

- [10] W. Kohn og L. J. Sham (1965) Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation, *Phys. Rev. A*, bind **140**, side 1133.
- [11] T. Ziegler (1991) Approximate Density Functional Theory as a Practical Tool in Molecular Energetics and Dynamics, *Chem. Rev.*, bind **91**, side 651.
- [12] J. A. Pople, W. G. Schneider og H. J. Bernstein (1959) High Resolution Nuclear Magnetic Resonance (McGraw-Hill).
- [13] C. Møller og M. S. Plesset (1934) Note on an Approximation Treatment for Many-Electron Systems, *Phys. Rev.*, bind **46**, side 618.



Aage E. Hansen er dr.scient. og docent ved Kemisk Institut, Københavns Universitet. Arbejder med teoretisk strukturkemi, og med teori og beregning af molekylers elektriske og magnetiske egenskaber.

Professor Richmanns sidste eksperiment – om lyn og torden

Henrik Leth



Lyn og torden er naturligvis velkendte fænomener, og allerede meget tidligt har man gerne ville give en forklaring på dem. Det har givet udslag i en mængde vejr- og krigsguder, f.eks. Zeus med tordenkilen hos de gamle grækere, Thor med hammer og gedebukke i den nordiske mytologi, og i Biblen siges det, at Gud kan styre vejret. Enkelte som f.eks. Sokrates (469-399 f.Kr.) havde indset, at det ikke var Zeus, der lavede lyn og torden, og han mente, at det måtte være hvirvelstrømme af luft. Der skulle dog gå lang tid, før der kom en mere videnskabelig undersøgelse, og det var først i 1700-tallet, at der virkelig begyndte at ske noget.

Franklins drage og professor Richmanns endeligt

Allerede i 1708 havde den engelske fysiker William Wall foreslået, at lyn skulle være tæt forbundet med den statiske elektricitet, man kendte til. Da Benjamin Franklin (1706-1790) i 1746 begyndte at eksperimentere med elektricitet, kom han hurtigt til at tænke i de samme baner. Franklin var især interesseret i at lave en lynafleder, da der skete en del skader på bl.a. almindelige bygninger, skibe og ammunitionsdepoter. I et godt stykke tid var der dog en del, der ikke ville beskytte sig på denne måde, idet de mente, at lynene var gudernes retfærdige straf. I maj 1752 lykkedes det franskmænden Thomas-François D'Alibair (1703-1779)

Figur 1. Et flot lynnedslag, hvor både hovednedslag og sidegrene er tydelige. Foto: Weatherstock, Warren Faidley, USA.

at vise, at lyn og elektricitet virkelig er det samme. Han "fangede" et lyn i en såkaldt Leidnerflaske, hvor man kan opbevare statisk elektricitet, og demonstrerede, at han kunne trække en gnist fra flasken på samme måde, som hvis han havde opladet den vha. et stykke rav og et katteskind. Da postgangen ikke var så regelmæssig den gang, hørte Franklin ikke om det vellykkede eksperiment før noget senere. Han gik derfor selv i gang med at bevise sammenhængen, og i juni 1752 lavede han sit berømte drage-eksperiment.



Figur 2. Professor Richmann møder sin skæbne, da et lyn slår ned i hans stang til at trække gnister. Fra [3].

Franklin sendte en drage op i tordenvejr og hængte en nøgle på linen. Da dragen var kommet lidt op, kunne han trække gnister fra nøglen til sine knoer pga. potentialforskellen mellem skyer og jord. Dette var igen bevis for, at tordenskyer indeholder elektricitet. Nogle mener, at Franklin lod enden af linen hænge ned i en spand med vand, der skulle udgøre jordforbindelse, men det er tvivlsomt, om Franklin ville være sluppet godt fra et lynnedslag i dragen.

I Sankt Petersborg eksperimenterede professor Richmann med elektricitet. Han havde sat en metalstang ned gennem taget på sit hus, så han kunne stå inden døre og trække gnister fra den. Til at trække gnisterne brugte han en lille, dårligt isoleret metalstang. I 1753 forsøgte Richmann under et tordenvejr at trække gnister, da lynet pludselig slog ned og dræbte ham (som afbildet i figur 2) – han eksperimenterede virkelig til det sidste.

Franklin skrev flere artikler om lynafledere, men han patenterede aldrig sin opfindelse, da han mente, at det

var en menneskeret at kunne beskytte sig mod lyn.

Hvor kommer lynene fra, og hvad er sanktelmsild?

For at producere de gigantiske, elektriske udladninger må skyerne først opbygge et overskud af positive eller negative ladninger. Dette klares af cumulonimbuskyerne (bedre kendt som tordenskyer). Disse skyer er normalt 10–12 km høje, og pga. temperaturfaldet op gennem atmosfæren vil de indeholde både regn, sne, hagl og små iskrystaller [1].

I skyerne findes også op- og faldvinde, der kaster rundt med regn og is. Man har ikke forstået processen til fulde, men når disse forskellige partikler grides mod hinanden, virker det på samme måde som ravet og katteskindet, så der opstår nogle områder med positiv og nogle med negativ ladning. Endvidere vil ladningerne blive delt på en meget karakteristisk måde: bunden af skyen vil være overvejende negativ med et lille positivt område, midten af skyen vil være stærkt negativ, og toppen af skyen vil være positiv, se figur 3. Samlet vil der være en overvægt af negative ladninger (anslået til mellem -20 C og -300 C), så ni ud af ti lyn er negative, mens et af ti er positivt. At skyerne har områder med både positive og negative ladninger, giver også mulighed for lyn mellem skyerne.

Når skyen glider over landskabet, vil den negative overvægt drive en del elektroner på jorden væk, så jorden vil være positivt ladet lige under skyen. Potentialforskellen vil komme op på 10–100 MV, og det elektriske felt vil være 10 kV/m mod de normale ca. 150 V/m. Med så store elektriske felter vil der forekomme ionisering ved spidse punkter som kirkespir, mastetoppe og selv græsstrå. Ioniseringen vil give anledning til et svagt, grønt lysskær, der kendes som sanktelmsild efter sømændenes skytshelgen, Sankt Elm (se figur 4).

Lynkanalen dannes

Der er dog ikke grund til at tro, at man er specielt beskyttet, når man ser sanktelmsild – snarere tværtimod. Når potentialforskellen er stor nok, kan den lynskabende proces gå i gang (her beskrevet for et negativt lyn, der går fra sky til jord).

Elektronerne i bunden af skyerne vil blive accelereret ned mod jorden, og de første vil løbe ca. 50 m, før de stopper op et øjeblik. De vil dog hurtigt fortsætte endnu 50 m før en lille pause, og sådan går det hele vejen ned mod jorden. På vejen nedad vil elektronerne hele tiden søge i den retning, der tilbyder den mindste, elektriske modstand, afhængig af luftens fugtighed og ioniseringsgrad. Nogle gange vil flere retninger forekomme lige gode, så elektronvejen deles. Denne process er vist i figur 5.

Hver af vejene vil søge nedad mod jorden, og når en af dem er omkring 100 m over landskabet, vil der udgå de såkaldte streamers fra høje objekter. Disse streamers består af positive partikler og stiger op mod elektronerne. Når elektronerne fra skyen møder en streamer,

vil der skabes forbindelse mellem sky og jord, og lynkanalen er hermed dannet.

Torden og lynild

Så begynder det at gå stærkt! Elektronerne tættest på jorden bliver nærmest suget ud, og dem lidt længere oppe i kanalen følger hurtigt efter. På denne måde tømmes hele lynkanalen og noget af skyens overskud af elektroner. Når dette sker, vil elektronerne opnå en meget høj hastighed, og luften vil blive meget varm (bliver til såkaldt plasma). Dette giver et kraftigt lysglimt, og fordi det er de nederste elektroner, der suges ud og lyser op først, vil lynet se ud som gående fra jorden og op til skyen.



Figur 3. Tordensky over landskab. De elektriske ladninger i skyerne fordeler sig, så der er flest positive i toppen og flest negative i bunden. Foto: Weatherstock, Warren Faidley, USA.

Når luften opvarmes så hurtigt, vil den også udvide sig voldsomt, hvilket skaber chokbølger. Når disse chokbølger møder den kolde luft, vil de henfalde til lydbølger, der høres som torden. Da lydets hastighed er omkring 340 m/s i luft ved havoverfladen, kan vi beregne et lynnedslags afstand ved at tælle sekunder, fra vi ser lysglimtet, til vi hører det første skarpe tordenkald. For hver tre sekunder er lynnedslaget 1 km væk.

Den rumlen, vi hører i et tordenskrald, skyldes, at lydbølgerne fra hele lynkanalen bliver reflekteret både mod skyerne og mod jorden. Hvis braget er kraftigt nok, vil man kunne høre en langstrakt rumlen helt op til 25 km væk.

Lidt statiske oplysninger

Man har på forskellig måde målt en del af lynets egenskaber, og det er en imponerende liste. Hastigheden af elektronerne, når de forsøger at skabe kontakt fra skyen til jorden, er 400 km/s. Dette lyder af en del, men når elektronerne bliver suget ud af lynkanalen, kommer hastigheden op på 100.000 til 150.000 km/s eller en tredjedel til halvdelen af lysets hastighed!



Figur 4. Sanktelmsild på et skib. Sanktelmsilden ses om natten som et svagt, grønt skær ved spidse objekter, når det elektriske felt er meget stort. Fra Ellinger (1987) "Naturen og dens Kræfter".

Længden af et lyn vil normalt ligge mellem 300 m og 3 km, men radarmålinger har vist et sky-til-sky lyn på 150 km. Diameteren af hovednedslaget er typisk 2-5 cm, men man har målt op til 15 cm.

Når et lyn slår ned, overføres der en ladning på omkring -25 C , men man har målt op til $\pm 200\text{ C}$. Varigheden af et nedslag varierer en del; man har målt fra $50\text{ }\mu\text{s}$ til 10 ms. Den typiske strøm og spænding ligger omkring 30.000 A og 125 MV. Man har dog målt op til 345.000 A – til sammenligning løber der omkring 0,4 A og 230 V i en 100 W pære.

Denne høje strøm og spænding giver et lyn en top-effekt på 3.750 GW. Der går godt 75% af energien til varme, så luften bliver mellem 15.000 og 30.000°C varm – dette svarer til tre til seks gange temperaturen på Solens overflade. Den samlede energi, der overføres mens lynet slår ned, er 250 kWh eller 900 MJ. Med denne energi kan man få en 60 W pære til at lyse uafbrudt i næsten et halvt år eller løfte en elefant på 5 t mere end 18 km op i luften!

Hvor længe går der da, før en sky kan aflevere så store mængder energi igen? Det har vist sig, at mekanismen, der deler ladningerne i en tordensky, er så effektiv, at skyen er genopladet efter kun ca. 5 s. Det skal dog bemærkes, at skyerne ikke nødvendigvis lyner hvert femte sekund. Hvis der f.eks. er en lille afstand

mellem sky og jord, vil der ikke blive opbygget så meget ladning, og lynet vil komme hurtigt og være svagt. Hvis afstanden derimod er stor, vil der gå længere tid, og lynet vil være kraftigere.

Kornmod og kuglelyn

Der findes flere ledsagefænomener til lyn og torden, og et par af dem skal da nævnes her. Kornmod er, når man ser nogle skyer langt væk oplyst af lyn, uden at man kan høre torden. Det sker som regel i sensommeren (deraf navnet kornmod), hvor nogle tordenskyer hænger i horisonten og bliver oplyst, uden at man kan se selve lynene.

Kuglelyn er et lidt mere dramatisk fænomen, der især kendes fra Tintin: "De syv Krystalkugler." Man ved ikke så meget om det, og det er vist aldrig lykkedes at tage et ordentligt billede af det. Der er dog ingen tvivl om, at kuglelyn rent faktisk eksisterer.

Et kuglelyn er en lille kugle med diameter på godt 25 cm, der lyser med en effekt som en 40 W pære. Det svæver rundt med 10 km/t i ca. 1 m højde og kan bevæge sig gennem vinduer og vægge. Det kan dog også kastes tilbage fra både vinduer og vægge. Man har i laboratorier skabt små kuglelyn, og der findes en del teorier (alle utilstrækkelige) for, hvordan de opstår.

En tredjedel af de observerede kuglelyn er endt i en eksplosion, resten er forsvundet uden spor. Hvis de eksploderer, kan de være ganske farlige. Der er bl.a. rapporteret et badekar med vand, der begyndte at koge og en bil, der fik ødelagt lakken.

Hvis man ser et kuglelyn skal man nok flytte sig i en fart, men tag lige et fotografi først! Alle observationer af kuglelyn skal desuden meldes til Dansk Meteorologisk Institut.

Forholdsregler

Hvis man rammes af et lyn, er der omkring 40% chance for at overleve, og hvert år dræbes der en til to af lyn i Danmark. Dette kan dog i flere tilfælde undgås, hvis man ved hvad man skal tage af forholdsregler, når der er tordenvejr.

Man skal under ingen omstændigheder gøre noget for at tiltrække sig et lynes opmærksomhed ved f.eks. at stå med en fiskestang af metal, bade (da vand leder strøm) eller flyve med drage. Metal er ikke så godt her, fordi det leder strøm meget bedre end de fleste andre ting. Hvis man befinder sig helt omsluttet af metal, er man dog sikret. Man siges at befinde sig i et Faraday-bur, opkaldt efter den engelske fysiker Michael Faraday (1791-1867). Et Faraday-bur kan f.eks. være en bil, et tog eller et metal-skib, og man er sikret, fordi det er så let for strømmen at løbe i overfladen og finde et sted at aflade, at der ikke er nogen grund til at løbe gennem passagererne.

Man skal holde sig fra træer. Det er typisk de største træer, der bliver ramt af lyn, fordi deres streamers når højest op. Der kan så ske det, at lynet løber ned langs stammen, så barken bliver kastet af og sårer én

grimt. Der kan også ske det, at lynet springer fra træet til én selv. Endelig kan strømmen løbe lidt rundt i jordoverfladen og derfor løbe gennem én. Der har i Utah været et eksempel, hvor jorden var meget dårligt ledende, og 500 får blev dræbt af et lyn.

Det burde ikke være så farligt at tale i telefon, da lynet typisk vil løbe hen til en fordele eller et måleskab. Hvis tordenvejret er lige over én, bør man dog afholde sig fra at bruge alle elektriske apparater, uanset om man har luftledninger eller nedgravede. Det er ufarligt at tale i mobiltelefon, så længe man ikke stiller sig et sted, hvor man er det højeste punkt i omegnen.

Liv og død

Hvis nogen er så uheldige at blive ramt af lynet, skal man ikke være bange for at røre dem, for strømmen forsvinder straks. Det er faktisk sandsynligt, at de har brug for hjælp, idet lynet kan lamme både hjerte og åndedræt. Man skal derfor skynde sig at undersøge, om én, der er ramt af lynet, har brug for kunstigt åndedræt eller hjertemassage.

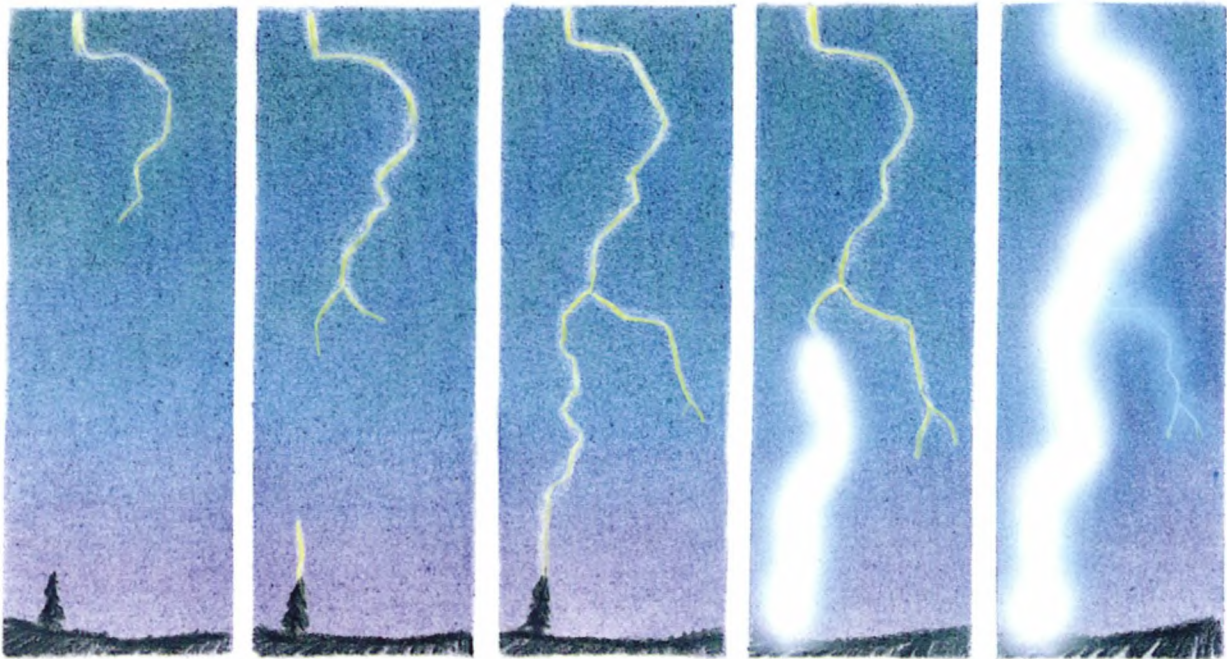
Der er dog begrundet mistanke om, at lyn også kan have været med til at skabe liv. I 1952 lykkedes det kemikeren Stanley Miller at simulere atmosfæren, som den så ud for længe siden før livets oprindelse. Når han lavede nogle elektriske udladninger, som skulle forestille lyn, begyndte organiske molekyler at samle sig til det, der kaldes aminosyrer. Man mener, at disse aminosyrer er grundlaget for liv, og de er i hvert fald vigtige for livet nu.

Referencer:

- [1] Lyn og torden hos NASA: <http://thunder.msfc.nasa.gov/>.
- [2] National Geographic, July 1993.
- [3] P. E. Viemeister (1972) "The Lightning Book", MIT Press.
- [4] Lidt om kuglelyn: <http://www.eskimo.com/~billb-/tesla/ballgtn.html>.



Henrik Leth er nyuddannet cand.scient. med hovedfag i fysik og speciale i eksperimentel atomfysik. Han har holdt foredrag om lyn og torden på Tycho Brahe Planetarium og er medforfatter af den populærvidenskabelige bog: "Lysfænomener i naturen".



Figur 5. Et lynnedslag i slowmotion. Elektronvejen er ca. $1/200$ s om at løbe fra sky til jord (de første tre billeder). Elektronerne er ca. $1/10.000$ s om at blive suget ud, når der er forbindelse (de sidste to billeder). Tegning: Claus Rye Nielsen.



Figur 6. Lynnedslag ved aftentide. Foto: Weatherstock, Warren Faidley, USA.