Danskernes Historie Online
Danske Slægtsforskeres Bibliotek

Dette værk er downloadet fra Danskernes Historie Online

Danskernes Historie Online er Danmarks største digitaliserings-projekt af litteratur inden for emner som personalhistorie, lokalhistorie og slægtsforskning. Biblioteket hører under den almennyttige forening Danske Slægtsforskere. Vi bevarer vores fælles kulturarv, digitaliserer den og stiller den til rådighed for alle interesserede.

Støt vores arbejde – Bliv sponsor

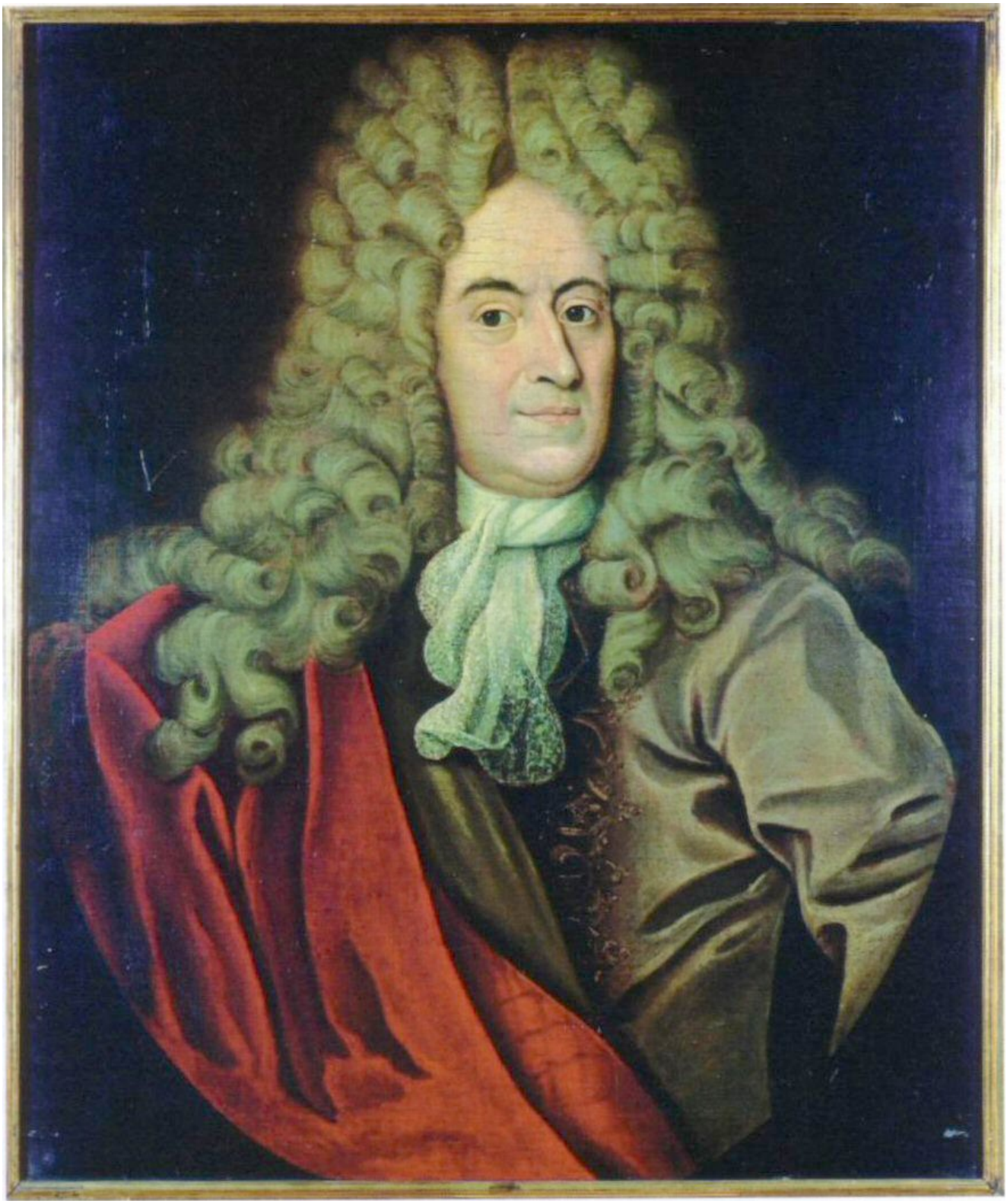
Som sponsor i biblioteket opnår du en række fordele. Læs mere om fordele og sponsorat her: https://slaegtsbibliotek.dk/sponsorat

Ophavsret

Biblioteket indeholder værker både med og uden ophavsret. For værker, som er omfattet af ophavsret, må PDF-filen kun benyttes til personligt brug.

Links

Slægtsforskernes Bibliotek: https://slaegtsbibliotek.dk
Danske Slægtsforskere: https://slaegt.dk



Meddelelser 2014

fra

Ole Rømers Venner
Det Danske Rømer Selskab

Meddelelser udgives af foreningen Ole Rømers Venner og udkommer hvert år med historiske artikler inden for foreningens virke. Forslag til emner modtages gerne.

Hjemmeside: www.oleroemer.dk

Ansvarshavende redaktør:
Ole Henningsen
olehen@vejrmolle.dk

Redaktør:
Jørgen Lyngbye
jin@c.dk

Teknisk redaktør:
Steen Lærke
Steen@SteenLaerke.dk

Meddelelser i løssalg: 75 kr. inkl. porto.

Redaktionen af dette nummer er sluttet
den 28. august 2014

ISSN: 1604 - 9322

Meddelelser

fra

Ole Rømers Venner

Det Danske Rømer Selskab

22. årgang 2014

Redaktion 4

Elisabetha og Johannes Hevelius 5
Else Høyrup

Johannes Kepler 20
Jørgen Lyngbye

Røntgenstråler og radioaktivitet 35
Jørgen Lyngbye

Forside: Ole Rømer

Meddelelser 2014

Meddelelser fra Ole Rømers Venner indeholder i år to artikler om 1600 tallets astronomer. Den første er den polske astronom Johannes Hevelius (1611 – 1687) og hans hustru Elisabetha (1647 – 1693). Johannes var den første astronom efter Tycho Brahe, der overgik ham dels med observationsnøjagtighed, dels i antallet af stjerner, som han og efter hans død Elisabetha beskrev. Hun var en af verdens første kvindelige astronomer.

Den anden artikel handler om den tyske astronom Johannes Kepler (1571 – 1630). Han var Tycho Brahes sidste assistent og overtog efter Tychos død hans observationer. På basis af dem beregnede han planeternes baner og lagde navn til de tre grundlæggende love, der styrer planeternes baner.

- Keplers første lov: Planetbanerne er ellipser og Solen er i det ene brændpunkt.
- Keplers anden lov: Under en planets bevægelse omkring solen bestryger radius vektor i lige lange tidsrum lige store arealer.
- Keplers tredje lov: Kvadratet på en planets omløbstid er proportionalt med dens middelafstand til solen (den halve storakse i ellipsebanen) i tredje potens. Proportinalitetskonstanten er den samme for alle planeter.

Den tredje artikel handler om Røntgenstrålerne som blev opdaget af den tyske fysiker Wilhelm Conrad Røntgen (1845 – 1923) i 1895. Det udløste en hektisk aktivitet hos både fysikere og læger. Allerede i 1896 blev der skrevet mere end tusind artikler om røntgenstrålerne, som hurtigt blev uundværlige for hospitalerne.

Ole Henningsen, ansvh. redaktør

Elisabetha og Johannes Hevelius

En biografi af to astronomer

Af Else Høyrup



Johannes Hevelius og Elisabetha observerer sammen

Johannes Hevelius. Polsk: Jan Heweliusz.
Født 28. januar 1611 i Gdansk (Danzig) i Polen. Polens førende astronom i 1600-tallet, og en af verdens førende astronomer i 1600-tallet. I en årrække indehaver af verdensrekorden i astronomisk målenøjagtighed.
1663: Ægteskab med Elisabetha Koopman.
Johannes Hevelius døde 28. januar 1687 i Gdansk, på sin 76-års fødselsdag.

Elisabetha Hevelius, født Koopman.
Polsk: Elzbieta Heweliusz
Født 17. januar 1647 i Gdansk.
En af verdens første kvindelige astronomer. Den første kvinde, der bliver anerkendt som astronom i egen ret.
1663: Ægteskab med Johannes Hevelius.
Elisabetha Hevelius døde 23. december 1693 i Gdansk, 46 år gammel.

Indledning

Byen Gdansk (Danzig) i Polen var i 1600-tallet en rig polsk-tysk købmandsby. Området omkring Gdansk hed Pommern, og det var en del af det dengang store Polsk-Litauiske Rige. Selve byen Gdansk var en af de tyske Hansestæder. Dvs. at det var et grænseområde for polsk og tysk indflydelse.

Både Johannes Hevelius og Elisabetha Koopman kom fra rige borgerfamilier. Johannes' familie ejede et bryggeri.

Elisabethas familie var så rige og frisindede, at de lod den videbegærlige unge pige få en god uddannelse. Det var udsædvanligt på den tid. Elisabetha lærte bl.a. latin, og hun blev dygtig til at skrive på latin. I ægteskabet udnyttede hun dette til at føre sin og ægtefællens udenlandske korrespondance. Dengang var latin de lærdes internationale sprog, lige som engelsk i vore dage er blevet et universalsprog.

I ægteskabet lavede hun også mange matematiske beregninger, som er en vigtig del af astronomien. I dag ved man ikke, om hun havde lært matematik hjemmefra, men det kunne ligne hende.

Kvinders chancer som astronomer o. lign.

Indtil ca. år 1900 havde selv de dygtigste og mest engagerede kvinder ikke mange chancer for at beskæftige sig med andet end de almindelige kvindesysler. I rige familier måtte kvinder gerne lære at læse mere end Bibelen, og de måtte også gerne lære lidt musik og maling. Men de måtte ikke overskride grænsen til professionel.

Specielt fysik og astronomi var ikke velset som kvindelige specialer. Elisabetha var heldig, at hun fik lov til at lære latin og til at kaste sig over sin store interesse for astronomi.

Lad os f.eks. sammenligne med vores danske Sophie Brahe, født 1556 eller 1559, død 1643. Hun var søster til Tycho Brahe, og hun var også interesseret i astronomi. Hun hjalp ham med at observere på Hven. Men man mener i dag, at hun ikke engang

måtte lære latin. Det gjorde hendes videnskabelige studier og arbejde meget besværlige, jfr. bemærkningen ovenfor om latin.

Når Sophie alligevel endte som Nordens første kvindelige astronom, så skyldtes det, at hun og Tycho (1546-1601) var perlevenner, så han hjalp og udfordrede hende. Næsten alle de andre i deres højadelige familie var på nakken af dem. Adelsfolk M/K skulle ikke interessere sig for astronomi, de skulle være fine, rige og magtfulde. Men Sophie fik alligevel chancen for at blive astronom takket være sin storebror Tycho. Han havde imidlertid selvfølgelig fået lov til at lære latin - han var jo en mand.

Det er et mønster, der går igen op til ca. år 1900: Kvinder kunne kun blive f.eks. astronomer, hvis de var slægtninge til mandlige astronomer.

Når Elisabetha Koopman som purung 16-årig pige giftede sig med Polens førende astronom, den 36 år ældre Johannes Hevelius, så bekræfter dette tilsyneladende mønstret med, at kvinder måtte gifte sig ind i et fag som astronomi, eller på anden måde være heldige med deres slægtskabsforhold.

Det interessante i Elisabethas tilfælde er imidlertid, at hun ikke giftede sig ind i astronomien. Hun var begyndt at brænde for astronomien, allerede da hun var en lille pige. Faktisk havde hun af sig selv opsøgt Johannes, allerede da hun var barn. Dengang havde han lovet hende, at han ville lære hende mere astronomi, end hun havde kunnet ved selvstudier - men hun måtte vente, indtil hun blev ældre. Resten af historien om Elisabetha og Johannes ægteskab og faglige samarbejde følger nedenfor.

Hvis vi imidlertid går et skridt op i tid, så var der i England en anden, dygtig kvindelig astronom, Margaret Flamsteed (ca. 1670-1730). Hun var også hustru og medarbejder til en astronom, nemlig John Flamsteed (1646-1719). Han var den første direktør for det nyåbnede Greenwich Observatorium. På engelsk kaldte man det "astronomer royal". Som vi skal se senere i artiklen her om Elisabetha Hevelius, så fik begge disse kvindelige astronomer ekstra stor betydning, da de var blevet

enker. De redigerede og udgav nemlig deres ægtefællers og deres eget upublicerede materiale. Det gjaldt specielt de store stjernekataloger, som de og deres ægtefæller havde arbejdet på.

Johannes Hevelius

Jeg vil nu vende tilbage til Elisabethas mand, Johannes Hevelius. Fra 1639-1663 havde han arbejdet succesfuldt med astronomi og fået hjælp af mandlige medarbejdere. I 1663 blev Elisabetha og Johannes så gift. Han var født i 1611 og var dermed 36 år ældre end Elisabetha, som blev hans anden hustru.



Portræt af Johannes Hevelius som 66-årig, 1677
Maleri af Daniel Schultz

Johannes var selv startet med astronomien som ganske ung, og han blev kendt som Polens førende astronom i 1600-tallet. Her skal det lige indskydes, at Kopernikus også var polak. Johannes blev anset som den førende astronom i Europa i en lang

periode i 1600-tallet. Han var pga. af sine astronomiske specialer en efterfølger til Tycho Brahe. Johannes var den første astronom efter Tycho, der overgik Tycho, dels mht. observationsnøjagtighed, dels i antallet af stjerner, som han (og senere Elisabetha) beskrev.

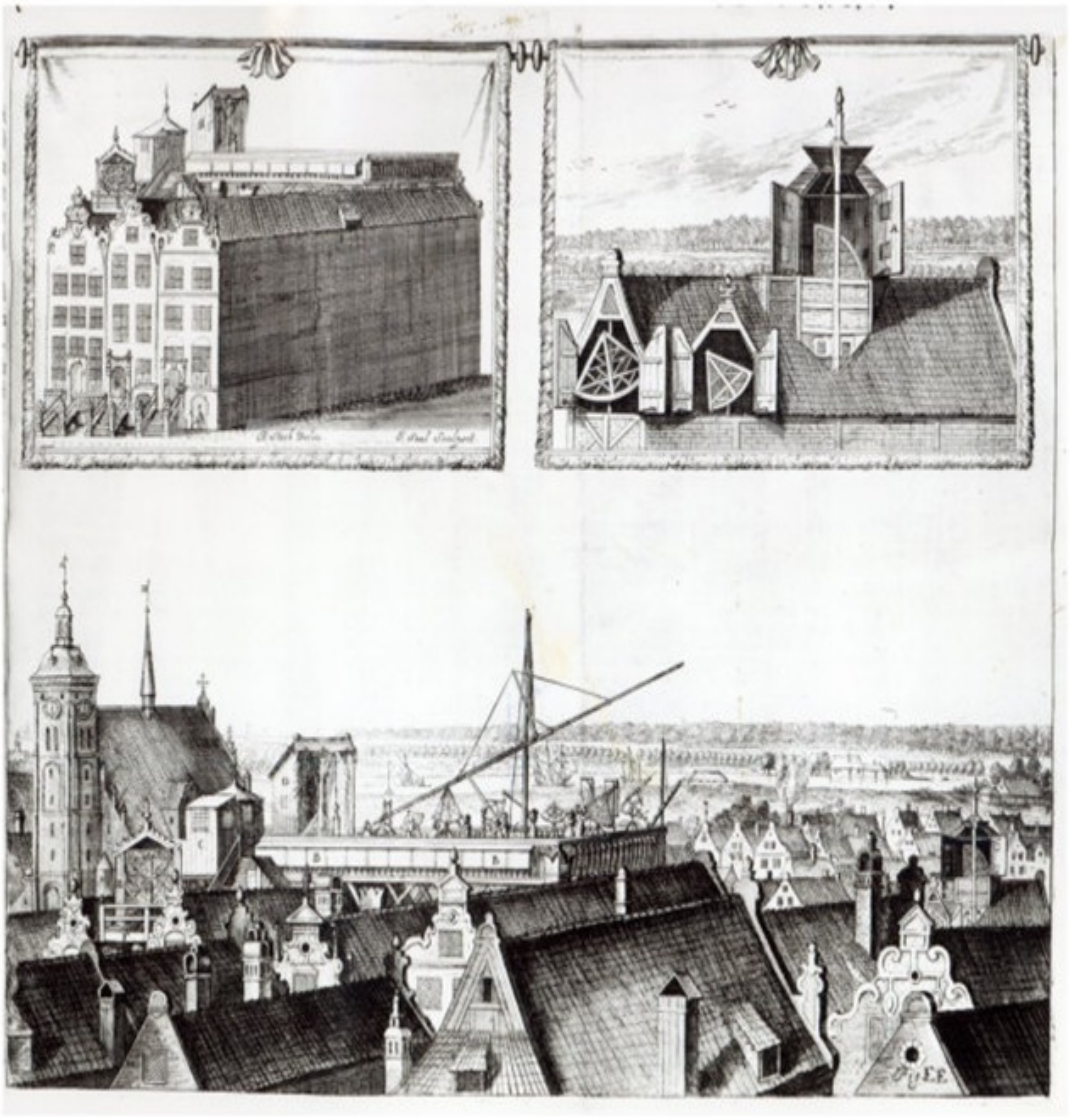
Johannes' (og senere Elisabethas) hjemby, Gdansk (Danzig), var, som nævnt ovenfor, i 1600-tallet en rig og mægtig handelsby, og en blandet landhandel, sprogligt og politisk. Når Johannes allerede fra ungdommen af havde råd til at dyrke sin astronomi, så skyldtes det to faktorer: Han var født ind i en rig og indflydelsesrig familie, som bl.a. ejede et bryggeri.

Den anden faktor kom i spil, da han i 1635 giftede sig med sin første hustru, Katarina. Hun kom også fra en rig og indflydelsesrig familie, og hun ejede de to nabohuse til Hevelius' hus. Det kom senere til at spille en stor rolle, fordi det gav Johannes mulighed for at bygge et observatorium oven på taget af de tre sammenhængende huse. Desuden var hun en stærk og praktisk kvinde, og for at lette Johannes' arbejde med astronomien, overtog hun ledelsen og driften af familiebryggeriet.

Det har nok heller ikke skadet Johannes' ambitioner, at han selv var en politisk aktiv borger i Gdansk, og at han på et tidspunkt var borgmester.

I 1630, da han var 19 år gammel, foretog han sin første studietur i Vesteuropa. Han studerede i Leiden i Holland (men mest jura), og rejste senere i England og Frankrig. Han blev bekendt med mange af datidens førende intellektuelle. Det har selvfølgelig gavnet ham i hans senere arbejde med astronomi.

Fra 1639 og frem blev astronomien Johannes' hovedinteresse. I 1641 stod hans første observatorium færdigbygget. Det blev kaldt "Sternenburg" (Stjerneborg). Det var som nævnt bygget på taget af ægteparret Hevelius' tre huse. Han udstyrede det med fine instrumenter, som han selv havde konstrueret mange af. Lige som Tycho.



Observatorium Sternenburg

Pga. Johannes' store evner som astronom og hans intellektuelle netværk i Europa, blev han som en af de første udlændinge valgt ind som medlem af det berømte, engelske videnskabelige akademi, Royal Society. Det skete i 1673, ca. 10 år efter akademiets dannelse. Han førte også en stor korrespondance på latin med kolleger i hele Europa. Senere, efter sit ægteskab med kollegaen Elisabetha Koopman, overtog hun en stor del af korrespondancen. Man sagde, at hun faktisk skrev bedre end han.

Her vil jeg lige indskyde, at der var et overlap mellem Hevelius og vores Ole Rømer (1644-1710): De levede nogenlunde samtidigt (Rømer var dog 33 år yngre), og deres

faglige interesser og evner overlappede. De var også begge to interesseret i det omgivende samfund, Rømer som bl.a. ingeniør og Hevelius som bl.a. politiker. Der er ikke bevaret breve direkte mellem dem, men man ved fra andre korrespondancer, at de respekterede hinanden højt. Allerede dengang udgjorde forskerne et netværk, både skriftligt og ved rejser. Men der var ikke så meget forskning i naturvidenskab ved datidens universiteter, og man var kun lige begyndt at have faglige tidsskrifter.

Ud over egen rigdom og politisk indflydelse, blev Hevelius også støttet af de polske konger og dronninger. Ligeledes blev han støttet af den franske "Solkonge", Louis 14. I Paris havde man nogenlunde samtidig med England, dvs. i 1666, skabt et videnskabernes akademi i Frankrig, l'Académie Royale des Sciences. (Royal Society var skabt i 1660-1663). Samtidig med det franske akademi havde man bygget et stort observatorium, også i Paris. Louis 14. tilbød Johannes Hevelius posten som den første direktør for det franske observatorium, men han afslog. Imidlertid fortæller disse ting, at Johannes var meget velanskrevet i Europa.

Det faglige ægteskab

Som 15-årig kom Elisabetha Koopman igen til Johannes Hevelius og bad ham om at opfylde det løfte, han havde givet hende, da hun var barn: At lære hende mere astronomi, herunder at give hende mulighed for at observerer nattehimlen vha. instrumenterne i hans observatorium. Uden observationer, ingen astronomi. På det tidspunkt var Johannes' første kone, Katharina, netop død. Johannes opdagede hurtigt den unge piges evner og engagement i astronomi, og året efter (i 1663) blev de gift. Det har sikkert heller ikke skadet Elisabetha, at hun også var smuk og havde store sociale evner.

Elisabetha var altså 16 år, da de blev gift. Det blev starten på et meget frugtbart samarbejde om astronomi, hvor Elisabethas indsats spillede en stor rolle. Selv om hun også havde funktionen som hustru med børnefødsler mm, så lykkedes det hende altså at arbejde som astronom.

At være astronom indebar forskellige ting:

1. Observationer af himmelen fra deres observatorium .
2. Matematiske beregninger af de indsamlede astronomiske data .
3. Korrespondance med andre astronomer i Europa. (Se senere om den engelske astronom Edmund Halleys besøg i Gdansk i 1679).

Elisabetha deltog aktivt i disse tre aktiviteter. En fjerde astronomisk aktivitet var rollen som instrumentmager. Johannes, Tycho og Rømer konstruerede selv mange af deres instrumenter. De samarbejdede alle tre med de bedste håndværkere i branchen. For Johannes' vedkommende drejede det sig bl.a. om sigteinstrumenter og senere kikkerter, men det gjaldt også ure. Johannes Hevelius og hollænderen Christiaan Huygens (1629-1695) var blandt de første, der brugte pendulure med høj præcision. Et nøjagtigt ur var fx også vigtigt ved Ole Rømers bestemmelse af lysets hastighed.

Jeg har ikke fundet nogen data om Elisabethas eventuelle interesse for instrument-udvikling.

Billedet øverst i denne biografi er fra 1673 og viser ægtefællerne stå og observere fra hver sin side af et stort astronomisk sigteinstrument. Billedet er blevet meget berømt og bruges i mange sammenhænge. Som man kan se, viser billedet ikke instrumentet korrekt. Vi kan derfor ikke afgøre, om det viser en kvadrant (retvinklet, dvs. 90 grader) eller en sekstant (60 grader).

Men vi ved, at Elisabetha deltog selvstændigt i en femte astronomisk aktivitet: Nemlig publiceringen af deres data og resultater. Efter Johannes' død som 76-årig i 1687, redigerede og udgav hun deres hovedværk i 1690. Det består af tre bøger og har titlen "Prodromus astronomiae". Det er latin, og "prodromus" betyder noget i retning af "fremadskriden". Jeg skriver mere om indholdet af værket i slutningen af denne biografi.

Arbejdsresultater

Ægteparret Hevelius' vigtigste bedrift var en kortlægning (kartografi) af Månen, kaldet "selenografi" efter Månens gudinde, som hed Selene på græsk. Det svarer til, at man kalder kortlægning af Jorden for geografi, hvor Geo betyder Jorden. Johannes havde allerede arbejdet med dette projekt siden sin ungdom, og i 1647 udgav han sin første bog om månekartografi. Den blev selvfølgelig kaldt "Selenographia". Nedenfor bringer vi et af hans fremragende billeder af Månen. Det er forbløffende godt, også målt med vore dages resultater.



Hevelius´ kort over månen

Men ægteparret lavede også mange andre ting, bl.a. det største stjernekatalog indtil da. Det var endda større end Tychos og mindst lige så pålideligt. Det blev udgivet af Elisabetha efter Johannes' død i den ovenfor omtalte publikation "Prodromus astronomiae" fra 1690.

Kikkerter

Kikkerten blev opfundet af hollandske brillemagere i 1608. Galilei (1564-1642) genopfandt kikkerten og var den første, der brugte kikkert til astronomiske observationer. Det var i 1609.

Inden da havde det været meget svært at opnå en god præcision med de blotte øjne, selv om snedige astronomer og instrumentmagere, som f.eks. Tycho Brahe, kunne udrette mirakler. Da Tycho døde i 1601, var kikkerten simpelt hen ikke opfundet endnu.

Anderledes forholdt det sig med Johannes Hevelius. Han var født i 1611, dvs. efter kikkertens opfindelse. Men han så det i mange år som en sport at forbedre sine sigteinstrumenter uden brug af linser, så han fortsatte med at observere med de blotte øjne. Her skal der dog siges, at Johannes havde et fantastisk godt syn. Han blev altså en ny Tycho Brahe mht. at observere uden brug af linser.

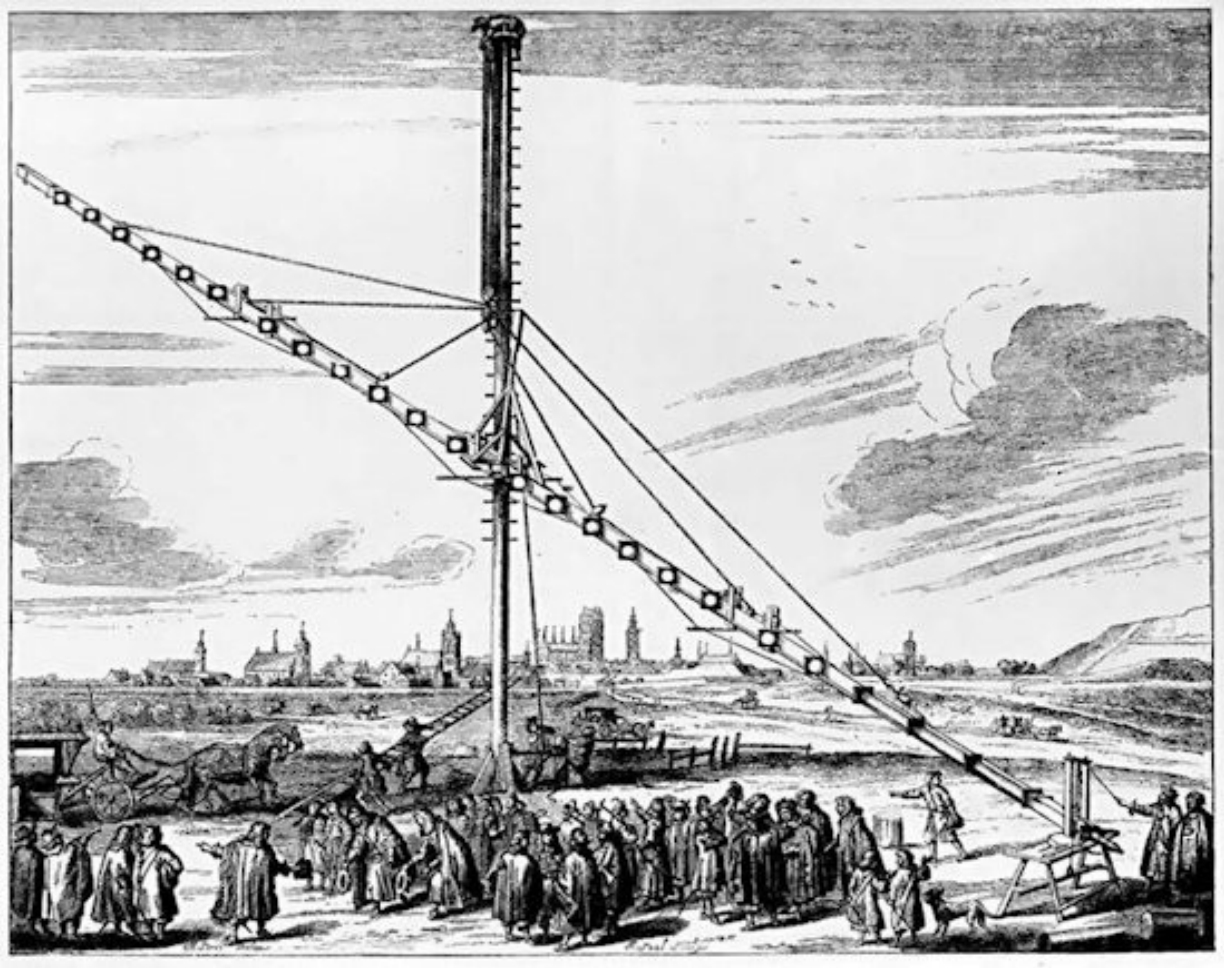
Alligevel var arbejdet uden kikkert blevet gammeldags på Hevelius' tid. Men der var en særlig grund til, at Hevelius i mange år undgik linsekikkerter: På det tidspunkt havde man ikke løst en systematisk fejlkilde, som opstår, når man bruger linser: Den kaldes den "sfæriske aberration". Aberration betyder "afvigelse". Det drejer sig om en afbildningsfejl.

Johannes Hevelius var så betydningsfuld en astronom, at han som en af de første udlændinge var blevet medlem af det engelske akademi Royal Society. Det var i 1673. Der opstod imidlertid en ophedet diskussion mellem Hevelius og de engelske astronomer, netop om brugen af kikkert: Hooke (1635-1703), Flamsteed (1646-1719) (med astronomhustruen Margaret) og Halley (1656-1742). (Halley var i øvrigt Newtons bannerfører). Englænderne sagde, at det var nødvendigt at bruge kikkert, nu hvor den var blevet opfundet. Ellers, sagde de, ville præcisionen blive for lille i forhold til observationer med kikkert.

Da man ikke kunne blive enige via korrespondance, blev Halley i maj 1679 sendt til Gdansk for at besøge ægteparret Hevelius. Hans opgave var at overbevise Hevelius'erne om, at det var nødvendigt at bruge kikkert. Halley tog en moderne kikkert med, som ud over fine linser indeholdt fine sigte- og måleinstrumenter. Men Johannes vandt konkurrencen! Alligevel gik han kort tid efter over til at bruge kikkert som standard.

Som en lille krølle på dette historiske forløb, må vi her nævne, at den ovenfor nævnte afbildningsfejl ved linser er et problem, der ikke er helt løst i dag. Men man bruger i dag andre linseformer, end dem man startede med i 1600-tallet.

En måde at omgå problemet med den sfæriske aberration, er at bruge kæmpelange kikkertrør, for så er linsernes brændvidde stor. Det formindsker linsefejlen. Faktisk begyndte Johannes Hevelius at bygge teleskoper, der var enormt lange, allerede inden Halleys besøg. Man bruger betegnelsen "teleskop" for lange kikkerter. Hevelius førte an i konkurrencen om de længste teleskoprør. Hans eget længste var 45 meter langt! Der var en linse i det foroven og en forneden. Imellem dem var der plader med hul i midten. De skærmede for uvedkommende lys.



Teleskopet på billedet er 45 meter langt.

Ulykken

Den 26. september 1679, efter at Halley var rejst hjem til England igen, brændte ægteparret Hevelius' store, velforsynede observatorium, Sternenburg, ulykkeligvis helt ned til grunden. Alt var jo af træ dengang, så der var altid en enorm brandfare. Heldigvis var der ingen mennesker til stede. Men alligevel var det jo et chok for Johannes at opleve sit livsværk brænde. Han mistede ikke bare bygningen, men også de fleste af sine instrumenter og mange af sine bøger. Bl.a. var der en bog, som ægteparret havde skrevet, hvor næsten hele oplaget lå på observatoriet og derfor forsvandt ved branden.

Johannes døde ganske vist ikke af chokket lige efter, og han påbegyndte opførelsen af et nyt observatorium. Men han kom sig aldrig helt over tabet. Han døde i 1687, på sin 76-års fødselsdag. (Dengang var 76 år faktisk en høj alder).

Kjolen

I England gik rygtet, at Johannes var død ved ulykken. Den smukke Elisabetha havde forinden bedt Halley købe en kjole til hende i England. I oktober 1679 sendte Halley en flot og farverig kjole til en sekretær i Gdansk. Halley skrev, at det måske ville være mere passende at sende en sort enkekjole. Men kun hvis Johannes virkelig var død. Hvis rygtet ikke talte sandt, og Johannes ikke var død, ville Halley imidlertid finde det meget upassende at sende en sort kjole. Så han var endt med at sende en flot silkekjole. Han skrev, hvor meget det havde kostet ham, men han bad ikke om penge. I stedet bad han Elisabetha sende ham tre kopier af Hevelius'ernes egne bøger - smart og moderne.

Stjernekataloget 1690

I 1690, tre år efter gemalens død, lavede Elisabetha en af sine største bedrifter: Hun redigerede og udgav deres største skriftlige arbejde, ud fra de ufuldstændige manuskripter og upublicerede data.

Det fyldte tre bøger, og deres latinske titel er: "Prodromus astronomiae". "Prodromus" betyder noget i retning af "fremadskriden". De tre bøger indeholder følgende:

Bog 1: Forord og upublicerede observationer.

Bog 2: Stjernekatalog, dateret 1687. Det var det indtil da største af slagsen med 1564 stjerner. Det var endda større end Tychos fremragende stjernekatalog.

Bog 3: Et atlas over stjernebilleder, dateret 1687. Det rummer 56 ark og svarer til stjernekatalogets oplysninger.

Med dette arbejde ydede Elisabetha en væsentlig bedrift i astronomien.

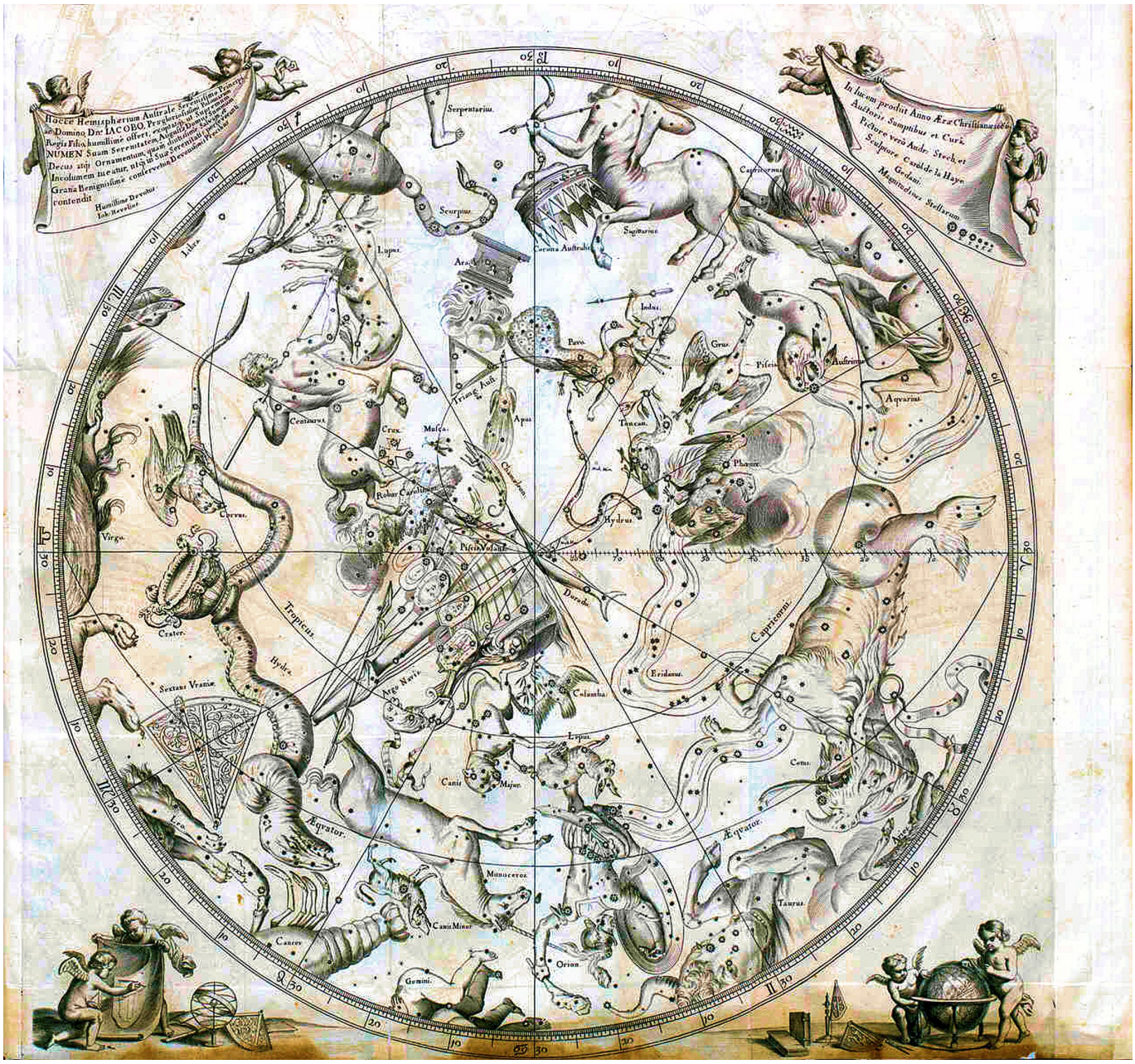
Afslutning

Johannes skrev alle steder efter deres bryllup i 1663, at alle observationer derefter var tre personers arbejde og fortjeneste: Hans eget arbejde, en mandlig assistents - og hans "allerkæreste hustrus". Så han var hele livet glad og stolt over Elisabethas interesser og evner.

Johannes døde den 28. januar 1687, på sin 76-års fødselsdag. Elisabetha døde den 23. december 1693, kun 46 år gammel.

Da ægteparret Hevelius var specialister i Månens kortlægning (kartografi) kaldes Johannes for "månekartografiens grundlægger", mens Elisabetha kaldes for "måne-kartografiens moder".

Men Elisabetha var ikke bare medfølgende kone, hun var astronom i egen ret, og som sådan den første kvinde, der blev anerkendt for sit eget astronomiske arbejde. Planetoiden "12625 Koopman" er opkaldt efter Elisabetha, født Koopman. Ligeledes krateret "Corpman" på Venus. (Hendes pigenavn betyder "købmand").



Hevelius´ stjernekort



Polsk frimærke med Hevelius

Referencer

A. Bøger:

Olaf Pedersen og Helge Kragh: *Fra Kaos til Kosmos: Verdensbilledets historie gennem 3000 år.* København: Gyldendal, 2000.

The Cambridge Concise History of Astronomy. /Ed. Michael Hoskin. Cambridge University Press, 1999.

B. Nettet:

Langt den bedste kilde om Elisabetha Hevelius, f. Koopman, er den mexikansk-amerikanske raketingeniør Dr. Dora Musielaks foredrag i 2009, Det Internationale Astronomiår: *Stories of Women Stargazers.* Foredraget, som blev holdt den 30. marts 2009, ligger forskellige steder på nettet.

Wikipedia på 6 sprog:

Norsk. Kort, men astronomisk set den mest interessante Wikipedia artikel mht. Hevelius.

Engelsk. Den længste, men astronomisk set ikke så interessant som den norske. Der står også en særskilt artikel på engelsk Wikipedia om Elisabetha.

Tysk, Dansk, Polsk og Fransk

Om pendulurets historie: http://www.kunstpedia.com/articles/johann-hevelius-(1611-1687) .html

C. Forfatteren:

Else Høyrups, hjemmeside sammen med Frank Nielsen: På hjemmesiden www.fysikhistorie.dk kan man læse mere om Hevelius'ernes faglige arbejde og meget mere om astronomihistorie og fysikhistorie.

Forfatterens e-mail: elsehoyrup@mail.dk

Johannes Kepler

Den elliptiske jordbane

Af Jørgen Lyngbye

Det blev ikke Tycho Brahe, men hans elev og efterfølger, den tyske astronom og matematiker Johannes Kepler (1571-1630) som pegede på et planetsystem, der forudsagde planeternes baner med Solen i centrum i samklang med Kopernikus' teori. Derved blev det Kepler, der genskabte den himmelske harmoni ved opstillingen af et nyt verdensbillede på basis af den eksakte naturvidenskab og astronomiske målinger foretaget af Tycho Brahe og hans andre elever.



Kepler blev født i 1571 i byen Weil i Schwabenland (i nutiden: Baden-Württemberg). Han skal have været svagelig som barn og yderligere ramtes han af sygdommen kopper, som medførte et svagt syn og svage hænder, der blev en hæmsko for ham i hans astronomiske observationer. Passagen af en komet i 1577 og en måneformørkelse

i 1580 gjorde et så enormt indtryk på ham, at han allerede i barndommen udviklede en brændende interesse for astronomi.

Hans farfar, Sebald Kepler, var en respekteret håndværker og borgmester i byen og morfaren Melchior Guldenmann, var krovært og borgmester i landsbyen Eltingen. Hans far Heinrich Kepler blev senere beskrevet af Johannes som en amoralsk, rå og stridbar soldat. Johannes har også beskrevet sin mor som en utiltalende person.

Fra 1574 til 1576 boede Johannes hos bedsteforældrene. Derefter flyttede hans forældre til den nærliggende by Leonberg, hvor Johannes kom i latinskole. I 1584 blev han optaget på det protestantiske akademi i Adelberg og i 1589 begyndte han universitetsuddannelse på det protestantiske universitet i Tübingen, hvor han studerede teologi og i øvrigt læste flittigt. Han fik en magistergrad i 1591 og fortsatte studierne som videregående student. Keplers lærer i *mathematica* var Michael Mästlin (1550-1635). Mästlin var en af de første astronomer, der støttede Kopernikus' heliocentriske teori, skønt universitetet kun underviste i det ptolemæiske geocentriske verdensbillede. Kun for de videregående studerende orienterede Mästlin om 'tekniske' detaljer i Kopernikus' system. Kepler sagde senere, at han på den tid blev tilhænger af Kopernikus af "fysiske eller, hvis man foretrækker det, metafysiske grunde." I 1594 afbrød han studierne og blev lærer i matematik i Graz.

Keplers første publikation var bogen *'Mysterium Cosmographicum'* (det kosmiske mysterium) blev udgivet i Tübingen i 1596 og var et forsvar for det kopernikanske system. Meget af Keplers begejstring for det kopernikanske system stammede fra hans teologiske overbevisning om forbindelsen mellem det fysiske og det spirituelle: Selve Universet var et billede på Gud, hvor Solen svarede til Faderen, stjernernes sfære til Sønnen og det mellemliggende rum til Helligånden.

Kepler sendte bogen til mange astronomer og tillige til Brahes rival, den kejserlige matematiker i Prag Reimarus Ursus (1551-1600), der videresendte Keplers brev for at understrege sit fortrin over Brahe og mht. det tychoniske verdensbillede. På trods af

dette begyndte Brahe at korrespondere med Kepler med en hård kritik af Keplers anskuelser, hvor Brahe påpegede unøjagtige numeriske data hos Kopernikus. Gennem brevvekslingen diskuteredes en lang række astronomiske problemer, især mht. månefænomener og Kopernikus' teori. I 1599 var Kepler presset pga. religiøse bevægelser i Graz og samtidig følte han sit arbejde hæmmet af unøjagtige data. Da inviterede Brahe ham til Prag, men Kepler var allerede taget af sted før han modtog invitationen i håb om Brahes beskyttelse angående såvel sine filosofiske, som sociale og økonomiske problemer. Kepler vendte kortvarigt tilbage til Graz, men måtte flygte i august 1600, fordi han nægtede at konvertere til katolicismen. Efter ankomsten til Prag fik Brahe ham ansat som sin assistent. Da den store danske astronom døde i 1601, blev Kepler matematiker hos Kejser Rudolf II og helt naturligt Brahes efterfølger. Han kunne på grundlag af Brahes omfattende og nøjagtige planetobservationer, som han overtog, kombineret med sine fremragende matematiske evner, omsætte de gjorte erfaringer til en hypotese. Han formulerede herefter sine love for planeternes bevægelse om Solen og beregnede derudfra de såkaldte *Rudolfinske Tavler,* der dannede grundlaget for beregningen af planeternes positioner gennem mere end 100 år.

Keplers indstilling var i begyndelsen selvfølgelig, som antydet, helt præget af spekulation og teologi. Ganske vist accepterede han ikke Brahes indviklede geocentriske kosmologi, men støttede det kopernikanske verdensbillede, hvor Solen er det faste centrum, om hvilket Jorden og de andre planeter bevæger sig i cirkelkredse. Heri så Kepler et udtryk for Guds vidunderlige skabermagt. Gud havde skabt alle himmellegemer, sat dem ind i et smukt og harmonisk system efter simple geometriske principper og, i fuld overensstemmelse med tidens mentalitet, udstyret planeterne med bevægende sjæle eller ånder, der fik det vidunderlige spil til at dreje rundt i en evig regelmæssighed ('sfærernes harmoni'). Men Kepler blev rokket i sit religiøse syn gennem de beregninger, som han foretog ud fra Brahes observtioner af planeten Mars. Disse førte nemlig til, at planeten løb rundt i en 'skæv cirkel', og at den tabte hastighed, jo mere den fjernede sig fra Solen.

I sit 'Marsskrift' fra 1609 – *'Neue Astronomie oder Physik des Himmels in Kommentaren über die Bewegung des Mars'* eller *'Astronomia Nova'* - udtrykte han dette eksakt og generelt her i de to første af de tre berømte planetlove.

> *Keplers første lov* siger, at planeternes baner, herunder Jordens, beskriver ellipser med Solen i det ene brændpunkt. En ellipse er en plan kurve. Den kan populært beskrives som en cirkel, der er blevet 'mast flad'. Mere præcist er den det geometriske sted for de punkter, hvorfra summen af afstandene til to såkaldte brændpunkter er konstant.
>
> *Keplers anden lov* siger at den linje, som forbinder Solen med en planet, overstryger lige store arealer i lige store tidsrum, hvilket medfører at planeten har en højere hastighed, når den er nærmest Solen, mens hastigheden omvendt mindskes ved større afstand.
>
> *Keplers tredje lov* siger, at kvadratet på en planets omløbstid er ligefrem proportionalt med tredje potens af dens middelafstand til Solen (den halve storakse i ellipsebanen). Proportionalitetskonstanten er den samme for alle planeterne. Den tredje lov kom først i 1619 i bogen *'Harmonices Mundi'*.

Disse resultater bidrog til den revolution i verdensbilledet, som senere fuldendtes med Newtons kosmologiske model med dens beskrivelser og forudsigelser. Først med Newton leveredes den fysiske og matematiske baggrund for Keplers love. Kepler indarbejdede religiøse argumenter i sine værker, motiveret af den religiøse overbevisning om at Gud havde skabt verden efter en forståelig plan, som kan tilgås gennem fornuftens naturlige lys. Kepler beskrev sin nye astronomi som "himmelsk fysik". Men han forlangte samtidig, at enhver 'forklaring' i naturvidenskaben fremtidig skulle bestå i en påvisning af en 'sand årsag', en *'vera causa',* dvs. noget, der kunne direkte iagttages eller logisk udledes heraf.

I overensstemmelse med tidens mentalitet ændrede dette nok ved hans fortolkning af det sete, men ikke ved hans fundamentale tro på, at hele naturen til syvende og sidst

var Guds værk (ganske som Newton). Han mente blot, at vor ånd bedst begriber Guds væren og virke i naturen, når billedet beskrives i matematikkens, fysikkens og dermed naturens eget sprog. Med Keplers nye kosmologi satte opfattelsen af verdensaltet som et af Gud en gang skabt genialt 'urværk' sig fast i tiden fremover.

Kepler udgav senere en lærebog i optik, hvori han gjorde rede for princippet i en astronomisk kikkert opbygget med to samlelinser. Men allerede i 1604 havde han udgivet bogen *'Astronomia pars Optica'* (den optiske del af astronomien; se også nedenfor).

Da Tycho Brahe i 1599 rejste til Prag, måtte han forlade sine omhyggeligt opbyggede og veludstyrede observatorier og laboratorier på Hven, men fik til gengæld som assistent, Johannes Kepler, der ikke blot skulle komme til at videreføre hans arbejde, men som ud fra Tychos observationer sluttede sig til en ny model for planetsystemet.

Tycho Brahe opdagede den nye stjerne (egentlig en supernova) i 1572 og Kepler så en tilsvarende i 1604. Men siden er der ikke fundet nogen i Mælkevejssystemet. Mens Brahes observation var med til at bestemme hans løbebane som astronom, var Keplers løbebane, som anført, allerede fastlagt før den tid. Han var grebet af Platons idé om matematikken som den vigtigste videnskab og som Guds redskab, hvis evige love styrede verden.

Det kan bemærkes, at allerede i året 1054 fik kinesiske astronomer i Tyrens stjernebillede øje på en ny stjerne, der var lige så klar som fuldmånen. Den var så klar, at den i løbet af den første måned også kunne ses om dagen. I løbet af et år blev den gradvist svagere, indtil den ikke længere var synlig for det blotte øje. Takket være de meget nøjagtige beskrivelser efterladt af de kinesiske astronomer ved vi i dag, at det de så, var den supernova, der nu er blevet til Krabbetågen.

Kepler søgte i lang tid at finde, hvordan Mars' bevægelse, som Tycho Brahe havde observeret den, passede ind i Kopernikus' system eller i Brahes verdensbillede. Men det lykkedes ikke. De afvigelser, der var, kunne han med store anstrengelser få

reduceret til 8 bueminutter på himlen (et bueminut er 1/60 af en grad). Det var tæt på den målenøjagtighed, som man kunne opnå uden brug af kikkert, som Brahe, modsat Kepler, ikke havde haft. Efter at have arbejdet med dette problem i lang tid fik Kepler sin geniale ide, dvs. at planetbanerne ikke er cirkler, men ellipser. Det var en simplere løsning på problemet end Brahes komplekse kosmologi med epicykler.

Alligevel kan man undres over, at Kepler ikke tænkte, at så var Brahes observationer nok alligevel ikke så nøjagtige, som han havde troet. Kepler skrev: *"Da Gud i sin godhed har givet os en yderst omhyggelig observatør i Tycho Brahe, fra hvis observationer disse beregninger afviger med 8 bueminutter... vil det være rigtigt at anerkende og modtage Guds gave med taknemmelighed... For hvis jeg kunne have negliseret 8 minutters afvigelse, havde jeg allerede korrigeret den hypotese tilstrækkeligt... som blev opdaget, i mit tidligere kapitel [i bogen]. Men da de ikke kunne negligeres, har disse 8 minutter alene ført til en fuldstændig reformation af astronomien, og de er blevet tema for en stor del af denne bog."*

Kepler sendte bogen til mange astronomer og tillige til Brahes rival, den kejserlige matematiker i Prag Reimarus Ursus (1551-1600), der videresendte Keplers brev for at understrege sit fortrin over Brahe og mht. det tychoniske verdensbillede. Brahe, der på det tidspunkt var kejserlig hofastronom hos Rudolf II i Prag, begyndte også at korrespondere med Kepler med en hård kritik af Keplers anskuelser, hvor Brahe påpegede unøjagtige numeriske data hos Kopernikus. Gennem brevvekslingen diskuteredes en lang række astronomiske problemer, især mht. månefænomener og Kopernikus' teori. I 1599 var Kepler presset pga. religiøse bevægelser i Graz og samtidig følte han sit arbejde hæmmet af unøjagtige data. Brahe inviterede ham til Prag, men Kepler var allerede taget af sted før han modtog invitationen i håb om Brahes beskyttelse angående såvel sine filosofiske, som sociale og økonomiske problemer. Kepler vendte kortvarigt tilbage til Graz, men måtte flygte i august 1600, fordi han nægtede at konvertere til katolicismen. Efter ankomsten til Prag fik Brahe ham ansat som sin assistent. Da den store danske astronom døde i 1601, blev Kepler kejserlig matematiker hos Rudolf II og helt naturligt Brahes efterfølger. Han kunne på

grundlag af Brahes omfattende og nøjagtige planetobservationer, som han overtog, kombineret med sine fremragende matematiske evner, omsætte de gjorte erfaringer til en hypotese. Han formulerede herefter lovene for planeternes bevægelse om Solen og beregnede derud fra de såkaldte *Rudolfinske Tavler,* der dannede grundlaget for bestemmelse af planeternes positioner gennem mere end 100 år.

Keplers indstilling var i begyndelsen, som antydet ovenfor, helt præget af spekulation og teologi. Ganske vist accepterede han ikke Brahes indviklede geocentriske kosmologi, men støttede fortsat det kopernikanske verdensbillede, hvor Solen er det faste centrum, om hvilket Jorden og de andre planeter bevæger sig i cirkelkredse. Heri så Kepler et udtryk for Guds skabermagt. Gud havde skabt alle himmellegemer, sat dem ind i et smukt og harmonisk system efter simple geometriske principper og, i fuld overensstemmelse med tidens mentalitet, udstyret planeterne med bevægende sjæle eller ånder, der fik det vidunderlige spil til at dreje rundt i en evig regelmæssighed (’sfærernes harmoni’). Men Kepler var blevet rokket og siden rystet i sit poetisk-religiøse syn gennem de beregninger, som han foretog ud fra Brahes observationer af planeten Mars. Disse førte nemlig til, at planeten løb rundt i en ’skæv cirkel’, og at den tabte hastighed, jo mere den fjernede sig fra Solen.

Disse resultater bidrog til den revolution i verdensbilledet, som senere fuldendtes med Newtons kosmologiske model med dens beskrivelser og forudsigelser. Først med Newton leveredes den fysiske og matematiske baggrund for Keplers love. Kepler indarbejdede religiøse argumenter i sine værker, motiveret af sin overbevisning om at Gud havde skabt verden efter en forståelig plan, som kan tilgås gennem fornuftens naturlige lys. Kepler beskrev sin nye astronomi som "himmelsk fysik". Men han forlangte samtidig, at enhver ’forklaring’ i naturvidenskaben fremtidig skulle bestå i en påvisning af en ’sand årsag’, en *’vera causa’,* dvs. noget, der kunne direkte iagttages eller logisk udledes heraf.

I overensstemmelse med tidens mentalitet ændrede dette nok ved hans fortolkning af det sete, men ikke ved hans fundamentale tro på, at hele naturen til syvende og sidst

var Guds værk (ganske som Newton). Han mente blot, at vor ånd bedst begriber Guds væren og virke i naturen, når billedet beskrives i matematikkens, fysikkens og dermed naturens eget sprog. Med Keplers nye kosmologi satte opfattelsen af verdensaltet som et af Gud skabt genialt 'urværk' sig fast i tiden fremover.

Kepler udgav senere en lærebog i optik, hvori han gjorde rede for princippet i en astronomisk kikkert opbygget med to samlelinser. Men allerede i 1604 havde han udgivet bogen *'Astronomia pars Optica'* (den optiske del af astronomien; se også nedenfor).

Tycho Brahe havde opdaget den nye stjerne (egentlig en supernova) i 1572 og Kepler så den næste i 1604. Siden er der ikke set flere i Mælkevejssystemet. Hvis Brahes observation var med til at bestemme hans løbebane som astronom, var Keplers løbebane allerede var fastlagt før 1604 og endog før hans møde med Tycho Brahe. Kepler var grebet af Platons idé om matematikken som den vigtigste videnskab og som Guds redskab, hvis evige love styrede verden.

Det kan bemærkes, at allerede i året 1054 fik kinesiske astronomer i Tyrens stjernebillede øje på en ny stjerne, der var lige så klar som fuldmånen. Den var så klar, at den i løbet af den første måned også kunne ses om dagen. I løbet af et år blev den gradvist svagere, indtil den ikke længere var synlig for det blotte øje. Takket være de meget nøjagtige beskrivelser efterladt af de kinesiske astronomer ved vi i dag, at det de så, var den supernova, der nu er blevet til Krabbetågen.

Kepler søgte i lang tid at finde, hvordan Mars' bevægelse, som Tycho Brahe havde observeret, passede ind i Kopernikus' system eller alternativt i Brahes verdensbillede, men det lykkedes ikke. De afvigelser, der var, kunne han med store anstrengelser få reduceret til de 8 bueminutter på himlen (et bueminut er 1/60 af en grad). Det var tæt på den målenøjagtighed, som man kunne opnå uden brug af kikkert, som Brahe, modsat Kepler, ikke havde haft. Efter at have arbejdet med problemet i længere tid fik Kepler sin geniale ide, dvs. at planetbanerne ikke var cirkler, men ellipser. Det var en simplere løsning på problemet end Brahes komplekse kosmologi med epicykler.

Herefter kunne Kepler formulere sine tre love for planetbevægelserne. De vakte nu ikke straks så megen opsigt, som man kunne have ventet. Galilei omtaler dem f.eks. ikke. Han har muligvis troet for sikkert på Kopernicus' hypotese og de 'guddommelige' cirkelbevægelser.

Kepler vidste ikke, at det var tyngdekraften, der var bestemmende for planetbevægelserne. Han mente, at det kunne dreje sig om magnetiske kræfter, som den engelske naturforsker William Gilbert (1544-1603) netop havde studeret, for det var de eneste fjernkræfter, som man kendte på den tid. Man vidste derfor, at Jorden var magnetisk. Den korrekte forklaring kom først med Newton.

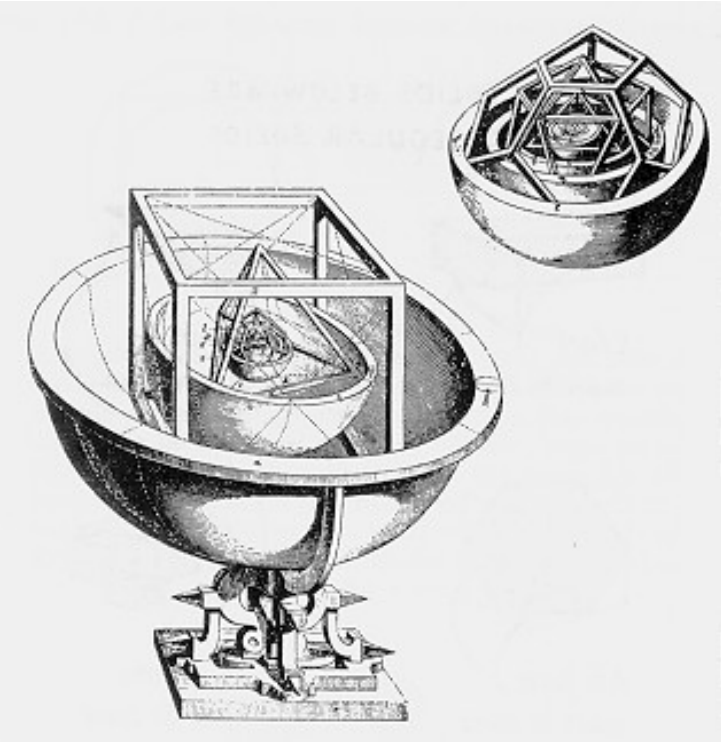
Kepler måtte hele sit liv kæmpe med såvel personlige som økonomiske problemer. Han voksede op i yderste fattigdom, men kunne dog allerede i sin studietid tjene til dagen og vejen ved astrologiske forudsigelser, som han vel egentlig mente var ren svindel: *"Moder Astronomi må sulte, hvis ikke datter Astrologi tjener til føden,"* udtalte han. Brahe og Kepler levede ellers i en tid hvor der ikke var nogen klar adskillelse mellem astronomi og astrologi.

Midt i sit krævende arbejde måtte Kepler ydermere udarbejde et forsvarskrift for sin mor, der under hekseforfølgelser i 1615-1616 blev anklaget for at være heks og nær var blevet brændt, hvis ikke sønnen var trådt til for at forsvare hende. Først sent i 1620 sluttede sagen med at hun blev sat fri. Desuden havde Kepler økonomiske problemer. Han havde vanskeligt ved at få udbetalt sin løn hos Kejser Rudolf II, og det kom så vidt, at han måtte opsige sin stilling og søge mindre godt betalt embede som professor først i Linz og senere i Rostock.

Kepler var en fremragende matematiker. Som antydet var han allerede i 1594 blevet professor i matematik ved det protestantiske akademi i Graz i Østrig. Han blev også udnævnt til distriktsmatematiker, hvor han bl.a. skulle overvåge fremstilling af kalendere. Som anført blev han i Graz indtil 1600, hvor alle protestanter blev tvunget til at omvende sig til katolicismen som et led i modreformationen. I de seks år i Graz underviste Kepler i Virgil og retorik samt i aritmetik og geometri, når der

var interesserede studenter. I fritiden fortsatte han sine private studier i astronomi. En af hans pligter som professor var netop, trods hans personlige modvilje, astrologiske forudsigelser. Han forudsagde således korrekt en kold vinter og en invasion af tyrkerne. Det øgede respekten for ham og medførte en højere løn.

Hans første vigtige arbejde *'Mysterium Cosmographicum'* kom, som omtalt, i 1596. Her hævdede han, at planeternes afstande fra Solen i det kopernikanske system bestemtes af fem regulære faste legemer ('skaller'), hvor man måtte forestille sig, at en planets omløbsbane var omskrevet af en og indlejret i en anden. Keplers konstruktion var, med undtagelse af Merkur, bemærkelsesværdig nøjagtig. Figuren viser Keplers model af Solsystemet (fra *Mysterium Cosmographicum*).

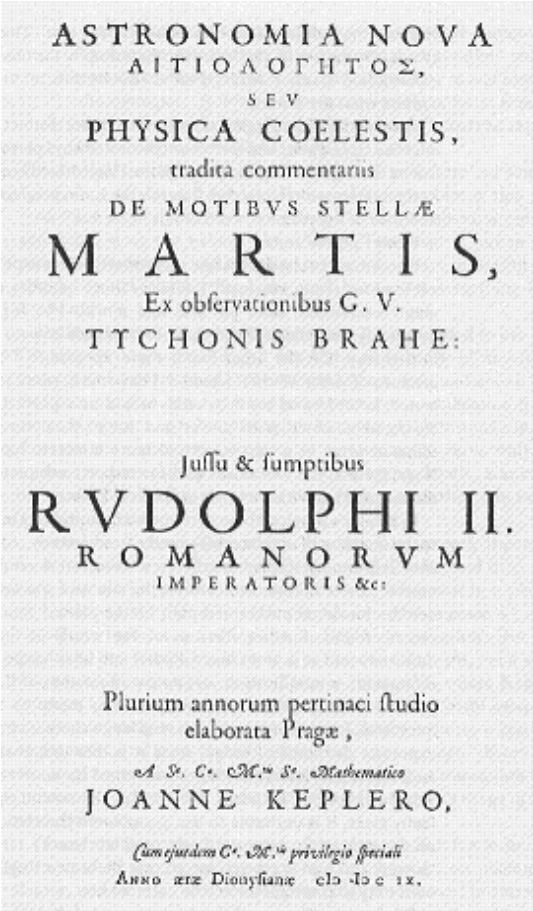


Den ydre sfære er Saturns og inden i den Jupiters. Kepler byggede to modeller i farvet papir i håb om at få fremstillet modellen i sølv. Hans oprindelige tanke var, at den også skulle fungere som en punchebolle til at tillave diverse drikke. Den mindre figur til højre er et nærbillede af sfærerne for de indre planeter, dvs. Merkur, Venus, Jorden og Mars.

Det er egentlig en fin astronomisk model. Eksempelvis forklarer den hvorfor der kun er seks planeter, for hvordan kunne der være en syvende planet, når Euklid i antikken havde bevist, at der kun er fem platoniske polyedre (regelmæssige polygoner), dvs. tetrahedron, terning (hexahedron), octahedron, dodecahedron og icosahedron. Det drejede sig her om de fem andre da kendte planeter og Jorden. I øvrigt er Keplers model naturligvis forkert, idet afstandene mellem planeterne ikke er vist korrekt, men det var Kepler selv klar over.

Keplers bog viste hans talent som matematiker. Det var derfor Tycho Brahe, som anført ovenfor, i 1599 havde inviteret ham til Prag som assistent for at beregne nye kredsløb for planeterne ud fra Tychos observationer. Her arbejdede Kepler som Tychos assistent indtil Tychos død i 1601, hvorefter han, som omtalt, blev ansat som Tychos efterfølger som kejserlig matematiker, der var den mest prestigefulde post i matematik i Europa. Han blev på posten indtil 1612, da Kejser Rudolph II blev afsat af sin broder Matthias. I Prag udgav Kepler yderligere flere bøger. I 1604 udkom bogen *'Astronomia pars Optica'* (den optiske del af astronomien), hvor han behandlede atmosfærisk refraktion, brugen af linser og øjets funktion. I 1606 udgav han '*De Stella Nova'* (angående den nye stjerne) om den nye stjerne, der, som omtalt, havde vist sig i 1604. I 1609 kom den berømte *'Astronomia Nova'* (den nye astronomi), som indeholder hans to første love (se ovenfor).

I 1610 havde Kepler hørt og læst om Galileis opdagelser med kikkerten. Han skrev hurtigt et langt brev, som han publicerede som *'Dissertatio cum Nuncio Sidereo'* (konversation med stjernebudbringeren). Da han senere samme år fik et brugbart teleskop, publicerede han observationer af Jupiters måner under titlen *'Narratio de Observatis Quatuor Jovis Satellitibus'* (beretning om observation af fire af Jupiters måner). Disse småskrifter var en stor støtte til Galilei, hvis opdagelser blev betvivlet eller benægtet af mange. De blev da også hurtigt genoptrykt i Florens. Kepler gik videre med begyndelsen til en teori om teleskopet i sin *'Dioptrice'* fra 1611.

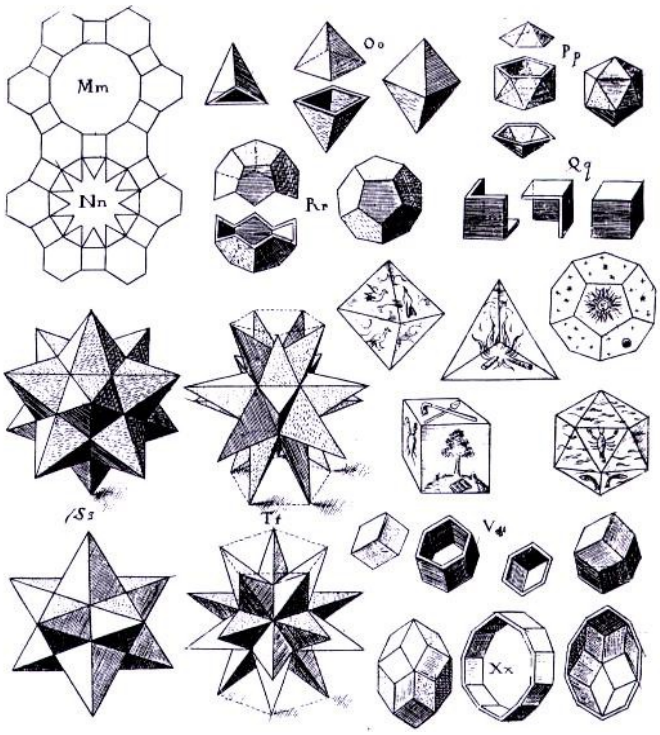

ASTRONOMIA NOVA
AITIOΛOΓHTOΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex obſervationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:
Juſſu & ſumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:
Plurium annorum pertinaci ſtudio
elaborata Pragæ,
A S. C. M.ti S. Mathematico
JOANNE KEPLERO,
Cum ejusdem C. M.ti privilegio ſpeciali
Anno æræ Dionyſianæ clo Io c ix.

Astronomia Nova

I 1612 accepterede Kepler en stilling som distriktsmatematiker i den østrigske by Linz. Her blev han indtil 1626. I Linz udgav han først et arbejde om kronologi og Jesus' fødselsår på tysk i 1613 og mere udførligt på latin i 1614: *'De Vero Anno quo Aeternus Dei Filius Humanam Naturam in Utero Benedictae Virginis Mariae Assumpsit'* (angående det sande år i hvilket Guds Søn antog menneskelig natur i Den Hellige Jomfru Marias livmoder). I det arbejde påviste Kepler, at den Kristne kalender var fejlagtig med hensyn til fem år og at Jesus derfor var født i år 4 f.Kr., som det også senere accepteredes. Mellem 1617 og 1621 udgav Kepler *'Epitome Astronomiae Copernicanae'* (sammenfattende beskrivelse af Kopernikus' astronomi), som blev en indflydelsesrig introduktion til den heliocentriske astronomi. I 1619 publicerede han, som antydet ovenfor, et andet berømt værk *'Harmonices Mundi'* (verdens harmoni), hvor han udledte planeternes heliocentriske

afstande og deres perioder ud fra harmoni i musik. I dette arbejde findes tillige Keplers tredje lov.

I tillæg til sine astronomiske bedrifter systematiserede og udvidede Kepler alt, der var kendt om polyedre på hans tid. Det beskrives også i *'Harmonices Mundi'*. Mens tidligere kunstnere og geometrikere havde opdaget enkelte specielle polyedre tilnærmede Kepler sig problemet matematisk. Han definerede klasser af polyedre, opdagede eksemplarer tilhørende klasserne og beviste, at hans samling var komplet.



Endvidere opdagede Kepler også den uendelige klasse af antiprismer, der er to kopier af en regelmæssig polygon, hvor den ene gives en lille drejning i forhold til den anden. Han påviste også andre aspekter af disse problemer. Den viste illustration er fra *'Harmonices Mundi'*.

Keplers logiske tankegang om polyedre betyder dog ikke, at han var ganske fri for den tids mysticisme om de Platoniske sammenhænge med de klassiske elementer: Tetrahedron svarede til ild, octahedron til luft, terningen til jord, icosahedron til vand og dodecahedron til kosmos.

Året 1618 markerede begyndelsen på Trediveårskrigen, der gik hårdt ud over Tyskland og Østrig. Keplers situation i Linz forværredes gradvis, fordi den katolske modreformations forholdsregler pressede protestanterne i den østrigske provins, hvor Linz var hovedstad.

Da Kepler var en af tjenestemændene ved tribunalet blev han undtaget fra et dekret, der forviste alle protestanter fra provinsen, men han blev alligevel et offer for forfølgelsen. I samme periode fik Kepler trykt sine *'Tabulae Rudolphinae'* (De Rudolfinske Tavler), dvs. nye tabeller over planeternes positioner baseret på Tycho Brahes nøjagtige observationer, men beregnet i overensstemmelse med Keplers elliptiske astronomi. Men da et bondeoprør brød ud og Linz blev belejret ødelagde en brand trykkerens hus og værksted og med det meget af den trykte udgave. Endvidere blev soldater lagt i garnison i Keplers hus. Derfor forlod han Linz med sin familie i 1626. *'Tabulae Rudolphinae'* blev derpå udgivet i 1627 i den tyske by Ulm ret nær Keplers hjemegn.

Kepler var nu uden arbejde og løn. Han prøvede at få stillinger ved forskellige hoffer og vendte tilbage til Prag for at forespørge om den løn, som skyldtes ham fra hans år som kejserlig matematiker.

Kepler var gift to gange. I 1597 giftede han sig med Barbara Müller og fik fem børn. De to første døde som spæde, men en datter Susanna (født 1602) giftede sig med Keplers assistent astronomen Jacob Bartsch (ca. 1600-1633). Der var tillige to sønner Friedrich (født 1604) og Ludwig (født 1607). I 1611 fik alle tre børn kopper, hvoraf Friedrich døde som seksårig. Samme år fik Keplers hustru Barbara ungarsk plettet feber (nu betegnet Rickettsia) og døde i 1612. Kepler giftede sig anden gang med Susanna Rüttinger i 1613 og fik seks børn. De første tre døde som små. De sidste tre Cordula (født 1621), Fridmar (født 1623) og Hildebert (født 1625) blev alle voksne. Kepler fik således i alt 11 børn, hvoraf kun fem nåede voksenalder. Kepler døde i fattigdom i Regensburg i 1630. Samlet set opnåede Kepler at bygge videre på Brahes målinger, så man med rimelighed derefter kunne finde frem til en

kvantitativ årsagssammenhæng, der tillod at beskrive, forklare og forudsige de celestiale fænomener med en passende præcision.

Men naturligvis tog Kepler set med nutidens øjne fejl på mange måder. Som eksempelvis i antikken Aristoteles og senere Descartes holdt han, i overensstemmelse med den daværende opfattelse, fast på at lysets hastighed var uendelig. Det blev, som bekendt, Ole Rømer (1644-1710), der under sit arbejde på det Kongelige Observatorium i Paris, for første gang målte lysets hastighed. Ved at rette et teleskop mod Io, Jupiters inderste måne, fandt Rømer i 1676 ud af, at denne satellit udviser en ejendommelig variation i sin bane omkring Jupiter, ud fra hvilken en værdi på 227.300 kilometer i sekundet kunne beregnes, dvs. omkring tre fjerdedele af den moderne værdi.

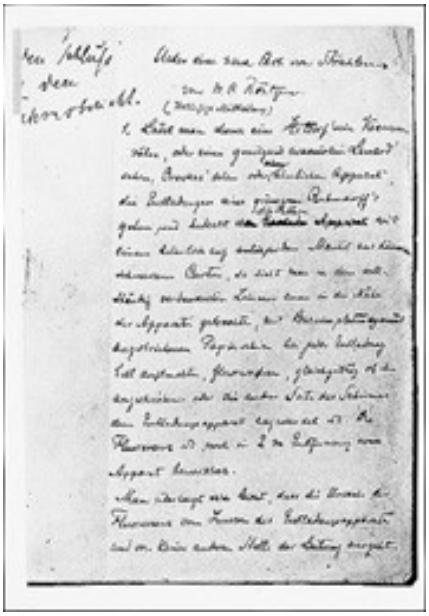


Røntgenstråler og radioaktivitet

Af Jørgen Lyngbye

Hvis han kun havde set direkte på skærmen nær det med karton tildækkede katodestrålerør, ville han sikkert ikke have bemærket den svage fluorescens. Så havde han muligvis ikke gjort opdagelsen. Men hans blik var rettet andetsteds, så den svage lys kom ind fra siden og ramte nethindens mest følsomme sted, den parafoveale region. Röntgen havde måske selv været klar over det: ”Med øjet tæt på ses intet”.

Det begyndte om aftenen den 8. november 1895. Den dag Wilhelm Conrad Röntgen opdagede X-strålerne. Han var straks klar over vigtigheden af opdagelsen. Det fortælles, at han blev oppe hele natten og fortsatte forsøgene. Hans foreløbige meddelelse om X-strålerne kom den 28. december 1895. På nytårsdag 1896 sendte Röntgen selv kopier af sin artikel og fotografier til videnskabsmænd over hele verden.



Röntgens første håndskrevne meddelelse om opdagelsen, december 1895.

Det næste skridt kom i Paris om aftenen den 20. januar 1896 på det ugentlige møde i det franske videnskabsakademi. Her hørte Henri Becquerel, at Henri Poincaré beskrev den nylige opdagelse af X-strålerne og fremviste de fotografier af håndens levende knogler, som Röntgen havde taget. Det syntes som om X-strålerne var kommet fra katodestrålerørets glasvægge, der fluorescerede på grund af katodestrålerne. Under sin tale spekulerede Poincaré højlydt over, om andre luminescente legemer udsendte X-stråler. Det må her bemærkes, at J.J. Thomsons opdagelse af at katodestråler var frembragt af en strøm af elektroner i røret først skete i 1897.

Becquerel var straks klar til at følge sagen op. Hans far havde allerede i mange år været en ledende autoritet med hensyn til fosforescens og Becquerel var selv ekspert i studiet af såvel fosforescens som fotografi. Han havde allerede studeret nogle uranforbindelsers fosforescens. Så han måtte naturligvis tage fat på problemet. Hans arbejdshypotese var, at et stof først måtte vise luminescens for at udsende den stråling, som Röntgen havde fundet.

Becquerel påbegyndte sin undersøgelse allerede næste dag, idet han studerede forskellige fosforescerende stoffer, men uden resultat. Han mente, at han kunne nå frem til et resultat ved at benytte uranforbindelser. I 1903 udtalte han i sin Nobelforelæsning:

> *"Those bodies, which emit and absorb a whole series of harmonic luminous radiations, seem to have a particularly remarkable molecular constitution, at least from the point of view of absorption and phosphorescence."*.

Becquerel kunne dog først fortsætte sin videre undersøgelse sent februar 1896, fordi han havde udlånt alle sine uranprøver, så han måtte vente. Men opdagelsen af radioaktivitet fulgte snart.

Becquerels teknik var at dække (’omsvøbe’) en fotografisk plade med sort papir og lægge mineralkrystaller indeholdende uran på papiret. Planen var at udsætte krystallerne for sollys for at få dem til at luminiscere. Dernæst skulle pladen fremkaldes og undersøges for at påvise spor af stråling, som kunne trænge igennem det sorte papir. På et møde den 24. februar 1896 berettede han om et positivt resultat. Hans urankrystaller havde afsat spor på den fotografiske plade. Han prøvede at placere mønter under krystallerne og så deres form aftegnet på pladen. Men nu nærmede det kritiske øjeblik sig.

Den 26. og 27. februar præparerede han yderligere nogle fotoplader dækket af et dobbelt lag sort papir med krystallerne ovenpå. Men vejret var overskyet, så Becquerel lagde pladerne i sin skuffe for at afvente en solskinsdag. Men søndag den 1. marts tog han, trods stadigt gråvejr, alligevel pladerne op af skuffen og fremkaldte dem. Til sin overraskelse så han, at pladerne var blevet sværtet af krystallerne. Han indså, at aktivering med sollys ikke var nødvendigt (en plade er vist nedenfor). Han forstod momentant, at han havde gjort en vigtig opdagelse. Urankrystallerne kunne udsende mystiske stråler og behøvede ikke sollys for at blive aktiveret.

Marya Sklodowska (senere Marie Curie) blev født i 1867 i Warszawa i Polen, der på det tidspunkt var under russisk herredømme. Hun havde ikke rigtig mulighed for en uddannelse efter skolen. Hun sparede penge sammen, tjent som guvernante, for at hjælpe med at betale for sin søsters medicinske studier i Paris, men fulgte efter søsteren til Frankrig i 1891 for at studere ved Sorbonne. Her mødte hun i 1894 den franske kemiker Pierre Curie. De blev gift året efter. Ægteskabet blev meget lykkeligt, men blev brat afsluttet med Pierres død i 1906, hvor han blev kørt over af en hestevogn.

Det skulle vise sig, at skønt Pierre allerede var en kendt forsker, blev samarbejdet med Marie langt mere frugtbart end hans hidtidige karriere. Efter Becquerels opdagelse ønskede Marie Curie et emne til sin disputats. Hun besluttede sig til at finde ud af, om den stråling, der var opdaget i uranforbindelser, kunne findes i andre stoffer. I løbet af vinteren 1897 samlede hendes opmærksomhed sig om begblende,

et sort uranmineral skaffet fra Joachimstal i Bøhmen. Hun kunne påvise, at begblende havde en højere aktivitet end rent uranmineral, der kun kunne forklares ved indhold af mindre mængde af et ukendt stof med meget høj aktivitet. Pierre blev fascineret over de nye muligheder, så han opgav de studier over krystaller og symmetri i naturen, som han hidtil havde været dybt involveret i, og forenede sig med Marie i hendes projekt. De fandt, at kraftig aktivitet fandtes i fraktioner, der indeholdt wismut og barium. Da Marie fortsatte med analyse af wismutfraktionerne, lykkedes det hende at fjerne en del wismut, hvorved en rest med højere aktivitet blev tilbage. I slutningen af juni 1898 havde de en rest, der var omkring 300 gange mere aktivt end uranforbindelser. Stoffet i resten viste sig at være et nyt metal, som de kaldte polonium efter Maries hjemland Polen. Få måneder senere fandt de et andet nyt metal radium. Det havde været et enormt arbejde, Marie måtte 'oprense' flere tons begblende for at isolere de minimale mængder polonium og radium. I arbejder med at få rent metallisk radium blev hun hjulpet af kemikeren André-Louis Debierne (1874-1949), som var en af Pierres assistenter. Den nyfundne aktivitet, som Becquerel og de havde fundet, betegnede Marie 'radioaktivitet', som Pierre især havde koncentreret sig om at undersøge. Marie og Pierre troede i begyndelsen, at det radioaktive stof udgjorde omkring 1 procent af begblende, men efter fire år måtte de fulde af forundring konstatere, at det var mindre end 1/1.000.000'te del af 1 procent. Begblende indeholder næsten 30 stoffer, men et ton indeholder kun 100 mikrogram polonium.

I 1898 fandt den tyske kemiker Gerhard Carl Schmidt (1865-1949) to måneder før Marie Curie, at thorium er radioaktivt.

Röntgen modtog i 1901 Nobelprisen i fysik *"in recognition of the extraordinary services he has rendered by the discovery of the remarkable rays subsequently named after him"*.

Nobelprisen i fysik i 1903 deltes med halvdelen til Becquerel *"in recognition of the extraordinary services he has rendered by his discovery of spontaneous*

radioactivity". Den anden halvdel tildeltes Pierre og Marie Curie *"in recognition of the extraordinary services they have rendered by their joint researches on the radiation phenomena discovered by Professor Henri Becquerel"*.

Wilhelm Conrad Röntgen fødtes i 1845 i byen Lennep i det tyske Rhinland. Faderen Friedrich Conrad Röntgen (1801-1884) var købmand og klædefabrikant. Moderen Charlotte Constanze var hollandsk, så da Wilhelm var tre år gammel flyttede familien til Apeldoorn i Holland.

Efter at have gået i grundskolen i Apeldoorn kom Wilhelm på Utrecht tekniske skole. Her viste han sig at have anlæg for naturvidenskab og teknik. I 1863 blev han smidt ud af skolen, fordi han havde gjort grin med en af lærerne. Wilhelms far ansatte herefter en privatlærer, der skulle forberede Wilhelm til adgangseksamen ved Utrechts universitet. Her dumpede Wilhelm til eksamen.

Faren ønskede, at Wilhelm skulle studere naturvidenskab, så han fik alligevel en speciel tilladelse til, at Wilhelm kunne følge visse forelæsninger og kurser ved universitetet. Wilhelm havde interesse og evner for videnskabelig forskning, hvilket bevirkede, at han efter ansøgning fik bevilget adgang til maskiningeniørstudiet ved Zürichs polytekniske højskole. Men han viste i begyndelsen mere interesse for bjergbestigning, sejlsport og fester.



Wilhelm Conrad Röntgen

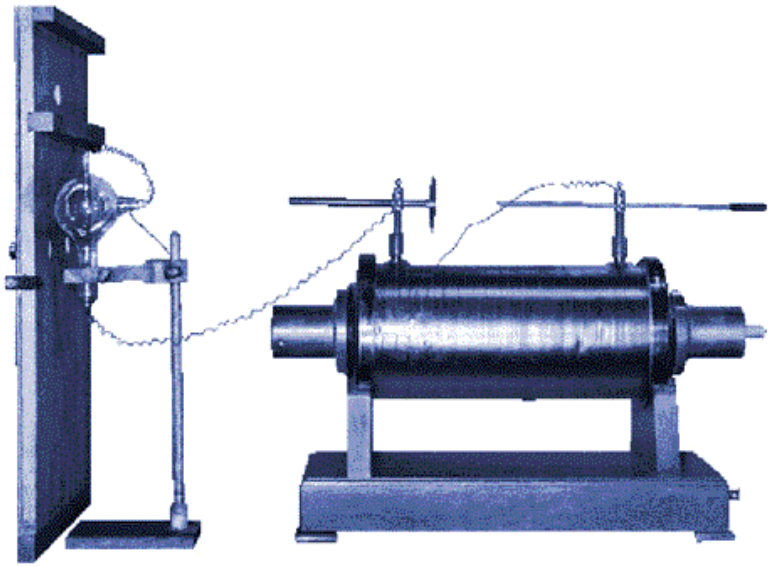
I 1869 afsluttede Röntgen sit studium og fik diplom som maskiningeniør med speciale i termodynamik. Han studerede derefter i Tyskland først under kemikeren og termodynamikeksperten Rudolf Clausius, men da fysikeren August Kundt (1839-1894), der er mest kendt for forskning i akustik, umiddelbart efter fik et professorat i Würzburg tilbød han i 1870 Röntgen at følge med som hans assistent.

Efter forskellige stillinger blev Röntgen i 1888 professor i fysik ved *Bayerische Julius-Maximilians-Universität* i Würzburg. Her blev Röntgen tillige direktør for det nybyggede fysiske institut i Würzburg. Fra år 1900 og indtil sin pension i 1920 var Röntgen professor i München. Han accepterede en stilling i USA ved *Columbia University* i New York og havde allerede købt billetter til turen over Atlanten, men udbruddet af første verdenskrig i 1914 hindrede hans planer.

I 1888 påviste Röntgen, at strømmen fra bevægelige ladninger er den samme som strømmen i en ledning. Han målte også nogle stoffers varmefylde (specifikke varme).

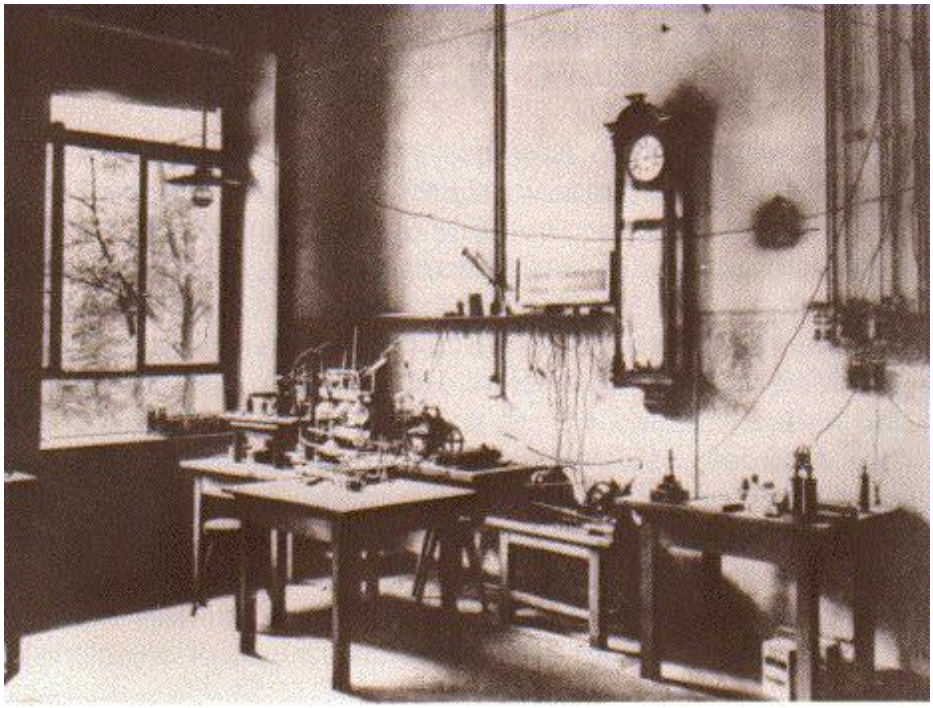
I begyndelsen af november 1895 udførte Röntgen forsøg med et af Philipp von Lenards (1862-1947) rør, hvor et tyndt aluminiumsvindue var blevet indsat for at tillade katodestrålerne at træde ud af røret. Røret var dækket af karton for at beskytte aluminium mod det kraftige elektrostatiske felt, som var nødvendigt for at danne katodestråler. Röntgen vidste, at kartondækket ville hindre lys i at undslippe, men trods dette så han, at de usynlige katodestråler havde forårsaget en svag fluorescens på en lille papskærm, med påsmurt barium-platincyanid, når skærmen var placeret tæt på aluminiumsvinduet.

Röntgen gentog forsøgene med et såkaldt Hittorf-Crookes-rør, opkaldt efter den tyske fysiker Johan Wilhelm Hittorf (1824-1914) og den engelske fysiker William Crookes (1832-1919). Han opdagede igen, at nogle gennemtrængende stråler udsendtes fra anoden i det elektriske udladningsrør.



Med dette Hittorf-Crookes-rør udførte Röntgen sine forsøg.
Til venstre: Katodestråle-røret opsat i et stativ. Til højre: Højspændings-induktoren.

Han prøvede at placere flere ting mellem røret og skærmen, men de syntes alle at være transparente. Da han satte sin hånd foran røret, så han til sin store forundring sin hånds knogler på skærmen. Röntgen kaldte de nyopdagede stråler for *X-strahlen*.



Röntgens laboratorium, hvor han opdagede X-strålerne.

Röntgen havde arbejdet alene i sit laboratorium. Han havde arbejdet i flere dage uden at fortælle sine observationer til andre. Det eneste hans hustru fik at vide var, at han arbejdede på noget vigtigt. Senere sagde han om sin tavshed, at han havde været så forundret over sin opdagelse, at han følte at måtte overbevise sig selv igen og igen om eksistensen af de nye stråler. Først efter nogle optagelser på fotografiske plader følte han sig sikker. Röntgen kunne ikke påvise nogen refleksion eller refraktion af de nye stråler, der heller ikke afbøjedes i et magnetfelt.

Den 28. december 1895 overrakte han en foreløbig meddelelse til sekretæren for det fysisk-medicinske selskab i Würzburg. Meddelelsen *'Über eine neue Art von Strahlen' (Sitzungsberichte der Phys. Mediz. Gesellschaft zu Würzburg 137, 132, 1895)* blev straks trykt og rundsendt. Umiddelbart efter kunne flere fysikere bekræfte Röntgens fund. En lille dreng, der senere skulle blive en kendt fysiker, havde fået fortalt, at Gud kunne se alt og alle steder, og han troede nu på, hvad han havde fået at vide. Det er antydet, at han troede, at Röntgen kunne være Gud.

Den 23. januar 1896 holdt Röntgen et foredrag om sin opdagelse i det fysisk-medicinske selskab i Würzburg. Mange prominente forskere deltog, bl.a. den tyske anatom Rudolf Albert von Kölliker (1817-1905).



Røntgenbillede af Rudolf Albert von Köllikers hånd.
Taget af Röntgen den 23. januar 1896.

Ved mødet fik Kölliker sin hånd 'stråle-fotograferet' med de gennemtrængende stråler. Da fotografiet blev fremkaldt viste det tydeligt knoglerne i Köllikers hånd. Forsamlingen studerede billedet med undren og forbavselse og Kölliker døbte på stedet strålerne 'røntgenstråler'. I engelsktalende lande bruges stadig benævnelsen *X-rays*.

Röntgen modtog en invitation til en middag med den tyske kejser, hvor han var bedt om at demonstrere sit apparat, hvilket ængstede ham, da apparatet kunne tage skade. Ved afskeden med kejseren måtte han af ærbødighed gå baglæns, da det var en udsøgt uhøflighed at vende ryggen til majestæten. Et par andre videnskabsmænd, der mente, at også de fortjente at blive inviteret til middag hos kejseren, begyndte øvelser med at gå baglæns. Den ene var samler af fint kinesisk porcelæn og ved rystelserne med deres øvelser faldt en kostbar vase på gulvet og knustes. Desværre blev de ikke inviteret.

Röntgens opdagelse udløste en hektisk aktivitet hos både fysikere og læger. Allerede i året 1896 publiceredes over tusind artikler om X-strålerne. De nye muligheder vakte sensation hos læger, f.eks. at man kunne se kuglerne i kroppen på en mand, der var blevet beskudt. Tidligt i 1896 blev en lille dreng, Eddie McCarthy i Dartmouth, New Hampshire, en lokal berømthed, da hans brækkede arm blev sat i korrekt stilling af en læge ved hjælp af et billede taget med X-stråler.

Röntgen selv skrev yderligere to artikler om X-strålerne i 1896 og 1897. Derefter forlod han emnet og fortsatte sin tidligere forskning.

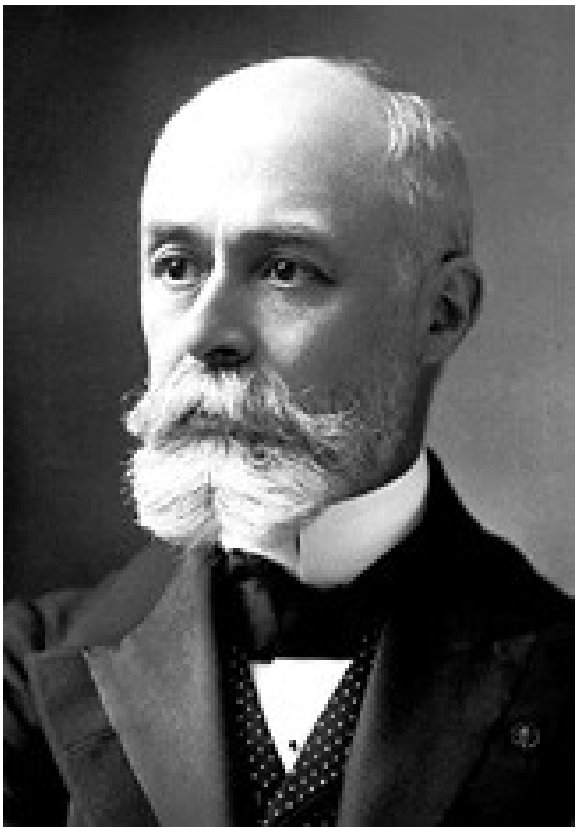
I 1872 blev Röntgen gift med Anna Bertha Ludwig. Ægteskabet var barnløst, men i 1887 adopterede de den 6-årige Josephine Bertha Ludwig, der var datter af Annas bror.

I 1919 døde hustruen og den 10. februar 1923 døde Röntgen af tarmkræft, som ikke menes forårsaget af hans arbejde med stråling, da han modsat de fleste strålepionerer altid benyttede blyskjold som beskyttelse. Han ligger begravet i familiegraven i Giessen. Det menes, at Röntgen døde ensom og fattig, da han ikke tog patent på sin

opdagelse, men han var utvivlsomt en af naturvidenskabens pionerer. Ifølge hans testamente blev al hans personlige og videnskabelige korrespondance destrueret efter hans død.

I nutiden ved vi, at røntgenstråling er elektromagnetisk stråling med bølgelængder fra ca. 10 nm til 0,001 nm (10^{-8}-10^{-12} m), afgrænset mod længere bølgelængder af ultraviolet stråling og mod kortere bølgelængder af gammastråling. Som anden elektromagnetisk stråling frembringes røntgenstråling, når frie ladede partikler, oftest elektroner, bremses eller accelereres, eller når elektroner, der er bundet til en atomkerne, overgår til en stærkere bundet tilstand.

Den franske fysiker **Antoine-Henri Becquerel** fødtes i 1852 i Paris. I den anden halvdel af det 19. århundrede var Henris far Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891) en ledende autoritet i Europa med hensyn til stoffers fosforescens. Det var et vigtigt forskningsområde som en følge af Robert Wilhelm Bunsens (1811-1899) og Gustav Robert Kirchhoffs (1824-1887) nyligt udviklede spektroskopiske analyse.



Henri Becquerel

Fluorescens er defineres som udsendelse af lys kun under stimulation af ekstern stråling, mens fosforescens persisterer efter den eksterne stråling er ophørt. Luminescens er en fællesbetegnelse for begge. Henris far havde interesseret sig for uransalte på grund af deres strålende fosforescens og deres interessante spektra. Henri begyndte også at forske i fosforescens med en første publikation i 1883. I de følgende 13 år skrev han en række artikler om dette og tilgrænsende områder med en særlig interesse for infrarød stråling. Som sin far var Henri fascineret af uransalte. Han undersøgte deres absorption i både det infrarøde og synlige område.

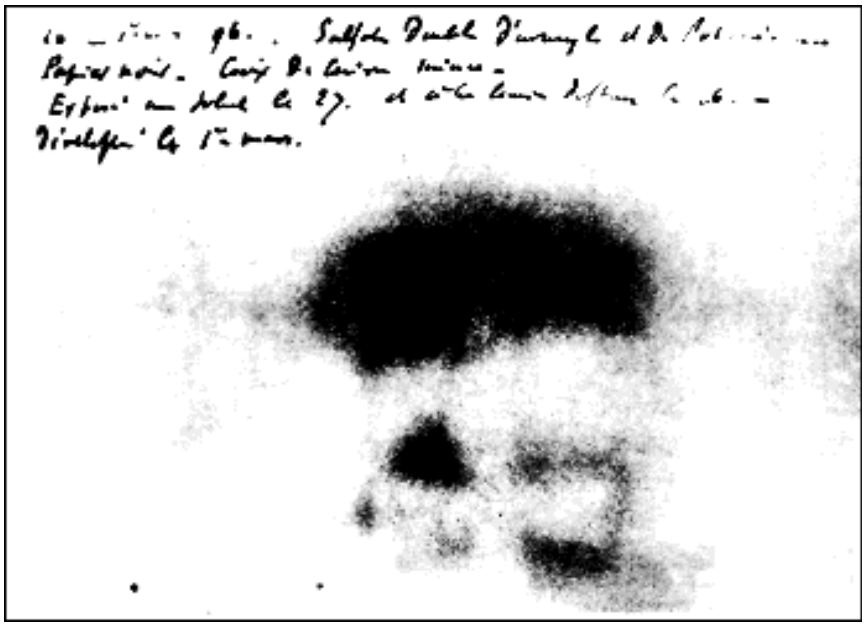
Henris farfar havde også været professor i fysik efter at have deltaget i Napoleonskrigene i Spanien i 1810-1812. Både han, Henris far og Henri var uddannet ved *Ecole Polytechnique,* Kandidater derfra nød en høj status i Frankrig. Det havde været et problem for Pierre Curie, at han ikke var uddannet der.

Henri Becquerel var medlem af *L'Académie des sciences* og blev dets præsident. Han havde tre poster i fysik i Paris, ved *Muséum National d'Histoire Naturelle*, ved *Ecole Polytechnique,* og ved *Conservatoire National des Arts et Métiers,* hvor han havde stor indflydelse som ingeniør i den nationale administration af broer og veje.

Skønt uranforbindelser interesserede både Henri Becquerel og hans far, havde studiet af disse stoffer været noget stagnerende i løber af det 19. århundrede. Uran var opdaget af den tyske kemiker Martin Heinrich Klaproth (1743-1817) i 1789 ved undersøgelse af begblende, men det havde vist sig, at Klaproth kun havde isoleret uranoxid (UO_2). I 1841 lykkedes det den franske kemiker Eugène-Melchior Péligot (1811-1890) at fremstille det rene metal.

Becquerels tidlige forskning drejede sig om optik. Hans første grundige undersøgelser fra 1875 til 1882 var angående rotation af planpolariseret lys i magnetfelter. Dernæst vendte han sig imod infrarøde spektre med observation af lys fra visse fosforescerende krystaller under infrarød bestråling. Han studerede tillige absorption af lys i krystaller. Herved fik Becquerel i 1888 en doktorgrad fra det videnskabelige fakultet i Paris og blev i 1889 valgt til *L'Académie des sciences*.

Becquerels opdagelse af de nye stråler i slutningen af februar 1896 er beskrevet ovenfor. Men han fortsatte sine forsøg i løbet af marts og de følgende måneder. Han fandt, at krystaller opbevaret i mørke bevarede deres evne til sværte en fotografisk plade. Det så han som et bemærkelsesværdigt eksempel på langvarig fosforescens. Men Becquerel kunne ikke forklare de lige så intense billeder dannet af ikke-fosforescerende uransulfat. Dette førte ham til nye forsøg. Da urannitrat mister evnen til luminescens efter at have været opløst i vand, genkrystalliserede han en krystal i mørke og så, at fosforescensen var forsvundet, men krystallen kunne stadig sværte en fotografisk plade lige så kraftigt, som når krystaller havde været udsat for lys. Alle de undersøgte uransalte udsendte den usynlige stråling, mens en række andre fosforescerende stoffer ikke gjorde. Endelig prøvede han med rent uranmetal og fandt den penetrerende stråling tre til fire gange så intens som han havde set med uransulfat. Den 18. maj 1896 var Becquerels opdagelse af radioaktivitet afsluttet, skønt han fortsatte med studier af strålernes joniserende effekt frem til foråret 1897. De nye stråler kom fra grundstoffet uran. Konsekvensen var, at det var et atomisk fænomen.



Becquerels opdagelse. Hans fotografiske plade.

Becquerels opdagelse vakte ikke helt den samme sensationsprægede interesse som Röntgens opdagelse af X-strålerne, om end nyheden bredte sig. Allerede i marts 1896 havde Becquerel påvist, at de radioaktive stråler kunne jonisere gasser og gøre dem ledende. Derfor blev det muligt at måle en prøves 'aktivitet' ved simpelt hen at måle den jonisering, som den forårsagede. Apparatet til denne måling var et guldblads-elektroskop. Der findes mange typer elektroskop, men de består alle af et isoleret metalsystem og en deri fæstet bevægelig viser, som giver udslag, når en elektrisk ladning tilføres. Det simpleste elektroskop er guldblads-elektroskopet, der konstrueredes af den engelske præst og fysiker Abraham Bennet (1749-1799) i 1787, og hvor udslaget sker mellem to guldblade, som hænger ned fra en isoleret metalstang indesluttet i en glasbeholder for at undgå bevægelser på grund af luftstrømninger. Det første elektroskop, der var en drejelig nål betegnet *versorium* (latin: *verso,* 'blad'), blev konstrueret af William Gilbert omkring år 1600.

I 1874 giftede Henri Becquerel sig med Lucie-Zoe-Marie Jamin, der var datter af en professor i fysik. Hun døde i 1878 kort efter fødslen af sønnen Jean Becquerel, der senere skulle efterfølge sin far på posten i museet. Han giftede sig anden gang i 1890 med Louise-Désirée Lorieux. Dette ægteskab var barnløst. Henri Becquerel døde i 1908.

SI-enheden for måling af radioaktivitet (Becquerel, Bq) er opkaldt efter Henri Becquerel. 1 Becquerel (forkortet Bq) svarer til ét radioaktivt henfald per sekund (i gennemsnit). For makroskopiske mængder af radioaktivt stof er Becquerel en ret lille enhed, og i praksis anvender man derfor typisk enhederne kilobecquerel (kBq) eller megabecquerel (MBq).

Da **Marie Curie** (født Marya Sklodowska i 1867) i 1894 bliver præsenteret for fysikeren Pierre Curie (1859-1906), var han i gang med studier af elektriske og magnetiske fænomener. Pierre Curie var allerede en kendt fysiker. I 1880 opdagede han sammen med sin broder Jacques Curie (1856-1941), at der i visse krystaller opstår en elektrisk spændingsforskel i krystallen, når denne udsættes for et tryk. Omvendt vil en påtrykt spændingsforskel deformere krystallen. Fænomenet kaldes

den 'piezo-elektriske effekt' efter (græsk: *'piezo',* 'tryk'). Den piezo-elektriske effekt er siden udnyttet i flere opfindelser, f.eks. i mikrofoner og den piezo-elektriske *pickup.*



Pierre Curie

I 1895 opdagede Pierre Curie ud fra eksperimenter en lov der gælder for magnetiske stoffer. Loven kaldes 'Curies lov' og den viser bl.a., at magnetisering afhænger af stoffets temperatur. Ved den såkaldte 'Curie-temperatur' sker der en drastisk ændring af magnetiseringsforholdene.

Marie Curies opdagelse af polonium og radium i 1897-1898 er omtalt ovenfor. Endnu var det kun de radioaktive grundstoffers salte, der var blevet isoleret. At isolere det rene grundstof krævede mere raffinerede fysiske metoder.

Brødrene Pierre og Jacques Curie konstruerede et meget følsomt elektrometer, et såkaldt kvartselektrometer, med større nøjagtighed end Becquerels elektroskop. Elektrometret kunne måle meget små elektriske ladningsmængder, og det blev som sådan benyttet til påvisning af radioaktive stoffer, idet udstrålingen fra disse gør

luften elektrisk ledende (joniseringen). Det blev beskrevet i en publikation af Marie Curie (*Révue générale des Sciences 10, 41, 1899*).

Omkring 1900 havde Marie og Pierre alvorlige økonomiske problemer, så Pierre måtte tage en stilling som manuduktør ved *Ecole Polytechnique*. Problemerne skyldtes til dels, at Pierres far var flyttet ind hos dem.



Marie Curie

I 1902 fremstillede Marie Curie en tiendedel gram radiumchlorid. Ud fra denne forbindelse bestemte hun radiums atomvægt til omkring 225.

Siden er det blevet kendt, at både polonium og radium har mange isotoper. Isotoper er atomer, der har det samme antal protoner, men et forskelligt antal neutroner. De forskellige isotoper har forskellige halveringstider.

Den 25. juni 1903 forsvarede Marie Curie sin doktorafhandling om undersøgelser angående radioaktive stoffer. Professor Gabriel Lippmann (1845-1921) fra universitetet i Paris, Sorbonne tildelte hende doktorgraden i fysik med bedømmelsen *'très honorable'*.



Marie Curie i laboratoriet

I 1904 publicerede Marie Curie en observation om at diamanter eksponeret for radioaktiv stråling og derefter opvarmet gløder proportionalt med eksponeringen. Dette er basis for termoluminescent dosimetri, som dog først blev videre udviklet efter 1950.

I november 1903 tildelte *Royal Society of London* ægteparret Curie *Davy Medal 'For their researches on radium'*. Pierre Curie rejste til London for at modtage medaljen, da Marie var syg.

Som tidligere omtalt fik ægteparret Curie i 1903 halvdelen af årets Nobelpris i fysik. De var ikke til stede ved Nobelfesten i Stockholm. Marie Curie havde været gravid, men mistede barnet. Hun følte sig ikke rask og var derfor ikke i stand til at rejse til Stockholm. Først i 1905 rejser de til Stockholm for at holde det obligatoriske Nobelpris-foredrag. Marie blev den første kvinde, der modtog en Nobelpris.

Marie Curie fik i 1911 Nobelprisen i kemi for opdagelsen af polonium og radium og for sin isolering og analyse af radium. Hun er den første person, der har fået Nobelprisen mere end en gang.

Hun døde i 1934 af leukæmi, men var også stærkt plaget af andre sygdomme, hvis årsag formentlig kan føres tilbage til forskningsarbejdet i de spartanske omgivelser uden særligt kendskab til de sundhedsmæssige skadevirkninger af elektromagnetisk og ioniserende stråling. Hendes aske blev i 1995 flyttet til *Panthéon* i Paris, der er hvilested for de mest fremtrædende franskmænd. Hun er den første kvinde, der har fået plads dér på grund af egne bedrifter. Grundstoffet curium er opkaldt efter Marie og Pierre Curie.

I 1920'erne udførte ægteparrets datter Irène Joliot-Curie (1897-1956) en række eksperimentelle undersøgelser, navnlig af fluktuationer i alfastrålers rækkevidde. I 1931 indledte hun det samarbejde med sin mand Frédéric Joliot (1900-1958), som førte til deres fælles Nobelpris i 1935. De havde påvist, hvordan det er muligt kunstigt at danne radioaktive isotoper af grundstoffer, der ikke er naturligt radioaktive.



Som sin mor døde Irène Joliot-Curie af akut leukæmi, pådraget ved langvarig påvirkning fra røntgen- og gammastråling uden tilstrækkelig beskyttelse.