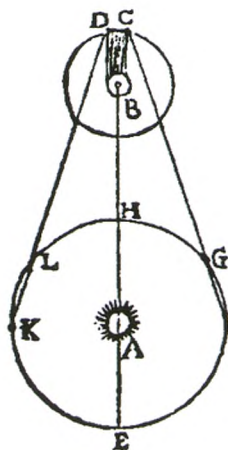


Ole Rømer, Gian Cassini og lysets tøven

Af Kurt Møller Pedersen, Institut for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet

Vi er i Paris på det nye, velindrettede observatorium i august 1676. Gennem flere uger har der været en heftig diskussion mellem tre af observatoriets ledende astronomer, direktøren Gian Domenico Cassini og hans to medarbejdere Jean Picard og Ole Rømer. I mange år har de alle omhyggeligt og systematisk studeret Jupiters måner og har nu opdaget, at Jupiters inderste måne opfører sig på en måde, som de slet ikke kan forklare. Det drejer sig om den tid, det tager for månen at foretage et omløb omkring Jupiter. Det ene ord tager det andet, idéer og forklaringer trylles frem, pludselig siger en af dem, at det hele kan forklares ved at antage, at lyset har en endelig hastighed: *Mora luminis!* – “Lysets tøven”.

Problemet havde ikke kun akademisk interesse. Det var et vigtigt problem for kongen og staten, for hvis astronomerne kunne løse det, havde man en nøjagtig metode til bestemmelse af Jordens størrelse og til udarbejdelse af nøjagtige geografiske kort, der bandt lande, kontinenter og have sammen til gavn for handel og kolonisering. Alene disse resultater af videnskabelig forskning ville retfærdiggøre Solkongens store investeringer i et nyt observatorium, kostbare instrumenter, mange videnskabelige ekspeditioner og en stor skare af vellønnede forskere, samlet i *Académie Royale des Sciences* i Paris.



Figur 1. Ole Rømers tegning af Sol-Jord-Jupiter systemet, fra Rømers originalafhandling om lysets tøven i *Journal des Sçavans*, december 1676. Afhandlingen findes i dansk oversættelse i [2].

Astronomernes diskussioner og jupitermånernes betydning for navigation og Jordens opmåling kan let illustreres ved hjælp af en tegning, som Rømer lavede. A er Solen, omkring hvilken Jorden bevæger sig i sin bane [F]GHLKE. Jupiter er i B, omkring hvilken dens måne bevæger sig i sin bane CD. Solen kaster en skygge BCD bag Jupiter. Når Jorden i sin bane bevæger sig fra E mod G og H, kan man i en kikkert se, hvis vejret ellers er til det, at månen pludseligt forsvinder ved C. Dette fænomen kaldte astronomerne for en *immersion*. Godt to timer senere er månen kommet til D, hvor den træder ud af skyggen. Dette fænomen kaldte man for en *emersion*, men det kan man ikke observere fra Jorden,

da fænomenet set fra Jorden finder sted bag ved Jupiter. Fænomenet kan man derimod se, når Jorden i sin bane bevæger sig fra L mod K og E. I sin kikkert ser man, at månen pludseligt viser sig, men man kan nu ikke se, at månen nogle timer forinden var trådt ind i Jupiters skygge ved C, fordi Jupiter skjuler fænomenet.

Disse to fænomener kan man bruge til at bestemme længdeforskelle mellem selv fjerntliggende steder på Jorden. Det vidste allerede Galilei, da han som den første iagttog fænomenerne i sin selvkonstruerede kikkert i 1610, men metoden var blevet forfinet af Cassini. Man iagttager fænomenet fra de to steder, som man vil bestemme længdeforskellen mellem, samtidig med at man med sine ure bestemmer den lokale tid. Tidsforskellen er da længdeforskellen. Man havde prøvet metoden ved at synkronisere ure ved hjælp af måneformørkelser, men den var usikker, da man ikke med god nøjagtighed kan afgøre, hvornår formørkelsen indtræffer. Man havde prøvet at gøre metoden mere nøjagtig ved at iagttage formørkelsens passage over udvalgte kratere eller bjerge på månen, men det var heller ikke nøjagtigt nok.

Tidspunkterne for jupitermånernes *immersioner* og *emersioner* kan bestemmes langt mere nøjagtigt. Derfor bestemte *Académie Royale des Sciences* sig for i begyndelsen af 1670'erne at sende ekspeditioner ud til mange egne af Jorden for der at iagttage *immersioner* og *emersioner*. Den første af disse gik til Uraniborg, hvor Tycho's observatorium havde ligget, fordi de franske astronomer ønskede at bestemme længdeforskellen mellem dette observatorium og observatoriet i Paris, således at man kunne sammenligne Tycho's meget nøjagtige observationer med nye observationer foretaget på observatoriet i Paris. Lederen af ekspeditionen til Uraniborg var Picard. Han opholdt sig i Danmark fra august 1671 til april 1672, hvor han observerede Jupiters måner samtidigt med, at Cassini gjorde det samme i Paris.

Man fandt, at længdeforskellen mellem Uraniborg og observatoriet i Paris var 42 minutter 10 sekunder, hvor den moderne værdi er 41 minutter 26,8 sekunder. Det gode resultat var så meget desto mere bemærkelsesværdigt, som det var tilvejebragt på grundlag af kun 5 korresponderende observationer, der blev

foretaget samtidigt på Uraniborg og på observatoriet i Paris. Det var hvad skydækket tillod i de otte måneder, Picard opholdt sig i Danmark. En vigtig forudsætning for det gode resultat var, at Cassini inden Picards afrejse fra Paris havde forsynet ham med tabeller over, hvornår der var mulighed for at iagttage *immersioner* og *emersioner*. Metoden er kun brugbar, hvis man omtrent ved, hvornår fænomenerne indtræffer.

Resultatet fra Picards ekspedition gav Cassini mod på at inddrage observatorier i hele verden i projektet. Derfor arbejdede han i årene efter ekspeditionen på at gøre beregningerne af *immersioner* og *emersioner* så nøjagtige som muligt ved at observere tidspunkterne for disse fænomener, og han blev her hjulpet af Picard og Rømer, der var fulgt med Picard til Paris, hvor han blev ansat på observatoriet og desuden blev medlem af Académie Royale des Sciences. Det var således et vigtigt, internationalt projekt, de tre astronomiforskere ved et af verdens førende observatorier entusiastisk havde engageret sig i.

Observationerne drillede dem! Man kunne beregne jupitermånens omløbstid som tiden mellem på hinanden følgende *immersioner*. Man kunne også beregne omløbstiden som tiden mellem på hinanden følgende *emersioner*. Omløbstiden blev bestemt som en middelværdi af de enkelte omløbstider. Man konstaterede imidlertid, at der var en systematisk forskel på omløbstiderne bestemt ud fra *immersioner* og ud fra *emersioner*. En sammenstilling af de foregående fem års observationer gav følgende resultater:

Omløbstider:				
IMMERSIONER				
Periode	dage	timer	min.	sek.
Okt. 1671 - feb. 1672	1	18	28	17
Nov. 1672 - mar. 1673	1	18	28	12
Maj 1676 - jun. 1676	1	18	28	21
Middelomløbstid	1	18	28	17

Omløbstider:				
EMERSIONER				
Periode	dage	timer	min.	sek.
Mar. 1671 - maj 1671	1	18	28	44
Mar. 1672 - jun. 1672	1	18	28	37
Apr. 1673 - aug. 1673	1	18	28	47
Jul. 1675 - okt. 1675	1	18	28	50
Middelomløbstid	1	18	28	45

I august 1676 var man således netop blevet bekræftet i, at *immersionsomløbstiderne* for perioden maj 1676-juni 1676 igen var kortere end *emersionsomløbstiderne*. Hvorfor finder *immersionerne* sted med kortere intervaller end *emersionerne*? Hvorfor afhænger jupitermånens omløbstid af, om Jorden bevæger sig mod eller væk fra Jupiter? Der var tale om en systematisk og markant forskel, omkring et halvt minut, på de to omløbstider.

Det var det problem, Cassini, Picard og Rømer diskuterede så intenst i sommeren 1676. Hvis man har

hang til dramatik, kan man sige, at statens og skibsfartens sikkerhed stod på spil, da nøjagtige geografiske positioner på kortene var af stor betydning for handel og navigation og ikke mindst for bestemmelse af landes størrelse og grænser. Også den rent videnskabelige forståelse af metodens effektivitet spillede naturligvis en betydelig rolle for astronomerne på verdens bedst indrettede observatorium.

Under diskussionen har en af dem foreslået, at fænomenet kunne forklares ved at antage, at lyset "tøver", at lyset udbreder sig med en endelig fart. Hvem der først ytrede denne antagelse, ved vi ikke, men videnskabshistorikere har nævnt både Cassini og Rømer. Fornyeligt dukkede et manuskript op, der kaster lys over sagen. Det er skrevet af Cassini den 22. august 1676 og er her vedføjet med en dansk oversættelse.

Det fremgår heraf helt klart, at Cassini skrev, at lyset tøver. Manuskriptet har karakter af at være et officielt notat, renskrevet og omhyggeligt formuleret, sikkert med henblik på at blive præsenteret for Akademiets medlemmer, hvad det måske også blev: Da Akademiets sekretær mange år senere i 1707 redegør for omstændighederne, siger han netop, at notatet af 22. august 1676 "blev offentliggjort", hvormed han vel mener, at det blev oplæst for Akademiets medlemmer. Jeg skal senere argumentere for, at det kunne være Rømer, der oplæste notatet i Akademiet.

Der er her tale om en epokegørende teori. René Descartes' teorier var udbredte og anerkendte i Frankrig, og han hævdede, at lyset udbreder sig med en uendelig stor fart. Hvis man i datidens Frankrig ønskede at opponere mod udbredte cartesianske dogmer, måtte man have overbevisende og slagkraftige argumenter. Det havde teamet bag Cassini. I manuskriptet står der nemlig, at teorien om lysets tøven kan efterprøves. Hvis den er rigtig, vil formørkelsen den 16. november finde sted 10 minutter senere end beregnet. Man skal så blot vente og håbe på, at det ikke er overskyet. Det skulle vise sig, at man ikke kunne observere Jupiters måner den 16. november. Heldigvis havde Cassini også beregnet et *emersionstidspunkt* for den 9. november, som det viste sig muligt at efterprøve.

Cassini brugte en gennemsnitlig omløbstid på $1^d 18^h 28^m 36^s$, dvs. et gennemsnit af omløb for både *immersioner* og *emersioner*. Man havde observeret en *emersion* den 7. august kl. $9^h 49^m 40^s$. Jupitermånen foretager 53 omløb frem til den 9. november, og Cassini kunne beregne, at *emersionen* ville finde sted den dag kl. $5^h 27^m$ – andre kilder har $5^h 24^m$. Nu havde teamet fundet, ved at studere de sidste fem års *emersioner*, at omløbstiden var $1^d 18^h 28^m 45^s$, dvs. ca. 10 sekunder langsommere end den gennemsnitlige omløbstid, hvilket på 53 omløb beløber sig til lidt under 10 minutter. Den 9. november observerede Rømer en *emersion* kl. $5^h 35^m 45^s$, Picard observerede den kl. $5^h 37^m 49^s$, dvs. ca. 10 minutter senere. Hermed fik man en dramatisk bekræftelse på, at forudsigelsen var rigtig, og at lyset tøver. På trods af det dramatiske forløb kunne Cassini dog ikke tilslutte sig, at man kunne konkludere, at lyset tøver.

Det var derfor ikke Cassini, men Rømer, der den 21. november 1676 meddelte medlemmer af Akademiet, at lyset tøver. I Akademiets protokol skrev sekretæren følgende:

Hr. Rømer læste en afhandling for Selskabet, hvor han viste, at lysets bevægelse ikke er instantan, hvilket han påviste med ujævnhederne af den første jupitermånes *immersioner* og *emersioner*. Han vil tale med de herrer Cassini og Picard om at indsætte denne afhandling i det førstkommande tidsskrift.

I "dette førstkommande tidsskrift" – Journal des Sçavans – offentliggjorde Rømer den 7. december 1676 sin teori om lysets tøven og gav dermed en forklaring på den inderste jupitermånes ujævne bevægelse: "Demonstration touchant le mouvement de la lumiere trouvé par M. Römer de l'Académie Royale des Sciences.". Der er imidlertid en enkelt detalje i Rømers artikel i Journal des Sçavans, som her trænger sig på. I artiklen står, at den inderste månes *emersion* fandt sted den 9. november "10 minutter senere, end man ville have forventet ved at udlede den fra disse [*emersioner*], som var observeret i august måned [...], hvilket hr. Römer havde forudsagt i Akademiet fra begyndelsen af september." Det var således Rømer, der meddelte Akademiets medlemmer, at hvis *emersionen* er forsinket, måtte det skyldes, at lyset tøver. Det fundne manuskript indeholder sikkert det, som blev forelagt Akademiet, og det blev forelagt af Rømer!

Cassini argumenterede livet igennem mod teorien om lysets tøven. I de følgende mange møder i Akademiet fremkom Cassini med indsigelser. Senere i 1693 skrev han:

Hr. Rømer forklarede meget skarpsindigt en af disse ujævnheder, som han gennem nogle år havde iagttaget ved Jupiters første måne ved antagelsen om lysets successive bevægelse [...] men han undersøgte ikke, om denne hypotese passede på de andre måner, som burde udvise den samme variation i tid.

Senere i 1707 skrev Akademiets sekretær Fontenelle i Akademiets officielle *Histoire*:

Observationer af Jupiters måner foretaget på Akademiet fra 1670 til 1675 førte til en opdagelse af en hidtil ukendt ujævnhed i deres bevægelser [...]. Hr. Cassini og hr. Roëmer, der da var blevet medlem af Akademiet, undersøgte denne anomali og fandt, at den afhang af Jupiters afstand fra Jorden [...]. De to astronomer fandt hurtigt på en antagelse om årsagen til denne

ujævnhed. De kom på den tanke, at lysets bevægelse ikke var øjeblikkelig, som filosoffer tidligere havde ment, men at det tog tid for den at udbredes [...]. Hr. Cassini foreslog denne ide i et notat, der blev offentliggjort i 1674 [Skal være 1676] for at gøre astronomer opmærksomme på denne anden ujævnhed, som han havde iagttaget ved Jupiters måner. For at vinde deres tillid forudsagde han, at denne ujævnhed ville forårsage en forsinkelse på 10 minutter i forhold til beregningerne af en *emersion* af den første måne den følgende 16. november.

Men hr. Cassini var ikke overbevist i ret lang tid om, at lysets successive udbredelse var skyld i denne anden ujævnhed, medens hr. Roëmer omvendt holdt fast ved denne hypotese og hævdede den med en sådan styrke og skarpsindighed, at den blev hans egen, og en lang række fremragende filosoffer [videnskabsmænd] forbandt den med ham.

Fontenelle fortsatte:

Det ser således ud til, at man, om end måske med beklagelse, må give afkald på den sindrige og medrivende hypotese om lysets successive udbredelse, i det mindste på det enestående og sikre bevis, som man troede at have, thi et manglende bevis gør ikke en ting umulig. Det er sandt, at hvis lyset gennemløber 66 millioner mil uden dertil at bruge den mindste tid, som vi kan opfatte, så er der grund til at tro, at det udbredes på et øjeblik. Hvad tjener det til, at vi falder i en så stor fejltagelse? Hvis Jupiter kun havde haft én måne, og hvis dens ekscentricitet med hensyn til Solen havde været mindre, hvilket kunne være muligt, så ville vi have været overbevist om, at lyset gennemløb Jordens årlige bane på 14 minutter.

Cassini var imod teorien om lysets tøven, og han blev således støttet af kollegerne i Akademiet. Cassinis vigtigste argument var, at ujævnheder i de andre jupitermånens bevægelser ikke kunne forklares med lysets tøven¹. Det er derfor Fontenelle skriver, at hvis Jupiter kun havde haft en enkelt måne, ville vi være forledet til at tro på ideen. Lysets tøven blev dog i samtiden støttet af mange andre, bl.a. af Christiaan Huygens og Isaac Newton. Den engelske astronom Edmund Halley var en stærk kritiker af Cassinis opfattelse og støttede Rømer. De opfattede alle teorien som Rømers, der jo også var den første til at publicere teorien. Med

¹Rømer skriver selv i sin afhandling: "Men for at fjerne enhver grund til at tvivle på, at denne ulighed er forårsaget af lysets tøven, viser han [Rømer], at den ikke kan opstå af nogen excentricitet eller nogen anden årsag af den slags, som man almindeligvis fremfører for at forklare Månens og de andre planeters uregelmæssigheder." Se [2], s. 56. Sagen uddybes i breve til Huygens.

James Bradleys teori for fiksstjernerne aberrationer i 1729 blev lysets tøven almindeligt accepteret, se [3] eller [4]. Fiksstjerneaberration er en tilsyneladende flytning af retningen til fiksstjerne, der skyldes Jordens endelige hastighed omkring Solen og lysets endelige hastighed.

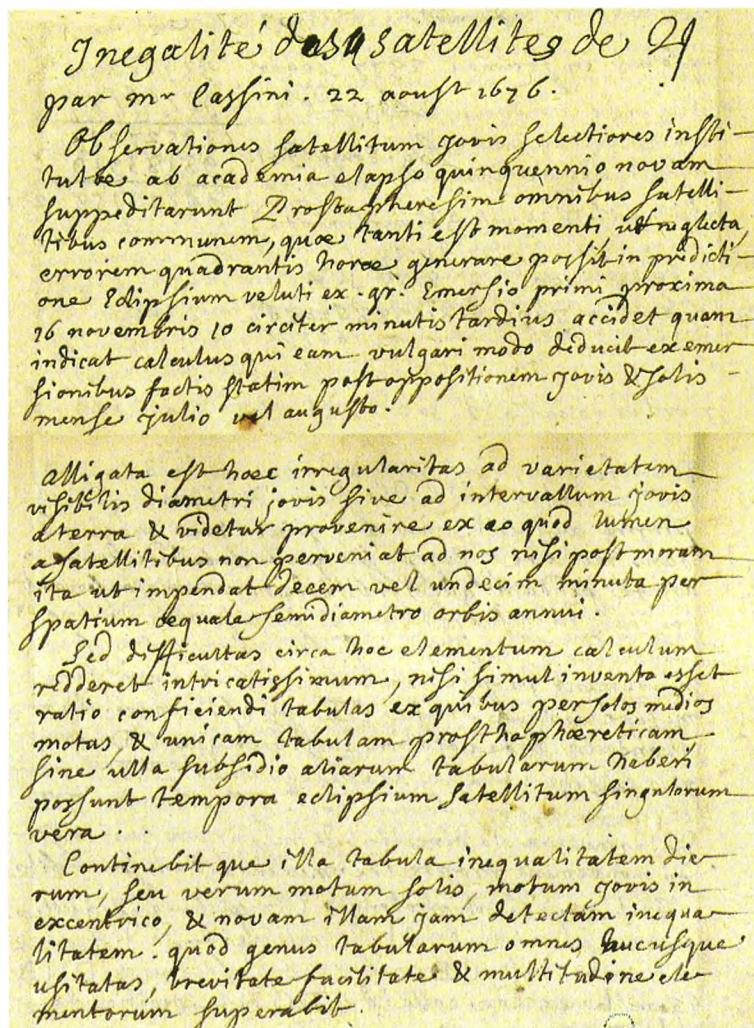
Tilbage står så spørgsmålet om, hvem der først kom på idéen. Det netop fundne manuskript kunne tyde på, at det var Cassini, men at han straks forkastede den og derpå kraftigt argumenterede imod den. Manuskriptet findes på biblioteket på Observatoire de Paris og blev offentliggjort og kommenteret af Laurence Bobis og James Lequeux i [1]. Deres konklusion deler jeg fuldt ud:

Muligvis skrev Cassini på vegne af et team, som omfattede Picard, Rømer, og måske endda Richer og Philippe de la Hire (1640-1718). Det bliver en særdeles overbevisende hypotese, når man læser Akademiets protokoller og ser på observatoriets arbejdsmetoder: Måske var

opdagelsen sket i fællesskab, og havde sin oprindelse hos både Cassini og Rømer, sådan som det antydes af Fontenelle (vi må huske på, at Cassini stadig var i live, da Fontenelle skrev sin "historie" og at de begge var til stede ved Akademiets møder hver lørdag). Hvordan det nu end er, kan Cassini ikke udelukkes fra denne opdagelse, som nogle forfattere mener, og vi må anerkende hans eminente bidrag til denne løsning "af et af de smukkeste problemer i fysikken" [...]. Han optrådte som en fordomsfri videnskabsmand, som tillod andre muligheden af at fremføre idéer, der var imod hans egne overbevisninger; men han var også noget genstridig, når han nægtede at anerkende idéen om lysets endelige hastighed på trods af Halleys argumentation – som han dårligt kunne ignorere.

Halleys kritik er meget teknisk og for omfattende at komme ind på her.

Oversættelse af Cassinis notat af 22. august 1676:



Figur 2. Cassinis nyligt fundne notat af 22. august 1676.

Udvalgte observationer af Jupiters måner, påbegyndt på Akademiet for fem år siden, viste en prostaferese [ujævnhed i bevægelserne eller forskel mellem sand bevægelse og middelbevægelse], der var ens for alle månerne, og som var så stor, at den kunne give en fejl på op til et kvarter i forudsigelserne af formørkelserne; således vil for eksempel den kommende *emersion* af den første måne den 16. november finde sted ca. 10 minutter senere end forudsagt af beregningen på grundlag af den *emersion*, som fandt sted umiddelbart efter Jupiters opposition med Solen i juli og august. Denne ujævnhed er knyttet til en variation i Jupiters synlige diameter, eller til afstanden mellem Jupiter og Jorden, og den synes at stamme fra det, at lyset når fra månen til os med en tøven, sådan at det tager ti eller elleve minutter at gennemløbe en afstand lig med den årlige [jord]banes halve diameter. Men vanskelighederne ved dette princip ville gøre beregningerne meget kompliceret med mindre man samtidigt kunne finde en metode til at udarbejde en tabel, hvor hver enkelt månens formørkelse findes ud fra dens middelbevægelse og fra en enkelt ujævnhedstabel, uden anden hjælp. Sådanne tabeller vil indeholde ujævnheder for dagene eller Solens bevægelse, den excentriske bevægelse af Jupiter, og denne nye, hidtil ukendte ujævnhed. Den slags tabeller ville overgå alle hidtil brugte takket være deres korte form, deres lette brug og omfanget af data.

Hvorfor var Cassini imod teorien om lysets tøven? Hvad enten han selv eller Rømer først kom på idéen, var han hurtig til at vende sig imod den. Forklaringen ligger i en analyse af den sidste del af manuskriptet hvor det hedder (se hele notatet i boksen):

Men vanskelighederne ved dette princip ville gøre beregningerne meget kompliceret med mindre man samtidigt kunne finde en metode til at udarbejde en tabel, hvor hver enkelt månens formørkelse findes ud fra dens middelbevægelse og fra en enkelt ujævnhedstabel, uden anden hjælp.

Sådanne tabeller vil indeholde ujævnheder for dagene eller Solens bevægelse, den excentriske bevægelse af Jupiter, og denne nye, hidtil ukendte ujævnhed. Den slags tabeller ville overgå alle hidtil brugte takket være deres korte form, deres lette brug og omfanget af data.

Cassini havde gjort sig til talsmand for et internationalt projekt, hvor man ved hjælp af iagttagelser af jupitermånernes formørkelser kunne fastlægge geografiske positioner. Metoden og det internationale samarbejde hvilede på Cassinis store matematiske evner til at kunne forudberegne disse formørkelser. Han hørte til den klassiske skole, der lige siden oldtiden havde beskrevet ujævnheder ved at tabulere dem. Det var det, Cassini ønskede. Kendte man månens position i banen omkring Jupiter, kunne man ved blot at slå op i en enkelt tabel finde denne "ujævnhed", og derpå bestemme dens formørkelsestidspunkt. Hvis forklaringen på ujævnheden var lysets tøven, ville Cassinis fremgangsmåde blive "meget kompliceret", fordi han skulle bruge tabeller med dobbelt indgang for Solens og Jupiters middelanomalier.

Cassini har vel fundet det afskrækkende at indlade sig på dette meget komplicerede beregningsprojekt, selvom det kunne føre til tabeller, der ville overgå alle andre. Det er selvfølgelig hverken et argument for eller imod teorien om lysets tøven. Et argument mod lysets tøven er derimod Cassinis opfattelse, at ujævnheder i banebevægelserne skyldes variationer i jupitermånernes baneelementer, som let kunne tabuleres, fordi de intet har med Solens bevægelse at gøre.

Det fundne notat giver et indblik i, hvordan teorien om lysets tøven blev udviklet gennem diskussioner mellem især Cassini og Rømer. Cassini blev hurtigt modstander af den, men hans kritik og skepsis blev en udfordring for Rømer. Han tog udfordringen op og fastholdt teorien og imødegik på alle punkter kritikken. I Akademiets mødeprotokol fremgår, at diskussionen mellem Rømer og Cassini fortsatte gennem mange møder uden at det fremgår, hvad det drejede sig om. Det ved vi imidlertid fra Rømers brevveksling med Huygens, men det vil blive en hel afhandling i sig selv. Cassinis argument er som følger: Hvis man kan bestemme en lyshastighed ud fra den inderste jupitermånens formørkelser, skulle man også kunne bestemme den ud fra de ydre månens formørkelser. Det kan man ikke! Rømers svar er, at de ydre måner ikke bevæger på den samme regelmæssige måde som den inderste. Vi ved i dag hvorfor: De ydre månens bevægelser er uregelmæssige på grund af perturbationer fra de andre planeter.

Litteratur

- [1] Laurence Bobis og James Lequeux (2008): Cassini, Rømer and the Velocity of Light, *Journal of Astronomical History and Heritage*, **11**(2), p. 97-105.
- [2] Jan Teuber (ed.), Højdepunkter i dansk naturvidenskab, Gads Forlag, 2002.
- [3] Kurt Møller Pedersen (2007), Lys og stjerner og deres underlige bevægelser i *Oplysningens verden*, redigeret af Ole Høiris og Thomas Ledet. Aarhus Universitetsforlag.
- [4] Kurt Møller Pedersen (1976), Ole Rømers opdagelse af lysets tøven, *Astronomisk Tidsskrift* nr. 4, årgang 9, 1976, s. 160-166.



Kurt Møller Pedersen arbejder med projekter vedrørende naturvidenskabernes historie i det 17. og 18. århundrede, og specielt her i 300 året for Rømers død om nye vurderinger af Rømers bidrag til astronomi. Desuden arbejder han på en udgave af astronomen Thomas Bugges rejsedagbog til observatorier i Holland og England i 1777.