4
Jupiter	15	1,6	4
Saturn	4	4,8	15

De store fejl i Merkurs og Venus´ positioner kan skyldes et uheldigt valg af måletidspunkter. De store fejl i observationerne af Saturn skyldes nok, at dens baneradius er helt forkert. At det går så fint med Jupiter kunne skyldes at det var den planet, hvor observationsplanlægningen havde størst betydning, og hvor Rømer derfor gjorde sig mest umage?

Den næste tabel beskriver fejlene i grader i planeternes position mellem stjernerne set fra Jorden målt som beskrevet i tilknytning til figur 8.2. Der er som nævnt 16 observationer af hver planet:

	Antal observationer med fejl ≤ 3˚	Gennemsnitsfejl målt i grader	Den maksimale fejl målt i grader
Merkur	7	5,3	15
Venus	7	4,4	10
Mars	10	2,4	6
Jupiter	11	3,1	11
Saturn	3	12,8	31

Det ser sløjt ud med Saturn. Formodentlig er hovedårsagen, at radierne i banerne for Saturn og Jorden har et forkert forhold. På planetariet er forholdet 5 og i virkeligheden er det 10.

En konklusion af testen er, at tre principielle kilder til fejl påvirker det generelle præcisionsniveau. Den ene er fejlene i omløbstid, der nok er hovedårsag til fejlene for Merkurs vedkommende. Den anden er at hastighedsvariationerne i planetariet under et omløb af en planet ikke minder om virkelighedens. Og den tredje er, at baneradierne for Jupiter og Saturn ikke har korrekte forhold til de øvrige planeters baneradier.

Bortset fra Saturn forhindrer fejlene ikke, at planetariet kan bruges ved planlægning af observationer.

12. Afslutning

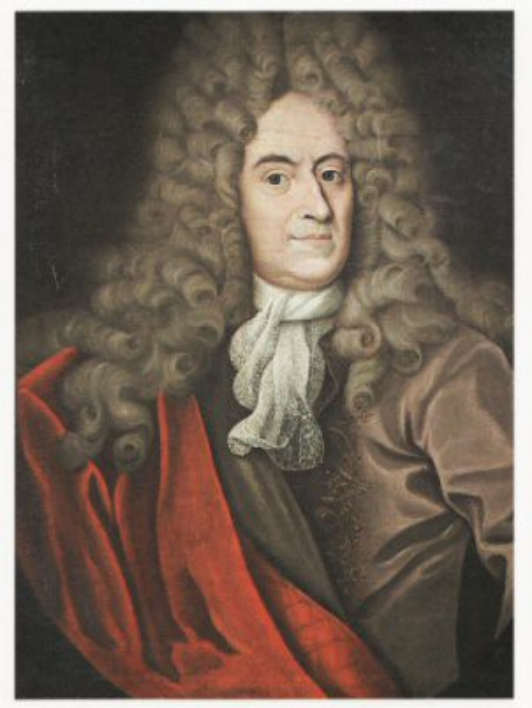
Rømers livsværk har tre store kapitler:

A. Hans arbejde i Paris i perioden fra 1672 til 1680. Her bestemte han lysets hastighed, hans 5 planetmaskiner bidrog til tilrettelæggelsen af vigtige astronomiske observationer, han arbejdede med lysets brydning, han fandt en ideel form for tænderne på et tandhjul og meget andet.

B. Hans videnskabelige arbejder i København. Her er hans opfindelse af meridiankredsen væsentlig. Meridiankredsen blev senere et hovedinstrument i mange observatorier. Rømers såkaldte tridiumobservationer med meridiankredsen bestemte en række stjernepositioner med stor nøjagtighed. Han lavede også som den første termometre, der stemte overens med hinanden, og han målte som den første metallers længdeudvidelse

C. Hans arbejde for den danske stat. Han opsatte de første milepæle, han forbedrede vandforsyningen, han oprettede de første boliger for psykisk syge, og han var rektor for universitetet.

Rømer var en usædvanlig personlighed derved at han ydede bidrag til teoretisk fysik og astronomi samtidig med at han med planetmaskinerne dannede bro mellem teknik og astronomi. Og endelig kastede han sig med ildhu over arbejde med at forbedre samfundet. Som forsker var han usædvanlig ved, at han ikke publicerede sine resultater. Men de står der jo på Rosenborg, hans maskiner. Vi forfattere har gennem arbejdet med dem fået et fantastisk indtryk af hans omhu og dygtighed.



Ole Rømer

Referencer:

1. King, Henry C.: Geared to the Stars, The evolution of planetariums, orreries and astronomical clocks. Toronto 1978.
2. Poul Darnell i: Ole - Rømer I Kongens og videnskabens tjeneste, Aarhus Universitetsforlag 2011.
3. Peder Horrebow: Basis Astronomiæ…., København 1735.
4. Gallon: Machines et Inventions approuvée par l'Academiæ Royale des Sciences. Paris 1735. BD. I , p.89.
5. Elis og Bengt Strömgren : Lærebog i Astronomi, Gyldendal Norsk Forlag, 1931.
6. Frank Nielsen i: Ole - Rømer I Kongens og videnskabens tjeneste, Aarhus Universitetsforlag 2011.
7. Frank Nielsen: Rømers Tandhjul, Nordisk Matematisk Tidsskrift, Normat, 58, nr.: 3, Göteborg 2010.

Og til sidst ønsker forfatterne at sige tak til:

urmager og konservator Søren Andersen, dels fordi han har opdateret planetariet, og dels for tilladelsen til at vi måtte bruge hans smukke aftryk af stjernesiden,

formanden for foreningen Ole Rømers Venner Ole Henningsen for hans hjælp med fotografering og med den tidskrævende test,

og endelig til:

Museumsinspektør Robert Sunderland for tilladelsen til vores talrige indgreb i planetariet og for hans udtalte forståelse for betydningen af vores arbejde.



Stjernesiden aftrykt og farvelagt af Søren Andersen

Copyright: Søren Andersen


IUIN
IUILLET
AOUST
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
DECEMBRE
IANUARIUS
FEBRUARIUS
MARS
AUBRIL
MAY