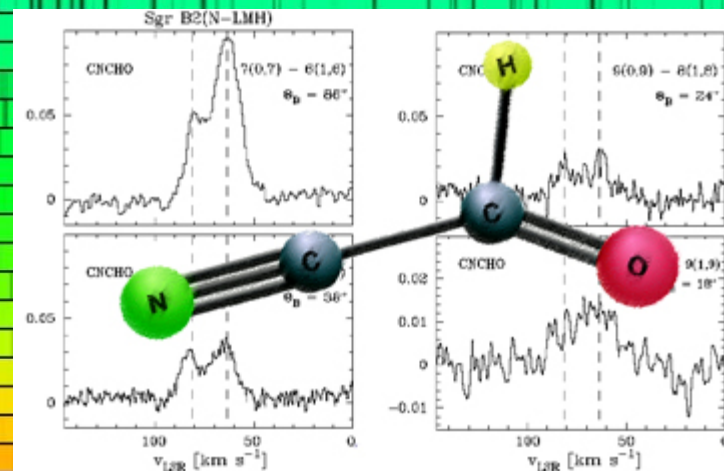


Spektroskopi – et fantastisk værktøj



Hans Buhl, Steno Museet, Aarhus Universitet
(Eksperimenter v. Morten Ankersen Medici, NBI, KU)

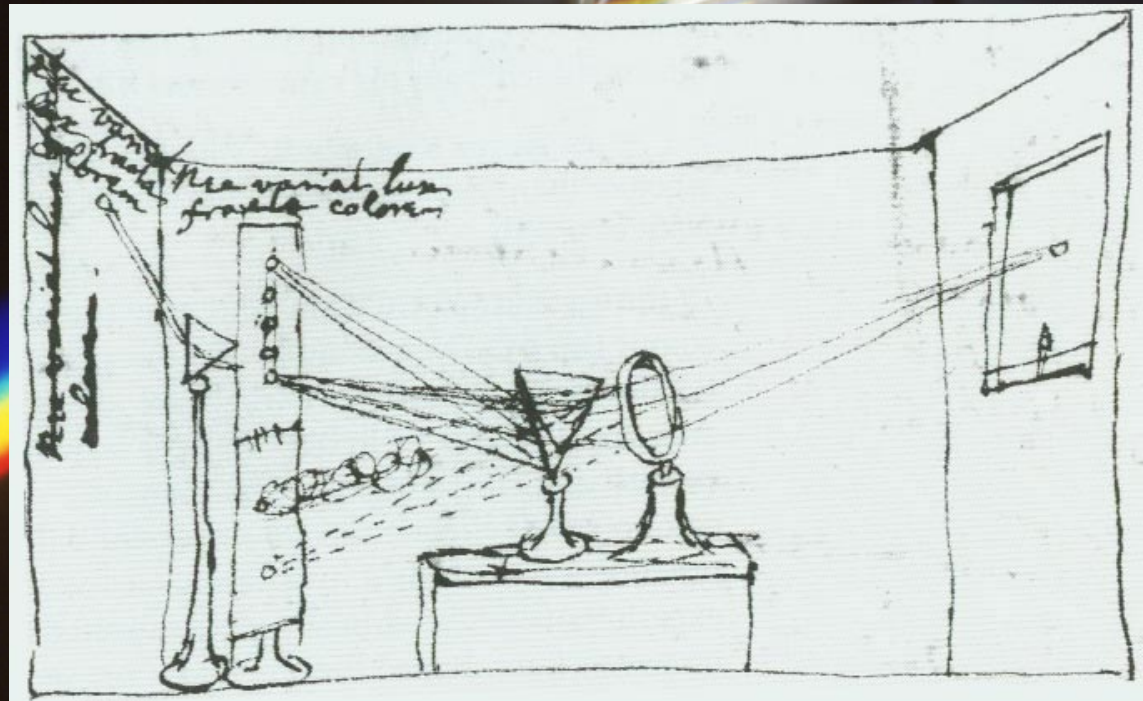
Spektroskopi

– et fantastisk værktøj

- Naturvidenskaben har givet os et fantastisk indblik i udviklingen fra **big bang til det moderne menneske**
- Verden: stof og stråling
- Strålingen "fortæller" om stoffet
- Derfor er analyse af lys og anden stråling en af de kraftfulde metoder til indsigt
- Kan bruges inden for mange fag fra fysik over biologi til medicin

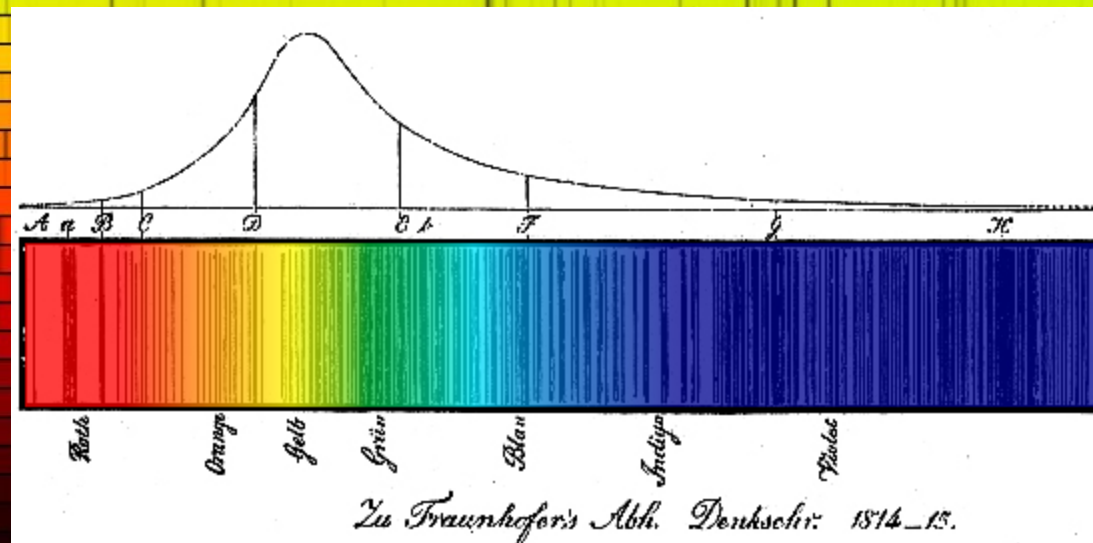
Lys og farver

- I 1672 opdagede Newton, at hvidt lys kan opspaltes til en række primære farver af et prisme



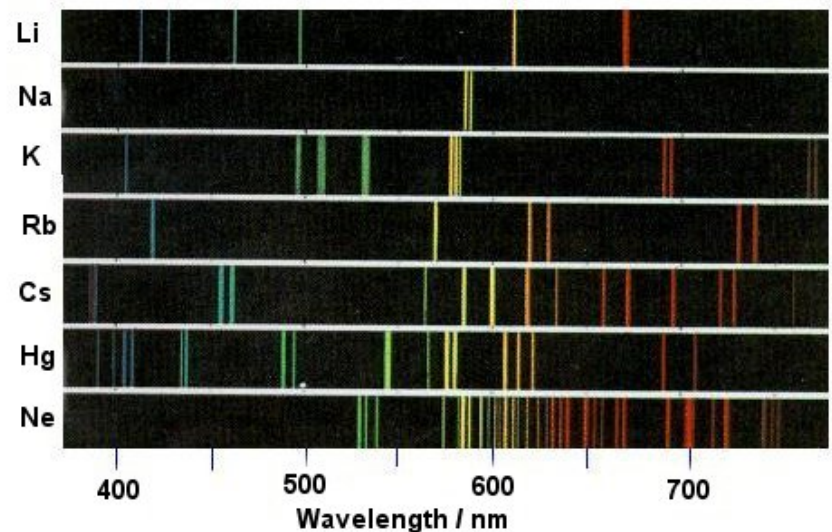
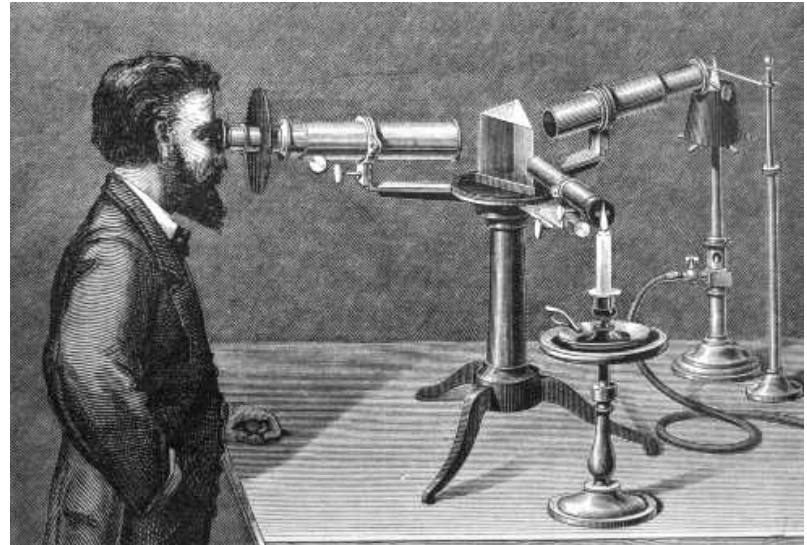
Huller i sollyset

- I 1817 opdagede instrumentmageren Joseph von Fraunhofer "huller" i solspektret
- Han kunne tælle over 500 sorte linjer
- Månens og Venus' linjer \approx solens linjer
- Stjernernes linjer \neq solens linjer



Spektroskopiens fødsel

- Forskellige stoffer lyser med forskellige farver
- Der ses et karakteristisk spektrum gennem et prisme
- **Robert Bunsen og Gustav Kirchhoff** grundlagde i 1859 spektralanalysen.

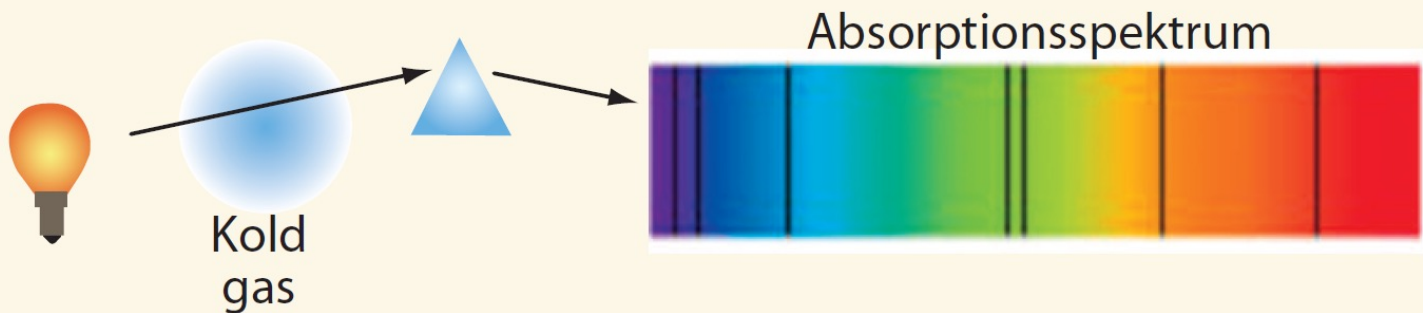
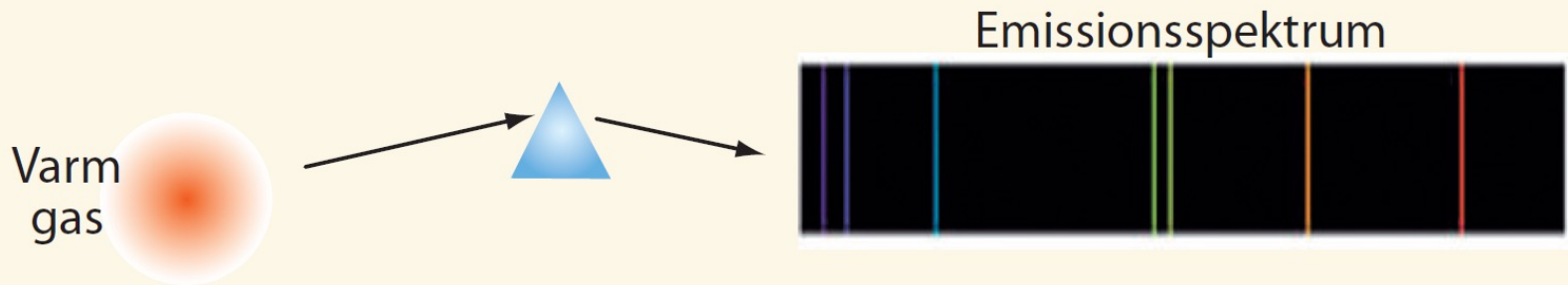
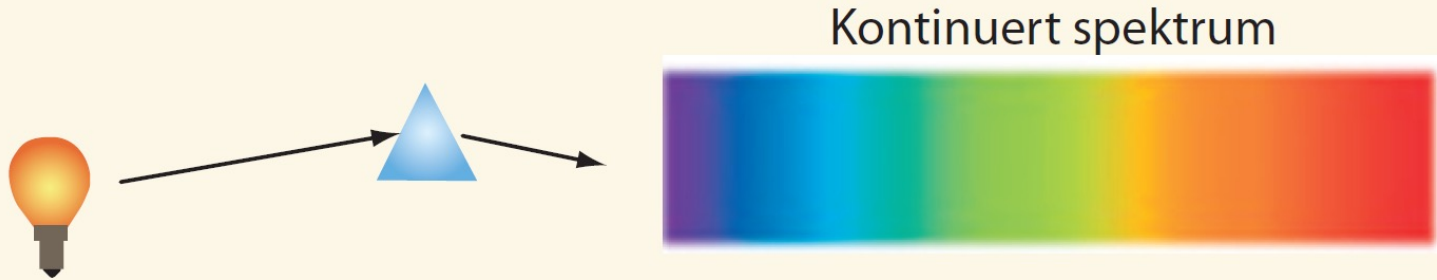




Robert Bunsen, 1859:

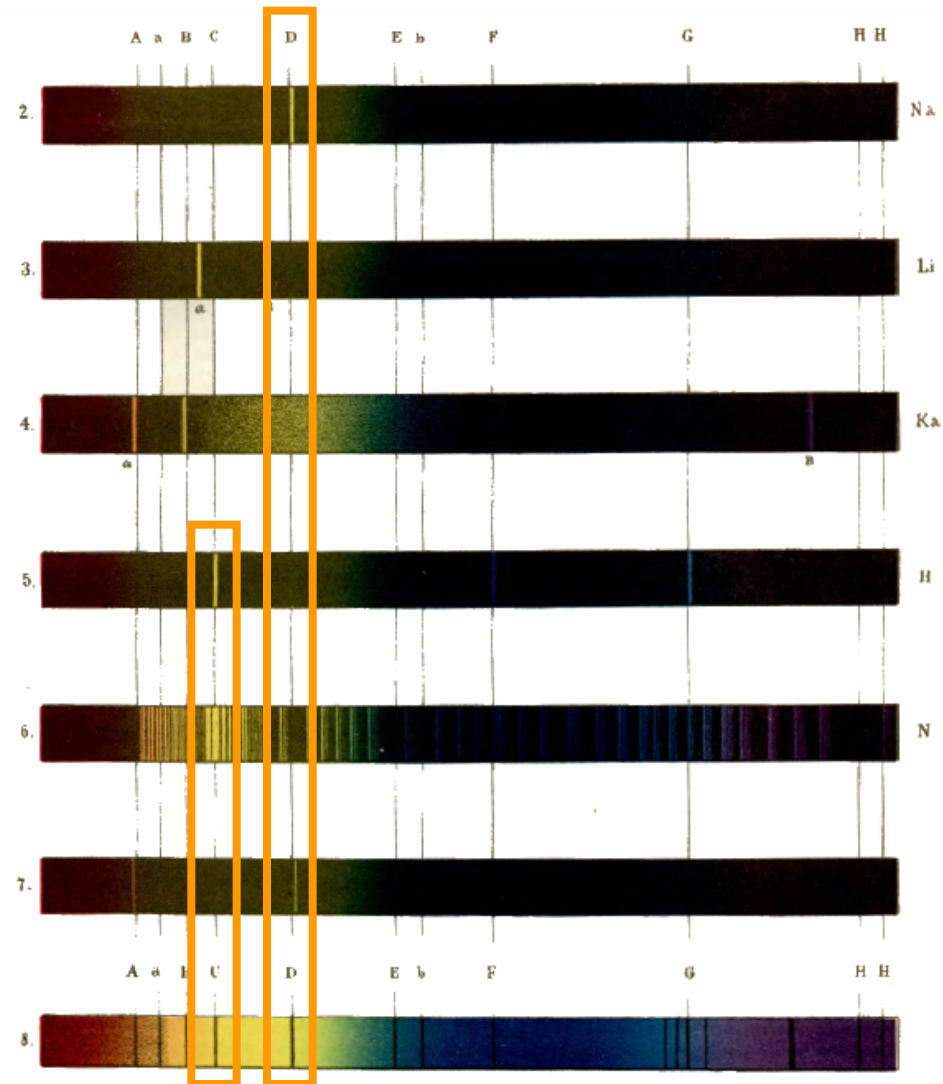
”I øjeblikket er Kirchhoff og jeg optaget af en undersøgelse, som ikke tillader os at sove. Kirchhoff har lavet en fuldstændig uventet opdagelse, idet han har fundet årsagen til de mørke linjer i solspektret og kan producere disse linjer kunstigt. [...] Derved er der åbnet en vej til at bestemme Solens og stjernernes kemiske sammensætning.”

To slags spektre



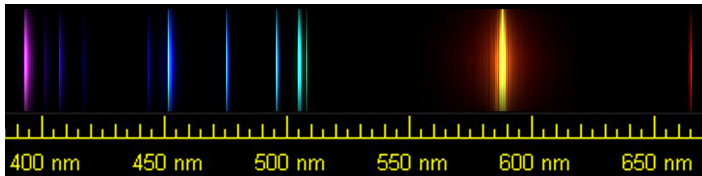
Astrospektroskopi

- **Før:** **principielt umuligt** at studere Solens kemiske sammensætning
- **Nu:** spektroskopisk bestemmelse
- Man kan også "måle" forskellige fysiske forhold, f.eks temperatur og magnetfelt

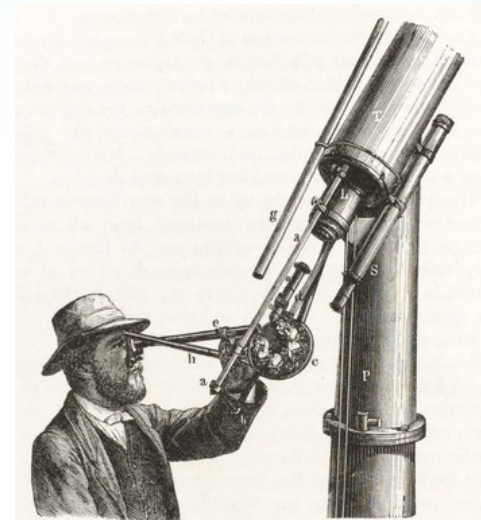
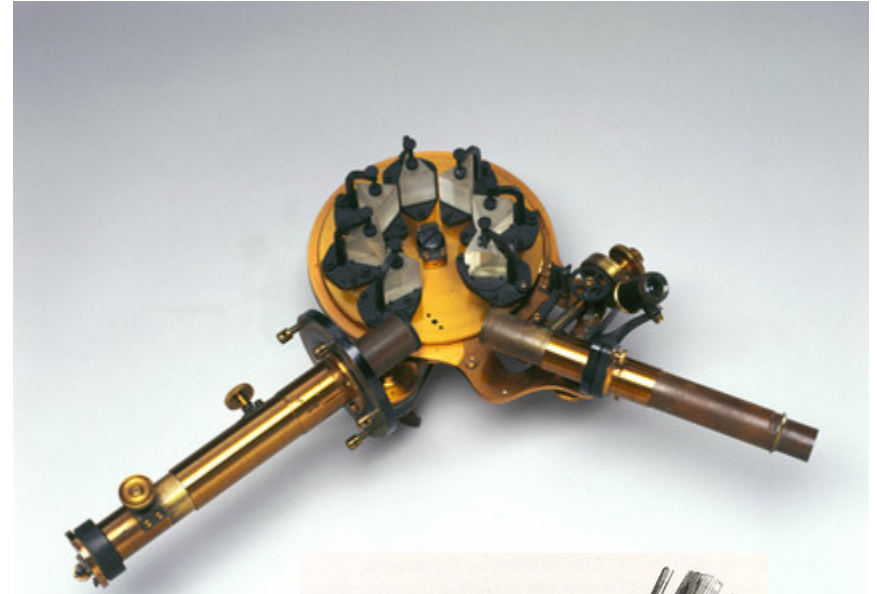


Astrospektroskopi

- Joseph N. Lockyer opdagede i 1868 en uforklarlig gul linje i solspektret



- Måtte stammede fra et hidtil ukendt grundstof
- Helium
(af gr. helios 'Solen')

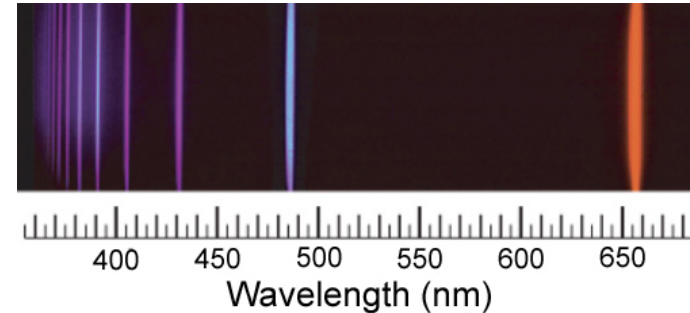


Astrofysik

- Spektroskopien blev mere end noget andet indgangen til [astrofysikken](#)
- Fra at være punkter på himlen blev stjernerne til fysiske objekter, som kunne studeres.
- AL vor viden om himmellegemerne stammer fra analyse af det lys og anden stråling vi modtager fra dem...
- ...kombineret med forestillingen om at universet er universelt, dvs. at den samme fysik gælder over alt.

Spektralgåden

- Men hvorfor lyser atomerne med bestemte farver?
- I slutningen af 1880'erne fandt man en simpel matematisk relation mellem bølgelængderne i brints spektrum
- Men man forstod ikke årsagen

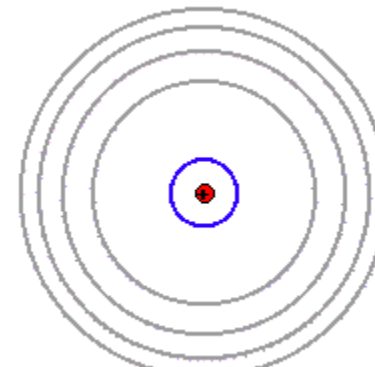
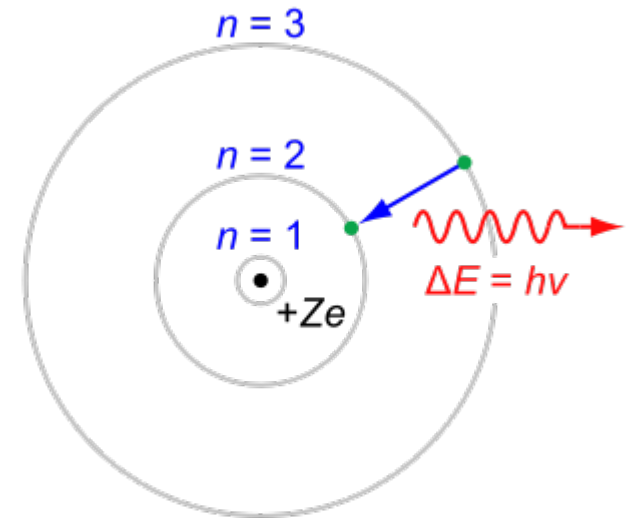


Brint/hydrogen

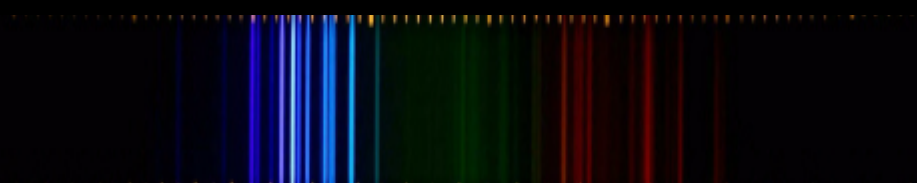
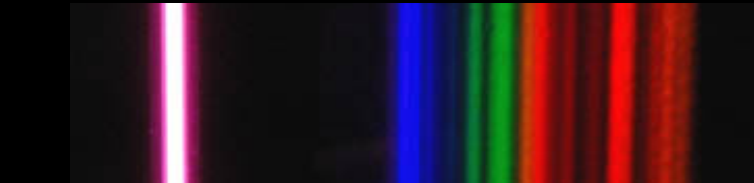
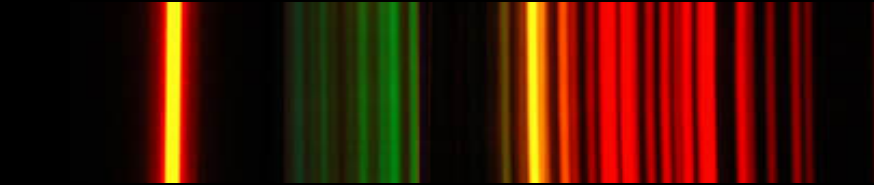
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Bohrs løsning

- I 1913 lykkedes det dog Niels Bohr at give en fysisk forklaring
- Atomer har deres helt egen (kvante)fysik:
 - Elektronerne bevæger sig i stabile baner
 - De kan "springe" mellem banerne ved at optage eller udsende lys



$n=\infty$	0.00eV
$n=5$	-0.54eV
$n=4$	-0.85eV
$n=3$	-1.51eV
$n=2$	-3.40eV
$n=1$	-13.6eV



- Spektrallinjernes placering fortæller om atomernes struktur

Stjernernes fingeraftryk

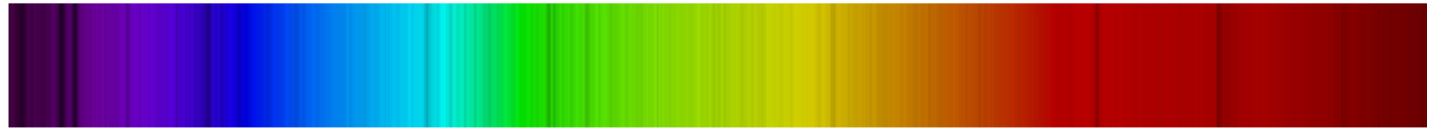
Zeta Orionis (Alnitak)
Ca. 30.000 °C



Sirius
Ca. 10.000 °C



Solen
Ca. 5.500 °C

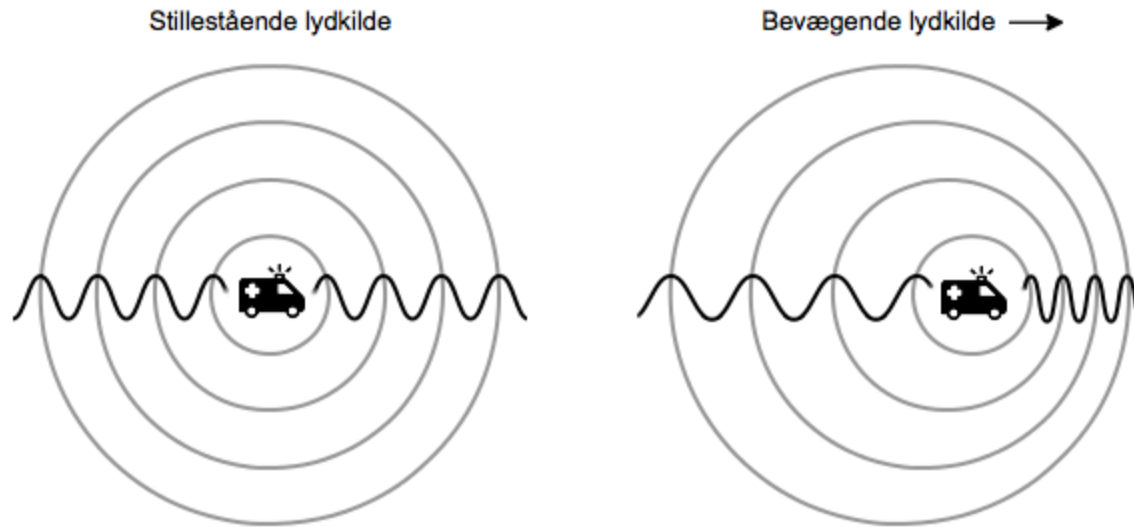


Betelgeuse
Ca. 3.200 °C

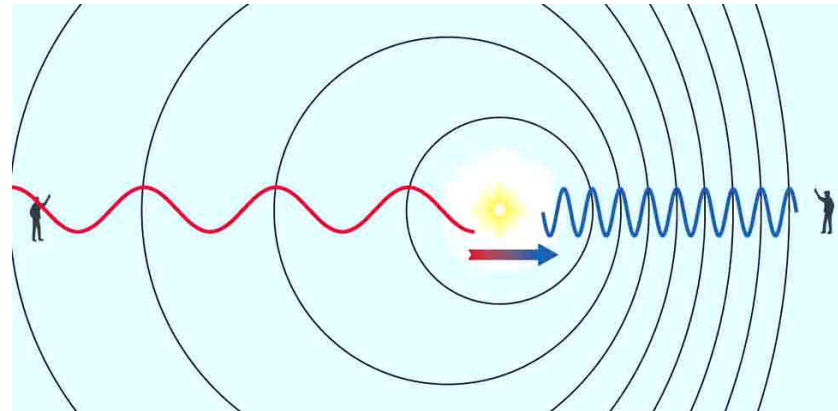


- Stjernernes spektre fortæller om
 - Grundstofsammensætning (linjer)
 - Temperatur (farvefordeling)
 - Bevægelse (forskydning af linjer)

Doppler-effekten



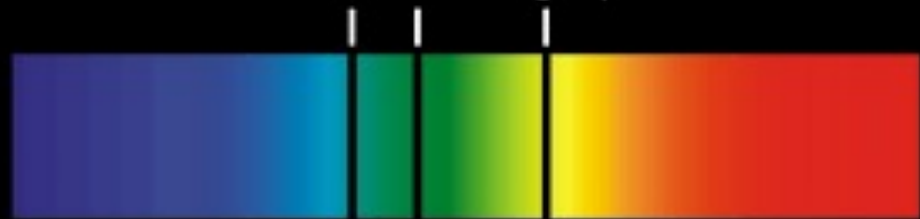
- Gælder også for lys
 - Rødforskydning og blåforskydning



Rød- og blåforskydning



The star's chemical fingerprints



1. Receding star

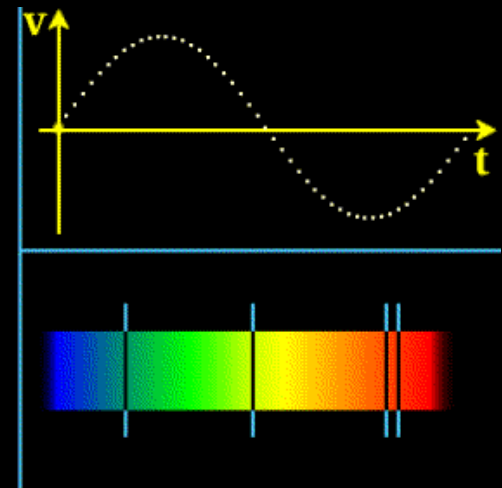
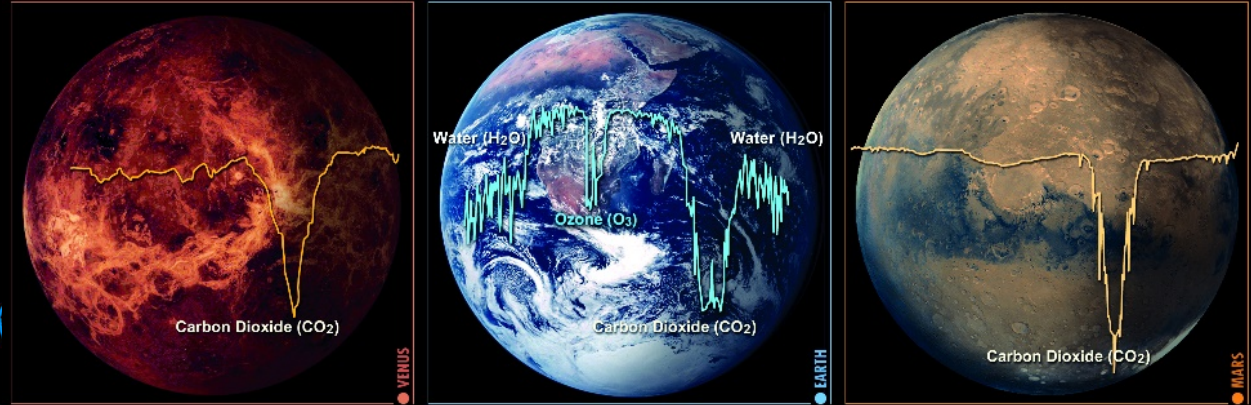


2. Approaching star

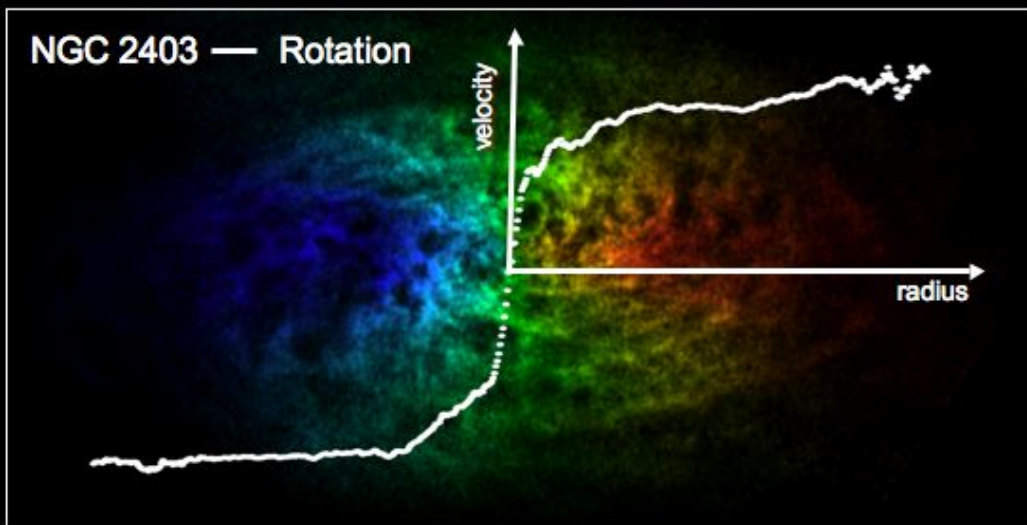


Jagt på exoplaneter

- Radialhastighedsmetoden

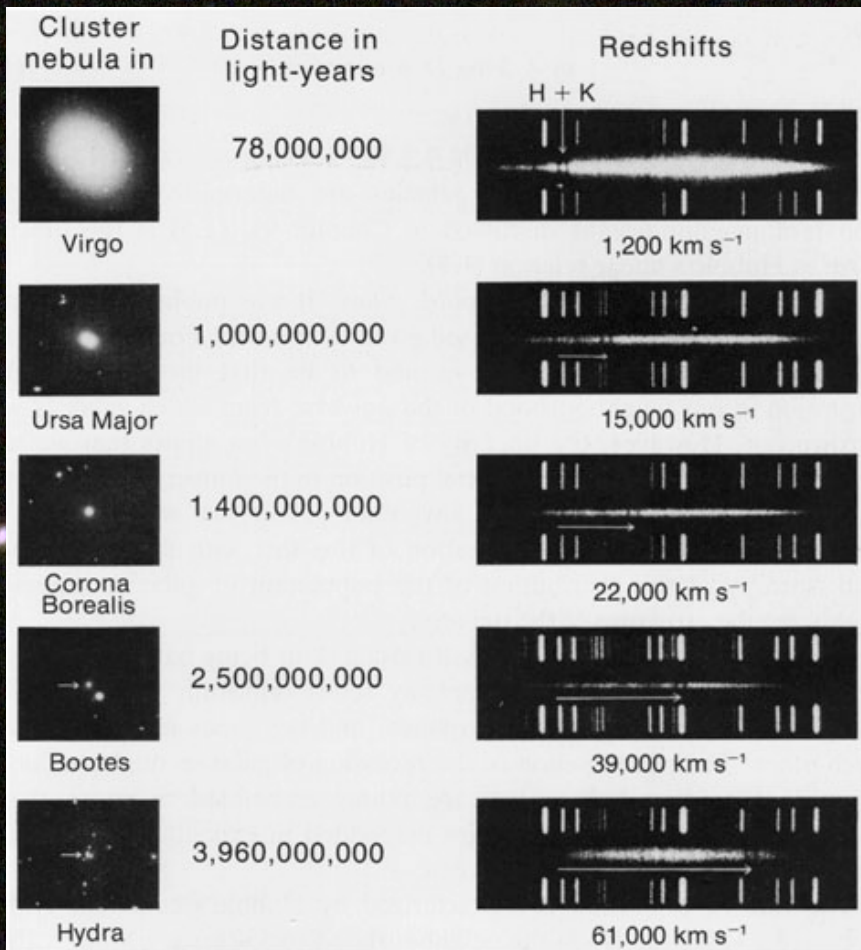


Måling af galakser rotation

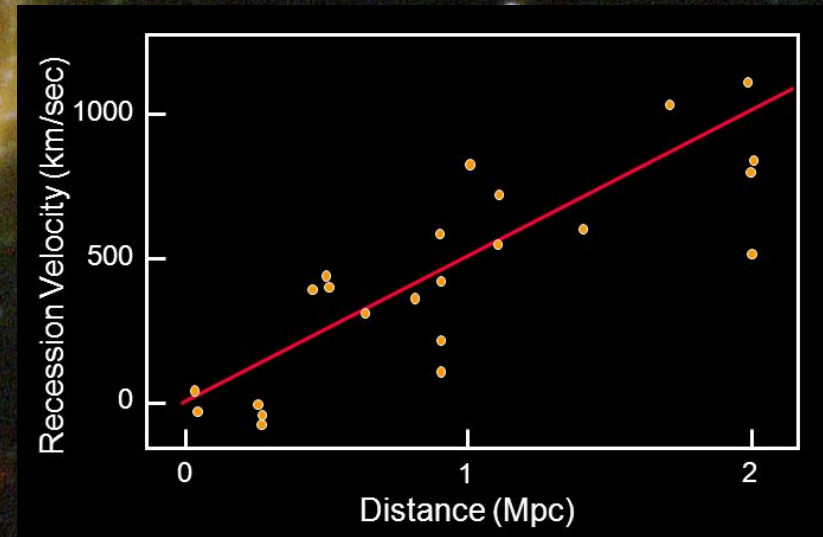


- De ydre dele bevæger sig "for hurtigt" (ift. mængden af støv, gas og stjerner)
- Der må være noget usynlig masse
 - Teorien om "mørkt stof"

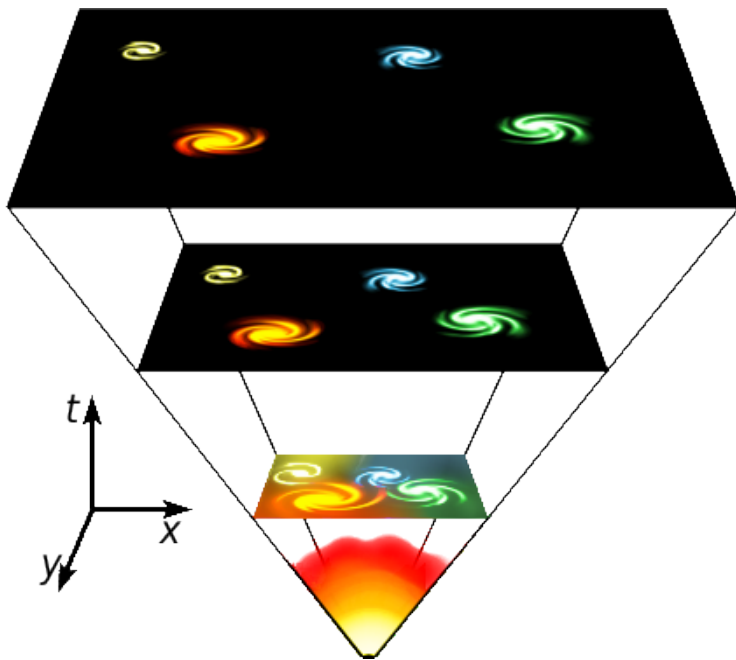
Måling universets udvidelse



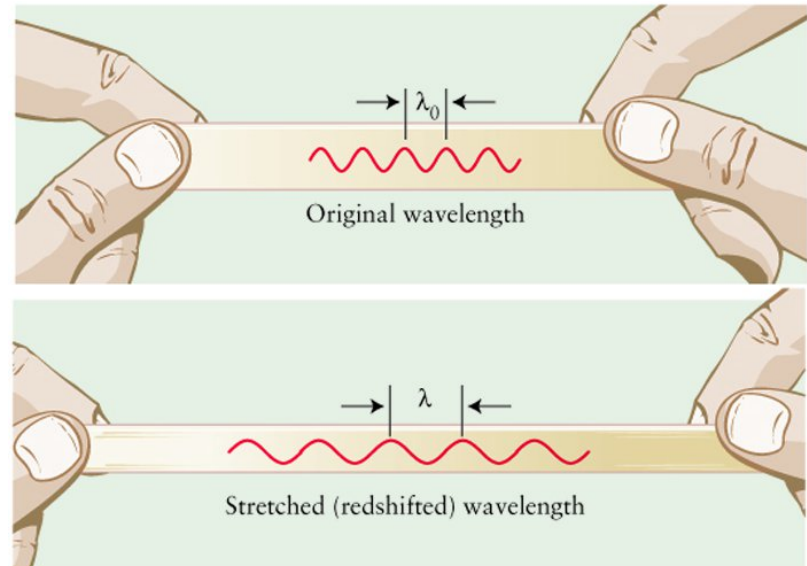
- Hubble 1929:
Galakserne bevæger sig væk fra os.
- Jo længere væk de er, desto hurtigere



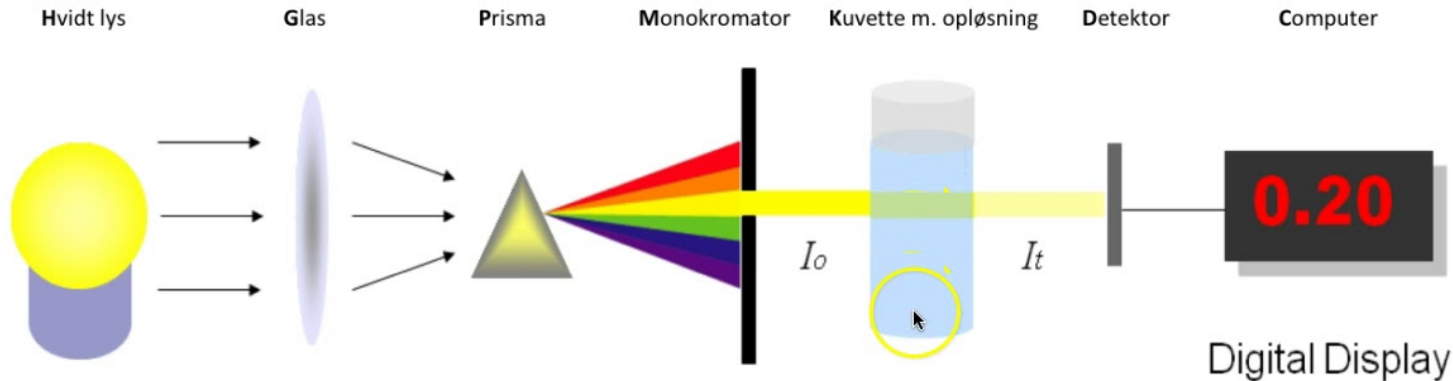
Rødforskydning og big bang



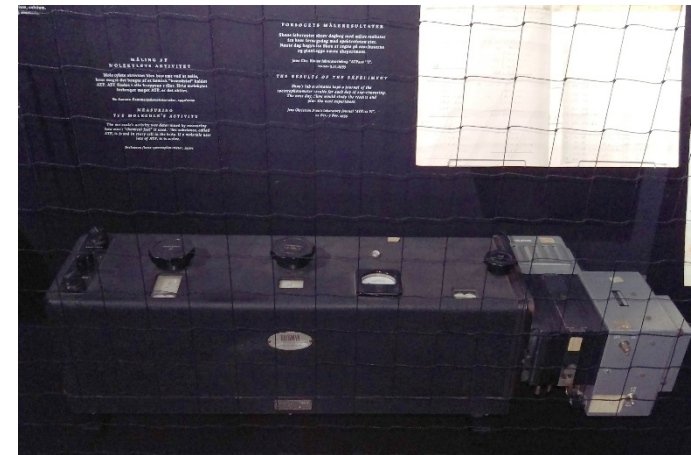
- **NB:** Den kosmologiske rødforskydning skyldes **ikke** Doppler-effekten, men rummets udvidelse



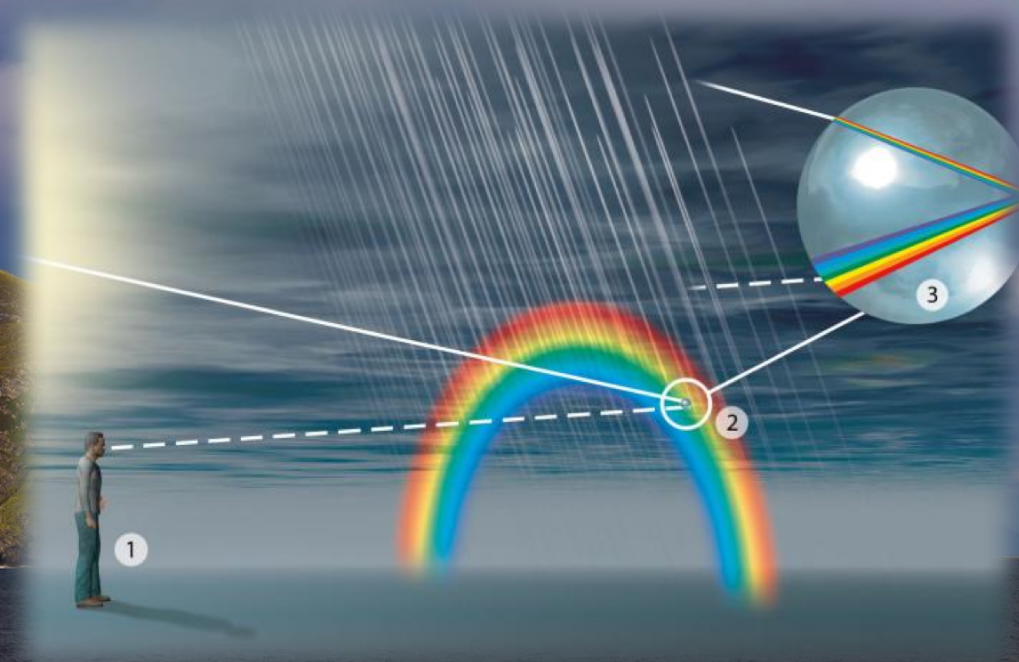
Spektrofotometri



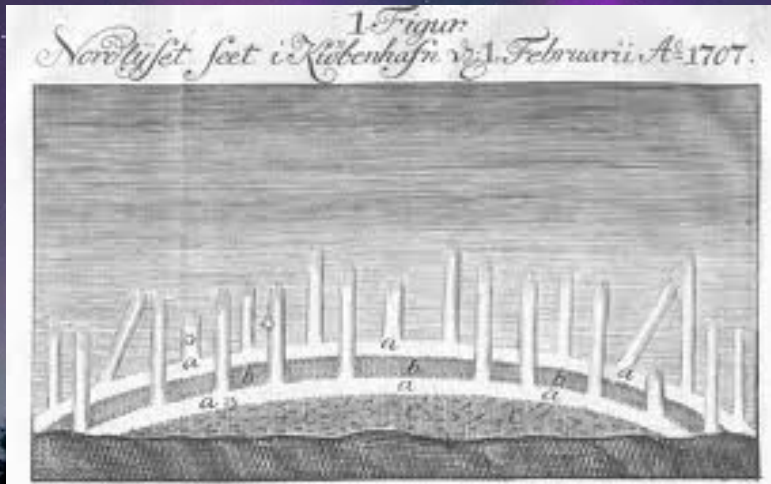
- Måling af stoffers koncentration i opløsninger
 - Meget brugt til biokemi
 - f.eks. DNA, proteiner og enzymer
 - Jens Chr. Skou: krabbenerver
 - opdagelsen af Na-K-pumpen



Regnbuen er et spektrum



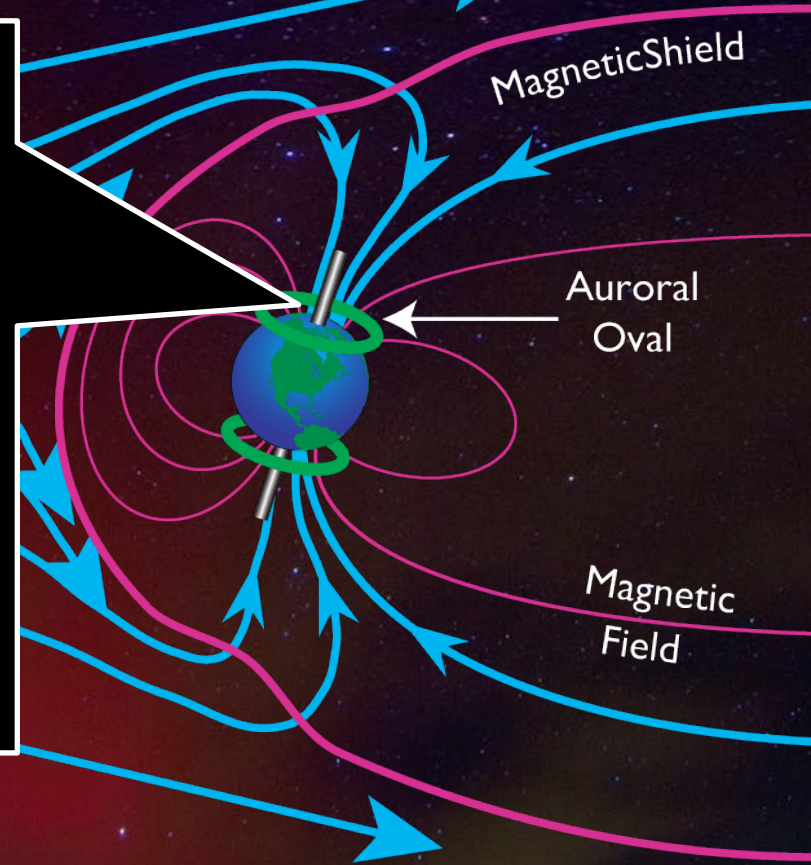
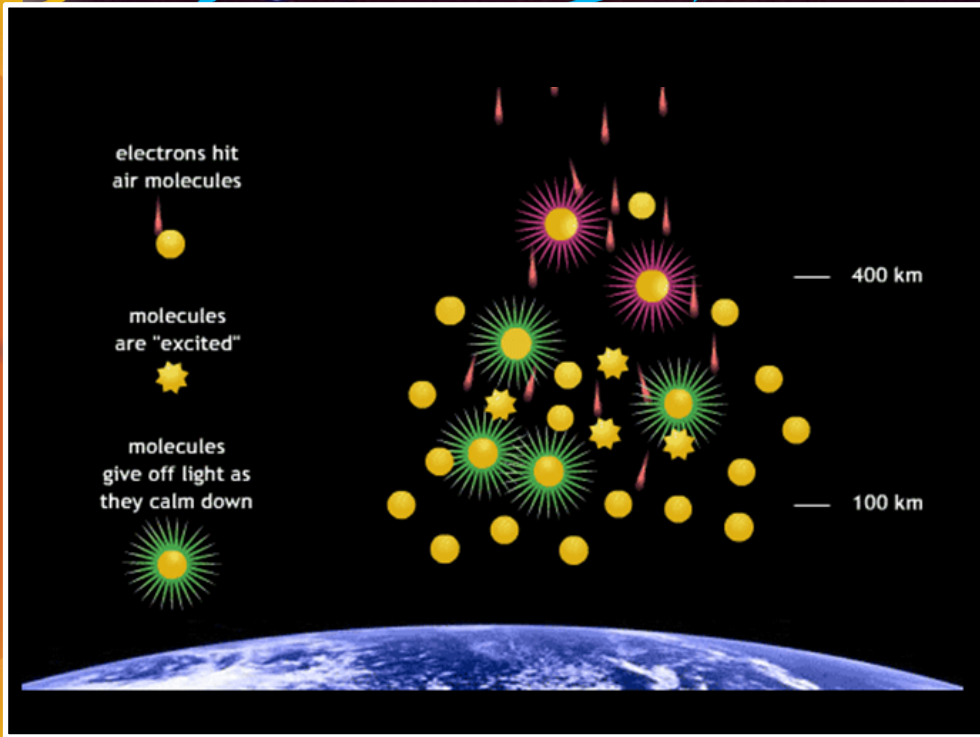
Nordlys



- Ole Rømer beskrev det i 1700-tallet.

- Nu ved vi, at det fortæller om atmosfærens sammensætning og Jordens indre

SUN



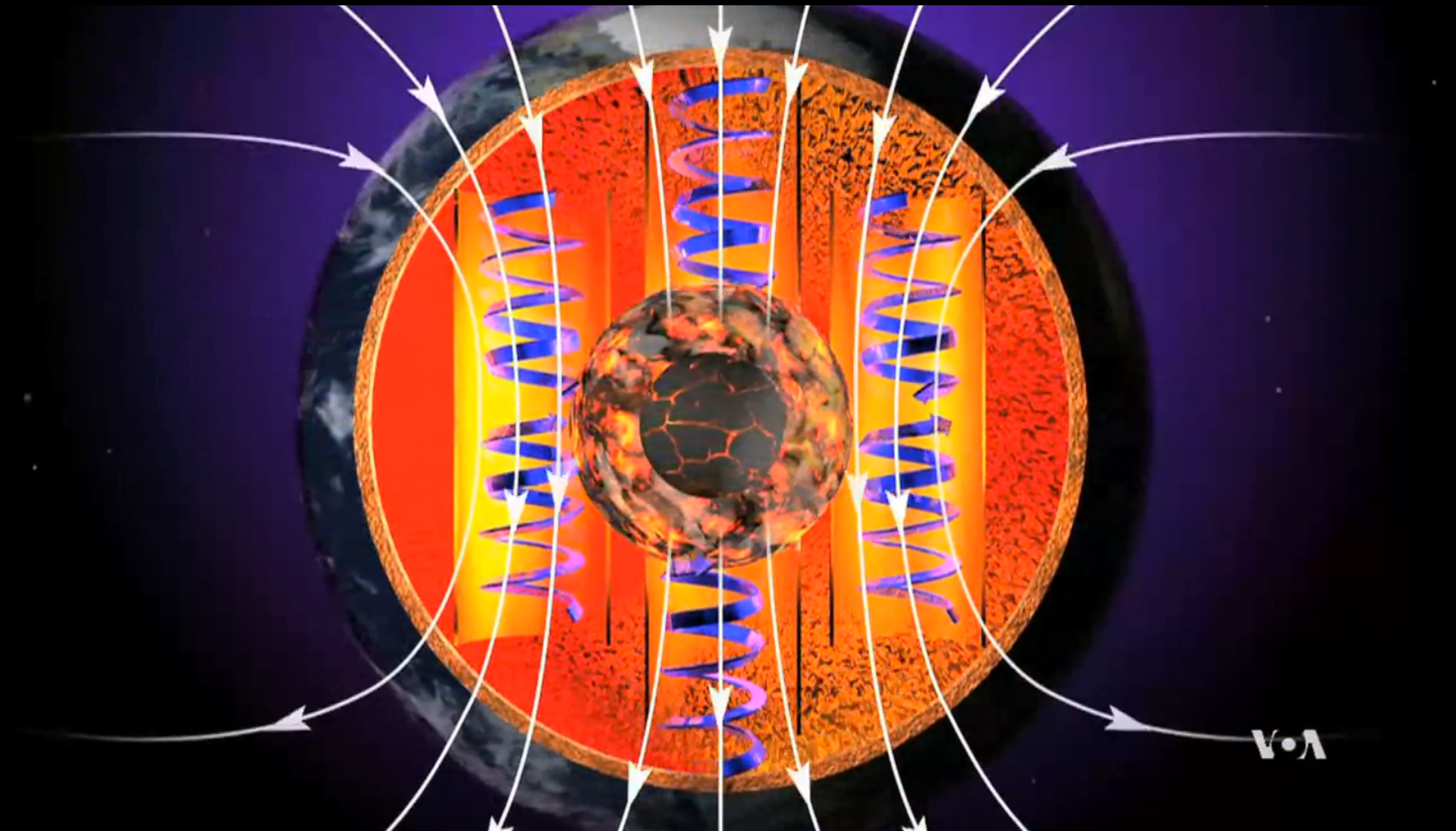
- Nordlys opstår når ladede partikler i solvinden indfanges af Jordens magnetfelt og exciterer atomer i atmosfæren

- 
- Grønne eller brun-røde farver stammer fra oxygen

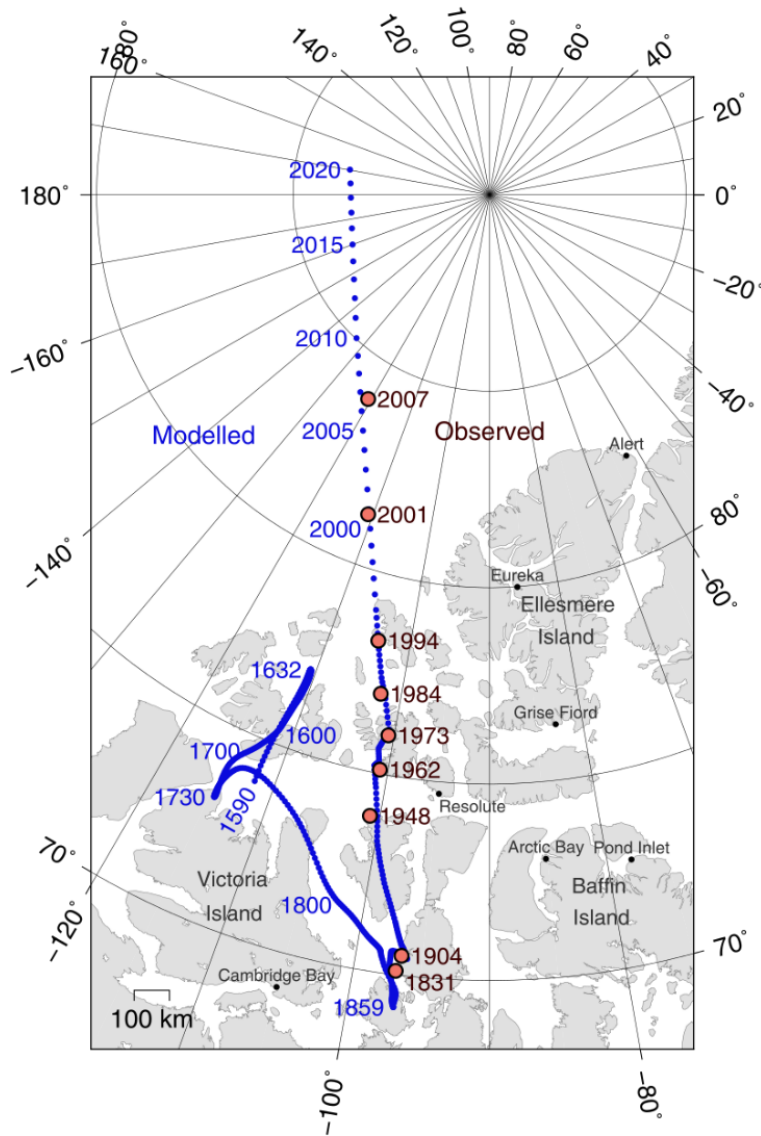


- Blålige farver stammer fra nitrogen

Jordens magnetfelt stammer fra jernkernen

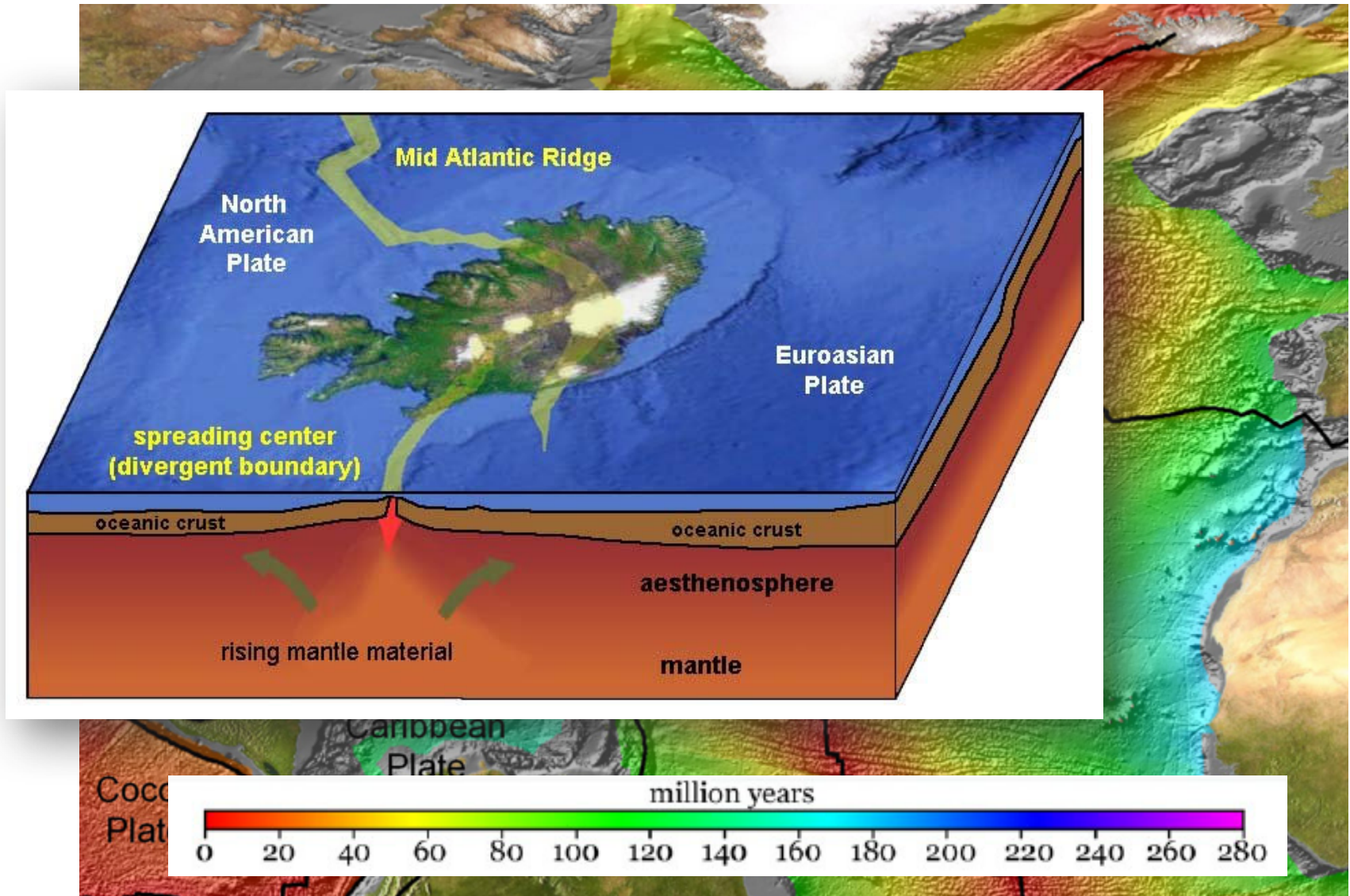


Den magnetiske pol flytter sig



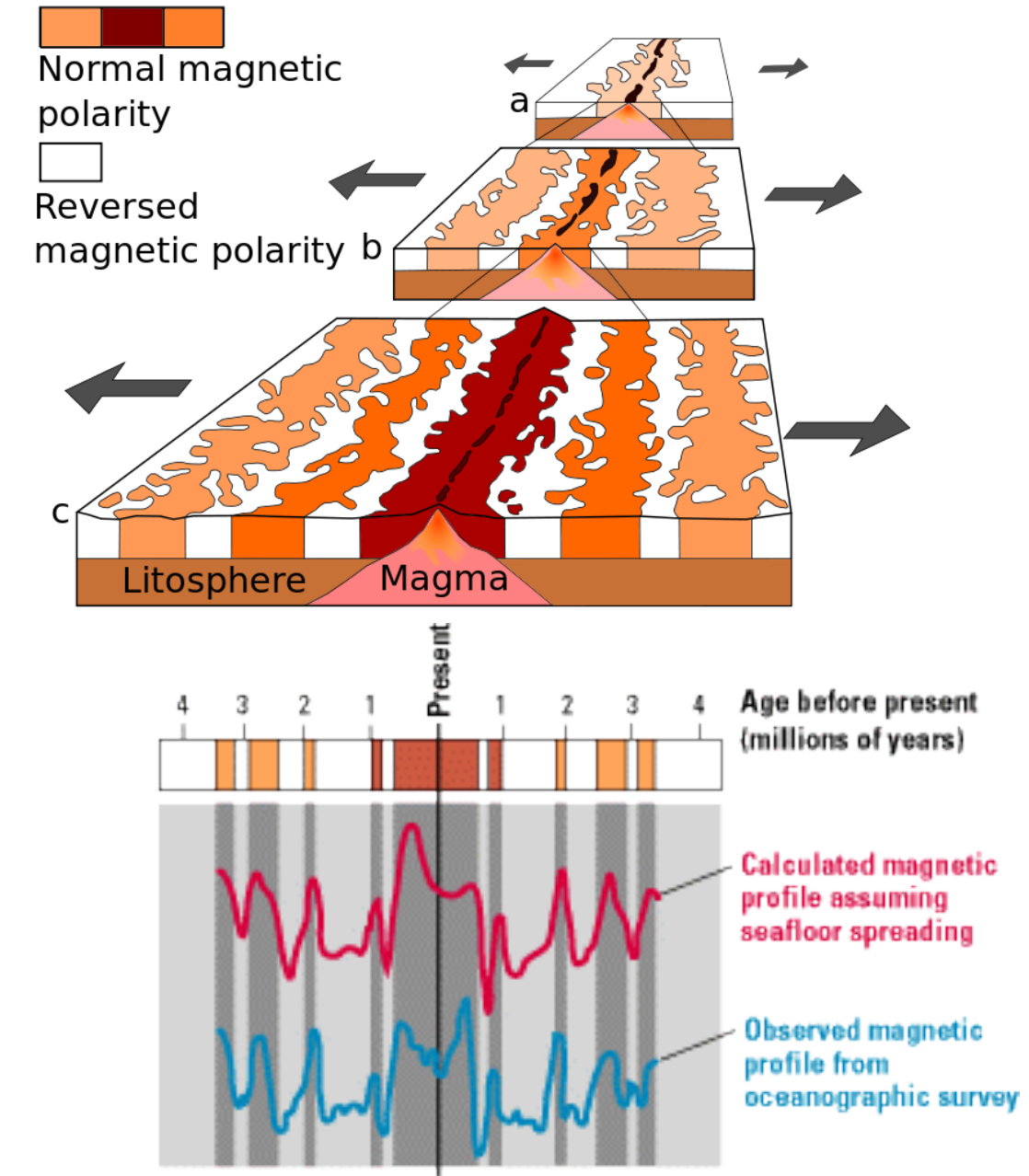
- Bevæger sig ca. 50 km mod Sibirien om året
- Polerne har byttet plads mange gange i Jordens historie.
 - Uregelmæssige mellemrum

Pladetektonik og magnetisme

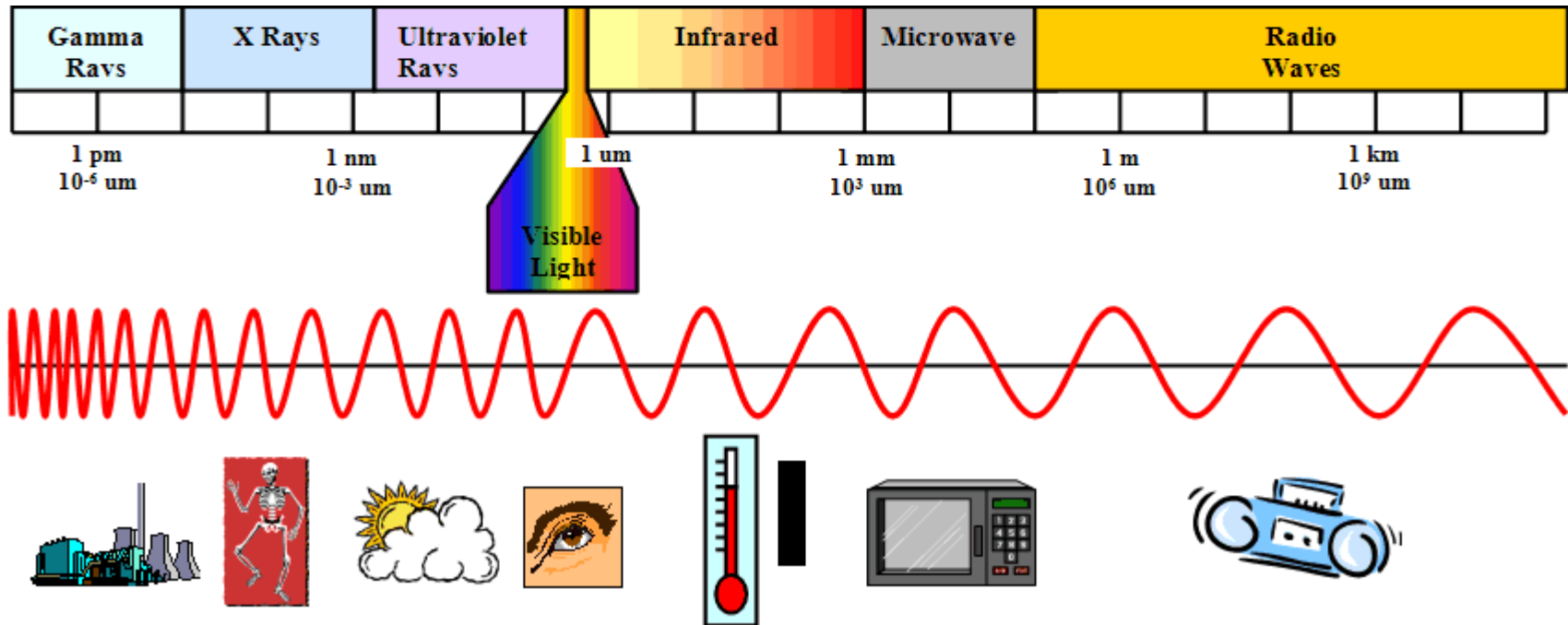


Den magnetiske havbund

- Polvendingerne er registreret i havbundens magnetiske "båndoptager"



Mange slags "lys"



- Det synlige lys udgør kun en meget lille del af det elektromagnetiske spektrum

Infrarød stråling

- I 1801 målte William Herschel, at der er en varmekvælbending uden for det synlige, røde område af spektret



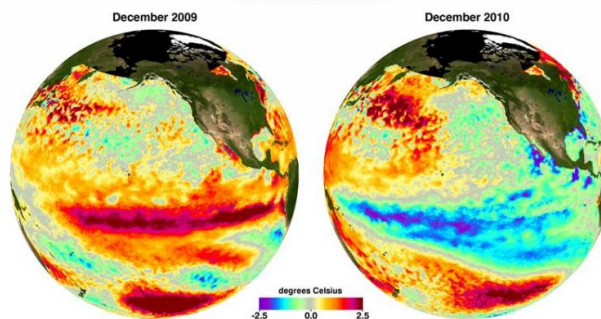
Anvendelser af infrarød stråling

- Termografi



- Satellit-måling af havtemperaturer

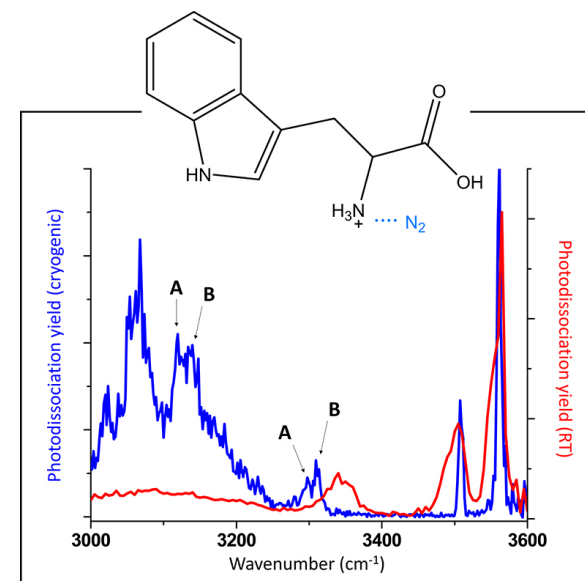
Monthly Averaged Sea Surface Temperature Relative to Normal
Blended AMSR-E and MODIS SSTa



El Nino

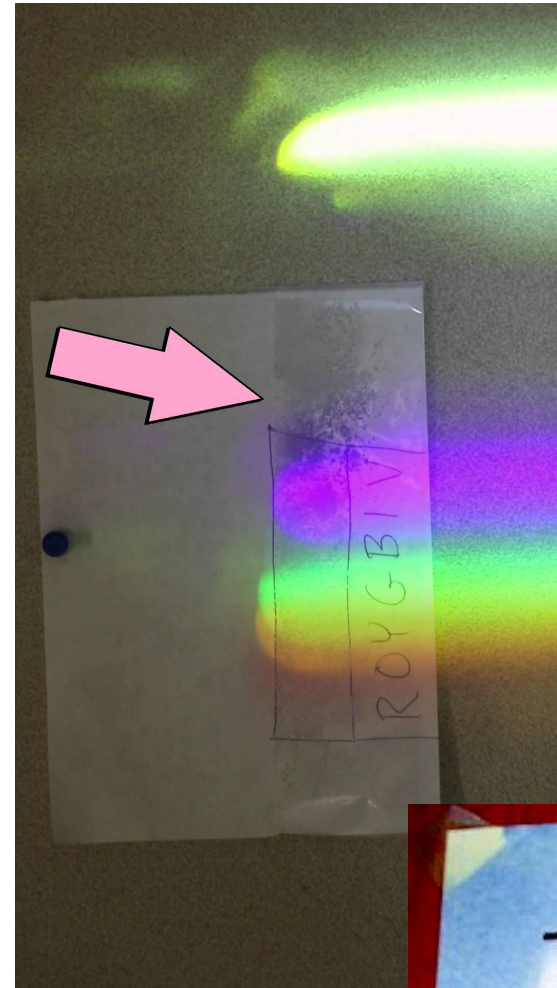
El Nina

- Spektroskopi af molekyler

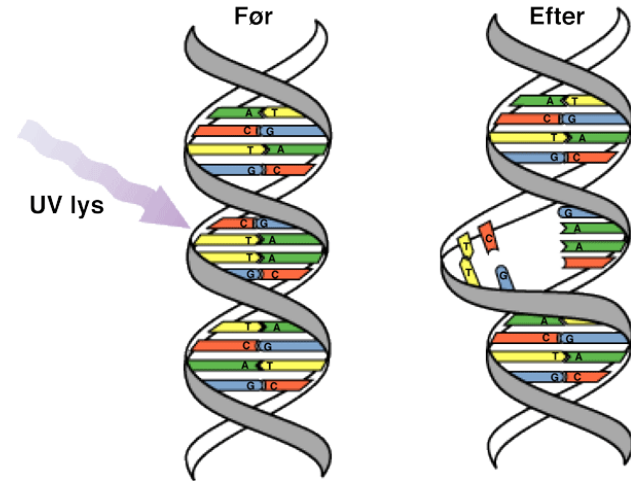
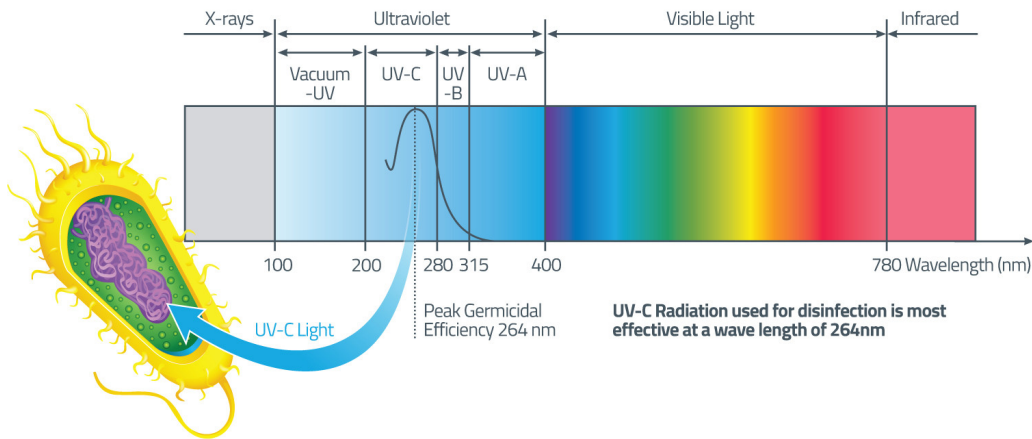


Ultraviolet stråling

- I 1801 opdagede Johann Wilhelm Ritter, at der uden for det violette område af spektret var nogle stråler, som kunne sværte papir med sølvklorid
 - Kan laves med blåtryk-papir



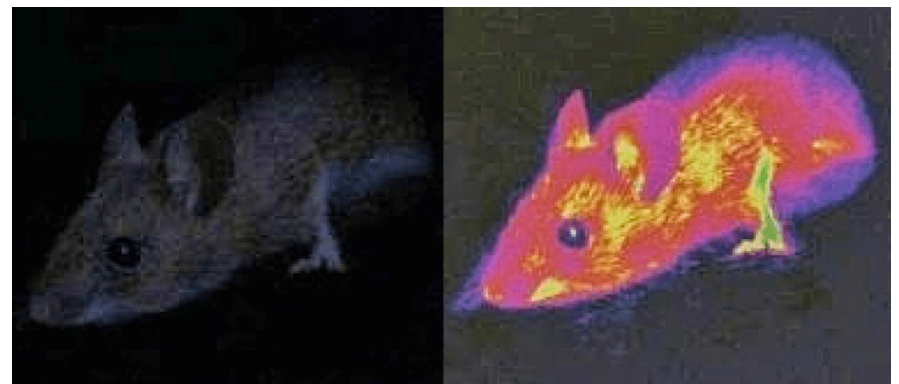
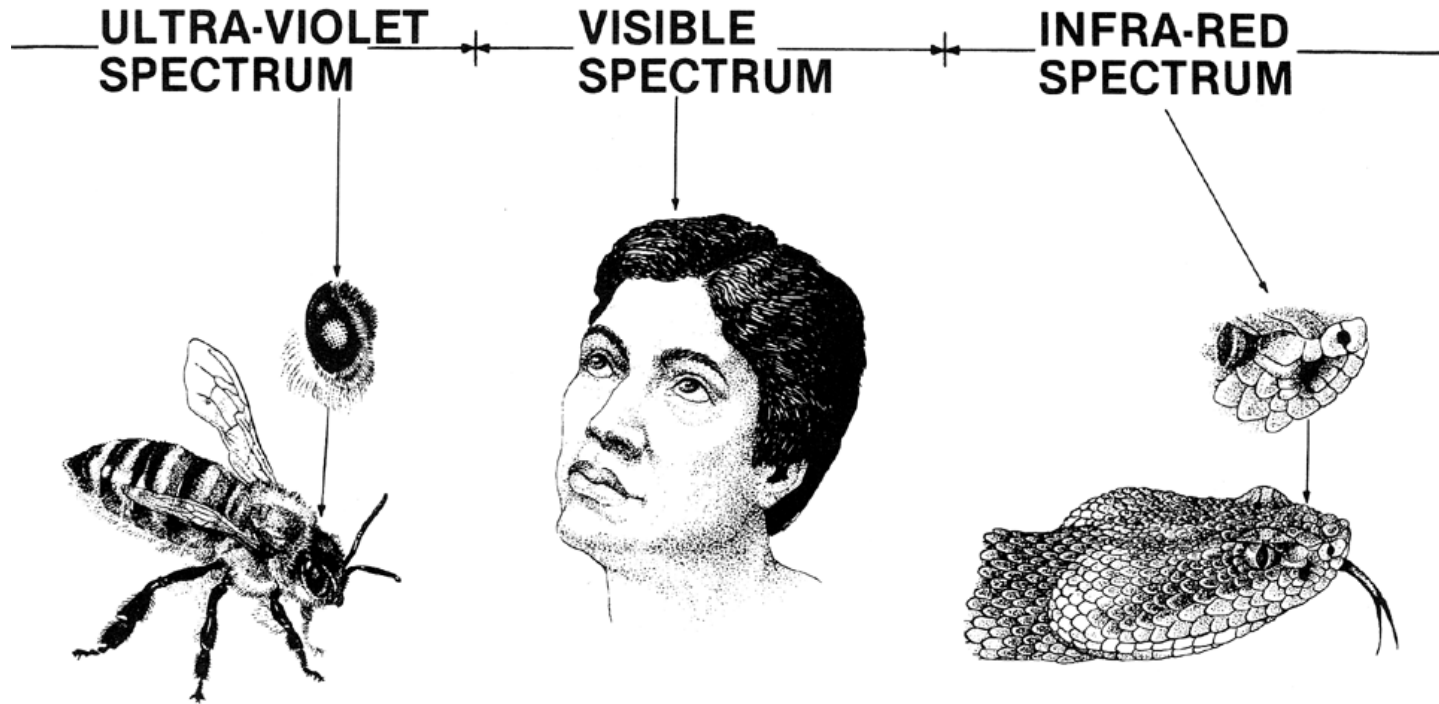
Ultraviolet stråling



- UV-stråling er så energirig, at den kan bryde kemiske bindinger

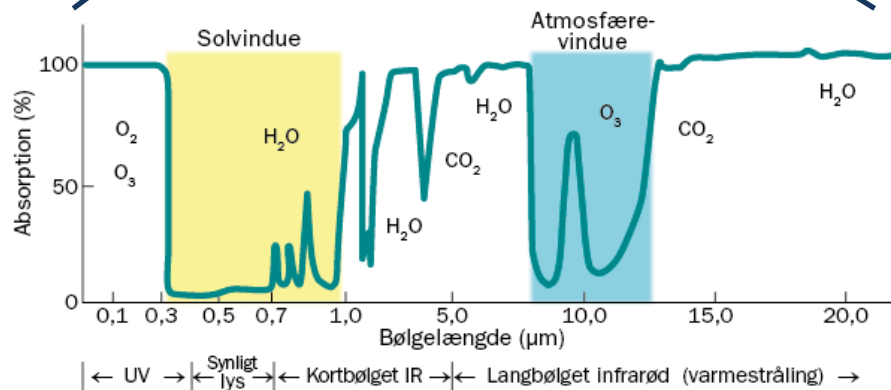
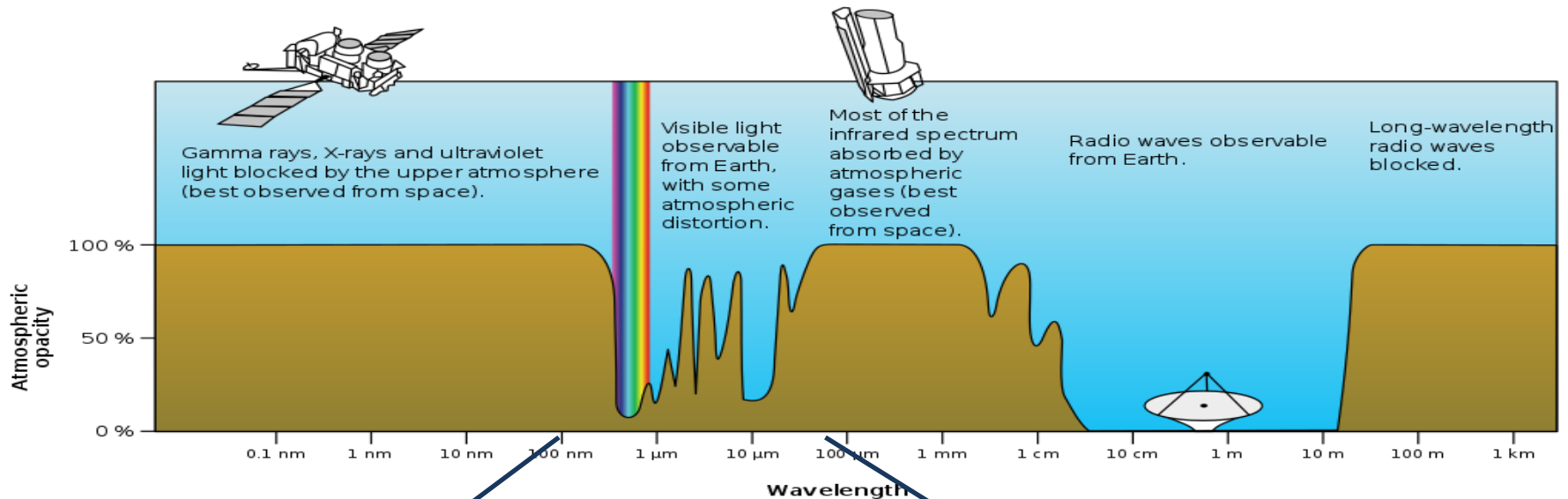


Om at se i forskellige bølgelængder



Atmosfærens absorptionsspektrum

- Ved hvilke bølgelængder er der hul i atmosfæren?

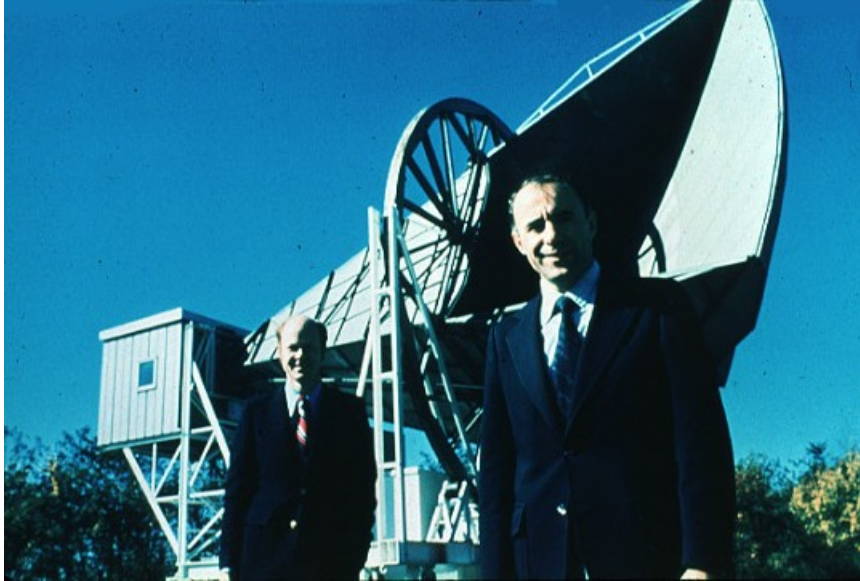


- Hvordan har det påvirket evolutionen?

Andromeda-galaksen i et nyt lys



Den kosmiske baggrundsstråling

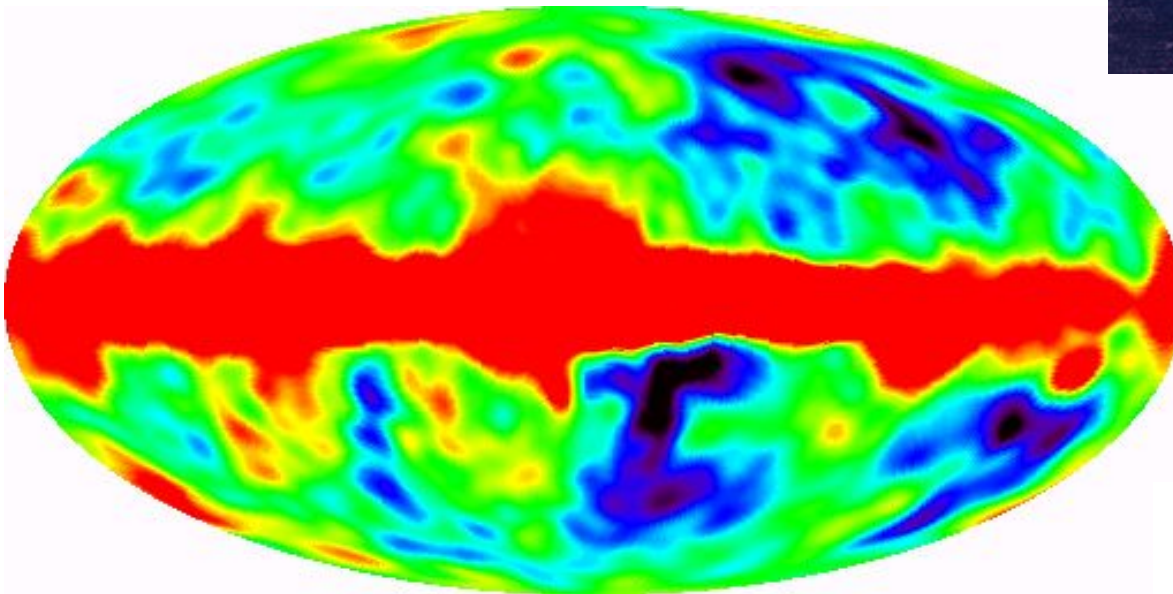
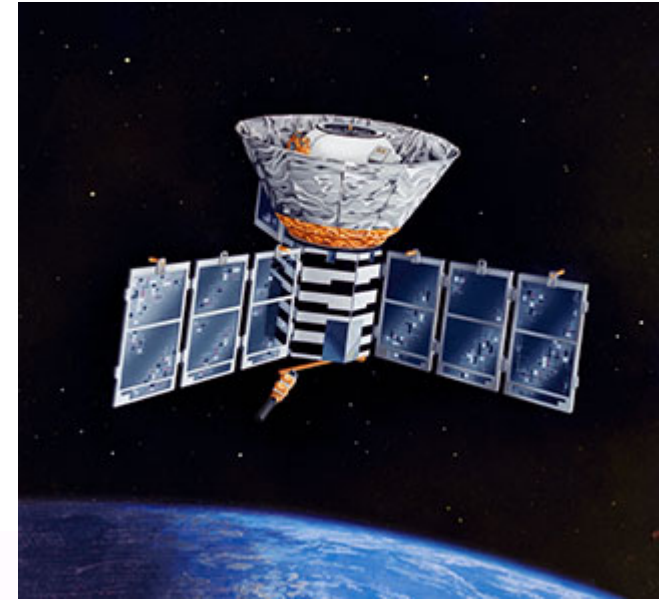


- Opdaget af radioingeniørerne Penzias og Wilson i 1965
- Mikrobølger, ca. 3K
- Næsten ens i alle retninger
- "Eftergløden" fra Big Bang
- Nobelpris 1978



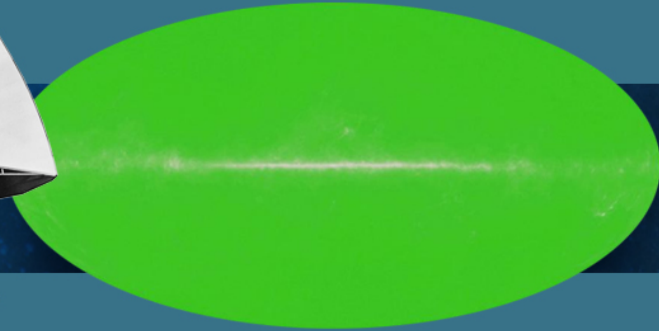
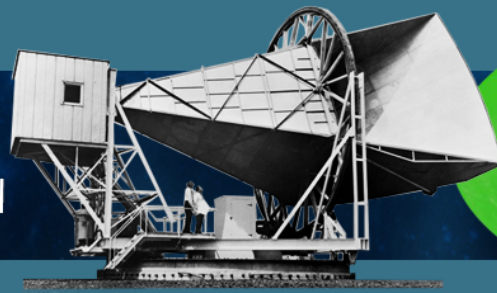
Den kosmiske baggrundsstråling

- 1992: Første måling af anisotropi i strålingen af den amerikanske COBE satellit
- Nobelpris 2006

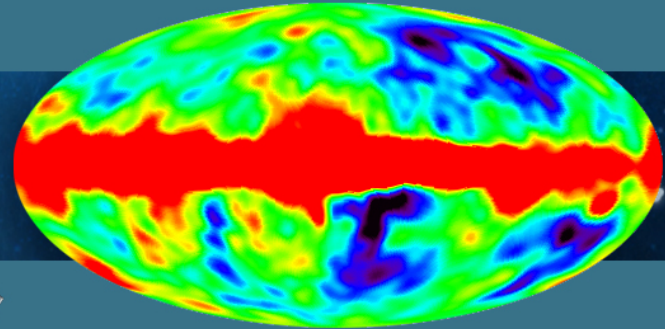


$$(\delta T \approx 30 \mu K)$$

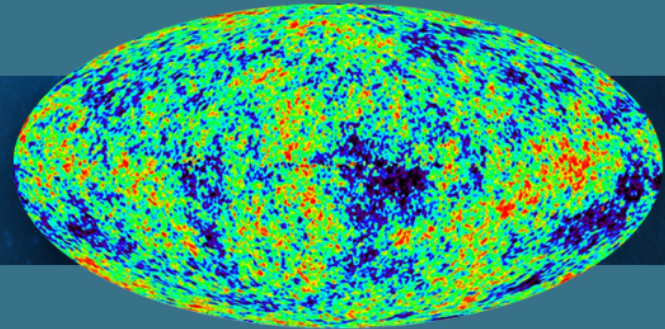
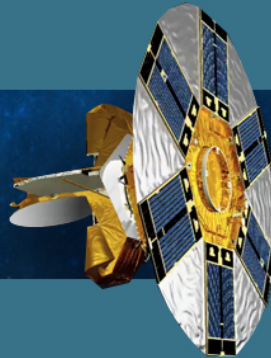
1962
PENZIAS & WILSON



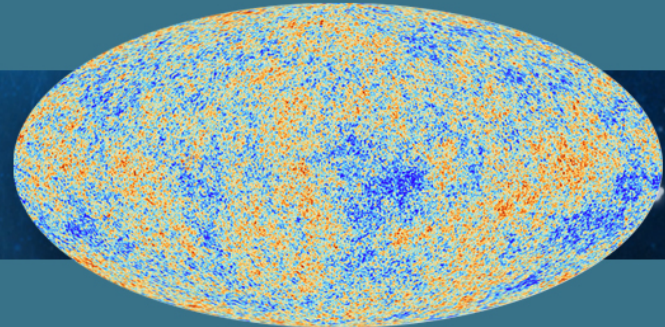
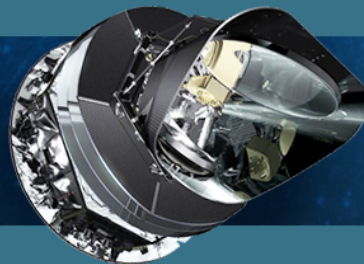
1989-1993
COBE

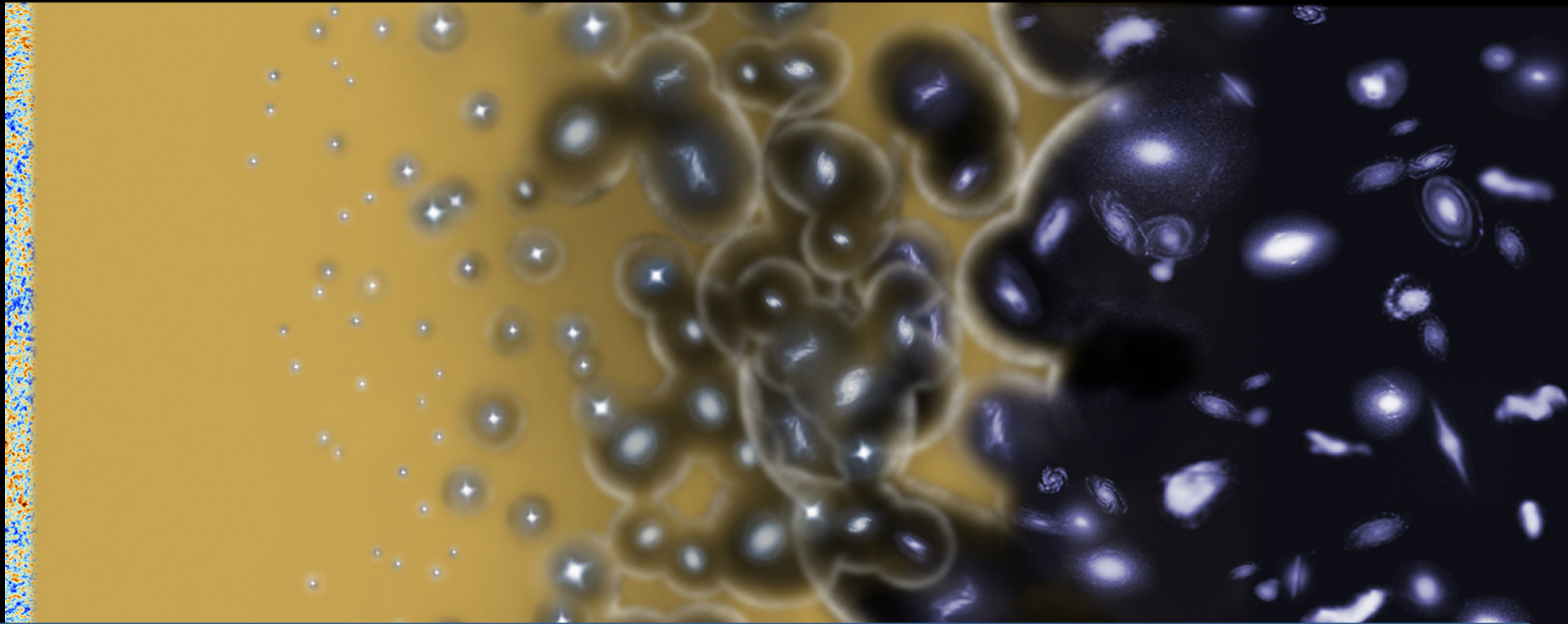


2001-2010
WMAP



2009-2013
PLANK



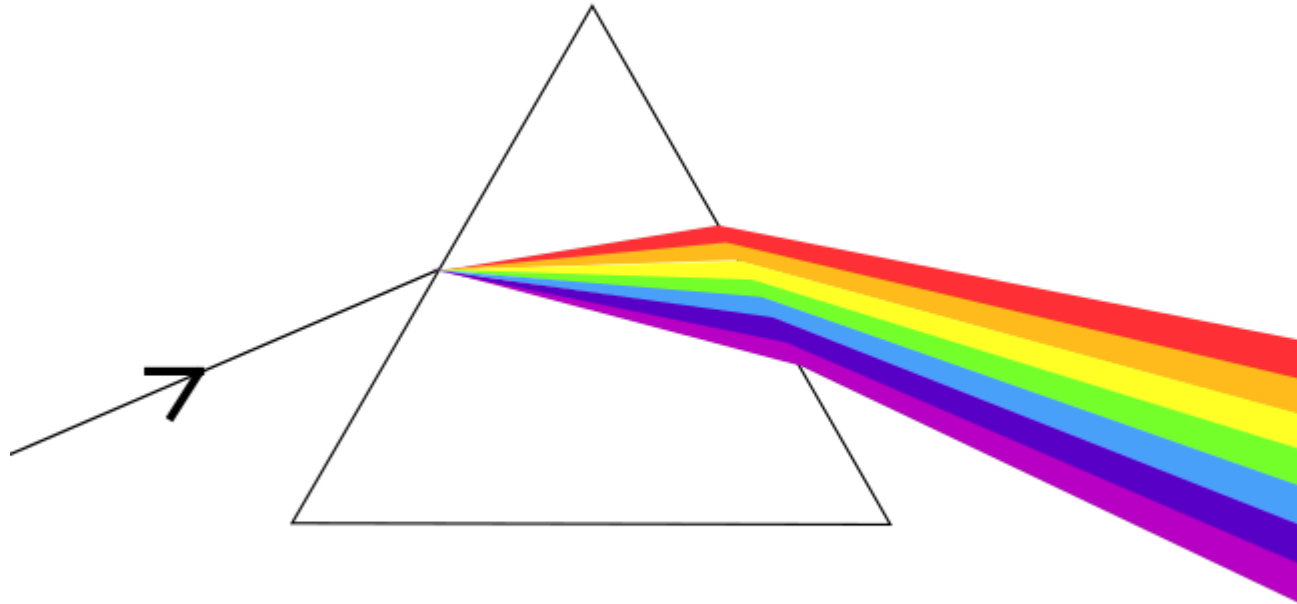


BB

MM

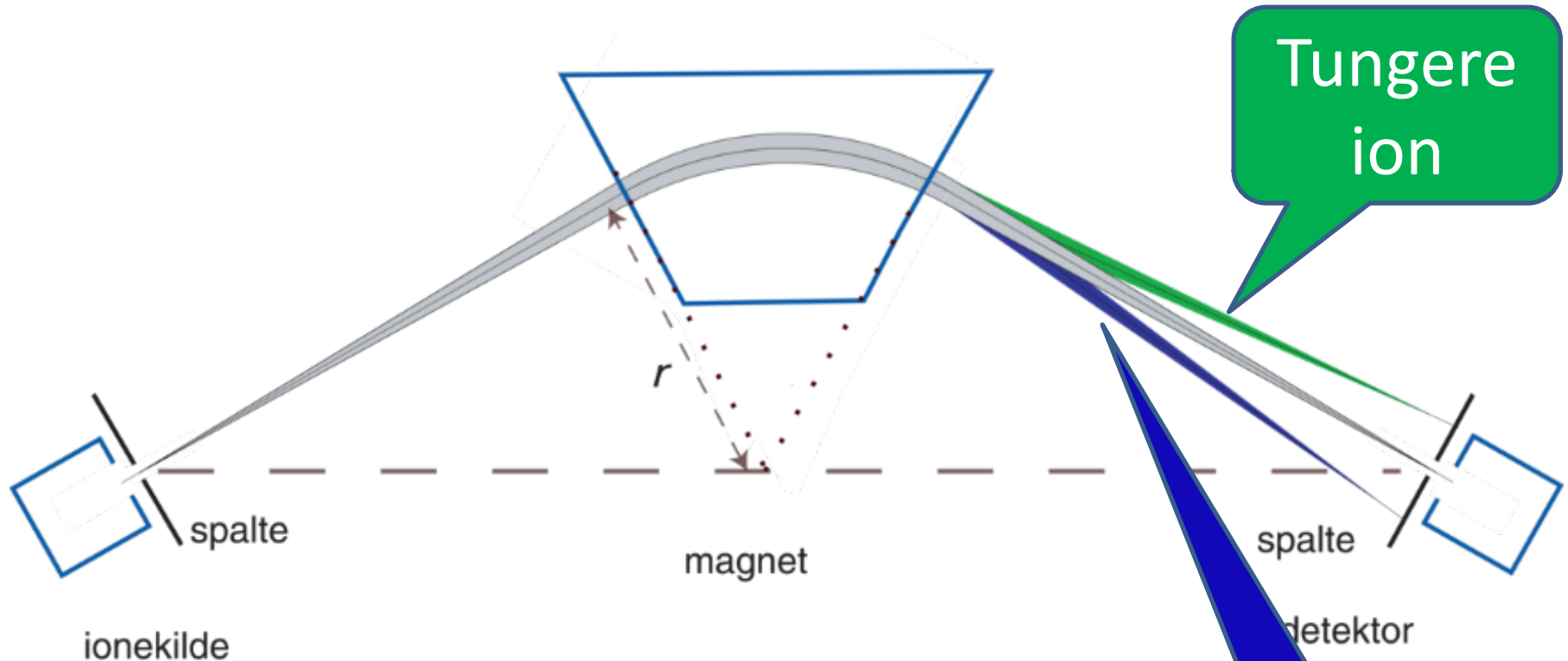
- Målingerne fra Planck-satellitten fortæller os om massefordelingen i det tidligere univers – og dermed om vores forhistorie

Massespektroskopi



- Lys kan sorteres med et prisme

Massespektroskopi

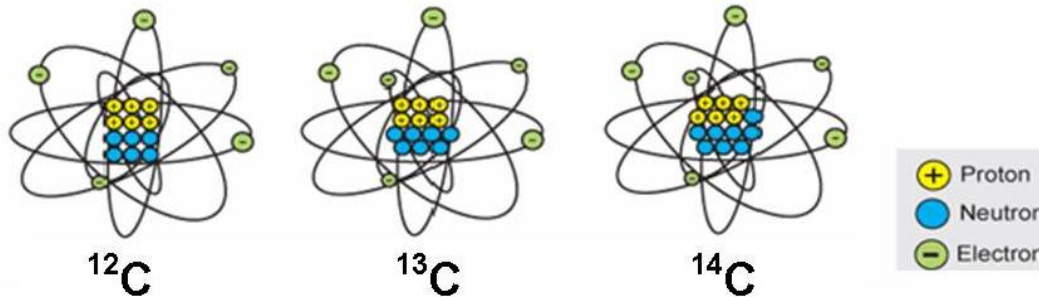


- Lys kan sorteres med et prisme
- Ioner kan sorteres med et magnetfelt

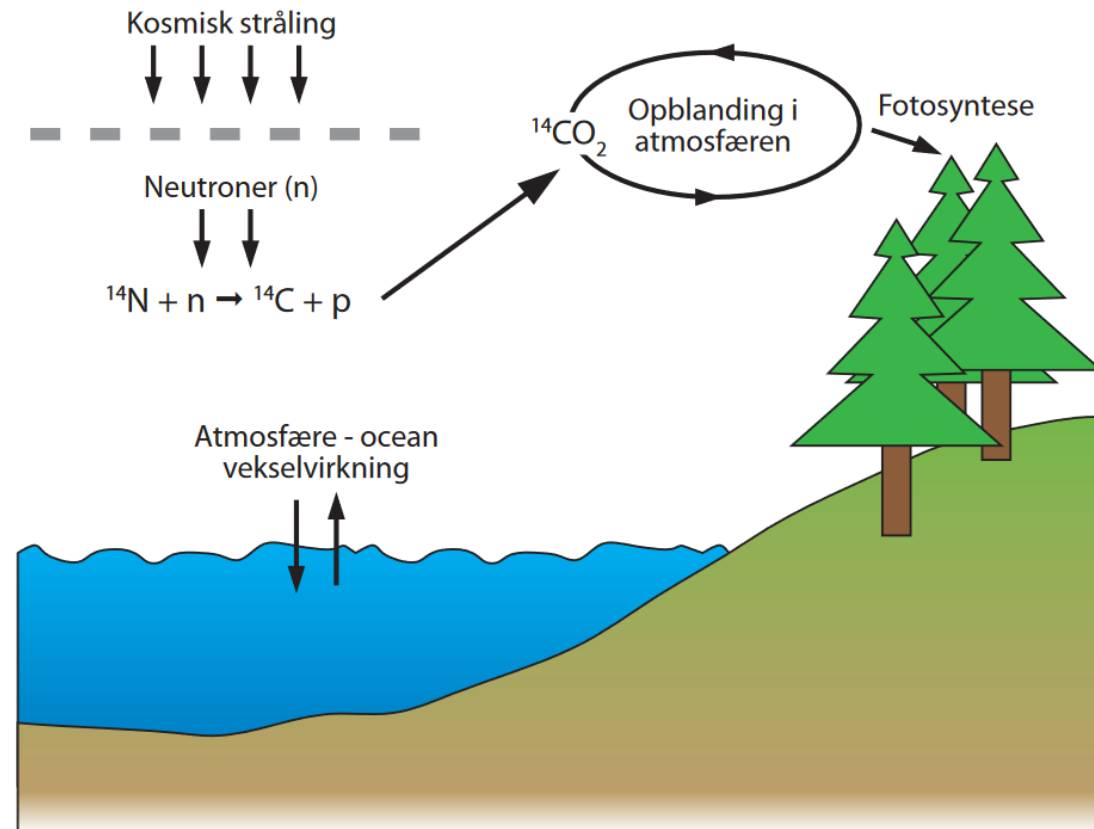
Tungere
ion

Lettere
ion

Kulstof 14-datering

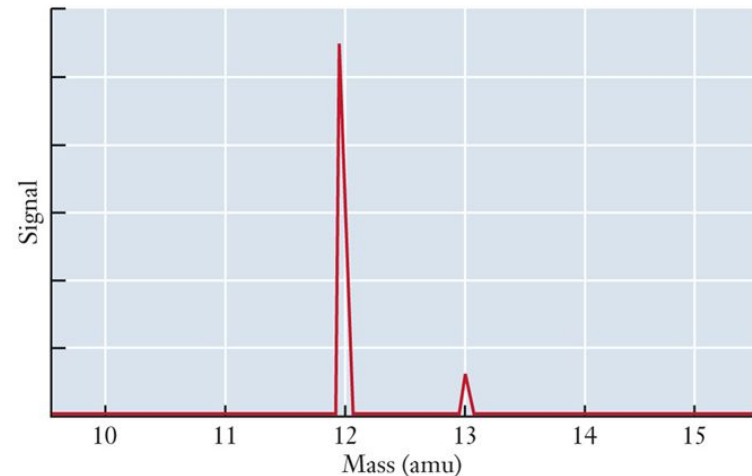
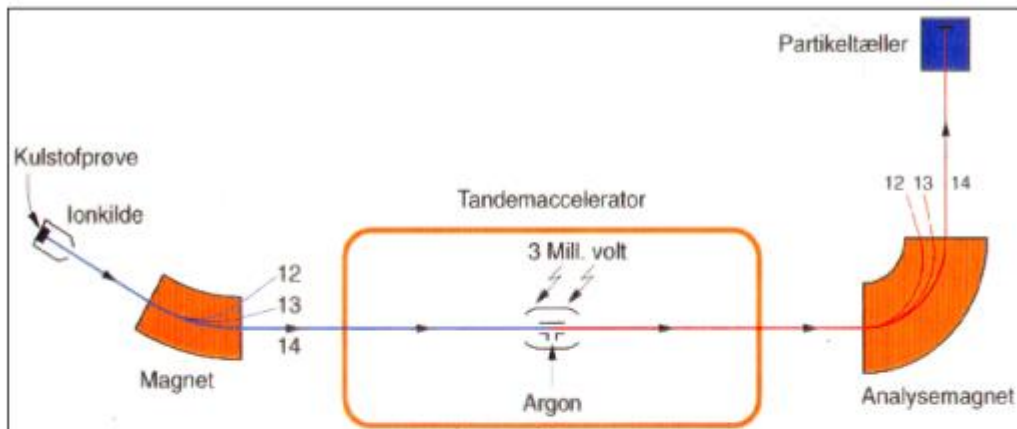
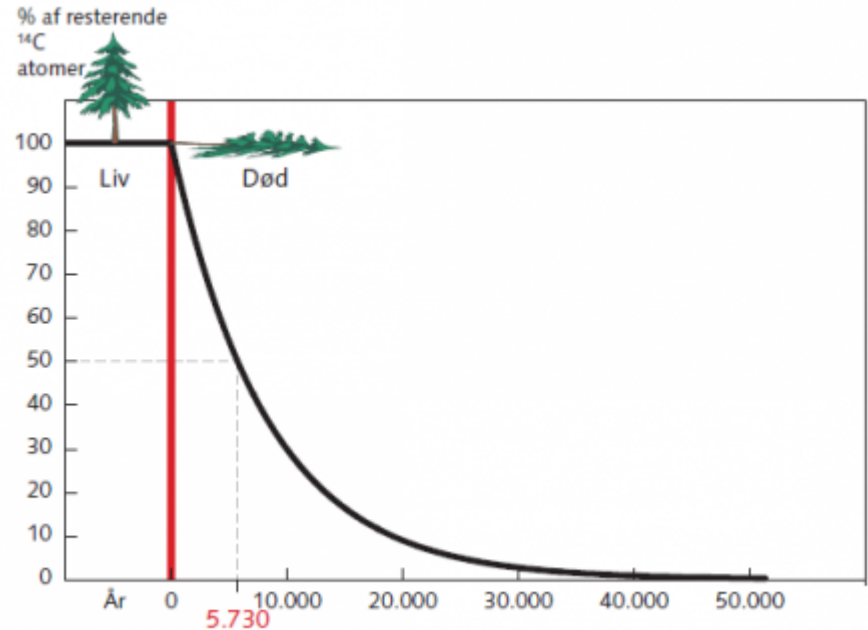


- Kulstof findes i forskellige udgaver (isotoper)
- Kulstof 14 er radioaktiv
 - $T_{1/2} = 5.730$ år
 - Dannes i atmosfæren

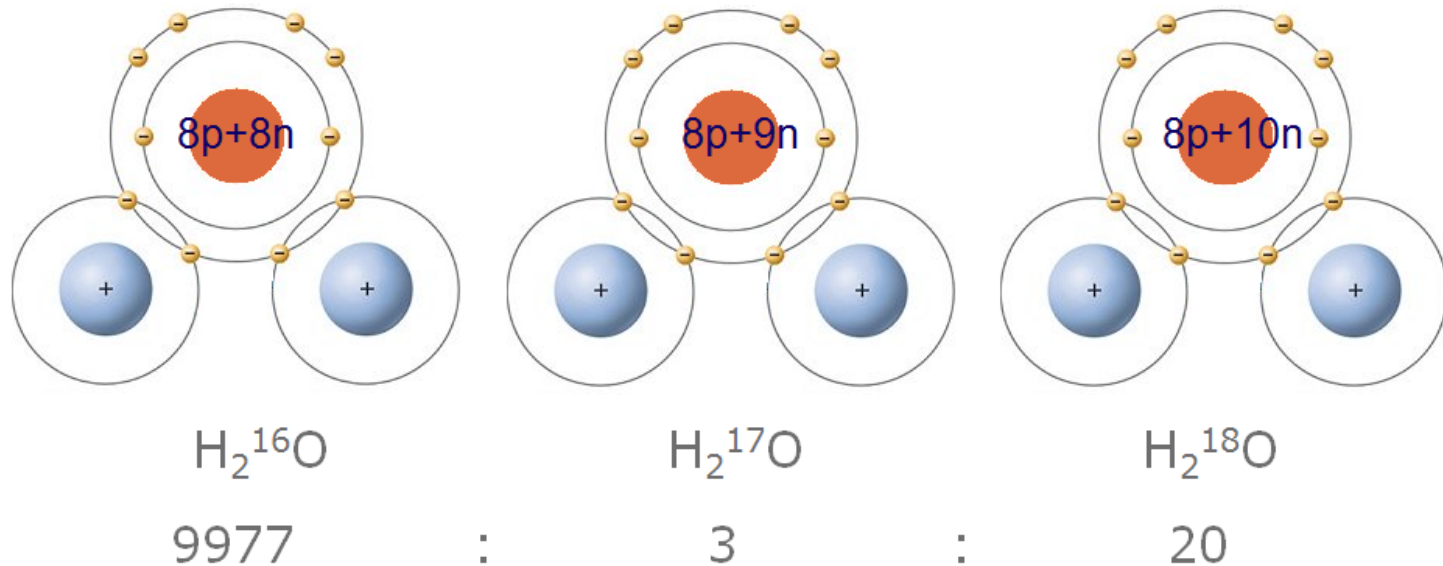


Kulstof 14-datering

- Når organismen dør, falder mængden af kulstof 14
- Dette kan måles og bruges til datering

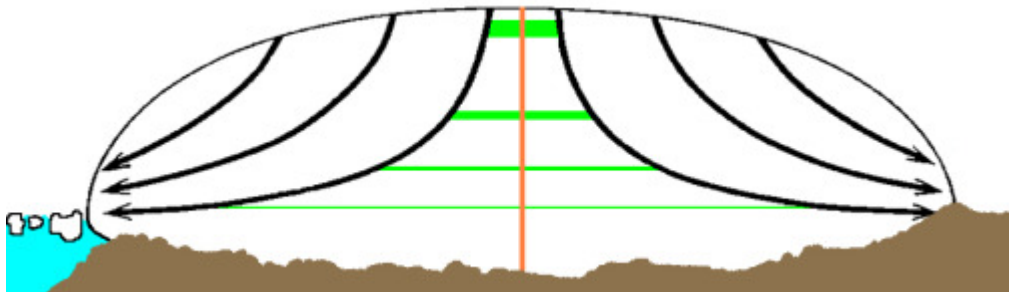
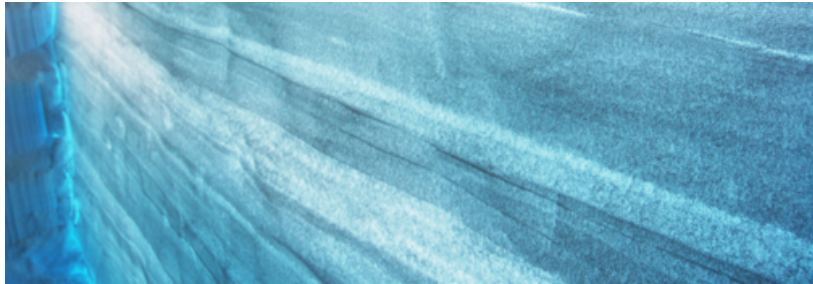


Måling af temperatur (i fortiden)

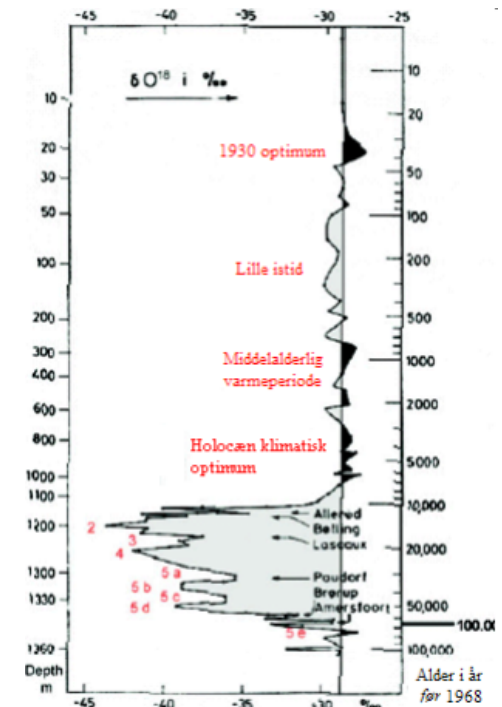
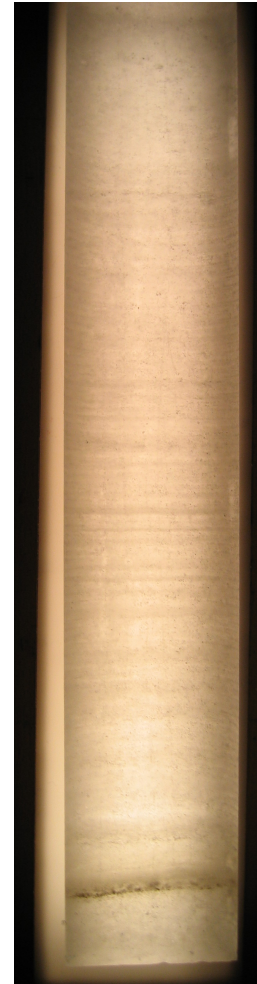


- Ilten i vand findes også i forskellige vægtudgaver
- Vandets fordampning eller fortætning afhænger af massen
- Jo mindre ^{18}O der er i regn og sne i forhold til ^{16}O , desto koldere har klimaet været.

Måling af temperatur m. iskerner

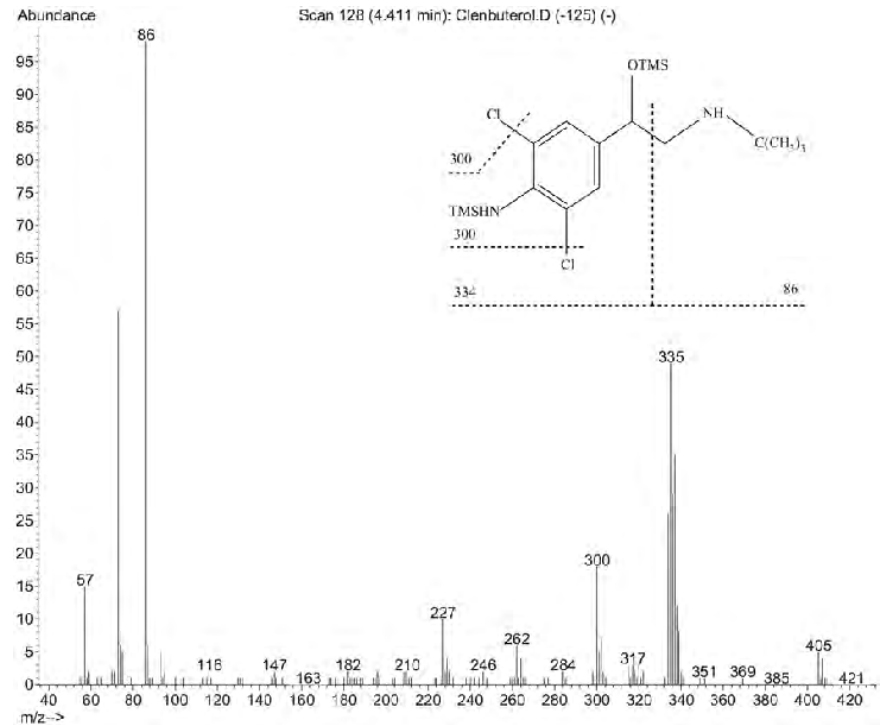


- Ved at måle mængden af ^{18}O i de forskellige lag, får man et mål for temperaturen da sneen faldt



Dopingkontrol

Hvordan finder man
0,00000000005 gram doping?



Fra big bang til moderne menneske

Eksempler på viden fra spektroskopiske teknikker

Big Bang og universets udvidelse	Rødforskydning Måling af mikrobølgespektrum
Stjerner opbygning og grundstofindhold	Studier af spektrallinjer
Galaksers og exoplaneters bevægelse	Dopplerforskydning af spektre
Nordlys. Jordens magnetfelt og indre opbygning.	Optisk spektroskopi Massespektroskopi
Klimaforandringer	Datering og isotopmålinger med massespektroskopi
Evolution af forskellige arters syn	Om at se med forskellige bølgelængder
Det moderne menneske kan analysere og syntetisere	Spektrofotometri Massespektroskopi