

# Det himmelvendte øje

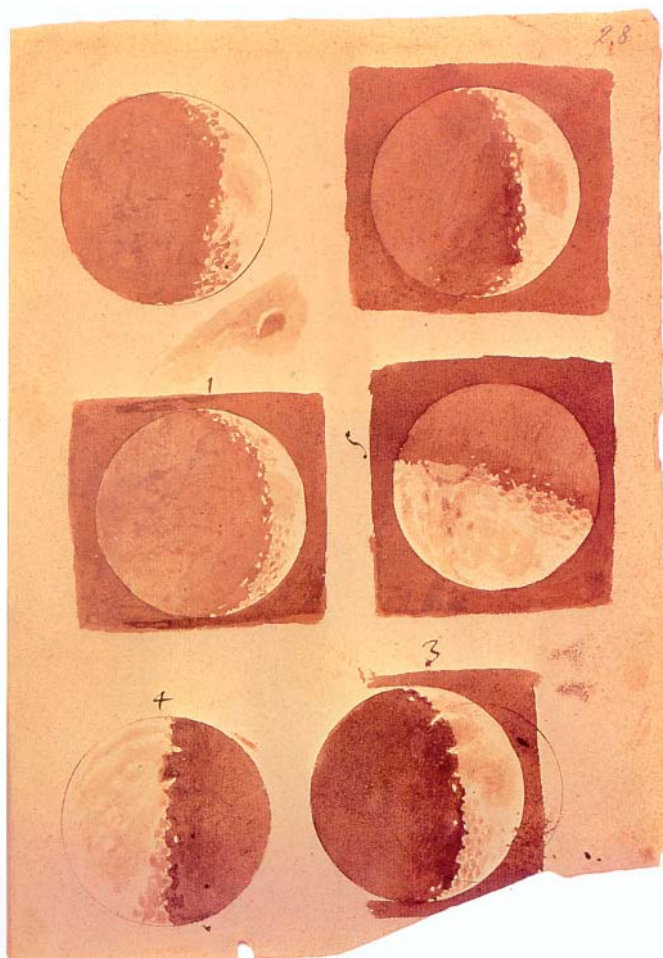
Menneskets syn på universet blev ændret for bestandigt, da Galilei for 400 år siden rettede en kikkert mod himlen. Siden da har udviklingen af kikkerten og andre astronomiske instrumenter til stadighed flyttet grænsen for vores erkendelse.

Af Hans Buhl

■ Det lysende bånd på nattehimmelen, vi kalder Mælkevejen, har gennem størstedelen af menneskehedens historie fremstået som et mysterium. For hvad var det egentlig for noget? Da den italienske fysiker og astronom Galileo Galilei (1564-1642) i efteråret 1609 rettede sin primitive kikkert mod Mælkevejen, afgjorde han imidlertid sagen på et øjeblik. Gennem kikkerten så han nemlig, at Mælkevejen består af myriader af svage stjerner.

## Linsekikkerten revolutionerer astronomien

Galilei havde kort forinden hørt om en hollandsk brillemagers opdagelse af, at man kunne få fjerne objekter til at se større ud ved at betragte dem gennem en spredelinse efterfulgt af en samelinse. Han indså straks værdien af dette og konstruerede sine egne kikkerte. De første havde en forstørrelse på ganske få gange, men inden længe havde han forbedret teknikken,



*Galilei lavede sine første tegninger af Månen i 1609. Gennem kikkerten opdagede han bl.a. at overgangen mellem den mørke og lyse del af Måneskiven var ujævn. Han konkluderede derfor, at Månen ikke er en glat kugle, men at overfladen er fyldt med bjerge og dale ligesom Jorden. Han forsøgte endda at bestemme bjergenes højde ud fra skyggernes længde.*

så han kunne opnå en forstørrelse på op til 30 gange.

Med disse instrumenter kunne Galilei bl.a. konstatere, at Månen ikke var en glat kugle, som man havde ment siden oldtiden, men at den havde bjerge, dale og kratere. Han opdagede også, at planeten Jupiter havde måner, altså at der fandtes andre omdrejningscentre i universet end Jorden. På denne måde bidrog et par stykker slebet glas til at ændre vores forestillinger om universet.

Indtil Galileis tid havde astronomerne ikke kunnet se andet på himlen, end deres forgængere kunne. Stjernerne og planeterne var blot lysende punkter, som dannede geometriske mønstre, der kunne udmåles med diverse vinkelmålere. Men med opfindelsen af kikkerten, blev der iværksat en teknologisk udvikling, som har betydet, at hver ny generation af astronomer har kunnet se hidtil ukendte og derfor uudforskede objekter og detaljer.

Derfor har de sidste 400 år ført til en eksplosion i vores viden om universet.

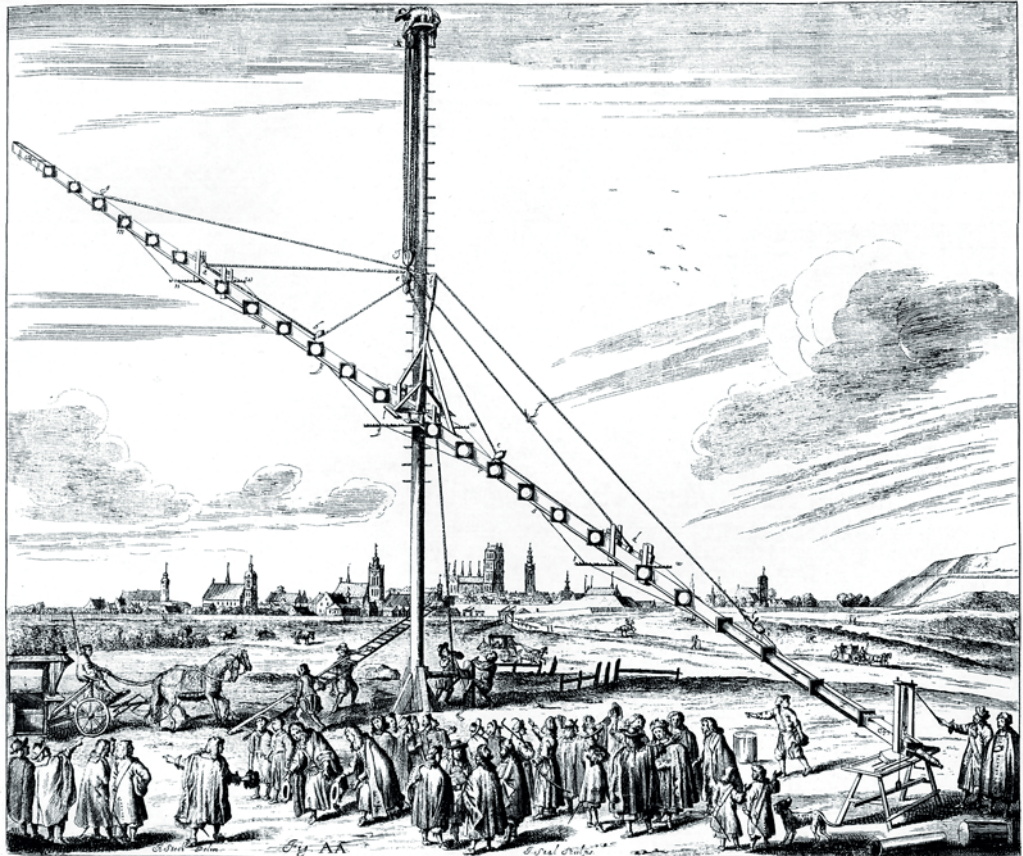
De tidlige linsekikkerter var ikke ideelle. Bl.a. blev billedet forstyrret af det fysiske fænomen, at blåt og rødt lys ikke afbøjes lige kraftigt af en linse. Fænomenet, som kaldes kromatisk aberration, medførte, at stjernerne ikke fremstod som ensfarvede prikker, men blev omgivet af farveflimmer. Man opdagede hurtigt, at problemet kunne afhjælpes ved at benytte tynde linser med en lang brændvidde. Prisen var, at man fik nogle uhåndterligt lange kikkerter.

I løbet af 1700-tallet lykkedes det at udvikle særlige linser, som gav langt mindre farveflimmer. Takket være disse såkaldt akromatiske linser, som var sammensat af forskellige glastyper, blev kikkerten til et effektivt instrument. For at samle så meget stjernelys som muligt har man bygget kikkerter med stadig større diameter, indtil man med det endnu aktive Yerkes-teleskop fra 1897 nåede den praktiske grænse med en ca. 1 meter stor linse. Større linser bliver for tykke på midten og deformeres under deres egen vægt.

### Spejlteleskopet giver nye detaljer

En anden metode til at undgå linsernes optiske fejl var at benytte et hulspejl til at samle lyset i stedet for en linse. Ideen opstod tidligt efter opfindelsen af den astronomiske kikkert, men først i 1669 lykkedes det den engelske fysiker Isaac Newton (1643-1727) at udvikle et praktisk anvendeligt spejlteleskop. Det var dog vanskeligt at slibe hulspejlet på den optimale måde, ligesom det benyttede spejlmetal (en legering af tin og kobber) anløb hurtigt og kun reflekterede knap 20 % af det indkommende lys. Derfor blev spejlteleskopet kun benyttet i begrænset omfang i de første hundrede år.

Omkring 1773 begyndte komponisten og amatørastronomen William Herschel (1738-1822) systematisk at forbedre spejlteleskopets egenskaber.



Fra J. Hevelius, *Machina coelestis*, 1673

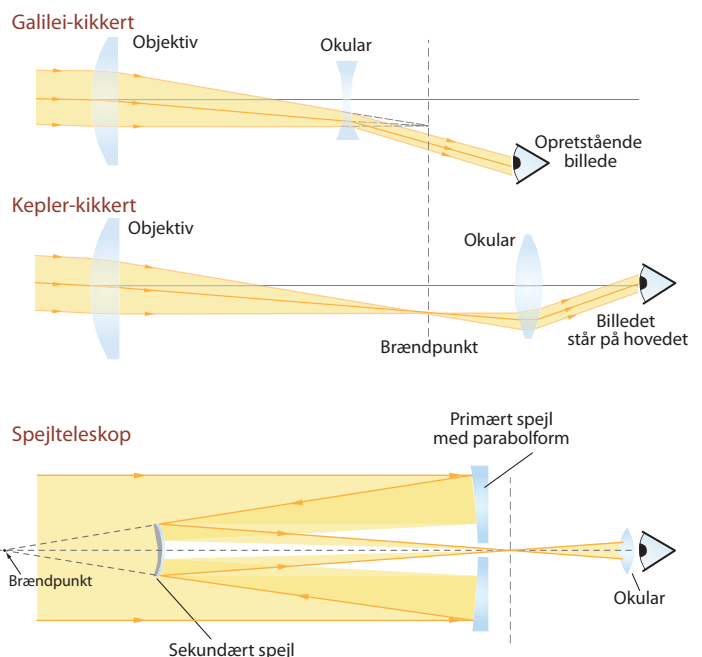
For at reducere problemerne med farveflimmer m.m. ved simple linser byggede den polske instrumentmager og astronom Johannes Hevelius (1611-1687) omkring 1670 en ca. 45 meter lang, rørløs kikkert. På trods af det ustabile system af barduner og trisser lykkedes det Hevelius at tegne de hidtil bedste kort over Månen.

### Linse- og spejlkikkerter

Galileis kikkerter benyttede en samlelinse som objektiv og en spredelinse som okular. Det betyder at "billedet" først dannes inde i øjet. Denne kikkertype har et meget lille synsfelt og en begrænset forstørrelsessevne. Til gengæld skaber den et opretstående billede.

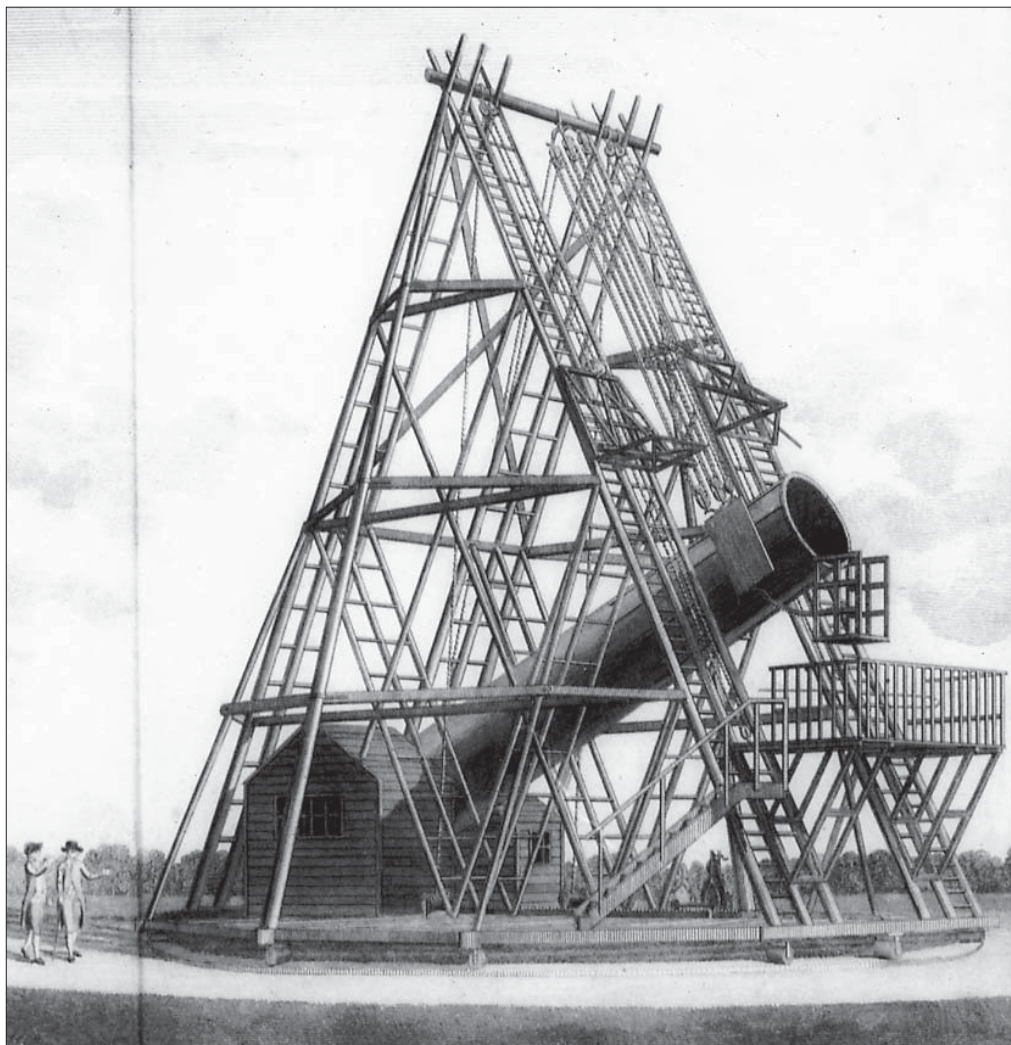
Kepler foreslog at erstatte den konkave okularlinse med en konveks linse. Okularet kommer derved til at virke som et forstørrelsesglas, hvorigennem man kan se det reelle billede, der dannes i de to linsers fælles brændpunkt. Derved kan man øge kikkertens synsfelt og forstørrelse meget kraftigt. Prisen er at billedet står på hovedet, hvilket dog er uproblematisk ved astronomiske observationer.

I et spejlteleskop samles lysstrålerne af et hulspejl i stedet for en samlelinse. Derved kan man undgå nogle af de optiske problemer med linser. Alt andet lige er det også lettere og billigere at lave et stort hulspejl end en stor linse. Derfor kan



man bygge langt større og dermed mere lysfølsomme spejlkikkerter end linsekikkerter. Der findes forskellige typer spejlkikkerter.

Skitsen viser et såkaldt Cassegrainteleskop, som kan gøres relativt kort, da lyset bevæger sig flere gange frem og tilbage i kikkerten.



Når Herschel observerede med sit 40-fods spejlteleskop, stod han på platformen ved rørets øverste ende og betragtede det billede, som hul-spejlet dannede, gennem et håndholdt okular.

Herschel var meget systematisk i sin jagt på dobbeltstjerner og stjernetåger. Han fastholdt således ofte teleskopet i en bestemt holdning gennem en hel nat, hvorved det takket være Jordens rotation skannede himlen i et smalt bånd. Dette gentog han så de følgende nætter med lidt andre holdninger, således at han efterhånden fik afsøgt hele himlen.

Bl.a. ændrede han på spejlmetallets sammensætning, således at refleksionsgraden blev øget til ca. 60 %. Samtidig arbejdede han ihærdigt med at øge spejlens diameter, således at han i 1789 kunne bygge verdens hidtil største spejlteleskop med en diameter på ca. 1,2 meter og en længde på 40 fod (ca. 12 meter). Han foretrak dog at bruge et 20 fods teleskop, som han havde lavet nogle år tidligere, da det var væsentligt lettere at håndtere.

Takket være sine gode instrumenter opdagede Herschel i 1781 planeten Uranus – den første "nye" planet siden oldtiden. Herschel opdagede også et par af Saturns måner og gennemførte en langvarig og systematisk eftersøgning af stjernetåger og dobbeltstjerner. Eksistensen af ægte dobbeltstjerner (stjerner som kredser om hinanden) viste, at tyngdekraften også

gjaldt uden for solsystemet.

I håbet om at opløse fjerne tåger i enkeltstjerner byggede den irske Lord Rosse (1800-1867), som i øvrigt også var amatørastonom, i 1845 et teleskop med et spejl på 1,8 meter. Det forblev verdens største indtil 1917. Med dette enorme instrument lykkedes det bl.a. Lord Rosse at observere den såkaldte Hvirvelgalakses spiralstruktur. Atter havde et nyt instrument afsløret detaljer i universet, som førte til ny erkendelse af dets opbygning og udvikling.

Fra slutningen af 1800-tallet begyndte man at bruge forsøvede glasspejle, som dels reflekterede næsten al lyset, dels var lettere at lave og vedligeholde. Siden da er der bygget et stort antal professionelle observatorier med stadigt større spejlteleskoper. Det var med et af disse teleskoper, astronomen

Edwin Hubble (1889-1953) i 1920'erne opdagede universets ekspansion, som førte til Big Bang teorien.

Store spejlteleskoper – gerne anbragt på satellitter – er stadig astronomernes fortrukne instrument, når de vil trænge stadig dybere ud i universet.

### Fra forstørrelsesapparat til måleinstrument

I de første årtier efter kikkertens opfindelse fungerede den udelukkende som forstørrelsesapparat, da man ikke kunne sigte præcist med den.

Omkring 1640 opdagede den engelske astronom og instrumentmager William Gascoigne (1612-1644) imidlertid nogle underlige tråde i synsfeltet, når han kikkede gennem sin keplerske kikkert (jfr. faktaboks om linsekikkert). Ved nærmere eftersyn viste det sig, at en edderkop havde lavet spind

i brændpunktet af kikkerten. Dette inspirerede Gascoigne til at indbygge et trådkors i brændpunktet, således at kikkertens sigteretning blev veldefineret. Senere udviklede han ideen, således at flere tråde kunne forskydes i forhold til hinanden ved hjælp af en fin skruegang. Takket være dette mikrometer, kunne man nu nøjagtigt måle vinkeludstrækningen af det, man kikkede på gennem kikkerten.

Et halvt århundrede senere opfandt den danske astronom m.v. Ole Rømer (1644-1710) passageinstrumentet, som for alvor gjorde det muligt at bruge kikkerten til præcisionsmåling. Hvor kikkertter tidligere havde været monteret, så de kunne peges i alle mulige retninger, monterede Rømer kikkerten vinkelret på en vandret akse, så den kun kunne vippe op og ned. Til gengæld kunne dens

hældning bestemmes meget nøjagtigt ved hjælp af en gradskala. Desuden placerede han passageinstrumentet således, at kikkerten befandt sig i opstillingsstedets nord-sydlinje (meridian), hvorved han kunne måle en stjernes breddegrad på himlen i det øjeblik den passerede meridianen. Stjernens længdegrad på himlen kunne samtidig bestemmes ud fra tidspunktet for meridianpassagen.

Passageinstrumentet er altså velegnet til positionsbestemmelse af stjerner. Det blev da også en af astronomernes hovedbeskæftigelser i 1700- og 1800-tallet at lave detaljerede kort og kataloger over himlens utallige stjerner og tåger m.v. Den nøjagtige opmåling gjorde det bl.a. muligt at påvise stjernernes egenbevægelse, altså det forhold, at stjernerne ikke sidder fast på himlen, men flytter sig ganske langsomt i forhold til hinanden.

### Stjernelysets budskab

Indtil renaissanceen bestod astronomernes hovedopgave i at udtænke geometriske modeller for planeternes vandring hen over den "uforanderlige" fiksstjernerhimmel. Dvs. at astronomerne var *astrogeometrikere*. I 1600- og 1700-tallet blev de til *astromekanikere*, da det blev en central opgave at forklare planeternes bevægelser ud fra de stadig mere nøjagtige målinger kombineret med nogle grundlæggende forestillinger om tyngdekraftens natur. Samtidig blev stjernekatologerne stadig tykkere, uden det dog gav noget væsentligt dybere indblik i stjernernes natur.

Forståelsen af stjernerne ændrede sig radikalt, da man midt i 1800-tallet begyndte at sætte棱smer foran kikkertens okular og lave spektre. Herved blev det nemlig muligt at trække information ud af det lys, stjernerne sender til os. Dette ændrede dem fra at være lysende punkter på himlen til at være fysiske objekter, som kan studeres – og astronomerne blev *astrofysikere*.

Udgangspunktet for spektroskopien var Newtons opdagelse

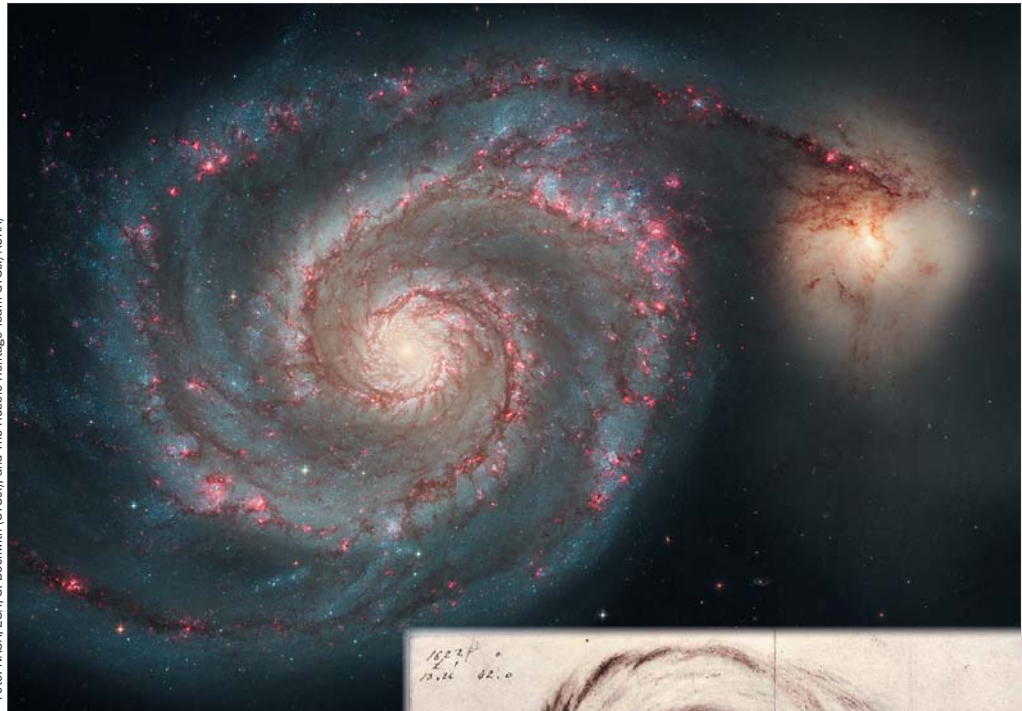


Foto: NASA, ESA, S. Beckwith (STScI), and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

*Disse to billeder af Hvirvelgalaksen (M51) illustrerer tydeligt, hvorfor astronomerne til stadighed er interesserede i at få bedre kikkerters. Tegningen til højre viser, hvordan Lord Rosse i 1845 for første gang kunne se galaksens hvirvelstruktur med sin kæmpekikkert.*

*Billedet ovenfor er fotograferet af Hubble rumteleskopet i 2005.*

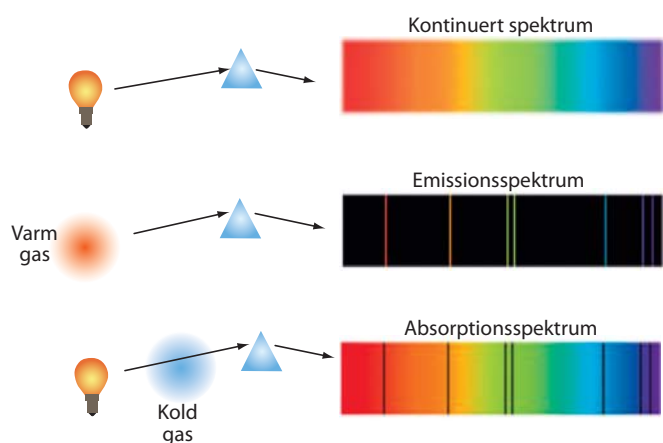


### Spektroskopi – Tre slags spektre

Et glødende legeme udsender lys med alle bølglængder. Derfor danner dette lys et kontinuert spektrum, når det spredes gennem et prisme.

Hvis det derimod er en gas, der bringes til at gløde, udsendes der kun lys med ganske bestemte farver svarende til bestemte elektronovergange mellem atomernes energiniveauer. Derved dannes der et karakteristisk linjespektrum, som kan betragtes som atomets "fingeraftryk". Sådanne emissionsspektre, som de også kaldes, kan altså bruges til at identificere og analysere ukendte stoffer.

Hvis lys med et kontinuert spektrum passerer gennem en kølig gas, kan det ske, at gassens atomer absorberer lys med de farver, som passer til de pågældende atomers energiniveauer. Derved "forsvinder"



noget af lyset ved de pågældende bølglængder, og der dannes et såkaldt absorptionsspektrum. De sorte absorptionslinjer ligger ved de samme bølglængder, som gassen ville udsende lys

med, hvis den blev opvarmet.

Solens spektrum er et absorptionsspektrum, idet det kontinuerte lys, som dannes på Solens varme overflade, bliver "filtreret" af dens noget køligere ydre atmosfære.

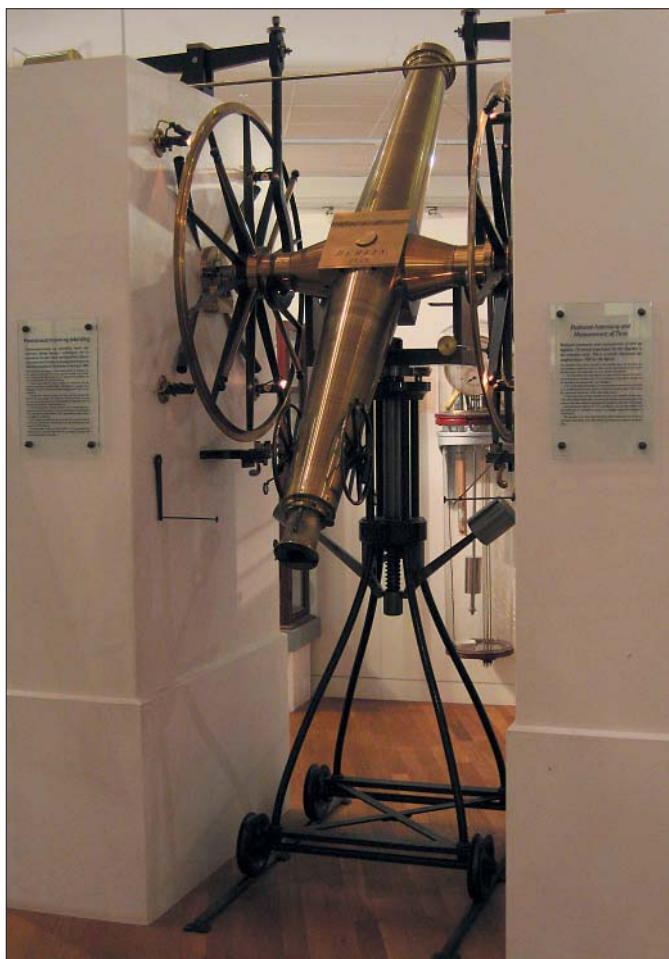


Foto: Hans Buhl

På Steno Museet kan man se en meridiankreds, som er en vide-reudvikling af Romers passage-instrument. Takket være de store skalahjul kan hældningen aflæses meget nøjagtigt. Kikkerten, som er bygget af Pistor & Martins, blev benyttet på Københavns Observatorium fra 1861 til ca. 1900. I løbet af de første to år målte observator H.C.F.C. Schjellerup 10.000 stjerners position med den.

Om forfatteren



Hans Buhl er ph.d. og museumsinspektør på Steno Museet i Århus. Tlf.: 8942 3992 E-mail: hans.buhl@si.au.dk

i 1672 af, at Solens hvide lys kan opspaltes i en række primære farver af et prisme. Da den tyske instrumentmager Joseph von Fraunhofer (1787-1826) i 1817 gentog Newtons forsøg med langt finere apparatur – bl.a. sendte han lyset gennem en smal spalte – opdagede han, at der var i hundredvis af sorte linjer i solspektret.

I første omgang forstod man ikke fænomenet, men omkring 1860 kom to tyskere, kemikeren Bunsen (1811-1899) og fysikeren Kirchhoff (1824-1887), med en forklaring. De havde studeret det farvede lys, som forskellige stoffer udsender, når de opvarmes så meget, at de fordampes. Når Bunsen og Kirchhoff betragtede dette lys gennem et prisme, dannede det et karakteristisk mønster af farvede linjer, et såkaldt emissionsspektrum, som var unikt for hvert enkelt grundstof. De påviste også, at der blev dannet et tilsvarende mønster af sorte linjer, et absorptionsspektrum,

hvis man sendte hvidt lys gennem en gas.

Da mange af solspektrets sorte linjer lå ved de samme bølgelængder som visse stoffers spektrallinjer, var det derfor nærliggende at fortolke solspektret som et udtryk for tilstedeværelsen af de pågældende stoffer i solens atmosfære.

Spektralanalysens betydning for astronomien kan ikke overvurderes, da den gjorde det muligt at studere Solens såvel som andre stjerners kemiske sammensætning. Det var tidligere blevet betragtet som *principielt* umuligt. Efterhånden er spektroskopien udviklet, så den også kan benyttes til at bestemme stjerners afstand, alder, masse, magnetfelt samt en række andre fysiske egenskaber.

### Teknologien og erkendelsens grænser

Det er tankevækkende, at *al* vor viden om stjernerne stammer fra analyse af det lys og anden strå-

ling vi modtager fra dem, kombineret med forestillingen om at universet er universelt, altså at de samme fysiske love gælder over alt. Men takket være udviklingen at vidt forskellige "kikkerter" kan vi nu studere universet ved alle bølgelængder i det elektromagnetiske spektrum. Dvs. lige fra kæmpe radioteleskopers registrering af fjerne kvasarer over optiske teleskopers fascinerende billeder af galakser og tager til særlige satellitters registrering af gammastrålingen fra eksploderende stjerner. Derfor er vores viden om universet større end nogensinde før.

Det hævdes jævnligt, omend noget forsimplet, at teknologi blot er anvendt naturvidenskab. Men det modsatte er i hvert fald også tilfældet. Astronomien såvel som anden moderne naturvidenskab er dybt afhængig af avanceret teknologi, da det er den, der gør det muligt at observere fænomener, som ligger uden for den menneskelige sansning. ■

### Videre læsning:

Govert Schilling og Lars Lindberg Christensen, *Eyes on the Skies: 400 Years of Telescopic Discovery*, 2009.

Mikael Hoskin (red.), *The Cambridge Illustrated History of Astronomy*, 1997.

John North, *The Fontana History of Astronomy and Cosmology*, 1994.