Lysets tøven: Ole Rømers elegante måling fra 1676

Bertil Dorch, Syddansk Universitet

For snart 350 år siden, i 1676, demonstrerede Ole Rømer at lyset tøver, dvs. at det udbreder sig med en endelig, om end meget høj hastighed. Rømer havde analyseret de tidsforskydninger, der tilsyneladende opstod i formørkelserne af månen Io, når den i sin bane passede ind i kæmpeplaneten Jupiters skygge. Når Jorden bevægede sig væk fra Jupiter, så kom Io senere til syne end forventet; men når Jorden nærmede sig Jupiter, så kom Io omvendt tidligere til syne. Over mange omløb blev forskydningen gradvist målbar og kunne derfor give et estimat for lysets rejsetid hen over Jordbanens diameter. Ole Rømers resultater er bl.a. kendt pga. referatet af et møde i det franske videnskabernes selskab, der blev publiceret i 1676 i tidsskriftet *Journal des Sçavans*. Resultatet blev vel modtaget af de videnskabelige giganter Huygens og Newton, mens Cassini modsat var skeptisk. Rømers arbejde blev senere bekræftet af Bradleys opdagelse af stjerneaberrationen.

Et kosmisk "lys-ur" på himlen

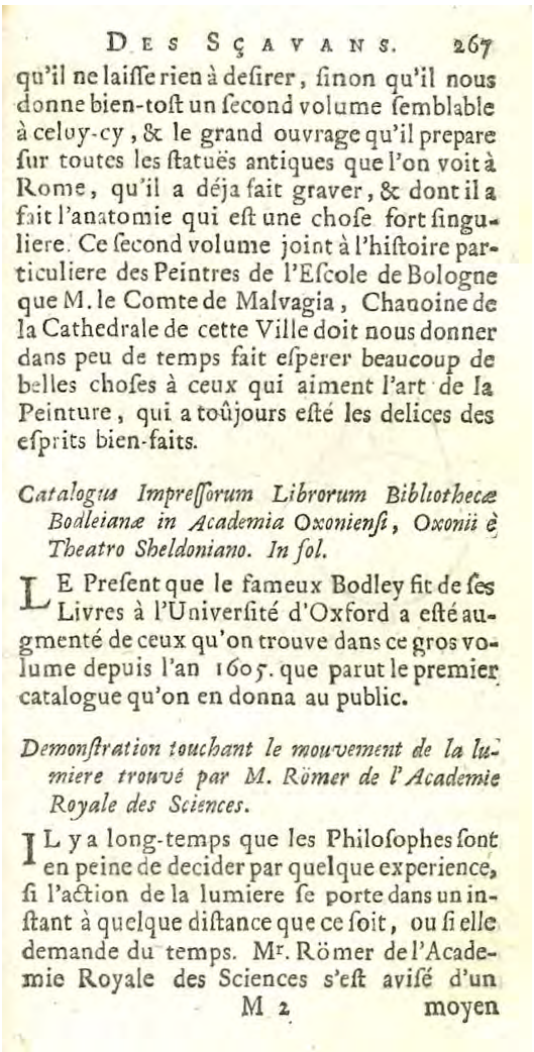
I 1672 kom Ole Rømer til Frankrig sammen med den franske videnskabsmand Jean Picard, der havde været i Danmark for at bestemme øen Hvens nøjagtige position ift. Paris, sådan at man kunne få styr på Tycho Brahes gamle observationer, som Ole Rømer også arbejdede med på det tidspunkt. I Frankrig blev Rømer tilknyttet observatoriet i Paris og det franske videnskabsakademi, *Académie Royale des Sciences*. Dér arbejdede han i kredsen af personer omkring observatoriets leder, den fransk-italienske astronom Giovanni Domenico Cassini (senere kendt som Jean-Dominique Cassini). Cassini er blandet andet kendt for at have bestemt afstanden til Mars, han studerede Saturns måner og ringe, og lavede tabeller over formørkelser af Jupiters måner, som Ole Rømer fik adgang til.

På den tid, dvs. i anden halvdel af 1600-tallet, var spørgsmålet om lysets natur en af de centrale problemstillinger for mange naturfilosoffer og astronomer: Hvad bestod lyset af, hvordan blev det udsendt, modtaget, og virkede det øjeblikkeligt, dvs. indfinder det sig *instantant?* Ole Rømer fandt en observationsmæssig løsning til problemet vedr. lysets hastighed, ved at anskue Jupiters system af måner som et gigantisk kosmisk ur og sammenligne de såkaldte "immersioner" (når Io forsvinder ind i Jupiters skygge) og tilsvarende "emersioner" (når Io træder ud af skyggen) hen over året, mens Jordens afstand til Jupiter ændrer sig pga. de to planeters bevægelse omkring Solen.

Sagen er, at Ios omløbstid omkring Jupiter er omtrent 42,5 timer, så hvis lyset fra månen ankommer øjeblikkeligt til Jorden vil intervallerne mellem Ios fremkomster være strengt regelmæssige og altid det samme. Men Rømer viste, at fordi lyset skulle rejse længere, når Jorden bevægede sig væk fra Jupiter, efter at det var udsendt fra Io, så tog det længere tid, inden vi ville se det. Omvendt, så tog det kortere tid, når Jorden kom lyset i møde. Effekten er svag i de individuelle omløb, men bliver tydelig over mange omløb og kan derfor måles.

Rømers kerneidé var altså at lade de små forskydninger akkumuleres over for eksempel 40 omløb så forskellene ikke længere er forsvindende små. Ved at koble sådanne målinger til Jordens bane kan man udlede lysets rejsetid hen over en veldefineret strækning, og dermed beregne dets hastighed.

Denne trinvise tilgang minimerer afhængigheden af måle- og instrumentfejl og er på sin vis et klassisk eksempel på en robust målestrategi.



DES SÇAVANS. 267

qu'il ne laiſſe rien à deſirer, ſinon qu'il nous donne bien-toſt un ſecond volume ſemblable à celuy-cy, & le grand ouvrage qu'il prepare ſur toutes les ſtatuës antiques que l'on voit à Rome, qu'il a déja fait graver, & dont il a fait l'anatomie qui eſt une choſe fort ſinguliere. Ce ſecond volume joint à l'hiſtoire particuliere des Peintres de l'Eſcole de Bologne que M. le Comte de Malvagia, Chanoine de la Cathedrale de cette Ville doit nous donner dans peu de temps fait eſperer beaucoup de belles choſes à ceux qui aiment l'art de la Peinture, qui a toûjours eſté les delices des eſprits bien-faits.

Catalogus Impreſſorum Librorum Bibliothecæ Bodleianæ in Academia Oxonienſi, Oxonii è Theatro Sheldoniano. In fol.

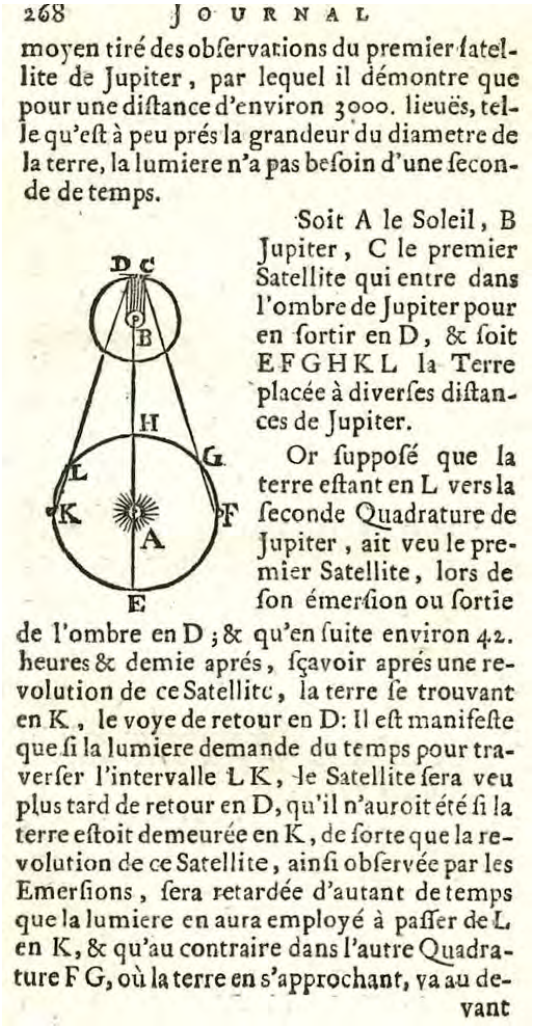
LE Preſent que le fameux Bodley fit de ſes Livres à l'Univerſité d'Oxford a eſté augmenté de ceux qu'on trouve dans ce gros volume depuis l'an 1605. que parut le premier catalogue qu'on en donna au public.

Demonſtration touchant le mouvement de la lumiere trouvé par M. Römer de l'Academie Royale des Sciences.

IL y a long-temps que les Philoſophes ſont en peine de decider par quelque experience, ſi l'action de la lumiere ſe porte dans un inſtant à quelque diſtance que ce ſoit, ou ſi elle demande du temps. Mr. Römer de l'Academie Royale des Sciences s'eſt aviſé d'un

M 2 moyen

Figur 1. Første side af artiklen om Rømers opdagelse i tidsskriftet *Journal des Sçavans* i den udgave der findes på Syddansk Universitetsbibliotek på SDU i Odense. Artiklen begynder nederst på siden.



268 JOURNAL

moyen tiré des obſervations du premier ſatellite de Jupiter, par lequel il démontre que pour une diſtance d'environ 3000. lieuës, telle qu'eſt à peu prés la grandeur du diametre de la terre, la lumiere n'a pas beſoin d'une ſeconde de temps.

Soit A le Soleil, B Jupiter, C le premier Satellite qui entre dans l'ombre de Jupiter pour en ſortir en D, & ſoit E F G H K L la Terre placée à diverſes diſtances de Jupiter.

Or ſuppoſé que la terre eſtant en L vers la ſeconde Quadrature de Jupiter, ait veu le premier Satellite, lors de ſon émerſion ou ſortie de l'ombre en D; & qu'en ſuite environ 42. heures & demie aprés, ſçavoir aprés une revolution de ce Satellite, la terre ſe trouvant en K, le voye de retour en D: Il eſt manifeſte que ſi la lumiere demande du temps pour traverſer l'intervalle L K, le Satellite ſera veu plus tard de retour en D, qu'il n'auroit été ſi la terre eſtoit demeurée en K, de ſorte que la revolution de ce Satellite, ainſi obſervée par les Emerſions, ſera retardée d'autant de temps que la lumiere en aura employé à paſſer de L en K, & qu'au contraire dans l'autre Quadrature F G, où la terre en s'approchant, va au devant

Figur 2. Side 2 af artiklen om Rømers opdagelse i tidsskriftet *Journal des Sçavans*.

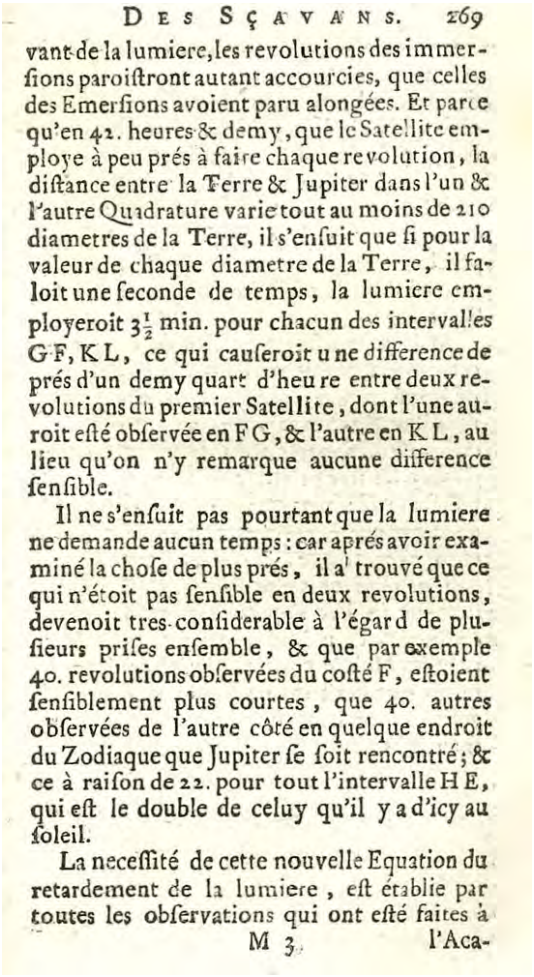
Kulminationen kom med Rømers berømte forudsigelse: En emersion af Io i november 1676 ville indtræffe cirka ti minutter senere end Cassinis tabeller angav, fordi lyset skulle tilbagelægge en større afstand, når Jorden i sin bane var på vej væk fra Jupiter. Rømers observation den 9. november i 1676 bekræftede forudsigelsen. Kort efter blev meddelelsen refereret for det franske *Académie Royale des Sciences* og publiceret i tidsskriftet *Journal des Sçavans*, den 7. december 1676. Året efter kom der en engelsk oversættelse i *Philosophical Transactions*. Den danske titel er "Påvisning vedrørende lysets bevægelse, fundet af hr. Rømer fra Det kongelige Videnskabernes Akademi".

Referatet af mødet i det franske videnskabernes selskab

Artiklen er nedenfor oversat fra fransk til dansk af filolog og forfatter Chr. Gorm Tortzen, lektor emeritus:

"Filosofferne har længe haft vanskeligheder med gennem et eksperiment at afgøre, om lysets aktivitet foregår øjeblikkeligt over enhver afstand, eller om den kræver tid. Hr. Rømer fra Det kongelige Videnskabernes Akademi har udfundet en måde, hvorved han ud fra observationer af Jupiters første måne påviser, at lyset på en afstand af 3.000 mil, hvilket næsten er størrelsen af Jordens diameter, har brug for mindre end et tidsekund.

Lad A være Solen, B Jupiter, C den første måne, som er på vej ind i Jupiters skygge for at komme ud ved D, og lad $EFGHKL$ være Jorden i forskellige afstande fra Jupiter.



DES SÇAVANS. 269

vant de la lumiere, les revolutions des immerſions paroiſtront autant accourcies, que celles des Emerſions avoient paru alongées. Et parce qu'en 42. heures & demy, que le Satellite employe à peu prés à faire chaque revolution, la diſtance entre la Terre & Jupiter dans l'un & l'autre Quadrature varie tout au moins de 210 diametres de la Terre, il s'enſuit que ſi pour la valeur de chaque diametre de la Terre, il faloit une ſeconde de temps, la lumiere employeroit $3\frac{1}{2}$ min. pour chacun des intervalles G F, K L, ce qui cauſeroit une difference de prés d'un demy quart d'heure entre deux revolutions du premier Satellite, dont l'une auroit eſté obſervée en F G, & l'autre en K L, au lieu qu'on n'y remarque aucune difference ſenſible.

Il ne s'enſuit pas pourtant que la lumiere ne demande aucun temps: car aprés avoir examiné la choſe de plus prés, il a trouvé que ce qui n'étoit pas ſenſible en deux revolutions, devenoit tres-conſiderable à l'égard de pluſieurs priſes enſemble, & que par exemple 40. revolutions obſervées du coſté F, eſtoient ſenſiblement plus courtes, que 40. autres obſervées de l'autre côté en quelque endroit du Zodiaque que Jupiter ſe ſoit rencontré; & ce à raiſon de 22. pour tout l'intervalle H E, qui eſt le double de celuy qu'il y a d'icy au ſoleil.

La neceſſité de cette nouvelle Equation du retardement de la lumiere, eſt établie par toutes les obſervations qui ont eſté faites à

M 3 l'Aca-

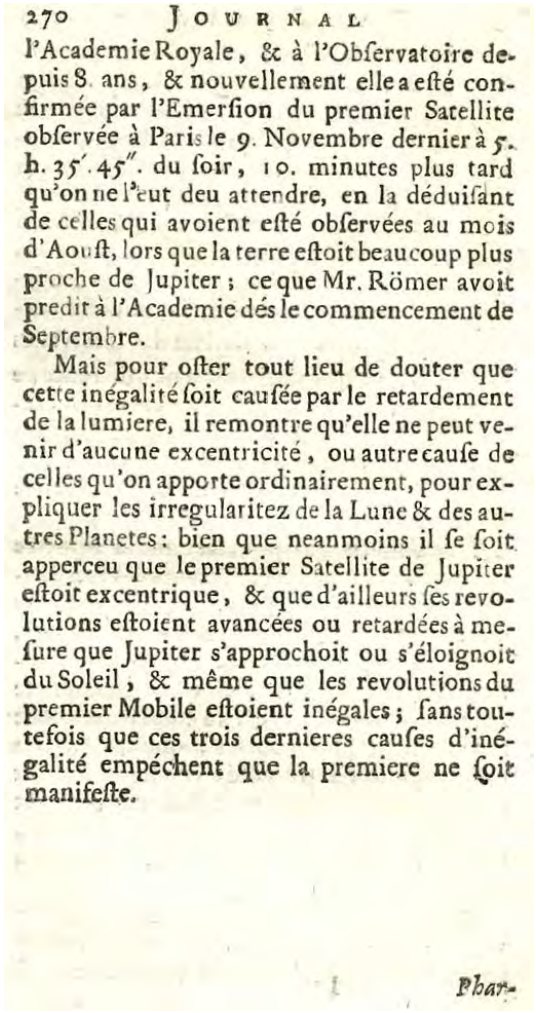
Figur 3. Side 3 af artiklen om Rømers opdagelse i tidsskriftet *Journal des Sçavans*.

Forudsat nemlig, at Jorden er i L ved Jupiters anden kvadratur og har set Jupiters første måne efter dens fremkomst eller udgang af skyggen i D; endvidere, at Jorden efter omtrent 42 en halv time (dvs. efter et omløb af denne måne) befinder sig i K og ser den vende tilbage i D: Da er det klart, at hvis lyset behøver tid for at tilbagelægge afstanden KL, vil månen blive set senere ved tilbagevenden i D, end det ville være sket, hvis Jorden var forblevet i L. Derfor vil omløbet af denne måne, ligeledes observeret ved fremkomsterne, blive forsinket med samme tidsrum, som lyset ville have brugt til at passere fra L til K. Omvendt vil immersionernes forløb i den modsatte kvadratur FG (hvor Jorden, idet den nærmer sig, vil komme lyset i møde) forekomme lige så meget afkortet, som fremkomsterne forekom længere.

Og fordi afstanden mellem Jorden og Jupiter på de 42 en halv time, som månen meget nær bruger til at foretage hvert omløb, varierer med mindst 210 jorddiametre i både den ene og den anden kvadratur, følger heraf, at hvis der skulle bruges ét tidsekund for hver jorddiameter, ville lyset bruge 3½ minut for hvert af intervallerne GF og KL, hvilket ville bevirke en

forskel på næsten et halvt kvarter mellem to omløb af den første måne, hvoraf det ene observeret i FG og det andet i KL, i stedet for, at man ikke iagttager nogen mærkbar forskel.

Der følger imidlertid ikke heraf, at lyset ikke kræver nogen tid. For efter at have undersøgt sagen meget indgående, har han fundet, at det, som ikke var mærkbart ved to omløb, blev meget anseligt ved betragtningen af mange under ét, og at fx 40 omløb, observeret fra siden F, var mærkbart kortere end 40 andre observeret fra den anden side på et hvilket som helst sted i Dyrekredsen, hvor Jupiter måtte findes; og det i forhold til 22½ for hele afstanden HE, som er det dobbelte af afstanden til Solen.



270 JOURNAL

l'Academie Royale, & à l'Obſervatoire depuis 8. ans, & nouvellement elle a eſté confirmée par l'Emerſion du premier Satellite obſervée à Paris le 9. Novembre dernier à 5. h. 35′. 45″. du ſoir, 10. minutes plus tard qu'on ne l'eut deu attendre, en la déduiſant de celles qui avoient eſté obſervées au mois d'Aouſt, lors que la terre eſtoit beaucoup plus proche de Jupiter; ce que Mr. Römer avoit predit à l'Academie dés le commencement de Septembre.

Mais pour oſter tout lieu de douter que cette inégalité ſoit cauſée par le retardement de la lumiere, il remontre qu'elle ne peut venir d'aucune excentricité, ou autre cauſe de celles qu'on apporte ordinairement, pour expliquer les irregularitez de la Lune & des autres Planetes: bien que neanmoins il ſe ſoit apperceu que le premier Satellite de Jupiter eſtoit excentrique, & que d'ailleurs ſes revolutions eſtoient avancées ou retardées à meſure que Jupiter s'approchoit ou s'éloignoit du Soleil, & même que les revolutions du premier Mobile eſtoient inégales; ſans toutefois que ces trois dernieres cauſes d'inégalité empéchent que la premiere ne ſoit manifeſte.

Phar-

Figur 4. Sidste side af artiklen om Rømers opdagelse i tidsskriftet *Journal des Sçavans*.

Nødvendigheden af denne ene ligning for lysets tøven er fastslået gennem alle de observationer, som er foretaget af Det kongelige Akademi og af Observatoriet i de sidste 8 år, og for nylig er den blevet bekræftet af den første månes fremkomst observeret i Paris den forgangne 9. november kl. 5.35.45 om aftenen, ti minutter senere, end man ville have forventet, ved at udlede den fra disse fremkomster, som var observeret i august måned, da Jorden var meget nærmere ved Jupiter, hvilket hr. Rømer havde forudsagt over for Akademiet fra begyndelsen af september.

Men for at fjerne enhver grund til at tvivle på, at denne ulighed er forårsaget af lysets tøven, viser han, 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. Ikke desto mindre har det vist sig, at den første Jupiter-måne er excentrisk, og desuden at dens omløb er fremskyndet eller forsinket i takt med, at Jupiter nærmer sig eller fjerner sig fra Solen, endvidere at den første månes to omløb er ujævn; uden dog at disse tre grunde til ujævnhed forhindrer, at den første er en kendsgerning."

Debat og betydning

Rømer beskrev lysets tøven som en samlet rejsetid på 22 minutter for lyset hen over Jordbanens diameter. De fleste er nok i dag bekendt med, at det tager lyset lidt over 8 minutter at rejse de knap 150 mio. km fra Solen til Jorden, og dermed det dobbelte, hen over Jordbanens diameter, så Rømers værdi for lysets hastighed på cirka 227.000 km/s er da også lidt lavere, men stadig fantastisk tæt på den moderne værdi på 299.792,458 km/s.

Reaktionerne på Rømers arbejde med lysets tøven var blandede i hans samtid: Cassini var skeptisk, mens Christiaan Huygens og Isaac Newton hurtigt tog idéen til sig og regnede på data. Den endelige, uafhængige bekræftelse kom i 1728, da James Bradley opdagede stjerneaberrationen, der er den årlige forskydning i stjerners tilsyneladende position, som netop kræver, at Jorden bevæger sig omkring Solen og at lyset har endelig hastighed.

Rømers observationer gjorde dermed lysets hastighed målelig og tilmed til en naturkonstant, der siden har fået en central betydning i mange discipliner, bl.a. i fysik og metrologi. I dag er meterens længde defineret via lysets hastighed i vakuum, et moderne ekko af Rømers 1600-talsindsigt. Samtidig demonstrerer hans tilgang den pædagogiske kraft i simpel geometri og systematiske observationer.

Litteratur

[1] "Demonstration touchant le mouvement de la lumiere trouvé par M. Römer…" (7. december 1676) *Journal des Sçavans*, side 233–236 (side 267–270 i SDU's udgave).

[2] Lex.dk (opslag: "Ole Rømer"). Biografisk oversigt: lex.dk/Ole_Rømer.

[3] Fysikhistorie.dk (biografi: "Ole Rømer"), www.fysikhistorie.dk/biografier2/roembio.html.

[4] Ole Rømer and the retardation of light (2011) Niels Bohr Institutet, nbi.ku.dk/english/www/roemer/roemer/lysets_toeven.



Bertil Dorch er bibliotekschef og lektor i astronomi ved SDU og arbejder bl.a. med forskningskommunikation, videnskabshistorie og -kulturarv. Han er formand for Bibliotekshistorisk Selskab og næstformand for Astronomisk Selskab og er engageret i formidlingen af danske videnskabstraditioner, bl.a. H.C. Ørsted, Tycho Brahe og Ole Rømer.