

Store opdagelser: Lysets tøven – fra Rømer til Einstein

Helge Kragh Videnskabshistoriker og professor emeritus, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

5. jan. 2014

En beskeden opdagelse, der senere skal blive fundamental, ser vi hos den danske 1600-tals astronom og naturfilosof, multitalentet Ole Christensen Rømer (1644-1710), der opdagede 'lysets tøven', det vil sige, at lyset udbreder sig med en endelig og meget stor hastighed.

Kæmpeplaneten Jupiter med en af sine måner. (Foto: NASA)

En videnskabelig opdagelses betydning og status er ikke fastlagt på forhånd, men afhænger i almindelighed af den senere historiske udvikling. Nogle opdagelser blev i samtiden anset for yderst vigtige gennembrud, mens de i dag forekommer at være ret trivielle eller måske erkendes som fejltagelser.

Andre gange går det modsat:

En opdagelse fødes som beskeden, og først langt senere bliver det klart, at der var tale om et fundamentalt bidrag til vores forståelse af verden. Sådan var det med Ole Rømers opdagelse af 'lysets tøven'.



Headhundet til Paris som 27-årig

Som ung mand rejste Ole Rømer fra sin hjemby Aarhus til København, hvor han virkede som assistent for den navnkundige Rasmus Bartholin (1625-1698), professoren i astronomi ved Københavns Universitet. Han var blandt andet med til at forberede udgivelsen af Tycho Brahes observationsjournaler.

Som 27-årig blev han headhundet til Paris, hvor han sammen med datidens bedste videnskabsmænd arbejdede på det nye astronomiske observatorium, underviste tronarvingen og indgik i den celebre kreds af forskere omkring det helt nye franske videnskabsakademi. Rømer var især optaget af mekaniske instrumenter og astronomiske observationer, hvilket førte ham til den opdagelse, for hvilken han altid vil huskes.

Lyset bevæger sig - og det tager tid

Det var i 1600-tallet almindeligt antaget, at lyset udbreder sig momentant, det vil sige med en uendelig stor hastighed, hvilket astronomerne i Paris da også opfattede som en selvfølgelighed.

De havde teoretiske og filosofiske grunde for antagelsen, og da den ikke blev modsagt af observationer, fandt de ingen grunde til at betvivle den. Men i efteråret 1676 hævdede Rømer, at hans observationer af planeten Jupiter antydede noget andet, nemlig at det tager en endelig tid for lyset at bevæge sig fra kilde til modtager.

Det havde siden Galileis observationer i starten af århundredet været kendt, at Jupiter omgiver sig med fire måner (i dag kendes dog mange flere – hele 67). I sin omdrejning omkring Jupiter vil dens inderste måne være skjult af planeten i en periode, set fra Jorden, og i samme periode vil Jorden have flyttet sig i forhold til Jupiter.

Månens omløbstid kan bestemmes ud fra tidspunkterne for dens forsvinden bag Jupiter, eller den kan bestemmes ud fra de tilsvarende tider for månens fremkomst. I sine omhyggelige studier af formørkelsen af den inderste Jupitermåne iagttog Rømer nu, at de to omløbstider ikke var ganske ens, og den lille forskel forklarede han ud fra lysets endelige hastighed.

Han nåede frem til den konklusion, at 'lyset på en afstand af 3.000 millioner, hvilket næsten er størrelsen af Jordens diameter, har brug for mindre end et tidssekund', sådan som han formulerede det i en afhandling fra december 1676 i 'Journal de Sçavans', et af de første videnskabelige tidsskrifter nogensinde.

Mere præcist meddelte Rømer til videnskabsakademiet i Paris, at det tager lyset 22 minutter at gennemløbe diameteren for Jordens bane om Solen, hvilket svarer til en hastighed på cirka 227.000 km/s.

Fra hypotese til faktum

Det tog et års tid, før Rømers dristige påstand for alvor blev bemærket af Europas fysikere og astronomer, og da det skete, var modtagelsen blandet. Påstanden var især kontroversiel og uvelkommen i det franske videnskabelige miljø, hvor man med henvisning til René Descartes (1596-1650), den store naturfilosof, var overbevist om, at lyset udbreder sig med uendelig stor hastighed.

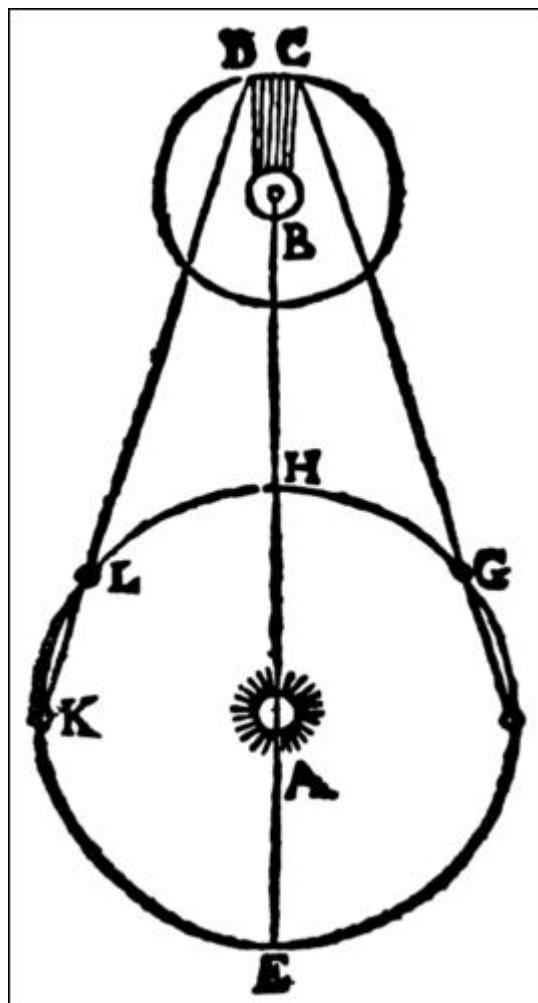
Annonce:

Der var tale om en sindrig hypotese, men ikke andet, for Rømers påviste effekter kunne man forklare på anden vis. Desuden fremførte astronomerne i Paris, at hypotesen var i modstrid med andre observationer af Jupiters bevægelse omkring Solen.

I sin afhandling fra 1676 illustrerede Rømer sin tankegang med en tegning af Jupiter og dens måne i omløb om Solen, hvorom også Jorden drejer sig. Fra Jorden iagttages, hvornår månen træder ind i Jupiters skygge, og hvornår den forlader den igen, hvilket afhænger af Jordens position i sin bane.

På trods af modstanden blev Rømers påstand dog ret hurtigt accepteret af flere fremtrædende naturforskere, heriblandt sværvægtene som den hollandske astronom Christiaan Huygens (1629-1695) og den berømte Isaac Newton (1642-1727) i England.

Sidstnævnte omtalte opdagelsen i sit hovedværk 'Principia' fra 1687, hvor han angav, at det tog lyset cirka 10 minutter at tilbagelægge strækningen fra Solen til Jorden, svarende til en hastighed på cirka 250.000 km/s. Senest omkring 1730 var Rømers påstand alment anerkendt, også i Paris, og den havde skiftet status fra en hypotese til et faktum baseret på observationer.



Lyshastigheden har en fundamental status

Rømer var naturligvis klar over betydningen af sin opdagelse, men han var ikke klar over – og kunne ikke være klar over – dens grundlæggende karakter og fulde betydning.

Han var tilfreds med at have påvist, at lyset faktisk 'tøver' og ikke, som man havde ment siden oldtiden, udbreder sig momentant. I starten af 1700-tallet var opdagelsen velkendt og blev betragtet som interessant, men den påkaldte sig ikke den helt store opmærksomhed.

Bevares, lysets hastighed var da en vigtig størrelse, men var den vigtigere end for eksempel lydens hastighed? Først efter Rømers død i 1710 blev det gradvist klart, at den endelige lyshastighed har en fundamental status og ikke blot er en fysisk størrelse blandt mange andre.

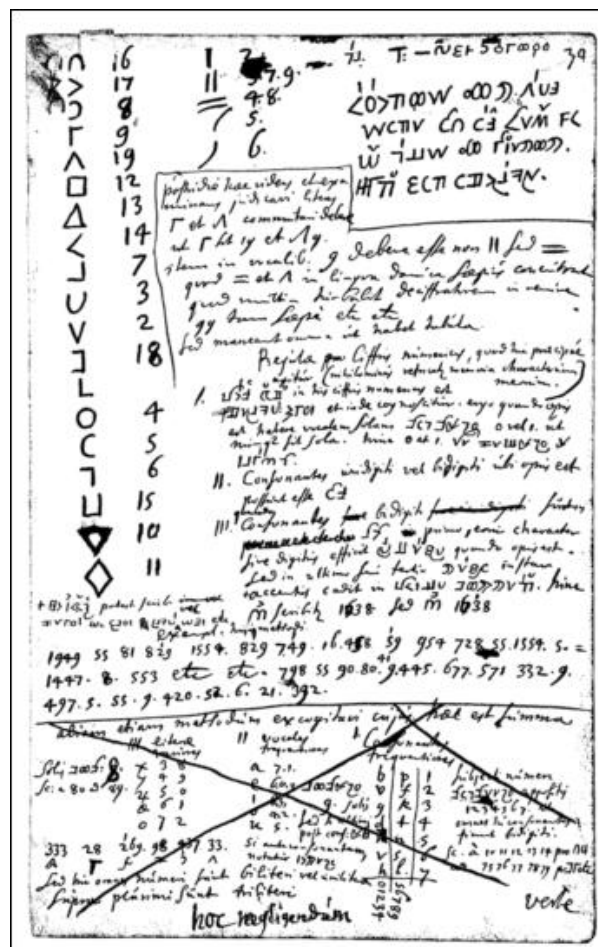
Rømer nedskrev mange af sine forsøg og overvejelser i en dagbog, kaldet Adversaria, hvor han til dels benyttede en privat kodeskrift.

Lysets hastighed bestemmes mere præcist

I 1728 viste den engelske præst og astronom James Bradley (1693-1762), at alle stjerner har samme aberration, det vil sige, at retningen til dem fra Jorden ændres med samme værdi som følge af Jordens omløb om Solen.

Dette betyder, at lyset fra alle stjerner udbreder sig med samme hastighed, sådan at lyshastigheden er uafhængig af den afstand, lyset tilbagelægger i dets lange rejse gennem rummet. Udtrykt noget anderledes, så bevæger lyset sig med samme hastighed over alt i universet.

Ud fra sine observationer bestemte Bradley lysets hastighed til 279.939 km/s, hvilket var en væsentlig forbedring af Rømers værdi.



Astronom ser ind i fortiden

Et halvt århundrede senere, i 1785, gjorde den tysk-engelske astronom William Herschel (1738-1822) opmærksom på en simpel, men sær konsekvens af Rømers opdagelse: Når astronomerne ser ud i rummets dybder, ser de tilbage i tiden. De ser i en virkelig forstand fortiden, nemlig de fjerne stjerner og galakser som de **var**, og ikke som de **er**.

Vi kan, påpegede Herschel, se en fjern stjerne, der var ophørt med at eksistere for tusinder eller millioner af år siden, for lyset fra den vil fortsætte med at udbrede sig i rummet. Den 'nye stjerne' som Tycho Brahe til sin forundring så i stjernebilledet Cassiopeia i 1572, var for eksempel en supernova, en døende stjerne i en afstand af cirka 9.000 lysår fra Jorden. Da Tycho observerede den, havde stjernen altså været forsvundet i knap 9.000 år.

En inspirationskilde til relativitetsteorien

Ligesom gravitationskonstanten i Newtons gravitationslov har samme værdi over alt i universet, sådan er tilfældet også med lysets hastighed i vakuum, der hører til den eksklusive klasse af fundamentale naturkonstanter. Som navnet antyder, så er disse fysiske størrelser konstante i både tid og rum, det vil sige, de har samme værdi til enhver tid og på ethvert sted. Som andre naturkonstanter betegnes lyshastigheden med et bogstavsymbol, i dette tilfælde altid med '**c**'. Med den skotske fysiker James Clerk Maxwells (1831-1879) elektromagnetiske lysteori fra omkring 1870 blev det klart, at lyset er elektromagnetiske bølger, og at dets

hastighed er helt uafhængig af lysets farve eller bølgelængde. (For lysets passage i vand, glas eller andre gennemsigtige medier gælder dette ikke).

Netop Maxwells teori var en vigtig inspirationskilde for Einstein i hans udvikling af relativitetsteorien, der for alvor gav lyshastigheden den ophøjede status, den har i moderne fysik.

Lyset måtte være vægtløst



Solen befinder sig i en afstand af 150 millioner kilometer fra Jorden, så det varer 8 minutter og 20 sekunder, før lyset fra Solen når os. (Foto: DayStar)

Ifølge Einstein var lysets hastighed i vakuum imidlertid ikke blot en naturkonstant, den havde også helt samme værdi for enhver lysgiver og modtager – uanset deres indbyrdes bevægelse (mens dette jo ikke er tilfældet med for eksempel lydets hastighed).

Dette overraskende postulat er fundamentalt i relativitetsteorien, hvor lysets endelige og invariante hastighed samtidig er en maksimal hastighed for udbredelse af fysiske signaler: Intet signal eller objekt kan bibringes en hastighed, der er større end lysets.

Endvidere følger det af Einsteins teori, at lyset må være absolut vægtløst. Dette svarer til, at de lyspartikler eller fotoner, som lyset efter Einstein og den moderne fysik kan opfattes som bestående af, overhovedet ingen masse har. Omvendt vil enhver masseløs partikel nødvendigvis og altid bevæge sig med den samme hastighed, som lyset bevæger sig med i det tomme rum.

Lyshastigheden er en konventionel størrelse

Den talværdi for lyshastigheden, som Rømers oprindelige observationer førte til, var væsentligt mindre end den senere bestemte, der er nær 300.000 km/s. Omkring 1930 resulterede

præcisionsmålinger i $c = 299.774 \text{ km/s}$ med en tilhørende måleusikkerhed – angivet som Δ , det græske 'delta' – på $\Delta c = \pm 10 \text{ km/s}$.

Forbedrede målemetoder gav 30 år senere værdien $c = 299.792,5 \pm 0,4 \text{ km/s}$. I dag er størrelsen fastlagt til at være **eksakt** $299.792,458 \text{ km/s}$, uden nogen måleusikkerhed overhovedet ($\Delta c = 0$). Størrelsens fundamentale natur afspejles i, at man har **defineret** længdeenheden ud fra lyshastigheden, idet en meter siden 1983 er defineret som den afstand, lyset tilbagelægger i vakuum på $1/c$ sekund.

Med andre ord, lyshastigheden er en konventionel størrelse: Den har den værdi, den har, fordi man har vedtaget, at sådan skal det være. I princippet kunne man have valgt en vilkårlig anden værdi, for eksempel $c = 2 \text{ km/s}$, men af praktiske grunde har man naturligvis valgt en værdi, der svarer til den tidligere målte.

Måske lyset gemmer på flere hemmeligheder

Historien om lysets hastighed er gammel, men ikke et afsluttet kapitel. Siden Rømers tid har det været taget for givet, at lyshastigheden altid har været den samme, men kan vi nu også være sikre på det? I slutningen af 1990'erne foreslog fysikere teorier for det tidlige univers, ifølge hvilke lyshastigheden umiddelbart efter Big Bang var umådeligt meget større end i dag.

Hvis lyshastigheden virkelig har ændret sig gennem universets historie, vil det stride mod grundlaget for den etablerede fysik, herunder relativitetsteorien. Andre fysikere har i forsøget på at forene gravitationskraften med kvantemekanikken udviklet teorier, hvor lysets hastighed faktisk afhænger af dets bølgelængde: En rød foton vil bevæge sig lidt hurtigere end en blå foton.

Disse teorier er uortodokse og uden overbevisende eksperimentel støtte, men de er ikke klart modbeviste. Måske lyset gemmer på flere hemmeligheder, end vi tror i dag.