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

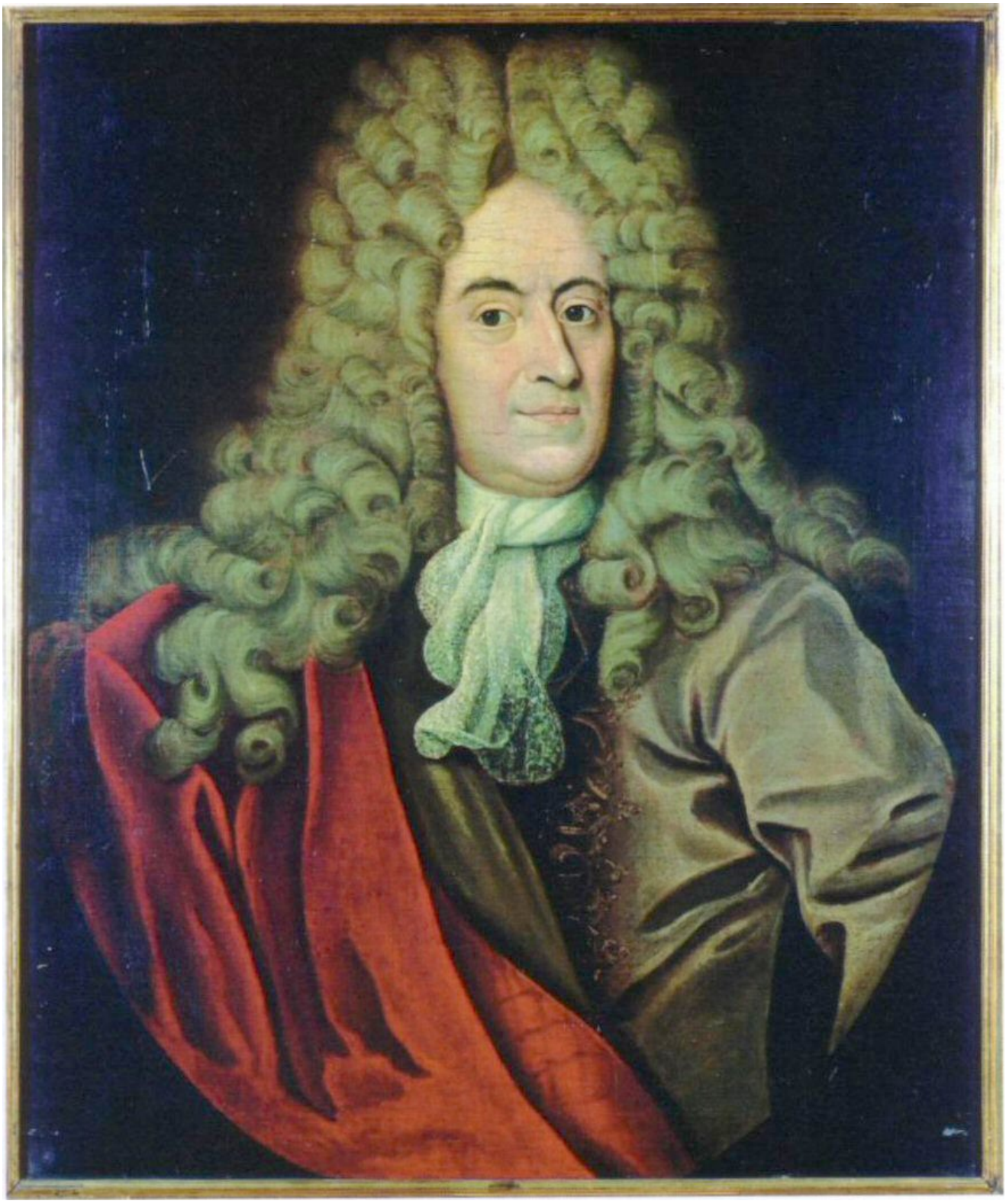
Som sponsor i biblioteket opnår du en række fordele. Læs mere om fordele og sponsorat her: https://slaegtsbibliotek.dk/sponsorat

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
fra
Ole Rømers Venner
2012

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.Laerke@vip.cybercity.dk

Meddelelser i løssalg: 75 kr. inkl. porto.

Redaktionen af dette nummer er sluttet den 5. september 2012

ISSN: 1604 - 9322

Meddelelser

fra

Ole Rømers Venner

20. årgang 2012

Meddelelser 2012 5

Ole Rømers observationsure 6

En verden af gnister - Elektricitetens tidlige historie 24

Bestyrelsen i Ole Rømers Venner

Ole Henningsen (formand)
Præstehusene 67
2620 Albertslund
Tlf.: 43 45 29 33 E-mail: olehen@vejrmolle.dk

Steen Lærke (kasserer & teknisk redaktør)
Hegnsvang 4
2820 Gentofte
Tlf.: 20 42 00 69 E-mail: steen.laerke@vip.cybercity.dk

Jørgen Lyngbye (redaktør)
Sofiegade 24
1418 København K
Tlf.: 32 57 64 77 E-mail: jin@c.dk

Palle Munk Jensen
Kuglens Kvarter 9
2640 Hedehusene
Tlf.: 46 56 29 90 E-mail: greveogjensen@mail.dk

Finn Bo Frandsen
Bispebjerg Bakke 18 N, l. th.
2400 København NV
Tlf.: 21 43 19 65 E-mail: fbf@danskbyggeri.dk

Søren Andersen (suppleant)
Virketvej 17
4863 Eskildstrup
Tlf.: 54 43 80 54 E-mail: andersen@ateliera.dk

Meddelelser 2012

"Meddelelser fra Ole Rømers Venner" indeholder i år to artikler. En om Ole Rømers observationsure og en om elektricitetens historie fra Gilbert til Henry indledt med et ganske kort resume af oldtidens betragtninger over elektriske fænomener.

Den første artikel om Ole Rømers observationsure er en opfølgning af sidste års artikel om Ole Rømers lommeur.

Den anden artikel om elektricitetens historie begynder med Englænderen Gilbert (1544-1603), som var den første, der i 1600 tallet iagttog og beskrev elektriske og magnetiske fænomener og slutter med amerikaneren Henry (1799-1878), der var den sidste, der bidrog til udviklingen, før den skotske matematiker og fysiker James Clerk Maxwell (1831-1879) i 1873 formulerede sine berømte ligninger, der forbinder de fire elektromagnetiske felter: den elektriske fluxtæthed **D**, den magnetiske feltstyrke **H**, den elektriske feltstyrke **E** og den magnetiske fluxtæthed **B**. Dermed var grundlaget for nutidens benyttelse af elektroniske medier og alle former for trådløs kommunikation lagt.

Ole Henningsen, redaktør

Ole Rømers observationsure

Poul Darnell

Basis Astronomiæ[1)]

Der er i tidens løb blevet skrevet en del om Ole Rømers optiske måleinstrumenter; men kun lidt om hans observationsure. Dette er i grunden mærkeligt, fordi Rømers foretrukne observationsmetode [2)] blev udført ved hjælp af kun to målinger; nemlig ved bestemmelse af en stjernes deklination og af dens rektascension (timevinkel). Deklinationer blev bestemt ved hjælp af et passageinstrument (Rømers såkaldte hus-instrument) eller ved meridiankredsen, hvorimod rektascensioner altid blev bestemt af observationsurene.

Hovedkilden til vor viden om Rømers ure er ovennævnte bog af Peder Horrebow, som var Rømers elev og efterfølger i embedet som professor ved Københavns Universitet.

I bogens kapitel 3 giver Horrebow en omfattende beskrivelse af Rømers observationsure.

Observationsurenes udformning

Før Rømers tid havde f.eks. astronomen Tycho Brahe store problemer med tidsangivelser, fordi hans ure var meget upræcise[3)], og problemet blev først løst efter Tychos død med pendulurets opfindelse, idet dette er et meget præcist ur sammenlignet med, hvad man tidligere havde haft til rådighed af tidsmålere.

Det var Rømers kollega og gode ven, fysikeren Christian Huygens (1629 - 1695), som var opfinderen af verdens første velfungerende pendulur. I 1658 udgav han en

lille bog med titlen *'Horologium'* i hvilken han gav en detaljeret beskrivelse af et pendulur, og efterfølgende publicerede han i 1673 et mere omfattende værk *'Horologium Oscillatorium'*, hvori han beskriver en forbedret konstruktion af sit ur.

Horrebow beskriver Rømers ure som: "*Huygens', hvis trefods-pendul ved hvert udslag angiver et sekund, og som giver et udslag på seks, syv eller otte tommer ud fra den lodrette stilling"* [4].

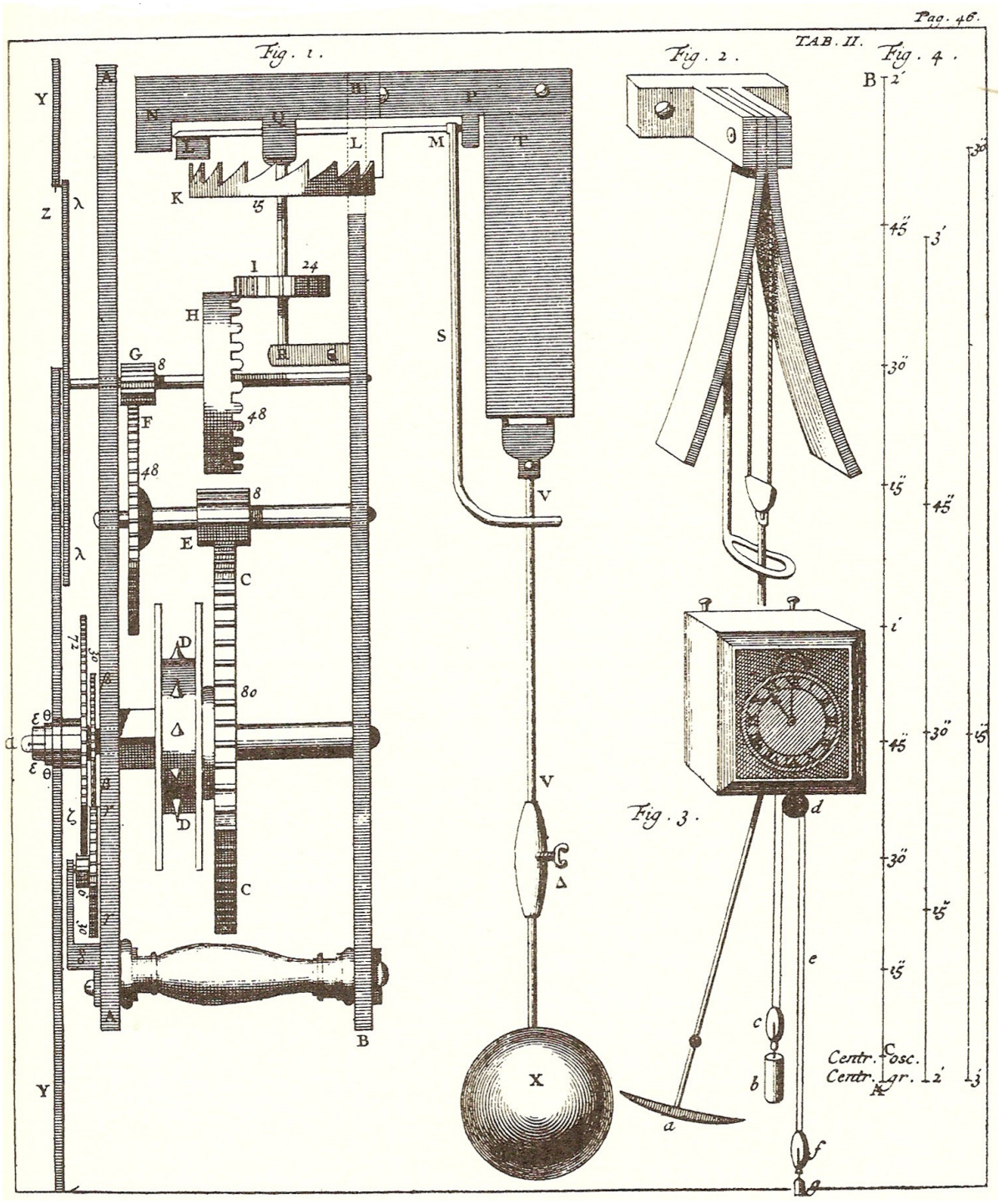
Stikket nedenfor (fig. 1.) er fra *'Horologium Oscillatorium'*, og det viser urets udformning.

Det ses, at uret er forsynet med et pendul, og at pendulophænget er placeret mellem to cykloideformede skabeloner. Dette er gjort for at føre pendulet i den rette banekurve. Endvidere ses øverst det takkede kronhjul med to flapper (benævnt L), som går i indgreb med dette hjul. Flapperne er placeret på en vandret aksel, der drejes af en gaffel S, som igen har forbindelse til pendulet. Dette arrangement kaldes *'spindelgang'*, og det er dette, som holder uret i gang, idet flapperne hele tiden overfører kraftimpulser til drift af pendulet.

Til højre forneden ses, at uret drives via et lod og med et endeløst optræk. Det endeløse optræk med de to lodder sikrer, at spindelgangen hele tiden påføres en konstant kraft; også når uret er under optrækning.

Bemærk, at pendullinsen er vist i to forskellige udformninger (kugle og nymåneformet skive), og at pendulstangen er forsynet med et forskydeligt lod til justering af urets gang.

Hvis loddet skydes opad, vil uret gå hurtigere, og hvis loddet skydes nedad, vil uret gå langsommere.



Figur 1

Det var uden tvivl denne type ure, som Rømer benyttede på sine observatorier. På Kroppedal Museet findes et ur af tilsvarende type, som sikkert har tilhørt Rømer, idet det er forsynet med hans våbenskjold (fig.2.):



Figur 2

Det ses, at dette ur er forsynet med en lille sekundviser, en lille timeviser og en stor minutviser. Det må have været et krav fra Rømer side, at alle hans astronomiske ure var forsynede med en sekundviser. Uret er desuden forsynet med en skive til visning af Månes faser.

En nærmere beskrivelse af uret findes i 'MEDDELELSER FRA OLE RØMERS VENNER' nr. 1-1994. Forfatteren af artiklen er konservator Søren Andersen.

Observatoriet i Store Kannikkestræde (Fig. 3)

Dette var det først etablerede af Rømers to private observatorier. Det ses af stikket nedenfor, at Rømer her havde tre ure. De to af urene var indesluttet i et skab, hvorimod det tredje, der var ophængt nederst til venstre for husinstrumentet, er det egentlige observationsur. Horrebow skriver herom:

"Det tredje skal være ophængt således, at observatøren skarpt kan opfatte dets tikken med ørerne og med øjet skelne de angivne sekundtal, idet han holder sin krop og så vidt muligt også sit hoved i den samme stilling, hvori han betragter en stjernes passage gennem sigteapparatet" [5].

Alle observationsurene gik efter stjernetid [6], hvor stjernehimlens omdrejningstid, set fra Jorden, er sat til 24h. Derfor kunne Rømer benytte husinstrumentet til at stille og justere urene ved at observere den samme fiksstjernes passage gennem meridianen, fordi intervallet mellem de to efterfølgende passager præcist er denne tid.

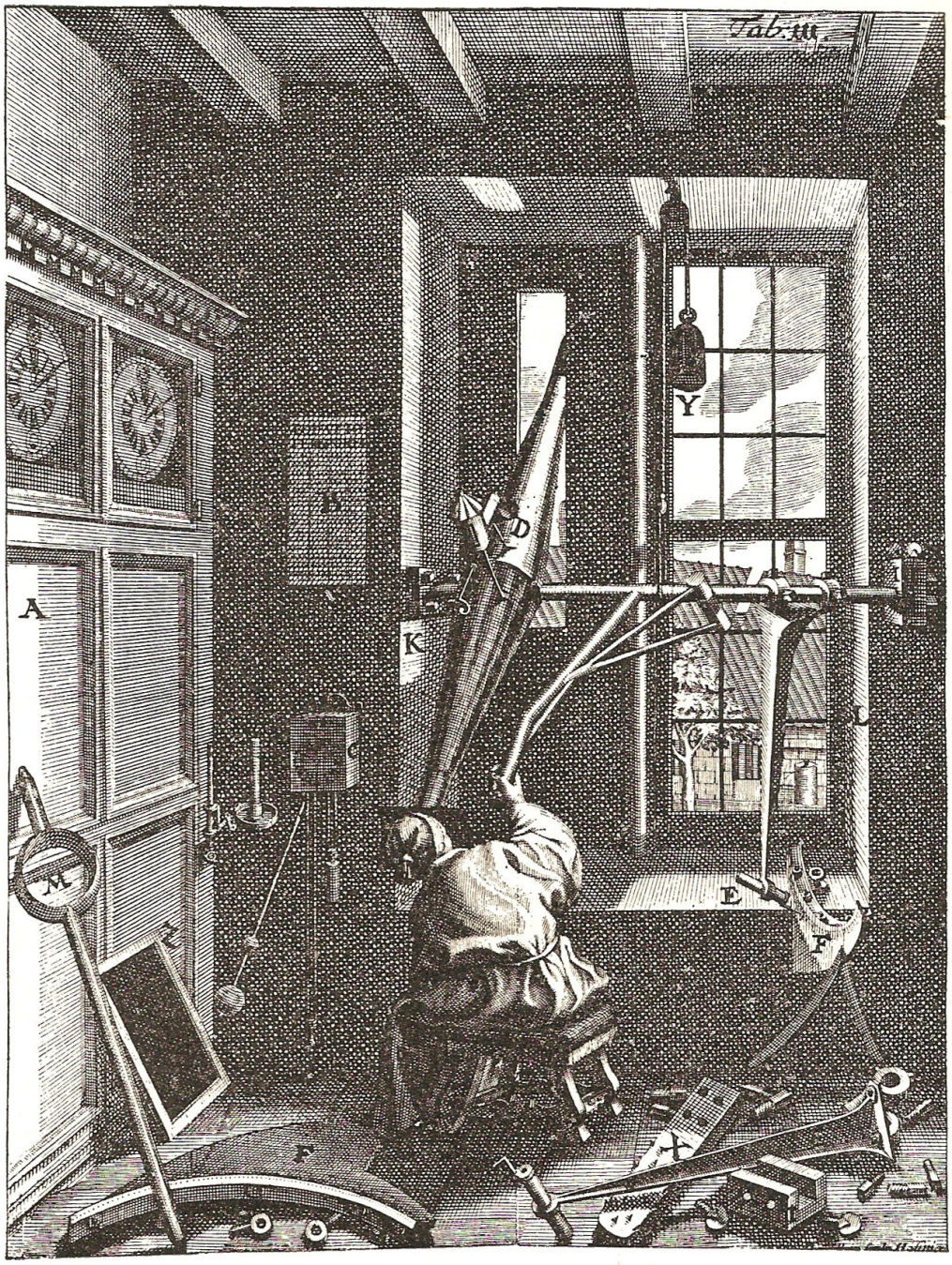
De to ure i skabene kaldes henholdsvis *'Soluret'* (uret til venstre) og *'Måneuret'* [7]. Årsagen til at Rømer har givet urene disse navne er øjensynlig, at han på denne måde via navnene holder rede på deres forskellige gang.

Horrebow skriver herom: *"Under observationerne sammenligner man stadig det ur, som man har for øjnene, med de to, der hænger i skabet, og disse sammenligninger noteres ved siden af selve observationerne. Hensigten hermed er, at man rigtigt og rettidigt kan opdage og rette, hvis der i mellemtiden er tilstødt det ur, man har for øjnene, noget, som kan medføre fejl i observationerne"* [8]

Det er i denne forbindelse velkendt, at en øvet observatør, der lytter til et ur, som slår pendulslagene skarpt, kan bestemme en stjernes passage over en tråd med en nøjagtighed på 1/10 sekund.

Rømer skriver selv om urene i et brev til Leibniz dateret 21.4.1703: *"Instrumentet har tre trefods pendulure, som jeg kender så godt efter 20 års brug, sådan at de på 24 timer knap narrer den observerende et halvt sekund."* [9)]

Det, Rømer skriver, er at urene er i stand til at gå med en nøjagtighed på et halvt sekund i løbet af 24 h (se herom senere).

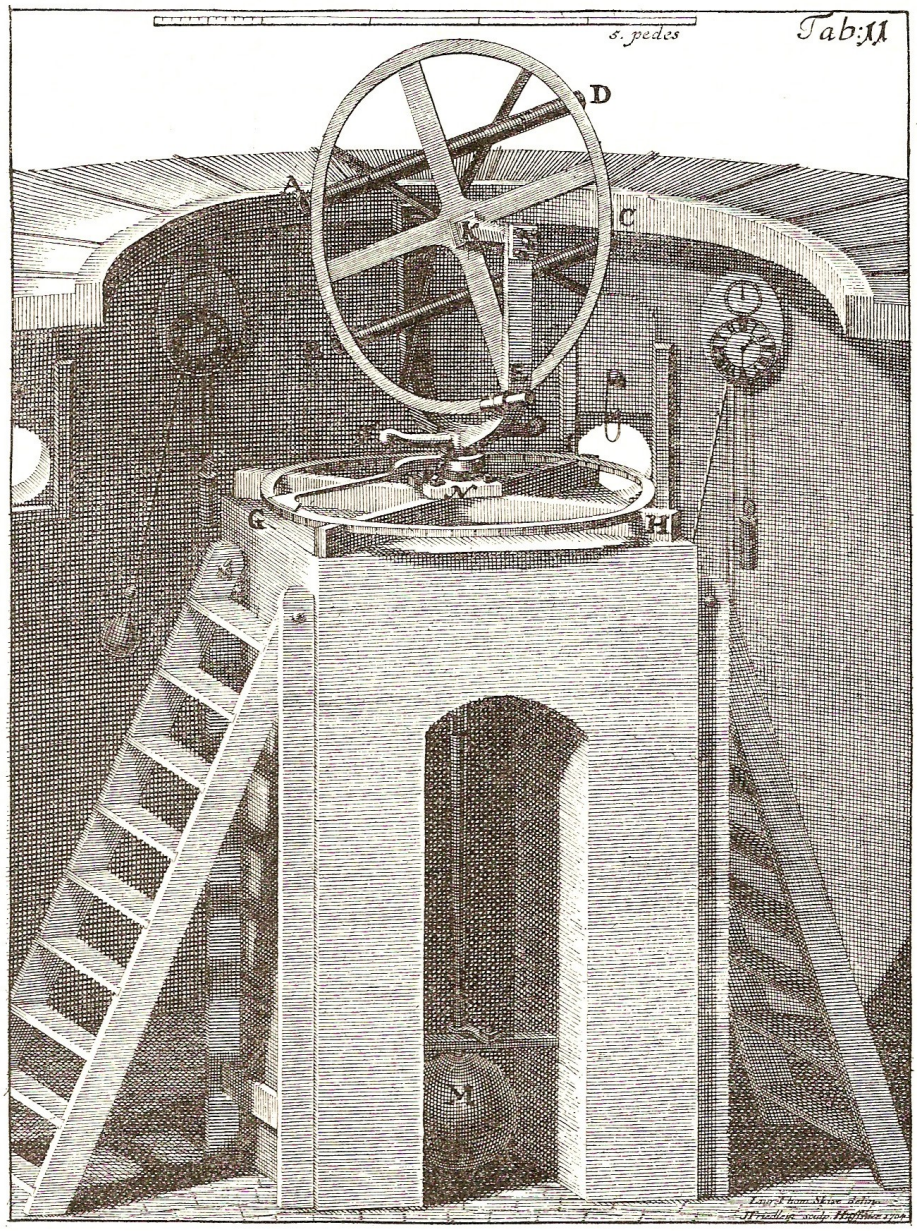


Figur 3

Observatoriet på Rundetaarn (Fig.4 og 5.)

Fig. 4. viser azimutalinstrumentet, og fig. 5. viser ækvatorialinstrumentet. Begge instrumenter blev af Rømer placeret i observatoriet øverst på Rundetaarn i hver sin kuppel.

Læg mærke til, at de to instrumenter hver har tilknyttet to ure, således at de kunne benyttes til intern kontrol.

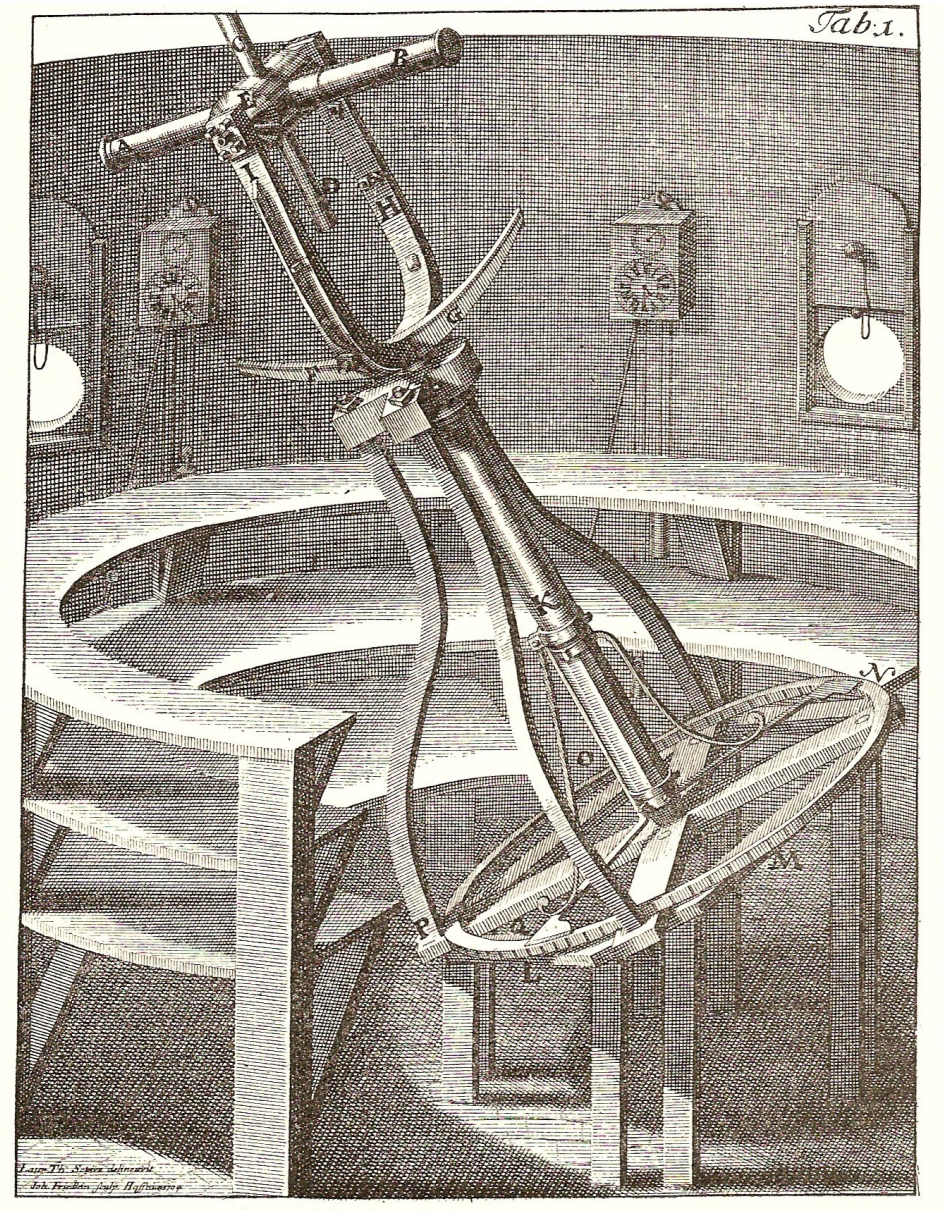


Figur 4

Det ses på stikkene, at urene til azimutalinstrumentet har ovale urskiver, hvorimod ækvatorialinstumentets ure har rektangulære skiver. Dette har Rømers helt sikkert gjort for at påpege urenes tilhørsforhold til de respektive instrumenter.

Derudover kan man bemærke, at alle urene øverst har en sekundskive, og nederst en minut/timeskive.

Ud over de nævnte ure ved vi, at Rømer på Rundetaarn har haft et astronomisk ur med et 2-sekunders pendul (12 fod langt. Se senere i artiklen) [10)]



Figur 5

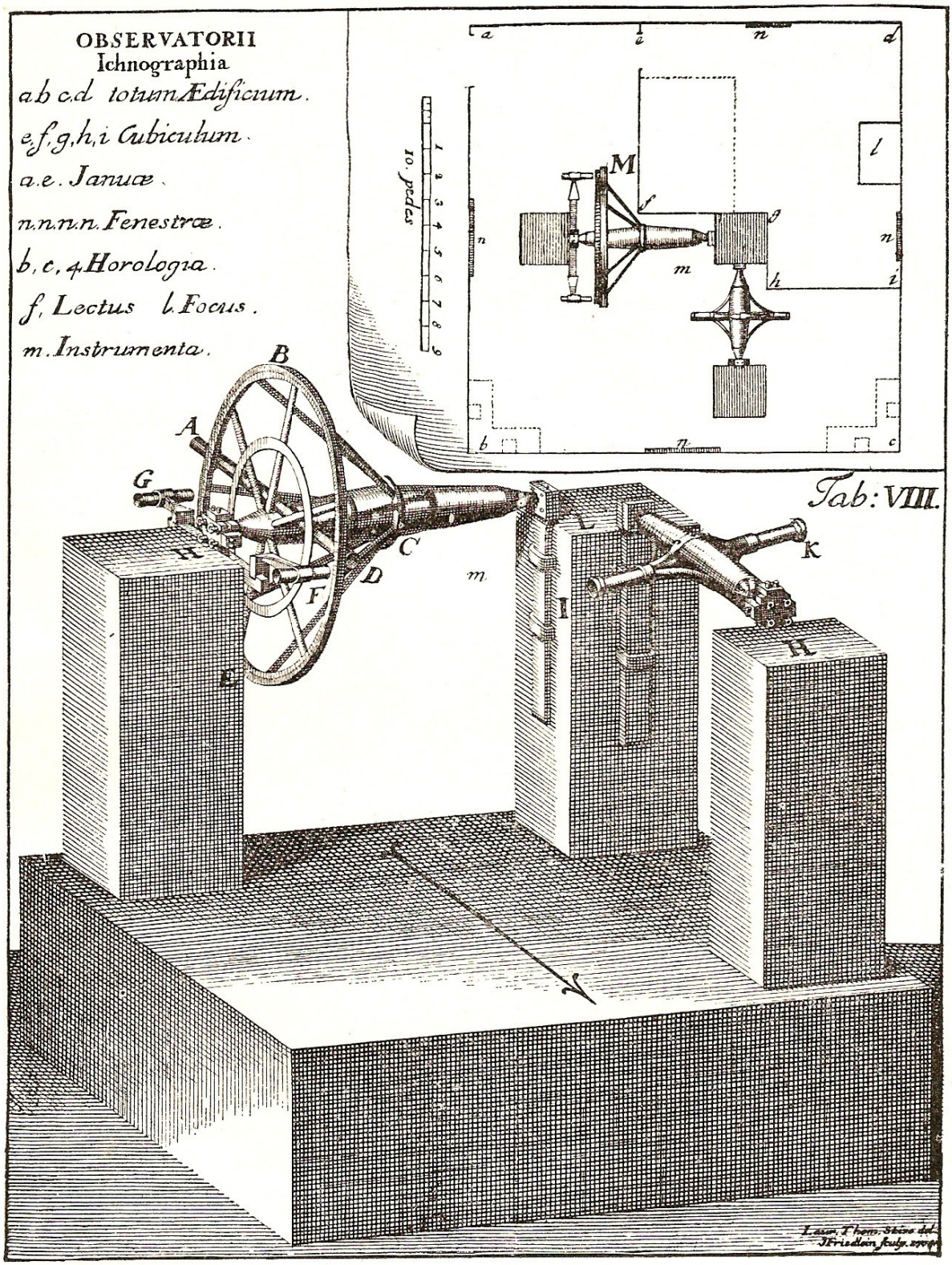
Det Tusculanske Observatorium i Vridsløsemagle (fig.6.)

Dette sidste observatorium blev bygget i 1704 og her opstillede Rømer sin meridiankreds samt passageinstrumentet i første vertikal (vinkelret på meridiankredsen).

Horrebow fortæller, at det var Rømers hensigt, at observatoriet i Vridsløsemagle skulle ligge på samme breddegrad som Rundetaarn. Dette lykkedes dog ikke helt, idet observatoriet er placeret ca. 18 buesekunder eller 500- 600 m nordligere end oprindeligt tilsigtet.

Som det ses på stikket, er der i planbilledet vist fire ure. De to ure til meridiankredsen betegnes b. , og de to ure til instrumentet i første vertikal betegnes c. Sidstnævnte blev dog senere flyttet ind i "kontoret".

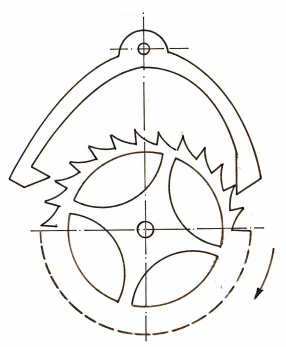
De to ure til meridiankredsen har Rømer givet navne, idet det ene ur betegnes som "det tunge" og det andet ur som "det lette". [11)] Navnene er udtryk for, at det ene ur har tunge lodder, og at det andet ur har lette lodder. At Rømer har benyttet lodder af forskellige vægte, må jeg formode, er udtryk for, at han har undersøgt, hvorvidt loddernes vægt skulle have nogen indflydelse på urernes gang.


OBSERVATORII
Ichnographia
a.b.c.d. totum Ædificium.
e.f.g.h.i. Cubiculum.
a.e. Januæ.
n.n.n.n. Fenestræ.
b.c.4. Horologia.
f. Lectus l. Focus.
m. Instrumenta.
10. pedes
Tab: VIII.
A
B
C
D
E
F
G
H
I
K
L
M
m
n
l

Figur 6

Spindelgang eller ankergang (på dansk også benævnt hagegang)

Det interessante spørgsmål er, om Rømer kun anvendte spindelgang i sine ure, eller om han også benyttede ankergangsure? Fig. 7. viser en tidlig ankergang, som den så ud på Rømers tid.



Figur 7

Fordelen ved ankergangen er, at den i mindre grad end spindelgangen påvirker pendulets svingninger. [12)]

Det ideelle pendul er et frit svingende pendul, som ikke påvirkes af udefra kommende kræfter, undtagen af tyngdekraften[13)]. Men for netop at holde pendulbevægelsen i gang er det nødvendigt, at der overføres konstante kraftimpulser via gangen. Fordi ankergangen påvirker pendulbevægelsen mindst af de to gangarter, giver den derfor også det mest nøjagtige resultat.

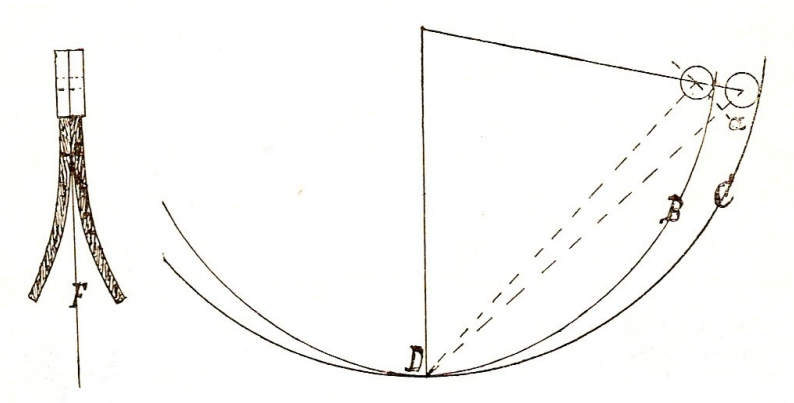
Ankergangen blev opfundet omkring 1671 af den engelske urmager William Clement[14)], og den blev meget hurtigt herefter indført på alle engelske standure, som blev fremstillet i London. I Frankrig derimod fortsatte man i en årrække med at fremstille ure med spindelgang. Man skal i denne forbindelse være opmærksom på, at *'Horologium Oscillatorum'* oprindeligt blev publiceret i Paris, og at den var dediceret til den franske konge Ludvig den Fjortende, samt at Christian Huygens på dette tidspunkt arbejdede for Det franske Videnskabelige Akademi.

En anden fordel ved ankergangen er, at den kræver et langt mindre penduludslag end spindelgangen.

Huygens havde fundet ud af, at for at opnå ens svingningstider (isochronisme) måtte et pendul svinge efter en cykloidekurve, og han opnåede dette ved at indsætte skabeloner i pendulophænget som beskrevet ovenfor.

Men med ankergangens opfindelse, blev den bue som et pendul beskriver langt mindre, og dermed mindskedes også afvigelsen fra cykloidekurven væsentligt, således at de nævnte skabeloner kunne undværes.

Skitsen nedenfor (fig. 8) viser til venstre Huygens cykloide skabeloner, hvori pendulophænget findes øverst. Skitsen til højre viser kurven, hvori pendulet tvinges til at svinge (D-B). Den anden kurve (D-C) er en cirkel. Det ses derfor ud af figuren, at når pendulets udsving mindskes, bliver afvigelsen mellem cykloide og cirkel mindre.



Figur 8

Huygens havde selv matematisk bevist, at hans cykloide skabeloner ville give ligetidige svingninger af pendulet, uanset hvor stor amplituden blev, og han anvendte derfor aldrig ankergangen i sine ure.[15)]

Netop fordi det viste sig, at de nye ankergangsure var Huygens' ure overlegne i nøjagtighed ophørte man helt med at producere disse ure efter hans død [16)].

Ure med 2-sekund penduler

En anden måde at begrænse et pendulets udsving på for dermed at opnå større gangnøjagtighed var at benytte et meget langt pendul. Den engelske fysiker Robert Hooke udførte således i 1669 forsøg med et 14 fods pendul for Royal Society [17) 18)], og udfaldet heraf var så lovende, at man i 1676 besluttede at forsyne det nyoprettede observatorium i Greenwich med to sådanne ure. Urene blev udført af den berømte engelske urmager Thomas Tompion, som i øvrigt var en god ven af Robert Hooke. Det specielle ved disse ure var, at urværket var placeret under pendulet på en sådan måde, at pendulets nederste spids blev påført impulser via urværkets ganghjul [19)].

Man havde netop i 1675 oprettet observatoriet i Greenwich, og observatoriet skulle selvfølgelig have de bedste instrumenter!

I maj 1679 besøgte Rømer dette observatorium, og vi ved, at han her beundrede de nyligt installerede 2-sekund pendulure samtidig med, at han fortalte observatoriets leder John Flamsteed, at han ville arrangere, at to tilsvarende ure blev fremstillet i Paris, når han var tilbage her.

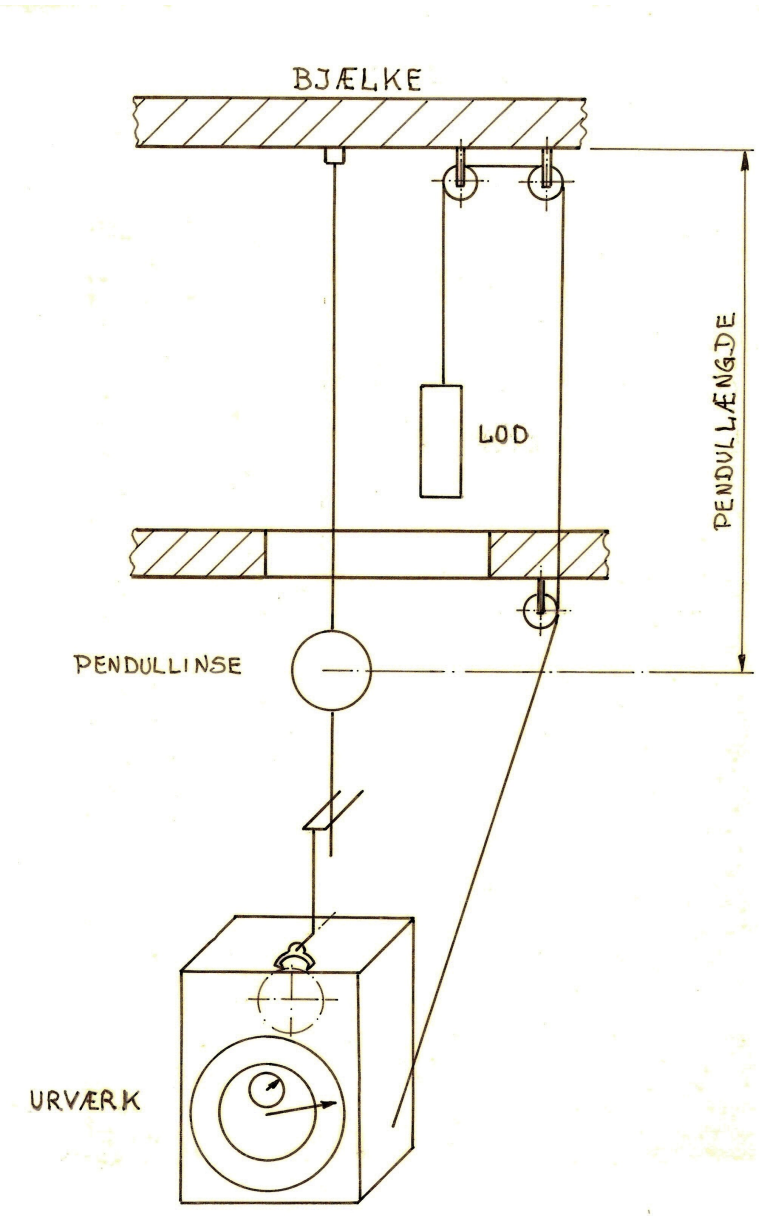
Rømers senere korrespondance [20)] viser, at urene rent faktisk blev udført af Ludvig den Fjortendes hofurmager Isaac Thuret, og at Rømer sandsynligvis tog et af disse ure med sig, da han rejste tilbage til Danmark i 1681.

Det er derfor interessant, at der i instrumentlisten for Rundetaarn i 1710 (efter Rømers død) er anført følgende: *'I det første kammer – et astronomisk ur med et 2-sekunders pendul'.*[10)]

I et brev til Leibniz fra 1703 vedlægger Rømer en liste over instrumenterne på Rundetaarn [21)] og her angives uret således under:'*2. klasse, ure maskiner og tandhjul – et større ur med pendul på 12 fod'.* [22)]

Der kan derfor næppe være tvivl om, at Rømer har udført forsøg med det omtalte 2-sekunders pendulur på Rundetaarn.

Principtegningen i fig. 9. viser, hvorledes Flamsteeds 2-sekund pendulure fungerede. Det lange pendul er ophængt under en bjælke i bygningskonstruktionen, og pendulets spids modtager kraftimpulser via en gaffel fra urværkets ganghjul. Det lange pendul har nederst kun et udsving på ca. 14 mm. Loddet, som driver uret, er også placeret øverst, således at det kan gå i et helt år før det skal trækkes op. De to ure er blevet rekonstruerede, og de kan i dag beses i den gamle observatoriebygning i Greenwich.



Figur 9

Rømers forsøg med metallers længdeudvidelse

I Adversaria [23)] findes en lille undersøgelse af forskellige metallers længdeudvidelse ved opvarmning. Dette afsnit er omhyggeligt behandlet af Mogens Pihl i bogen *'Ole Rømers videnskabelige Liv'*.[24)] Det er her interessant at bemærke, at Rømer udførte forsøg med metalstænger af 3 fods længde, sikkert fordi alle Rømers 1-sekund pendulure er beskrevet som værende penduler af 3 fods længde (Rømer angiver samme sted mere præcist 38 danske tommer, og da 1 Rømer tomme er lig med 26,1725 mm, svarer de 38 tommer præcist til længden af et sekundpendul, som er 994 mm).

I afhandlingen beskrives også, hvorledes sekundpendulets svingningstid ændres som følge af temperaturændringer, og han beregner endog, at sekundpendulets forsinkelse pr. døgn andrager 1 sekund pr. Rømergrad.

Rømer var derfor fuldt vidende om, at et 2-sekund pendul med en længde af 12 fod ville have 4 gange større længdeudvidelse end hans 1-sekund pendulure, og at uret med det lange pendul dermed også ville gå endnu mere unøjagtigt – måske er dette forklaringen på, at uret med 12 fods pendulet er beskrevet som tilhørende: *' 2. klasse, ure maskiner og tandhjul'?*

Det skal som kuriosum nævnes, at Rømer udførte sine målinger af metallernes længdeudvidelses- koefficienter i 1692, og at den engelske urmager John Harrison ca. 34 år senere opfandt det såkaldte kompensationspendul, der er i stand til at holde afstanden fra ophængningspunkt til pendullinse konstant. Princippet i kompensationspendulet er netop baseret på at udnytte, at forskellige metaller har forskellige længdeudvidelseskoefficienter.

Forsøg på sammenfatning af vor viden om Rømers observationsure

1. Når Rømer, som tidligere nævnt, i 1704 skriver til Leibniz om husinstrumentet: *"Instrumentet har tre trefods pendulure, som jeg kender så godt efter 20 års brug, sådan at de på 24 timer knap narrer den observerende et halvt sekund."* [9], er der ingen grund til at betvivle, at dette er sandt; dvs. at Rømer (med øret) kunne bestemme tiden indenfor et halvt sekund på 24 h.

   Rømers udtalelse skal nok forstås således, at han, efter observationerne er foretaget, har korrigeret tidsmålingerne indenfor tidsperioden, hvori instrumentet blev benyttet. Korrektionerne er foregået ved, at han samtidig har målt temperaturvariationerne i observatoriet via sine termometerkonstruktioner, og så bagefter har lagt den tid til, som urene har tabt eller vundet på grund af pendulernes længdeændringer.

   Det er i denne forbindelse værd at huske på, at Rømer hver 24. time kunne checke sine ures gangnøjagtighed ved en fiksstjerneobservation i meridianen (forudsat at der var en klar stjernehimmel).

   Rømer bekræfter selv fremgangsmåden i følgende udtalelse, som refereres af Horrebow i § 162 i Basis Astronomiæ: *"Hos mig er der ikke blevet nogen betænkelighed tilbage, undtagen denne ene: at urene, selv om de efter 24 timers forløb gaar ganske rigtigt, dog kan undergaa nogen paavirkning, fordi nat og dag afløser hinanden, jeg mener, at de gaar anderledes om natten end om dagen. Men ogsaa denne tvivl kan jeg forsikre, at jeg har faaet hævet ved ganske sikre forsøg; i øvrigt har det aldrig drejet sig om mere end ét sekund."*

2. Horrebow skriver: *"At man ikke må tillade, at der i et astronomisk observatorium anvendes andre ure end Huygens', hvis trefodspendul ved hvert udslag angiver et sekund, og som giver et udslag på seks, syv eller otte tommer ud fra den lodrette stilling".* [4]

Ovenstående udtalelse kan kun fortolkes, som at både Rømer og Horrebow har benyttet ure med spindelgang. Herfor taler også det store penduludsving på 6 til 8 tommer, som Horrebow angiver, idet spindelgangen har et væsentligt større penduludsving, end et tilsvarende ankergangsur har. Et yderligere bevis herpå er, at kobberstikkene af husinstrumentet, ækvatorialinstrumnetet og azimutalinstrumentet alle viser ure med et stort penduludsving.

Noter:

1. Basis Astronomiæ udkom første gang i 1735. I 1741 - 42 blev bogen genudgivet som en del af Horrebows samlede værker. I denne artikel refereres til den oversatte udgave af Elis Strömgren: Ole Rømer som Astronom. Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, København 1944.

2. Rømer skriver i et brev til Leibniz dateret 24.1.1700: *"Jeg ville foretrække, at efemeriderne blev beregnet ved rektascensionerne og deklinationerne i stedet for ved længder og bredder……".*

3. Elis Strömgren: Ole Rømer som astronom. Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, København 1944, p. 39 – 40.

4. Ibid., § 30, p. 42.

5. Ibid., § 33, p. 43.

6. Ibid., § 32, p. 42.

7. Ibid., § 33, p. 43.

8. Ibid., § 43, p. 45.

9. Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: Ole Rømer, Korrespondance og afhandlinger samt et udvalg af dokumenter. Det Danske Sprog- og Litteraturselskab. C.A. Reizels Forlag København 2001, brev nr. 58, p. 310.

10. Ibid., p. 688: *'Fortegnelse paa de instrumenter og Verker om findes på det runde taarn Anno 1710. I det første kamers: Et astronomisk ur, med et 2-sekunders pendul'.*

11. Elis Strömgren: Ole Rømer som Astronom. Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, København 1944, § 43, p. 46.

12. F.A.B. Ward. Time Measurement, Historical Review, Science Museum, London 1970, p. 18.

13. Ibid. p. 6.

14. F.A.B. Ward. Time Measurement, Historical Review, Science Museum, London 1970, p. 18.

15. H. Alan Lloyd: Some outstanding Clocks over seven hundred Years 1250 – 1950, Leonard Hill Limited, London 1958, p. 74.

16. Ibid. p.74.

17. Ibid. p. 72.

18. Jim Bennett, Michael Cooper, Michael Hunter and Lisa Jardine: London's Leonardo – The Life and work of Robert Hooke, Oxford University Press, 2003, p. 71 - 72.

19. H. Alan Lloyd: Some outstanding Clocks over seven hundred Years 1250 – 1950, Leonard Hill Limited, London 1958, p. 79.

20. Se læserbrev af Poul Darnell i tidsskriftet ANTIQUARIAN HOROLOGY, June 2012.

21. Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen: Ole Rømer, Korrespondance og afhandlinger samt et udvalg af dokumenter. Det Danske Sprog- og Litteraturselskab. C.A. Reizels Forlag København 2001, brev nr. 58.

22. Ibid. p. 313.

23. Thyra Eibe og Kirstine Meyer: Ole Rømers Adversaria, Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, København 1910, p. 119 – 120.

24. Mogens Pihl: Ole Rømers videnskabelige Liv, Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, København 1944, p. 49 – 50.

En verden af gnister

Elektricitetens tidlige historie

af *Jørgen Lyngbye*

Lang tid før nogen kendte til begrebet elektricitet var mennesker opmærksomme på 'chok' fra elektriske fisk. Egyptiske tekster fra tiden omkring 2750 f.Kr. henviste til disse fisk som 'Nilens lynild' og beskrev dem som 'beskyttere' af alle andre fisk. Elektriske fisk blev senere beskrevet af antikkens græske, romerske og arabiske naturforskere og læger. Antikke skribenter som Plinius den ældre (ca. 23-79) og lægen Scribonius Largus (ca. 1-50) beskrev virkningen af elektriske chok fra havkatte og rokker. De vidste at sådanne chok kunne forplante sig gennem ledende stoffer. Patienter med lidelser som gigt og hovedpine blev anvist til at berøre elektriske fisk, i håbet om at det stærke stød kunne kurere dem.

Den græske filosof Thales fra Milet (ca. 625-545 f.Kr.) beskrev omkring 600 f.Kr. det allerede velkendte fænomen, at hvis et stykke rav gnides med en tør ulden klud eller et skind, kan det tiltrække små, lette genstande. Thales mente, at ravet ved gnidningen var blevet 'besjælet'. Ordene elektron, elektricitet, elektronik og lignende betegnelser stammer fra det oldgræske navn for stoffet rav: *'Elektron'*. Rav er hærdet harpiks, som nogle træsorter har udskilt. I dag findes de største forekomster af rav langs vestkysten af Jylland og langs de baltiske landes Østersøkyst. Thales skal i øvrigt også have ment, at magnetjernsten (magnetit, Fe_3O_4), opkaldt efter byen Magnesia i Lilleasien, var levende, da det var i stand til at tiltrække og bevæge et stykke jern.

Grundlaget for nyere forskning i magnetisme og elektricitet opstod i England under dronning Elizabeth I. **William Gilbert var** en engelsk læge og videnskabsmand. Han er bedst kendt for sine opsigtsvækkende teorier om magnetisme publiceret i

bogen 'De Magnete' (om magneten) fra år 1600, der er bemærkelsesværdig ved sin moderne tankegang. Den indeholder mange nye iagttagelser om elektricitet og især magnetisme. Mere fuldstændigt er titlen 'De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure' (om magneten, magnetiske legemer og Jordens store magnet).

Yderst lidt er kendt om Gilberts liv. Han fødtes i 1544 i Colchester. Colchester er en by i det østlige England. Den ligger ved kysten til Nordsøen, i grevskabet Essex og i regionen East of England. Byen regnes ofte som en af de ældste i England, og dens historie går tilbage til romernes besættelse af de engelske øer, hvor byen gik under navnet Camulodunum.



Gilberts far var en velstående dommer. Gilbert blev Bachelor of Arts fra Cambridge University i 1561, Master of Arts i 1564 og læge i 1569. Fra midten af 1570'erne praktiserede han som læge i London, hvor han blev optaget i Royal College of Physicians og dets præsident i 1600. Her kom han i kontakt med søfarende, kompasmagere og matematikere og videreførte sine studier over magnetisme. I sin blomstrende lægepraksis blev han konsulteret af medlemmer af aristokratiet og i 1600 udpeget som en af dronning Elizabeth I's personlige læger. Efter hendes død i 1603

tjente Gilbert som kong James I's læge indtil han selv døde under en pestepidemi i november samme år. Billedet herunder viser Gilbert, der demonstrerer magnetisme for dronning Elizabeth I.



England var en stor søfartsnation. Da den Spanske Armada blev tilintetgjort i 1588, var vejen åben for engelsk bosættelse i Amerika. De engelske skibe var yderst afhængige af det magnetiske kompas, men ingen forstod, hvordan det virkede. Columbus mente, at polarstjernen var det som tiltrak magnetnålen, mens andre foreslog, at der i polområdet var et magnetisk bjerg, som skibe aldrig kunne nærme sig, fordi søfolkene mente, at det ville trække alle jernnaglerne ud og tiltrække skibets armatur (bl.a. kanoner). Man mente også, at lugten af hvidløg ville forstyrre kompassets funktion, hvorfor det var forbudt rorgængeren at spise hvidløg nær skibets kompas.

I det 16. århundrede havde engelske og hollandske søfarende opsamlet observationer, der var til stor nytte for Gilbert. Det var ikke ukendt for Gilbert eller hans samtidige at opdagelser om magnetisme kunne være både politisk og kommercielt nyttige. Trods udbredt brug af kompasser på de engelske, hollandske, spanske og franske skibe forstod, som antydet, ingen hvordan kompasset virkede og hvorfor kompasnålen reagerede som den gjorde. Men Gilbert undersøgte metodisk ved forsøg med magneter og magnetjernsten en lang række magnetiske fænomener.

Gilberts bog 'De Magnete' gik langt videre end blot navigation, idet den beskrev den første omfattende undersøgelse af magnetisme og fremsatte en revolutionerende ny teori om Jordens magnetiske kraft. Gilbert insisterede på at benytte sine egne empiriske data snarere end at basere sig på tidligere autoriteter.


TRACTATVS

Siue

PHYSIOLOGIA NOVA

DEMAGNETE,

MAGNETICISQVE CORPO-

RIBVS ET MAGNO MAGNETE

tellure Sex libris comprehensus

A

Guilielmo Gilberto Colcestrensi,

Medico Londinensi.

In quibus ea, quæ ad hanc materiam spectant pluri-

mis & argumentis ac experimentis exactissimè

absolutissimeq; tractantur et explicantur.

Omnia nunc diligenter recognita & emen-

datius quam antè in lucem edita, aucta & figu-

ris illustrata opera & studio

Wolfgangi Lochmans, I.U.D.

& Mathematı:

Ad calcem libri adjunctus est Index Capi-

tum Rerum et Verborum locupletissimus

EXCVSVS SEDINI

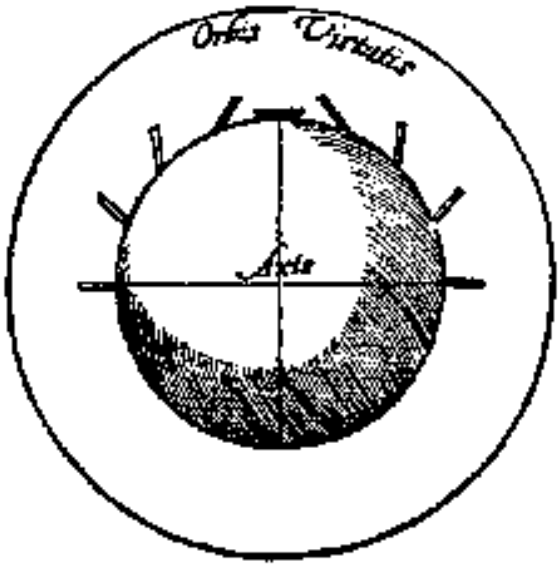
Typis Götzianis Sumptibus

Authoris

Anno M.DC.XXVIII.

Hans bog er fuld af omhyggeligt planlagte forsøg, som han opfordrede sine læsere til at gentage. Han angreb naiv overtro på myter, som f.eks. en magnets kraft til at afsløre utroskab og hvidløgs indflydelse på kompasser, og han forkastede Aristoteles' forklaringer. Tillige opfandt han et nyt sprog til at beskrive de magnetiske fænomener, betegnelser som elektricitet, elektrisk kraft, elektrisk tiltrækning og magnetpoler. For at forklare de fænomener han undersøgte konkluderede han, at Jorden var

'levende' med magnetisk kraft, som han sammenlignede med seksuel tiltrækning. Magnetisme var for ham en 'medfødt' kraft, der virkede i Universet med okkulte og vitale egenskaber. Gilberts fantastiske påstand var, at Jorden opfører sig i himlene som en sfærisk magnet på Jorden. Han baserede denne antagelse på sine forsøg med sfæriske magneter og konkluderede at Jorden selv var en stor sfærisk magnet. I sine videre betragtninger påstod han at Jorden roterer om sin akse en gang i døgnet ved sin magnetiske kraft ganske som en perfekt sfærisk magnetjernsten vil dreje rundt om sin akse og dermed rettes mod Jordens poler. Gilbert tilføjede nye magnetiske argumenter til Kopernikus' teori om det heliocentriske Univers.



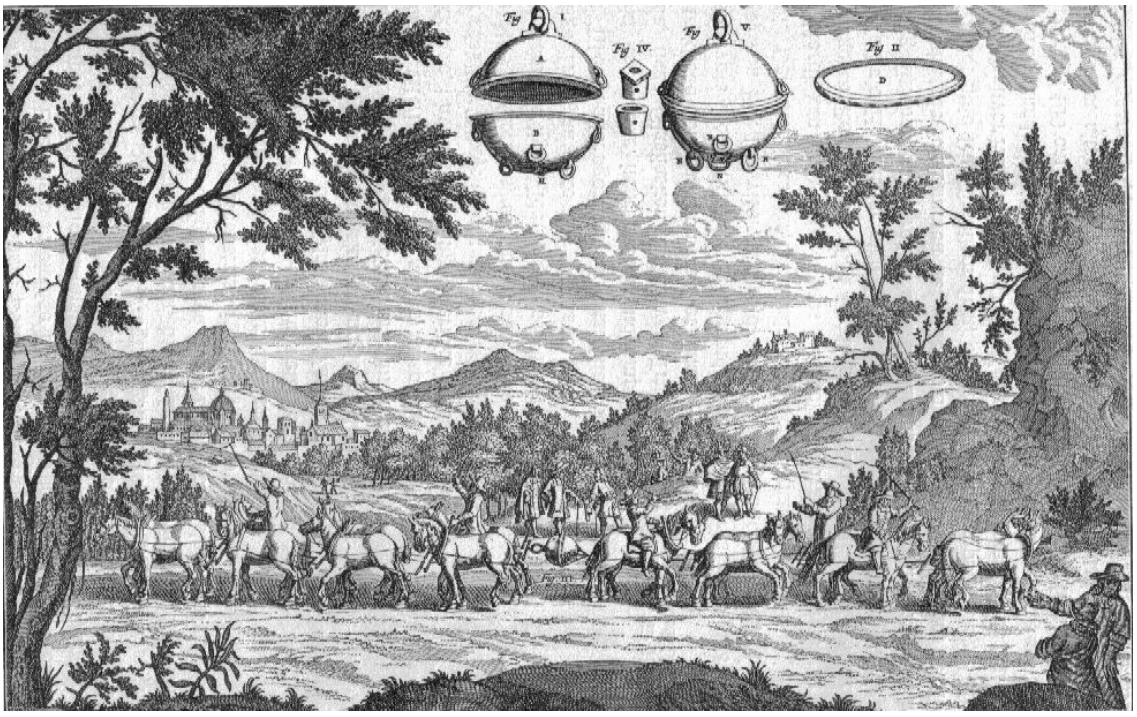
Skønt en del af Gilberts magnetiske teorier snart blev tilbagevist inklusive hans analogi af Jorden med en sfærisk magnetjernsten, anerkendes han stadig for nogle af sine opdagelser om elektricitet og magnetisme som eksempelvis distinktionen mellem magnetisk og statisk elektricitet samt for korrekt at fastslå at fiksstjernerne ikke alle befinder sig i samme afstand fra Jorden. Gilbert hædredes af IEC i 1930 ved betegnelsen gilbert (Gi) for magnetomotiv kraft (magnetisk flux) i CGS-systemet. SI-enheden er ampere (A).

Flere europæiske naturforskere blev inspireret og nogle uddannet af Gilbert. Det gælder f.eks. tyskeren Otto von Guericke, englænderen Stephen Gray og franskmanden Charles Francois Du Fay. Fysikeren **Otto von Guericke** (1602-1686) viste ved

hjælp af en luftpumpe, at vakuum kunne eksistere, hvilket var af betydning for den videre forskning i elektricitet.



Otto von Guericke er især kendt for sin demonstration for kejser Ferdinand III (1608-1657) i Magdeburg i 1654, hvor han brugte pumpen til at tømme to sammensatte halvkugler af kobber (diameter ca. 1 alen), de såkaldte magdeburgske halvkugler, for luft, hvorefter det ydre tryk holdt dem så fast sammen, at der skulle 16 heste til at trække dem fra hinanden. I 1671 publicerede Otto von Guericke sin afhandling 'Experimenta nova Magdeburgia de vacuo spatio'.



I 1660 havde Otto von Guericke konstrueret en maskine, der kunne danne statisk elektricitet. Det blev den første elektriske generator. I 1661 konstruerede han et manometer, Han var tillige politiker.

Den engelske farver (af tekstil) og amatørastronom **Stephen Gray** (1666-1736) sleb selv sine linser og konstruerede et teleskop. Han gjorde en række mindre opdagelser som f.eks. arealer af solpletter. Han blev kendt for sine nøjagtige observationer. Senere i livet ramtes Gray af fattigdom, men fik takket være John Flamsteed og Hans Sloane plads på London Charterhouse (et hus for fattige gentlemen, der havde tjent sit land). Det i var den periode, at Gray gjorde sine opdagelser inden for elektricitet.



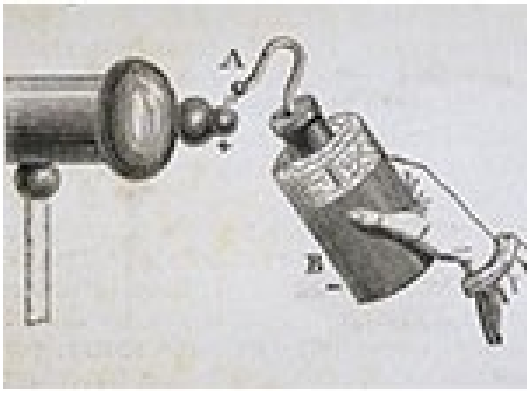
I begyndelsen eksperimenterede Gray kun med statisk elektricitet og anvendte et glasrør som en elektrostatisk generator, hvor der ved gnidning kunne dannes statisk elektricitet med ganske høj spænding. I enden af dette glasrør sad en prop for at holde fugt ude. Han bemærkede, at proppen tiltrak små papirstumper og med en pind i proppen endog små genstande. Han forsøgte med længere pinde og til slut tråde. Senere eksperimenter i 1729 i samarbejde med præsten Granville Wheler (1701–1770) og med trådlængder på op til 800 fod afslørede vigtigheden af at isolere tråden (ophængt i et tårn) fra kontakt med jord. Gray vidste intet om, at metal er bedst til at lede elektricitet, så han brugte en hamptråd som leder og silke som isolator. Gray havde dermed opdaget princippet om ledning af elektricitet.

Da den franske kemiker **Charles Francois du Fay** (1698-1739) i 1732 besøgte Gray og Wheler og så eksperimentet, formulerede han efter hjemkomsten til Frankrig i 1733 den første omfattende teori om elektricitet betegnet 'tovæske' teorien. Han

kaldte de to former henholdsvis resinous (harpiksagtig, –) and vitreous (glasagtig; +), som nu betegnes negativ og positiv. Det blev videreudviklet af hans kollega fysikeren og præsten Jean-Antoine Nollet (1700-1770), men modsagt af Franklin, der postulerede en 'énvæske' teori med to tilstande (positiv og negativ).

Betegnelserne konduktorer (ledere) og isolatorer stammer fra naturfilosoffen **John Theophilus Desaguliers** (1683-1744), der var født i Frankrig, men emigrerede til England, hvor han fra 1714 var medlem af Royal Society of London. Han modtog Royal Society's højeste udmærkelse Copley Medaljen, i 1741 for sine opdagelser vedrørende elektricitetens egenskaber. Han havde været Newtons assistent og populariserede Newtons teorier og deres praktiske anvendelse. Han er blevet krediteret som opfinder af planetariet på basis af nogle publicerede planer.

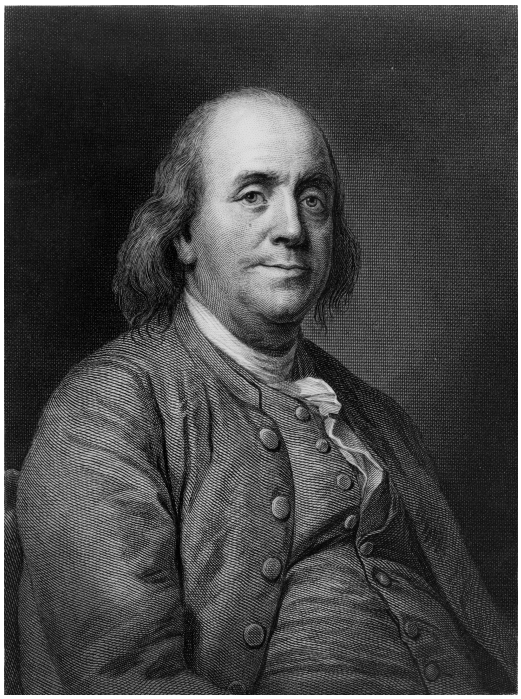
Leyden jar ('Leyden krukken'(eller 'Leyden karret')) er en indretning, der 'opbevarer' elektricitet mellem to elektroder på henholdsvis indsiden og udsiden af karret. Det blev opfundet uafhængigt af i 1744 den tyske præst Ewald Georg von Kleist og i 1745-1746 af den hollandske naturforsker Pieter van Musschenbroek i Leyden.



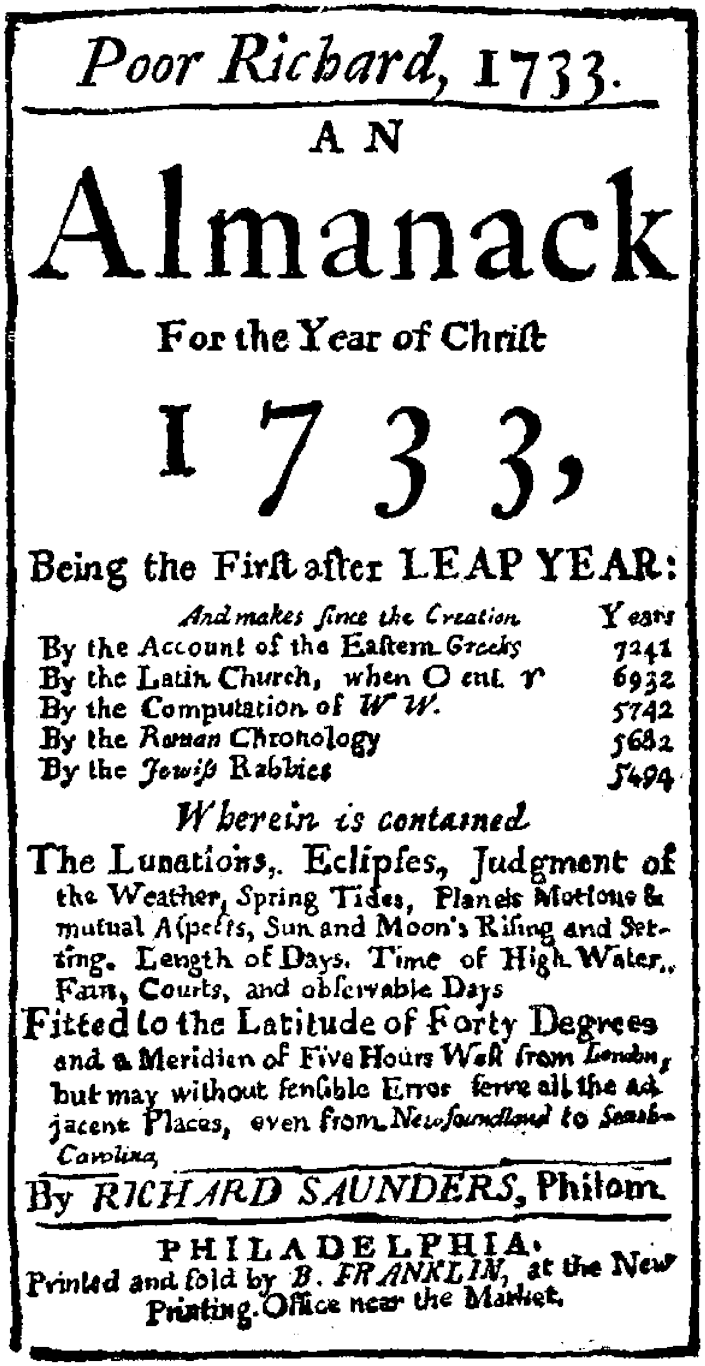
Leyden Jar var den oprindelige form for en kapacitet. Det blev benyttet til at udføre mange tidlige eksperimenter med elektricitet, så dets opfindelse var af fundamental betydning for studiet af elektricitet. Tidligere havde været benyttet store isolerede konduktorer til at 'opbevare' en ladning. Leyden jar tilvejebragte et meget mere kompakt alternativ.

Benjamin Franklin fødtes i Boston i New England (USA i nutiden) i 1706 som søn af en talghøker, der solgte bl.a. sæbe og stearinlys. Hans far var udvandret fra England til New England, hvor han fik fjorten børn med to hustruer. Puritanerne, der var upopulære hos engelske konge, emigrerede i stort tal til Amerika. New England er et område i USA's nordøstlige del, hvor den største by er Boston. Navnet New England stammer fra de tidlige europæiske indvandrere, idet Captain John Smith i et skrift fra 1616 brugte betegnelsen 'New England'. Navnet fik i 1630 godkendelse af den engelske konge.

Benjamin var lærenem og blev optaget på en grammar school, hvor han formentlig har lært sprog og lidt matematik, men da han var 12 år, blev han sat i lære hos en ældre bror, som var bogtrykker. Han kunne dog ikke enes med broren, hvorfor han flyttede til Philadelphia, hvor han ernærede sig som bogsælger og typograf. I 1724 flyttede han til London. Her arbejdede han som bogtrykker og kom i kontakt med Newtons forlægger. Franklin prøvede forgæves at møde Newton, men kom i stedet i kontakt med Peter Collinson (1694-1768), et medlem af Royal Society, der skulle få betydning for hans senere arbejde med elektricitet.



Peter Collinson var en ivrig gartner. I løbet af 1730'erne indså han, at der var et marked for frø i England, hvor der var stigende interesse for planter. I 1726 vendte Franklin tilbage til Philadelphia og fortsatte sit arbejde som typograf. Snart gik han dog over til journalistik, hvor han i 1728 startede avisen Pennsylvania Gazette og i 1733 publicerede første udgave af 'Poor Richard's Almanac'. Poor Richard var et pseudonym for Franklin.



Poor Richard, 1733.

AN

Almanack

For the Year of Chriſt

1733,

Being the Firſt after LEAP YEAR:

And makes ſince the Creation	Years
By the Account of the Eaſtern *Greeks*	7241
By the Latin Church, when O ent. ♈	6932
By the Computation of *W. W.*	5742
By the *Roman* Chronology	5682
By the *Jewiſh* Rabbies	5494

Wherein is contained

The Lunations, Eclipſes, Judgment of the Weather, Spring Tides, Planets Motions & mutual Aſpects, Sun and Moon's Riſing and Setting. Length of Days. Time of High Water, Fairs, Courts, and obſervable Days

Fitted to the Latitude of Forty Degrees and a Meridian of Five Hours Weſt from *London*, but may without ſenſible Error ſerve all the adjacent Places, even from *Newfoundland* to *South-Carolina*.

By *RICHARD SAUNDERS*, Philom.

PHILADELPHIA:
Printed and ſold by *B. FRANKLIN*, at the New Printing-Office near the Market.

Franklin blev ganske hurtigt en kendt skikkelse, han blev tilbudt offentlige stillinger, f.eks. som postmester, fik efterhånden politisk indflydelse og blev velhavende. Han havde en forkærlighed for praktiske opfindelser. Han producerede kakkelovne og forbedrede brændselsøkonomien. Uden økonomiske bekymringer kunne han beskæftige sig med de ting og emner, som han havde interesse for. Han publicerede et forslag til fremme af nyttig viden, der i 1741 blev ført ud i livet som American Philosophical Society.

Under et ophold i Boston i 1746 så Franklin demonstreret nogle elektriske eksperimenter. Ved tilbagekomsten til Philadelphia fik han ved hjælp af Collinson mulighed for at demonstrere sådanne eksperimenter i sit hus. Collinson publicerede en bog om eksperimenterne i 1751. Bogen blev en stor succes og kom i mange oplag og oversættelser. Det førte til at Franklin blev medlem af *Royal Society* i London i 1756. Han var en nyttefilosofisk og praktisk natur, så hans videnskabelige opdagelser fik ofte rent tekniske konsekvenser.

Et vigtigt teoretisk resultat var følgeslutninger ud fra princippet om bevarelse af elektrisk ladning. Dette princip var også bemærket af andre, men Franklin gik nærmere ind på det. Han viste, at elektricitet bestod af et "common element", som han benævnte 'elektrisk ild'. Endvidere mente han at elektricitet var 'flydende' som en væske. Hans hypotese var, at et legeme indeholdt lige mængder af positiv og negativ elektricitet, som under normale omstændigheder nøjagtigt ville neutralisere hinanden. Elektrificering er adskillelse af de to typer elektricitet med den konsekvens at deres sum er konstant og lig nul. Franklin påviste bl.a. sin opfattelse ved at lade to personer hver stå på et isolerende underlag. Et glasrør blev gjort statisk elektrisk ved gnidning med en klud, hvorefter den ene person tog elektricitet fra glasrøret og den anden fra kluden. Når deres fingre dernæst berørte hinanden udløstes en gnist, så begge blev neutraliseret.

Franklins berømmelse i samtiden (og nutiden?) beroede mest på hans interesse for atmosfærisk elektricitet. Forsøg af Franklin i 1752 (og andre), såvel i Frankrig som

senere i Philadelphia, viste at man, uden risiko mente han, kunne 'trække' elektricitet fra skyer med en drage. En anden fysiker blev dog dræbt ved et lignende forsøg. Franklin antog, at lyn var gigantiske, elektriske gnister.



Dette kulminerede med opfindelsen af lynaflederen som en konsekvens af hans forsøg. Han havde påvist, at et objekt med en skarp spids nemt kunne tabe sin elektriske ladning. Ved at anbringe en jernstang, spids som en nål, mente han at kunne aflade bygninger og dermed beskytte dem mod lynnedslag.

Mens Franklin var chef for postvæsenet i 1775, analyserede han de bedste ruter for levering af post. Han konstruerede et simpelt såkaldt odometer som en hjælp til at måle ruternes længde. Odometret kunne fæstes til en vogn og målte den distance, som vognen kørte.



Politisk aktivitet, som Franklin så som sin borgerpligt, krævede efterhånden mere og mere af hans tid. Han var i perioder i London og hjalp med at lave udkast til uafhængighedserklæringen (Declaration of Independence), der blev udstedt den 4. og 5. juli 1776 i Philadelphia, over et år efter at den amerikanske uafhængighedskrig mod Storbritannien var brudt ud. Derefter var Franklin i Paris på diplomatisk mission, men vendte tilbage til Philadelphia i 1785 og blev medlem af forfatningskonventet (Constitutional Convention; også kendt som den føderale konvention), der fandt sted i Philadelphia fra 14. maj til 17. september 1787. USA's forfatning eller Constitution er den amerikanske grundlov. Franklin blev uhyre populær også i udlandet.

Da Franklin var 17 år friede han til den 15-årige Deborah Read. Men hendes mor nægtede at godkende forlovelsen bl.a. på grund af Franklins usikre økonomiske situation. I mellemtiden var Franklin på en rejse til London og blev forsinket. Deborah giftede sig da med en anden mand, som imidlertid havde økonomiske problemer, forlod hende og flygtede til Barbados med hendes medgift. Deborah var ikke fri til at gifte sig igen, men Franklin stiftede et såkaldt common-law marriage (uformelt ægteskab) med Deborah Read i 1730. Franklin havde allerede en illegitim søn William og derudover fik parret to børn. Det første barn, Francis Folger Franklin, fødtes i 1732, men døde af kopper fire år senere. Det andet barn, Sarah Franklin eller 'Sally', fødtes i 1743. Hun blev gift og fik syv børn. Senere passede hun sin far, da han var blevet gammel. Franklin døde i 1790 i en alder af 84 år.

Franklin ønskede, at Deborah fulgte ham på rejserne til Europa, men hun var angst for at sejle og nægtede at ledsage ham. I 1769 skrev hun et brev til ham, mens han var i London, at hun var syg på grund af 'utilfredsstillet nød', men han forlod ikke London af den grund. Deborah døde af et slagtilfælde i 1774, mens Franklin igen var i England.

Den engelske kemiker og fysiker **Henry Cavendish** (1731-1810) og den franske fysiker og ingeniør **Charles-Augustin de Coulomb** (1737-1806) bidrog på forskellig vis til elektricitetsforskningen. Cavendish er dog bedst kendt for opdagelsen af hy-

drogen (brint). Han kaldte den nyopdagede gas 'brændbar luft', beregnede gassens massefylde og beskrev forbrændingen, som førte til dannelse af vand. Den franske kemiker **Antoine-Laurent de Lavoisier** (1743-1794) gentog senere Cavendish's forsøg. Han gav grundstofferne hydrogen og oxygen (ilt) deres nuværende navne. Han har mere end nogen anden æren af at have grundlagt videnskabsfaget kemi.

Coulomb er bedst kendt for formuleringen af Coulombs lov, der angiver at kraften mellem to elektriske ladninger er proportional med produktet af ladningerne og omvendt proportional med kvadratet på afstanden imellem dem. Senere viste Coulomb at en tilsvarende lov også gælder for kraftvirkningen mellem to magnetiske poler.



Coulombs lov er en af de principielle kræfter, der er involveret i atomare reaktioner. SI-enheden for elektrisk ladning (Coulomb), er opkaldt efter ham.

I 1790'erne demonstrerede den italienske læge og fysiker **Luigi Galvani** det vi i nutiden forstår er den elektriske basis for nerveimpulser, da han fik frømuskler til at spjætte ved at give dem stød med en gnist fra en elektrostatisk maskine. Galvani fødtes i Bologna i 1737. Han studerede medicin ved universitetet i Bologna, hvor han efter sin eksamen blev lektor i anatomi samt tillige professor i obstetrik (fødselsvidenskab) ved et institut for kunst og videnskab. Hans forskning begyndte med hans doktorafhandling i sammenlignende anatomi med et fysiologisk tilsnit.



Efter anskaffelse af en elektrostatisk maskine (for at frembringe gnister) og et Leyden jar (for at 'opbevare' elektricitet; se ovenfor) begyndte Galvani at eksperimentere med at stimulere muskler med elektricitet. Gennem mange eksperimenter og observationer frembragte Galvani muskelkontraktioner i frøer ved at berøre deres nerver med elektrostatisk opladet metal. Senere var han i stand til at frembringe muskelkontraktioner med forskellige metaller uden elektrisk ladning. Han konkluderede at dyrisk væv indeholdt en medfødt vital kraft, som han betegnede 'animalsk elektricitet'. Han mente, at dette var en ny form for elektricitet i tillæg til den 'naturlige' form, dvs. den frembringer lyn og den 'kunstige' form, der dannes ved friktion (dvs. statisk elektricitet). Han mente tillige, at hjernen udskilte en 'elektrisk væske' og at strømmen af denne væske gennem nerverne fremkaldte et stimulus for muskelfibrene. Galvani døde i 1798. De fleste forskere godtog Galvanis opfattelse, men Alessandro Volta var ikke overbevist.

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta fødtes i 1745 i den italienske by Como. Hans far havde været tilknyttet Jesuitterne i en årrække og var dybt religiøs, men Volta foretrak, efter uddannelse hos Jesuitterne, et sekulært liv. Voltas uddannelse havde været centreret om latin og andre sprog samt litteratur. Han kunne skrive sonetter på fransk og italiensk og digte på latin. Hans videnskabelige interesse sy-

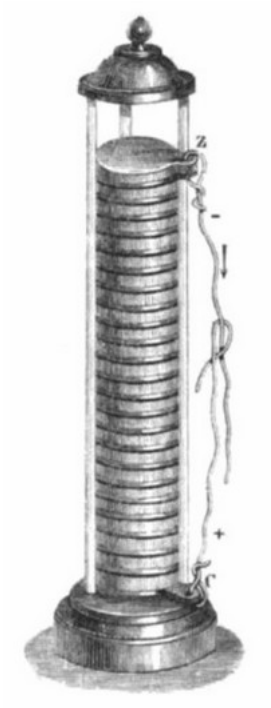
nes at være vokset spontant og han skrev som 19-årig et digt på latinske heksametre om kemiske opdagelser.



Allerede som ung påbegyndte Volta elektriske forsøg. Som 16-årig skrev han breve til datidens kendte elektricitetsforskere, som f.eks. Giambatista Beccaria (1716-1781), der opfordrede ham til at basere sig på eksperimenter og kun i mindre grad på teorier. Han blev derefter først og fremmest interesseret i eksperimentel forskning og var taknemmelig for, at hans ven Cesare Gattoni (1741-1809), der også havde videnskabelige interesser, havde givet ham bøger og instrumenter, og nogle år senere en plads i sit hus som laboratorium. Volta konstruerede apparater, der kunne bekræfte eller afkræfte hans teorier. Således den såkaldte '*electrophorus'*, hvor cirkulære plader kunne oplades, som allerede kendt, med statisk elektricitet ved gnidning med et skind eller en tør klud. Den kan opfattes som en forbedret udgave af elektrisermaskinen. Dette blev efterhånden efterfulgt af konstruktionen af en række elektrostatiske maskiner, Da Volta ønskede at kunne måle elektricitetsmængden konstruerede han et elektrometer, der kunne måle potentialdifferenser på en reproducerbar måde, og en skala med en enhed svarende til 13,35 volt i moderne enheder.

På grundlag af sine opdagelser konstruerede Volta i 1800 et såkaldt galvanisk batteri, opkaldt efter Galvani, men som senere blev betegnet Volta-søjlen. Hvis en sølv-

plade forbindes med en zinkplade ved hjælp af en metaltråd, vil der løbe en elektrisk strøm i det etablerede elektriske kredsløb. Volta-søjlen er opbygget af en stabel metalplader, af f.eks. kobber og zink, der er anbragt skiftevis og adskilt af pap- eller stofstrimler, som er vædet med en fortyndet salt- eller syreopløsning. Volta havde hermed konstrueret det første egentlige batteri. På grund af den ganske betydelige elektriske modstand i overgangen fra metal til metal, kunne denne Volta-søjle kun give en ret svag strømstyrke. Volta konstruerede derfor tillige et element, der bestod af et bæger med syre- eller saltopløsning Heri var der placeret en kobberplade som den positive pol, og en zinkplade som den negative pol.



Volta kunne faktisk påvise, at der var elektriske ledere af to forskellige klasser. Den første var metaller, der udviklede et potentiale (spænding) ved kontakt. Den anden var væsker (i nutidssprog 'elektrolytter'), der ikke opnåede et potentiale særligt forskelligt fra et metal nedsænket i væsken. Herved opstod ideen til Volta-søjlen med skiftevis metalplader og fugtige 'klude'. Derved kunne genereres en strøm stærkere end med de elektrostatiske maskiner og det må betegnes som en af de vigtigste tekniske opfindelser nogensinde.

De mange forskellige forsøg overbeviste Volta om, at årsagen til den elektriske virkning nødvendigvis ikke kunne være dyrisk elektricitet, som påstået af Galvani, men at virkningen var forårsaget af processer mellem to forskellige metaller der var i elektrisk ledende kontakt med hinanden. I begyndelsen havde han dog støttet Galvanis teori, der som han sagde "var bedre end alt som vi indtil nu ved om elektricitet". Men bl.a. selvforsøg med at placere to metaller i kontakt på tungen, hvorved der fremkaldtes en sur eller alkalisk smag, overbeviste ham om, at det er de to metaller i kontakt, der frembringer et potentiale, som han kunne måle. Frøen måtte da opfattes som et følsomt elektrometer. Men Galvani svarede, at han kunne iagttage kontraktion hos frøen selv med ét metal. Det var en alvorlig indvending, som Volta, trods forsøg, ikke kunne forklare.

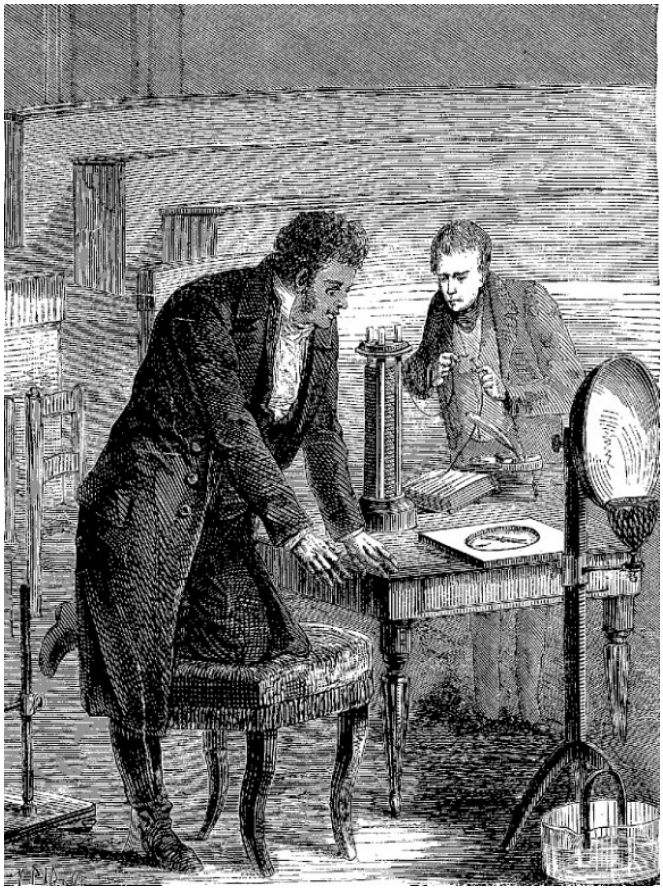
Volta gjorde også andre iagttagelser. Han opdagede methan ('sumpgas') ved at observere boblende mosevand nær søen Lago Maggiore og han konstruerede et apparat ('eudiometer') i hvilket han kunne måle gassen i et lukket kar ved at antænde den med en elektrisk gnist.

I 1774 blev Volta ansat som lærer i fysik ved en skole i Como og i 1779 udnævntes han til professor i fysik ved Universitetet i Pavia. Han blev medlem af det franske akademi og af *Royal Society* i London. Den franske kejser Napoleon Bonaparte (1769-1821) var en stor beundrer af Volta, lige som tidligere den østrigske kejser Josef II. I sine sidste leveår boede Volta afsondret i sin villa nær Como. Han døde i 1827. Volta modtog mange æresbevisninger og på den Internationale Elektriske Kongres i 1881 vedtog man at kalde den elektriske spændingsenhed for 'volt'.

Efterfølgende kom en række vigtige forskere, danskeren Hans Christian Ørsted, franskmanden André Ampère, tyskeren Georg Ohm, englænderen Michael Faraday og amerikaneren Joseph Henry.

Hans Christian Ørsted er verdensberømt som opdager af elektromagnetismen. Han havde tidligere som et tankeeksperiment overvejet, om stærke elektriske kræfter kunne påvirke en magnet. Under en række forelæsninger, som han holdt i april 1820, blev

der mulighed for at afprøve denne teori. Han sendte da en elektrisk strøm gennem en platintråd og så at en magnetnål, der befandt sig i nærheden, derved kom i bevægelse. I juli 1820 gentog han eksperimentet med samme resultat. Han offentliggjorde dette resultat på latin og opfandt udtrykket elektromagnetisme for at kunne udtrykke, at elektriske og magnetiske fænomener hænger uløseligt sammen. Et forhold, der fik stor betydning for Ørsteds videnskabelige udvikling og gjorde hans forsøg muligt, var blandt andet Voltas ovenfor omtalte opfindelse i 1800 af det kemiske batteri, Volta-søjlen. Mens man tidligere kun havde kendt til statisk elektricitet, gjorde dette instrument det muligt at eksperimentere med en elektrisk strøm. Senere fandt Ørsted ud af, at den italienske filosof Gian Domenico Romagnosi (1761-1835) opdagede elektromagnetismen allerede i 1802. Romagnosis beretning om, hvordan en elektrisk strøm fra en Volta-søjle fik en kompasnål til at slå ud, blev trykt i en italiensk avis, og blev derfor i det store og hele overset af samtidens videnskabelige miljø. Ørsteds opdagelse blev derimod straks anerkendt i videnskabsverdenen, og andre arbejdede videre med opdagelsen, ikke mindst André-Marie Ampère.



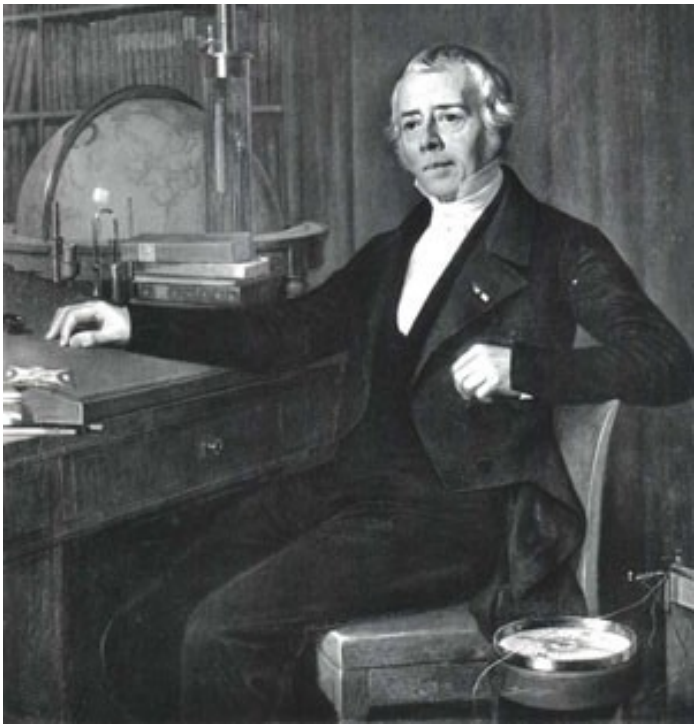
Hans oprindelige artikel fra 1820 var, som anført, skrevet på latin, men samme år udkom oversættelser på dansk, hollandsk, engelsk, fransk, tysk og italiensk. Ørsted fødtes i 1777 og tilbragte sin barndom og første ungdom i Rudkøbing, indtil han sammen med sin et år yngre bror Anders i 1793 flyttede til København. Den undervisning, som brødrene modtog i hjemmet, var særpræget. En tysk parykmager gav dem deres første undervisning. Men gennem deres ualmindelige videbegær, erstattede de ved selvstudier, hvad der manglede i traditionel undervisning. Ørsted havde fra 12-årsalderen været elev i farens apotek. Kemi interesserede ham, og han læste alt hvad han kunne få fat på vedrørende kemi. Situationen var den, at der på den tid i Danmark ikke fandtes kemiske laboratorier uden for apotekerne, og at de samlinger af fysiske instrumenter, som enkelte rigmænd havde anskaffet sig, snarere var raritetskabinetter end alment tilgængelige hjælpemidler for eksperimentel forskning.

Inspireret af sit arbejde på apoteket blev Ørsteds studium farmakologi, og da han 1797 tog farmaceutisk eksamen, imponerede han censorerne ved sin enestående dygtighed. Samtidig med at han læste til eksamen, besvarede han to af universitetets prisspørgsmål, det ene af æstetisk, det andet af kemisk art. Ligesom broren var Ørsted tidligt stærkt påvirket af den tyske filosof Immanuel Kant (1724-1804), hvilket satte sig spor i hans doktordisputats fra 1799, en latinsk afhandling, oversat til dansk med titlen 'Grundtrækkene af Naturmetafysikken'. Her følger han nøje Kant, og opstiller det som den kritiske filosofis fordring, at "alle Naturlove bør udledes af vor Kendeevnes Natur".

For Ørsted stod det som en naturlig ting, at naturen og ånden var behersket af samme harmoniske og fornuftsbestemte love, som Gud havde givet én gang for alle. Naturlovene var ved nøjere undersøgelse en for hele naturen gennemtrængende og beherskende fornuft. Det var videnskabens formål, at finde fornuftsammenhængen i alle naturens udfoldelser og det var en opfattelse, som vandt genklang hos mange af datidens forskere, men som vi i nutiden må stille os skeptiske over for.

Fysik var ikke noget selvstændigt fag på Københavns Universitet før Ørsted. Således blev en professor ved det medicinske fakultet pålagt også at undervise i eksperimentel fysik. Senere blev dennes efterfølger udnævnt til professor i fysik, men stadig ved det medicinske fakultet. I 1800 blev den næste professor i fysik tilknyttet det filosofiske fakultet. Sådan var tingenes tilstand, indtil Ørsted ændrede fysikken i Danmark fra at være et vedhæng på andre fag til et fuldt udviklet selvstændigt studium. I 1806 blev Ørsted professor i fysik og kemi ved universitetet og tillige medlem af Videnskabernes Selskab og i 1815 blev han valgt til sekretær for Selskabet, en post, som han beklædte til sin død. I 36 år lå den faktiske ledelse i Selskabet, under de skiftende præsidenter, i Ørsteds hånd.

I bestræbelserne på at skabe et teoretisk og metafysisk fundament for kemien udvikle-de Ørsted i perioden 1804-1812 en dynamisk kemisk teori, der byggede videre på den ungarske kemiker Jacob Joseph Winterls' (1732-1809) og den tyske kemiker Johann Wilhelm Ritters (1776-1810) elektrokemiske teorier og som i vid udstrækning benyt-tede naturfilosofiens begrebsramme. Ørsted publicerede på sin anden udenlandsrejse den færdige teori i sit kemiske hovedværk, 'Ansicht der chemischen Naturgesetze' (1812), som blev oversat til fransk i 1813.



Teorien forklarede kemiske, elektriske og magnetiske fænomener samt varme og lys ud fra to elektrokemiske grundkræfter, som han kaldte 'tændkraft' og 'brændkraft'. Takket være sin stigende internationale anseelse blev Ørsted en stadig mere indflydelsesrig skikkelse i Danmark. Dette udnyttede han til at opfylde sit længe nærede ønske om at udvide dansk naturvidenskab fra grunden. Et besøg i London, hvor han overværede forelæsninger ved Royal Institution, inspirerede ham til i 1824 at grundlægge Selskabet for Naturlærens Udbredelse. Han var dets formand fra dets grundlæggelse til sin død og holdt selv 26 af de populærvidenskabelige forelæsninger som Selskabet tilbød for det almene publikum både i København og provinsen. Selskabet eksisterer stadig og har til huse på H.C. Ørsted Institutet på Nørre Allé i København. Blandt dets senere formænd finder vi Niels Bohr.

Ørsted var også drivkraften bag grundlæggelsen i 1829 af Polyteknisk Læreanstalt (nu Danmarks Tekniske Universitet, DTU), en institution til uddannelse inden for ingeniørvidenskaben og andre tekniske fag, inspireret af det berømte École Polytechnique i Paris, som Ørsted havde besøgt. Han blev leder af Læreanstalten, en stilling, han beklædte resten af sit liv. Da han, som anført, samtidig var professor ved universitetet, sørgede han for at knytte tætte bånd mellem de to institutioner, heriblandt ved fælles kurser om forskellige emner. Endelig blev der ved et kongeligt dekret af den 1. september 1850 oprettet et selvstændigt fakultet for matematik og naturvidenskab ved universitetet. Ørsted, der næsten 20 år forinden havde foreslået dette, blev dets første fysikprofessor. Det gennemsnitlige antal studerende i de første 30 år af det nye fakultets levetid er blevet anslået til omkring 20. I det store og hele havde fysikken imidlertid til huse på Læreanstalten.

I 1807 kunne den engelske naturforsker Sir Humphry Davy (1778-1829) efter flere forgæves forsøg fremstille aluminium ud fra alumen (aluminiunoxid, Al_2O_3) ved hjælp af en simpel elektrolyseproces og i 1825 lykkedes det Ørsted at isolere små mængder af aluminium ved at lade fortyndet kaliumamalgam (en legering af kviksølv og kalium) reagere med aluminiumklorid, bortdestillere det dannede kviksølv og dermed efterlade en rest af lidt urent aluminium. Denne metode blev i 1827 for-

bedret og beskrevet af den tyske kemiker Friedrich Wöhler (1800-1882). Metoden til at fremstille aluminium var i 1800-tallet vanskelig og det var dengang det dyreste metal. Kong Frederik 7.s paradehjelm var lavet af aluminium, da det var det fornemt at have en hjelm af det kostbare metal. Ved fine middage var det kun meget udsøgte gæster, der fik lov til at spise af aluminiumstallerkner. Som eksperimentel kemiker er Ørsted desuden kendt for i 1819 at være den første, der ekstraherede alkaloidet piperin fra peber.

I 1822 konstruerede Ørsted sit berømte piezometer (trykmåler), hvormed han kunne sætte en indesluttet vandmasse under højt tryk og måle formindskelsen af dens rumfang med stor nøjagtighed. En lang serie af målinger resulterede i en værdi for den relative rumfangsformindskelse på 45 milliontedele pr. atmosfære, en værdi, som kun er nogle få procent mindre end den nu anerkendte.

Påvirkningen fra naturfilosofien træder også tydeligt frem i Ørsteds første større eksperimentalfysiske arbejde, undersøgelserne i 1805-1807 over Chladnis klangfigurer, som er mønstre, der fremkommer på vibrerende metalplader, som er dækket af et tyndt lag sand. De kan f.eks. frembringes ved at stryge på siden af pladen med en violinbue; hvor sandets fordeling afspejler de stående bølger, der opstår i pladen. Det opdagedes af den tyske fysiker og musiker Ernst Chladni (1756-1827). Ørsted frembragte figurerne ved at strø heksemel (et let pulver af ulvefodssporer) på en kvadratisk metalplade, som han fik til at klinge ved at stryge kanten med en violinbue. Når pladen blev fastholdt i hjørnerne, fik lydsvingningerne heksemelet til at samle sig i en regelmæssig figur omkring pladens diagonaler. Hvis man bagefter vendte pladen på hovedet og bankede let på den, faldt det meste af heksemelet af, men en del blev hængende. Ørsted tilskrev dette en elektrisk tiltrækning og så denne forbindelse mellem mekaniske lydsvingninger og elektricitet som endnu et tegn på naturkræfternes enhed. Ørsted opdagede også, at når det lykkedes ham at frembringe en særlig ren tone fra pladen, blev klangfiguren afgrænset af matematisk perfekte hyperbler.

I alt, hvad Ørsted skrev, var han meget opmærksom på formen og sproget. Han dannede en mængde nye ord, af hvilke ikke få er gået over i almindeligt dansk, som f.eks. ilt, brint, vægtfylde og rumfang. Ordene ilt og brint diskuterede han med den førende sprogforsker Rasmus Rask (1787-1832) via brevveksling. Rask var ikke umiddelbart begejstret.



Ørsted var gift med Inger Birgitte Ballum (1789-1875), som var præstedatter fra Møn og tjente hos H.C. Ørsteds far, der i 1812 havde købt apoteket i Roskilde. Parret fik otte børn, fem døtre og tre sønner. Ørsted døde i 1851. I 1932 blev Ørsted hædret ved at oersted vedtoges som en fysisk enhed for magnetisk feltstyrke.

Ørsteds artikel om elektromagnetismen blev, som omtalt, hurtigt oversat til bl.a. tysk, fransk og engelsk. Ørsteds forsøg blev beskrevet i Académie des Sciences i Paris allerede i september 1820. Blandt tilhørerne var matematikeren **André-Marie Ampère** (1775-1836), som var underviser ved École Polytechnique. Ørsteds beskrivelse af forsøget var kvalitativ, men i løbet af en uge fremsatte Ampère en komplet kvantitativ teori om Ørsteds eksperiment og Ampère lagde dermed grundlaget for en matematisk teori for elektromagnetisme. Ampère skrev straks et brev til sin søn om

sagen: ”Fra det første øjeblik jeg hørte om Hr. Ørsteds smukke opdagelse med hensyn til virkningen af en strøm på en magnetnål, har jeg til stadighed tænkt på det. Jeg har skrevet en omfattende teori om disse fænomener og alle andre kendt for magneter og udført eksperimenter indikeret af denne teori …..”.

Ampère perfektionerede sin teori på få måneder. Han fortsatte med detaljer i de næste år og i 1827 fremkom hans berømte arbejde ’Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'experience’, hvor han beskrev sine forsøg. Grundlaget var fire forsøg: 1. To ens strømme ved siden af hinanden og i modsatte retninger har ingen virkning på en magnetnål. 2. Ingen virkning ses, hvis den ene ledning er bøjet eller krummet i snoninger. 3. En leder, der kun kan bevæges i længderetningen og som bærer en strøm, der går ind og ud ved fikserede punkter i rummet, afficeres ikke af en lukket strøm i nærheden. 4. Det sidste eksperiment benytter tre cirkulære strømme med radierne R_1, R_2 og R_3. Disse koplanare cirkler har centrene O_1, O_2 og O_3 på en lige linje og radierne er sådan at $R_1/R_2 = R_2/R_3$ og tillige lig med ratio mellem afstandene O_1O_2 og O_2O_3. Den samme strøm går i urets retning gennem de tre cirkler eller i urets retning i de to ydre cirkler og modsat uret i den midterste. Her vil den midterste cirkel være i mekanisk ligevægt, når de to yderste cirkler er fikserede.



Ud fra disse fire forsøg udledte Ampère en lov om kraften mellem to strømførende kredsløb. Han angav et ret komplekst udtryk for denne kraft, men herved kunne han forklare alle sine observationer. Han påviste, at en magnet var ækvivalent i sin magnetiske virkning med cylindrisk spole af strømførende ledninger. Han forklarede jerns magnetisme med at hvert molekyle indeholder et permanent lukket kredsløb. Magnetisering var en orientering af alle molekyler under indflydelse af et ydre felt. Ampères redegørelse ligger nær op ad en nutidig forklaring.

I 'A Treatise on Electricity and Magnetism' (1873) siger Maxwell: "Den eksperimentelle undersøgelse ved hvilken Ampère udledte lovene om den mekaniske virkning mellem elektriske strømme er en af de mest brillante præstationer i videnskaben ….". Maxwell betegnede Ampère som 'Newton of electricity'.

Ampères videnskabelige arbejde falder i øvrigt i fire perioder. Den første var helliget matematik. I den anden periode koncentrerede han sig om kemi. Avogadros lov, fremsat som en hypotese af den italienske fysiker Amedeo Avogadro (1776-1856) i 1811, siger at lige store rumfang af forskellige gasser ved samme temperatur og tryk indeholder det samme antal molekyler. Det er her værd at bemærke, at Ampère, uafhængigt af Avogadro, i 1814 fremsatte samme hypotese. Den blev dog først mere universelt anerkendt i 1858, da den italienske kemiker Stanislao Cannizzaro (1826-1910) påviste dens betydning for en systematisk bestemmelse af atom- og molekylvægte. Loven indebærer, at middelafstanden mellem to molekyler i en gas er uafhængig af molekylernes størrelse og art. Dette er dog kun korrekt for såkaldte idealgasser. Ampères tredje periode fra 1820 til 1827 var, som ovenfor nævnt, koncentreret om studier i elektromagnetisme og i den fjerde periode studerede han især filosofi og klassifikation af videnskab.

Som barn gik Ampère aldrig i skole, men han viste tidligt en meget høj intelligens og hukommelse. Han erhvervede stor viden gennem læsning og studier. Han kunne citere lange artikler, som han havde læst tidligere. Allerede som barn lærte han sig latin i løbet af få uger. Hans far var en driftig handelsmand i en lille by nær Lyon i

Frankrig. Det gik ham meget nær, da faren blev henrettet under den franske revolution. Som voksen var Ampère den distræte professor og han led af svære depressioner, men hans dybe religiøse tro og nære venner i Lyon hjalp ham over de depressive perioder. I begyndelsen arbejdede Ampère som skolelærer, men han blev ret hurtig berømt og i 1808 blev han som 33-årig inspektør. Det indebar inspektion af en lang række skoler samt administrative opgaver. I 1814 blev han medlem af det franske Académie og successivt professor i matematik (1809-1819), i filosofi fra 1819, i astronomi i 1820 og i fysik fra 1824 til sin død. Hans viden var formidabel, - han var en polyhistor.

Ampères distraktion, klodsethed og stadige økonomiske problemer var velkendte i samtiden. Ved en forelæsning brugte han først sit lommetørklæde til at viske ud på tavlen og umiddelbart derefter til at tørre sig i ansigtet. Han traf sin første hustru helt tilfældigt en dag, hvor han var ude for at samle planter til botaniske studier. En flok piger var ude samme dag og han faldt øjeblikkelig for en af dem. Ægteskabet var lykkeligt, men hustruen døde allerede i 1803. I 1806 giftede han sig igen, men dette ægteskab blev en fiasko.

Den tyske fysiker **Georg Simon Ohm** fødtes i 1789 i byen Erlangen i Bayern, Han var den ældste søn af Johann Wolfgang Ohm og Maria Elisabeth Beck Ohm. Af hans forældres syv børn overlevede kun tre (herunder Ohm) til voksenalder.

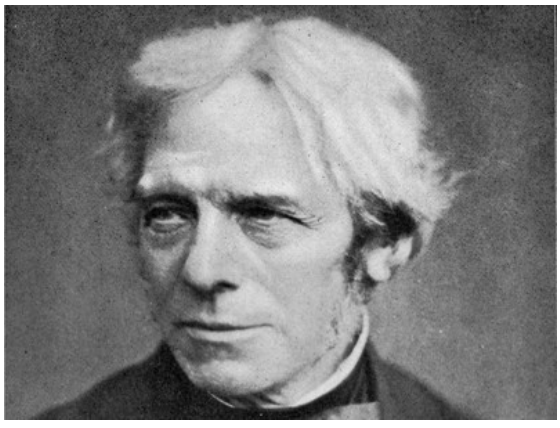


Johann Ohm var låsesmed og udøvede en betydelig indflydelse på sin søn. Han var en selvlært mand, der oplærte sine børn i matematik, fysik, kemi og filosofi. Ohm var en stor del af sit liv matematik- og fysiklærer ved forskellige skoler, således fra 1817 ved et gymnasium i Köln. Her begyndte han i 1825 en systematisk eksperimentel undersøgelse af styrken af elektromagnetiske kræfter fra strømførende ledere. Som spændingskilde brugte han i begyndelsen den under Volta beskrevne Volta-søjle, men hans resultater påvirkedes på uheldig måde af dennes indre modstand og af at dens spænding ændrede sig, når strømmen blev tilsluttet. Senere benyttede han et termoelektrisk element, hvis egenskaber lettere kunne kontrolleres. I 1827 offentliggjorde han en bog, hvori han sammenfattede sine mange eksperimentelle resultater i en matematisk teori, hvor begreberne elektrisk spænding, strøm og modstand såvel som sammenhængen mellem dem (Ohms lov) for første gang blev klart udtrykt. Ohms arbejde vandt kun langsomt anerkendelse, og først i 1852 blev han udnævnt til professor i fysik ved universitetet i München. Han døde i 1864. Ohms lov er en fysisk lov, som forbinder den elektriske strøm I gennem et lederstykke med spændingen V over det. Skrevet som formel er loven $V = R \times I$, hvor R er lederstykkets modstand, der i SI-systemet måles i ohm (Ω). Ohms lov er ikke nogen egentlig naturlov, men udtrykker en egenskab ved mange materialer. Ved en fastholdt normal temperatur gælder den med stor nøjagtighed for metalliske ledere.

Ampéres opdagelser var, som antydet ovenfor, velbeskrevet i matematisk form og kan opfattes som en fuldstændiggørelse af Newtons fysik. Det drejede sig grundlæggende om at finde love for kraften mellem to elementer af strøm eller to punktformede ladninger i bevægelse. Mange andre af tidens fysikere arbejdede på disse problemer som f.eks. Franz Neumann (1798-1895), Wilhelm Weber (1804-1891) og Ludwig Lorenz (1829-1891). Den tyske fysiker Wilhelm Weber anvendte sammen med den berømte matematiker Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855) i 1833 den elektromagnetiske telegraf til kommunikation over en afstand på en kilometer. En af de tidligste elektromagnetiske telegrafer var dog konstrueret af den russiske diplomat Pavel Schilling (ca. 1780-1836) i 1832. Bemærk også Joseph Henry (nedenfor).

De næste store fremskridt skyldes først og fremmest Faraday og senere Maxwell som fuldendere af den klassiske elektricitetslære. Mange elektriske installationer som elektromotorer og generatorer kræver elektricitet, der virker over afstand. Her var forestillingen om et bærermedium, en såkaldt æter, et vigtigt element indtil Einsteins specielle relativitetsteori i 1905.

Michael Faraday fødtes i 1791 i en landsby nær London. Han kom fra en jævn familie, der var ret fattige. Faren var smed og Michael fik en middelmådig skolegang. Som 13-årig blev han sat i lære hos en bogbinder. Her benyttede han lejligheden til også at læse bøgerne. Det foranledigede en af kunderne til at give ham billetter til den berømte kemiker Sir Humphy Davys forelæsninger i 1812. Davy havde ved elektrolyse påvist metallerne natrium, kalium, kalcium, magnesium, barium, strontium og, som nævnt ovenfor, aluminium. I samarbejde med den franske fysiker og kemiker Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) studerede han det nye grundstof jod. Berømt var også hans sikkerhedslampe til minearbejdere. Davy var direktør for Royal Institution i London. Faraday må have gjort et godt indtryk for snart fik han sin gang i Royal Institution. I 1813 begav Davy sig med sin hustru på en tur til kontinentet og de tog Faraday med som sekretær. Rejsen kom til at vare i 18 måneder og viste sig vigtig for Faradays videre uddannelse. Han fik lejlighed til at møde berømte forskere som f.eks. Volta, og Ampére.



Faradays videnskabelige aktivitet var omfattende. Efter sin tilbagekomst fra rejsen brugte han de første år på kemisk analyse. Som ansat underordnet i Royal Institution

måtte han tillige assistere Davy. Hans første publikation, inspireret af Davy, fremkom i 1816 og omhandlede kaustisk kalk ($Ca(OH)_2$), et ætsende stof, der produceres ved opvarmning af kalksten, som han havde indsamlet i Toscana.

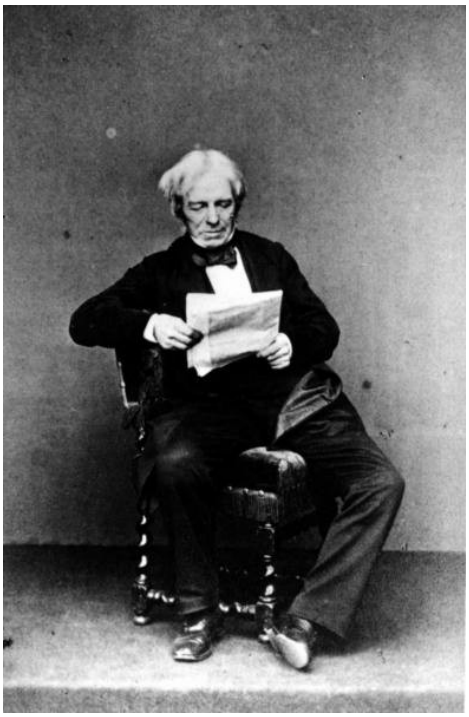
Indtil 1830 var Faraday overvejende kemiker. Dog med undtagelse af en kort periode i 1821 efter Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen. Han var en dygtig kemisk analytiker og nåede betydelig anerkendelse. Det omfattede syntese af nye kulstofforbindelser som hexaklorethan. Tillige studerede han den gas, der brugtes til belysning i London. Denne gas produceredes ved opvarmning af animalsk olie og opbevaredes i cylindre, hvor den udskiltes som væske. Faraday analyserede denne væske og fandt at hovedsammensætningen var kulstof og brint (CH) og at kogepunktet var 80°C. Det han havde fundet var benzen, hvis formel først blev opklaret senere. Ved hjælp af et simpelt bøjet glasrør lykkedes det ham ved afkøling at omdanne flere typer gas, f.eks. klor og ammoniak, til væske, men det lykkedes ikke for andre gasser som ilt og kvælstof, som han derfor betegnede 'permanente gasser'.

I samarbejde med en medarbejder ved Royal Institution, James Stodart, søgte han i 1819 at producere forbedret stål, der skulle være mere resistent for rust og kunne danne skarpere knive. Det bedste stål blev på den tid produceret i Indien. Faraday og Stodart forsøgte forskellige legeringer af jern med f.eks. sølv og krom.

Faraday kan beskrives som en kemisk og teknologisk genial forsker. Han samlede erfaringerne i en stor bog med titlen Chemical Manipulation, der publiceredes i 1827. Det er den eneste egentlige bog, som Faraday skrev. Fremstillingen er levende og velskrevet og ledsaget af hans egne tegninger. Den giver et førstehånds indtryk af hans arbejde i laboratoriet, som på den tid var uden forsyning af elektricitet og gas. Al hans virksomhed foregik i Royal Institution. Årene fra 1830 til 1839 var kulminationen af Faradays forskning, hvor han var den vigtigste bidrager til udviklingen af moderne kemi.

Med hensyn til elektricitet var han, som antydet, i første omgang kortvarigt aktiv i 1821 efter Ørsteds opdagelse. Han lagde vægt på, at den magnetiske virkning var i

en ret vinkel (90 grader) i forhold til retningen af den elektriske strøm. Han konstruerede en elektrisk motor, som viste rotation af en ledning i et konstant magnetfelt.



Faraday blev overbevist om, at forståelsen af forholdet mellem elektricitet og magnetisme måtte udvides. Hvis en elektrisk strøm kunne danne et magnetfelt, måtte et magnetfelt også kunne danne en elektrisk strøm. Andre, bl.a. Ampére, havde haft lignende ideer. Faraday udførte talrige forsøg i omkring ti år for at påvise denne effekt, men forgæves. I 1831 lod han en jernring omvikle med snoninger af to stykker kobbertråd. Han ledte en elektrisk strøm gennem den ene tråd og forbandt den anden med et galvanometer, der skulle slå ud, ikke i den stationære tilstand, men kun ved afbrydelse af strømmen i den anden tråd. Han havde med dette forsøg påvist elektromagnetisk induktion og forstod nu, at for at udløse en elektrisk strøm, måtte en leder skære de magnetiske kraftlinjer, dvs. princippet i en dynamo. En epokegørende opdagelse, der lagde grunden til en fremtidig elektrisk industri. Billedet nedenfor viser en af Faradays originale jernringe omviklet med kobbertråd (Foto: Royal Institution).



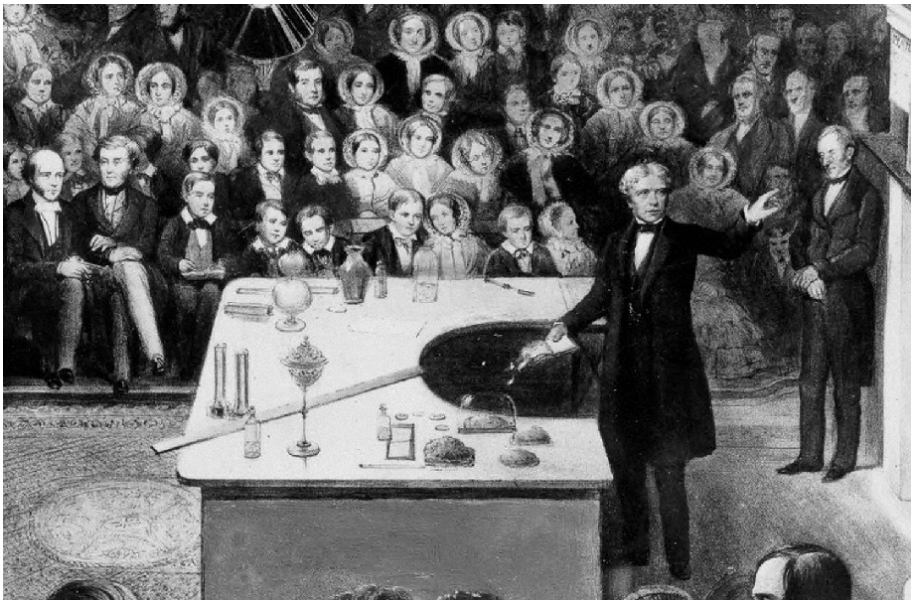
Forståelsen af Elektricitet var dermed blevet klargjort. En elektrisk strøm kan frembringes ved elektrostatiske maskiner, ved en Volta-søjle (et batteri) og ved induktion, men er den elektriske strøm den samme frembragt med de forskellige metoder? Dette problem optog både Faraday og andre. At strømmen var den samme i alle tilfælde syntes mest sandsynlig. Faraday angav metoder til at måle mængden af elektricitet med et såkaldt ballistisk galvanometer, dvs. måling af elektrisk ladning bestemt ved energiindholdet i kortvarige og små elektriske udladninger, og et voltameter, der ikke bør forveksles med et voltmeter. Et voltameter er en elektrolytisk celle. Måling foretages ved at veje det stof, f.eks. sølv eller kobber, der deponeres eller frigøres ved katoden i en afmålt tid. Faraday konkluderede, at såvel den kemiske som den magnetiske kraft står i et direkte forhold til den mængde elektricitet, der passerer. Yderligere studier førte til de såkaldte 'Faradays love', hvoraf den vigtigste er, at elektrokemiske ækvivalenter er sammenfaldende og det samme som sædvanlige kemiske ækvivalenter. Det førte til den konklusion, at alle bærere af elektricitet har den samme ladning og masser proportionale med atomvægten divideret med valensen. Faradays samarbejde med filosoffen William Whewell (1794-1866) førte til nye, nu dagligdags, ord og begreber som anode, katode, elektrolyse, ion osv.

Faraday havde betænkelighed med hensyn til forklaringen på sine opdagelser. Egentlig brød han sig ikke om virkning på afstand som f.eks. magnetisme. På den anden side havde han set kraftlinjerne illustreret ved mønstret af jernspåner nær en magnet. Han så her kurvede linjer, som for ham var et bevis på, at effekten ikke altid

breder retlinjet. I 1835 påviste han med en demonstration med en stor, ledende terning, at elektriciteten kun er på overfladen af en leder. En elektrisk ladning på terningen havde ingen virkning på terningens inderside. Han spekulerede også over arten af isolatorer mellem elektrisk opladede objekter. Han kunne påvise, at ledende koncentriske kugler havde forskellig kapacitet afhængig af isolatoren mellem dem. Han tilskrev isolatoren en specifik, induktiv kraft. Faraday havde metafysiske ideer om, at forskellige 'naturkræfter' så som lys, gravitation, elektricitet, magnetisme mv. kunne påvirke hverandre. Han talte om 'kræfternes enhed'. Han undersøgte, om han kunne ændre polarisationen af polariseret lys ved at lade det passere gennem et stykke glas eller krystal, der var udsat for et elektrisk felt, men resultatet var negativt. I 1845 fik han et positivt resultat. Lineært polariseret lys passeredes gennem et specielt tungt glas. Lyset blev udsat for et magnetfelt med kraftlinjerne parallelt med dette med det resultat, at polarisationsplanet ændrede sig. Det udløste en række yderligere forsøg med hensyn til 'naturkræfterne'. Ved forsøg med forskellige materialer i et magnetfelt opdagede Faraday fænomenet diamagnetisme, der optræder i alle stoffer, som udsættes for et magnetfelt. Diamagnetismen gør, at der opstår et modsat rettet magnetfelt internt i materialet, hvorved magnetfeltet i materialet bliver mindre, end det ville have været uden materialet. Dvs. materialet 'modvirker' magnetfeltet. Vi ved i nutiden, at diamagnetisme skyldes de elektroner, som bevæger sig i orbitaler ('kredse') omkring materialets atomer. Når disse udsættes for et magnetfelt, påvirkes de af en kraft (såkaldt Lorenz-kraft), der drejer orbitalerne, så elektronernes bevægelse danner et magnetfelt, der er modsat rettet det påtrykte. I øvrigt viser notater fra Faraday, at han havde indsigt i lysets elektromagnetiske natur. I 1852 publicerede Faraday en sidste serie af sine Experimental Researches in Electricity.

Omkring 1860 indeholdt Faradays notater med hensyn til hans forskning omkring 16.000 numre i nydelige bind, der viser ham som den professionelle bogbinder. Det mest berømte er naturligvis Experimental Researches in Electricity. Men en lang række forskellige projekter, hvoraf de vigtigste er beskrevet ovenfor, viser hans alsidighed.

Trods økonomiske problemer sørgede Davy for at udpege Faraday til direktør i 1825. Kort tid senere påbegyndtes de berømte fredagsforelæsninger. Faraday gjorde meget ud af at forberede disse lektioner og skønt billetterne til Royal Institution var ret kostbare, var der altid fuldt til sidste plads, når Faraday forelæste. Om Julen arrangerede han særlige lektioner for børn.



Allerede i 1824 var Faraday blevet valgt som Fellow of the Royal Society. Men Davy havde modsat sig valget, måske som udtryk for jalousi. I 1833 blev Faraday professor i kemi ved Royal Institution, hvilket øgede hans indtægt betragteligt. Han modtog også, efter nogle problemer, en pension fra Englands premierminister. Bl.a. på grund af sin alt opslugende interesse for eksperimentel forskning afslog han mange hædersbevisninger og offentlige hverv.

I 1836 blev Faraday medlem af the Senate of the University of London og videnskabelig rådgiver for Trinity House. Det sidste embede gav anledning til meget eksperimentelt arbejde i laboratoriet samt i forbindelse med fyrtårne og udstyr til navigation. Han nød arbejdet og bestred embedet i tredive år.

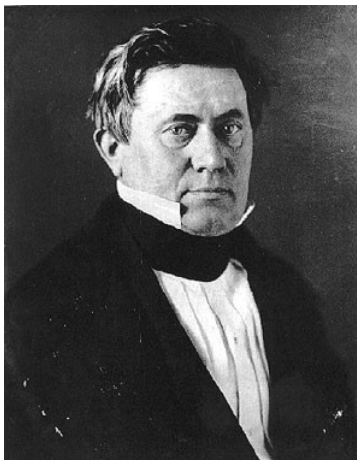
I årene 1839-1844 havde han et nervesammenbrud med hukommelsestab og svær hovedpine. Han tilbragte en lang ferie i Schweiz, hvor han nød plante- og dyrelivet og hans tilstand langsomt bedredes. I 1845 var han fuldt restitueret.

Efter 1850 aftog Faradays aktivitet. Han søgte at finde en interaktion mellem elektricitet og gravitation, men forgæves. Han søgte også at hjælpe med hensyn til samfundsproblemer som luftforureningen i London. I sine sidste år var Faraday uarbejdsdygtig på grund af progressivt hukommelsestab. I 1865 trak han sig tilbage som professor ved Royal Institution. Han døde i 1867 i en alder af 76 år.

Faraday var dybt religiøs og tilhørte en sekt: Sandermanian Church. Her var han trofast hele livet og var i mange år sektens leder. Mange af hans venner tilhørte sekten. Faraday havde et lykkeligt, men barnløst, ægteskab med sin hustru Sarah. De boede i Royal Institution.ind til 1858, hvor Dronning Victoria stillede et af sine huse til rådighed for dem.

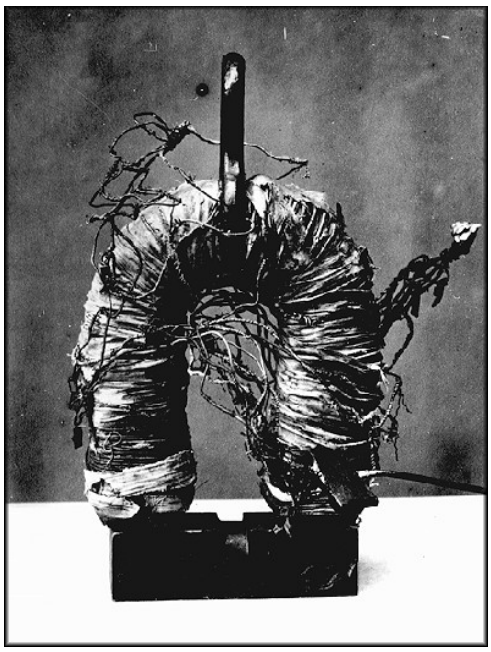
Joseph Henry var en amerikansk forsker i elektricitet, der blev en vigtig inspirator for opfindere. Han fødtes i Albany, New York i 1799. Han begyndte som urmager og sølvsmed, men blev derefter fra 1819 til 1822 uddannet ved Albany Academy (nu Princeton University). Han ville oprindelig være læge, men i 1824 ansattes han som assisterende ingeniør på et team for en tre hundrede miles lang statsvej mellem Hudson River og Lake Erie. Dette ændrede hans karriere, idet han nu ville studere ingeniørvidenskab i stedet for medicin.

Joseph Henrys første opdagelse var, at styrken af en magnet kunne forstærkes ved at omvikle den med en isoleret ledning. Han fremstillede derved en magnet, som kunne løfte en vægt på omkring et ton. Henry påviste forskellen mellem 'kvantitet' af mag-



neter sammensat med korte ledningsstykker parallelt og med strøm fra få store batterier og 'intensitet' af magneter omviklet med en enkelt lang ledning med strøm fra batterier i serie. Det var en betydningsfuld iagttagelse, der øgede nytten ved anvendelse af magneter.

Forskere som de engelske fysikere Faraday og William Sturgeon (1783-1850) forstod hurtigt værdien af Henrys opdagelser. Sturgeon udtalte: "Professor Joseph Henry har kunnet danne en magnetisk kraft, som totalt overstiger enhver anden i hele udviklingen af magnetisme."

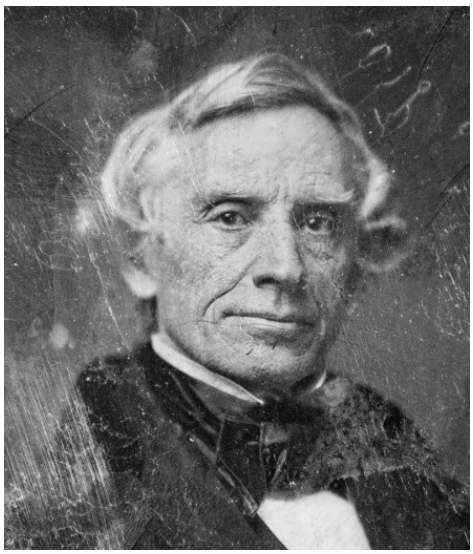


Joseph Henry opdagede fænomenet selvinduktion og gensidig induktion. I hans eksperiment inducerede en strøm gennem en spole på anden etage i en bygning en strøm i en lignende spole i kælderen to etager længere nede. Måleenheden for selvinduktion i SI-systemet (Systeme Internationals d´Unités etableret i 1960 af Meterkonventionens generalkonference CGPM) er opkaldt efter Henry. En spole har en selvinduktion på 1 Henry, hvis der induceres en spændig på en Volt, når strømmen ændres med en Ampere per sekund. SI enheden for magnetisk flux er Weber. Sammenhængen mellem enhederne Henry og Weber er 1H = 1Wb/A. Når 2 spoler er viklet om en jernkerne, vil en ændring af strømmen i den ene spole give en spænding i den anden. Dette fænomen betegnes gensidig induktion.

Telegrafen (græsk: *tele*, fjern; *grapho,* skrive) var en tidlig opfindelse, der sendte budskaber over afstand fra sted til sted med elektriske signaler ved hjælp af ledninger. At sende signaler ved elektricitet var forsøgt flere gange før Joseph Henry blev interesseret i problemet. En ikke-elektrisk telegraf med et flagbaseret alfabet blev opfundet af den franske ingeniør Claude Chappe (1763-1805) i 1794. I 1809 blev en primitiv telegraf opfundet af den tyske videnskabsmand Samuel Thomas von Sömmering (1755-1830). Han brugte 35 ledninger med guldelektroder i vand og på modtagelsen 2000 fod (610 meter) borte blev budskabet aflæst ved mængden af gas dannet ved elektrolyse. Den første telegraf i USA blev opfundet i 1828 af kemikeren Harrison Gray Dyar (1805-1875), som sendte elektriske gnister gennem en kemisk behandlet papirstrimmel med brænding af prikker og streger. William Sturgeons opfindelse af elektromagneten i 1825 opmuntrede forskere i England til at eksperimentere med elektromagneter, men disse forsøg førte ikke til noget, idet den dannede strøm døde hen efter få hundrede fod.

I 1830 demonstrerede Joseph Henry muligheden for kommunikation over længere afstande ved anvendelse af den af Sturgeon opfundne elektromagnet, idet han sendte en elektrisk strøm gennem en 1 mile (1,6 kilometer) lang ledning for at aktivere en elektromagnet, der fik en klokke til at ringe. Efter samme elektromagnetiske princip patenterede de engelske fysikere William Fothergill Cooke (1806-1879) og Charles Wheatstone (1802-1875) i 1837 Cooke og Wheatstone telegrafen. Den tyske fysiker Wilhelm Webers forsøg med den elektromagnetiske telegraf i 1833 er nævnt ovenfor.

Det blev imidlertid den amerikaneren Samuel Morse (1791-1872), der opfandt det tidligere meget benyttede kommunikationssystem morsealfabetet. Morse konstruerede morsealfabetet mellem 1837 og 1843 til brug for den elektriske telegraf, som han fik et patent på i 1847. I Europa vedtoges det i 1851 at anvende Morses telegrafiudstyr som standard. Morse fik idéen til at konstruere en elektrisk telegraf på en rejse fra Europa til Amerika i 1832. Morses telegraf blev både en praktisk og en kommerciel succes. I Danmark blev Morse hædret som Ridder af Dannebrog i 1856.



Skønt Henry blev trukket ind i en kontrovers med Morse over anerkendelse for opfindelsen af telegrafen, benyttede han sin indflydelse til at beskytte Morses patent.

Joseph Henrys næste skridt var at konstruere en magnetisk maskine og en elektrisk motor, en forløber for den senere elektromotor. Den lavede ikke roterende bevægelser, men var kun en elektromagnet anbragt på en stang, der rokkede frem og tilbage lige som en klassisk dampskibsmotor, en såkaldt Walking Beam Engine, der giver fremdrift ved bevægelser frem og tilbage.

I 1839 blev Henry udnævnt til professor i naturfilosofi ved Princeton University. Der kunne han gentage sine tidligere forsøg i større skala. I 1838 havde den tyske fysiker Carl August von Steinheil (1801-1870) foreslået, at Jord i telegrafi kunne fungere som returleder i stedet for ledning, hvis terminalerne var nedgravet i Jorden. Det førte nye konstruktioner i telegrafiske modtagere. Henry bekræftede Steinheils forsøg, idet han viste hvordan en svag strøm ville blive forstærket og hvordan en lille magnet kunne bruges som strømkreds tilslutter og afbryder, - principper som senere blev benyttet i telegrafrelæer og dynamoer.

Joseph Henry skabte meteorologi som videnskab og fremstillede det første vejrkort. Han baserede sine forudsigelser af vejret på kundskab snarere end på tilfældige tegn. Han forbedrede maritime lys- og tågesignaler.

Joseph Henry var rådgiver for Alexander Graham Bell (1847-1922), da Bell fik ideen om, at elektriske ledninger kunne overføre den menneskelige stemme. Telefonen blev dog ikke opfundet af Bell, men af italieneren Antonio Meucci (1808-1889) i 1860. Smithsonian Institution blev grundlagt i Washington i 1846 og her var Joseph Henry chief executive officer indtil sin død i 1878. Joseph Henry og hans hustru Harriet Henry fik tre døtre Mary, Helen Louisa og Caroline.

Det sidste store skridt mod den moderne opfattelse af elektromagnetismen skyldes den fremragende skotske fysiker James Clerk Maxwell (1831-1879).