Med lysets hast

Lars Occhionero, Kroppedal Museum

I 1676 opdager den danske videnskabsmand Ole Rømer, at lys har en endelig hastighed. Han kalder dette for *Lysets Tøven.* Denne opdagelse af en fundamental naturkonstant er skelsættende og bør huskes her på 350-årsjubilæet. Rømer analyserede flere års data indsamlet for at kortlægge Jupiters måne Ios bane. Det er i disse data, at han opdager at usikkerhederne ikke er helt tilfældige, men afhænger af Jordens kredsløb, noget han kun kan forklare hvis lyset tøver.

At lyset ikke bevæger sig uendeligt hurtigt, er for os i dag nærmest en selvfølge. Lysets hastighed som universal hastighedsgrænse er én af relativitetsteoriens erkendelser, de fleste kender til. Vi bruger, at lys har en hastighed, når vi måler afstande med laserafstandsmålere. Vi bruger tidssignaler til at spore os med GPS-satellitter. Faktisk er selve meteren defineret af lysets hastighed i vakuum (som derfor i dag eksakt sættes til $299\,792{,}458\,\mathrm{km/s}$). Selv i populærkulturen, særligt i science fiction, er lysets hastighed (og måder at rejse hurtigere end den) noget man ofte støder på. Tænk blot på Star Trek, hvor USS Enterprises hastighed måles i *"Warp"* hvor *Warp 1* er lig med netop lysets hastighed.

Men det har ikke altid været en selvfølge. Hvorvidt lysets hastighed er endelig eller ej, har igennem tiden været en meget debatteret ting. Helt tilbage i oldtiden, var Aristoteles fx af den holdning, at lyset måtte bevæge sig uendeligt hurtigt. Dette var René Descartes enig i, og han mente endda, at lys med en endelig hastighed potentielt kunne afmontere hele hans filosofiske verdensbillede!

Første eksperimenter

Aristoteles, Descartes og de andre som mente, at lys ikke kunne have en endelig hastighed, blev støttet af et af de første eksperimenter på at bevise lysets hastighed. I 1638 foreslog den italienske videnskabsmand Galileo Galilei (i dag nok mest kendt for sine observationer af bl.a. Jupiters måner med nogle af verdens første teleskoper) et eksperiment. I dette får to mennesker en lanterne hvor lyset kan skærmes. Den ene åbner for afskærmningen, mens de sætter et ur i gang. Så snart den anden ser lyset fra den første lanterne, åbner de selv deres. Når den første ser lyset fra den anden lanterne stopper de uret. Først udføres forsøget hvor de to personer er ganske tæt på hinanden (for at måle reaktionstid) og derefter udføres forsøget hvor de to personer placeres med en stor afstand imellem sig. Da man udførte forsøget kunne man ikke måle nogen forskel i tid i forhold til når personerne var tæt på hinanden eller langt fra. Ergo måtte lysets hastighed være uendelig hurtigt, eller i hvert fald så hurtig at det næsten svarede dertil.

Det ikke er heller ikke helt forkert. En hastighed på knapt 300.000 km/s er ikke så nem at måle uden meget præcist udstyr og/eller ved at vurdere hastigheden igennem astronomiske afstande. Begge dele viste sig at være relevante for Ole Rømers opdagelse af lysets tøven.

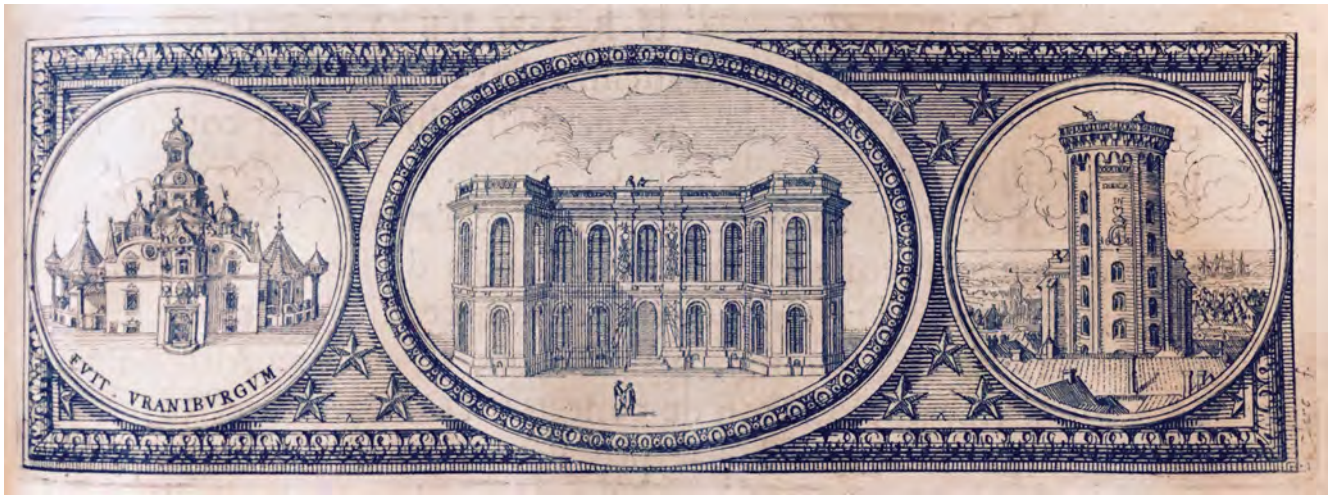


Figur 1. Portræt af Ole Rømer, malet af Jacob Coning, ca. år 1700.

Lidt om Ole Rømer

Men inden vi kommer så langt må vi hellere præsentere vores protagonist. Ole Christensen Rømer blev født i Aarhus den 25. september 1644 (ifølge den Julianske Kalender som stadig var i brug på dette tidspunkt) søn af rådmandsdatteren Anna Olufsdatter Storm og handelsmanden og skipperen Christen Pedersen, som, for at skille sig ud fra andre Christen Pedersen'er i Aarhus, havde taget tilnavnet "Rømer", da han oprindeligt var fra Rømø.

Vi ved ikke meget om Oles barn- og ungdom i Aarhus. Vi ved, at han dimitterede fra Aarhus Katedralskole i 1662, og startede på Københavns Universitet samme år. Her blev han hurtigt opdaget af professoren Rasmus Bartholin, som tog ham ind i en slags akademisk mesterlære, hvor Ole fik lov til at bo hos professoren og få tildelt særlige opgaver. En af disse var at bearbejde Tycho Brahes observationer med henblik på publicering. Dette gjorde Rømer til en sand Tycho Brahe ekspert, hvilket kom ham til gode i 1671, da København fik besøg af den franske astronom Jean Picard.



Figur 2. Vignet fra Picards "Voyage d'Uranibourg". På denne ses Uranienborg, Observatoriet i Paris og Rundetaarn.

Picard, Hven og Jupiters Måner

Picard var blevet sendt til Danmark af den Franske *Académie Royale des Sciences*. Hans job var at bestemme den eksakte position af Tycho Brahes observatorium Stjerneborg i forhold til det nye observatorium i Paris. På denne måde kunne Tycho Brahes observationer korrigeres i forhold til observationsstedet og fortsættes fra Paris.

Metoden til at bestemme afstanden mellem Paris og Hven, var at måle en astronomisk begivenhed fra begge positioner, og markere tidspunktet for hændelsen fra begge steder ved at bruge ure som var indstillet efter lokal soltid, altså ure som på dagen var blevet sat til kl. 12.00, når Solen står i stik syd. Ved at måle forskellen på tidspunkterne, målt fra Hven og Paris, kunne man bestemme forskellen i længdegrad. Til dette havde Picard medbragt nogle af verdens første præcise pendulure fra Paris. Pendulurets opfinder, Christiaan Huygens, var nemlig en af Akademiets videnskabsfolk.

Begivenheden, man ville observere, skulle være noget som foregik tit nok til at man, trods vejrforhold o.l. havde en vis chance for at observere samtidig fra de to steder. Derfor blev okkultation eller emersion af Jupiters måne Io valgt som begivenhed.

Io er den af Jupiters Galilæiske måner som kredser tættest på planeten. Et kredsløb varer blot ca. 42,5 timer. Man burde derfor ca. hver anden nat kunne se Io forsvinde eller dukke frem igen fra Jupiters skygge. Om man ser den forsvinde (okkultation) eller dukke ud igen (emersion) afhænger af Jordens placering i forhold til Jupiter. Hvis vi er på vej mod Jupiter, vil vi kunne se okkultationen (se figur 3), men emersionen vil være skjult for os af Jupiter og vice versa, når vi bevæger os væk fra Jupiter. Det betyder også, at man i flere uger, når Jupier står i konjunktion med Solen (dvs. når Jorden er ved punkt E på figur 3) ikke vil kunne observere hverken okkultation eller emersion, fordi Jupiter står meget tæt på Solen på himlen og derfor drukner i Solens kraftige lys. Når Jupiter er i opposition (punkt H) ligger både okkultation og emersion skjult bag planeten.

Picard havde sin egen assistent med fra Paris, Étienne Villiard, og han valgte også at tage Ole Rømer med sig til Hven sammen med de nye præcise instrumenter fra Paris. Men her opdager Picard, at Hven ikke er så gæstfri som han havde håbet. Tycho Brahes bygninger er der stort set intet spor af. Befolkningen er ikke helt glade for astronomer, og vintervejret i Øresund gør Picard syg. Han rejser derfor hurtigt tilbage til København, hvor han forsøger sig med at lave observationer fra Rundetaarn, samtidig med at han prøver at triangulere Rundetaarns placering i forhold til Hven. På øen bliver Rømer og Villiard, som foretager en del af de målinger Picard skal bruge.

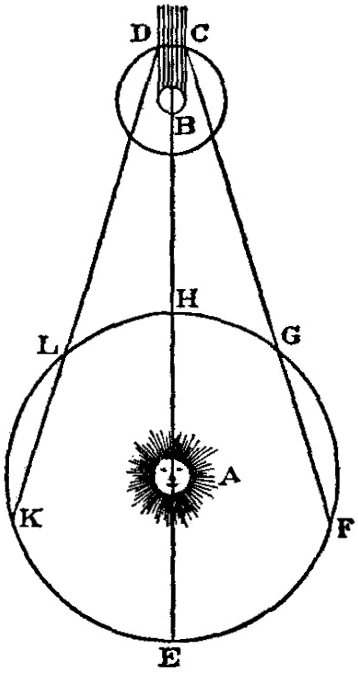
Rømer til Paris

Picard er overrasket over hvor gode Rømers målinger er, og lovpriser ham for det. Projektet med at publicere Tycho Brahes observationer er stået lidt i stampe økonomisk, da riget fattes penge, og derfor ser Picard en mulighed for, at det kan gøres færdigt i Paris. Da han rejser tilbage til Paris, tager Picard derfor Tycho Brahes noter med sig samt "oversætteren" nemlig Ole Rømer. Således kom Ole Rømer i 1672 til Paris, til Académie Royale des Sciences og til Solkongen Louis XIVs hof.

Her arbejdede han på mange forskellige ting, både som ingeniør i forbindelse med Versailles' springvand, design af instrumenter og som lærermester for kronprinsen. Men vigtigst for vores historie om lysets tøven, arbejdede han på Paris' Observatorium, som var under uofficiel ledelse af astronomen Giovanni Cassini.

Cassini havde en drøm om at benytte Jupiters måner som kosmiske ure. Paris havde ganske vist nogle gode præcise ure designet af Huygens, men det var pendulure. I en kolonitid hvor man gerne skulle stedbestemme de nye riger, var det at have et præcist ur til måling af længdegrader, som også virkede til søs, en ret vigtig ting. Cassini tænkte at man kunne bruge Jupiters måner, særligt Io, som kosmisk ur. Derfor var Cassini meget optaget af at måle kredsløbet af Jupiters måner så nøjagtigt som muligt, ved at måle tiden mellem okkultationer eller emersioner og således bestemme eventuelle variationer som kunne laves til præcise tabeller.

Dette arbejde blev Rømer også involveret i. Han havde jo allerede gode erfaringer med at gøre det samme fra Hven. Men det var her Rømer gjorde sin store opdagelse.



Figur 3. Figur fra artiklen i Journal de Sçavans. Jorden kredser om Solen (A), mens Io kredser om Jupiter (B). Når Jorden bevæger sig mod Jupiter ($F - G$) kan man observere Ios okkultation i Jupiters skygge (C). Derimod når Jorden bevæger sig væk fra Jupiter ($L - K$) kan man observere Ios emersion ud af Jupiters skygge (D). Rømer så at tiden mellem okkultationer var aftagende, mens tiden mellem emersionerne var tiltagende.

Lysets Tøven

Rømer bemærkede, at usikkerhederne i målingerne af Ios bane ikke var tilfældige, men systematiske. Generelt virkede det til at tiden mellem okkultationer blev kortere, efterhånden som Jorden bevægede sig mod Jupiter, og tilsvarende, at tiden mellem emersioner blev længere, efterhånden som Jorden bevægede væk fra Jupiter. Med andre ord var der en sammenhæng mellem Ios og Jordens baner. Dette gav ikke meget mening. Med mindre, det ikke var banerne, som afhang af hinanden, men vores observation af Io, som blev påvirket.

Hvis lys nu ikke bevæger sig uendelig hurtigt, men har en endelig hastighed, vil lyset kunne nå hurtigere til os mellem okkultationer, da afstanden mellem Jorden og Jupiter formindskes, og vice versa med tiderne mellem emersionerne.

Rømer brugte de mange observationer foretaget af Cassini, Picard og andre af akademiets astronomer, og fandt frem til at det måtte tage lyset et sted mellem 8 og 11 minutter at krydse Jordbanens diameter. Ud fra dette kunne Rømer også forudsige, at Ios emersion den 9. november 1676 ville være forsinket med 10 minutter, i forhold til hvornår den ville fremkomme, hvis man blot brugte Ios gennemsnitlige rotationsperiode. Og ganske korrekt hold Rømers forudsigelse stik.

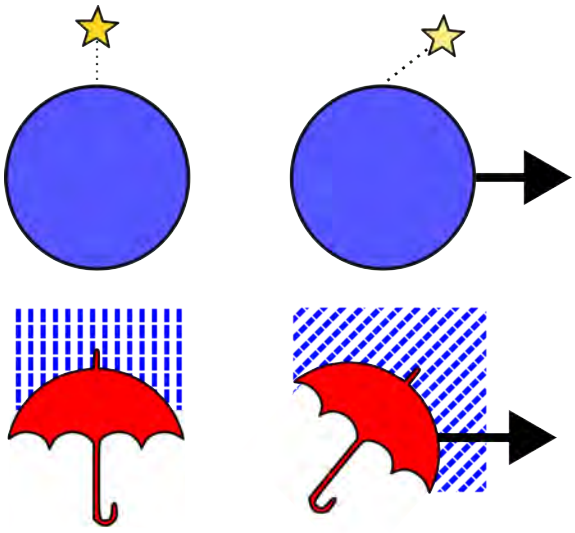
Rømer præsenterede sine resultater og metoder for *Académie des Sciences* den 21. november 1676. Et referat af dette møde blev udgivet i akademiets videnskabelige tidsskrift *Journal de Sçavans* den 7. december samme år, og en engelsk oversættelse af Akademiets pendant i London, *The Royal Society*, blev publiceret i deres tidsskrift *Philosophical Transactions*" den 25. juli 1677. Med dette blev Ole Rømer et kendt navn hos mange videnskabsfolk i verden.

Det var dog ikke alle som var enige om hans opdagelse. Cassini selv forblev modstander af Rømers ideer om lysets tøven frem til sin død, omend han implementerede de korrektioner til banerne Rømer havde bestemt som "empiriske korrektioner". I England kunne Robert Hooke ikke helt forene sig med, at så stor en hastighed overhovedet var målbar.

Heldigvis havde Rømer også nogle meget stærke støtter. Christiaan Huygens var stor fortaler for Rømers opdagelse. Lys med en endelig hastighed passede nemlig ret godt i hans egne ideer om lysets brydning og om lysets bølgenatur, som han beskrev i sit værk fra 1690 *Traité de la Lumière*, hvori han også nævner Rømer og giver et groft estimat for lysets hastighed på godt 220.000 km/s. Dette er dog baseret på, at lyset skulle bruge 11 minutter på at krydse Jordbanens radius og ud fra et groft estimat af dens størrelse.

I England har Rømer nogle stærke støtter i Isaac Newton og Edmund Halley. Newton nævner Rømer i sit eget værk *Opticks* fra 1704, hvori han beskriver sin teori om lys som partikler. Her estimerer Newton også lyset til at bruge ca. syv til otte minutter til at krydse Jordbaneradiussen.

Der går alligevel ca. 50 år, før lysets hastighed bliver bredt anerkendt. Det sker først da James Bradley i 1727 måler stjernernes aberration, et fænomen, hvor stjernernes position forskydes af Jordens bevægelse, og som kun kan beskrives, hvis lys har en endelig hastighed (figur 4).



Figur 4. Stjernernes aberration er et fænomen, hvor stjernernes position forskydes af Jordens bevægelse. Effekten er ofte sammenlignet med regn. Hvis regnen falder lige ned, når man står stille, vil den tilsyneladende komme imod en når man bevæger sig.

Betydningen af lysets hastighed

Opdagelsen af lysets hastighed må være en af de vigtigste opdagelser i fysikkens historie. Lysets hastighed er en af de grundlæggende naturkonstanter, og er som sådan i dag brugt til at definere *meteren.* Det var lysets hastighed, som sporede James Clerk Maxwell ind på, at elektromagnetiske bølger og lys var det samme. Maxwell opdagede, at lysets hastighed kun var givet

ved fundamentale egenskaber ved vacuum – den elektriske permittivitet (ϵ_0) og den magnetiske permeabilitet (μ_0):

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Det at lysets hastighed således synes uafhængig af referenceramme, sporede Einstein til udviklingen af relativitetsteorien, og dermed fødslen af den moderne fysik. Således kan man godt tilskrive Rømer at have taget det første spæde spadestik i moderne fysik!

I astronomien er lysets hastighed et afgørende element. Når vi kigger ud mod kosmos, ser vi altid tilbage i tid, fx ser vi Andromedagalaksen, som den så ud for ca. 2,5 mio. år siden. Det er nemlig den tid det tager for lyset at rejse derfra til os. Det betyder i praksis, at vi kan se tilbage i universets ungdom. Det er noget, som gøres i stor stil med James Webb-teleskopet, hvor man bl.a. undersøger de første galakser og stjerner for at lære om universets daggry. Som ansat på et museum, kan jeg fortælle at astronomiens evne til direkte at se tilbage i tid er ganske misundt af historikere.

Dette er blot to eksempler på, hvor vigtig en erkendelse det er, at lyset har en endelig hastighed. Allerede tilbage i det 17. århundrede blev dette anerkendt, da opdagelsen var et indblik i noget helt grundlæggende i universets maskine. Så man må sige, at danske Ole Rømer har været en af de helt store forskere, som har været med til at placere Danmark på det videnskabelige verdenskort.

Litteratur

[1] Ukendt forfatter og O. Rømer (1676) "Démonstration Touchant Le Mouvement De La Lumière Trouvé Par M. Rømer De L'académie Des Sciences", *Journal de Sçavans*, side 233–236.

[2] J. Danneskiold-Samsøe, P. Friedrichsen og K. Tybjerg, red. (2011) "Ole Rømer: I kongens og videnskabens tjeneste", bind **6**, Aarhus Universitetsforlag.

[3] O. Rømer (2001) "Ole Rømer: korrespondance og afhandlinger samt et udvalg af dokumenter", oversat og udgivet af P. Friedrichsen og C. G. Tortzen, Det Danske sprog- og Litteraturselskab.

[4] K. Meyer (1915) "Ole Rømers Opdagelse Af Lysets Tøven", Det Kongelige Videnskabernes Selskab.

[5] Per Friedrichsen m.fl. (2004) "Ole Rømer -– videnskabsmand og samfundstjener". Kroppedal, Studier i astronomi, nyere tid og arkæologi, bind I, Gads Forlag, side 39–68.



Lars Occhionero er videnskabsformidler og museumsinspektør ved Kroppedal Museum, som bl.a. har det nationale ansvar for den danske astronomihistorie. Lars er uddannet astrofysiker fra Aarhus Universitet.