

Tværfagligt undervisningsprojekt om nordlys

CARSTEN SKOVGÅRD ANDERSEN, Bellahøj Skole, Børn af Galileo, ca.bel@ci.kk.dk

Jeg har skrevet projektet som en eksamensopgave på et fjernstudie i nordlys på Universitetet i Nordland i Norge. Det er skrevet, så at det kan læses af elever i 9. klasse og af deres lærere i alle fag.

Måske kan materialet også bruges af elever i gymnasiet i fysik eller astronomi eller matematik. Derfor sender jeg dette indlæg til LMFK-bladet. Projektet kan I finde på boernafgalileo.dk/undervisningsprojekt_om_nordlys.pdf med tillægsmaterialer som en powerpointpræsentation, se boernafgalileo.dk/skriv.htm. På denne måde kan lærere og elever arbejde med projektet, uden at de behøver at printe eller kopiere.

Elevøvelser har en central plads i projektet. Alle elever skal bruge pc eller Ipad. Den første opgave er at downloade billeder og film af Solen fra satellitten SDO, *Solar Dynamic Observatory*. Senere skal de formidle disse billeder til andre klasser eller til en kikkertaften.

For at kunne forstå billederne, får eleverne kurser i *Bohrs atommodel*, *elektromagnetisk stråling* og i *Solens opbygning*. Som en del af kurserne laver eleverne eksperimenter med *magnetisme*, *elektromagnetisme*, *spektrometri* af forskelligt lys og meget mere.

Der er **ekstraopgaver**, hvor eleverne kan bruge den trigonometri, de netop har lært i matematiktimerne. Fx lærer eleverne, hvordan de ved at bruge trigonometri på deres egne billeder af solpletter, kan beregne solpletlets vinkelhastighed omkring Solens akse. En anden trigonometriopgave er at beregne højden af nordlyset.

Eleverne skal også lære at downloade data om solvinden fra satellitten SDO. På den måde kan de lære selv at forudsige nordlys.

Jeg har lavet forsøgsbeskrivelser, vejledninger i at downloade fra satellitter og vejledninger i at beregne. Teorier om atomet, om Solen og om nordlyset gen-

nemgås helt fra grunden, så at det kan forstås af alle. Dette er illustreret med mange billeder og film.

Som et tillæg har jeg også lavet en **powerpointpræsentation**, der både kan bruges af den enkelte og vises for en klasse.

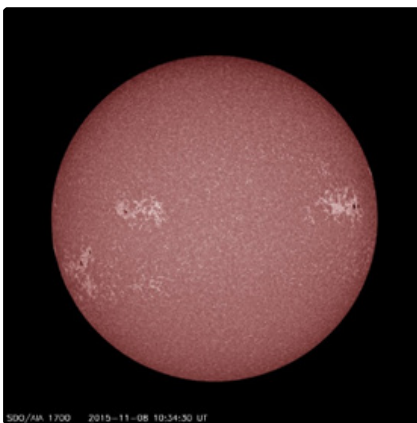
I det følgende findes udpluk af materialet.

Billeder og film af Solen

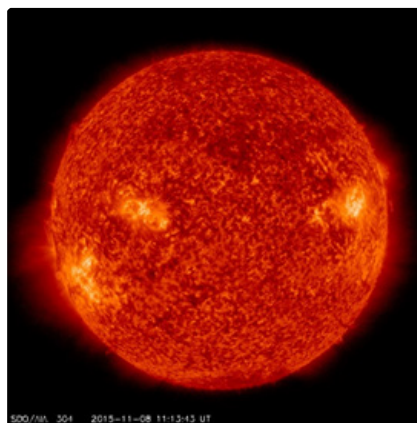
Figurerne 1a–1c viser mine downloadede fotos fra søndag den 8. november 2015 via SDO. Jeg gik ind på sdo.gsfc.nasa.gov og valgte "Data" i øverste linje og derefter "The Sun Now".

Jeg valgte billeder ved 3 bølgelængder i det ultraviolette område:

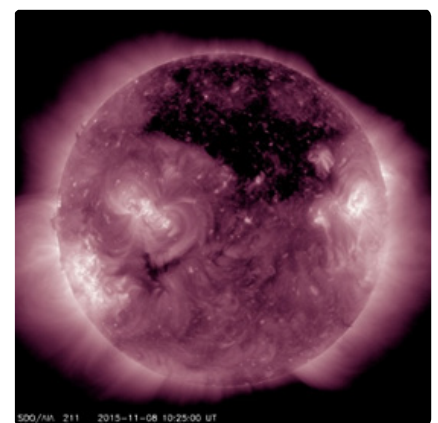
- 1700 Å (170 nm) – den længste bølgelængde, der viser de koldeste lag af Solen på under 6000 °C.
- 304 Å (30,4 nm) – der viser det varmere lag øverst i kromosfæren og transition region.



Figur 1a
Ved 1700 Å (170 nm) ses solpletter i Solens fotosfære. Temperaturen i fotosfæren er ca. 5500 °C, men i solpletterne er der kun ca. 4000 °C. Derfor ser solpletterne mørkere ud. Det er fordi Solens magnetfelt er meget stærkere i solpletterne, så at varmen fra Solens indre ikke kommer ud så hurtigt som ved de omgivende områder i fotosfæren. Snart kan du finde ud af hvorfor.



Figur 1b
Billedet viser den varmere øvre kromosfære og overgangslag, der er over fotosfæren. Kromosfæren er her varmet op til omkring 10.000 °C. Bølgelængden er her meget kortere: 304 Å. Derfor fremhæves varmere dele af Solen. Højere temperaturer medfører mere energirigt lys og kortere lysbølger. Man ser stor aktivitet i kromosfæren over solpletterne. Stoffet bevæger sig i kæmpe buer. Magnetfeltet fører det elektrisk ladede stof, som kaldes plasma.



Figur 1c
Dette foto er lavet med lys på 211 Å (21,1 nm). Dette lys er mere energirigt. Det må komme fra varmere materiale. Det kommer fra Solens korona, hvis temperatur kan måles til 1 – 3 millioner grader! Hvordan er det blevet så varmt? Det forsøger forskerne at finde ud af. Du kan se store buer i koronaen i områderne over solpletterne. Men det vildeste er et kæmpe hul. Der er koronaen skudt af! Herunder kan du læse, hvad det betyder for Jorden

- 211 Å (21,1 nm) – der viser plasma ved temperaturer over en million grader i Solen Korona

Hullet i Koronaen på figur 1c er en følge af en solstorm, som blev sendt afsted fra Solen. Onsdag den 4. november nåede solstormen frem til Jorden. Det medførte så store magnetiske forstyrrelser, at to svenske flyradarer blev slået ud et stykke tid, så at flere fly måtte vente med at lette, se vg.no/nyheter/utenriks/luffart/solstorm-slo-ut-flyradarer-i-sverige/a/23555203.

Film

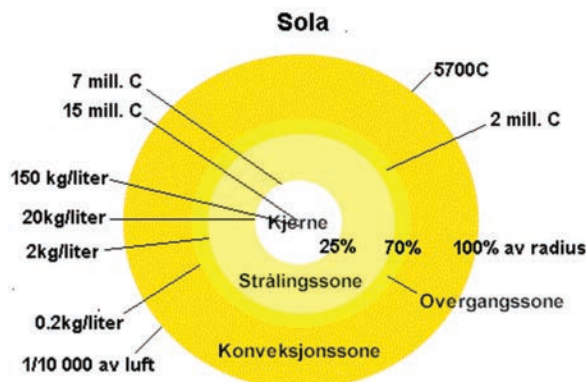
Man kan downloade film med billeder gennem 3 døgn. Vælg "Data" i øverste linje og derefter "AIA/HMI Browse data". Eleverne kan finde voldsomme begivenheder på Solen i bestemte bølglængder og vise film om det for klassen.

SOHO

Man kan også finde billeder og film fra satellitten SOHO, *Solar and Heliospheric Observatory*. Den befinder sig i et kredsløb om Lagrangepunkt 1 – L1, hvor tyngdekraften fra Solen og Jorden samt centrifugalkraften afbalancerer hinanden, så det kun kræver lidt energi at blive der. L1 ligger 1,5 millioner km i retningen mod Solen, så der er altid en god udsigt til Solen: Åbn "Data Archive" på sohodata.nascom.nasa.gov/cgi-bin/data_query.

Solen

I de øverste 30 % af solradien findes konvektionszonen, hvor varmetransporten ud af Solen på en måde sker som i en gryde med kogende vand. Det nederste materiale opvarmes og udvider sig. Det stiger op og afkøles, hvorefter det synker ned. Alligevel er det helt anderledes end kogende vand. Stoffet er ioniseret som i et lyn på grund af varmen. Det kaldes plasma. De elektriske ladninger i bevægelse medfører et meget kraftigt magnetfelt. Plasmaen i konvektionszonen roterer med forskellig vinkelhastighed alt efter i hvilken breddegrad det findes. Nær Solens ækvator roteres en omgang på ca. 25 døgn. Nærmere ved polerne sker rota-



Figur 2

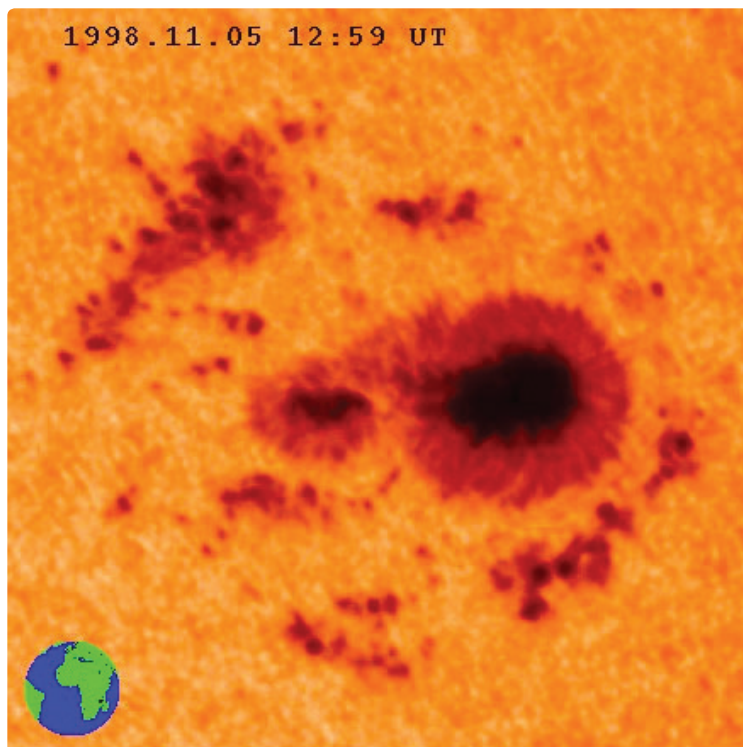
Her ses zoner i Solen. Man kan se masse-tæthed og temperatur ved forskellige radier. Kilde: Birger Andresen, *Vår livgivende sol*, se rk.nvg.ntnu.no/org/taf/publikas/sol_art.htm.

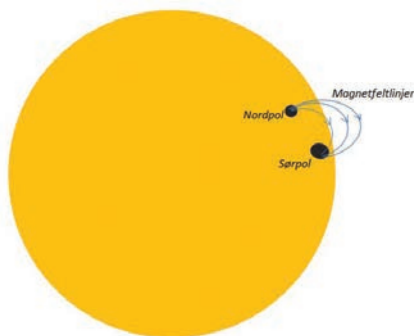
tionen langsommere, så at rotationstiden ved polerne er omkring 36 døgn.

Derfor vrides de magnetiske kraftlinjer mere og mere, hvilket gør varmetransporten langsommere. Der kommer "kolde" områder med temperaturer omkring 4000 °C i fotosfæren over konvektionszonen. Disse områder observeres som mørke solpletter, se figur 3.

Figur 3

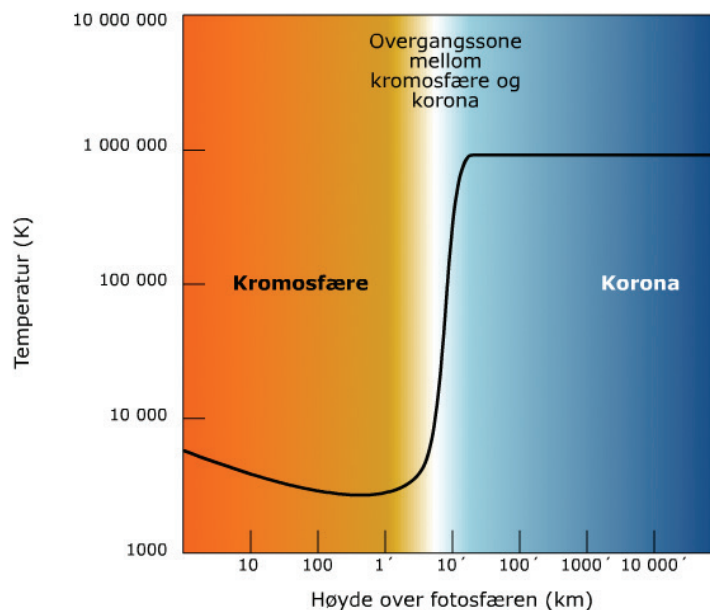
Solpletters mørke midte kaldes umbra. Der er magnetfeltet så stærkt, at temperaturen kun er omkring 4000 °C, fordi magnetfeltet mindsker varmetransporten fra Solens indre. Det mindre mørke område kaldes penumbra. Uden for dette område findes den almindelige fotosfære med en temperatur på ca. 5500 °C. Man kan måle, at magnetfeltet i en solplet kan være helt op til 1000 gange stærkere end Jordens magnetfelt. I et spektrometer ses linjer i solspektret. Et stærkt magnetfelt kan dele en linje i to, og jo stærkere feltet er, des mere skubbes de to linjer fra hinanden. Solpletter er ofte meget større end Jorden. Foto: SOHO/ESA/NASA





Figur 4

I en solpletgruppe er der mange nordpoler og sydpoler. Feltlinjerne kommer ud af en nordpol og går ind i en sydpol. Der dannes magnetfeltløgner, som vrides mere og mere. To modsatte felter kan komme til at ligge tæt. Det kan betyde, at energien rekombinerer og udløses i et enormt udbrud – en flare, der bliver så varm, at der udsendes meget røntgenstråling i et kraftigt glimt. Derefter kan følge en udkastning af plasma som kaldes Coronal Mass Ejection – CME. Kilde: sarepta.org.



Figur 5

Over fotosfæren er den 2000 km tykke kromosfære. Indtil 1500 km over fotosfæren falder temperaturen til omkring 4200 °C, så denne del ser rødlig ud i et teleskop. Men ved 1500 km stiger temperaturen i kromosfæren til omkring 10.000 °C.

2000 km over fotosfæren slutter kromosfæren. I det smalle overgangslag stiger temperaturen til omkring en million °C. Koronaens plasma (derover) er utrolig tynd og meget varm: 1 – 3 millioner grader. Derfor observerer man den med korte bølgelængder. Kilde: De ydre lag, se sarepta.org/objekt.php?aid=62&bid=66&oid=1028&s=.

Forskerne arbejder på at forklare hvordan temperaturen stiger så meget i overgangslaget og i koronaen.

Fra koronaen udsendes hele tiden ladede partikler bort fra Solen. Solens korona udsender hele tiden en "langsom" solvind med en hastighed på ca. 400 km/s – langsomt er det jo ikke, for med den fart kan man flyve lige så langt som Jordens diameter på 30 sekunder. Desuden udsender Solen en hurtig solvind med op til 750 km/s. Dertil kommer solstormene, hvor plasma skydes ud med endnu større hastigheder.

Satellitten ACE

Man kan downloade aktuelle data om solvinden fra satellitten ACE – *Advanced Composition Explorer*. Den kredser i en bane omkring Lagrange punkt 1, der ligger 1,5 millioner km fra Jorden i retningen mod Solen. Partikler i solvinden passerer ACE ca. en time før den når frem

til området nær ved Jorden. Men ACE sender sine målinger med lysets hastighed til os, så at vi modtager målingerne allerede efter 5 sekunder. Derfor har vi en times varsel, når ACE's målinger viser gode muligheder for nordlys.

Den 29. oktober 2015 stod mine venner og jeg på Andøya i Norge og håbede på at se nordlys den aften. Vejrudsigten viste klart vejr. Men hvordan var rumvejret? Det undersøgte vi ved at åbne siden swpc.noaa.gov/products/ace-real-time-solar-wind.

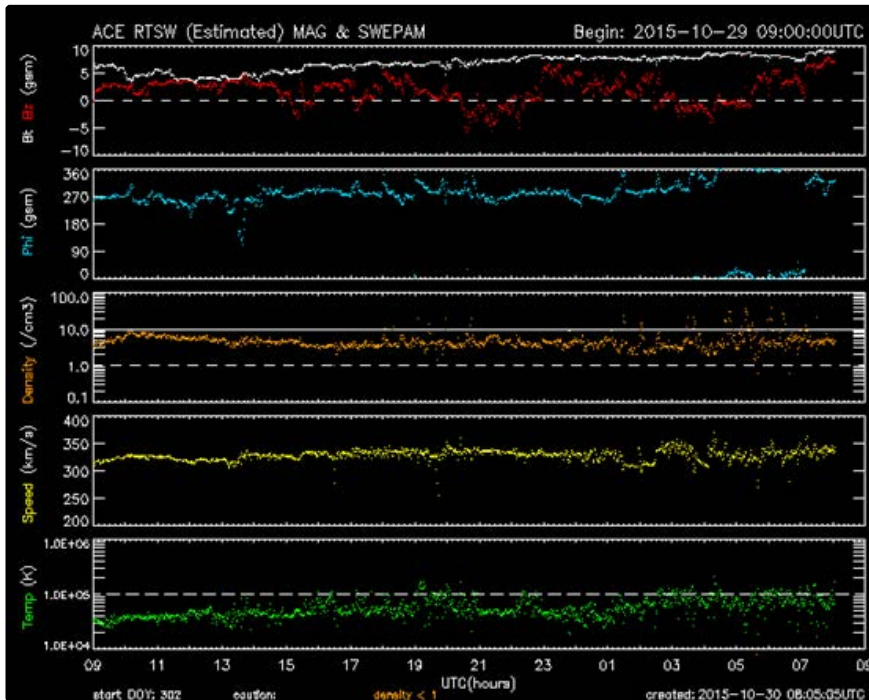
På den måde fik vi kurver for bl.a. solvindens magnetfelt ved ACE i det sidste døgn. Du kan gøre det sammen. Næste morgen downloadede vi figur 6 fra ACE, se næste side.

Første kurve viser magnetfeltet i solvinden. Det er meget enkelt at aflæse. Det er godt at vide følgende om kurverne først:

Magnetfeltet vises i et koordinatsystem, der hedder *Geocentric Solar Magnetospheric*. Centrum er midten af Jorden. x -aksen peger mod Solen, y -aksen er vinkelret derpå i planeternes plan. z -aksen peger mod nord vinkelret på de to andre akser.

Magnetfeltet i z -aksen – B_z er tegnet som en rød kurve. Den hvide kurve er det samlede magnetfelt, hvor man har lagt B_z , B_x og B_y sammen. Da vinklerne mellem akserne er rette, kan man lægge sammen ved at bruge Pythagoras. Men her behøver vi blot at aflæse B_z . Vi leder efter hurtige forandringer i B_z , hvor B_z slår ned i det negative – så at B_z får retningen mod syd.

Vi vender tilbage til den røde kurve over B_z fra ACE. Vi ser at B_z om aftenen den 29. oktober slog ned i minus flere gange. Det kan betyde, at nordlys er på vej. Det forstår vi bedre når vi studerer figur 7.



Figur 6
Målinger fra ACE den 29. – 30. oktober 2015.

Vi ser, at solvinden rammer Jordens magnetfelt og presser det sammen på dagsiden og trækker det ud i en lang hale på natsiden. Jordens magnetfelt har en retning fra den magnetiske nordpol ved Antarktis til den magnetiske sydpol ved Canada. Hvis solvindens magnetfelt har samme retning er der ikke udsigt til nordlys. Men hvis Solens og Jordens felter er rettet modsat, så vil solvindens energi sende ladede partikler ned mod Jordens atmosfære i en oval rundt om de magnetiske poler.

Årsagen er, at stærke modsatrettede magnetfelter kan rekombinere og udløse meget energi.

På dagsiden kommer dag-nordlys, som er vanskelig at observere på den lyse himmel. På natsiden udløses energi, når felterne støder sammen i den lange magnetiske hale bag Jorden. Ladede partikler sendes ned mod atmosfæren i en oval rundt om polerne. Da kommer nat-nordlyset.

Se mn.uio.no/fysikk/tjenester/kunnskap/nordlys/00_loadVideospiller.swf.

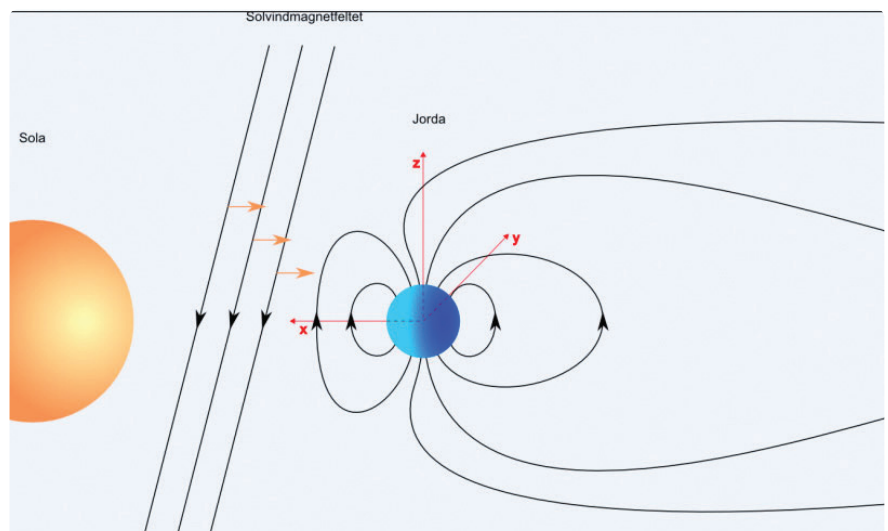
Vi vender tilbage til ACEs kurver. Den anden kurve skal vi ikke bruge her. Den viser nordlysfeltets vinkel i forhold til x-aksen i planeternes plan.

De sidste tre kurver er vigtige: density, speed og temperatur. Det er en betingelse for nordlys, at densiteten eller stoftætheden er over 1 partikel pr. kubikcentimeter. Jo højere des bedre. Speed eller

farten af solvinden viser, hvornår Jorden påvirkes. Her aflæses ca. 340 km/s for aftenen den 29. oktober 2015. Da er det enkelt at måle rejsetiden:

$$\frac{1.500.000 \text{ km}}{340 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 4.412 \text{ s} = 73 \text{ min}$$

Når man vil se udsigten for rumvejret kan man også bruge rumvejr.dk. Se også *Tycho Brahe Panetarium*: planetarier.dk/astronomi-rumfart/himlen-netop-nu/solen/aktuelle-billeder.



Figur 7
Tegning af solvindens og Jordens magnetfelt. Kilde: sarepta.org.

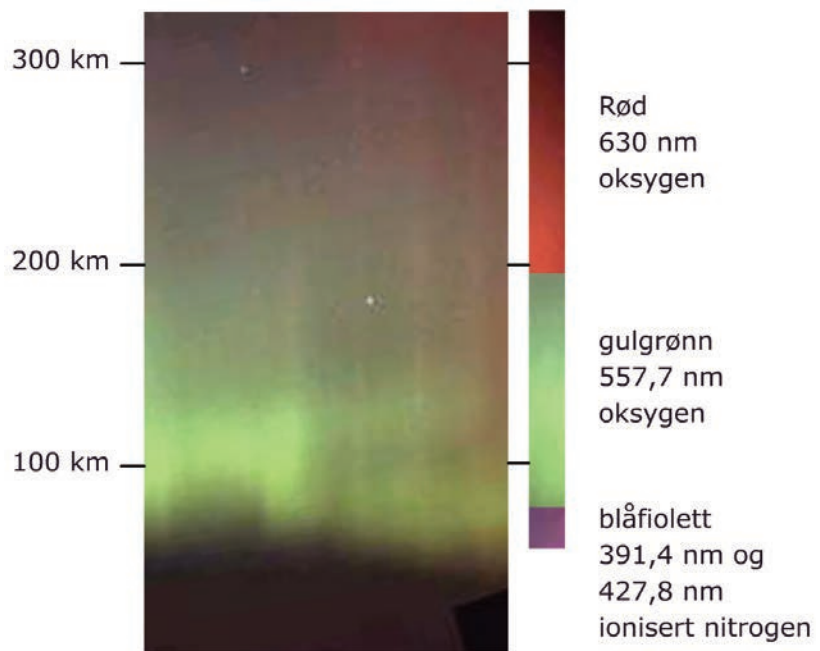
Farverne i nordlyset

Nordlyset dannes, når ladede partikler rammer atomer i Jordens øverste del af atmosfæren, ionosfæren.

Elektroner bliver skubbet bort fra deres indre bane – atomet bliver *eksiteret*. Kort efter springer elektronen tilbage, så atomet igen kommer i grundtilstanden. Derved afleveres en pakke energi som lys. Hvis pakken har stor energi, vil farven være i den violette ende af skalaen. Mindre energipakker giver grønne og røde farver. Nogle bølgelængder er for lange eller korte til at kunne ses af menneskeøjet. Læs om Bohrs atommodel på fysikleksikon.nbi.ku.dk/b/bohrmodel. Mere om Bohrs atommodel findes på fysik-kemi.dk/kbhsj under Atomets historie. Se fx denne video om emission og absorption: vimeo.com/87714795.

Det er fantastisk at se nordlys i Nordnorge, men det er også muligt i Danmark. Følg med på rumvejr.dk og se fx Jesper Grønnes nordlysfotos fra Danmark på fotojesper.dk/gallery/thumbnails.php?album=186.

Et af mine fotos fra Andøya den 29. oktober 2015 kan ses på bladets forside.

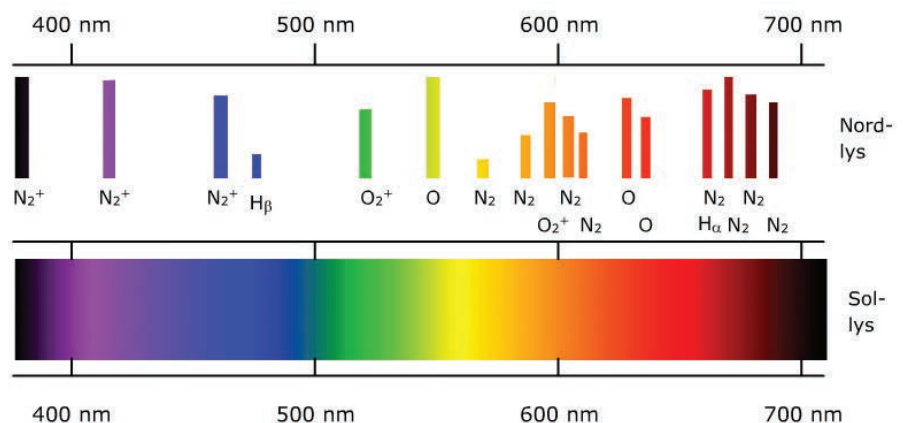


Til mine lærerkolleger vil jeg sige: Her kan I læse om kurserne i 2016 og finde et tilbud der passer til jer: esero.no/laererkurs/videreutdanningskurs-i-2016.

På følgende link kan man se billeder fra kurset *Under Polarhimlen 2015*: flickr.com/photos/naromasc.

Figur 8

Nordlysets højde. Den almindelige gulgrønne farve i nordlyset skyldes lysende oxygenatomer i 120 – 180 km højde. Rødlige farver kan skyldes lysende oxygenatomer i omkring 180 – 300 km højde – nogen gange højere. Violette farver kommer fra ladede nitrogenmolekyler i omkring 80 – 100 km højde. Kilde: sarepta.org.



Figur 9

Her ses hvilke atomer, der giver hvilke farver i nordlyset.

Kilde: sarepta.org