

Projekt 10.5 Galileis opdagelse af Jupitersystemet

<p style="text-align: center;">S I D E R E V S N V N C I V S MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA Spectacula pandens, suspiciendaque proponens vnicuique, præsertim verò <i>PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à</i> GALILEO GALILEO PATRITIO FLORENTINO Patauini Gymnasij Publico Mathematico PERSPICILLI <i>Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in VNÆ FACIE, FIXIS IN- NUMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,</i> <i>Aprime verò in</i> QVATVOR PLANETIS Circa IOVIS Stellam dispartibus interuallis, atque periodis, celeri- tate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque diem cognitos, nouissimè Author depræ- hendit primus; atque MEDICEA SIDERA NVNCVPANDOS DECREVIT.  VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. MDCX. <i>Superiorum Permissu, & Privilegio.</i></p>	<p style="text-align: center;">THE HERALD OF THE STARS unfolding GREAT, and HIGHLY ADMIRABLE Sights, and presenting to the gaze of everyone, but especially <i>PHILOSOPHERS, and ASTRONOMERS,</i> those things observed by GALILEO GALILEI PATRICIAN OF FLORENCE Public Mathematician of the University of Padua with the aid of a TELESCOPE <i>which he has recently devised on THE FACE OF THE MOON, IN- NUMERABLE FIXED STARS, THE MILKY WAY, CLOUDLIKE STARS,</i> <i>and especially concerning</i> FOUR PLANETS revolving around the star of JUPITER with unequal intervals and periods, with wonderful swiftness, which, known to no-one up to this day, the Author most recently dis- covered for the first time; and DETERMINED TO NAME THE MEDICEAN STARS  VENICE, At the place of Thomas Baglioni, 1610. <i>With the Higher Authorities' Permission, & Authorization.</i></p>
---	---

Galileis bog, *Budskabet om Stjernerne*, udkom i Italien i 1610 i en latinsksproget udgave og samme år forelå den i en engelsk oversættelse. Det fortæller lidt om interessen for Galileis opdagelser – og for det nye instrument, den astronomiske kikkert eller teleskopet. Det omtales her på forsiden som det værktøj med hvilket Galilei har gjort sine opdagelser – af månens overflade med bjerge og kratere, af utallige stjerner bla. i mælkevej, og som den helt centrale opdagelse: De 4 nye ”planeter”, der kredser om Jupiter og som Galilei døber ”De mediceiske stjerner”, opkaldt efter den ledende adelsslægt i Firenze.

Det fremgår nederst, at bogen udgives med tilladelse af de højeste autoriteter, dvs kirkens forskellige organer. Inde i bogen er dette mere specifikt omtalt, bl.a. at komiteen til bekæmpelse af blasfemi intet har at udsætte.

Kikkerten var blevet opfundet i Nederlandene få år før, så Tycho Brahe, der døde i 1601, havde ikke en sådan til rådighed. Ligesom Tycho Brahe fremstillede Galilei også selv sine instrumenter og sleb således også de store linser, han skulle bruge i sit teleskop.

Projektet tager sigte på, at der læses et antal sider fra bogen, der er oversat til dansk, og at indholdet heri drøftes i grupper på baggrund af en række spørgsmål til teksterne og om verdensbilleder i almindelighed.

Endvidere at der arbejdes med grundlæggende forståelse af Galileis observationsmetode, herunder specielt om bru-
gen af kikkerten.

Indholdsfortegnelse

0. Før vi går igang – vores moderne verdensbillede.	3
Øvelse 1. Vi orienterer os om Jupiter-systemet	3
Øvelse 2. Facts om Jupiter	3
1. Galileo Galilei: Budskab om stjernerne	3
7. januar i indeværende år 1610.....	4
8. januar.....	4
9. og 10. januar	4
11. januar.....	5
12. januar.....	5
13. januar.....	5
14. januar til 26. februar	5
27. februar	6
28. februar	7
1. – 2. marts	7
Konklusion vedr. de 4 Mediceiske planeter (stjerner)	8
2. Galileis journal om opdagelsen af Jupiters måner.	10
3. Opklarende spørgsmål til teksterne:	11
4. Til forståelse af kikkertens virkemåde	12
Øvelse 3. Galileis astronomiske afstandsmål – bueminutter og jupiterradier.....	12
Øvelse 4. Galileis mikrometerskala til måling af vinkelafstande:	13
5. Galileis regnetekniske hjælpemiddel - Jovilabiet.	13
Øvelse 5. Galileis Jovilabium	14

I HEM3, projekt 1.7, *Callistos omløb bestemt ved sinusregression*, kan man finde et lille projekt, der kan gennemføres som et supplement eller helt selvstændigt. Med forholdsvis få forberedelser kan projekt 1.7 gennemføres på 1-2 lektioner. Projektet indeholder autentiske data.

0. Før vi går igang – vores moderne verdensbillede.

Planeten Jupiter har været kendt siden oldtidens astronomer – i en række forskellige kulturer - fandt ud af, at der i himmelrummet både fandtes "fixstjerner", altså stjerner der sad fast på himmelskallen, og "vandrestjerner", som siden blev kaldt planeter. Men det var først Galilei, der i 1610 med brug af den netop opfundne kikkert, opdagede, at Jupiter havde måner. Han så de 4 store Jupitermåner, som han kaldte både "de mediceiske stjerner" og ditto "planeter", opkaldt efter den ledende slægt i Firenze, Medici-familien. Idag hedder disse 4 måner for Io, Europa, Ganymedes og Callisto. Idag ved vi også, at Jupiter har et væld af mindre måner, omkring 75 kendes pt.

I projektet går vi i Galileis fodspor og følger bogstavelig talt dag for dag hans opdagelse, der var med til fuldstændig at vælte det gamle verdensbillede omkuld. Vi følger en af verdenshistoriens største naturvidenskabsmænd, mens han gør opdagelsen, vi følger hans ræsonnementer og hans konstruktion af hjælpemidler til at forstå, hvad han ser. Det er naturvidenskabelig opdagelse in the making!

Men for at sætte det i perspektiv orienterer vi os først i solsystemet og jupitersystemet ud fra den viden vi har idag, og som bygger på Galileis opdagelser. Det giver også et indtryk af, hvor meget han faktisk var i stand til at forstå, ud fra sine observationer med en astronomisk kikkert der forstørrede bare 400 gange.

Øvelse 1. Vi orienterer os om Jupiter-systemet

Gå ind på Nasas hjemmeside, og find sitet med Jupiter: [Overview | Jupiter – NASA Solar System Exploration](#)

Orienter dig i faciliteterne mht at dreje, zoome, klikke på månerne og andet og få oplysninger om fx de 4 måner.

- Hvis I er en gruppe på 4, så har I delt månerne op imellem jer, forberedt jer via denne side, så I kan fortælle resten af gruppen om pågældende måne
- Månerne er åbenlyst vidt forskellige. Hvad kan være en forklaring på dette?

Øvelse 2. Facts om Jupiter

Gå ind på denne website: [JUPITER - SkyMarvels.com](#)

Orienter dig i nogle af sidens muligheder, og svar på følgende:

- Giv nogle tal der kan illustrere Jupiters størrelse sammenlignet med Jorden.
- Jupiters størrelse betyder også, at tyngdekraften er enorm. Tyngdekraftens indvirkning på Jupitersystemet med de 4 måner har medført, at disse er kommet i en slags resonans, så deres omdrejning om Jupiter følger et bestemt mønster. Allerede Galilei opdagede dette, og det gjorde det meget lettere for ham at holde styr på, hvilke måner der dukkede frem bag Jupiter, og føre optegnelser over dette. Hvad er det for et mønster?

Du kan evt se her: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Galilean_moon_Laplace_resonance_animation_2.gif

Vi befinder os nu i Firenze i 1610, Galilei retter sit nye teleskop mod Jupiter, og her er hvad han så:

1. Galileo Galilei: Budskab om stjernerne¹

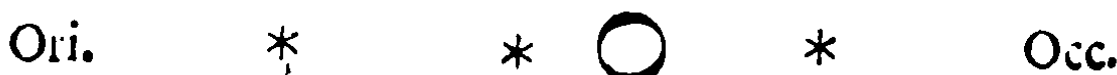
Jeg har kort beskrevet de observationer, jeg indtil nu har gjort af Månen, fiksstjernerne og Galaksen. Vi mangler nu, hvad jeg mener må være det vigtigste ved mit forehavende, nemlig at forklare og fremlægge omstændighederne for opdagelsen og observationerne af fire vandrende stjerner, som fra verdens begyndelse og frem til vor tid aldrig er blevet set; at redegøre for deres positioner og for de observationer, jeg har gjort gennem næsten to måneder, med hensyn til deres bevægelser og positionsændringer. Jeg opfordrer alle astronomer til at engagere sig i undersøgelsen og bestemmelsen af deres periodiske tider, hvilket indtil nu, på grund af manglende tid, ikke har været muligt for

¹ På dansk ved Tom Bøgeskov

mig. Men jeg minder endnu en gang om, at det er nødvendigt med en præcis kikkert, således som det er beskrevet i begyndelsen af denne afhandling.

7. januar i indeværende år 1610

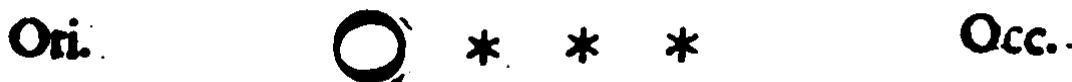
Den 7. januar i indeværende år 1610 efter nattens første time², da jeg betragtede himlens stjerner gennem kikkerten, viste Jupiter sig for mig. Og da jeg havde sikret mig et særdeles godt instrument, så jeg (hvilket jeg ikke havde gjort tidligere på grund af det andet instruments svaghed) tre små stjerner tæt ved Jupiter; de var ganske vist små, men meget klare. Selv om jeg troede, at de tilhørte fiksstjernerne, så vakte de dog nogen nysgerrighed, idet de syntes at ligge på en ret linie parallelt med Ekliptika, og de var mere lysende end andre af samme størrelse. Deres fordeling, indbyrdes og i forhold til Jupiter, var således³:



dvs. der var to stjerner på den østlige side, og én på den vestlige. Den længst mod øst og den vestlige forekom lidt større end den tredje. Afstanden mellem dem og Jupiter optog mig ikke, for jeg troede som sagt, at de var fiksstjerner.

8. januar

Men da jeg den 8., ført af jeg ved ikke hvilken skæbne, vendte tilbage til den samme observation, fandt jeg en fordeling, der var meget anderledes: De tre stjerner befandt sig alle vest for Jupiter og stod tættere på hinanden end den foregående nat i lige store afstande fra hinanden, som vist på følgende tegning.



Selv om det ikke påvirkede mine overvejelser, at stjernerne havde nærmet sig hinanden, begyndte jeg dog at blive usikker på, hvordan Jupiter kunne befinde sig øst for alle de nævnte fiksstjerner, når den dagen før var vest for to af dem. Jeg begyndte da at undre mig over, om den i modstrid med astronomernes beregninger faktisk bevægede sig direkte⁴, og dermed i kraft af egen bevægelse havde overhalet disse stjerner.

9. og 10. januar

Jeg afventede derfor den næste nat i stor spænding. Men jeg blev skuffet i mine forventninger, for himlen var dækket af skyer overalt.

Men den 10. fremstod stjernerne på følgende måde i forhold til Jupiter:



for der var kun to, begge mod øst; den tredje var, som jeg formodede, skjult bag Jupiter. De lå alle, som tidligere, på samme rette linie som Jupiter og var placeret præcist langs Dyrekredsens linie. Efter at have set dette, og da jeg

² Galileis tidsangivelser angiver tidsintervallet siden solnedgang (nattens begyndelse).

³ Ori. = orior, dvs. øst; Occ. = occasus, dvs. vest.

⁴ Jupiters og Jordens (og de øvrige planeters) omløbsretning omkring Solen er den samme. Men på grund af forskelle i banehastighed ser man fra Jorden til tider Jupiter bevæge sig direkte fra vest mod øst i forhold til fiksstjernerne mens det til andre tider ser ud, som om bevægelsen er retrograd (mod vest). Jupiters bevægelse var på tidspunktet for Galileis observation retrograd.

forstod, at disse ændringer ikke kunne skyldes Jupiter, og jeg tilmed var sikker på, at de iagttagne stjerner stadig var de samme (for der var hverken foran eller bag Jupiter andre stjerner over en stor strækning langs Dyrekredsens linie), så ændredes min forvirring til forbløffelse. Jeg var sikker på, at de iagttagne forandringer ikke beroede på Jupiter, men på de pågældende stjerner, og jeg besluttede følgelig at observere dem fremover med større opmærksomhed og præcision.

11. januar

Og jeg så da den 11. følgende fordeling:



altså kun to stjerner mod øst, hvor den i midten var tre gange så langt væk fra Jupiter som fra den østligste, og hvor den østligste var dobbelt så stor som den anden, hvorimod de den foregående nat havde vist sig som omtrent lige store.

Jeg havde nu slået fast, at der ganske utvivlsomt på himlen findes tre stjerner, der vandrer omkring Jupiter, ligesom Venus og Merkur vandrer omkring Solen; og dette blev klart som dagen efter en række lignende observationer. Og der er ikke blot tre, men fire vandrende stjerner, som er i kredsløb omkring Jupiter. Om deres bevægelser, som senere blev mere præcist iagttaget, vil jeg berette i det følgende. Jeg målte også afstanden imellem dem ved hjælp af kikkerten, således som det er forklaret i det foregående. Derudover registrerede jeg tiderne for observationerne, navnlig når der var flere af dem i løbet af samme nat, for disse planeters kredsløb forløber så hurtigt, at det er muligt at registrere positionsforskelle fra time til time.

12. januar

Den 12. januar så jeg efter nattens første time følgende fordeling:



den østligste stjerne var større end den vestligste, men begge var meget synlige og lysende, og begge befandt sig i en afstand fra Jupiter på to bueminutter. Den tredje lille stjerne, som først var usynlig, begyndte at komme til syne to timer senere; den lå meget tæt på Jupiters østlige side og var meget lille. Alle lå på samme rette linie ordnede langs Ekliptikas linie.

13. januar

Den 13. januar så jeg for første gang fire små stjerner fordelt i forhold til Jupiter på denne måde:



der var tre mod vest og en mod øst. De lå næsten på en ret linie, bortset fra at den midterste af de vestlige var forskudt en smule i nordlig retning. Den østlige befandt sig to bueminutter fra Jupiter, og den indbyrdes afstand mellem de øvrige og fra Jupiter var kun et bueminut. Alle stjernerne syntes at være af samme størrelse, og skønt små var de langt mere lysende end fiksstjerner af samme størrelse.

14. januar til 26. februar

Den 14. var himlen overskyet.

[Galilei fortsætter sine daglige observationer af de fire Jupiter-måner. Men der er intet principielt nyt i de her udeladte optegnelser fra den 15. januar til den 25. februar].

Den 26. februar, en halv time efter solnedgang, var der kun to stjerner:



den ene mod øst i en afstand af 10 bueminutter fra Jupiter, og den anden mod vest i en afstand af 6 minutter. Den østlige var noget mindre end den vestlige.

Men efter den femte time var tre stjerner synlige:



for ud over de allerede nævnte to sås en tredje vest for og tæt på Jupiter, som først havde skjult den; den var meget lille og befandt sig i en afstand af et minut. Og den østlige sås nu fjernere fra Jupiter end før, nemlig i en afstand af 11 minutter. Denne nat ville jeg for første gang observere Jupiters og dens ledsagende planeters fremadskriden langs Dyrekredsens linie i forhold til en fiksstjerne; og der var en synlig fiksstjerne i en afstand af 11 minutter mod øst fra den østlige planet, forskudt en smule i sydlig retning, som vist her:



27. februar

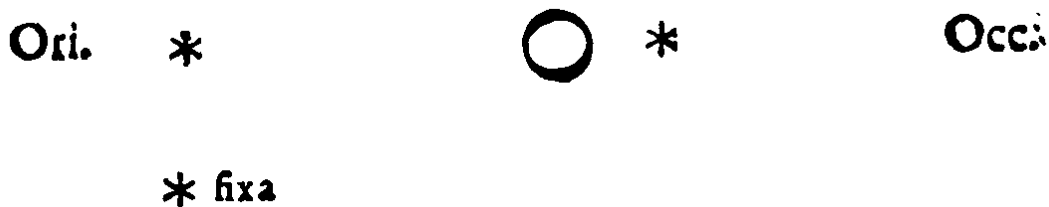
Den 27. februar, da natten var 1 time og 4 minutter gammel, fremstod stjernerne i følgende konstellation:



den østligste var 10 minutter fra Jupiter, den næste 30 sekunder; den nærmeste vest for var 2 minutter og 30 sekunder væk, og den vestligste befandt sig i en afstand af et minut fra sidstnævnte. De, der var tættest på Jupiter, fremstod som meget små, navnlig den østlige. De yderste derimod var meget iøjnefaldende, især den vestlige af dem. De lå alle præcist på en ret linie langs Ekliptika. Disse planeters gang mod øst sås tydeligt i forhold til den angivne fiksstjerne, idet Jupiter og dens tilhørende planeter var tættere på den, hvilket fremgår af ovenstående figur. Men ved den femte time var den østlige nærmest Jupiter i en afstand fra denne af et bueminut.

28. februar

Den 28. februar efter den første time sås kun to stjerner, den østlige 9 minutter fra Jupiter, og den vestlige 2 minutter. De var ganske synlige og lå på samme rette linie. Og fiksstjernen befandt sig lodret under den østlige planet, som vist på figuren:

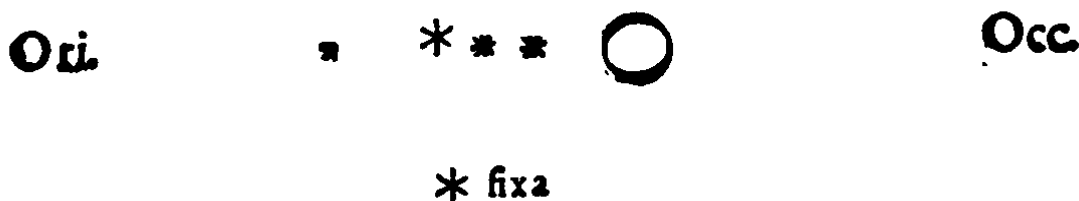


men ved den femte time sås en tredje stjerne 2 minutter øst for Jupiter:

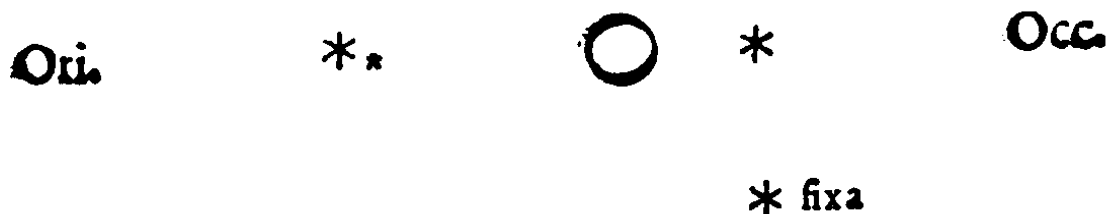


1. – 2. marts

Den 1. marts, 40 minutter efter solnedgang, sås fire stjerner, der alle var øst for Jupiter; den nærmeste i en afstand af 2 minutter, den næste 1 minut fra denne, og den tredje, som var klarere end de øvrige, yderligere 20 sekunder fjernere; men fra denne var der 4 minutter til den østligste, som var den mindste af dem. De lå næsten på en ret linie, bortset fra den tredje, der lå lidt højere. Fiksstjernen dannede sammen med Jupiter og den østligste planet en ligesidet trekant, som vist på figuren:



Den 2. marts, 40 minutter efter solnedgang, var der tre planeter, to mod øst og en mod vest, i følgende konfiguration:



den østligste var 7 minutter fra Jupiter, og den næste 30 sekunder fra den første, mens den vestlige var 2 minutter fra Jupiter. De to yderste var mere lysende og større end den midterste, der fremstod som meget lille. Den østligste lå en smule højere i nordlig retning i forhold til den rette linie gennem Jupiter og de øvrige. Den allerede angivne fiksstjerne lå i en afstand af 8 minutter fra den vestlige planet regnet langs den vinkelrette oprejst i denne planet til den rette linie gennem alle planeterne. Dette er vist på den foregående figur.

Jeg har fremført disse positionsbestemmelser af Jupiter og dens tilhørende planeter i forhold til fiksstjernerne, for at enhver på dette grundlag kan forstå, at disse planeters fremadskriden, både i længde og bredde, er fuldstændig i overensstemmelse med de bevægelser, der kan udtrages af de astronomiske tabeller.

Konklusion vedr. de 4 Mediceiske planeter (stjerner)

Således er mine observationer af de fire Mediceiske Planeter, som nyligt og for første gang er opdaget af mig. Og selv om det på grundlag heraf endnu ikke er lykkedes at finde deres omløbstider, så er det i det mindste tilladeligt at gøre nogle bemærkninger, som er opmærksomhed værd. Frem for alt: da de til tider følger efter Jupiter og til tider er foran den i samme afstande, og afstandene, hvad enten det er mod øst eller mod vest, kun varierer inden for snævre grænser, og de tilmed følger Jupiter på samme måde, hvad enten dennes bevægelse er retrograd eller direkte, så kan der ikke være nogen tvivl om, at de er i kredsløb omkring Jupiter, samtidig med at de alle udfører et tolvårigt kredsløb omkring verdens centrum. I øvrigt kredser de i cirkler af forskellig størrelse, hvilket klart kan udledes deraf, at man aldrig ser to planeter samlede i den længst forekommende afstand fra Jupiter, mens de tæt ved Jupiter ses samlede to eller tre og undertiden alle fire. Derudover er det påvist, at de planeter, der beskriver de mindste cirkler rundt om Jupiter, har de hurtigste omløb, for de stjerner, som er tættest på Jupiter, ses hyppigst øst for den, når de dagen før havde vist sig vest for, og omvendt. Og undersøger man omhyggeligt de ovenfor registrerede omløb, så vil man se, at den planet, som gennemløber den længste bane, synes at have en halvmånedlig omløbstid⁵.

I øvrigt har vi her et enestående klart argument til overvindelse af betænkelighederne hos dem, der med sindsro accepterer planeternes kredsløb omkring Solen i det kopernikanske system, men i den grad forvirres af, at alene Månen bevæger sig omkring jorden, mens de begge har et årligt kredsløb omkring Solen, og derfor mener, at et sådant verdensbillede må forkastes som umuligt. For nu har vi ikke blot en planet, som kredser omkring en anden, mens de begge gennemvandreren den store bane omkring Solen; men vore sanser viser os fire stjerner, som vandrer omkring Jupiter, ligesom Månen vandrer omkring Jorden, mens de alle, sammen med Jupiter, i en tolvårig periode gennemløber den store bane omkring Solen.

Til sidst må vi ikke forbigå årsagen til, at de Mediceiske Stjerner, mens de udfører deres små kredsløb omkring Jupiter, undertiden fremtræder i mere end dobbelt størrelse. Vi kan ikke søge årsagen hertil i de jordiske dampe, for de fremstår forstørrede eller formindskede, samtidig med at Jupiters og de nærliggende fiksstjerner omfang på ingen måde ses som forandrede. Og derudover synes det fuldstændig utænkeligt, at forandringer af et sådant omfang skulle kunne forårsages af forskelle i afstanden fra jorden i perigæum og apogæum⁶ idet de cirkler, hvori de bevæger sig, er så små, at de på ingen måde kan forårsage denne virkning. Og en oval banebevægelse (som i dette tilfælde måtte være næsten retlinet) synes ikke blot utænkeligt, men heller ikke at være i overensstemmelse med fremtrædelserne. Jeg fremlægger imidlertid gerne den ide, jeg har herom, til gode filosofers dom og kritik. Det er kendt, at de mellemliggende jordiske dampe får Solen og Månen til at synes større, men fiksstjernerne og planeterne mindre. Det er derfor, de to store lysende legemer ses som større tæt ved horisonten, og stjernerne som mindre, og for det meste næsten ikke er til at se. Og de formindskes yderligere, hvis disse dampe gennemstrømmes af lys; derfor fremtræder stjernerne meget svagt om dagen og i tussmørket, hvorimod dette, som nævnt ovenfor, ikke er tilfældet for Månen. Derudover er ikke blot jorden, men også Månen omgivet af et dampdække, hvilket fremgår af, hvad jeg har sagt ovenfor, og navnlig af det, jeg mere udførligt vil fremføre i min bog om Systemet. Vi kan da med rimelighed antage, at dette også gælder for de øvrige planeter, således at det ikke synes utænkeligt, at også Jupiter er omgivet af et damplag, som er tættere end den øvrige æter, og omkring hvilket de Mediceiske Planeter kredser, ligesom Månen kredser omkring elementernes sfære⁷, således at de forekommer mindre, når de er i apogæum og dermed dækkes af dette damplag, og større i perigæum, hvor virkningen af det er fraværende eller afsvækket. Manglen på tid forhindrer mig i at gå videre; men den velvillige læser kan forvente mere om dette emne inden længe.

⁵ Galilei beregnede året efter (1611) omløbstiderne for de fire Jupiter-måner som: 16 døgn og 18 timer; 7 døgn og 4 timer; 3 døgn og 13,3 timer; 1 døgn og 18,5 timer. Hvilket er meget tæt på moderne beregninger.

⁶ Perigæum og apogæum: banepunkter i henholdsvis nærmeste og fjerneste afstand fra Jorden (Gaia eller Gæa).

⁷ "Elementernes sfære" var i den traditionelle kosmologi den jordiske region, den sublunare verden (under Månen), som var dannet af de fire elementer: jord, vand, luft og ild.

Hvad er matematik? 3

ISBN 9788770668781

Projekter: Kapitel 10. *Matematik og kultur*. Projekt 10.5 Galileis opdagelse af Jupitersystemet

SLUT

2. Galileis journal om opdagelsen af Jupiters måner.

Vi har ovenfor læst Galileis egen beretning om sin opdagelse af Jupiters måner, som han efterfølgende skrev den ned i 'Budskab om stjernerne'. Her følger som supplement et udsnit af Galileis observationsjournal fra denne periode:

'Den 7. januar 1610 kunne Jupiter ses i min kikkert med 3 faste stjerner således: øst ** O * vest. De var usynlige uden teleskopet. Den 8. januar viste de sig således: O * * *. De er altså direkte og ikke retrograde, som tidligere beregnet.

Den 9. var det overskyet; men den 10. så jeg dem igen, nu således: ** O, med den vestligste tilsyneladende formørket.

Den 11. var de grupperet således: ** O, med stjernen nærmest Jupiter omtrent halvt så stor som den første stjerne og tæt ved denne. I andre nætter viste stjerne sig derimod af samme størrelse og med samme indbyrdes afstand. Det fremgår heraf, at der er 3 vandrerstjerne om Jupiter, hidtil ikke set af nogen.'

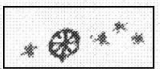
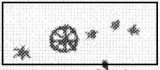
30

Adi 7. di Gennaio 1610 Giove si vedeva co'l Cannone co' 3. stelle fisse  della quali se'n il cannone minore si vedeva.  a di 8. appariva co' diretto et no retrogrado come pigono i calculatori.

Adi 9. si rugolo. a di 10. si vedeva co'  più occidentale si che in occultatione quanto si può credere.

Adi 11. era in questa guisa  et la stella più vicina a Giove era l'ultima minore dell'altra, et vicinissima all'altra come che le altre sare erano le dette stelle apparite tutte tre di equal grandezza et co' li loro equatori lontane; dal che appare intorno a Giove esser 3. altre stelle erranti invisibili ad ogni uno sino a questo tempo.

Adi 12. si vedde in tale costituzione  era la stella sudentele poco minor della orientale, et giove era i mezzo lontano da l'una et dall'altra quanto il suo diametro, i circa: et forse era una terza lucida et vicinissima a 7 verso oriente; anzi pur in era veromp haindo io co' più diligente osservato, et esido più imbrunita la notte.

Adi 13. havendo beniss. fermato co' loium. si veddono viciniss. a Giove 4. stelle in questa costituzione  o meglio così  a tutte apparivano della med. grandezza, lo spazio delle 2. occidentali no era maggiore del diametro di 7. et erano fra di loro notabilm. più vicine che le altre sare; ne) erano in linea retta equidistanti come si suati ma a media delle 3. occidentali era in poco elevata, o vero la più occidentale alquanto depressa; sono queste stelle tutte note lucide brett

3. Opklarende spørgsmål til teksterne:

I uddraget af skriftet: *Budskab om stjernerne* fortæller Galilei om sin opdagelse af fire nye stjerner, 'planeter' eller 'vandrestjerner', der cirkulerer omkring Jupiter i forskellige afstande.

1. Hvorfor kalder Galilei de nye 'planeter' for de Mediceiske stjerner?
2. Hvad er det Galilei mangler at finde ud af om de nye 'planeter', og som han beder om hjælp til fra andre astronomer?
3. Hvad er Ekliptika?
4. Hvad er Dyrekredsens rette linje?
5. Hvad betyder Orienten? Occidenten?
6. Til at begynde med observerer Galilei tre stjerner sammen med Jupiter: Hvordan bliver Galilei klar over at der ikke kan være tale om fiksstjerner? Hvornår bliver han klar over at der i virkeligheden er tale om fire 'vandrende stjerner', der følger Jupiter?
7. Hvorfor skifter Jupiter størrelse på nattehimlen alt efter hvornår vi betragter den? Hvordan holder Galilei styr på den skiftende størrelse af Jupiter på stjernehimlen?
8. Hvordan kan Galilei slutte at de fire 'vandrende stjerner' følger forskellige banebevægelser omkring Jupiter?

4. Til forståelse af kikkertens virkemåde

(læs følgende uddrag fra bogen:)

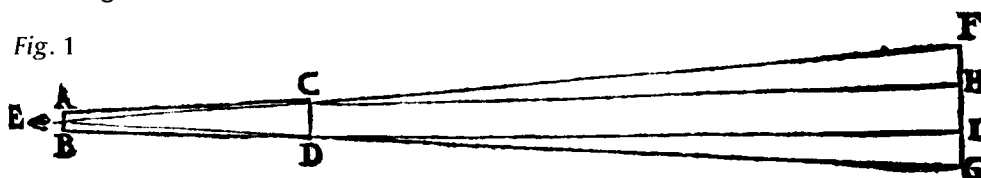
'Til sidst lykkedes det mig, idet jeg hverken sparede på arbejde eller penge, at konstruere et så fremragende instrument, at ting, man så igennem det, fremstod som 1000 gange større og mere end 30 gange tættere på, end hvis man iagttog dem med det naturlige syn. Det er overflødigt at opregne alle fordelene, både til lands og til vands, ved et sådant instrument. Men jeg så bort fra jordiske iagttagelser og gik i gang med at iagttage himlen, hvor jeg først så Månen så tæt på, som var den blot to jordradier borte.

Efter det iagttog jeg ofte med umådeligt behag fiksstjernerne og planeterne, og da jeg så, at stjernerne er tæt forsamlede, begyndte jeg at udtænke en måde, som jeg fandt til sidst, hvorpå man kan beregne afstandene imellem dem. Her er det på sin plads med en enkelt advarsel til dem, der vil gå i gang med observationer af denne art. Først og fremmest er det nødvendigt at tilvejebringe en kikkert af højeste præcision, der vil vise genstandene klart skelnelige fra hinanden, og uden at de er indhyllet i tåge, og som forstørrer dem mindst 400 gange og dermed viser dem 20 gange tættere på. For hvis instrumentet ikke er indrettet på denne måde, vil det være forgæves at forsøge at se alt det, jeg har set på himlen, og som vil blive fremlagt i det følgende.

For nu uden større besvær at bestemme et instruments forstørrelsessevne tegner man på et papir konturerne af to cirkler eller to kvadrater, hvoraf den ene figur er 400 gange større end den anden, hvilket vil være tilfældet, når den enes diameter er 20 gange større end den andens. Med begge figurer ophængt på den samme væg betragter man dem dernæst samtidig fra nogen afstand, den mindste af dem gennem kikkerten, og den største af dem med det blotte øje. Dette gøres uden besvær, idet man holder begge øjne åbne samtidigt. De to figurer vil da fremstå som lige store, hvis instrumentet forstørrer genstande i det ønskede forhold.

Med et sådant instrument ved hånden vil vi søge en metode til måling af afstande, hvilket kan gøres på følgende måde: Lad, til fremme af forståelsen, ABCD være et rør, og lad E være iagttagers øje. Hvis der ingen linser er i røret, så går synsstrålerne til objektet FG langs de rette linier ECF og EDG; men med linserne isat går de langs de brudte linier ECH og EDI:

Fig. 1



De ligger altså tættere på hinanden, og hvor de før førtes frit til objektet FG, omfatter de nu kun stykket HI. Har man derefter fundet forholdet mellem afstanden EH og liniestykket HI, så finder man ved hjælp af sinustabeller størrelsen af den vinkel, der dannes ved øjet af objektet HI, og som vi vil opdage kun er nogle få bueminutter. Tilpasser vi nu nogle tynde plader, hvoraf nogle hensigtsmæssigt er gennemhullet med en større og andre med en mindre åbning, og placerer vi dem en efter en foran linsen CD, så kan vi efter behag danne forskellige vinkler, som indeholder et større eller mindre antal bueminutter; og ved hjælp heraf kan vi let måle afstandene mellem stjerner, der kun er nogle få bueminutter fra hinanden, med en præcision på et eller to minutter. For nærværende er det tilstrækkeligt, at vi blot har berørt disse forhold let, blot har snuset til dem, idet jeg ved anden lejlighed vil fremlægge den samlede teori for dette instrument. Lad os nu se på de observationer, jeg har foretaget gennem de seneste to måneder, idet jeg opfordrer alle, der stræber efter en sand filosofi, til at gå i gang med overvejelser over disse betydningsfulde ting.'

Øvelse 3. Galileis astronomiske afstandsmål – bueminutter og jupiterradier

- Galilei måler afstanden fra de nye stjerner til Jupiter i bueminutter? Hvad er et bueminut? Hvordan måler han i bueminutter (læs det følgende uddrag om kikkertens virkemåde!)? Hvilken sammenhæng er der mellem at måle afstande i bueminutter og i pixler? Hvad er den største afstand han noterer sig i bueminutter?

Øvelse 4. Galileis mikrometerskala til måling af vinkelafstande:

Se den lille film om Galileis mikrometerskala:

[Galileo's micrometer \(imss.fi.it\)](http://imss.fi.it)

Svar dernæst på spørgsmålene:

a) Hvilken enhed anvender Galilei når han skal fastlægge månernes afstand til Jupiter?

b) Hvordan måler Galilei rent praktisk afstandene til månerne i den valgte enhed?



To år efter opdagelsen af Jupiters måner havde Galilei fået styr på omløbstider og baneparametre. Bl.a. havde han fundet en mere præcis metode til opmåling af vinkelafstande ved hjælp af et cirkulært gitter. Gitteret var monteret ved enden af teleskopet. Galilei så gennem teleskopet med sit højre øje, samtidigt med at han kiggede på gitteret med sit venstre øje, hvorved han fik billedet af gitteret lagt oven i billedet af Jupiter og dens satellitter. Ved at dreje gitteret kunne han få det til at flugte med den retning, der blev udspændt af satellitterne, hvorefter gitteret blev skubbet frem eller tilbage langs kikkerten indtil Jupiter netop passede i mellemrummene mellem tre parallelle linjer vinkelret på baneplanet, dvs. den midterste linje passerede gennem Jupiters centrum samtidigt med at de to andre netop rørte Jupiters rand. Siden afstanden mellem gitterlinjerne var afpasset til Jupiters radius, kunne satellittens elongation (afstand fra Jupiter langs ekliptika) nu nemt udmåles i Jupiterradier. Ved at måle gitterpositionen langs kikkerten kunne Galilei samtidigt fastslå vinkelstørrelsen af Jupiter.

5. Galileis regnetekniske hjælpemiddel - Jovilabiet

På dette tidspunkt kunne Galilei også holde styr på månerne ved hjælp af tabeller over deres vinkelafstand fra sigtelinjen til Jorden. Sådanne tabeller bestod af tre deltabeller:

- Den første viser månens vinkelafstand dag for dag på samme tidspunkt.
- Den anden viser hvor mange grader man skal lægge til time for time.
- Den tredje viser antal grader man skal lægge til hvert tiende minut.

Når Galilei kendte vinkelafstanden er det i princippet en simpel trigonometrisk beregning at udregne månens elongation, dvs. dens afstand fra Jupiter målt i Jupiterradier. Hertil benyttede han de følgende radier for de fire Jupitermåners baner:

Måne	Io	Europa	Ganymedes	Callisto
Afstand	5½	9	14	24

Men selv om det i princippet er en simpel beregning, så er det alligevel en tidkrævende proces hver gang. Naturligvis havde Galilei ikke moderne regnetekniske midler, men han havde ikke engang logaritmetabeller til sin rådighed – disse blev først fremstillet i årene omkring 1618 – 1625. Der var andre næsten tilsvarende metoder, som vi har beskrevet i HEM2 den indledende fortælling til kapitel 4, men de var meget tidkrævende. Så Galilei ledte efter et mekanisk system, der kunne give ham svarende umiddelbart. Og han fandt det med sit *Jovilabium*.

Øvelse 5. Galileis Jovilabium

Se denne lille film om Galileis geniale Jovilabium:

[Jovilabe \(imss.fi.it\)](http://imss.fi.it)

Giv en forklaring på, hvad Galileis ide er, og hvordan det virker.

Du kan støtte dig til denne udskrift af forklaringen i filmen:

In January 1610, while exploring the heavens with his telescope, Galileo discovered four small star-like objects around Jupiter. Having soon concluded that these were the planet's satellites or moons, he sought to establish their orbits and periods.

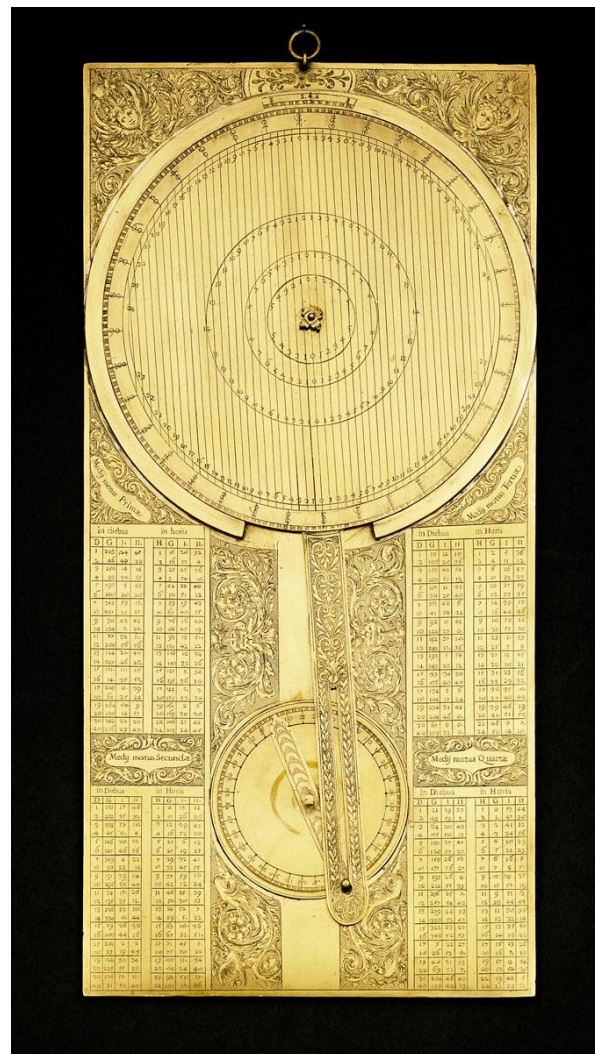
The velocities of orbital motion decrease from the innermost to the outermost moon. All four display almost the same brightness. It was difficult, therefore, to work out which was which and calculate how long they took to complete their orbits around the planet.

To determine the positions of the moons without having to perform complex calculations each time, Galileo developed a diagram—a sort of analog calculator—called the Jovilabe. The design shows Jupiter and the orbits of the four moons to scale. The orbits are placed in a grid of parallel vertical lines spaced at intervals equal to the radius of Jupiter.

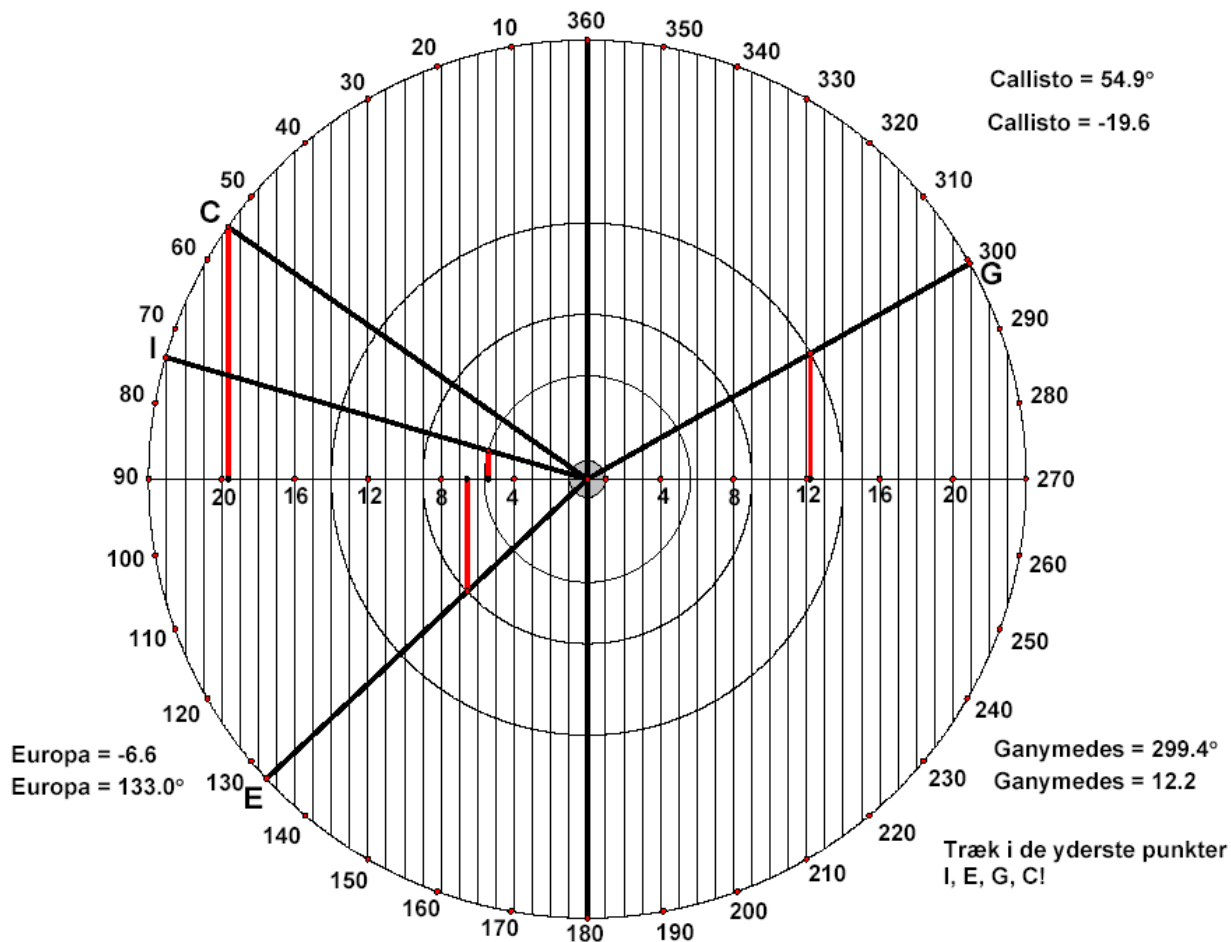
While making his telescopic observations, Galileo would estimate the apparent distance of a moon from the planet in units equal to Jupiter's radius. The intersection between the vertical line corresponding to this distance and the circle representing the moon's orbit gave its position instantly. By means of a thread, one could read the value on the marked scale drawn in the margin.

However, the moons' observed positions vary with the relative positions of Jupiter and the Earth in the course of their revolutions around the Sun. For example, the timing of a moon's passage in front of Jupiter, as seen from the Earth, differs from the timing of the same phenomenon if it were observed from the Sun. The time difference depends on the Earth-Jupiter-Sun angle, known as the annual parallax.

To cancel this continuously variable effect, Galileo recorded the motion of the moons relative not to the Earth, but to the Sun. To avoid complicated calculations, he developed a second diagram consisting of a representation, to scale, of the orbits of Jupiter and the Earth around the Sun. Jupiter is assumed to be immobile at the moment of the observation. The diagram features a graduated scale giving the Earth's position relative to Jupiter. The parallax value could be read instantly on another graduated scale. The two diagrams were combined into a single instrument, known as the Jovilabe. Jupiter's position at the moment of observation was computed by means of a rotating disk. A moving pointer, fixed with an arm to the instrument's plate, served to determine the Earth's position at that same moment. The arm thus represents the Earth-Jupiter link, i.e., the observer's continually changing line of sight. The parallax value for any position of the Earth relative to Jupiter could be read directly on a scale on the upper rim of the instrument.



Du kan evt anvende følgende papirmodel i din forklaring:



I midten ses Jupiter. De fire ydre cirkler repræsenterer Jupitermånernes baner. Der er trukket parallelle streger med en indbyrdes afstand svarende til en Jupiterradius. Den optrukne streg i midten 0°–180° svarer til synsretningen. Den vandrette streg med skalamærkerne i Jupiterradier svarer til synsfeltet.

Når Galilei vil observere en bestemt måne, finder han først dens gradtal i sine tabeller. Dernæst trækker han en snor fra centrum af Jupiter og ud til det tilsvarende retningspunkt på den yderste cirkel. Den skærer cirklen hørende til den pågældende måne i månens **virkelige position** i forhold til Jupiter. Ved at aflæse gitterpositionen kan han nu se hvor mange Jupiterradier væk månen befinder sig fra Jupiter i synsfeltets retning. Ved på denne måde at slå månepositionerne op for alle fire måner kan han hurtigt danne sig et overblik over månernes placering en bestemt aften.

Du kan [her](#) få adgang til hele værket i en engelsk oversættelse.

Du kan [her](#) få adgang et uddrag af værket i en dansk oversættelse.