

## Nordlys i atmosfæren

av Ove Harang

Nordlysets årsak er behandlet i avsnittene foran. Vi skal her se litt på det som skjer i selve atmosfæren når det er nordlys.

Nordlyset er lys i atmosfæren som skyldes *nedbør* av energirike partikler — særlig elektroner, og de former og bevegelser vi ser i nordlyset skyldes variasjoner i denne nedbøren.

Når energirike elektroner nærmer seg jorden ovenfra, trenger de gjennom atmosfæren som stadig øker i tetthet. I 150-100 km's høyde blir atmosfærens tetthet så stor at elektronene begynner å kolliderer med atmosfærens atomer og molekyler. Disse kollisjonene vil gi atmosfærens atomer og molekyler energier som de kvitter seg med i form av lysutsendelse, og vi får lys — *nordlys*.

Disse kollisjonene vil innvirke på atmosfæren på flere måter, og vi skal ta opp dette i et senere avsnitt.

### *Spektralanalyse*

Lys er satt sammen av forskjellige farver. Lys som observers fra forskjellige stoffer, har forskjellig fordeling av farver.

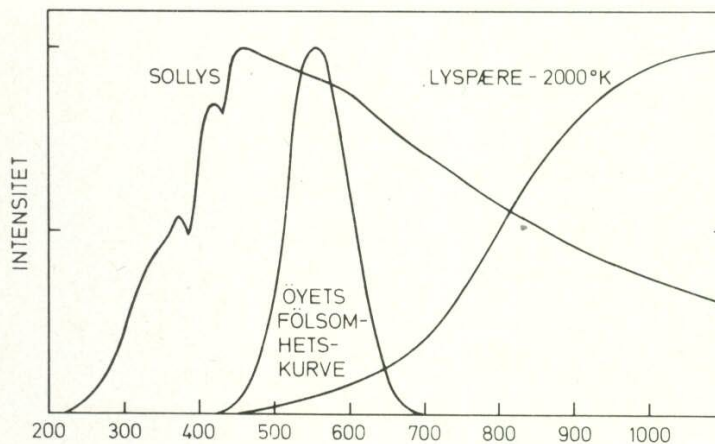
En annen måte å si dette på er at lyset er satt sammen av lys med forskjellige lysbølgelengder. En undersøkelse og presentasjon av lyset, fordelt på bølgelengder med forskjellig intensitet kalles spektralanalyse. Alle stoffer har sin karakteristiske spektralfordeling.

Lyset fra gassen i elektriske utladningsrør som lysstoffrør, reklamelys etc. har en spektralfordeling som består av en rekke skarpe linjer og bånd. Dette er de såkalte atomlinjer og molekylbånd. Disse linjers og bånds bølgelengder og intensiteter er karakteristiske for de atomer og molekyler gassen består av. Dette kan brukes til å bestemme gassens sammensetning og temperatur.

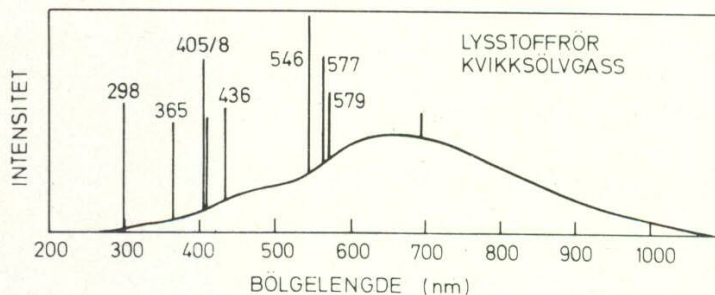
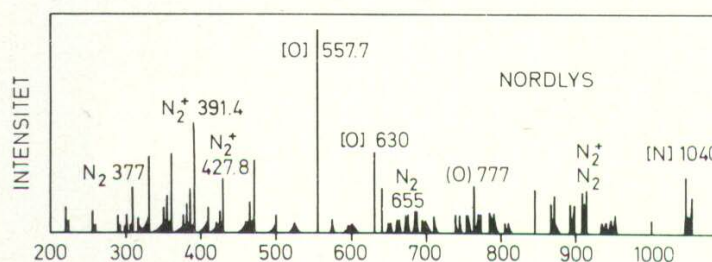
Studier av spektra fra grunnstoffene spilte en stor rolle i atomforskningens barndom i forrige århundre. Den første spektralanalyse av nordlys ble allerede utført av svensken Ångström for over hundre år siden. En sammenligning mellom spektra av nordlys og tilsvarende fra gassutladning i tynn luft målt i laboratoriene, viser store likhetspunkter. Man kunne på denne måten forklare hvorledes de fleste linjer og bånd i nordlyset kunne bli dannet, nemlig gjennom

Fig. 1

Spektralfordelingen av sollys og glødelampe sammenlignet med spektra fra nordlys og lysstoffrør. Plasseringen av øyets følsomhetskurve gjør at det er spesielt følsomt for den sterkeste nordlyslinjen på 577.7 nm. Bølgelengdene er her gitt i nanometer (nm) som er en milliontedels millimeter.



bombardement av atmosfæren med energirike elektroner. Men det var en rekke linjer og bånd i nordlyset som ikke kunne observeres i laboratoriene. Disse linjer og bånd representerte mesteparten av intensiteten av det synlige nordlys. Det var lenge en gåte for forskerne hvilket stoff som gav disse lysemi-sjonene.



Etter hvert som atomteorien ble mer etablert, og man fikk mere presise kunnskaper om atomenes oppbygning, kunne man fastslå at disse spektrallinjer kun fantes når gassene hadde en meget lav tetthet. De senere års forsøk har klart å produsere slike spektrallinjer i laboratoriene, men under meget vanskelige forhold.

Selv om de grunnleggende prinsipper for atomenes og molekylenes oppbygging er forholdsvis kjent, så består et atom eller molekyl av så mange elektroner at det er ugjørlig å beregne deres oppbygning og tilstander teoretisk. Dette fører til at vi må bruke laboratoriemålinger for å kunne si noe mer om atomenes eller molekylenes struktur. Når så en del av disse tilstandene ikke er tilgjengelig for måling i laboratoriene og man kan observere disse i nordlyset, er det naturlig å se på nordlyset som et stort *spektroskopisk* laboratorium. Så i stedet for å bygge et stort vakuumlaboratorium med elektronkanon, instrumenter for å lage magnetiske og elektriske felter, kan man ta med seg måleutstyr ut i polarnatten og observere laboratorieforsøk utført over seg og så registrere de fysiske prosesser fra bakken.

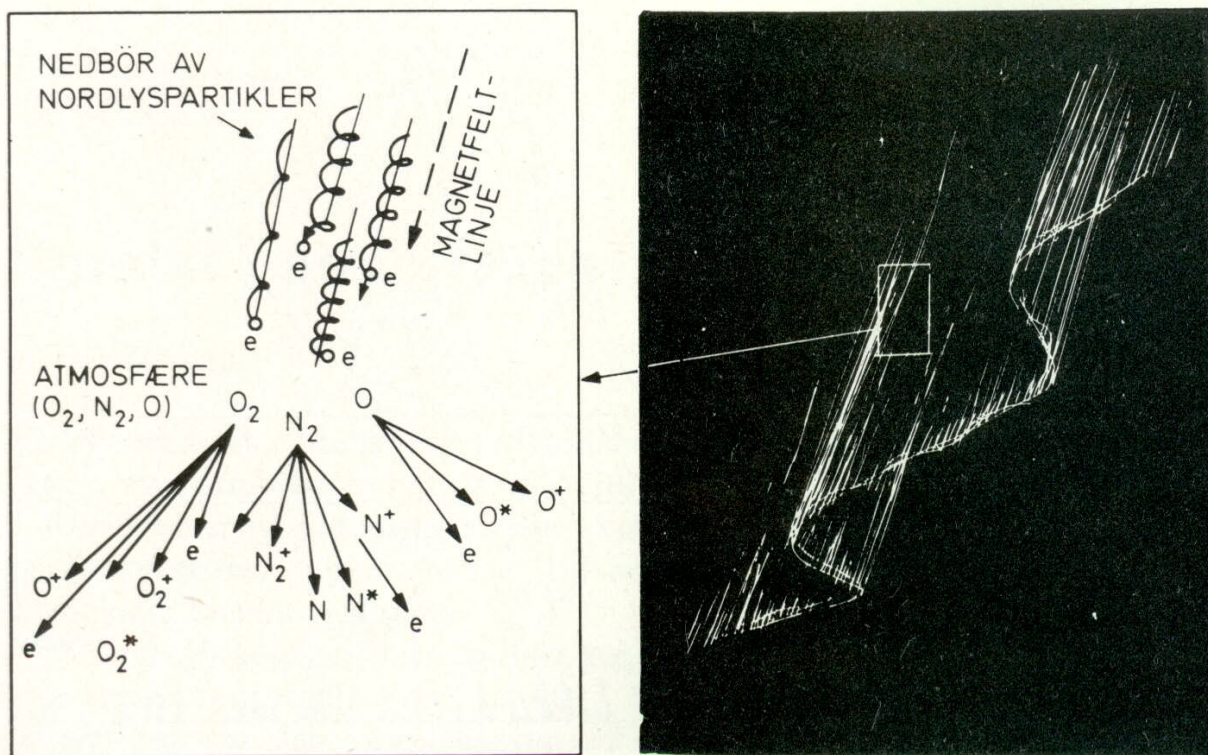


Fig. 2  
 Nordlyselektroner bombarderer atmosfæren som består av nitrogen ( $N_2$ ) og oksygen ( $O_2$  og  $O$ ), og det dannes frie elektroner ( $e$ ), ioner av nitrogen ( $N_2^+$ ,  $N^+$ ) og oksygen ( $O_2^+$ ,  $O^+$ ). I tillegg vil disse også kunne være tilført energier ( $*$ ).

### Et enkelt nordlysforsøk

Man kan ved hjelp av optiske instrumenter måle nordlysets lyssammensetning og intensitet i ulike høyder. Man kan også, ved hjelp av raketter og satellitter, måle sammensetningen av partikkelnedbøren samtidig som det gjøres observasjoner fra bakken.

Man har i laboratoriene laget elektronkollisjoner i gasser under lavt trykk og målt på lysintensitetene slike kollisjoner gir. Ved å ta måledata fra laboratoriene, partikkeldata fra satellitter og data fra atmosfæremodeller, kan man beregne teoretiske nordlysp profiler. En del av disse profilene kan gjenfinnes i lyskurvene som måles i nordlyset.

Fig. 3 viser et eksempel på en slik prosedyre hvor man sammenligner nordlysmålingene med teoretiske profiler basert på laboratedata.

Det vil være avvik. En del kan skyldes måleusikkerhet, men noe av avviket skyldes også at modellen ikke er fullstendig. Dette gir forskerne grunn til å forbedre modellene samt lete etter nye prosesser.

### Atmosfæriske prosesser i nordlyset

Som nevnt foran skyldes nordlyset lys fra atmosfæren forårsaket av at energirike elektroner kolliderer med atmosfærens atomer og molekyler. De energi-

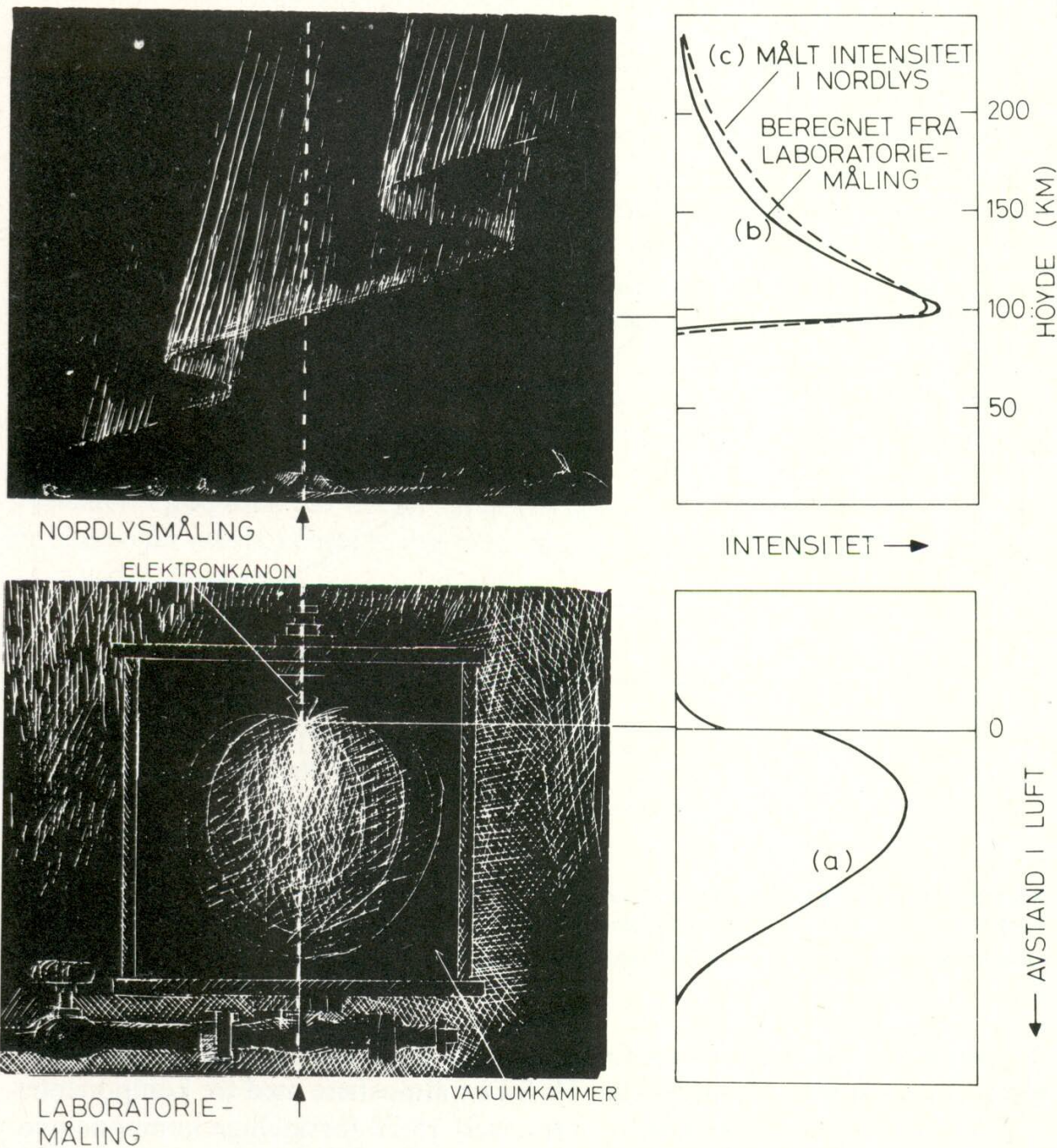


Fig. 3  
 Eksempel på en tolkning av en målt nordlysprofil. På grunnlag av laboratoriedata (a) beregnes en teoretisk profil (b) som sammenlignes med den målte (c).

rike elektronene bremses derfor etterhånden helt opp og når de når ned til 90-100 km høyde, har de avgitt all sin energi til atmosfæren og stopper.

Den øvre atmosfære består av molekyler av nitrogen ( $N_2$ ), oksygen ( $O_2$ ) og oksygenatomer (O). Under elektronbombardementet vil disse bli ioniserte, dvs. miste et elektron, og vi får de positivt ladede ionene  $N_2^+$ ,  $O_2^+$ ,  $O^+$  og  $N^+$ . De energirike elektronene vil også kunne splitte opp molekylene i frie atomer, og vi

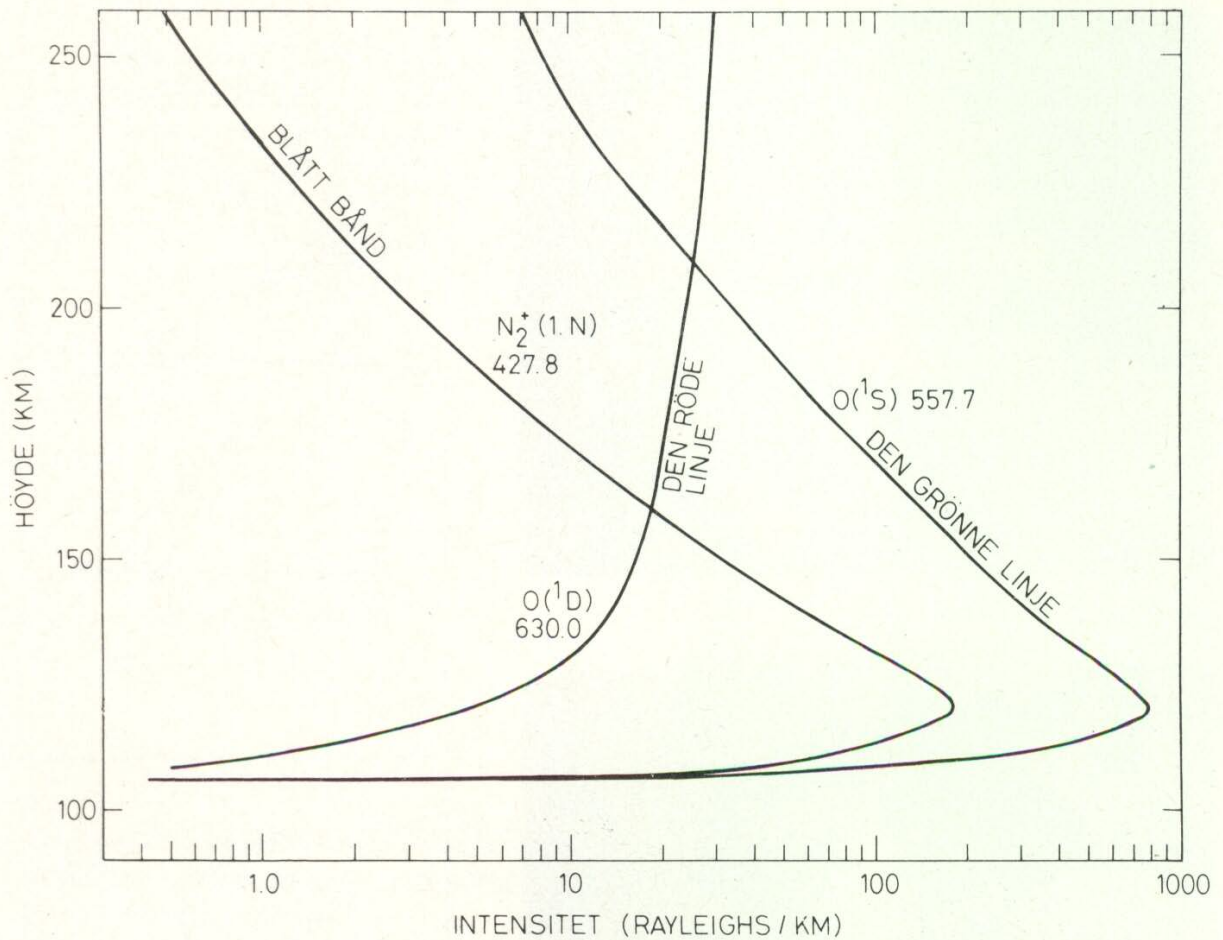


Fig. 4

Intensitetsprofiler av en del typiske linjer i nordlyset beregnet teoretisk. Intensitetsaksen er logaritmisk for å få med både de sterke og de svake intensitetene på samme graf. Intensitetsenheten er Rayleigh som er en nordlysfysisk enhet lik 1 million fotoner pr. sekund og  $\text{cm}^2$  sett gjennom nordlyset.

får produsert atomene N og O. Videre vil vi kunne få dannet energirike tilstander av atomer og molekyler. Ut fra en atmosfære med tre komponenter  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  og O får vi under nordlys produsert 15-20 forskjellige komponenter. Mange av disse er kjemisk reaktive og vil reagere med den lokale atmosfære og danne nye forbindelser som  $\text{NO}^+$  og NO. Som en ser, blir det et ganske infløkt problem å finne ut av.

### Modellberegninger

Med den stadig økende mengde av observerte prosesser i nordlyset, samlet sammen ved hjelp av laboriemålinger, bakkemålinger, ballonger, raketter og satellitter, byr det på store problemer å få oversikt over alle disse prosessene, og få en forståelse av hvilken rolle de enkelte prosesser spiller.

I de senere år har man kunnet samle sammen disse prosessene i regnemaskinprogram og så teoretisk beregne nordlysprosesser i atmosfæren. På grunn av det store antall prosesser som griper i hverandre blir regnearbeidet ganske stort, men med moderne regnearbeid kan man følge med disse prosessene enkeltvis og se hvorledes den øvre atmosfære forandrer seg gradvis etter som nordlyset «blir slått på». Man kjenner ikke alle prosessenes effektivitet, men man skal forsøke med å variere de forskjellige bidragene og så se hvordan beregningsresultatet utvikler seg, så se på registreringer av de prosesser som er målbare og sammenlikne. Dette gir oss anledning til å følge med i prosesser som ikke er direkte målbare.

Fig. 4 viser intensitetsprofiler av noen få linjer i nordlyset. Disse er utledet fra en slik modellberegning. Vi ser at det er store intensitetsforskjeller, både som funksjon av høyden i atmosfæren og i forholdet mellom de forskjellige linjers intensitet. På figuren har derfor intensitetsaksen en logaritmisk skala. Dette er en beregning utført i forbindelse med en hovedoppgave ved fysikkseksjonen.