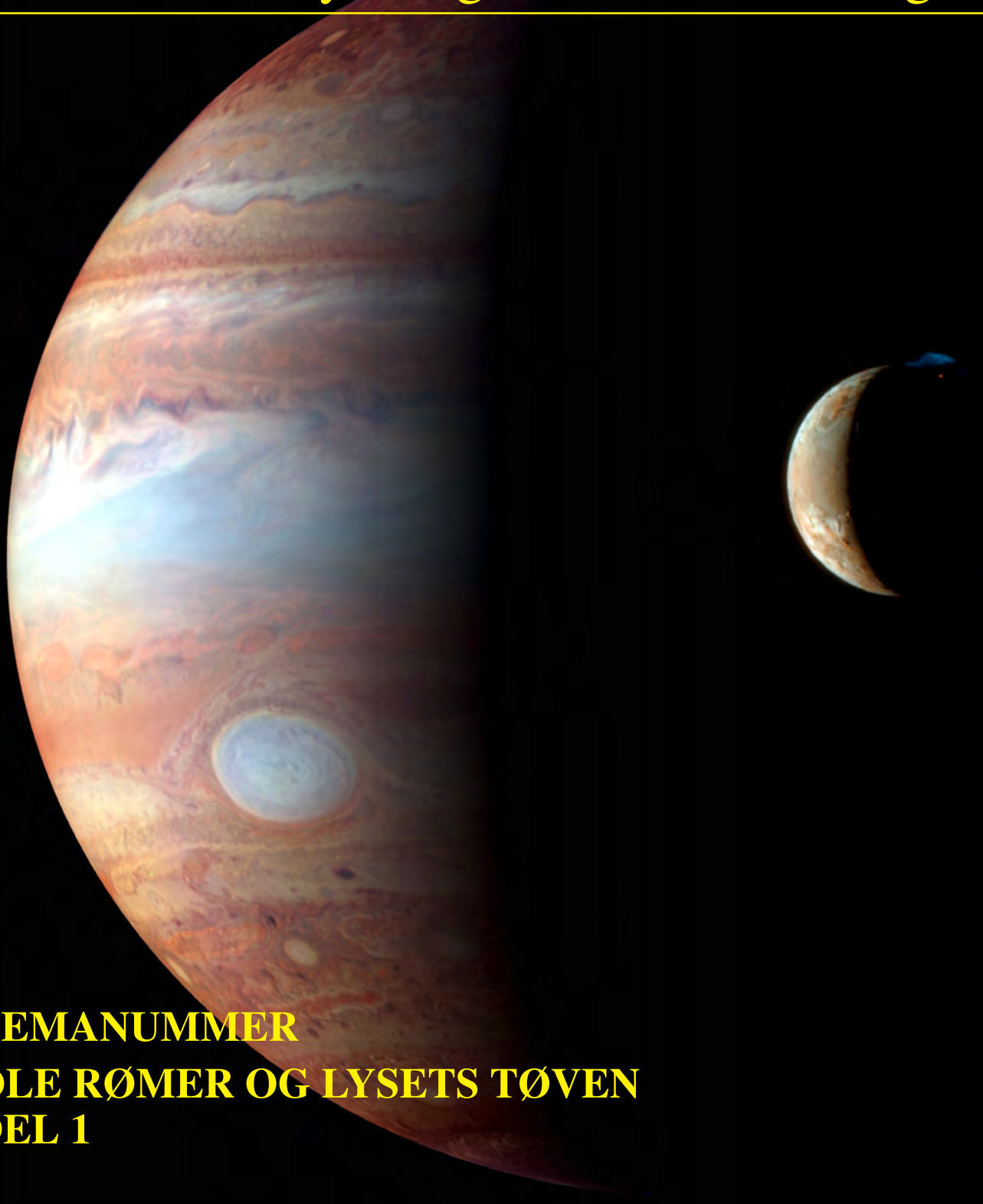
KVANT

April 2026

1

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 37. årgang



TEMANUMMER

OLE RØMER OG LYSETS TØVEN
DEL 1

Løssalgspris: 60 kr.

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o DTU Space, Centrifugevej 356
DK-2800 Kgs. Lyngby

Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk
Facebook : KVANT.fysiktidsskrift
ISSN (trykt) : 0905-8893
ISSN (web) : 2245-4942

Udgives af
Astronomisk Selskab (AS)
Dansk Fysisk Selskab (DFS)
Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU)

Redaktion
Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv. red.), DTU Space
Anja C. Andersen, SNU (gæsteredaktør)
Bertil Dorch, AS
Christine Pepke Gunnarsson (nyhedsredaktør), DTU Electro
Henning Haack, SNU
Louise Kindt (digital redaktør), DTU Fysik og KU Matematik
Ole Mørk Lauridsen, SNU
Maren Malling, DFS
Lars Occhionero, AS

Abonnementspris : 190 kr./år.
Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber. Abonnement tegnes ved henvendelse til Christine Pepke Gunnarsson: cpepe@dtu.dk (tlf. 27 51 01 76).

Annoncepriser
1/1 side: 3600 kr., 1/2 side: 2300 kr.
1/4 side: 1600 kr.
Priserne er excl. moms og for reproklart materiale i farver. Henvendelser om annoncer til redaktøren på: kvant@kvant.dk

Tryk
Vestergaards Bogtrykkeri A/S.
Oplag: 2.500.

Miljømærket tryksag 5041 0826

Produktionsplan
Nr. 2-2026 udkommer ca. 15. juni
Nr. 3-2026 udkommer ca. 15. september
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Ole Rømer og lysets tøven
Jens Olaf Pepke Pedersen 3
Med lysets hast
Lars Occhionero 4
Lysets tøven: Ole Rømers elegante måling fra 1676
Bertil Dorch 8
Rømers opdagelse og dens naturfilosofiske konsekvenser
Helge Kragh 11
Fra Rømer til Horrebow: I astronomisk mesterlære
Bertil Dorch 16
Ole Rømer og det astronomiske tårn
Rasmus Agertoft og Christina Toldbo 20
Ole Rømers planetarium og eklipsarium
Poul Darnell og Frank Nielsen 26
Nyt fra Kvant
Jens Olaf Pepke Pedersen 32
Kvant-nyheder
Christine Pepke Gunnarsson 33
Mere om hvor guldet kommer fra
Bernhard Lind Schistad 34
Nyt fra foreningerne 35
350 år efter Rømer: Lysets hastighed er stadig konstant
Christine Pepke Gunnarsson . . . . . Bagsiden



Forsidebilledet er en montage af billeder af Jupiter og dens vulkanske måne Io optaget af rumsonden New Horizons i begyndelsen af 2007.

Jupiterbilledet er et infrarødt farvekomposit, hvor forskellige bølgelængder fremhæver højden af skytoppene: blå områder viser højtliggende skyer og dis, mens røde farver markerer dybere skylag; den lyse ovale struktur er Den Store Røde Plet.

Io-billedet er et næsten naturtro farvekomposit og viser et voldsomt vulkanudbrud i den vulkanske region Tvashtar på månens natside. Glødende lava lyser rødt under en omkring 330 kilometer høj udbrudssky, hvis øverste dele oplyses af Solen og fremstår blålige. Io er den inderste af de fire galileiske måner og kredser én gang om Jupiter på blot 1,77 døgn. Netop den præcise tidsbestemmelse af sådanne formørkelser af Io gjorde det muligt for Ole Rømer i 1676 at opdage, at lyset bruger tid på at bevæge sig gennem rummet.

Kvant udsendes gratis, i ét eksemplar, til alle gymnasier, seminarier og HTX-kurser i Danmark, på Færøerne og i Grønland med velvillig økonomisk støtte fra Niels Bohr Institutet (KU), Institut for Fysik og Astronomi (AU), Institut for Fysik, Kemi og Farmaci (SDU), DTU Fysik og DTU Electro samt Institut for Naturvidenskab og Miljø (RUC).

Fra dette nummer er Kvant overgået til omdeling med DAO. Såfremt bladet udebliver, bedes du kontakte Kvant på e-mail kvant@kvant.dk.

Ole Rømer og lysets tøven

Jens Olaf Pepke Pedersen, Kvant

I november 1676 præsenterede Ole Rømer for første gang sin banebrydende opdagelse af "lysets tøven" – lysets endelige hastighed – for Det Kongelige Franske Videnskabernes Akademi. Denne præstation sikrede ham en plads i videnskabshistorien og blev indledningen til et livsværk, der spænder over astronomi, teknik, administration og samfundsfornyelse.

Ole Rømer var et universalgeni. Han revolutionerede astronomien med sin påvisning af lysets endelige hastighed og sine forbedringer af meridiankredsen – et instrument, der i århundreder dannede grundlag for præcise stjernemålinger verden over. Han udviklede optiske og mekaniske instrumenter af stor kompleksitet og præcision, herunder et planetarium, et eklipsarium og avancerede måleinstrumenter. Som pioner inden for temperaturmåling konstruerede han de første korresponderende termometre og arbejdede desuden med avancerede optiske systemer.

Efter ni år i Paris trådte Rømer ind i den danske konges tjeneste som matematicus regius og blev en central figur i opbygningen af en moderne, teknokratisk stat. Han var en mand med stor praktisk dømmekraft og et brændende engagement i samfundets udvikling – fra reformer i bygningsvæsen og vejforhold til opmåling og standardisering.

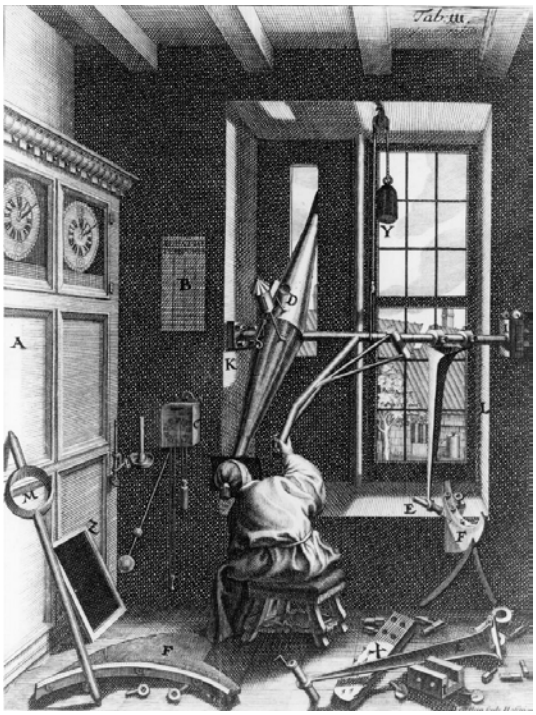
Dette nummer af Kvant er det første af to udgaver af bladet, hvor vi markerer 350-året for opdagelsen, og hvor Anja C. Andersen medvirker som gæsteredaktør. I næste udgave af Kvant bringer vi anden del af temaetnummeret.

Lars Occhionero fortæller i sin artikel, hvordan Ole Rømer i 1676 – på baggrund af flere års observationer af Jupiters måne Io – opdager, at små afvigelser i observationerne ikke er tilfældige, men systematisk afhænger af Jordens bevægelse. Det er en erkendelse, der kun giver mening, hvis lyset bruger tid på at bevæge sig gennem rummet. Med andre ord: lyset tøver. Det er samtidig et eksempel på, hvordan en fysisk indsigt kan opstå ikke ved ét afgørende eksperiment, men gennem en langsom ophobning af data og en villighed til at tage afvigelser alvorligt.

Bertil Dorch giver i sin artikel en præcis rekonstruktion af selve målingen og viser, hvordan Rømers metode – med dens gradvise ophobning af små effekter – allerede rummer en moderne forståelse af måleusikkerhed og robusthed. Samtidig træder den historiske situation tydeligt frem: fra arbejdet i Paris til mødet med Cassini og den forsigtige, men afgørende offentliggørelse i *Journal des Sçavans*. Her bliver det klart, hvor tæt sammenvævet observation, instrumenter og fortolkning var i 1600-tallets astronomi.

Helge Kragh følger opdagelsens efterliv og viser, hvordan den gradvist ændrede sin status fra en astronomisk kuriositet til en nøgle til forståelsen af universets struktur. Lysets hastighed blev ikke blot en målt størrelse, men en naturkonstant med dybe implikationer for begreber som tid, kausalitet og erkendelse. I dette perspektiv fremstår Rømers resultat som et tidligt skridt på vejen mod den moderne fysik.

Rømer var imidlertid ikke alene en opdagelsens mand, men også en institutionel skikkelse. Artiklen om Rundetaarn af Rasmus Agertoft og Christina Toldbo tegner et levende billede af observatoriet som arbejdsplads, hjem og forskningsmiljø, hvor instrumenter, mennesker og idéer mødtes, og hvor meget gik tabt i branden 1728, men endnu mere blev ført videre.



Figur 1. Ole Rømers husobservatorium i Store Kannikestræde i København. Fra Peder Horrebows *Basis Astronomiæ* (1735).

Netop denne videreførelse er temaet i Bertil Dorchs artikel om Horrebow-slægten, hvor vi ser, hvordan Rømers metode og tankegang blev båret videre i en astronomisk mesterlære. Her bliver det tydeligt, at hans arv ikke kun består i et resultat, men i en måde at arbejde på: en vedvarende bestræbelse på at forstå naturens orden gennem præcise observationer og kritisk analyse.

I artiklen om Rømers planetmaskiner af Poul Darnell og Frank Nielsen får vi indblik i en anden side af hans virke: han ville også formidle, og han konstruerede mekaniske modeller af himmellegemernes bevægelser.

Set i dag kan Rømers opdagelse synes næsten selvindlysende. Vi er vant til at tænke i lyshastighed, i signalers rejsetid og i et univers, hvor vi altid ser tilbage i tiden. Men i 1676 var dette et brud med en forestilling, der gik tilbage til antikken. At lyset tøver, er ikke blot en fysisk kendsgerning. Det var en erkendelse, der ændrede vores billede af verden.

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.

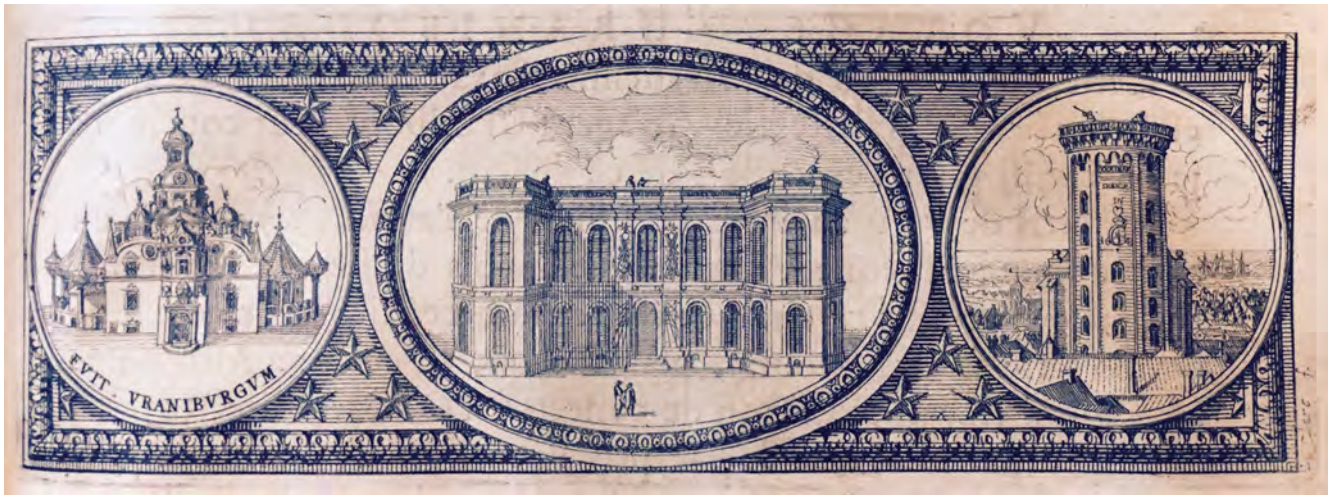


Figur 1. Portræt af Ole Rømer, malet af Jacob Coning, ca. år 1700.

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.

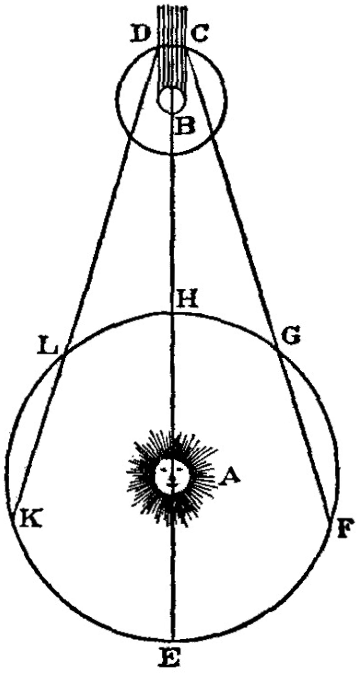
Rømer til Paris

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.

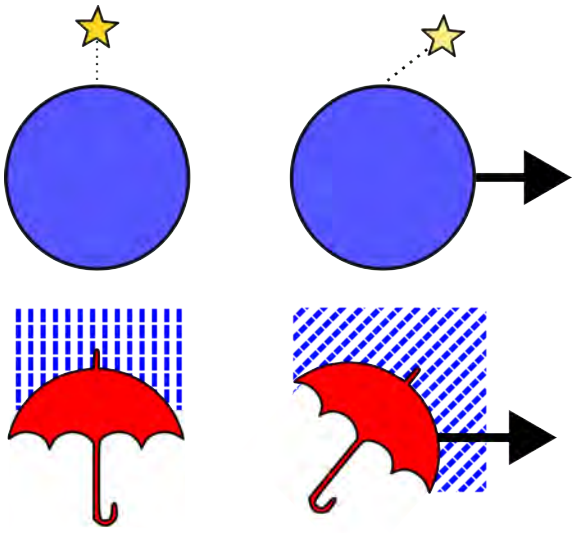
Rømer præsenterede sine resultater og metoder for *Académie des Sciences* den 21. november 1676. Et referat af dette møde blev udgivet i akademiets videnskabelige tidsskrift *Journal de Sçavans* den 7. december samme år, og en engelsk oversættelse af Akademiets pendant i London, *The Royal Society*, 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.

Vakuumudstyr - Rådgivning, support og service

Vi tilbyder vakuumudstyr til ultimativt vakuum helt ned til 1 x 10^{-11} mbar.

Inden for dette område kan vi tilbyde følgende:
Vakuumoliepumper, turbo-/diffusions- og ionpumper, membran-/skrue- og scrollpumper, vakuummåleudstyr, fittings og vakuumventiler, specialolier og vakuumfedt samt helium læksøgere.



Agilent

BUCH HOLM

Buch & Holm A/S - Marielundvej 39 - 2730 Herlev - tlf.: 44 54 00 00
e-mail: b-h@buch-holm.dk - www.buch-holm.dk

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

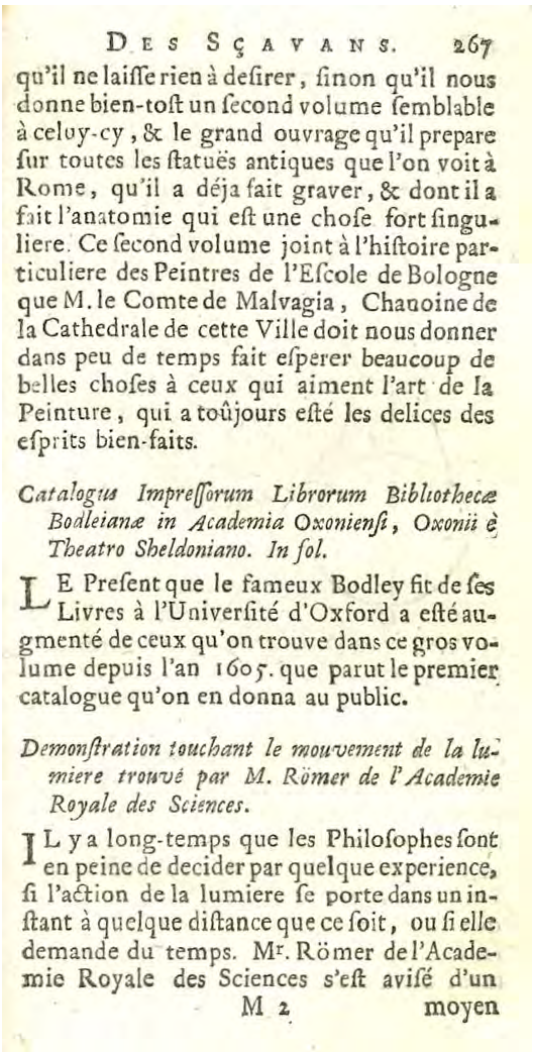
I 1672 kom Ole Rømer til Frankrig sammen med den franske videnskabsmand Jean Picard, der havde været i Danmark for at bestemme øen Hvens nøjagtige position ift. Paris, sådan at man kunne få styr på Tycho Brahes gamle observationer, som Ole Rømer også arbejdede med på det tidspunkt. I Frankrig blev Rømer 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.

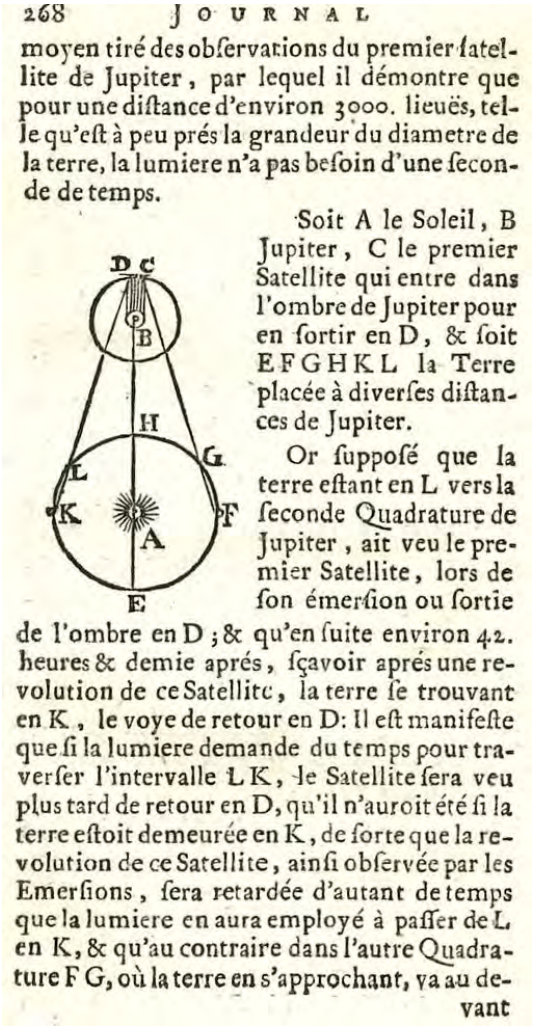
LE Preſent que le fameux Bodley fit de ſes Livres à l'Univerſité d'Oxford a eſté augmenté de ceux qu'on trouve dans ce gros volume depuis l'an 1605. que parut le premier catalogue qu'on en donna au public.

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*.

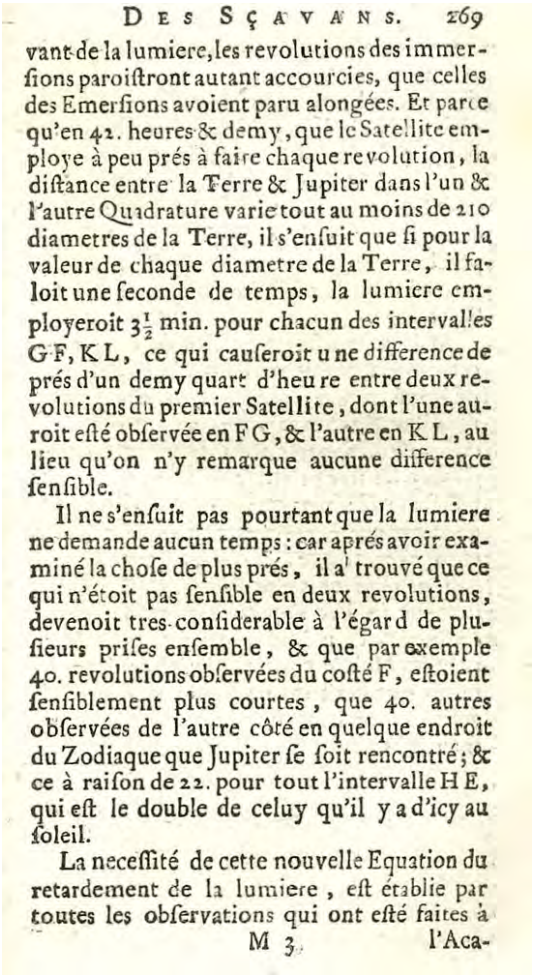
Kulminationen kom med Rømers berømte forudsigelse: En emersion af Io i november 1676 ville indtræffe cirka ti minutter senere end Cassinis tabeller angav, fordi lyset skulle tilbagelægge en større afstand, når Jorden i sin bane var på vej væk fra Jupiter. Rømers observation den 9. november i 1676 bekræftede 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-

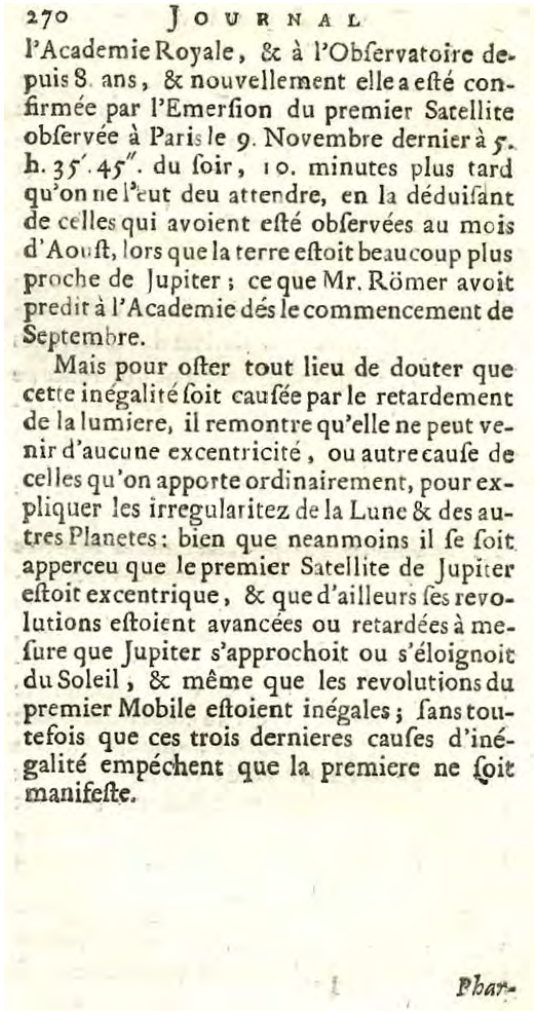
Figur 3. Side 3 af artiklen om Rømers opdagelse i tidsskriftet *Journal des Sçavans*.

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.

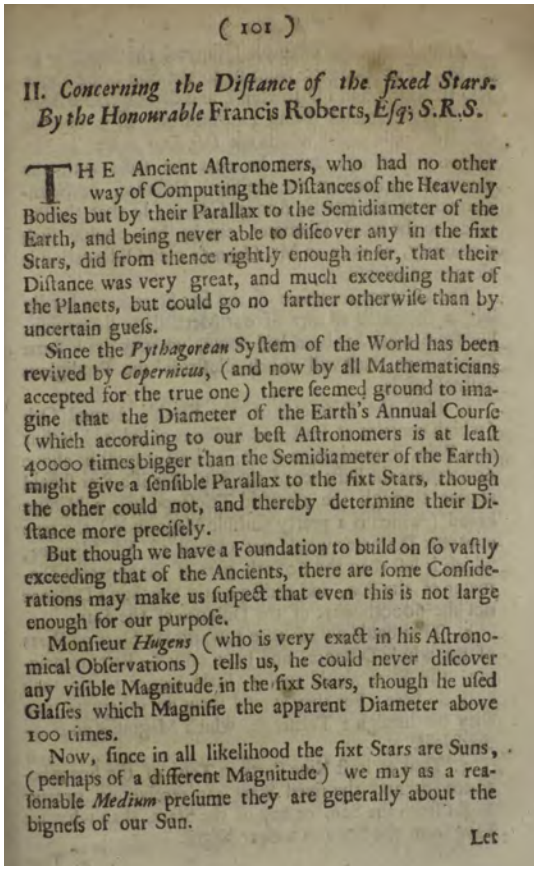
Rømers opdagelse og dens naturfilosofiske konsekvenser

Helge Kragh, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Opdagelsen af lysets endelige hastighed for 350 år siden kastede lange skygger. Ikke blot åbnede den op for nye udviklinger i fysik, astronomi og kosmologi, den gav også anledning til filosofiske refleksioner over, hvordan lyshastigheden er koblet til fundamentale begreber som rum, tid og kausalitet. Ved at se på udviklingen i et langt historisk perspektiv får Rømers opdagelse en helt anden status, end den oprindeligt blev tillagt.

Fra Rømer til Herschel

Da Ole Rømer rapporterede sin opdagelse af lysets tøven i *Journal des Sçavans* fra 7. december 1676, havde han ingen anelse om de videre konsekvenser af opdagelsen. Han fandt, at lyset tilbagelagde en jordbanediameter på 22 minutter svarende til en hastighed på ca. 227.000 km/s, men talværdien var ikke i sig selv af stor betydning. Det afgørende var, at lyset ikke udbreder sig momentant, men med en endelig hastighed. På trods af modstand i det franske videnskabelige miljø, der var præget af cartesianske forestillinger om lyset, vandt hans påstand accept blandt ledende naturfilosoffer som Christiaan Huygens i Holland og Isaac Newton i England. I *Principia* fra 1687 henviste sidstnævnte til Rømer, sådan som han også gjorde i *Opticks* fra 1704.



(101)

II. *Concerning the Diſtance of the fixed Stars.* *By the Honourable* Francis Roberts, *Eſq;* S.R.S.

THE Ancient Aſtronomers, who had no other way of Computing the Diſtances of the Heavenly Bodies but by their Parallax to the Semidiameter of the Earth, and being never able to diſcover any in the fixt Stars, did from thence rightly enough infer, that their Diſtance was very great, and much exceeding that of the Planets, but could go no farther otherwiſe than by uncertain gueſs.

Since the *Pythagorean* Syſtem of the World has been revived by *Copernicus*, (and now by all Mathematicians accepted for the true one) there ſeemed ground to imagine that the Diameter of the Earth's Annual Courſe (which according to our beſt Aſtronomers is at leaſt 40000 times bigger than the Semidiameter of the Earth) might give a ſenſible Parallax to the fixt Stars, though the other could not, and thereby determine their Diſtance more preciſely.

But though we have a Foundation to build on ſo vaſtly exceeding that of the Ancients, there are ſome Conſiderations may make us ſuſpect that even this is not large enough for our purpoſe.

Monſieur *Hugens* (who is very exact in his Aſtronomical Obſervations) tells us, he could never diſcover any viſible Magnitude in the fixt Stars, though he uſed Glaſſes which Magnifie the apparent Diameter above 100 times.

Now, ſince in all likelihood the fixt Stars are Suns, (perhaps of a different Magnitude) we may as a reaſonable *Medium* preſume they are generally about the bigneſs of our Sun.

Let

Figur 1. Første side af Francis Roberts (ca. 1650–1718) artikel om lysets høje hastighed.

Endnu mens Rømer levede, blev hans opdagelse opfattet som en kobling mellem astronomisk rum og tid. I en artikel i *Philosophical Transactions* fra 1694 påpegede forfatteren, den lærde Francis Roberts, medlem af Royal Society, lysets forbavsende store hastighed i forhold til stjernernes forbavsende store afstande (som man dengang ikke kendte). Som han skrev: "Det tager længere tid for lyset at nå os fra stjernerne end den tid, vi bruger på en rejse til De Vestindiske Øer (som normalt varer seks uger)" [1]. Roberts sammenlignede lysets hastighed med lydens, idet han mente, at det ville tage 50.000 år før en lyd fra stjernerne nåede Jorden. Han havde tydeligvis ingen anelse om, hvor langt stjernerne i virkeligheden er fra Jorden. For lydens hastighed brugte han Newtons værdi på omkring 298 m/s.



Figur 2. James Bradley (1692–1762).

Skulle der være tvivl om lysets tøven, forsvandt den med den engelske præst og astronom James Bradleys påvisning fra 1728 af stjernernes aberration. Da alle stjerner viste den samme aberration, måtte lysets hastighed være den samme, uanset hvilken afstand lyset havde tilbagelagt gennem universets dybder. Lyset fra enhver stjerne bevæger sig med samme hastighed som det reflekterede sollys, Rømer havde baseret sin konklusion på. Lyshastigheden var altså en universel og langt mere fundamental størrelse end fx lydens hastighed.

Måske den ligefrem var en naturkonstant af samme ophøjede status som Newtons gravitationskonstant? I øvrigt fandt Bradley en talværdi for lysets hastighed, der kan oversættes til c = 279.939 km/s, blot nogle få procent fra den moderne værdi.

Uanset om der er tomrum eller en æterisk substans mellem himmellegemerne, tager det tid for lyset at komme fra en fjern stjerne til Jorden. Universet har en historie, som er bestemt af lysets hastighed. Denne skelsættende erkendelse, der stammer fra den sene oplysningstid, blev fremhævet af den tyskfødte astronom William Herschel, opdageren af planeten Uranus. "Ud fra lysets kendte hastighed kan det vises," skrev han i 1802, "at når vi ser på Sirius, så kan strålerne, der går ind i øjet, ikke have været undervejs fra stjernen i mindre end 6 år og 4,5 måneder." For det, vi i dag kalder de fjerne galakser, "må lysstrålerne, som overfører billedet til øjet, have været der i næsten to millioner år" [2, s. 87]. Vi ved i dag, at Sirius befinder sig i en afstand af 8,611 lysår fra Jorden, og at afstanden til Andromedagalaksen er omkring 2,5 millioner lysår. Desuden gjorde Herschel det klart, at vi ser ting på himlen, som i bogstavelig forstand ikke eksisterer (men engang *har* eksisteret). Om nogle af de fjerne himmellegemer skrev han, at hvis de var "ophørt med at eksistere for millioner af år siden, så ville vi stadig se dem, da lyset fra dem ville fortsætte selv efter legemet var forsvundet."



Figur 3. James Clerk Maxwell (1831–1879).

Med andre ord, når vi ser ud i rummet, ser vi nødvendigvis tilbage i tiden. Vi kan derfor bruge nutidige observationer til at få indblik i universets historie, på omtrent samme måde, som historikeren eller arkæologen får indblik i de menneskelige samfunds fortid. Faktisk er der en vidtgående analogi mellem historikerens metode baseret på overleverede kilder og astronomens metode, hvor kilderne blot er meget langt væk. Herschels pointe er ikke begrænset til de fjerne himmellegemer, den gælder også for fx Solen. Når vi ser Solen skinne, ser vi jo vores stjerne, som den var for omtrent 8 minutter siden. Omvendt, hvis Solen pludselig forsvandt, ville det vare 8 minutter, før vi lagde mærke til det. Mere generelt er det en konsekvens af lysets endelige hastighed, at en hændelse altid iagttages senere end den faktisk sker. Kun på grund af den meget store lyshastighed er forholdet normalt uden betydning. Men i streng forstand gælder, at vi kun kan iagttage fortiden. Det absolutte nu er ikke iagttageligt.

En ny naturkonstant

Idéen om naturlove udtrykt ved visse konstante størrelser, naturkonstanter, optræder først i det 19. århundrede. Det var først da, at lysets hastighed kom til at tilhøre den eksklusive gruppe af naturkonstanter, hvilket i væsentlig grad skyldes Maxwells elektromagnetiske feltteori. Elektriske og magnetiske egenskaber kunne ifølge Maxwell og andre af datidens fysikere føres tilbage til to karakteristiske størrelser for æteren, som vi idag opfatter som knyttet til vakuum og betegner med symbolerne ϵ_0 og μ_0. Ved eksperimentelt at fastlægge værdierne for de to konstanter fandt Maxwell, at kombinationen

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \qquad (1)$$

resulterede i en beregnet værdi på 2,88 $\times$ 10^8 m/s, hvilket var omtrent det samme som den dengang målte lyshastighed. Som Maxwell formulerede det i 1862 [3, s. 500]:

> Hastigheden af transversale svingninger i vort hypotetiske medium [æteren] ... stemmer så godt overens med lyshastigheden som beregnet af M. Fizeau ud fra optiske eksperimenter, at vi næppe kan undgå at slutte, at lys består af transversale svingninger i det samme medium, som er årsagen til elektriske og magnetiske fænomener.

Henvisningen er til den franske fysiker Hippolyte Fizeau, der i laboratorieforsøg fra 1849 bestemte lyshastigheden i luft til 3,133$\times$ 10^8 m/s.

For Maxwell var de elektromagnetiske bølger begrænset til synligt lys, men hans teori er gyldig også for helt andre bølgelængder, fra de meget kortbølgede røntgenstråler til de meget langbølgede radiobølger. Modsat hvad tilfældet er, når lys forplanter sig i et stofligt medium, fx vand, så er hastigheden i vakuum præcis den samme for alle bølgelængder. Når senere fysikere talte om"'lys" mente de ofte "elektromagnetiske bølger" i generel forstand.

Ved slutningen af århundredet blev elektrodynamikken baseret på Maxwells teori betragtet som den måske mest fundamentale af alle fysiske teorier. Inden for rammerne af det "elektromagnetiske verdensbillede" var lyshastigheden en helt central naturkonstant på linje med gravitationskonstanten G, den elektriske elementarladning e, elektronens masse m_e og – efter 1900 – Plancks konstant h. Men det var i det mindste tænkeligt,

at der fandtes endnu større hastigheder end lysets. Ikke blot var der spekulationer om at tyngdekraften udbredte sig med større hastighed end lyset, fysikere som Oliver Heaviside i England og Arnold Sommerfeld i Tyskland arbejdede også med modeller af elektronen, der tillod sådanne "superluminale" hastigheder. Hvad angår tyngdekraften, ved vi i dag, at den netop udbreder sig med lysets hastighed.



Figur 4. Albert Einstein (1879–1955).

Relativitetsteori, lys og kausalitet

Albert Einstein var livet igennem fascineret af lyset og dets egenskaber. I sine selvbiografiske noter fra 1946 fortalte han om et tankeeksperiment, han først havde overvejet som 16-årig: "Hvis jeg følger efter en lysstråle med hastigheden c (lysets hastighed i vakuum) skulle jeg iagttage en sådan lysstråle som et rumligt svingende elektromagnetisk felt i hvile. Men et sådant system synes ikke at findes ... i dette paradoks findes allerede kimen til den specielle relativitetsteori" [4, s. 53].

Den specielle relativitetsteori fra 1905 var baseret på to postulater, der ikke kunne diskuteres inden for teoriens rammer og kun begrundes via deres empiriske konsekvenser. Det ene af postulaterne var, som Einstein formulerede det i sin skelsættende artikel i *Annalen der Physik*, at "lys altid udbredes i det tomme rum med en bestemt hastighed c som er uafhængig af bevægelsestilstanden af det legeme, der udsender lyset." Hermed blev lyshastighedens fundamentale status yderligere cementeret. Einstein viste desuden, at hvis en partikel (lyskvantum, foton) bevæger sig med $v = c$ må dens masse være nul. Lyset vejer ingenting – absolut ingenting, og det samme gælder for tyngdebølger.

Som Einstein understregede, var postulatet om den konstante lyshastighed nødvendig for at synkronisere ure og dermed at definere begrebet om samtidighed af to hændelser. Dertil kom, at lyshastigheden ikke kan overskrides, hvilket Einstein illustrerede med relativitetsteoriens formel for sammensætning af hastighederne v_1 og v_2:

$$w = \frac{v_1 + v_2}{1 + v_1 v_2)/c^2} \qquad (2)$$

Som formlen viser, kan lysbarrieren $v = c$ ikke overskrides ved at addere hastigheder mindre end eller lig med lysets. Selv for det ekstreme tilfælde $v_1 = v_2 = c$ bliver resultatet $w = c$. Faktisk var Einsteins konklusioner vedrørende lyset ikke helt nye, for ud fra ganske andre forudsætninger havde Henri Poincaré, den franske matematiker og fysiker, sagt omtrent det samme. I et foredrag fra 1904 profeterede han således, at den nye fysik "først og fremmest vil være karakteriseret ved reglen om, at ingen hastighed kan overskride lysets hastighed" [5, s. 89]. Poincarés idéer om lys og bevægelse var dog væsentligt anderledes end Einsteins relativitetsteori.

Det afgørende for den einsteinske definition af samtidighed, og dermed for den specielle relativitetsteori som helhed, er i virkeligheden ikke synkronisering af ure ved hjælp af *lys*signaler. Derimod er det afgørende, at selve begrebet samtidighed forudsætter eksistensen af signaler mellem kausalt forbundne hændelser som udbreder sig med en konstant maksimal hastighed c. Uden en sådan grænse ville samtidighed være absolut og universel – med den bliver begrebet relativt og afhængigt af iagttagerens bevægelse. Den konstante hastighed genfindes i naturen, hvor den kaldes "lysets hastighed" og har værdien ca. 3×10^8 m/s. Men relativitetsteorien er ikke kritisk afhængig af lys, blot af konstanten c som udtryk for overførsel af fysiske signaler. Selv i en hypotetisk verden, hvor der ikke er og aldrig har været lys, vil relativitetsteoriens formler være de samme. I vores virkelige verden kan vi dog trygt forlade os på ligningen c = lysets hastighed.

I en anden artikel i *Annalen der Physik*, denne gang fra 1907, fremkom Einstein med endnu et stærkt argument imod fysiske signalers udbredelse med overlyshastighed. Denne gang var det af begrebsmæssig karakter, idet det vedrørte noget så fundamentalt som årsagssætningen, altså at en årsag nødvendigvis må komme før den virkning, den forårsager. Ud fra et *reductio ad absurdum* tankeeksperiment konkluderede han, at overlyshastighed medfører en virkning, der er før årsagen! Han kommenterede [6]: "Ganske vist så indeholder dette resultat efter min mening ikke en modsætning i et rent logisk forstand, men det er i så absolut modstrid med karakteren af al vor erkendelse, at resultatet er tilstrækkeligt til at bevise umuligheden af antagelsen [nemlig $v > c$]."

Einsteins kausalitetsparadoks, der i en mere udviklet form blev gentaget af den amerikanske fysiker Richard Tolman (og derfor er kendt som "Tolmans paradoks"), blev bredt accepteret som det endegyldige bevis imod signaler med overlyshastighed. Det viste sig dog senere, at såfremt sådanne signaler altid bevæger sig hurtigere end lyset – aldrig krydser lysbarrieren $v = c$ – er de ikke i modstrid med relativitetsteorien. Dette blev først påvist i 1926, uden at det vakte opmærksomhed.

Teorien om de hypotetiske $v > c$ partikler kaldet *tachyoner* blev først udviklet langt senere. Den var populær i 1960'erne og 1970'erne, men er i dag opgivet.

Som antydet er begreberne kausalitet og tid intimt forbundet med lysets hastighed. Hvis hændelsen A er årsag til hændelsen B (dens virkning), vil B forekomme og kun forekomme såfremt A forekommer. En anden formulering er: Hvis vi ved at ændre på A kan forhindre B i at forekomme, men ikke omvendt, er A årsag til B. For alle kendte kausale sammenhænge gælder det desuden, at virkningen B kommer *senere* end årsagen A, således at man kan bruge tiden til at fastlægge den kausale rækkefølge. Alligevel kan man godt *forestille* sig det modsatte i form af såkaldt "baglænskausalitet", hvor virkningen kommer før årsagen. Uanset diverse filosofiske diskussioner om kausalitet og tid, vil man i fysikken typisk sige, at hændelserne A og B er kausalt forbundne, såfremt (og kun såfremt) et lyssignal fra A kan nå B, eller omvendt. Hvis afstanden mellem A og B er så stor, at en lysstråle fra A ikke kan nå B, inden B indtræder, kan der ikke være nogen kausal forbindelse mellem de to hændelser.

Lyshastigheden som grænse for kausal påvirkning kom til at spille en central rolle i Einsteins kritik af kvantemekanikken. I det i dag så berømte EPR tankeeksperiment fra 1935 forestillede de tre forfattere – Einstein, Boris Podolsky og Nathan Rosen – sig to vekselvirkende partikler, der adskilles og fjerner sig vilkårligt langt fra hinanden. Einstein argumenterede nu, at ifølge kvantemekanikken vil en måling af den ene partikels kvantetilstand øjeblikkeligt indvirke på den andens tilstand, også selv om den befinder sig trillioner af lysår væk. Der er, hævdede han, tale om en mystisk fjernvirkning, hvor information overføres kausalt med en hastighed langt større end lysets og derfor i eklatant modstrid med relativitetsteorien. Lysets hastighed nævnes dog ikke eksplicit i EPR-artiklen i *Physical Review*, hvor ordet "lys" slet ikke optræder.

Det ekspanderende univers

Som nævnt spillede den endelige lyshastighed allerede en rolle i Herschels kosmologiske overvejelser fra slutningen af 1700-tallet. Det samme gjaldt i det følgende århundrede, hvor astronomer søgte at forklare Olbers' optiske paradoks om den mørke nattehimmel. Hvorfor er det mørkt om natten? Den tyske astronom Johann Mädler fremkom i 1858 med et originalt argument, der byggede på hypotesen om et univers af endelig alder, altså med en tidslig begyndelse. I så fald ville også lyset fra stjernerne kun have eksisteret i en endelig tid. "I den endelige tid lyset kunne rejse, før det mødte vores øje, vil en lysstråle kun passere et endeligt rum uanset lysets hastighed" [2, s. 85]. På denne måde mente Mädler at kunne demontere Olbers' paradoks.

Med erkendelsen af, at universet udvider sig i overensstemmelse med Einsteins generelle relativitetsteori, ændrede den kosmologiske videnskab helt karakter og lyshastigheden optrådte i et nyt perspektiv [2; 7]. Som Georges Lemaître og andre pionerer fremhævede, så er det rummet, der udvider sig og ikke det materielle univers. Selv et helt tomt kosmisk rum vil udvide sig, sådan som tilfældet er med den kosmologiske model, den hollandske astronom Willem de Sitter foreslog i 1917. Rummet, der ikke selv er et fysisk legeme, kan udvide sig med vilkårlig stor hastighed uden at komme i konflikt med relativitetsteorien. Dette forhold optræder endnu mere vildt i den noget kontroversielle men dog bredt anerkendte inflationsteori for det ultratidlige univers, der stammer fra omkring 1980. I den meget kortvarige inflationsfase umiddelbart efter Big Bang vil universet efter denne teori udvides med en svimlende hastighed, der er fantasillioner af gange større end lysets.



Figur 5. Arthur Stanley Eddington (1882–1944).

Afstanden mellem fjerne galakser kan altså vokse med en hastighed, der er større end lysets, hvilket fører til bemærkelsesværdige konsekvenser. Den berømte astronom Arthur Eddington var tilhænger af en model oprindeligt foreslået af Lemaître, hvor ekspansionshastigheden vokser med tiden. Dette medfører, at kun en del af universet kan observeres, mens lys fra fjernere egne aldrig vil nå frem til Jorden. Størrelsen af det principielt observerbare univers svarer i dag til en horisont, der ligger omkring 10^{11} lysår væk. I sin populære bog *The Expanding Universe* fra 1933 udtrykte Eddington forholdet ved en analogi: "Lys er ligesom en løber på en bane, der udstrækkes og hvor målstregen fjerner sig hurtigere, end han kan løbe." Ved en anden lejlighed påpegede han, at den accelererede udvidelse vil føre til en situation, hvor universet spaltes i adskilte del-universer eller i et slags multivers: "Legemer, der adskilles hurtigere end lysets hastighed, er afskåret fra nogen kausal indflydelse på hinanden; så universet vil engang komme til at bestå af, hvad der praktisk taget er et antal adskilte universer uden nogen indbyrdes fysisk forbindelse" [8].

En variabel lyshastighed?

Det er umiddelbart absurd at hævde, at naturkonstanter – som jo per definition er konstante – kan ændres i tiden. En konstant størrelse er selvsagt uforanderlig. Ikke desto mindre har der gennem det 20. århundrede været talrige forslag om, at naturkonstanters værdi i fortiden var anderledes, end de er i dag. Det bedst kendte eksempel er måske Paul Diracs hypotese om en langsomt aftagende gravitationskonstant, $G = G(t)$, som han forsvarede gennem mere end 30 år. Andre fysikere har foreslået teorier for $e = e(t)$ og $h = h(t)$. Kunne det være, at også lysets hastighed har ændret sig gennem tiden, $c = c(t)$? Der var faktisk idéer af den slags allerede i 1930'erne, men de blev resolut afvist af Eddington som meningsløse og selvmodsigende.

Alligevel dukkede teorier om en variabel lyshastighed op igen ved århundredets afslutning og denne gang blev de taget alvorligt og for en tid diskuteret af prominente fysikere [9]. Der er en hel klasse af VSL-teorier (Varying Speed of Light) som kun har til fælles, at de opererer med en tidsafhængig lyshastighed. Ifølge den portugisisk-engelske fysiker João Magueijo kan VSL-teori erstatte inflationsscenariet og bør af denne grund foretrækkes for det meget tidlige univers. Teorien antager, at lyshastigheden oprindeligt var enormt meget større end i dag (fx 10^{40} m/s), hvorefter den hurtigt kollapsede til den nuværende kendte værdi på blot 3×10^8 m/s. Når VSL-teorier stadig er af en vis interesse, skyldes det hovedsageligt, at de fremprovokerede en række metodologiske og filosofiske diskussioner i fysikermiljøet.

I lighed med Eddingtons tidligere indvending påpegede VSL-kritikere, at lyshastigheden er grundlag for enhver måling af afstande, hvorfor den nødvendigvis må være konstant. I denne forbindelse må man huske på, at i 1983 blev enheden meter defineret som den afstand lyset tilbagelægger i løbet af 1/(299.792.458) af et sekund. Nævneren er naturligvis lysets hastighed, der altså også er en defineret størrelse og ikke længere noget, der kan måles. Andre VSL-kritikere fremførte, igen i Eddingtons ånd, at det er meningsløst eller i det mindste forvirrende at tale om en variabel lyshastighed. Ifølge den amerikanske fysiker Michael Duff [9]:

> Bortset fra at c er endelig, så har udsagnet $c = 3 \times 10^8$ m/s ikke andet indhold end en omregning fra én menneskeskabt størrelse (meter) til en anden (sekund) ... Spørgsmålet om hvorvidt c har ændret sig gennem den kosmiske historie ... er som at spørge, om hvorvidt forholdet mellem antal liter per gallon har ændret sig.

Uanset hvad der er op og ned i denne diskussion, så understreger den det konventionelle element i den nutidige definition af lysets hastighed, en størrelse der måske bedre burde benævnes "lysets" hastighed.

Andre moderne teorier har ligesom VSL rejst tvivl om den autoriserede forståelse af lysets hastighed i vakuum, der ikke blot indebærer, at hastigheden er konstant men også at den er uafhængig af frekvensen ν eller den tilsvarende energi $E = h\nu$. Alle eksperimenter viser, at dette er tilfældet, men ifølge LQG (Loop Quantum Gravity) skulle der være en lillebitte forskel, sådan at højfrekvent lys, fx gammastråling, bevæger sig ganske lidt langsommere end lavfrekvent lys. Den drastiske forudsigelse kan i princippet testes, men indtil videre tyder ingen målinger på, at den er korrekt [10].

Afslutningsvist er det værd at bemærke, at de problemer om lysets hastighed, der her er nævnt, i det væsentlige er uafhængige af spørgsmålet om lysets natur. Er der tale om små partikler, som lysgiveren udsender (fotoner), eller forplanter lyset sig som bølger i enten æteren eller det tomme rum? Eller måske begge dele? Svaret på disse spørgsmål har ændret sig voldsomt siden Rømers tid, men uden at det har påvirket eksperimenter og teorier om lysets hastighed i nævneværdig grad.

Litteratur

[1] F. Roberts (1694) "Concerning the Distance of the Fixed Stars", *Philosophical Transactions*, bind **18**, side 101–103.

[2] H. Kragh (2019), "Conceptions of Cosmos", Oxford University Press.

[3] W. Niven, red. (1965) "The Scientific Papers of James Clerk Maxwell", Dover Publications.

[4] P. Schilpp, red. (1949) "Albert Einstein: Philosopher-Scientist", Library of Living Philosophers.

[5] H. Kragh (1999) "Quantum Generations", Princeton University Press.

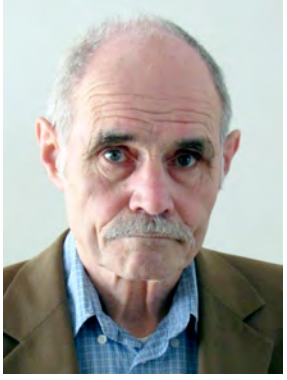
[6] A. Einstein (1907) "Über die vom Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Energie", *Annalen der Physik*, bind **23**, side 371–384.

[7] H. Kragh (2006) "Universe: A Guide to Everything", Reaktion Books.

[8] A. Eddington (1931) "The expansion of the universe", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, bind **91**, side 412–416.

[9] M. Duff (2015) "How fundamental are fundamental constants?", *Contemporary Physics*, bind **56**, side 35–47.

[10] A. A. Abdo m.fl. (2009) "A limit on the variation of the speed of light arising from quantum gravity effects", *Nature*, bind **462**, side 331–334.



Helge Kragh er professor emeritus ved Niels Bohr Institutet og arbejder især med de fysiske videnskabers nyere historie.

Fra Rømer til Horrebow: I astronomisk mesterlære

Bertil Dorch, Syddansk Universitet

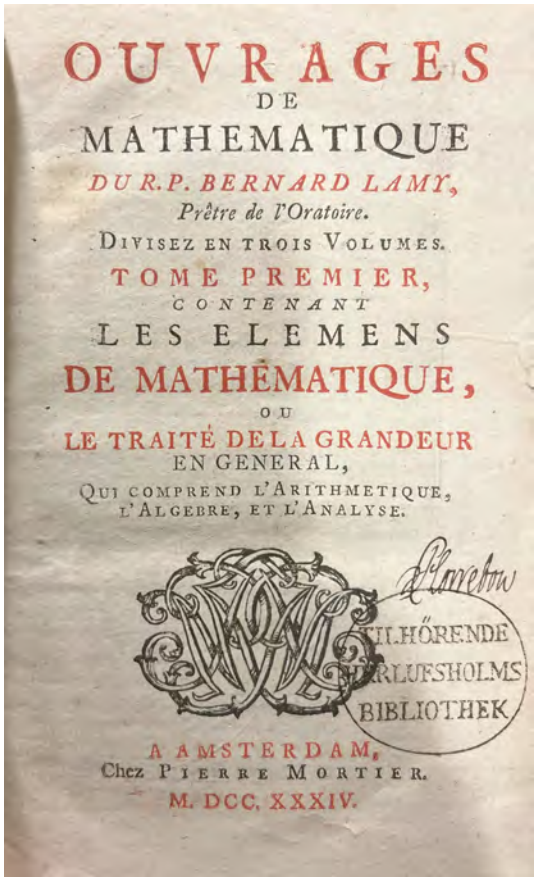
Forbindelseslinjerne mellem Ole Rømer og hans astronomiske arvtagere, Peder Nielsen Horrebow og hans sønner, illustrerer hvordan metoder, praksis og tekster vandrer fra mesteren Rømer i 1600-tallets Paris og København, til 1700-tallets astronomer ved universitetet og i Rundetaarn, og videre som forskningskulturarv i dag: Vi har identificeret flere værker fra Christian Horrebows bogsamling på SDU og følger trådene tilbage til Peder Nielsen Horrebow, der var Ole Rømers assistent [1]. Med udgangspunkt i historien om Horrebow-slægtens bogsamling og dets provenienssspor kan vi få et glimt af hvordan Ole Rømers idéunivers blev båret videre til de næste generationer af astronomer i Danmark. De brede skuldre, som den tværfaglige spændvidde af Horrebow'ernes interesser og deres egne arbejder står på, er Rømers. Denne artikel baserer sig i hovedtræk på "Bøger i kredsløb – spor af Horrebow'ernes bibliotek" af Jakob Povl Holck, Mogens Kragsig Jensen og Bertil Dorch, der udgives i serien *Bibliotekshistorie* i løbet af 2026 [1].

Mesterlære: Rømer, Horrebow og Rundetaarn

Når vi i år markerer 350-året for Ole Rømers opdagelse af "lysets tøven" fra 1676, så er det fristende at lade fortællingen kulminere i Paris, med meddelelsen den 7. december, om bekræftelsen af Rømers forudsigelse af det tøvende lys fra Jupitermånen Io [2]. Men set i en dansk sammenhæng, så fortsætter historien om Rømer imidlertid på så mange andre fronter, som også i sig selv fortjener opmærksomhed, givet Rømers mange roller og opgaver i datidens samfund. Men når det gælder astronomien, så er der måske særligt én historie, der også fortjener lidt lys, nemlig fortællingen om Rømer som led i en astronomisk mesterlære, der begynder med Peder Nielsen Horrebow (1679–1764), Ole Rømers assistent ved universitetet i København, og som fortsætter med Horrebows sønner og deres astronomiske virke op gennem 1700-tallet.

Horrebow voksede op i Nordjylland under beskedne kår, og var som Rømer ikke ud af en akademisk eller særlig velstående slægt [3]. Men hans dygtighed og ambitioner gav ham, ligesom Rømer før ham, adgang til universitetet i København. Her blev Peder Nielsen Horrebow en del af kredsen omkring Ole Rømer, og Horrebow blev siden, som Rømer, professor ved Københavns Universitet og direktør for observatoriet i Rundetårn fra 1714. Efter Rømers død i 1710 bestod opgaven for Horrebow bl.a. i at sikre kontinuitet i observationer, teori og instrumentpleje [1,3].

Peder Nielsen Horrebow var ikke blot Ole Rømers formelle arvtager i de akademiske og astronomiske embeder; han udviklede også astronomien via metodiske innovationer, lige som Rømer. Mest berømt er den senere såkaldte Talcott-Horrebow-metode til breddebestemmelse, som Horrebow var den første til at foreslå, og som blev "genopdaget" af amerikaneren Andrew Talcott (1797–1883) i 1800-tallet. Idéen er at sammenholde kulminationshøjder for to stjerner, valgt symmetrisk nord-syd om zenit, for at eliminere instrumentets hældning. Metoden sigter dermed direkte mod det svageste led i kæden, de systematiske fejl i instrumentet, som ellers kan forplante sig i tabeller over himmellegemernes målte positioner. Peder Nielsen Horrebow var medlem af de videnskabelige selskaber i både København, Berlin og Paris, som Rømer. Hans ry rakte langt ud over Danmarks grænser og Peter den Store inviterede Horrebow til Rusland, da zaren i 1716 besøgte Danmark.


OUVRAGES
DE
MATHEMATIQUE
DU R.P. BERNARD LAMY,
Prêtre de l'Oratoire.
DIVISEZ EN TROIS VOLUMES.
TOME PREMIER,
CONTENANT
LES ELEMENS
DE MATHÉMATIQUE,
OU
LE TRAITÉ DE LA GRANDEUR
EN GENERAL,
QUI COMPREND L'ARITHMETIQUE,
L'ALGEBRE, ET L'ANALYSE.
A AMSTERDAM,
Chez PIERRE MORTIER.
M. DCC. XXXIV.
TIL HØRENDE
HERLUFSHOLMS
BIBLIOTHEK

Figur 1. Eksempel på franskproget matematikbog i Horrebows bogsamling: Titelblad til trebindsværket af Bernard Lamy: "Ouvrages de Mathematique" udgivet i 1734 i Amsterdam (katalognummer: Herlufsholm 252.2).

At kalibrere på målinger ude i naturen selv, kan ses som en forlængelse af Ole Rømers strategi i 1676 da han hen over 40 omløb målte på den akkumulerede effekt af "lysets tøven" [2]. Horrebows tidlige, eksplicitte analyse af meridianfejl er også et udtryk for den samme

tankegang: Fejl er ikke udelukkende "støj", men information om systemets struktur. I værker som *Copernicus Triumphans* (1727), *Basis Astronomiae* (1734–35), og *Ars Interpolandi* (1731) binder Horrebow observation og teori sammen i en dansk variant af den europæiske astronomi.

Et fjerde bind, *Adytum Astronomiae* som skulle indeholde det endelige grundlag for en Rømer-Horrebowsk astronomi med stjernepositioner og soltabeller, blev trykt posthumt. Manuskriptet er et vigtigt vidnesbyrd om den overgangstid, hvor astronomien bevægede sig fra det spekulative til det eksperimentelle.

Peder Nielsen Horrebows historie sandsynliggør, at Ole Rømers videnskabelige arv ikke blot er hans "hårde resultater", men også en tilgang, en måde at se på naturen.



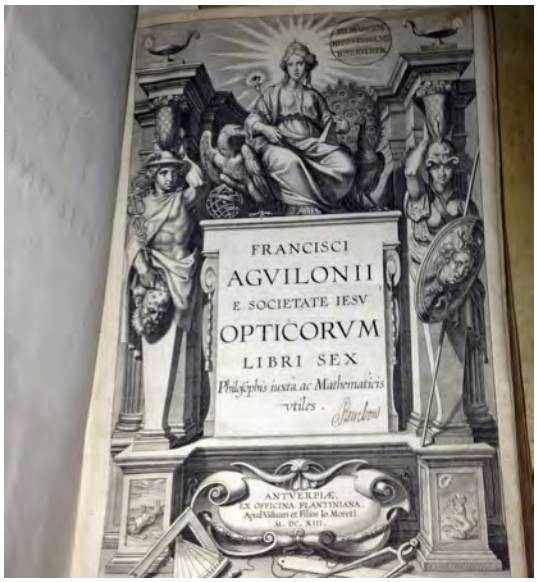
Figur 2. Bogrygge til trebindsværket af Bernard Lamy: "Ouvrages de Mathematique" udgivet i 1734 i Amsterdam (katalognummer: Herlufsholm 252.2).

Anden generation Horrebow

Peder Nielsen Horrebows søn, Christian Horrebow (1718–1776), blev i 1753, som Rømer og sin far efter ham, leder af observatoriet på Rundetårn [4]. Christian Horrebows opgave ved universitetet bestod bl.a. i at holde de på den tid almindelige disputatser over emner som ofte var gået i arv efter Peder Nielsen Horrebow. Et af hans egne bidrag var studiet af variationerne i antallet af solpletter, dvs. de mørke pletter, som man siden 1600-tallet havde systematisk observeret og registreret antallet af på Solen.

I sine dagbøger fra perioden 1761 til 1776 dokumenterer Christian Horrebow bl.a. solpletminima i 1766 og 1775, samt et maksimum i 1770. Den underliggende årsag kendte man naturligvis ikke til på det tidspunkt, for der var mere end 50 år til H.C. Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen og endnu længere til den moderne forståelse af fænomenerne som en effekt af Solens magnetiske aktivitet. Horrebows solpletdata blev dog først publiceret i 1859 i det tyske tidsskrift, *Astronomische Nachrichten*, dvs. over firs år efter hans død, men det er ubestridt, at Christian Horrebow var medvirkende til at etablere, at der er tale om en 11-årig cyklus, som vi i dag ved er en konsekvens af en 22-årig periodicitet i solens magnetiske dynamo.

Et andet eksempel på Horrebowslægtens virke er deltagelse i Venuspassagen i 1769, hvor Christians yngre bror, Peder Horrebow (1728–1812), med lidet held deltog i en dansk-norsk ekspedition til Nordland i Norge for at observere Venuspassagen. Resultaterne udeblev, hvilket måske var medvirkende til, at det ikke blev Peder, der overtog stillingen som leder af observatoriet efter hans bror Christians død, men i stedet Thomas Bugge (1740–1815). Dette skift markerede afslutningen på Horrebowslægtens direkte rolle i dansk astronomi, men den akademiske og kulturelle arv, som Horrebowerne forvaltede efter Rømer, lever videre i bygninger, bøger og det videnskabelige tankegods.



Figur 3. I Horrebows bogsamling finder man bl.a. også det optiske værk af François d'Aguilon: "Opticorum Libri Sex", udgivet i Antwerpen i 1613 (katalognummer: Herlufsholm 421.1), som i dag befinder sig på SDU.

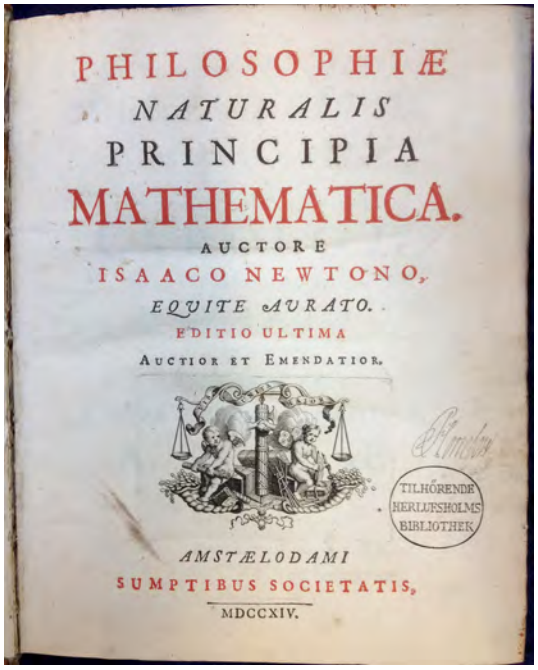
Københavns brand i 1728

Biblioteker er forskningsinfrastruktur, nu såvel som i 1600-tallet: Omend meget er forandret over århundrederne, så står det akademiske værk stadig centralt, som bærer af den videnskabelige kommunikation mellem forskere.

Københavns brand i 1728 gik hårdt udover byen, og universitetsbiblioteket var ingen undtagelse. Denne brand skal ikke forveksles med hverken branden i 1795, eller den i 1807, der var forårsaget af englændernes bombardement, og hvor en granat gik gennem taget på Trinitatis Kirke og endte nede i Bibliotekssalen [5].

Branden i 1728, der varede fra den 20. til den 23. oktober, nåede allerede på sin første dag frem til kollegiet i Sankt Peder Strædet, hvor Horrebow boede; han mistede de fleste af sine ejendele i branden. På

brandens anden dag nåede den frem til Vor Frue Kirke og universitetet, hvor bl.a. flere professorboliger gik op i røg. Derefter var det universitetsbibliotekets tur og meget gik tabt. Selvom Rundetårn stod som relativt uskadt, så udbrændte observatoriet. Resultatet var, at både instrumenter og boliger var ødelagte, men et skrin med manuskripter, både Horrebows egne og Ole Rømers, blev reddet ud i tide. Efterfølgende blev observatoriet genopbygget under Peder Nielsen Horrebows ledelse, og fra 1741 var Rundetårn igen funktionsdygtig med både meridian- og ækvatorialinstrumenter.


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.
AUCTORE
ISAACO NEWTONO,
EQUITE AURATO.
EDITIO ULTIMA
AUCTIOR ET EMENDATIOR.
TILHØRENDE HERLUFSHOLMS BIBLIOTHEK
AMSTÆLODAMI
SUMPTIBUS SOCIETATIS,
MDCCXIV.

Figur 4. Et af de mest alment kendte værker i Horrebows bogsamling, er naturligvis Isaac Newtons "Philosophiae naturalis principia matematica". Dette eksemplar, som nu findes på SDU, er udgivet i Amsterdam i 1714 (katalognummer: Herlufsholm 404.1).

Horrebowernes bogsamling

Det antages almindeligvis, at Peder Nielsen Horrebows egen bogsamling er gået fuldstændig tabt i branden i 1728, sammen med hans øvrige indbo og instrumenter. Men som det var nødvendigt for universitetet at genopbygge sit bibliotek, så har det givetvis også været nødvendigt for Peder Nielsen Horrebow at genopbygge sin egne bogsamling, ligesom hans astronom-sønner også har gjort det. Ikke desto mindre var det umiddelbart med stor interesse, at vi på Syddansk Universitetsbibliotek for nogle år siden opdagede, at flere af vores sjældne ældre bøger tilsyneladende bar ejersignaturer, der tydeligvis var "Horrebow". Det viser sig, at der i de fleste tilfælde er tale om bøger, der på et eller andet tidspunkt har tilhørt Christian Horrebow, om end det ikke helt kan afvises, at de ældste af værkerne også kan have tilhørt hans far, og på én eller anden måde have overlevet Københavns Brand. Men selv hvis de kan have tilhørt Peder Nielsen Horrebow, så er de nok anskaffet på et senere tidspunkt, måske som led i at genopbygge bogsamlingen efter branden.

Sagen er dog, at Christian Horrebows bogsamling blev solgt på auktion den 7. april året efter hans død i 1776. Den store bogsamler Grev Otto Thott (1703–1785) opsamlede en større del og donerede bøgerne til Herlufsholm i perioden fra 1777 til 1783. Det er værd at nævne, at der har været tale om en relativt stor logistisk bedrift: I juni 1777 ankom 19 kasser med folianter og i 1780 fulgte 10 vogne med 297 folianter, 136 kvartfolio og 18 ligprædikener, alle nummereret og klar til opsætning. Grev Thott instruerede endda om varsom åbning og genbrug af kasserne [1].

Genopdagelsen på universitetsbiblioteket

Som led i opbygningen af det nye, tredje statslige forskningsbibliotek i Odense under Kulturministeriet, efter Det Kongelige Bibliotek (1648) i København og Statsbiblioteket (1897) i Aarhus, så erhvervede Odense Universitetsbibliotek (1965) i løbet af 1968 og 1969 både Herlufsholms Gamle Samling og Bibliotheca Groothoffiana, der bestod af 40.000 bind, heraf cirka 6.000 fra Grev Thotts donation. I 1999 fusionerede biblioteket med Odense Universitet og en række andre institutioner og dannede dermed Syddansk Universitet (SDU): Dermed landede en betragtelig del af Horrebows bøger på universitetsbiblioteket (nu Syddansk Universitetsbibliotek) på SDU, hvor de i dag kan identificeres via Horrebowsignaturer i bøgerne, etiketter fra Thott, Herlufsholms opstilling og krydsslag mellem auktionskataloget fra 1777, et katalog over Herlufsholms Skoles Bogsamling fra 1882 og et tillæg til kataloget fra 1897. Proveniensarbejdet er et tålmodigt detektivarbejde, men åbner for nye forskningsspørgsmål om cirkulationen af viden.

Auktionskataloget fra 1777 er komprimeret og til tider mangelfuldt, da det bland andet indeholder anonyme poster, trecifrede årstal og gentagelser. Sammenstillingen med katalogerne fra Herlufsholms Skoles Bogsamling kræver tålmodighed, grundighed, kendskab til Gotisk og fleksible søgestrategier. Nogle værker figurerer i listerne uden sikker Horrebowsignatur, mens andre har "dobbelt proveniens", fx Tycho Brahes *Astronomiæ instauratæ mechanica* med både Peder og Christian Horrebow, og andres exlibris.

Vi har i vores gennemgang anvendt et konservativt princip: Kun fysiske signaturer, der kan konstateres ved selvsyn, tæller som en sikker Horrebowproveniens. Samtidig afslører spredningen af cirka 150 bind til universitetsbiblioteket i København og bl.a. til Norge, at bogsamlingen blev brudt. Proveniens er derfor også infrastrukturhistorie, der forbinder mennesker, bøger og institutioner i det lange løb.

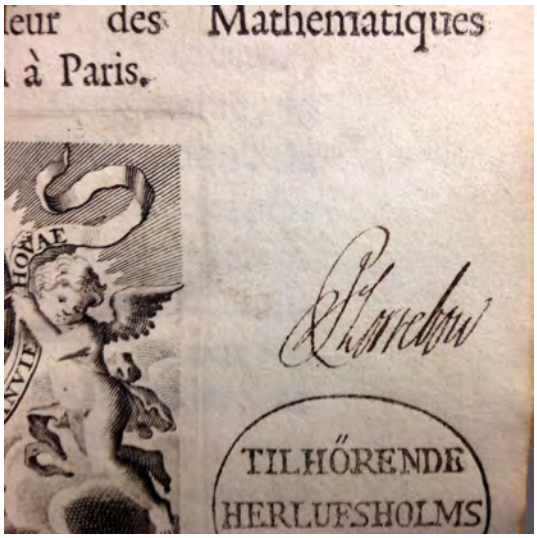
Hvad samlingen siger om fortidens astronomer

Horrebowslægtens bogsamling demonstrerer en tværfaglighed, der prægede videnskaben i Danmark i århundrederne efter Tycho Brahe: Samlingen indeholder fx førsteudgaver af Johannes Kepler's (1571-1630) og af Isaac Newton (1643-1727), som i øvrigt referer til Ole Rømers målinger i 1676. Derudover finder vi værker af Otto von Guericke (1602-1686), François d'Aguilon (1567-1617) og Hieronymus Cardanus (1501-1576), men også den franske polyhistor og kartesianer Marin Mersennes (1588-1648) beskrivelser

af vibrerende guitar- og klaverstrenges harmonier.

Euklid (325-265 f.v.t.) og Tycho Brahe fylder godt i afsnittet om astronomi. Værdifulde Newton-udgaver er blandt andet Philosophia Naturalis (Amsterdam 1714), Method of Fluxions (London 1736), Arithmetica Universalis (Lyon 1732) og Opticks (London 1730).

I forhold til Kepler kan man, ud over *Epitome* (1618-22), fx fremhæve de kostbare værker *De motibus stellae Martis* (1609), *Tabulae Rudolphinae* (1627) og *Harmonices Mundi Liber I* (1619). Nærmere undersøgelser vil måske kunne indkredse, hvor disse sjældne og uvurderlige bogskatte er endt henne, for de er ikke alle endt i Odense via Grev Thotts donation til Herlufsholm. Men bøgerne har næppe været vanskelige at afsætte på bogauktionen!



Figur 4. Nærbillede af en Horrebow-signatur i Jacques Ozanams bog, "Dictionnaire mathématique ou idée générale des mathématiques", udgivet i Amsterdam i 1691 (katalognummer: Herlufsholm 247.6). Under signaturen ses Herlufsholms exlibris.

Bøgerne tegner dermed billedet af astronomernes universallaboratorium: Astronomi, matematik, mekanik, optik, eksperimentel fysik, hydrografi, horologi, sandsynlighedsregning, naturhistorie og teknik (bl.a. fæstningskunst). Sprogblandingen som bestod af latin, tysk, fransk og svensk, var en hverdagspræmis i europæisk videnskab, som også Rømer selv var trådt ind i. Det brede pensum gav mulighed for at måle bedre: Optik for at forstå teleskopet, mekanik for at modellere systemet, sandsynlighedsregning for at beskrive usikkerheder, geografi og hydrografi for at indplacere himlen i jordisk praksis.

På emne- og titelniveau skuer Christian Horrebows bibliotek både bagud i tid, ikke mindst til den videnskabelige revolutions første gløder, og frem i tiden, i kraft af en øget brug af den empiriske metode. Hertil kommer litteraturen fra Horrebows samtid, fra hans kolleger i ind- og udland. Den danske astronoms bibliotek, som det fremstår i auktionskataloget fra 1777, bliver et øjebliksbillede på, hvad der åbenbart var tilgængeligt for en bemidlet lærd fra den danske universitetselite i 1700-tallet. Med perlerækken af førsteudgaver synes det tydeligt, at Christian Horrebows bibliotek, også dengang, har udgjort en veritabel formue, ligesom bindenes symbolværdi som dansk og international kulturarv næppe kan underkendes.

Afslutning

Ole Rømer brugte Jupiters måner og Jordens baner som kosmisk måleinstrument og lod små tidsforskydninger akkumulere; det var teoretisk enkelt, og empirisk robust. Peder Nielsen Horrebow forlængede på sin vis idéen ved at ensrette fejl, og Christian fortsatte den observationsintensive tradition. Alle var bredt funderede lærde og forankrede i den internationale videnskabelige verden. Og koblingen mellem Horrebow'erne og Ole Rømer er både personhistorie og videnskabshistorie.

Det kan måske undre, at astronomens samlede bibliotek ikke forblev på familiens hænder og siden kunne overdrages til én af sønnerne; således fx til den medicinstuderende Peder Horrebow (1756-1778), til lægen Magnus Horrebow (1763-1796), eller den teologiske forfatter Otto Horrebow (1769-1823). Christian Horrebows enke fik imidlertid lov til at sidde i uskiftet bo og har derved kunnet disponere over mandens bibliotek.

Fremtidig forskning i Christian Horrebows bibliotek kunne blandt andet interessere sig for muligheden for eksistensen af bøger, der af én eller anden grund ikke kom på bogauktionen 1777, men faktisk blev overdraget til børnene. Man kunne også forestille sig bøger, der ikke blev solgt på bogauktionen og gik tilbage til familien. Under alle omstændigheder vil de allerede identificerede bøger fra Horrebow'ernes bogsamling kunne ses i 2026, hvor der vil blive arrangeret en udstilling i markering af 350-året for Ole Rømers opdagelse.

Litteratur

[1] J.P. Holck, M. Kragsig Jensen og S. B. F. Dorch (2026): "Bøger i kredsløb – spor af Horrebow'ernes bibliotek" i *Bibliotekshistorie*, i trykken.

[2] S.B.F. Dorch (2026) "Lysets tøven: Ole Rømers elegante måling fra 1676", *Kvant*, bind **36**, nr. 1, side 8–10.

[3] K.P. Moesgaard og P. Heegaard (2011) "Peder Nielsen Horrebow" i Dansk Biografisk Leksikon: biografiskleksikon.lex.dk/Peder_Nielsen_Horrebow.

[4] P. Heegaard (2011) "Christian Horrebow" i Dansk Biografisk Leksikon: biografiskleksikon.lex.dk/Christian_Horrebow.

[5] M. Bregnsbo (2024) "Københavns brande" i Lex på lex.dk: lex.dk/Københavns_brande.



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.

Ole Rømer og det astronomiske tårn

Rasmus Agertoft og Christina Toldbo, Rundetaarn

I 1685 overtog Ole Rømer ledelsen af Københavns Universitets observatorium, og få år senere forsynede han toppen af Rundetaarn, hvor Observatoriet lå, med en ny observatoriebygning. Det nye observatorium, hvor Rømers egne astronomiske instrumenter blev placeret under to kupler, var forbundet med etagen nedenunder, der rummede astronomernes værelser. Artiklen samler og genfortolker spredte kilder for at give en mere sammenhængende forståelse af indretningen og funktionen af Ole Rømers observatorium i det astronomiske tårn.

Torsdag den 21. oktober 1728 hen ad aften fortærede flammerne en bindingsværksbygning 34,8 meter over Købmagergade i København. Det skete på andendagen af den mest omfattende brand i byens historie, og den bygning, der brændte op, var Københavns Universitets observatorium, der lå på toppen af Rundetaarn.[1]

I Sneglegangen, der førte op til Observatoriet, samledes de nødstedte fra resten af byen med de ejendele, de i al hast havde kunnet redde ud af deres brændende boliger. Her var de på grund af de tykke mure og hvælvingerne over dem i nogenlunde sikkerhed, mens ilden spredte sig fra selve Observatoriet til rummene nedenunder og ikke mindst den bestand af astronomiske instrumenter, som de indeholdt.[2]

Noget af det, der brændte, var Tycho Brahes (1546–1601) store himmelglobus med dens nøjagtige angivelse af positionerne for mere end tusind fiksstjerner, men også nyere ting fra Ole Rømers (1644–1710) tid gik til grunde. Ud over selve Observatoriet, som Rømer omkring 1690 havde ladet opføre på toppen af tårnet som en rund bygning med to kupler, gjaldt det blandt andet hans store planetmaskine, som han i 1697, 100-året for Tycho Brahes afsked med Danmark, havde placeret i en loftshvælving i astronomernes værelser. Dertil kom en lang række astronomiske instrumenter, optegnelser og forskelligt habengut, for eksempel et instrument "beregnet til at oplyse Søen ved Nattetide og saaledes hidlokke Fiskene", som den daværende leder af Observatoriet, Ole Rømers elev Peder Nielsen Horrebow (1679–1764), formulerer det. Ifølge Horrebow var fiskeinstrumentet, "så vidt jeg husker" opfundet af Rømer.

Tre værelser

Horrebows ord stammer fra en oversigt over instrumenter i Rundetaarn, som han nedskrev i 1718, fire år efter at han havde overtaget ledelsen af Observatoriet som den tredje på de få år, der var gået siden Ole Rømers død. I oversigten beskriver han, hvordan astronomernes tre værelser lige under platformen havde navn efter de store danske astronomer, der på det tidspunkt havde haft direkte eller indirekte tilknytning til Rundetaarn.

Det første værelse, der blandt andet rummede Tycho Brahes himmelglobus, blev således kaldt "Camera Tychonica" ("Tycho-kammeret") og var forsynet med et malet portræt af den berømte astronom. Han havde ganske vist været død i årtier, da Rundetaarn blev byg-



Figur 1. Rundetaarn restaurerer i 2026 Folkeobservatoriet på toppen af tårnet, der siden 1929 har befundet sig under den ikoniske kuppel. Det nuværende observatorium er det foreløbig sidste skud på stammen i en række, der tæller i hvert fald fem forskellige observatorier. Foto: Rundetaarn.

get, men hans observatorier på den lille ø Hven lå til grund for udformningen af Rundetaarn, der til at begynde med blandt andet blev kaldt Københavns Kongelige Stjerneborg. Navnet var en henvisning til Brahes underjordiske observatorium Stjerneborg på Hven, der i 1584 supplerede det store observatorium på Uranienborg. Rundetaarns diameter passer perfekt ind i

[1] Claus Fabricius, Niels Therkel Jørgensen og Chr. Gorm Tortzen (red.): *Ole Rømer's Triduum.* Volume II: *Peder Horrebow's* Basis Astronomiæ, s. 14 og 70–72. Jf. [G.F. Ursin:] *Historisk Beretning om Universitæts-Observatoriet paa Rundetaarn*, s. 35–36. De to lister findes i Rigsarkivet, København: Københavns Universitet: Sager henhørende til Astronomisk observatorium (1700–1766), pk. 1612–01.

[2] For indholdet i astronomernes værelser henvises her og i det følgende til Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer*, s. 687–91 (1710-listen), og Andreas Nissen: "Rundetaarn som Observatorium", s. 72–77 (1710- og 1718-listen).

det kvadrat, der omgav Stjerneborg, og Stjerneborgs forsænkede kamre var tænkt som forbillede for det første observatorium på toppen af tårnet, skønt det er usikkert, hvor meget af planen der blev virkeliggjort.

Det andet værelse, der blandt andet rummede Ole Rømers planetmaskine, hed ifølge Horrebow "Camera Rømeriana" ("Rømer-kammeret"), mens navnet på det tredje værelse, "Camera Longomontana" ("Longomontanus-kammeret"), henviste til Tycho Brahes medarbejder Christen Sørensen Longomontanus (1562–1647). Longomontanus blev i 1621 Danmarks første professor i astronomi og i 1642 som 80-årig den første leder af Rundetaarns observatorium, som han selv havde været med til at komme med anvisninger til indretningen af. I "Camera Longomontana" fandtes ud over mere og især mindre brugbare instrumenter et skab, der blandt andet indeholdt "En maskine med de fire Jupiter-måner", hvilket må referere til Ole Rømers såkaldte jovilabium, som han havde konstrueret i Paris i 1677 for at anskueliggøre sin opdagelse af lysets tøven. Også den blev ødelagt af flammerne under Københavns store brand i 1728.



Figur 2. Senest efter Ole Rømers død fik astronomernes værelser lige under Rundetaarns platform navn efter store danske astronomer, der direkte eller indirekte har forbindelse med tårnets historie. En af dem er Christen Sørensen Longomontanus, der var den første leder af Observatoriet. Rundetaarns astronomisk-historiske samling.

Navngivningen af de tre værelser, der i nogen grad, men ikke fuldstændig tager hensyn til de effekter, kamrene rummer, er tilsyneladende sket efter Ole Rømers død. I hvert fald optræder navnene på de tre astronomer ikke i den oversigt fra Rømers dødsår, 1710, som Horrebows liste fra 1718 er baseret på. Den første oversigt bærer overskriften "Fortegnelse paa de *instrumenter* og Verker som findes paa det runde taarn" og er lavet af Lauritz Thomsen Schiwe eller bare Lars Thomsen Skive (o. 1659–1711). Han var også elev af Ole Rømer og overtog ledelsen af Københavns Universitets observatorium efter ham, men nåede kun at have den i et enkelt år, før han selv døde.[3]

Kært barn

Schiwes fortegnelse blev udarbejdet i forbindelse med, at Ole Rømers enke, Else Magdalene Bartholin (1680–1763), solgte sin afdøde mands astronomiske instrumenter til universitetet, og den er interessant af flere årsager.

For det første er det påfaldende, hvor mange af de oplistede genstande der ikke tilhører universitetet eller "hører taarnet til", som det formuleres i fortegnelsen, og dermed må have tilhørt Ole Rømer. Fortegnelsen inkluderer også instrumentbestanden på Rømers eget observatorium hjemme i professorgården i St. Kannikestræde og hans landobservatorium, Observatorium Tusculanum ved landsbyen Vridsløsemagle vest for København, og her er det kun hans egne ting, der står, men i toppen af Rundetaarn har det altså været en uigennemskuelig blanding af universitetets og hans eget. Man kan ikke fortænke Schiwe i ikke helt at vide, hvad der var hvad, når han om en kvadrant af jern og kobber i "det mellemste kamers", altså det senere Rømer-værelse, anfører, at den "hør vist taarnet til".

For det andet er det interessant, at Lauritz Thomsen Schiwe taler om "det runde taarn" i fortegnelsen, der fortrinsvis er på latin, mens især overskrifterne er på dansk. Fortegnelsen er skrevet i en tid, hvor man ikke gik så meget op i en fikseret version af navnene som i dag, og det, vi i dag kalder Rundetaarn, kunne også benævnes med andre kaldenavne, så længe de tjente til en nogenlunde sikker identifikation.

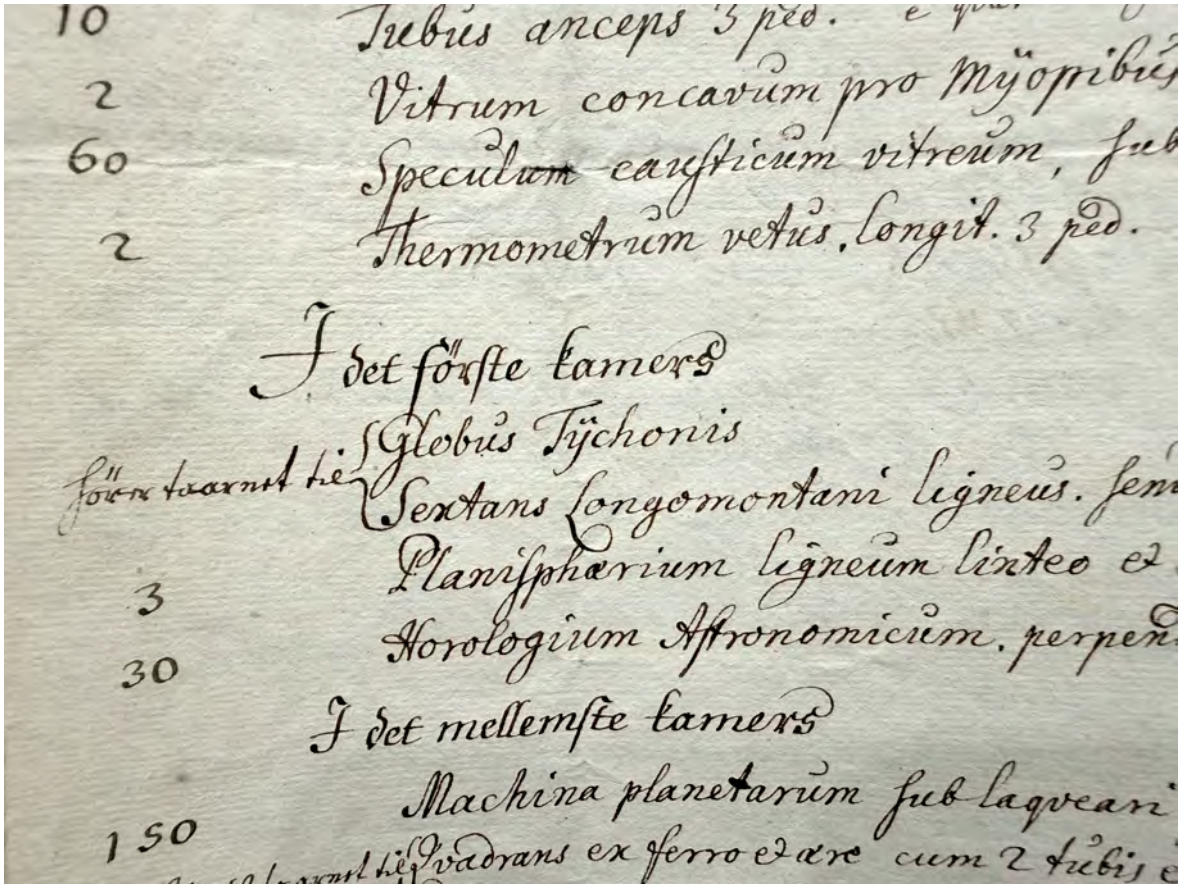
Den franske astronom Jean Picard (1620–82), der kom til København i 1671 og året efter tog Ole Rømer med sig tilbage til Paris, omtaler for eksempel i sin beskrivelse af rejsen fra 1680 Rundetaarn som "la Tour Astronomique" ("det astronomiske tårn"), mens klokkeren ved Trinitatis Kirke få år senere i en liste over den pauvre beholdning af astronomiske instrumenter, der fandtes i tårnet omkring den tid, da Ole Rømer tiltrådte som leder af Observatoriet, bruger betegnelsen "Trinitatis Torn".[4] Lægen og rejsebogsforfatteren Holger Jacobæus (1650–1701), der ligesom Ole Rømer var fra Aarhus og på mødrene side stammede fra den Bartholin-slægt, som Rømer to gange giftede sig ind i, kalder tårnet "Turris Astronomica" ("det astronomiske tårn"), men anfører i en beskrivelse fra 1673 også, hvordan det både bliver kaldt "det Runde taarn", det københavnske Uranienborg og det københavnske Stjerneborg.[5]

I den indskrift, der ledsagede Ole Rømers oprindelige planetmaskine i Rundetaarn, kaldte han også tårnet "URANIBURGO HAVNIACO" ("det københavnske Uranienborg"), men når han var i knap så poetisk et humør som i planetmaskinens snørklede inskription,

[3] Jf. [G.F. Ursin:] *Historisk Beretning om Universitæts-Observatoriet paa Rundetaarn*, s. 32.

[4] [Jean] Picard: *Voyage d'Uranibourg*, s. 4, og Andreas Nissen: "Rundetaarn som Observatorium", s. 62. Listen er fra 1686.

[5] *Holger Jacobæus' Rejsebog*, s. 45–47 og 171.



Figur 3. To af de vigtigste effekter, der befandt sig i astronomernes værelser øverst i Rundetaarn på Ole Rømers tid, var Tycho Brahes himmelglobus, som under Trediveårskrigen var blevet bragt tilbage til Danmark af en af Christian IV's sønner, og Rømers egen planetmaskine. Begge effekter optræder i Lauritz Thomsen Schiwes liste over astronomiske instrumenter i Rundetaarn fra 1710. Rigsarkivet. Foto: Rasmus Agertoft.

kunne han både finde på at omtale det efter dets astronomiske funktion og dets form, som Schiwe også gør det.[6]

Rundetaarn blev oprindelig planlagt som et bygningskompleks, der rummede tre universitetsfunktioner, idet tårnets funktion som astronomisk observatorium efter nogle år suppleredes med funktionen som henholdsvis studenterkirke i Trinitatis Kirke og Universitetsbibliotek på etagen oven over kirken. Ole Rømer blev leder af Observatoriet i 1685, og som årene gik, blev han som den første og eneste ansvarlig for alle tre universitetsfunktioner og havde desuden "særdelis ansvar for *Regentzens* reparation og opkomst", som det hedder i mindetalen over ham om Trinitatiskompleksets fjerde ben som universitetsfunktion, kollegiet Regensen lige over for tårnet. Ifølge mindetalen var han kirkeværge for Trinitatis Kirke i 17 år, mens han kun nåede at være overbibliotekar på Universitetsbiblioteket de sidste ni år af sit liv. Tilsyneladende har det dog ikke været et job, han viede meget af sin sparsomme tid. Ifølge en samtidig kilde "plejede [han] nemlig sjældnere at vise sig paa hint Sted end Cometen paa Himlen".[7]

Kig i almanakken

En tredje grund til, at Schiwes liste er interessant, er de fingerpeg, den giver om indretningen i den øverste del af Rundetaarn på Ole Rømers tid. Fortegnelsen er forsynet med vurderingssummer, og to af de dyrere instrumenter er et "Ækvatorealinstrument af jern og kobber" og et "Azimuthinstrument ligeledes af metal", begge med et "3 fod langt rør", altså en kikkert. Der er tale om de to kikkertopstillinger, som Rømer selv havde konstrueret, og som blev placeret i den nye observatoriebygning på toppen af Rundetaarn. De to instrumenter findes afbildet i deres omgivelser under Observatoriets kupler på to kobberstik, som samme Schiwe tegnede forlægget til i 1704 til brug for en publikation, som Ole Rømer ikke nåede at udgive. Kobbertavlerne var blandt de få ting fra Ole Rømers observatorium, der overlevede Københavns brand i 1728, idet Horrebow reddede dem ud fra toppen af tårnet, før flammerne fik fat i den.[8]

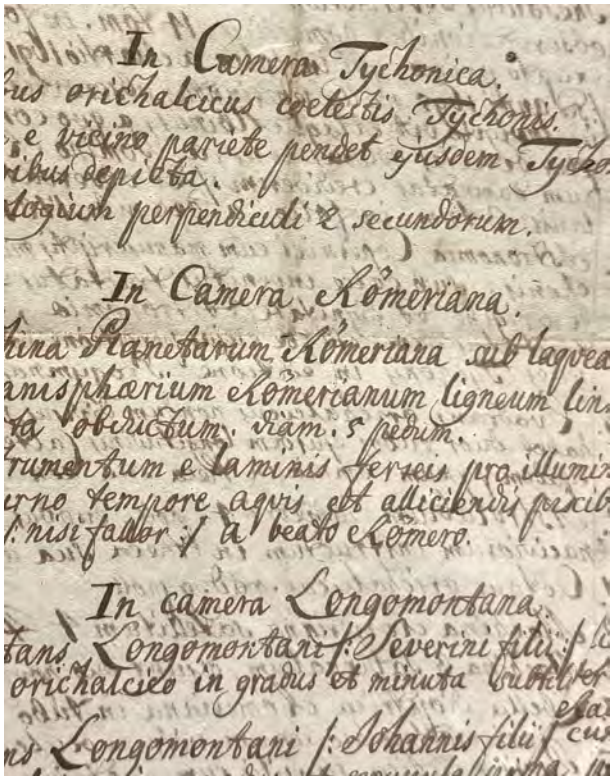
De to kikkertopstillinger, der åbenbart også har tilhørt Ole Rømer personligt og ikke været en del af tårnets inventar, befandt sig ifølge Schiwes fortegnelse "Udi Runddeelen". Man ved ikke så meget om, hvordan der har set ud på toppen af Rundetaarn i de første 100 år af tårnets historie, men sammen med kobberstikkene

[6] Andreas Nissen: "Rundetaarn som Observatorium", s. 70 og 66, samt Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer*, s. 312.

[7] Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer*, s. 603, 58 og 621–22.

[8] Kobberstikkene er afbildet med forklaringer i Axel V. Nielsen: *Ole Rømer*, s. 84–85. For historien om kobberstikkene se Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer*, s. 71–115.

findes der spredte oplysninger om situationen på Ole Rømers tid, og tilsammen antyder de et billede.



Figur 4. I 1718 optegnede Peder Nielsen Horrebow, der var Ole Rømers elev og efterfølger som leder af Observatoriet, en liste over astronomiske instrumenter, der minder meget om Lauritz Thomsen Schiwes fra 1710, men har ændret betegnelserne for de tre værelser under Observatoriet til "Camera Tychonica" ("Tycho-kammeret"), "Camera Rømeriana" ("Rømer-kammeret") og "Camera Longomontana" ("Longomontanus-kammeret"). Rigsarkivet. Foto: Rasmus Agertoft.

En af dem, der giver oplysninger om Ole Rømers observatorium, er den senere leder af Observatoriet Thomas Bugge (1740–1815). I sin gennemgang af dets historie skriver han om Rømer, at "i Midten af Omgangen eller paa Platte-Formen lod han opføre en rund Bygning af 8 Fods Høyde og 21 Fods Diameter, for at modtage de af ham opfundene nye Instrumenter". Målene, som Bugge nogenlunde pålideligt overtager fra Peder Nielsen Horrebows værk *Basis astronomiæ* fra 1735, svarer til en højde på omkring 2,5 meter og en diameter på 6,6 meter, hvilket er noget lavere end det nuværende observatorium fra 1929, der har en diameter på 6 meter og en højde på hele 7 meter.[9] Ifølge Peder Nielsen Horrebow bestod Ole Rømers observatorium af "ligno & muro" ("træ og mur"), hvilket astronomen og matematikeren G.F. Ursin (1797–1849), der var konstitueret leder af Observatoriet fra 1829 til 1832 og også har skrevet dets historie, forstår som bindingsværk.[10]

Hvorom alting er, tyder Schiwes fortegnelse fra 1710 og gentagelsen med variationer fra 1718 på, at selve Observatoriet eller "Runddeelen" og de hvælvede værelser på etagen nedenunder udgjorde et samlet hele. Det står ikke helt klart, hvordan forbindelsen har været mellem de to etager, men muligvis har der været en vindeltrappe i den hule kerne. En sådan kendes i hvert fald fra 1728, hvor den er blevet ødelagt i branden, og det er også den løsning, der siden 1822 har bragt både astronomer og besøgende op på platformen.[11]



Figur 5. På Ole Rømers tid var Tycho Brahe stadig det store astronomiske forbillede, og Rundetaarn blev sammenlignet med begge hans observatorier på Hven, Stjerneborg og Uranienborg. Her ses sidstnævnte i maleren Heinrich Hansens fortolkning, der formentlig er fra omkring 1882. Rundetaarn astronomisk-historiske samling. Foto: Johan May Nitschke.

Hvis det kan være svært ud fra de sparsomme beskrivelser at forestille sig, hvordan Ole Rømers observatoriebygning har set ud, kan man få hjælp på forsiden af Københavns Universitets almanak. I 1684 forsøgte et kongeligt reskript, vistnok på Ole Rømers initiativ, at luge ud i de uvidenskabelige elementer, der fra tid til anden bredte sig i den populære tryksag, og året efter udkom den første almanak med Rundetaarn på forsiden som et tegn på, at universitetet stod inde for det, der stod i almanakken. Først med almanakken fra 1701 blev Rundetaarn imidlertid afbildet med en observatoriebygning på toppen, og her er det Ole Rømers observatorium fra omkring 1690, som man ser.

Hvis det tog lidt tid at få observatoriebygningen afbildet på almanakforsiden, forblev den der til gengæld

[9] [Thomas] Bugge: "Historisk Efterretning om Kiøbenhavns Observatorium og dets Astronomer fra 1636 til 1777", s. 159, samt Claus Fabricius, Niels Therkel Jørgensen og Chr. Gorm Tortzen (red.): *Ole Rømer's Triduum*. Volume II: *Peder Horrebow's* Basis Astronomiæ, s. 14.

[10] Claus Fabricius, Niels Therkel Jørgensen og Chr. Gorm Tortzen (red.): *Ole Rømer's Triduum.* Volume II: *Peder Horrebow's* Basis Astronomiæ, s. 14 og 70–72. Jf. [G.F. Ursin:] *Historisk Beretning om Universitæts-Observatoriet paa Rundetaarn*, s. 35–36. Ifølge Horrebow er det indre mål for Ole Rømers observatorium 21,5 fod.

[11] "Trinitatis kirke", s. 257–60. Et rekonstruktionsforsøg i Claus Thykier, Kjeld Gyldenkerne og Per Barner Darnell (red.): *Dansk astronomi gennem firehundrede år* mener, at trappen også under Ole Rømers ledelse sad i den hule kerne (s. 208–10).

desto længere. Selv om den brændte i 1728, og selv om også det observatorium, der afløste den i 1741, blev udskiftet i 1780, var det stadig Ole Rømers observatorium, der fandtes på almanakkens forside så langt op i tiden som til 1855, få år før universitetets observatorium i 1861 på grund af pladsproblemer flyttede godt 600 meter i fugleflugt til Østervold ved Botanisk Have. I mere end 150 år har det altså været Ole Rømers observatorium, almanakkens brugere over hele landet så, når de kiggede på Rundetaarn.[12]


Almanak
paa det Aar efter
Christi Fødsel 1776.
som er et Skud-Aar.
Beregnet og
til Kieben-
Heyde
40 Minuter.
sammenskrevet
havns Polis
55 Grader
56 Secunder.
Af
Peder
Mathem. &
Hørrebow.
Medicin. Stud.
Kiøbenhavn,
trykt hos Directeur N. C. Høpffner, Hans Kongl
Majestæts og Universitets Bogtrykker,
og findes hos dennem tilkiøbs.

Figur 6. Rundetaarn kom på forsiden af Københavns Universitets almanak i 1685, mens Ole Rømers tokuplede observatorium først blev tilføjet i 1701. Til gengæld blev det der mere end 100 år, efter at det brændte i 1728, som det blandt andet ses på almanakken fra 1776. Foto: Johan May Nitschke.

Man har ligefrem gættet på, at det kan være de to kupler, H.C. Andersen (1805–75) refererer til, når han i eventyret "Fyrtøiet" fra 1835 lader den største hund have øjne så store som Rundetaarn. Det kan dog ikke passe, for ifølge eventyret har hunden "to Øine, hvert saa stort som Rundetaarn".[13]

Ej blot til pynt

I 1703 skrev Ole Rømer til filosoffen G.W. Leibniz (1646–1716), at "Jeg ville tilføje noget om vores offentlige observatorium i det astronomiske tårn i København, hvis jeg ikke frygtede for, at det ville virke trættende". Man kunne ønske sig, at han havde givet Observatoriets indretning lidt flere ord med på vejen, men må dog glæde sig over, at han trods alt tilføjer en "Fortegnelse over de instrumenter, som tjener til observation af himmellegemerne i Det Astronomiske Tårn i København".

Fortegnelsen er inddelt i en mindre portion instrumenter fra Tycho Brahes og Longomontanus' tid, mens andelen af "Nye instrumenter tilføjet af Ole Rømer", er ulig større. Sidstnævnte inkluderer både Rømers planetmaskine ("En planetmaskine, der viser steder til en given tid, i det tychoniske system") og jovilabium ("En Jupiter-månemaskine").[14] Det var i disse omgivelser og antagelig ved hjælp af blandt andet disse instrumenter, at Rømer som professor holdt sine astronomiske forelæsninger, der begyndte allerede kl. 6 om morgenen.[15]



Figur 7. I anledning af 350-året for Ole Rømers opdagelse af lysets tøven har urmager Søren Andersen lavet en rekonstruktion af Rømers jovilabium eller "Jupiter-månemaskine" til Rundetaarn eller "det runde astronomiske tårn, Københavns Kongelige Stjerneborg", som der står på indskriften. Foto: Johan May Nitschke.

Selv om Ole Rømer altså i brevet afstår fra en nærmere beskrivelse af sit observatorium på toppen af Rundetaarn, kommer han i et andet brev til Leibniz med en bemærkning, der kan tolkes som en vurdering af det belejlige i at have et observatorium i det astronomiske tårn midt i København. Leibniz har udbedt sig Rømers tanker om, hvordan man bedst skal bygge et observatorium, og i sit svar, der er dateret den 15.

[12] Jan Steenberg gætter i *Danmarks Kirker* på, at det er det oprindelige observatorium fra 1642, der går op i flammer under Københavns brand i 1728, men tager tilsyneladende ikke hensyn til Ole Rømers tokuplede observatoriebygning på forsiden af almanakken ("Trinitatis kirke", s. 258). For en oversigt over udviklingen af Rundetaarn på forsiden af almanakken se Thorkil Damsgaard Olsen: "1685-almanakken og de gamle universitetsalmanakker", s. 134–35.

[13] *Andersen*, s. 79.

[14] Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer*, s. 312–13.

[15] Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer*, s. 674–75. Jf. Axel V. Nielsen: *Ole Rømer*, s. 25.

december 1700, skriver Rømer, at han vil "afvige ikke så lidt fra opfattelsen blandt dem, der hidtil har udstyret observatorier mere til pynt end til brug og i højere grad har indrettet instrumenterne til bygningen end bygningen til instrumenterne".[16]

Rundetaarn stod færdigt i 1642, to år før Ole Rømers fødsel, og på det tidspunkt har man ikke kunnet tage højde for de astronomiske instrumenter, han i slutningen af århundredet skulle komme til at udtænke, så ordene sigter muligvis blandt andet til det astronomiske tårn i København og til Observatoriet i Paris.

Også på en række andre områder var Rundetaarn imidlertid mindre egnet som platform for et astronomisk observatorium, hvilket etableringen af Ole Rømers husobservatorium og landobservatorium kan ses som indirekte vidnesbyrd om. Samlet peger kilderne på, at Rømers observatorium i Rundetaarn ikke blot var en tilføjelse til tårnet, men en integreret og instrumentdrevet ombygning, hvor funktion i højere grad end form var styrende. Det ændrer dog ikke på, at tårnet ikke var ideelt som observatorium. Astronomerne blev forstyrret af de folk fra nær og fjern, der gerne ville nyde udsigten fra toppen af tårnet, og selv uden generende turister blev observationerne besværliggjort af vogne, der kørte forbi på Købmagergade, og kirkeklokker, der bimlede i tagrytteren på taget af Trinitatis Kirke, for ikke at tale om vejret. G.F. Ursin, der selv kendte til udfordringerne, anfører således, at "en blot nogenlunde stærk Blæst blev allerede paa Taarnet en Storm, lige skadelig og forstyrrende for Instrumenterne som for Observatorens Helbred".[17]

De omtalte skavanker til trods bibeholdt Observatoriet på toppen af Rundetaarn sin status som Danmarks officielle hovedobservatorium i mere end 200 år, og faktisk spiller det også en rolle i det, der først og fremmest har sikret Ole Rømers navn for eftertiden, nemlig opdagelsen af, at lys har en hastighed.

Opdagelsen bygger på de observationer af Jupiters måne Io, som gennem otte år er foretaget enten af Rømer og Jean Picard i fællesskab eller af Picard alene, og mindst to af disse observationer, emersionerne den 14. marts og den 6. april 1672, er lavet i København. De er antagelig foretaget af Picard, der på det tidspunkt var flyttet ind i astronomernes værelser på etagen lige under selve Observatoriet.[18] Og hvad var så mere nærliggende end at benytte det astronomiske tårn til at rette kikkerten ud i verdensrummet, som det stadig sker den dag i dag på toppen af Europas ældste fungerende observatoriebygning?

Litteratur

[1] *Andersen. H.C. Andersens samlede værker*. Eventyr og Historier I. 1830–1850. Det Danske Sprog- og Litteraturselskab, Gyldendal, 2003.

[2] [Thomas] Bugge: "Historisk Efterretning om Kiøbenhavns Observatorium og dets Astronomer fra 1636 til 1777". I *Kiøbenhavns Universitetsjournal*, Første Aargang, Fjerde Hefte, 1793.

[3] Claus Fabricius, Niels Therkel Jørgensen og Chr. Gorm Tortzen (red.): *Ole Rømer's Triduum*. Volume II: *Peder Horrebow's* Basis Astronomiæ. Society for Danish Language and Literature, 2023.

[4] Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer. Korrespondance og afhandlinger samt et udvalg af dokumenter*. Det Danske Sprog- og Litteraturselskab, C.A. Reitzels Forlag, København, 2001.

[5] *Holger Jacobæus' Rejsebog (1671–1692)*. Udgivet af Vilhelm Maar. København, Gyldendalske Boghandel, Nordisk Forlag, 1910.

[6] Kirstine Meyer: *Om Ole Rømers Opdagelse af Lysets Tøven*. København, 1915.

[7] Axel V. Nielsen: *Ole Rømer. En Skildring af hans Liv og Gerning*. Aarhus, 1944.

[8] Andreas Nissen: "Rundetaarn som Observatorium". I *Rundetaarn 1637–1937*. Levin & Munksgaard, Ejnar Munksgaard, København, 1937.

[9] Thorkil Damsgaard Olsen: "1685-almanakken og de gamle universitetsalmanakker". I *Københavns Universitets Almanak. Skriv- og Rejse-Kalender for det år efter Kristi fødsel 1985*.

[10] [Jean] Picard: *Voyage d'Uranibourg ou observations astronomiques faites en Dannemarck*. Paris, 1680 (i *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de Sa Majesté, pour perfectionner l'astronomie et la geographie*. Paris, 1693).

[11] Rigsarkivet, København: Københavns Universitet: Sager henhørende til Astronomisk observatorium (1700–1766), pk. 1612–01.

[12] Claus Thykier, Kjeld Gyldenkerne og Per Barner Darnell (red.): *Dansk astronomi gennem firehundrede år*. Bind 2. Rhodos, 1990.

[13] "Trinitatis kirke". I *Danmarks Kirker*, København, 1:2. 1960–65.

[14] [G.F. Ursin:] *Historisk Beretning om Universitæts-Observatoriet paa Rundetaarn*. Kjøbenhavn, 1826.



Rasmus Agertoft er ansvarlig for historie og formidling i Rundetaarn, der under overskriften Lysår 2026 markerer 350-året for Ole Rømers opdagelse af lysets tøven med udstillinger og arrangementer. Han er cand.mag. i litteraturvidenskab fra Københavns Universitet.



Christina Toldbo er uddannet astrofysiker og har en ph.d. i rumteknologi. I dag er hun leder af Observatoriet i Rundetaarn, hvor hendes opgaver består i at formidle astronomi og verdensrum til børn og voksne med udgangspunkt i Rundetaarns centrale rolle i dansk astronomihistorie.

[16] Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer*, s. 289. Jf. Axel V. Nielsen: *Ole Rømer*, s. 99.

[17] [G.F. Ursin:] *Historisk Beretning om Universitæts-Observatoriet paa Rundetaarn*, s. 28.

[18] Kirstine Meyer: *Om Ole Rømers Opdagelse af Lysets Tøven*, s. 7 og 25. Jf. Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: *Ole Rømer*, s. 171.

Ole Rømers planetarium og eklipsarium

Poul Darnell og Frank Nielsen

Filosoffen og matematikeren G.W. Leibniz opfattede verden som en maskine. Ole Rømer og Christiaan Huygens, begge medlemmer af det franske videnskabelige akademi, var talsmænd for den samme tankegang, der i og for sig ikke var Leibniz' opfindelse – den lå i tiden. Disse tre indledte et frugtbart samarbejde, mens de opholdt sig ved Paris-observatoriet, og deres tanker om blandt andet lysets natur, skulle blive en af de grundsten, hvorpå Newton byggede. At bygge modeller af "Den Store Maskine" var derfor nærliggende. Både Ole Rømer og Chr. Huygens [1] kom til at beskæftige sig med konstruktion af planetmaskiner.

Rømer konstruerede flere planetmaskiner. Formålet var dels at illustrere himmellegemernes bevægelser, dels at anvende dem som mekaniske regnemaskiner for hvornår man rent faktisk kunne observere fænomenerne på himlen, idet man må huske på, at man på dette tidspunkt kun havde få tabelværker til rådighed, som angav stjernernes bevægelser.

De historiske planetmaskiner

Alle Rømers planetmaskiner blev konstrueret under opholdet i Paris, og de kan angives i følgende kronologiske rækkefølge:

1. Et planetarium (1677) som var i stand til at vise Tycho Brahes verdensbillede. Denne maskine blev senere opsat på Rundetårn (1697) for at ære Tycho.

2. Et jovilabium som var en maskine, der viste de inderste fire Jupitermåners kredsløb om planeten (1677). Denne maskine blev konstrueret i forbindelse med Rømers påvisning af, at lyset havde en endelig hastighed (1676).

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

4. Et planetarium som viser de dengang seks kendte planeters kredsløb om Solen (1680).

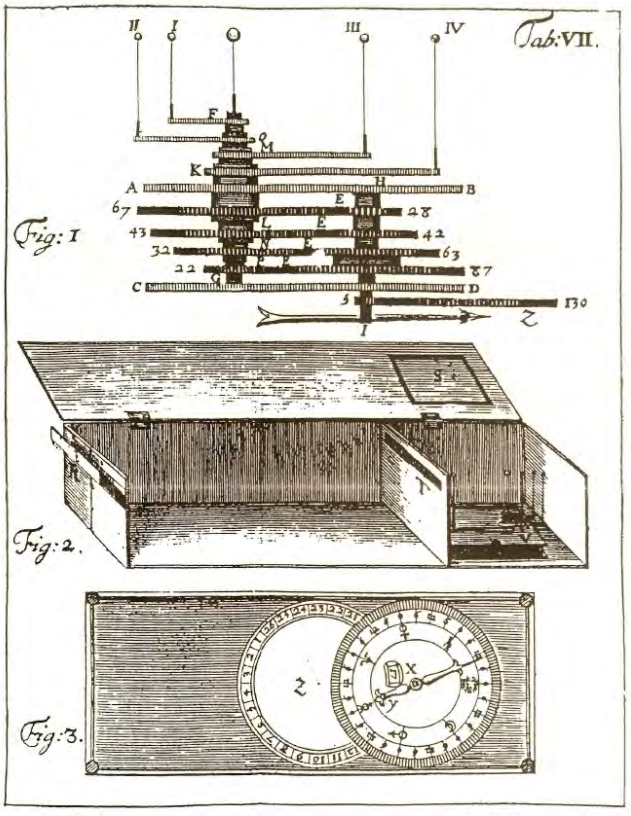
5. Et eklipsarium, som er en maskine, der er i stand til at vise såvel Solens som Månens formørkelser (1680).

Denne artikel vil primært beskæftige sig med de to sidstnævnte maskiner, som også er de to mest avancerede. Af de to maskiner blev der i alt udført tre sæt. Det første sæt blev fremstillet til Solkongen Ludvig XIV, og det blev anvendt til undervisning af kronprinsen, for hvem Ole Rømer var lærer.

Det andet sæt blev fremstillet som fyrstegave til shahen af Persien, og et tredje sæt blev delt mellem den kinesiske kejser K'hang-hsi og kongen af Siam. Formålet med disse gaver var primært at demonstrere Frankrigs tekniske og videnskabelige formåen[1]. Det fjerde sæt blev fremstillet til den danske konge Christian den Femte, der selv måtte betale 1200 rigsdaler for de to maskiner, som Rømer havde med sig hjem, da han vendte tilbage til Danmark i 1681.

Af de nævnte maskiner eksisterer i dag kun de danske og franske eksemplarer på henholdsvis Rosenborg Slot i København og på Bibliothéque Nationale i Paris.

Det danske eksemplar af planetariet har altid befundet sig i kongens samling på Rosenborg Slot, hvorimod eklipsariet på et tidspunkt blev udlånt til Søkadet Akademiet og benyttet til undervisning. Det blev nævnt, at maskinen var gået tabt ved en brand på Gammelholm i København i 1795. Påstanden om tabet blev gentaget så mange gange senere, at den til sidst blev den anset for at være sand!



Figur 1. Ole Rømers jovilabium, der viste de inderste fire Jupitermåners kredsløb om planeten.

Det skulle imidlertid senere vise sig, at maskinen stadigvæk fandtes, idet den i 1982 blev fremdraget bag et hemmeligt panel på Rosenborg Slot. I denne forbindelse tilbød det daværende Ole Rømers Museum

[1]Det kinesiske sæt har forfatterne eftersøgt i Peking; men det blev sandsynligvis ødelagt under boxeroprøret i 1906. Da Shahen fandt ud af, at det sæt. som han havde modtaget. ikke var af rent guld, men blot var forgyldt, blev hans eksemplar kasseret. Det sæt som kom til Siam har vi ikke kunnet finde nogen informationer om.

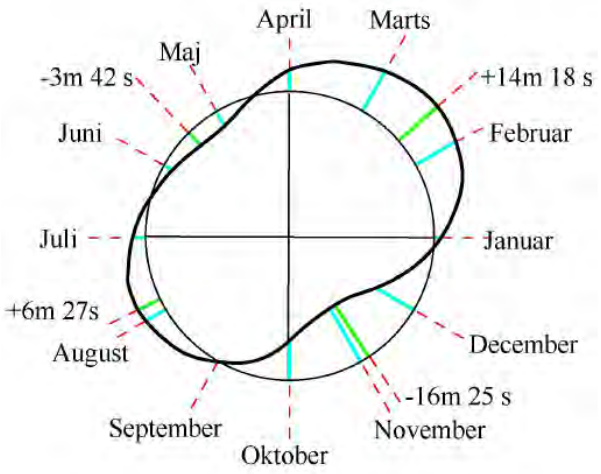
Rosenborg kvit og frit at adskille, opmåle, tegne og beskrive eklipsariet. Dette arbejde blev udført i årene 1982-84 af Poul Darnell, og det kom også til at omfatte Rømers planetarium.

Teknikken i planetmaskinerne

Teknikken i jovilabiet, saturnilabiet og planetariet består af rene tandhjulskonstruktioner. Figur 1 viser jovilabiet. Stikket stammer fra *Basis Astronomiæ* [2].

Som det ses, består apparatet af to sæt tandhjul. Hvert sæt består af 4 koncentriske tandhjul, som går i indgreb med tandhjulene i det andet sæt. På sættet til højre hvorpå viseren er fastgjort, er alle tandhjulene gjort fast til en fælles aksel, hvorimod tandhjulene på den anden aksel er frit bevægelige i forhold til hinanden, idet de sidder på hver sin hule aksel. Hver af disse aksler bærer foroven en af Jupiters måner. På denne måde opnåede Rømer, at når viseren drejes, da drejes også de fire jupitermåner med korrekte omløbstider, som angivet med viseren. Princippet med de to sæt tandhjul er bibeholdt i alle Rømers planetmaskiner på nær i eklipsariet, idet denne maskine udover tandhjul også er forsynet med to kurveskiver.

En kurveskive er en plan skive, hvis form er tilpasset dens formål, og som ikke er en cirkel, men som alligevel drejes om et centrum. Når kurveskiven drejes, aflæses skivens varierende radier kontinuerligt af en føler; eller – som man ville udtrykke det i dag – føleren læser de "data", som er "indlæst på skiven". Når kurveskiven har drejet 360 grader, gentages aflæsningen af skivens data.



Figur 2. Kurveskive benyttet i Tompions tidsækvationsur.

De første skriftlige beretninger vi har om anvendelse af kurveskiver, stammer fra den hollandske fysiker Christian Huygens. Han skriver i et brev til sin bror Constantin i London [3], der var sekretær for den engelske konge William den Tredje, at han havde konstrueret et tidsækvationsur, som: "også viser soltimerne uden behov for tidsækvationstabeller". Brevet er dateret den 4. marts 1695, og det fremgår også af dette, at broderen har talt med den engelske urmager Thomas Tompion herom.

Efterfølgende fremstillede Thomas Tompion et ur, som det ovenfor omtalte til William den Tredje, og dette ur findes i dag på Buckingham Palace.

Den nyreformede kurveskive, som blev benyttet i det engelske ur til at generere forskellen mellem middelsoltid og sand soltid, er vist på figur 2. Det ses at tidsækvationen er plottet i et polært koordinatsystem. Længderne af de grønne og de blå linjestykker angiver altså forskellen mellem middelsoltid og sand soltid i årets løb.

Ud fra ovenstående, er det derfor ganske tankevækkende, at Ole Rømer allerede 15 år tidligere havde benyttet ikke blot en men to kurveskiver af hver sin form og med hver sin omløbstid og -retning i sit eklipsarium. Rømers planetmaskiner blev fremstillet af Ludvig den Fjortendes hofurmager Isaac Thuret.

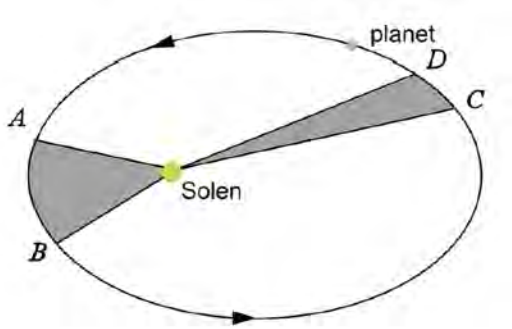
Planetbevægelsen

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

De to første love lyder (figur 3):

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

2. Linien mellem Solen og en planet overstryger lige store arealer i lige lange tidsrum.



Figur 3. Planetbane med Solen i centrum.

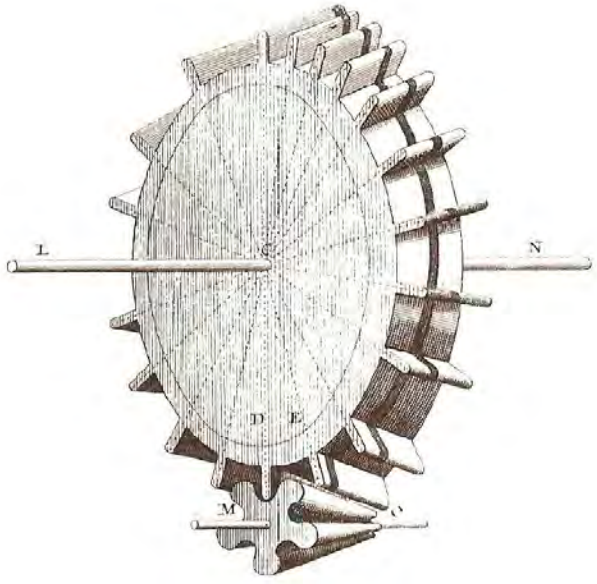
På figur 3 skal det altså være sådan, at når de to grå arealer er lige store, så bruger planeten samme tid om at gå fra A til B, som den bruger om at gå fra C til D.

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

Af Keplers 2. lov følger, at en planets hastighed varierer langs dens banekurve. Den er størst i perihelium, som er det punkt, hvor planeten er nærmest Solen, og mindst i aphelium, hvor den er længst væk fra Solen. Det var denne variation i planetbevægelsen der blev Rømers mekaniske udfordring!

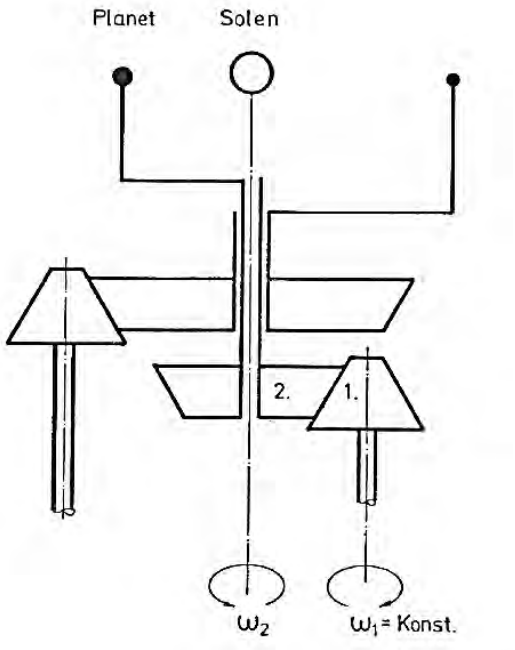
Forstudiet til planetariet

Da det planetarium som Rømer ønskede at fremstille, skulle være en maskine, som var i stand til at angive sammenhørende positioner og tider for planeterne, måtte han opfinde en mekanisme, som kunne omforme en konstant vinkelhastighed til en forudbestemt periodisk variation. Denne mekanisme måtte han så anvende for hver enkelt planet i sin maskine. At dette har voldt ham besvær, ses af en tilsyneladende ubenyttet opfindelse, som han må have gjort i denne forbindelse. (figur 4).



Figur 4. Udkast til tandhjul med varierende vinkelhastighed.

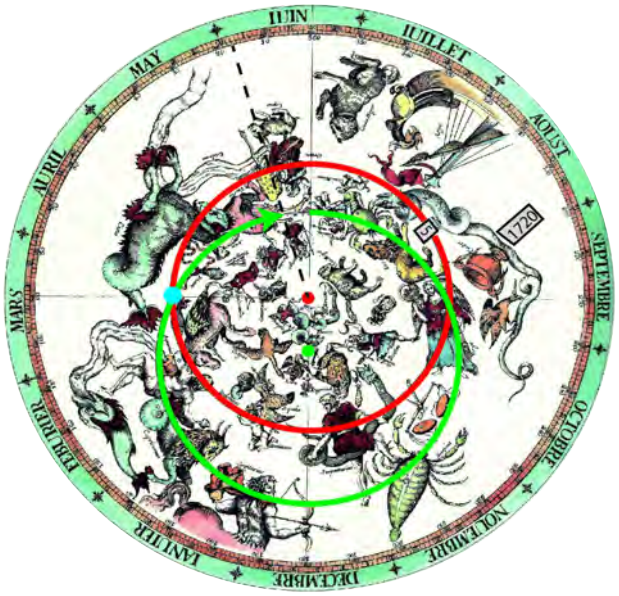
Som det ses af figuren, består mekanismen af to kegleformede tandhjul, der går i indgreb med hinanden. Hvis det lille tandhjul på akslen M-O antages drejet med en konstant vinkelhastighed ω_1, vil det store tandhjul få en varierende vinkelhastighed ω_2, fordi tænderne på det store tandhjul ikke er jævnt fordelt. Nogle steder sidder de tæt ved hinanden, andre steder er afstanden større. Denne uregelmæssighed gør indgrebet mellem de to tandhjul vanskeligt. Derfor forestillede Rømer sig, som vist på figuren, at man kunne gøre de to tandhjul kegleformede og dernæst kun beholde den tynde, sorte del af det øverste tandhjul. At mekanismen ikke blev anvendt skyldes sikkert, at den i praksis er næsten umulig at fremstille.



Figur 5. Mulig konstruktion med variable vinkelhastigheder.

Figur 5 viser forfatternes forslag til hvorledes Rømer principielt ville have været i stand til at sammensætte et planetarium ved anvendelse af ovennævnte koniske tandhjul; men Rømers konstruktion vil kunne udvides til seks par tandhjul; dvs. et par pr. planet.





Figur 6. Planetariets stjerneside. Øverst et fotografi og nederst et farvelagt aftryk lavet af urmager Søren Andersen. Der er to kredse på stjernekortet, som er svære at se, og derfor fremhævet på aftrykket. Stjerner på himlen, der ligger lodret over Jordens ækvator, ligger på himlens ækvator (den røde cirkel), som har centrum i den røde polarstjerne. Solens årlige bane mellem stjernerne er den grønne ekliptika med centrum i det grønne punkt. Solen krydser himlens ækvator fra syd mod nord i det blå punkt, der kaldes forårspunktet, hvor Solen står omkring den 21. marts. Der er to små vinduer i stjernesiden. I det ene vises et tiår fra 1580 til 1780, og i det andet et antal år fra 0 til 9. Når nøglen drejes en omgang med uret lægges der 1 til det årstal, der vises. På figuren er det årstallet 1725.

Fordi konstruktionen kun kunne udføres principielt og ikke i praksis, afstod Rømer åbenbart fra at løse problemet med planeternes hastighedsforhold på tilfredsstillende vis. Dette blev i hvert fald en manglende

finesse ved det planetarium, som blev færdiggjort i 1680.

Planetariets udseende

Det færdige planetarium fra 1680 fremstår som et fornemt, forgyldt kunsthåndværk lige så meget som et videnskabeligt instrument. Maskinen står på en udsmykket fod og kan betjenes fra begge sider. 2. For en mere detaljeret beskrivelse af planetariet henvises til [4].

Stjernesiden (figur 6) er domineret af et detaljeret stjernekort med mere end hundrede enkelte stjerner og mange graverede figurer, der forestiller de klassiske stjernebilleder. I midten sidder den nøgle, som brugeren drejer på. Når man drejer nøglen, bevæger timekredsen sig – en ring markeret med sorte romertal, der svarer til døgnets timer. Samtidig skifter årstallet i to små vinduer, så man kan stille maskinen til et bestemt år.

Inden for stjernekortet ligger to vigtige cirkler: himlens ækvator og ekliptika, Solens årlige bane blandt stjernerne. Det sted, hvor Solen krydser ækvator fra syd mod nord, er forårspunktet, og netop dette punkt spiller en central rolle i hele maskinens opbygning. Rømers stjernekort er særligt interessant, fordi det viser, hvordan han tænkte sig himlen ordnet, og hvordan han mekanisk omsatte denne forståelse til en drejelig skive.

Foran stjernekortet ligger to bevægelige ringe. Den inderste er timekredsen, der følger nøglen én omgang om året. Udenpå denne sidder horisontskiven, som markerer den del af himlen, der er synlig fra Jorden på et bestemt tidspunkt. Ved først at stille årstal, derefter dato og til sidst klokkeslæt, kan man på stjernesiden få et billede af den nattehimmel, man ville have set på det valgte tidspunkt.

Planetsiden (figur 7 og 8) viser en helt anden, men lige så fascinerende verden. Her står Solen i midten, og omkring den løber seks cirkulære baner for de planeter, man kendte i Rømers tid: Merkur, Venus, Jorden, Mars, Jupiter og Saturn. Hver planet er repræsenteret af en lille halvædelsten, som sidder på en messingring, der glider i en rille langs planetbanen. Når man drejer nøglen på stjernesiden, sættes disse ringe i bevægelse gennem et skjult system af tandhjul inde i maskinen.

Jordens bane er gjort bredere end de andres, fordi Rømer også har indbygget Månens kredsløb. Månen er markeret som en lille stift på kanten af en sølvskive, der bevæger sig rundt inde i Jordens bane.

Det mest elegante ved planetariet er samspillet mellem de to sider. Man kan først dreje planeterne frem til et bestemt tidspunkt på planetsiden, aflæse deres længde i forhold til ekliptika og derefter overføre denne position til stjernesiden. Her kan man se, om planeten befinder sig over horisonten, og dermed om den i praksis ville kunne observeres fra Jorden.

Hvert planetkredsløb styres af sit eget tandhjulssystem, så hver planet bevæger sig med sin egen hastighed – hurtigst for Merkur og langsomst for Saturn. Rømer har altså ikke blot drejet planeterne tilfældigt rundt; han har mekanisk indkodet deres indbyrdes forhold, så modellen så godt som muligt efterligner virkeligheden.

Selvom banerne er cirkulære af praktiske grunde, har Rømer forskudt Solens placering i forhold til banecentrene. Det giver små variationer i planeternes bevægelse, som minder om de reelle forskelle i hastighed, når planeterne er tættere eller længere væk fra Solen.



Figur 7. Planetariets planetside.

Planetbanernes geometri

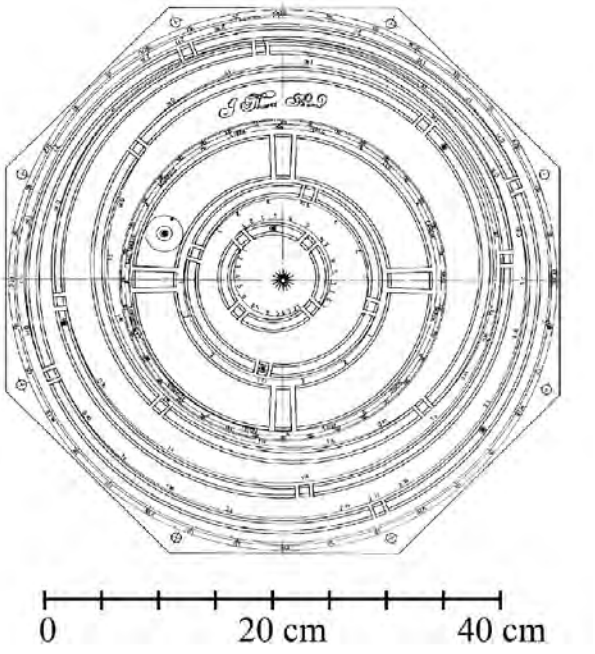
Når man ser på planetsiden som helhed, bliver det tydeligt, at Rømer har tænkt både æstetisk og videnskabeligt. Banerne ligger som smukke, koncentriske cirkler, men de er ikke helt jævnt fordelt. De inderste planeter – Merkur, Venus og Jorden – er placeret med forholdsvis realistiske indbyrdes afstande, mens Jupiter og Saturn er trukket tættere ind, end de egentlig burde være.

Denne sammenpresning var nødvendig for overhovedet at kunne bygge maskinen i en rimelig størrelse. Hvis Saturns bane skulle have haft sin korrekte afstand i forhold til Jorden, ville hele planetariet have været så stort, at det nærmest var upraktisk som bordmaskine.

Rømer har også markeret, at planetbanerne ikke ligger helt i samme plan. Små broer og tal på planetsiden viser, hvor planeterne krydser ekliptika og hvor meget de hæver sig over eller sænker sig under dette plan. Det er en subtil detalje, men den viser, at Rømer havde blik for de tredimensionelle aspekter af Solsystemet.

I moderne tid har man testet, hvor præcist planetariet faktisk er. Når man stiller maskinen til bestemte historiske datoer og sammenligner planeternes placering

med moderne astronomiske beregninger, viser det sig, at modellen fungerer overraskende godt – især for Mars og Jupiter.



Figur 8. Målfast tegning af planetsiden.

Merkur og Venus er mere upræcise, dels fordi deres bevægelser er hurtige og vanskelige at gengive mekanisk, og dels fordi Rømers tidspunkter for indstilling ikke altid passer perfekt med nutidens kalendere. Saturn viser de største afvigelser, hvilket især skyldes, at dens bane i modellen er for tæt på Solen i forhold til Jorden.

Alligevel er konklusionen klar: for Rømers samtid har planetariet været et yderst anvendeligt redskab til observationsplanlægning. Det gav ikke millimeterpræcise positioner, men det gav et pålideligt overblik over himlen – og det var netop det, man havde brug for.

Astronomiske forudsætninger for eklipsariet

For at forstå, hvad Ole Rømer ville med sit eklipsarium, må man først have en enkel fornemmelse af, hvornår formørkelser overhovedet kan ske.

En solformørkelse opstår ved nymåne, når Månen kommer ind mellem Jorden og Solen og kaster sin skygge ned på Jorden. En måneformørkelse sker derimod ved fuldmåne, når Jorden står mellem Solen og Månen og Jorden kaster sin skygge ud i rummet. Hvis Månen kredsede rundt om Jorden i præcis samme plan som Jorden kredser om Solen, ville vi have formørkelse hver måned – men sådan er virkeligheden ikke. Månens bane hælder omkring 5 grader i forhold til Jordens baneplan, og derfor passer Solen, Jorden og Månen kun sjældent helt præcist på linje.

Der findes en særlig linje i rummet – den såkaldte knudelinje – hvor Månens bane skærer Jordens baneplan. Kun når Solen står tæt på denne linje samtidig med nymåne eller fuldmåne, kan der opstå formørkelser. Denne knudelinje drejer langsomt rundt i løbet af cirka 346 dage, et såkaldt knudeår.

Rømers store udfordring var derfor: hvordan laver man en mekanisk maskine, der kan forudsige disse sjældne sammenfald?

Rømers formørkelsesmodel

I stedet for at forsøge at gengive hele Solsystemet realistisk byggede Rømer en overraskende abstrakt mekanisk model. I denne model findes der hverken en rigtig Sol eller en rigtig månebane.

Tanken var, at hvis man kunne få Månen til at bevæge sig på den rigtige måde i forhold til en roterende knudelinje, ville man automatisk ramme de tidspunkter, hvor formørkelser måtte forekomme.

Rømer indførte derfor en særlig kurveskive – den såkaldte baneskive – som roterede langsomt, mens Månen samtidig bevægede sig rundt på skivens rand. Når Månen ramte to bestemte punkter på denne skive, svarede det i virkeligheden til, at Solen og Månen stod på knudelinjen – og dermed til en formørkelse.

Det bemærkelsesværdige er, at modellen slet ikke ligner virkeligheden, men alligevel giver de rigtige tidspunkter for formørkelser.



Figur 9. Eklipsariets kalenderside.

Beskrivelse af eklipsariet

Det færdige eklipsarium er ligesom planetariet en dobbeltsidet messingmaskine. For en mere detaljeret beskrivelse af eklipsariet henvises til [5].

På den ene side findes kalendersiden (figur 9), hvor en stor viser langsomt drejer rundt én gang om året og peger på årets 365 dage. I to små vinduer kan man samtidig aflæse årstallet mellem 1580 og 1779. Når viseren bevæger sig, trækker den via tandhjul hele maskineriet i gang.

På den anden side findes månesiden (figur 10), som er langt mere kompleks. Her ses en stor, drejelig messingskive med en smal revne, hvorigennem en lille sort måneskive bevæger sig. Denne måneskive glider ikke blot rundt i cirkel, men bevæger sig også lidt ind og ud i forhold til centrum, som om Månen nogle gange er tættere på Jorden og andre gange længere væk.

Yderst på denne side findes to faste cirkler: en øverst, hvor solformørkelser vises, og en nederst, hvor måneformørkelser vises. Når den lille sorte måneskive rammer én af disse markeringer, betyder det: nu er der formørkelse.

Inde i maskinen ligger et indviklet system af tandhjul og to særlige kurveskiver, som tilsammen styrer Månens bevægelse og baneskivens rotation. Det hele drives af den årlige kalenderbevægelse, men omsættes til månens cyklusser gennem nøje udvalgte tandhjulsforhold.



Figur 10. Eklipsariets måneside.

I virkeligheden bevæger Månen sig ikke helt jævnt rundt om Jorden. Den går hurtigere, når den er tæt på Jorden, og langsommere, når den er længere væk.

For at tage højde for dette indførte Rømer en anden kurveskive – hastighedsskiven. Denne skive er ikke centreret som en normal cirkel, men let forskudt, så en følerarm vipper frem og tilbage, mens skiven drejer.

Denne vippen overføres mekanisk til måneviseren og gør dens bevægelse en smule ujævn – på omtrent samme måde som i virkeligheden.

Rømers løsning er ikke perfekt, men han valgte bevidst en moderat korrektion, så maskinen ikke blev for ustabil, men stadig mere realistisk end uden skiven.

Da eklipsariet blev genfundet på Rosenborg i 1982, blev det restaureret og senere kopieret. For første gang kunne man systematisk teste, hvor godt Rømers maskine faktisk fungerede.

Man sammenlignede maskinens visninger med virkelige formørkelser mellem 1687 og 1715. Resultatet var imponerende, for omkring 96% af alle virkelige formørkelser blev korrekt vist og samtidig viste maskinen kun få "falske" formørkelser. Uden hastighedsskiven ville præcisionen have været mærkbart dårligere, hvilket viser, at Rømers ekstra mekaniske finesse faktisk gjorde en reel forskel.

Afslutning

Ole Rømer forenede på en enestående måde teori og praksis. I Paris bidrog han til forståelsen af lysets natur og konstruerede sine berømte planetmaskiner, mens han i København udviklede centrale videnskabelige instrumenter som meridiankredsen og forbedrede termometre. Samtidig arbejdede han med praktiske samfundsopgaver som vandforsyning og veje.

Hans planetarium og eklipsarium viser denne dobbelte begavelse i konkret form. Hvor planetariet giver et mekanisk overblik over Solsystemets struktur, demonstrerer eklipsariet på snedig vis formørkelsernes rytme gennem en abstrakt, men yderst effektiv model.

Når man i dag ser maskinerne på Rosenborg Slot, står de som vidnesbyrd om 1600-tallets ambition om at forstå og ordne kosmos gennem en tæt forbindelse mellem videnskab og mekanik – og om Rømers særlige evne til at omsætte teori til mesterlig teknik.

Litteratur

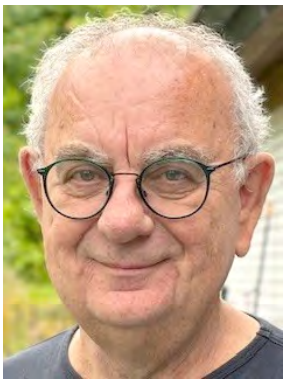
[1] H. C. King (1978) "Geared to the stars, The evolution of planetariums, orreries and astronomical clocks", Toronto.

[2] P. Horrebow (1735) Basis Astronomiæ, København.

[3] H. A. Lloyd (1958) "Some outstanding Clocks over seven Hundred Years 1250-1950", Leonard Hill Books, London, side 81.

[4] P. Darnell og F. Nielsen (2013) "Ole Rømers planetarium", *Meddelelser fra Ole Rømers Venner, Det Danske Rømer Selskab*, bind **21**, www.oleroemer.dk

[5] P. Darnell og F. Nielsen (2012) "Ole Rømers glemte formørkelsesmaskine fra 1680", *Meddelelser fra Ole Rømers Venner, Det Danske Rømer Selskab*, bind **20**, www.oleroemer.dk



Poul Darnell er pensioneret privatansat ingeniør. Han har modtaget Aarhus Universitets sølvmedalje i videnskabshistorie (1987).



Frank Nielsen er cand.mag. i matematik, fysik, astronomi og kemi og forhenværende lektor på DTU. Han er forfatter til lærebøger og artikler om matematik og har bidraget til hjemmesiden fysikhistorie.dk, som årlige har over 100.000 besøgende.

Nyt fra Kvant

Jens Olaf Pepke Pedersen, Kvant

Ændringer i Kvants redaktion

Kvants udgivere har besluttet at justere den redaktionelle struktur, så redaktionen fremover vil være mindre. I den forbindelse siger vi farvel til Michael Cramer Andersen, Steen Lærke, John Rosendal Nielsen, Finn Berg Rasmussen og Svend Erik Rugh. Michael Cramer Andersen var redaktør for Kvant i perioden 2004–2017 og har sammen med de øvrige gennem mange år bidraget til bladet med stort engagement og faglig tyngde.

Samtidig har vi haft fornøjelsen af at byde Bertil Dorch velkommen i redaktionen.

Der skal rettes en stor og oprigtig tak til de medlemmer, der nu træder ud af redaktionen. De har hver især sat et tydeligt præg på Kvant – gennem artikler, anmeldelser, idéer og ikke mindst gennem den faglige samtale, som er en væsentlig del af redaktionsarbejdet. Deres indsats har været med til at forme bladet, som det fremstår i dag.


Ny volt, ny ohm, ny temperaturskala

Figur 1. Til venstre: Finn Berg Rasmussen skriver i det første nummer af Kvant fra 1990 om nye vedtægter for størrelsen af en volt og en ohm samt om en ny temperaturskala. Til højre: Forsiden af Michael Cramer Andersens første nummer af Kvant som ansvarshavende redaktør. Kvant har sat en ære i at bevare et genkendeligt layout gennem alle årene.

En særlig tak skal lyde til Michael Cramer Andersen, der som redaktør gennem 13 år har sat et afgørende og varigt præg på Kvants faglige profil og udvikling, samt til Finn Berg Rasmussen, som var med til at starte Kvant i 1990 og har siddet i redaktionen lige siden, hvor han bl.a. i mange år har redigeret og layoutet breddeopgaverne. Han repræsenterer dermed en enestående kontinuitet i bladets historie.

Tak for indsatsen – og for samarbejdet!

Stor bevilling fra Novo Nordisk Fonden

Novo Nordisk Fonden har bevilliget 130.000 kr. til Louise Kindt, der er kasserer i DFS samt specialkonsulent på DTU Fysik og på Matematisk Institut på KU.

Bevillingen skal styrke Kvant som en central platform for fysikformidling i Danmark, og en vigtig del af projektet er en omlægning til Open Access. Det betyder, at alle de tidligere udgaver af Kvant – omkring 144 numre og 800 artikler – vil blive genudgivet på Det Kongelige Biblioteks platform *Tidsskrift.dk*, hvor en del artikler allerede kan læses. Herved bliver artiklerne frit tilgængelige og forsynet med en DOI (Digital Object Identifier), som er et permanent digitalt ID, der sikrer, at en artikel altid kan findes, uanset hvor den ligger online.

Projektet omfatter desuden udvikling af en digital publiceringsstruktur med løbende udgivelser og fagfællebedømmelse, samtidig med at den trykte udgave videreføres. Der bliver lagt særlig vægt på at inddrage yngre forskere, blandt andet gennem et nyt ph.d.-format, som Louise Kindt allerede introducerede i Kvant sidste år, hvor ph.d.-studerende får mulighed for at beskrive deres projekt på 2 sider.

Projektet startede 1. januar 2026 og løber til 30. juni 2026, og Louise Kindt vil i projektperioden være tilknyttet redaktionen som digital redaktør.

Nyt fagpanel for Kvant

Kvant etablerer som en nyskabelse et panel af fagredaktører, der skal bidrage til den faglige vurdering af artikler, anmelde bøger, foreslå emner og forfattere samt selv skrive. Panelet er tænkt som en fleksibel faglig ressource, der understøtter det redaktionelle arbejde og bidrager til bladets kvalitet og bredde, samtidig med at der sikres en større spredning på fag og geografi.

Panelets medlemmer kan medvirke til faglig vurdering af indsendte artikler, foreslå emner og forfattere, anmelde faglitteratur samt bidrage med egne artikler. Bidrag sker efter aftale med redaktionen og tilpasses den enkelte medlems tid og interesse.

Den faglige vurdering har til formål at sikre faglig korrekthed, klar formidling og relevans for Kvants læsere. Reviewprocessen er enkel og dialogbaseret med fokus på konstruktiv feedback til forfatteren, og medlemmer påtager sig alene opgaver inden for deres eget fagområde.

Panelet fungerer ikke som et mødeforum, men som et netværk af faglige bidragydere, hvor kommunikationen primært foregår via redaktionen. Der er ingen faste krav til antal bidrag, og deltagelsen er frivillig.

Panelet tilstræbes sammensat med bred repræsentation fra universiteter, gymnasier og anvendte fagmiljøer. I forbindelse med konkrete opgaver forventes medlemmer at erklære eventuelle interessekonflikter.

Bidrag til Kvant skal forene faglig tyngde med klar og tilgængelig formidling, og panelet medvirker til at fastholde en høj faglig standard samtidig med, at bladet er læsbart for en bred målgruppe.

Interesserede opfordres til at henvende sig til redaktøren på kvant@kvant.dk.

Kvant-nyheder

Christine Pepke Gunnarsson, KVANT

350 år efter Rømer: Lysets hastighed er stadig konstant

Fortsat fra bagsiden

I det nye studie analyserede forskerne observationer af meget højenergetiske gammastråler fra fjerne kilder i universet. Ideen er simpel: Hvis lysets hastighed afhænger af energi, burde der opstå små forskelle i ankomsttiden, som vokser med afstanden til kilden.

Forskerne kombinerede tidligere målinger af højenergigammastråler og anvendte en ny statistisk metode til at teste en række parametre, der beskriver mulige brud på Lorentz-invariansen i udvidelser af standardmodellen.

Målet var i princippet at finde en afvigelse fra Einsteins teori. Men som så mange gange før lykkedes det ikke. Forskerne fandt ingen tegn på, at lysets hastighed afhænger af energi. Til gengæld kunne de forbedre grænserne for mulige afvigelser med en faktor 10 i forhold til tidligere målinger.

Hvis Lorentz-invariansen brydes, må effekten altså være endnu mindre, end man hidtil har kunnet måle.

Diskussionen om lysets tøven er derfor stadig aktuel. Med mere præcise målinger kan forskere teste en af fysikkens mest grundlæggende antagelser – og indtil videre tyder alt på, at lysets hastighed stadig er konstant.

Kilde: M. Guerrero m.fl (2025) "Bounding anisotropic Lorentz invariance violation from measurements of the effective energy scale of quantum gravity", *Physical Review D*, bind **112**, side 104002. DOI: https://doi.org/10.1103/k3xg-wkrc.

Kvantepunkter udsender sammenfiltrede fotoner "on demand"

KVANTEMEKANIK. Forskere har vist, hvordan såkaldte kvantepunkter kan designes til at udsende kvantemekanisk sammenfiltrede (entangled) fotoner – og endda gøre det on demand, altså præcis når man ønsker det.

Et kvantepunkt er en nanometerskala struktur i et halvledermateriale, der opfører sig som et kunstigt atom med diskrete energiniveauer. Ved at designe halvledermaterialet omkring kvantepunktet kan forskere styre dets optiske egenskaber og dermed kontrollere, hvordan det udsender lys.

Sammenfiltring – eller entanglement – er en kvantemekanisk egenskab, hvor to partikler, for eksempel fotoner, deler en fælles kvantetilstand. Måler man en egenskab ved den ene partikel, bestemmer det øjeblikkeligt udfaldet for den anden, selv hvis de befinder sig langt fra hinanden. Sammenfiltring er en central ressource i mange kvanteteknologier, blandt andet kvantekryptografi, hvor den kan bruges til ubrydelig kommunikation.

Traditionelt fremstilles sammenfiltrede fotonpar i ikke-lineære optiske krystaller. Her opstår fotonpar spontant gennem en proces kaldet parametrisk nedkonvertering. Problemet er, at processen er statistisk: nogle gange produceres flere fotonpar, andre gange ingen. Man ved derfor ikke på forhånd, hvornår et par bliver udsendt, og kilden er derfor ikke on demand. Det gør sådanne kilder vanskelige at anvende i større kvantenetværk.



Figur 2. Skematisk tegning af et kvantepunkt indlejret i en optisk mikrosøjle.

Kvantepunkter kan løse dette problem. Et kvantepunkt består typisk af nogle få tusinde atomer i et halvledermateriale, men opfører sig kvantemekanisk som et enkelt atom. Når kvantepunktet belyses med en laser, kan energien excitere en elektron til en højere energitilstand og danne en såkaldt exciton. Når elektronen falder tilbage til grundtilstanden, udsendes en foton.

I det nye forsøg blev kvantepunktet indlejret i en optisk struktur kaldet en mikrosøjle. Strukturen består af flere delvist reflekterende spejle, som sender lyset frem og tilbage gennem kvantepunktet. Ved at optimere spejlenes placering kan forskerne øge sandsynligheden for, at fotonerne udsendes i den ønskede retning.

Når kvantepunktet exciteres med laserlys med en bestemt polarisation, kan det bringes i en højere energitilstand kaldet en biexciton-tilstand. Når kvantepunktet henfalder fra denne tilstand, udsendes to fotoner lige efter hinanden – og de to fotoner er kvantemekanisk sammenfiltrede.

Forskerne viste, at 98,3% af alle udsendte fotoner fra mikrosøjlen kom i sådanne par, udsendt lige efter hinanden. Fotonerne produceres dermed effektivt on demand, hvilket gør teknologien interessant som lyskilde i fremtidige kvantenetværk.

Rømer viste i sin tid, at lyset bevæger sig med en endelig hastighed. I dag undersøger fysikere stadig lyset, men nu for at udnytte dets kvanteegenskaber til informationsteknologi. Udviklingen viser, hvor meget vores forståelse af lys er vokset siden Rømers observationer i 1600-tallet.

Kilde: B. Wu m.fl. (2026) "Purcell-enhanced two-photon emission from a quantum dot via dark-state biexciton loading", *Nature Materials*, bind **25**, side 595–601. DOI: https://doi.org/10.1038/s41563-026-02522-9.

Mere om hvor guldet kommer fra

Bernhard Lind Schistad, Midtbyens Gymnasium, Mercantec

En opmærksom læser har stillet nogle spørgsmål, som fortjener svar i form af en lille opdatering til artiklen *"Hvor kommer guldet fra?"* i *Kvant* nr. 3, 2025 [1]. Jeg vil her gennemgå de punkter, vores læser påpeger.

I artiklen skriver jeg, at forholdet mellem protoner og neutroner "fryser", når temperaturen er faldet til 10^9 K. Vores læser gør opmærksom på, at dette allerede sker ved 10^{10} K. Jeg beklager, at der her har sneget sig en kommafejl ind ved omregningen fra termisk energi til temperatur. Overgangen sker ved 0,8 MeV, som giver en temperatur på $9{,}12 \cdot 10^9$ K.

Der er tre processer, der kan danne tungere grundstoffer end jern i stjerner. Jeg vil her uddybe beskrivelsen lidt mere:

P-processen

P-processen (protonprocessen) foregår ved, at en kerne absorberer en ekstra proton. Da protoner har elektrisk ladning, frastøder de hinanden. Processen kan derfor kun finde sted med høje protonenergier. Tunge kerner er ustabile, hvis de ikke har et overskud af neutroner, så selv om processen øger atomnummeret med $+1$, er der stor sandsynlighed for, at kernen henfalder ved omvendt beta-henfald.

S-processen

S-processen (slow neutron capture) beskriver, at kernen absorberer neutroner enkeltvis, men med et tilstrækkeligt stort tidsinterval til, at ustabile kerner kan nå at henfalde. Det er således ikke muligt at lave store ændringer i atomvægten uden, at atomnummeret løbende også ændres.

R-processen

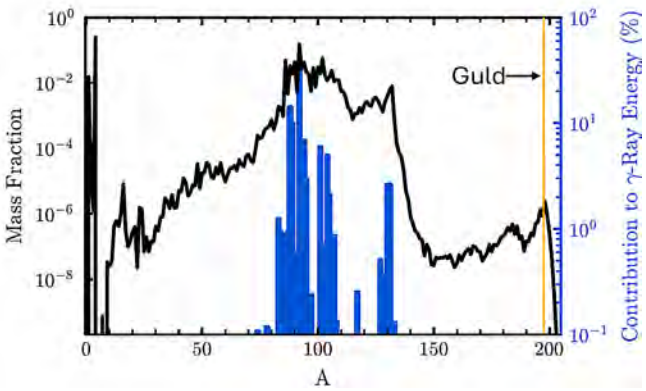
R-processen (rapid neutron capture) kan ske, når densiteten af omgivende neutroner er så høj, at kernen kan nå at absorbere adskillige neutroner i et "haps" uden at nå at henfalde undervejs. Det efterfølgende henfald vil derfor ske fra en isotop af den oprindelige kerne, men med et overskud af neutroner.

I spektret af fotoner i udbruddet fra SGR 1806-20 er jeg kommet til at placere markeringen for guld efter atomnummer ($Z = 80$) i stedet for atomvægt ($A = 197$). Den rigtige markering er vist her:

Vores læser sætter spørgsmålstegn ved konklusionen om, at guldet på Jorden kommer fra en magnetar, der eksisterede før Solsystemet blev dannet. Min konklusion bygger på følgende ræsonnement:

Som beskrevet i artiklen har vi observeret, at guld kan dannes ved kollision mellem neutronstjerner. Men vi ved, at dette er en sjælden begivenhed. Vi har kun en enkelt observation (som er beskrevet i artiklen). Da vi ikke kan lave statistik på én observation, må vi se på populationen af neutronstjerner. For at to skal kollidere, må de være tæt på hinanden. Da Mælkevejen ikke er fuld af omkringfarende neutronstjerner, må der være tale om binære neutronstjerner. Det totale antal er ukendt, men vi har ca. 30 bekræftede observationer. Blandt disse har vi set én kollision.

Vi har observeret ca. 30 magnetarer i Mælkevejen. Det virkelige antal er ukendt, men man regner med, at det er meget højere.



Figur 1. Spektret af fotoner i udbruddet fra SGR 1806-20.

Det er muligt, at der er det samme antal magnetarer og binære neutronstjerner i Mælkevejen, men vi ved, at kollisioner mellem neutronstjerner er meget sjældne begivenheder. Der er derfor mange (inklusive mig selv), som mener, at udbrud fra magnetarer er en vigtigere kilde til tunge grundstoffer end kollisioner mellem neutronstjerner. Hvad der er rigtigt, vil vise sig, hvis vi gør flere opdagelser af tyngdebølger fra neutronstjernekollisioner.

Når vi nu taler om guld, vil jeg gerne nævne en lille kuriositet, når det gælder guldets farve.

Vi har tidligere beskrevet Dirac-ligningen, som er den relativistisk korrekte bølgeligning for elektronen [2].

Dirac-ligningen forklarer, hvorfor guld har den gyldne farve, mens sølv er farveløst. Sølv har atomnummer $Z = 47$, og dets elektroner når ikke tæt på lyshastigheden. Guld har atomnummer $Z = 79$, og de inderste elektroner er tæt på kernen. Dette gør, at de bevæger sig med ca. halvdelen af lyshastigheden. Dette får elektronens masse til at øges med ca. 20%.

Farven til metaller som sølv og guld skyldes i hovedsagen absorption af lys ved, at en elektron i d-skallen springer til en bane i s-skallen. For sølv svarer energiforskellen mellem $4d \rightarrow 5s$ til en bølgelængde i det ultraviolette område. Det lys, der ikke absorberes, bliver reflekteret, og sølv reflekterer derfor alle bølgelængder af det synlige lys og er farveløst.

For guld derimod gør elektronens masseforøgelse, at forskellen mellem d- og s-banerne bliver mindre, og energiforskellen mellem $5d \rightarrow 6s$ (som er den dominerende absorption) svarer til blåt lys. Guld vil derfor absorbere blåt lys, men reflektere gult og rødt lys. Derfor har guldet den gyldne farve.

What keeps that golden twinkle bright?
Mass increase near speed of light!

Litteratur

[1] B. L. Schistad (2025) "Hvor kommer guldet fra", *Kvant*, bind **36**, nr. 3, side 8–13.

[2] B. L. Schistad (2019) "Antimaterien, der blev væk", *Kvant*, bind **30**, nr. 2, side 22–28.



Bernhard Lind Schistad er cand.real. fra Universitetet i Oslo. Han har været forsker i partikelfysik ved Niels Bohr Instituttet og CERN og senere arbejdet med udvikling af grafiske systemer og radar. Han underviser i fysik og matematik på Midtbyens Gymnasium, Mercantec, i Viborg.

Nyt fra foreningerne

Fra metallod til krystalkugle: Visionen om et målesystem

Den 20. maj 2026 kl. 19.00 holder Lars Nielsen fra Danmarks Nationale Metrologiinstitut foredrag i Rundetaarn, hvor han vil fortælle om den lange rejse mod uforanderlige enheder. Rejsen kulminerede den 20. maj 2019, hvor det internationale enhedssystem (SI) blev redefineret ved at tillægge faste værdier til udvalgte fysiske konstanter, heriblandt lysets hastighed.

Det kræver billet at deltage i foredraget, men medlemmer af SNU får rabat på billetten – se nærmere på SNU's hjemmeside (www.snu.dk).

Tyngdefeltet, navigation og kvanteaccelerometre

Professor René Forsberg fra DTU Space holder den 1. juni 2026 kl. 19.00 foredrag om kvantemålinger af Jordens tyngdefelt. Det afholdes i bygning 208, auditorium 53, på DTU Lyngby Campus.

Efter foredraget vil der være overrækkelse af Ørstedmedaljen i bronze til en grundskolelærer.

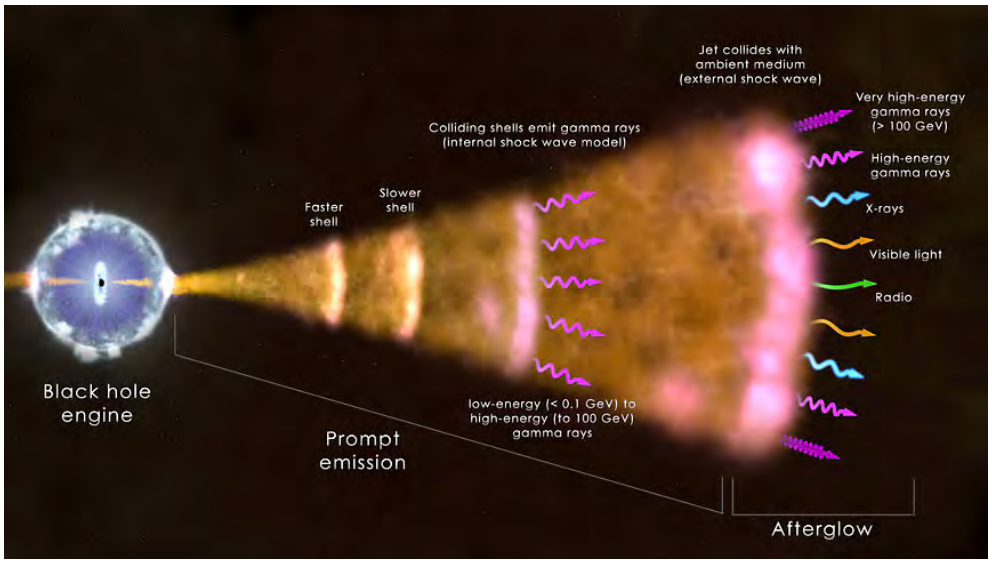
DFS årsmøde

Dansk Fysisk Selskab holder sit årsmøde den 8. og 9. juni 2026 på Syddansk Universitet (SDU). Årets hovedtalere er professor Peter Bøggild (DTU Fysik), der vil tale om "Feynman materials and the hunt for quantum phases", lektor Thomas Tram (Aarhus Universitet), der taler om "What do we really know about the universe?", samt lektor Sofie Marie Koksbang (SDU), som taler om "Beyond Lambda-CDM: A route to a new cosmological paradigm".



350 år efter Rømer: Lysets hastighed er stadig konstant

Christine Pepke Gunnarsson, KVANT



Figur 1. Gammastråler fra fjerne kosmiske udbrud giver en mulighed for at teste Einsteins relativitetsteori. Hvis lysets hastighed afhang af fotonens energi, ville fotoner med forskellig energi ankomme til Jorden på forskellige tidspunkter efter deres rejse gennem universet. Grafik: NASA/GSFC.

I 1676 opdagede Rømer, at lys har en endelig hastighed, og i 1865 bestemte Maxwell den til 299.792.458 m/s i vakuum. Her, 350 år efter Rømers opdagelse, har forskere testet, at lysets hastighed stadig er konstant med hidtil uset præcision ved hjælp af gammastråler fra fjerne kosmiske kilder. Hvordan de har gjort det, vender vi tilbage til. Først en kort forklaring af problemstillingen.

Før 1900-tallet troede man, at lys bevægede sig i et medium kaldet æteren. Hvis det var rigtigt, burde man kunne måle forskelle i lyshastigheden afhængigt af Jordens bevægelse gennem dette medium. Men Michelson og Morleys berømte eksperiment i 1887 viste, at der ikke var nogen målbar forskel.

I 1905 foreslog Einstein, at problemet ikke lå i eksperimenterne, men i vores forståelse af rum og tid. Han postulerede, at lysets hastighed er konstant og den samme for alle observatører. Dette kaldes Lorentz-invarians og betyder, at fysikkens love er de samme for alle observatører, der bevæger sig med konstant hastighed i forhold til hinanden.

Hvis lysets hastighed er den samme for alle observatører – uanset deres egen bevægelse – må rum og tid selv ændre sig, når man skifter referenceramme. Det viser sig blandt andet som tidsforlængelse og længdekontraktion.

Alligevel giver det stadig mening at teste, om lysets hastighed virkelig er konstant. Grunden er, at fysikkens to store teorier – den generelle relativitetsteori, der beskriver tyngdekraft og rumtid, og kvantemekanikken, der beskriver partikler og bølger – endnu ikke passer perfekt sammen. Mange teorier om kvantegravitation forudsiger små brud på Lorentz-invariansen. Et muligt tegn kunne være, at lysets hastighed afhænger svagt af fotonens energi.

Hvis det er tilfældet, vil fotoner med forskellig energi, udsendt samtidig fra en fjern kosmisk kilde, ikke nødvendigvis ankomme til Jorden på samme tidspunkt. Over kosmiske afstande kan selv ekstremt små forskelle i hastighed derfor blive målbare.

Fortsættes side 33