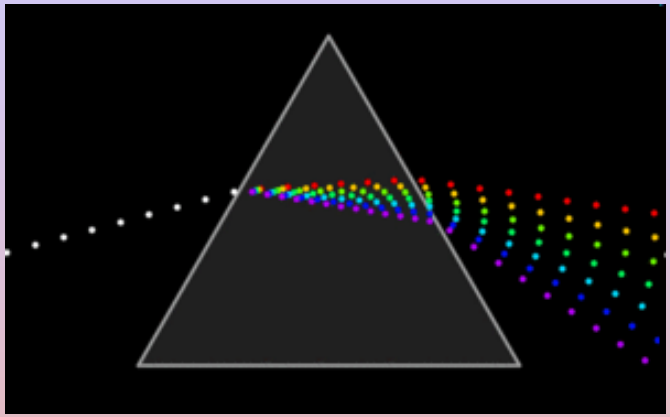
Det elektromagnetiske spekteret

En sentral kilde til kunnskap om Universet



Erlend Rønnekleiv og Birger Andresen
Trondheim Astronomiske Forening
http://www.taf-astro.no/

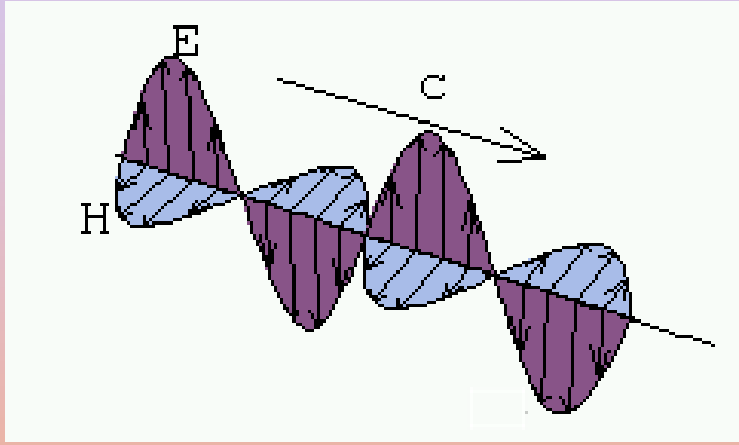
TAF
TRONDHEIM ASTRONOMISKE FORENING
STIFTET 1998

Innhold

- Elektromagetisk stråling, spektrum og strålingslovene
- Spektrografer
- Emisjon og absorpsjon av stråling
- Stråling fra hydrogenatomet
- Dopplerforskyvning
- Faktorer som påvirker bredden til spektrallinjer
- Linjesplitting i magnetfelter og elektriske felt
- Anvendelser

Hva er elektromagnetisk stråling?

Elektromagnetisk stråling er svingninger i elektriske og magnetiske felter som beveger seg gjennom rommet med lysets hastighet. Bølgebevegelsen skjer vinkelrett på bevegelsesretningen.



Bølgelengde, frekvens og energi

Bølgelengde **(λ)** = Avstanden mellom to bølgetopper

Frekvens **(f) = c/λ** = Antall bølgetopper per sekund.

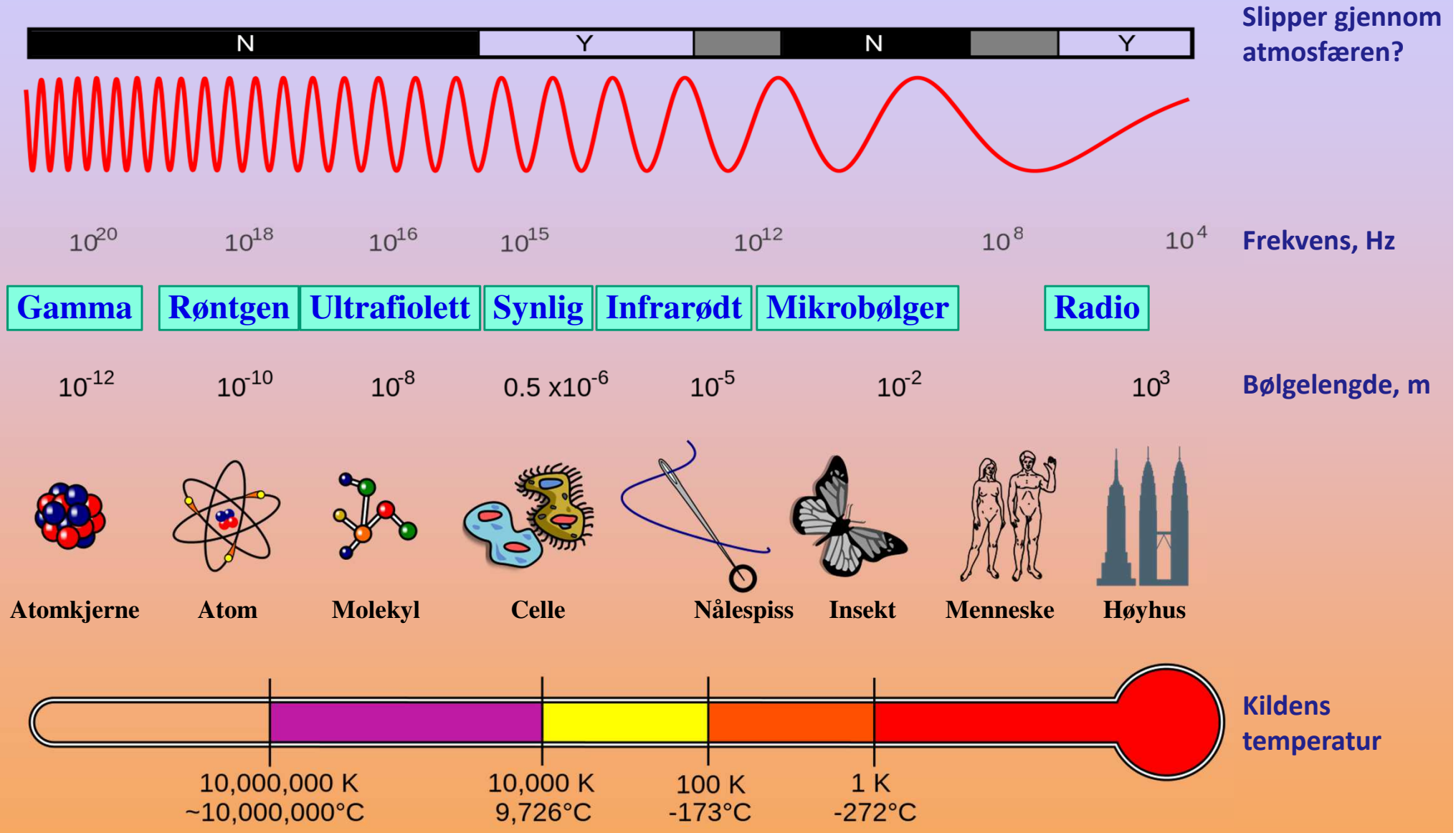
c = 299 492 458 m/s = lyshastigheten

Fotonenergi **(E)** = hf.

h = 6.626176 x 10^{-34} Js = Plancks konstant.

Eksempler: gammabølger, røntgenbølger, lys, mikrobølger, radiobølger.

Det elektromagnetiske spektrum



Det elektromagnetiske spektrum

Det elektromagetiske spektrum består av stråling med alle mulige frekvenser.

Tabell 1 : Omtrentlige bølgelengder for den synlige delen av det elektromagnetiske spektrum (lys) jfr. Ringnes, "Klassisk og Moderne Astronomi", Aschehoug (1978).

Farge	Omtrentlig bølgelengde	Kommentar
Dyp fiolett	380nm	Grense mellom fiolett og ultrafiolett
Fiolett	410nm	
Indigo	440nm	
Blått	470nm	
Grønt	500nm	
Gult	570nm	
Orange-rødt	600nm	
Rødt	650nm	
Dyp rødt	700nm	Grensen mellom rødt og infrarødt

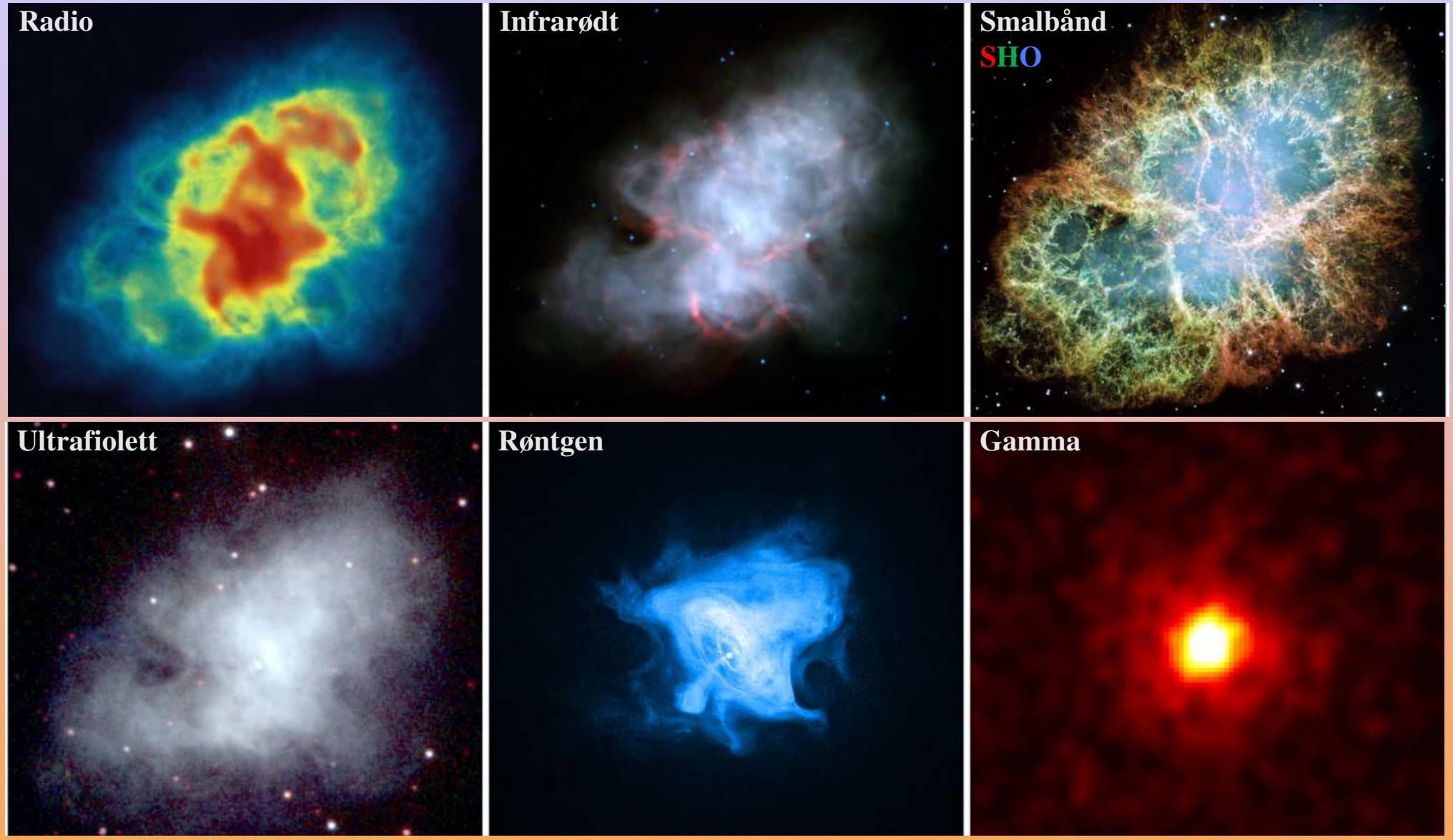
Tabell 2 : Det elektromagnetiske spektrum jfr. Philip's Astronomy Encyclopedia (2002).

Område	Bølgelengdeområde	Typisk temperatur på objekt
Gammastråling	Kortere enn 0.01 nm	Høyere enn ca. 100 000 000 K
Røntgenstråling	0.01 – 10 nm	ca. 200 000 – 100 000 000 K
Ultrafiolett stråling	10 – 380 nm	ca. 10 000 – 200 000 K
Lys	380-700 nm	ca. 3 500 – 10 000 K
Infrarød stråling	700 nm – 1 mm	ca. 3 K – 3 500 K
Radiobølger	Lengre enn 1 mm	Lavere enn ca. 3 K

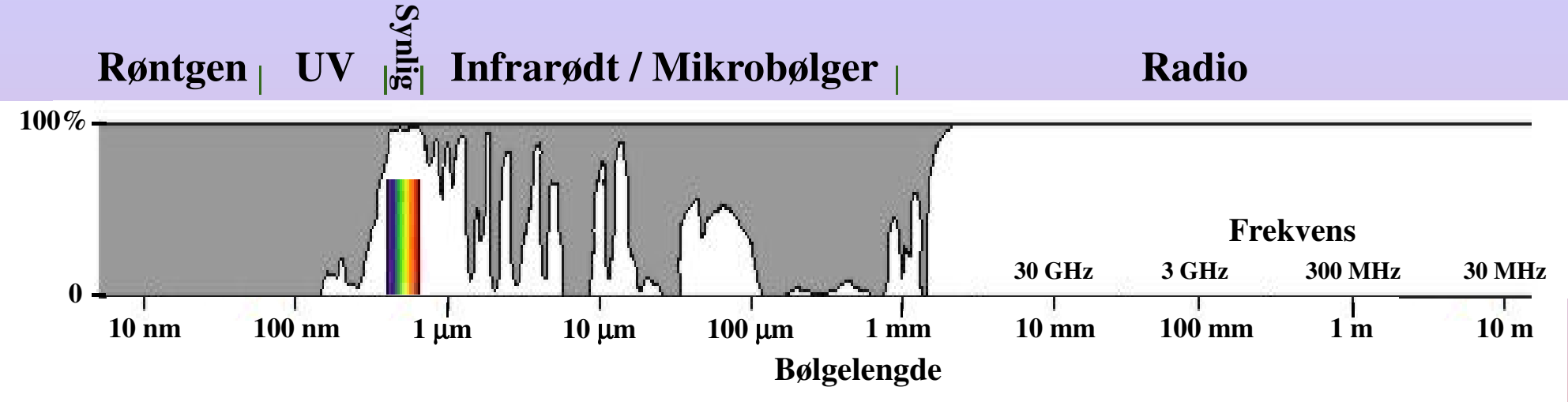
[2] 1 nanometer = 1nm = 10^{-9}m = 0.000 000 001m. Ofte brukes også ångstrøm (Å); 1 Å = 10^{-10}m = 0.1 nm.

Krabbetåken

900 år gammel supernovarest.
6 500 lysår borte, i Melkeveien.



Absorpsjon i jordas atmosfære



Store deler av spekteret slipper ikke gjennom jordas atmosfære. Disse bølgelengdene kan kun observeres fra **satelitter**, fly, balonger etc.

⇩

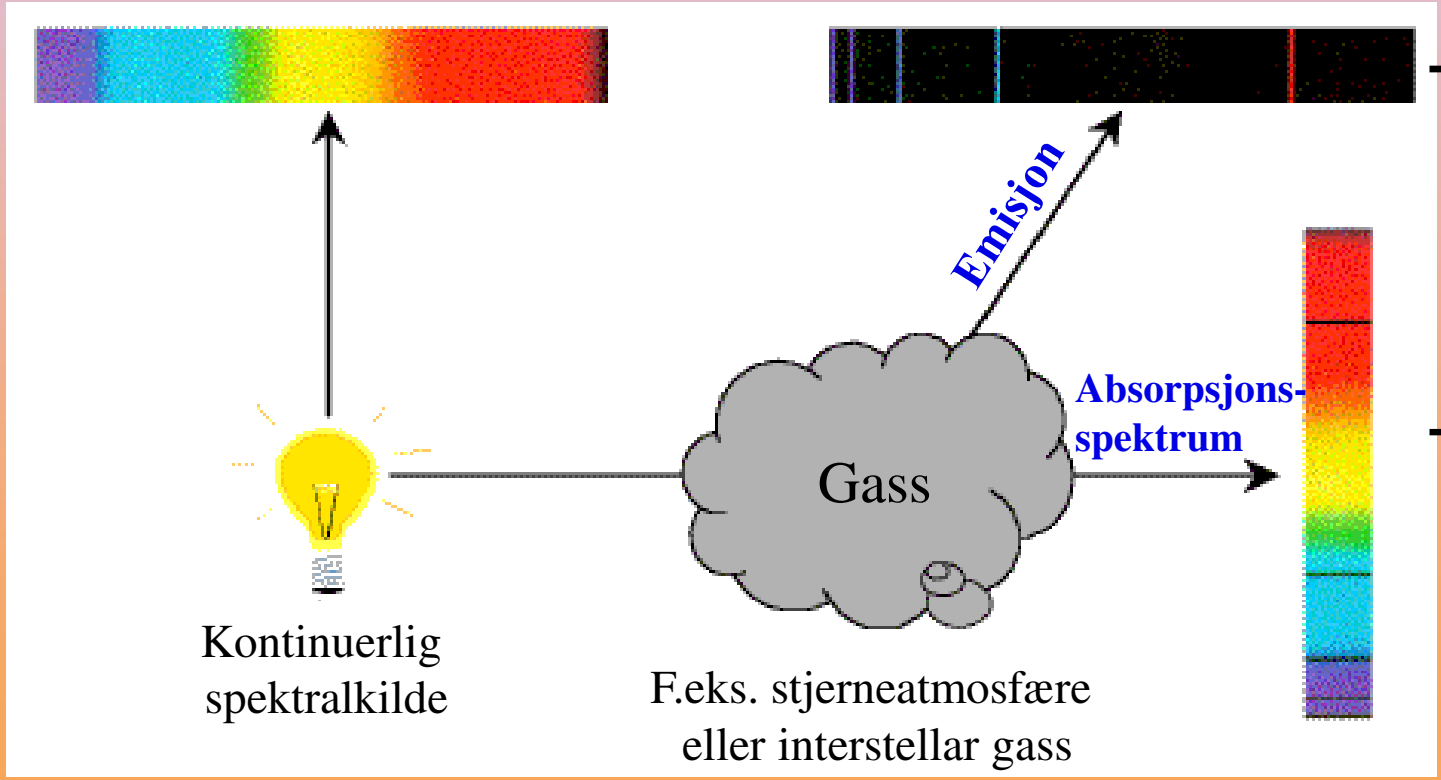
Dette har gitt oss informasjon som var ukjent inntil ganske så nylig.

Ulike typer spektrum

Glødende, faste eller flytende stoffer samt sterkt sammenpressede gasser sender ut et **kontinuerlig spektrum**:

Gass som belyses av en kontinuerlig kilde gir et **linjespektrum:**

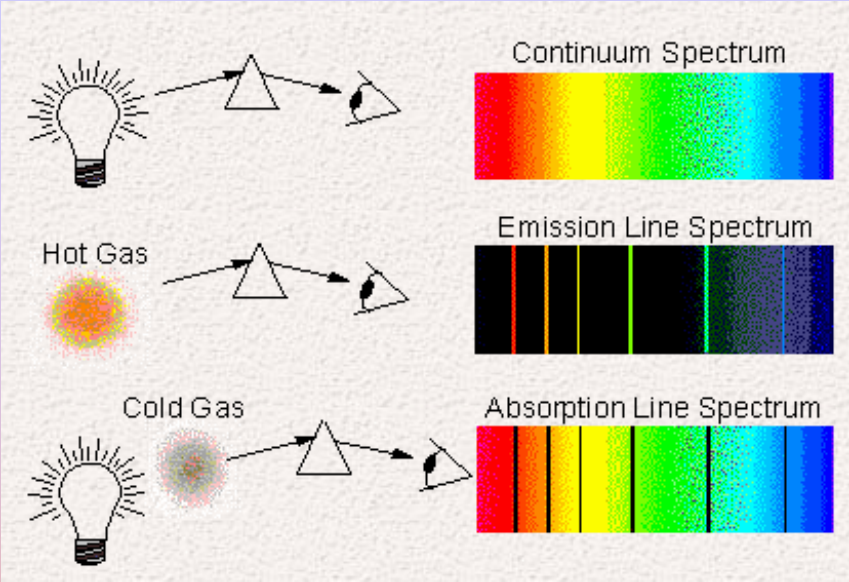
- Lys som går gjennom gassen får et **absorpsjonsspektrum**.
- Det som spres i andre retninger er et **emisjonsspektrum**.



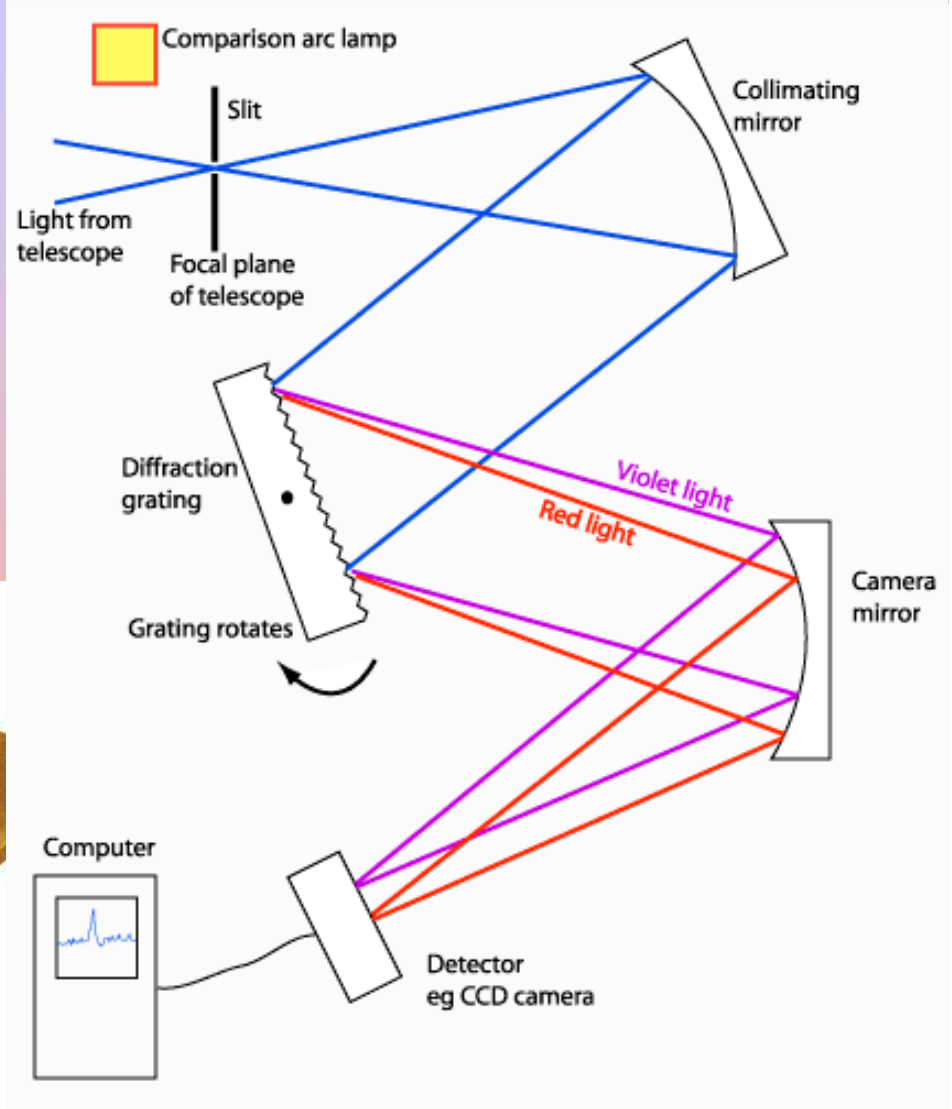
Hovedanvendelse:
Bestemme innhold av ulike grunnstoffer og molekyler i en gasståke.

Hovedanvendelse:
Bestemme kjemisk sammensetning av stjerners atmosfære og gasser rundt stjerner.

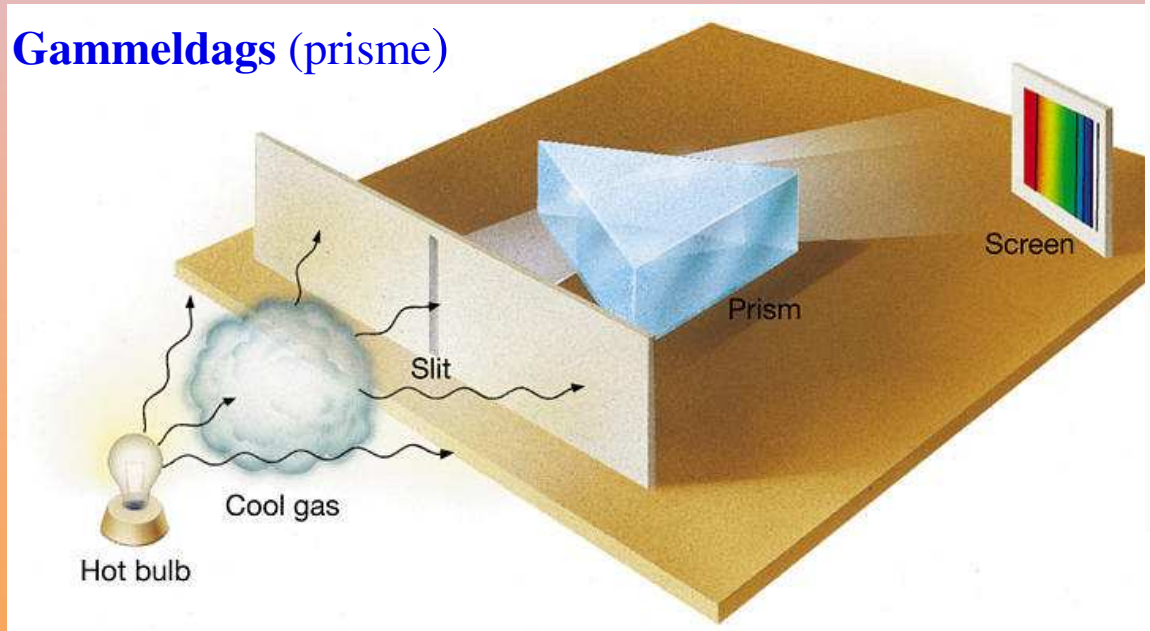
Prinsipp for spektrografer



Moderne (diffraksjonsgitter)



Gammeldags (prisme)



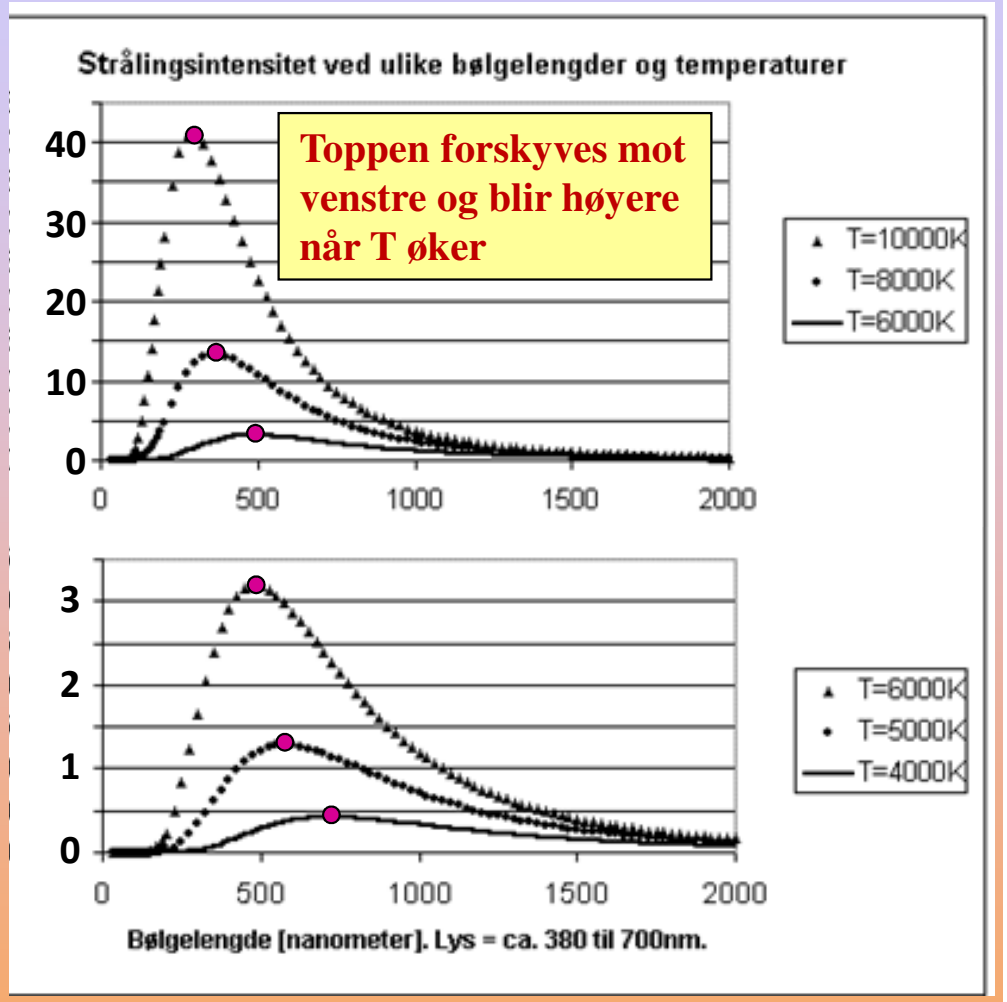
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Stråling fra ideelt sort legeme (Planck-kurve)

Plancks lov:

$$I_\lambda = \frac{2hc^2\mu^2}{\lambda^5\left(e^{hc/\lambda kT}-1\right)}$$

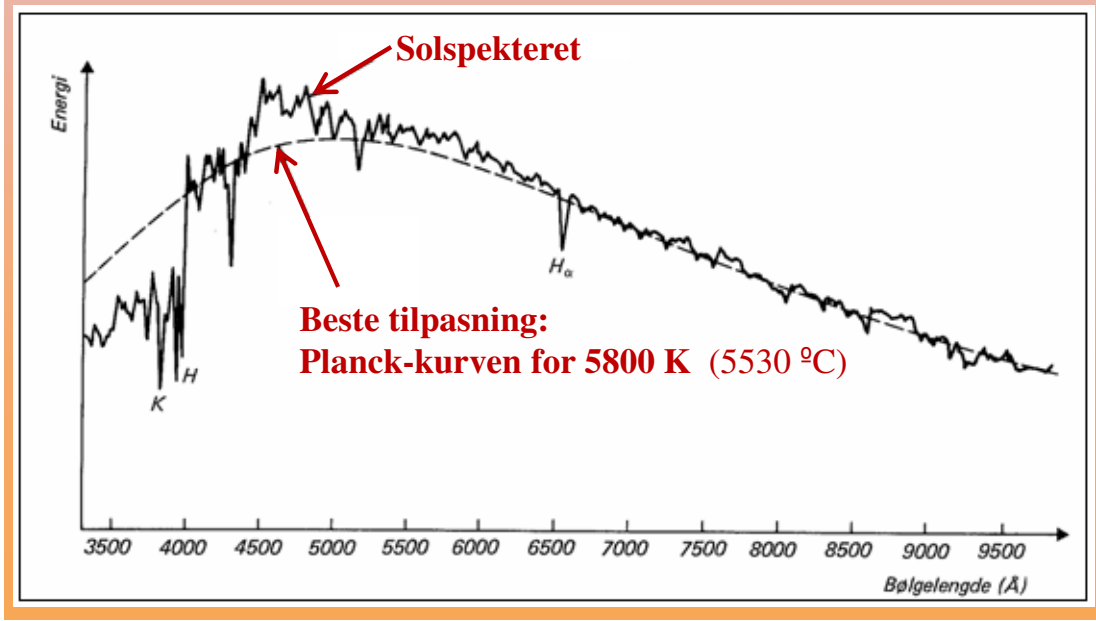
hvor
- I_λ = Strålingsintensitet ved bølgelengde λ
- k = Boltzmanns konstant =1.38066 10^{-23} J/K
- h = Plancks konstant = 6.626176 x 10^{-34} Js
- c = lyshastigheten i vakuum = 299 792 458 m/s
- T = temperaturen i Kelvin
- μ = mediets refraksjonsindeks (normalt = 1)



Anvendelse:

Bestemme overflatetemperaturen til stjerner,

f.eks. Sola:



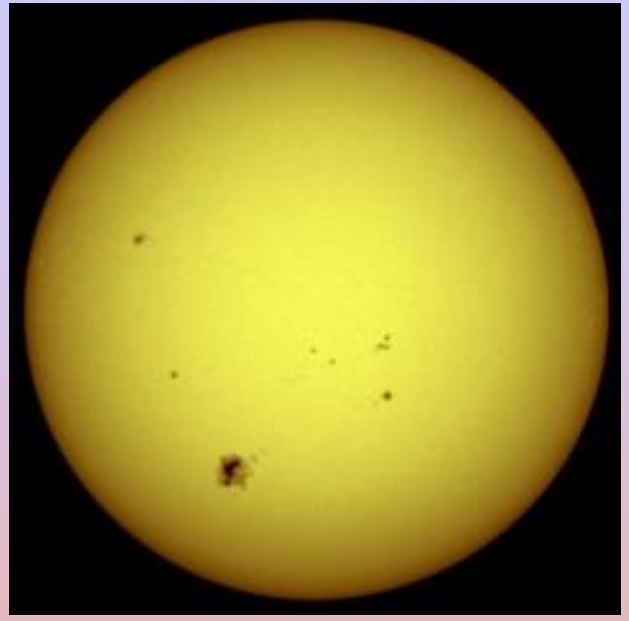
Wiens lov: Maksimal intensitet ved

$$\lambda_{max} = 0.0028979 / T$$

Strålingsintensitet og temperatur

Stefan-Boltzmanns lov for utsendt effekt per overflateareal:

$$F = \varepsilon\sigma T^4 \quad [W/m^2]$$



T = absolutt temperatur i Kelvin
σ = Boltzmanns konstant, 5.67·10-8 W/(m^2K^4)
$\varepsilon \approx 1$ er materialavhengig (emissivitet).

Når absolutt-temperaturen dobles så øker strålingen 16 ganger!

Anvendelse (eksempel):
Vi kan beregne **overflatelysstyrken** hvis vi vet temperaturen.
Hvis vi også vet **avstanden** og måler **lysstyrken** som når oss, så kan vi bestemme **diameteren til stjerna**.

Absorpsjon og emisjon av stråling i atomer

- Et atom kan kun **absorbere** fotoner (strålingspartikler) med eksakt samme energi som **energiforskjellen** mellom to av dets energinivåer.

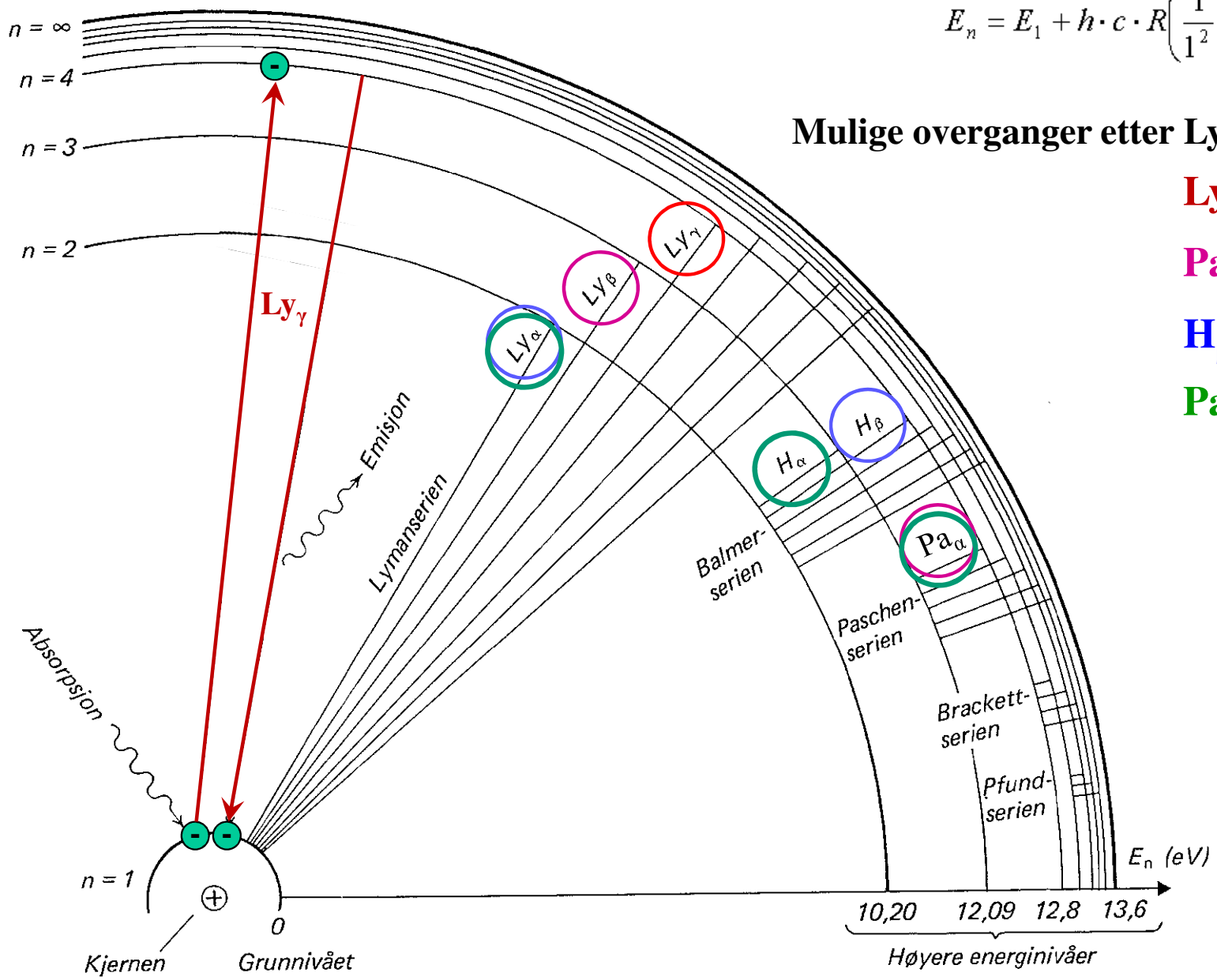
- Den absorberte energien vil nesten momentant **emitteres** (sendes ut) som stråling igjen, **som ett eller flere fotoner**. Retningen til de utsendte fotonene er tilfeldig.

- Alle emitterte fotoner har en energi som svarer eksakt til energiforskjellen mellom to av atomets energinivåer.

- **Energinivåene er unike for hvert grunnstoff.** Energien til absorpsjons- og emisjonslinjene som vi detekterer vil derfor fortelle oss hvilke stoffer vi observerer!

Energinivåer i hydrogenatomet

$$E_n = E_1 + h \cdot c \cdot R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) = 13.60\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$



Mulige overganger etter Ly$_\gamma$ absorpsjon :

Ly$_\gamma$

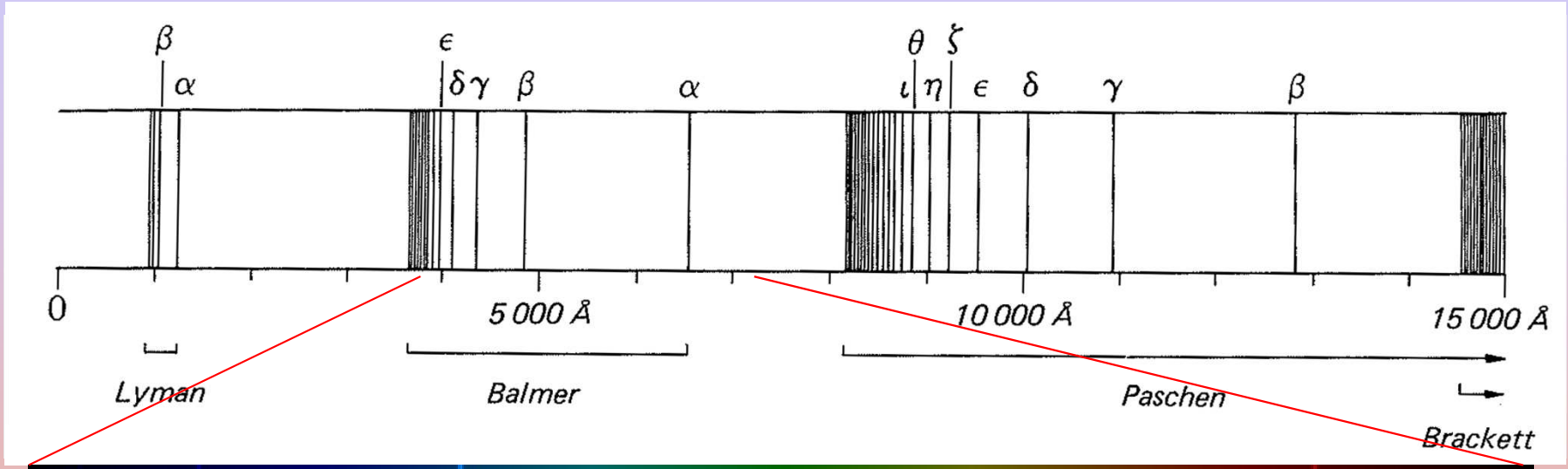
Pa$_\alpha$ + Ly$_\beta$

H$_\beta$ + Ly$_\alpha$

Pa$_\alpha$ + H$_\alpha$ + Ly$_\alpha$

De mest energirike overgangene i hydrogenatomet

Ultrafiolett **Synlig** **Infrarødt**

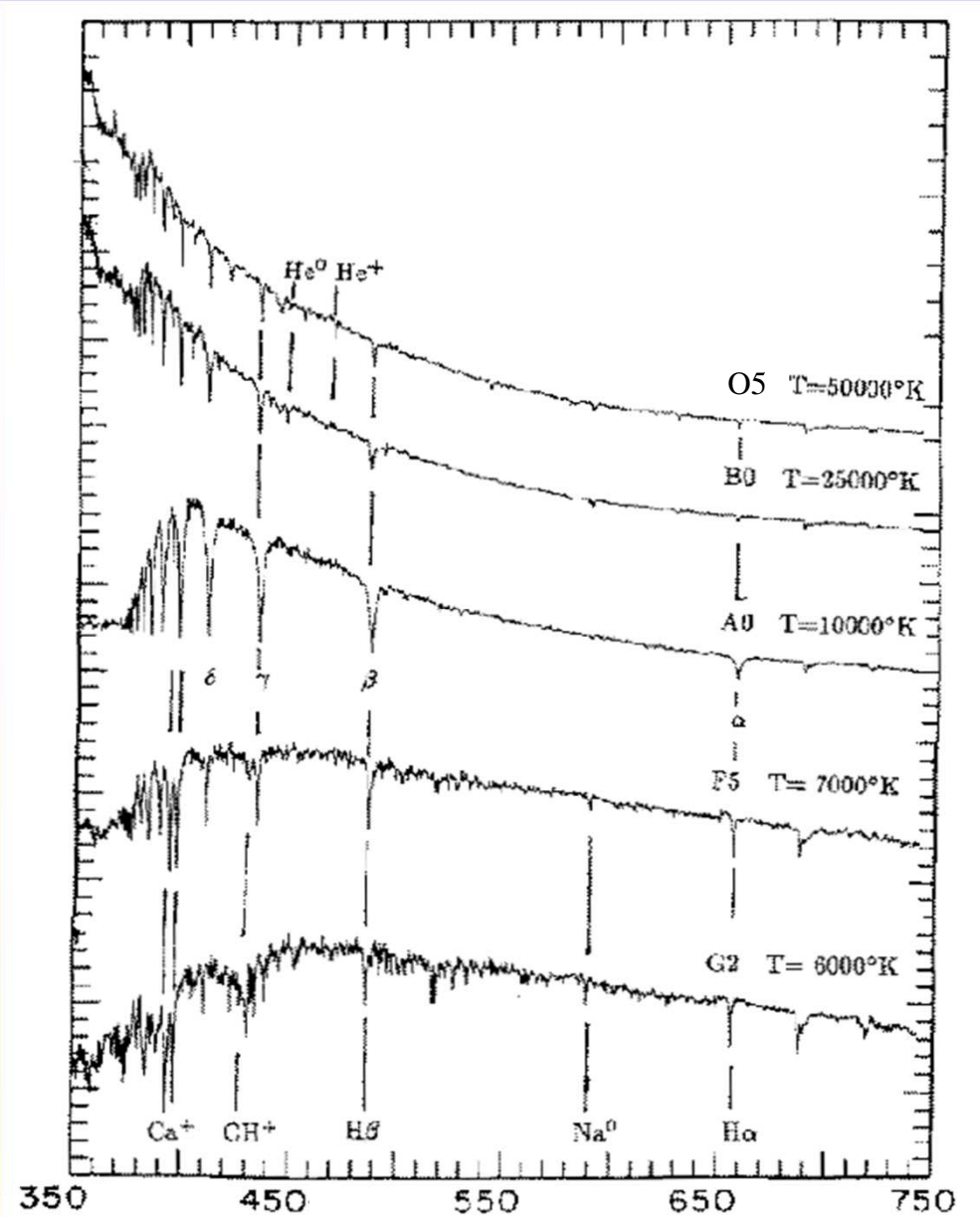


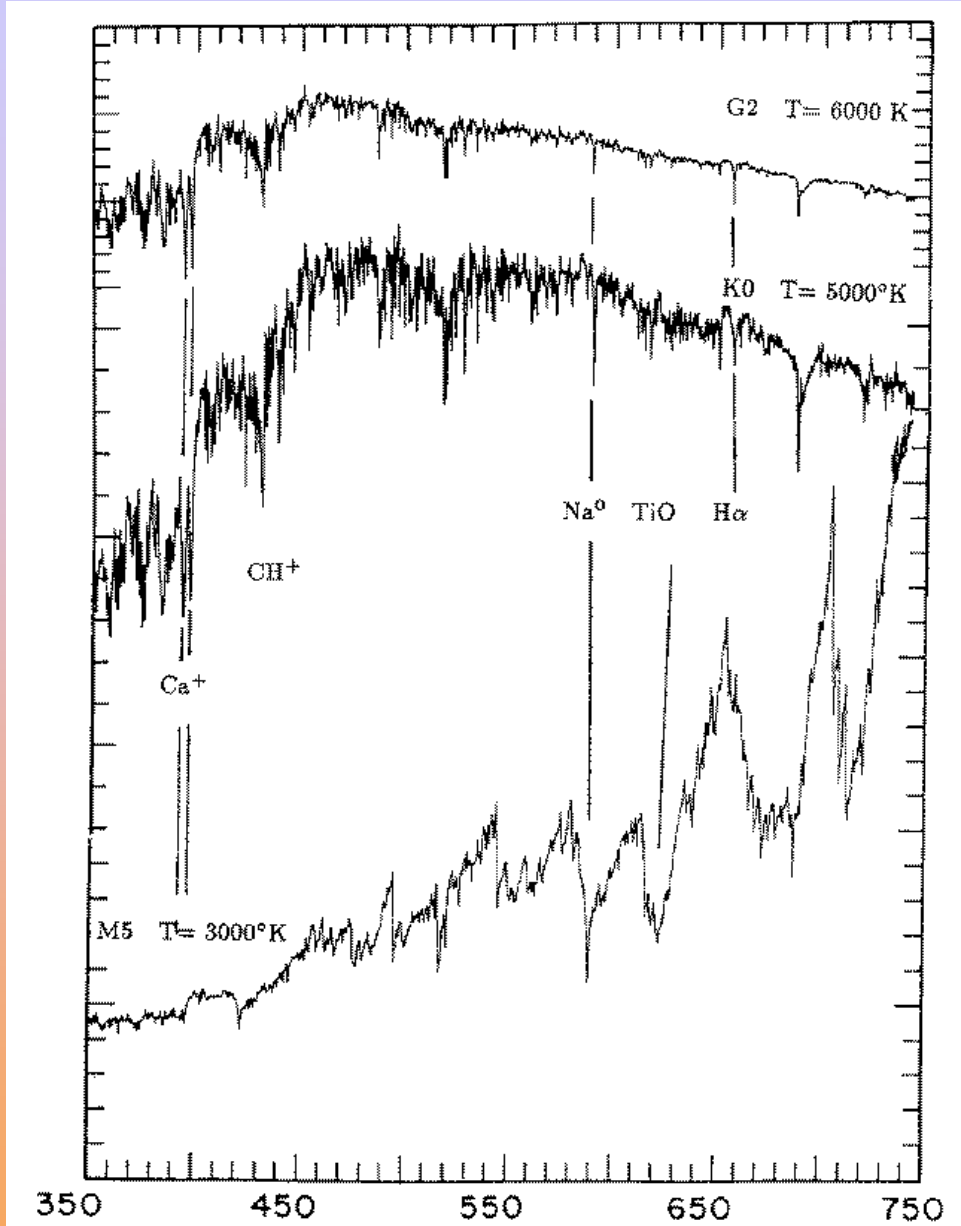
H_δ 410nm **H_γ 434nm** **H_β 486nm** **H_α 656nm**

$$E_m - E_n = 13.60\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \xrightarrow{E_\lambda = hc/\lambda} \frac{1}{\lambda} = 0.0010967758\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

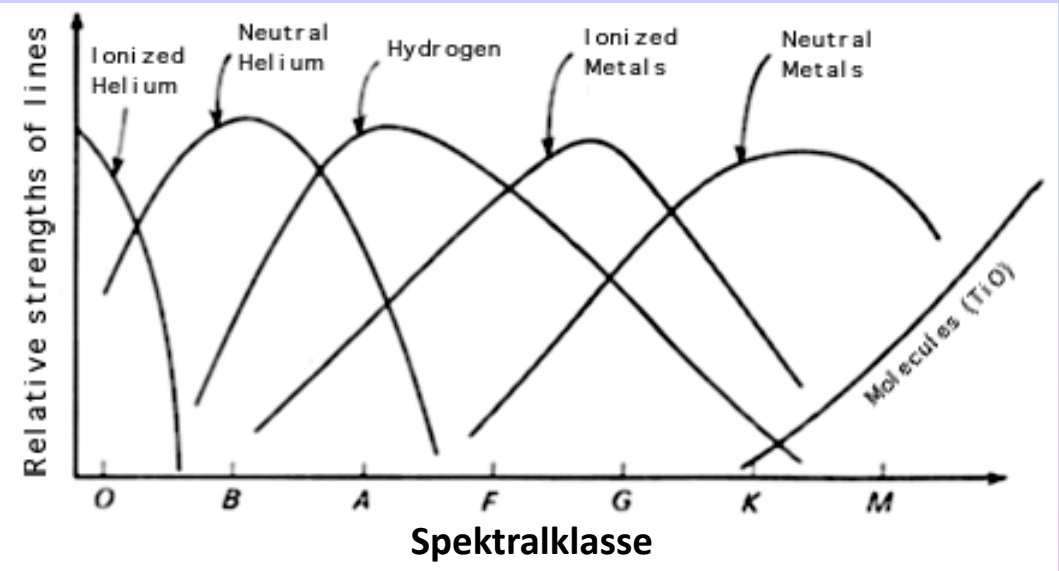
H_α(n=2,m=3): $1/\lambda = 0.0015233$ **=>** $\lambda = 1/0.0015233 = 656{,}3\text{nm}$

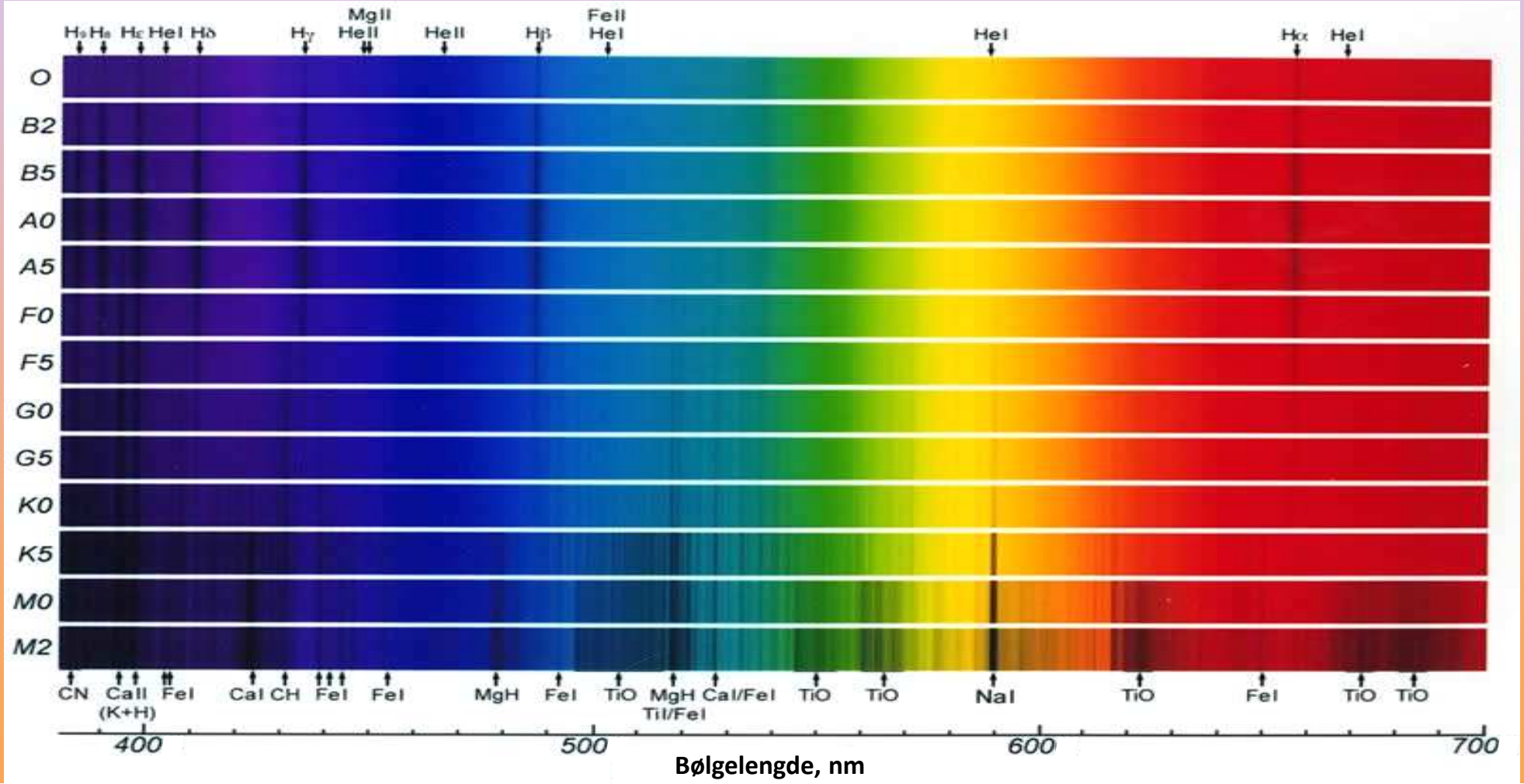
Typiske stjernespektra for ulike overflatetemperaturer



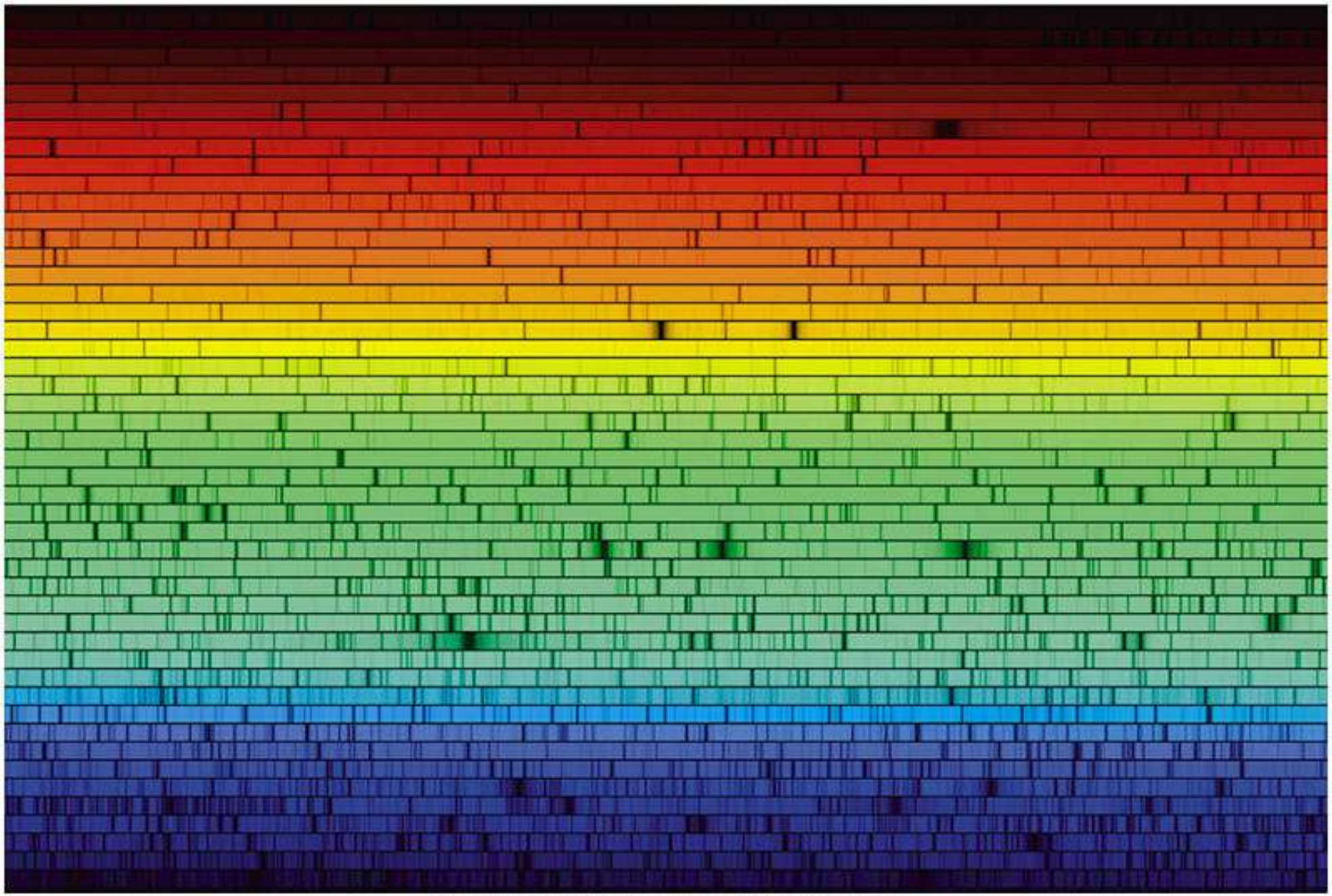


Typiske stjernespektra og spektralklasser



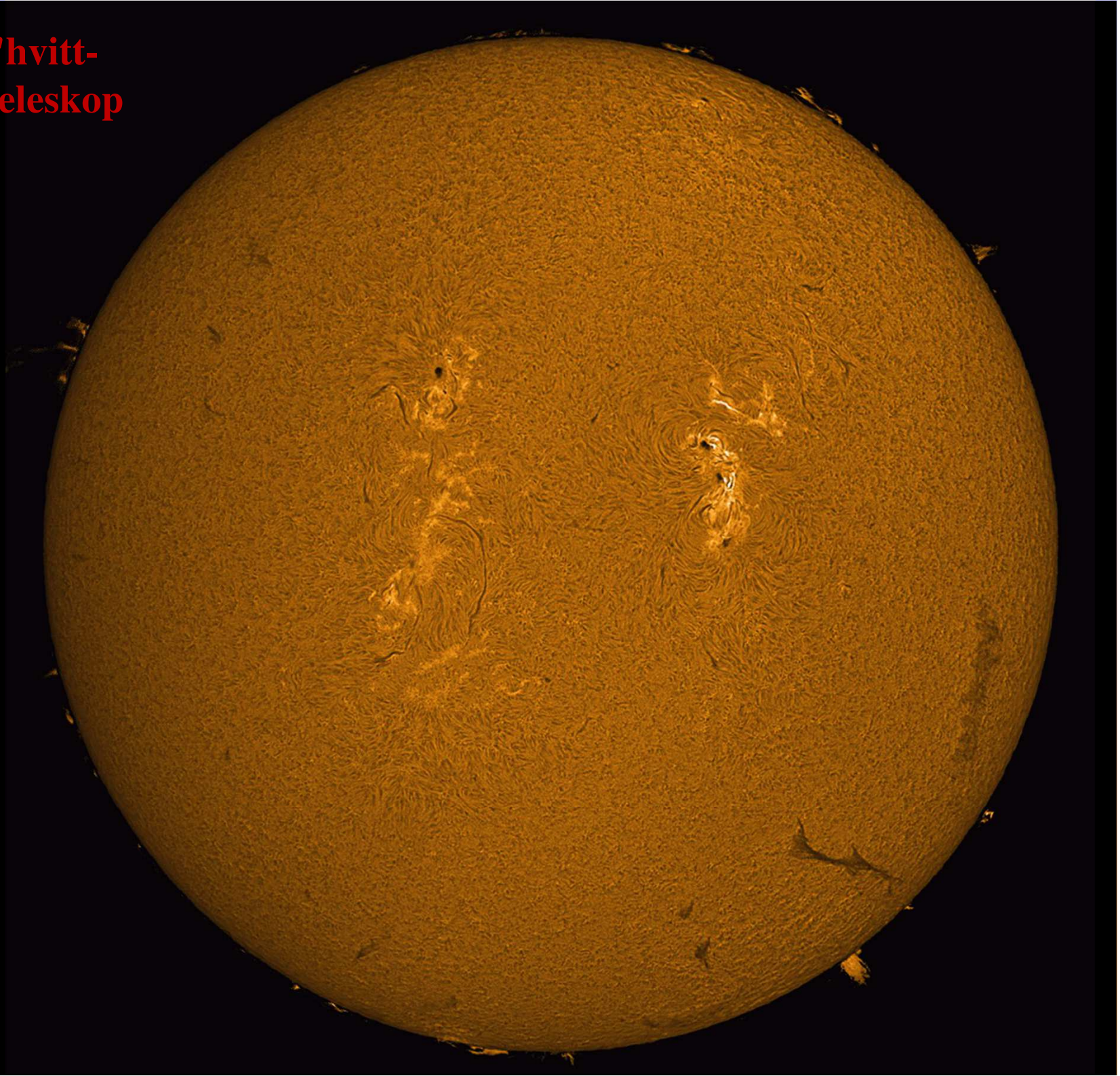


Solspekteret



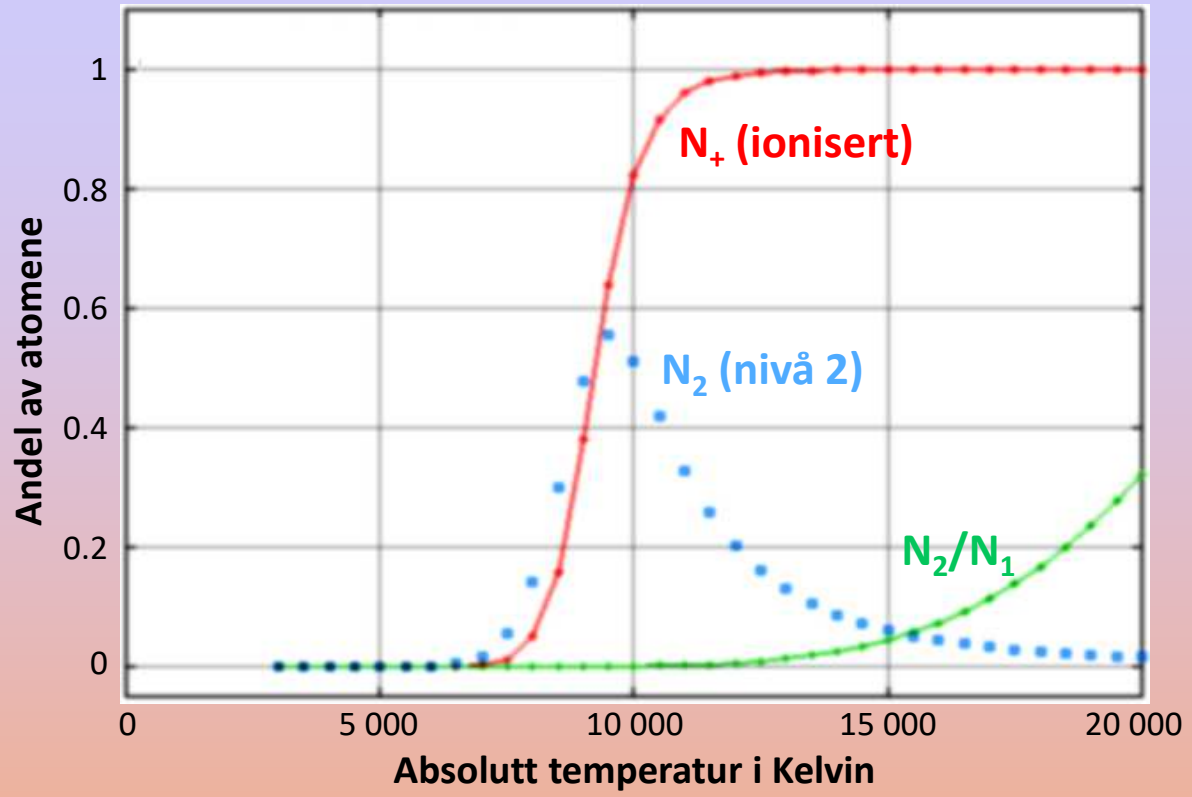
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Sola med vanlig "hvitt-lys" og med Hα-teleskop



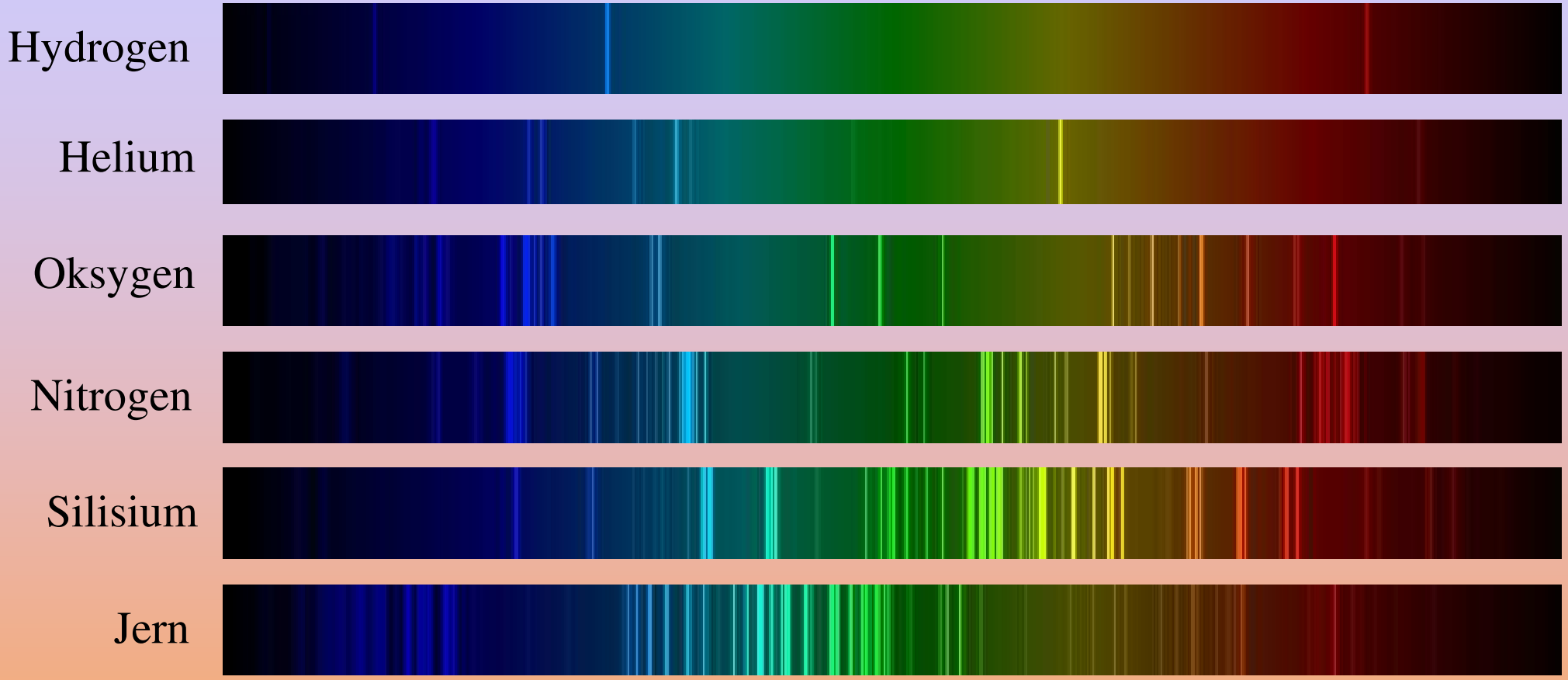
Høyere temperaturer sender flere atomer opp i høyere energinivåer

- Dette forklarer hvorfor vi får mer stråling jo varmere materialet er, altså Boltzmanns lov.
- **Forholdet mellom styrken til ulike absorpsjonslinjer** forteller oss mye om temperaturen.



N_1 = Antall H-atomer i grunntilstanden
N_2 = Antall H-atomer med elektronet i nivå 2
N_+ = Antall H-atomer uten elektron (ionisert)

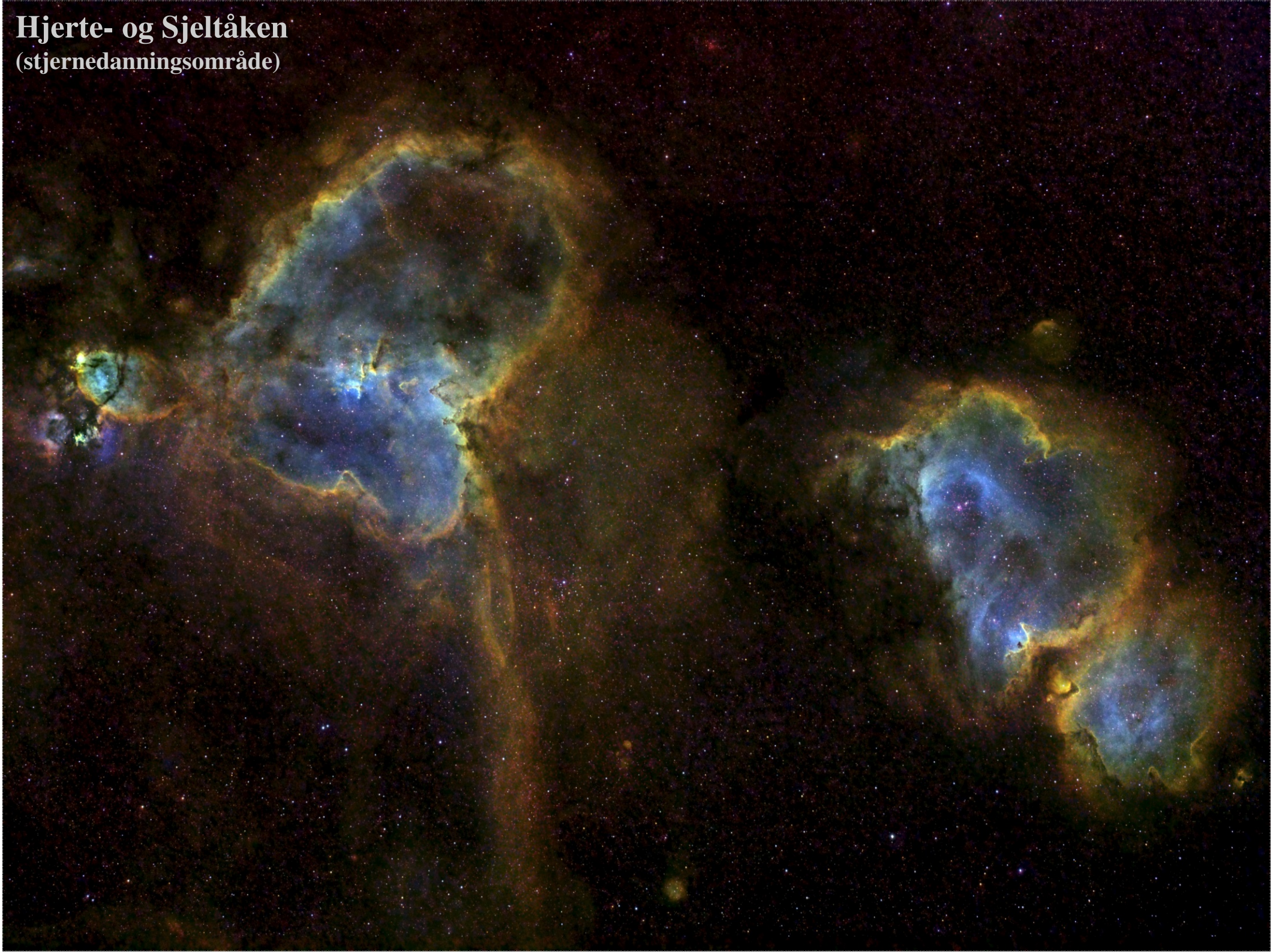
Emisjonsspektra for utvalgte grunnstoffer



Anvendelse: Emisjons- og absorpsjonslinjene og deres intensitet avslører hvilke grunnstoffer og molekyler som fines i gasståker og stjernatmosfærer, samt hvor mye det er av hvert enkelt stoff relativt til f.eks. hydrogen.

Californiatåken NGC1499
Fotografert med smalbåndsfilter
+ vanlige farger for stjernene
S_{ii} H_{α} O_{iii}

Hjerte- og Sjeltåken
(stjernedanningsområde)

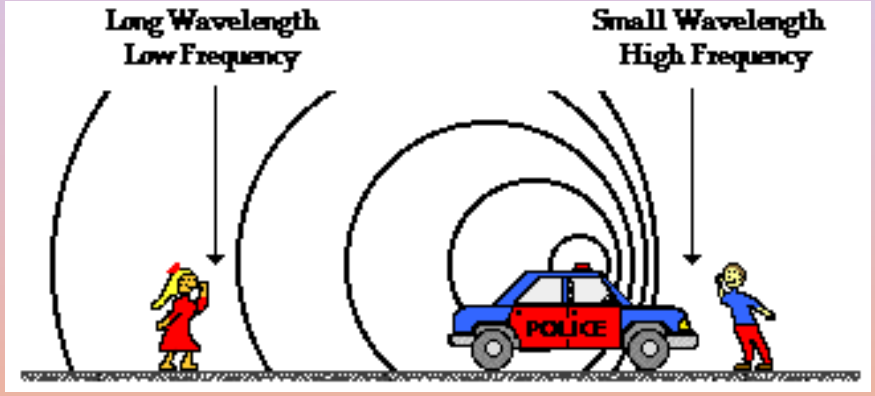


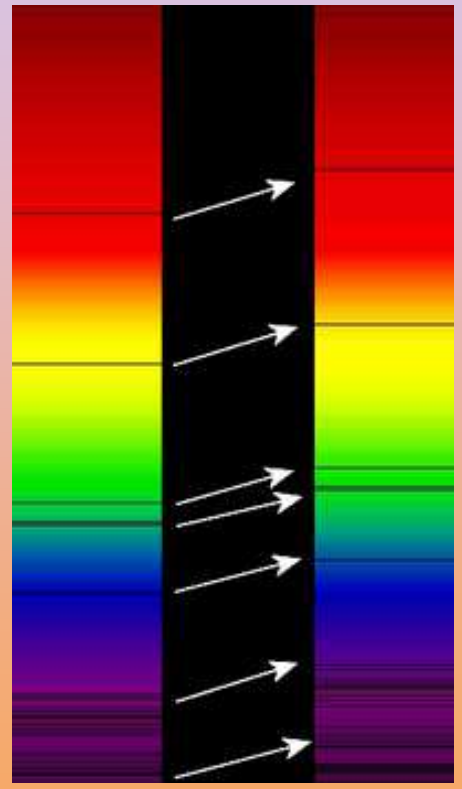
Manettåken IC443
(supernovarest)

Dopplerforskyvning

Når en lyskilde nærmer seg eller fjerner seg fra oss vil bølgelengdene som vi mottar skyves sammen eller strekkes ut. Dette kalles dopplerforskyvning.

- **Hvis kilden fjerner seg får vi rødforskyvning (lengre bølgelengder)**
- **Hvis kilden nærmer seg får vi blåforskyvning (kortere bølgelengder)**



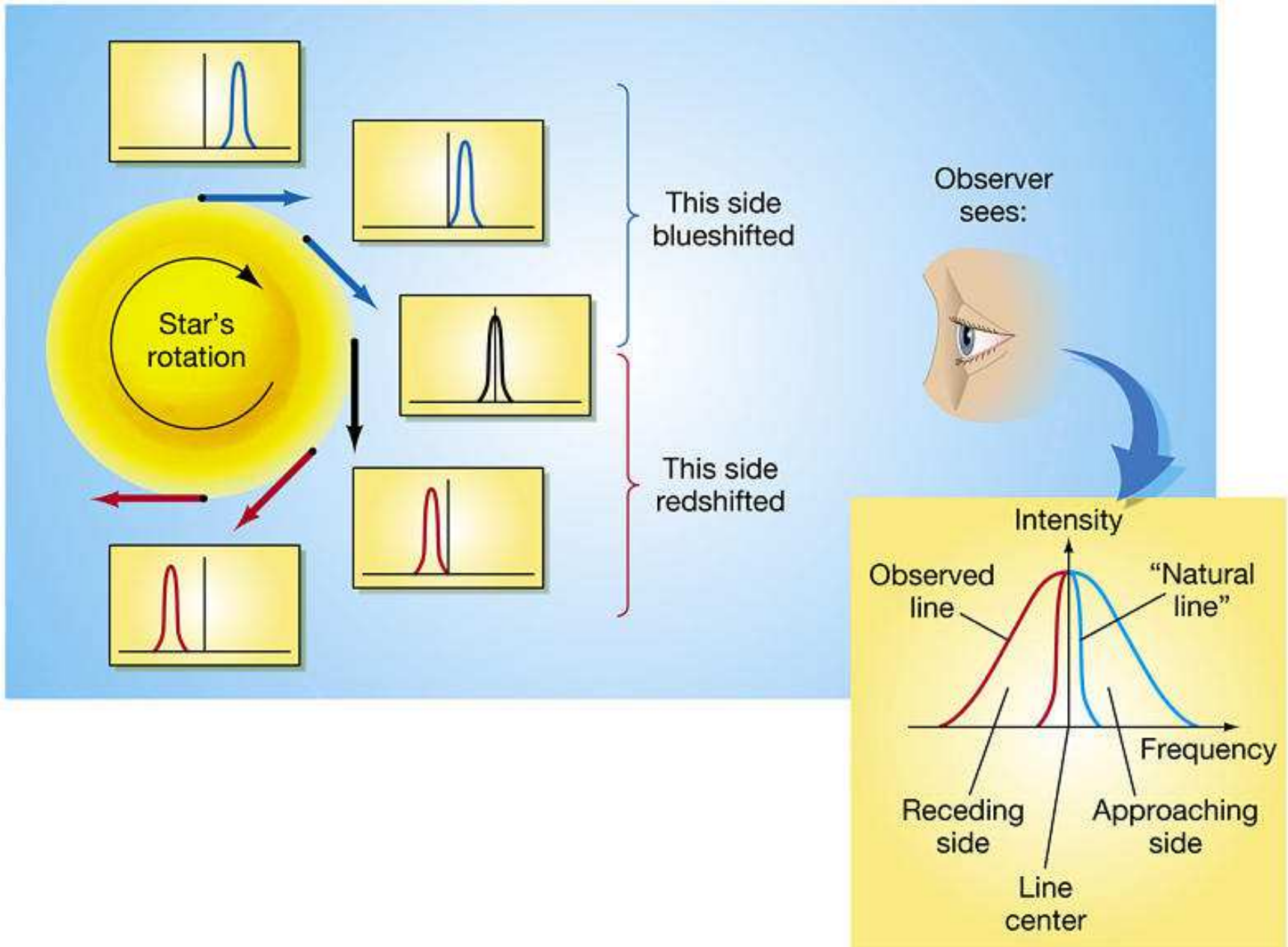


Vi kan fortsatt kjenne igjen spektrallinjene, og dermed **bestemme kildens hastighets-komponent mot oss eller fra oss**.

Anvendelse: Måle objekters hastighet relativt til oss.

Dette er nyttig for å bestemme hvor fort universets ekspanderer (Hubble-konstanten). Når dette er kjent kan vi bruke det til å finne avstanden til fjerne galakser.

Rotasjonsbredde

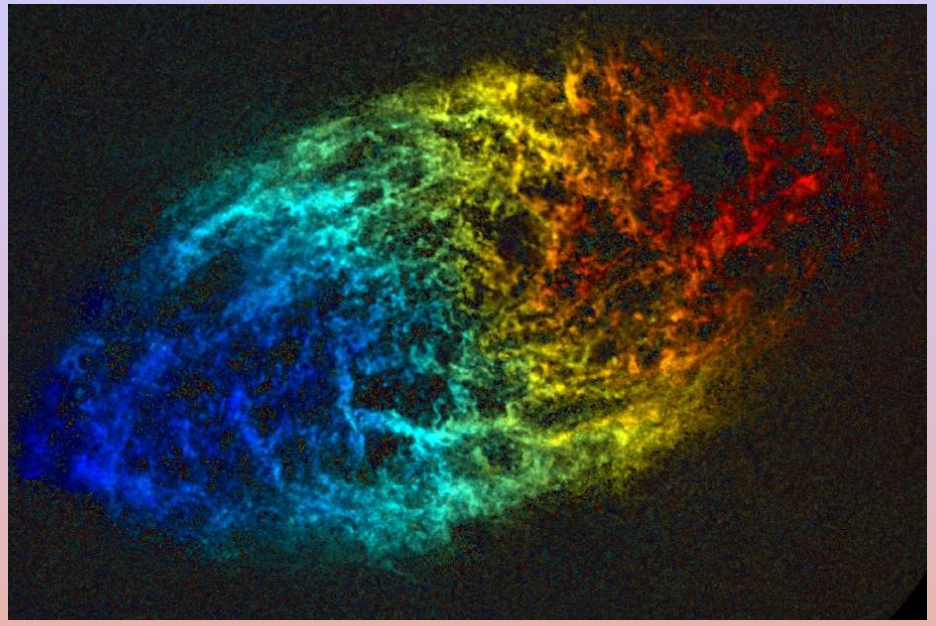


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Radioteleskop-måling av rotasjonshastigheten til galaksen M33

M33: synlig lys + λ=21 cm (rødt)

Doppler-skift av 21 cm-linjen



Rotasjonshastigheten ytterst i galaksen er for stor i forhold til gravitasjonen fra massen som vi kan se at er der! Det gjelder så godt som alle galakser.

To teorier:

- Mystisk **mørk materie**
- **Newtons gravitasjonslov er feil** ved store avstander (MOND)

Bredden til spektrallinjer

Syltynn linje ?

H_α 656.3 nm

Naturlig bredde

Heisenbergs usikkerhetsprinsipp: $\Delta\nu \cdot \Delta t \geq 1/(4\pi)$

hvor Δt = Levetiden til elektronet i det eksiterte nivået ← **Typisk: 10 ns**

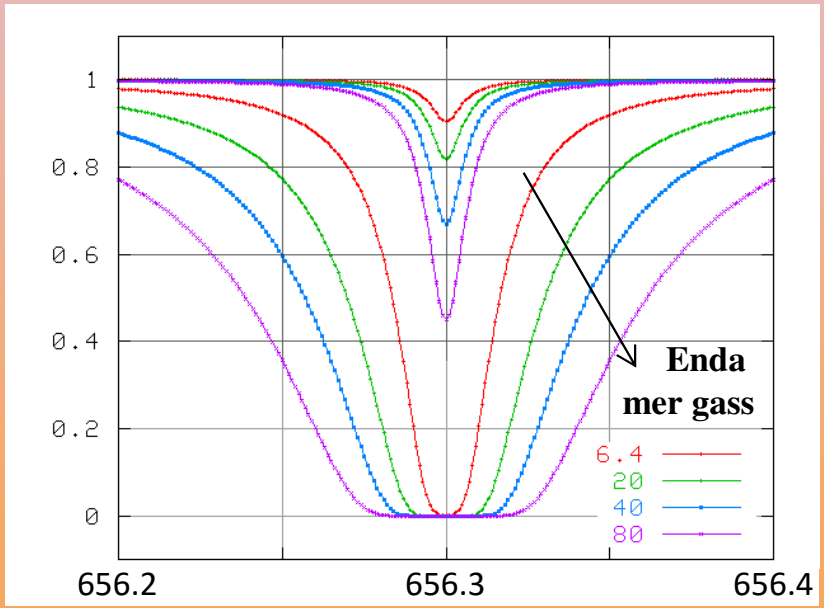
$\Delta\nu$ = usikkerheten til frekvensen (linjebredden) ← **Typisk: 8 MHz (10^{-5} nm)**

- **En stabil tilstand** med lang levetid gir liten linjebredde.
- **En ustabil tilstand** med kort levetid gir stor linjebredde.

Kollisjonsforbredning

Hyppige kollisjoner mellom atomene gir redusert levetid, og dermed økt linjebredde.

Vi kan derfor **bestemme trykket** til gassen ved å måle linjebredden (hvis vi vet temperaturen).

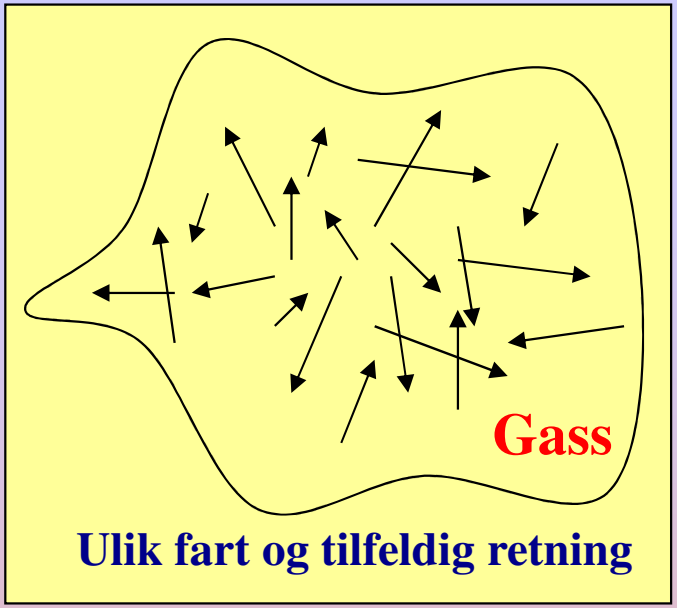


Termisk Dopplerforbredning

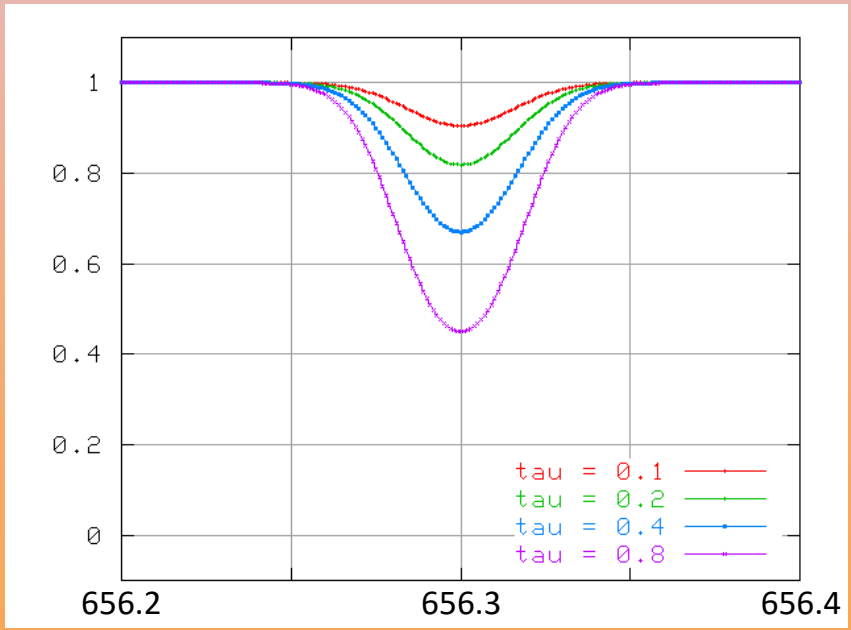
Høy temperatur betyr store tilfeldige hastigheter på atomer og molekyler. **Dette gir tilfeldige Dopplerskift** for absorpsjons- og emisjonslinjene. I sum gir dette Dopplerforbredning av linjene.

Hastighetene er Gaussfordelt (normalfordeling), og spektrallinjen får derfor en Gauss-form.

Kollisjonsforbredning og termisk Dopplerforbredning gir forskjellig form på linjene, og det er derfor mulig å skille de to effektene fra hverandre.

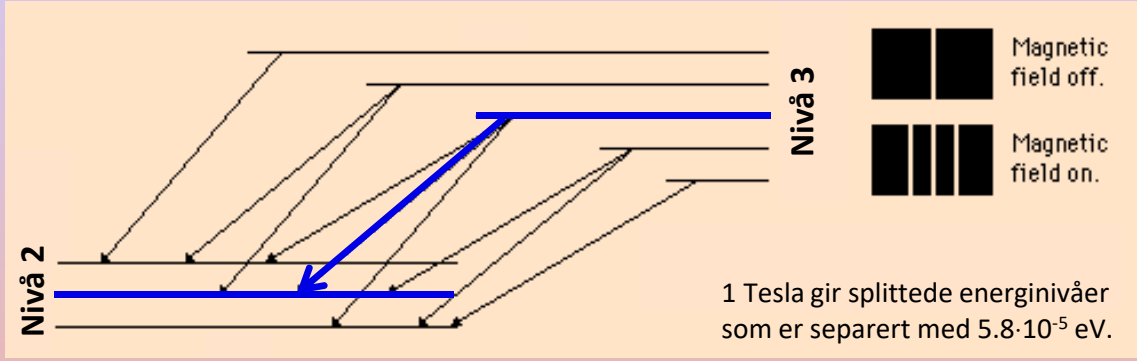


Atomer som beveger seg fra oss blir rødforskjøvet, mens de som beveger seg mot oss blir blåforskjøvet.



Linjesplitting i magnetfelt – Zeeman-effekten

Zeeman-effekten skyldes interaksjon mellom et magnetfelt utenfor atomet og magnetene som dannes fordi elektronene går i **bane rundt atomkjernen**, samt elektronets **spinn**. Dette splitter energinivåene i flere nivåer som ligger tett ved siden av hverandre.

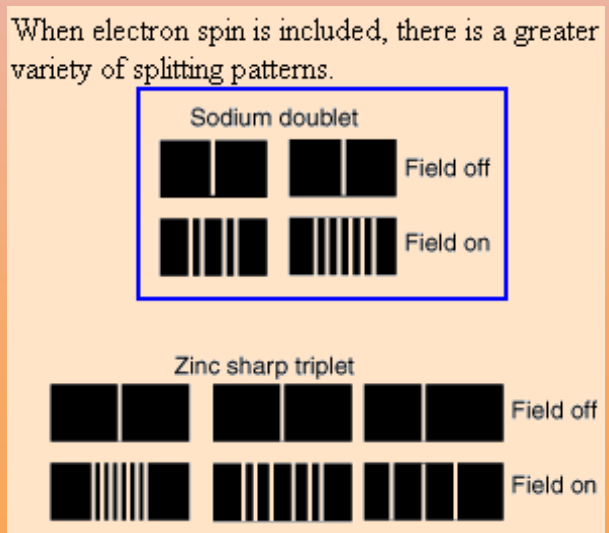


Uten magnetfelt er det bare to nivåer og én energiforskjell og én spektrallinje.

Med magnetfelt får vi flere nivåer, og **linjen splittes** i tre tette linjer.

Splittingen øker **proporsjonalt** med magnetfeltets styrke.

Tar man hensyn også til at **elektronet i seg selv har spinn**, så finner man at Zeeman-linjene splittes ytterligere i flere linjer som ligger enda tettere sammen.

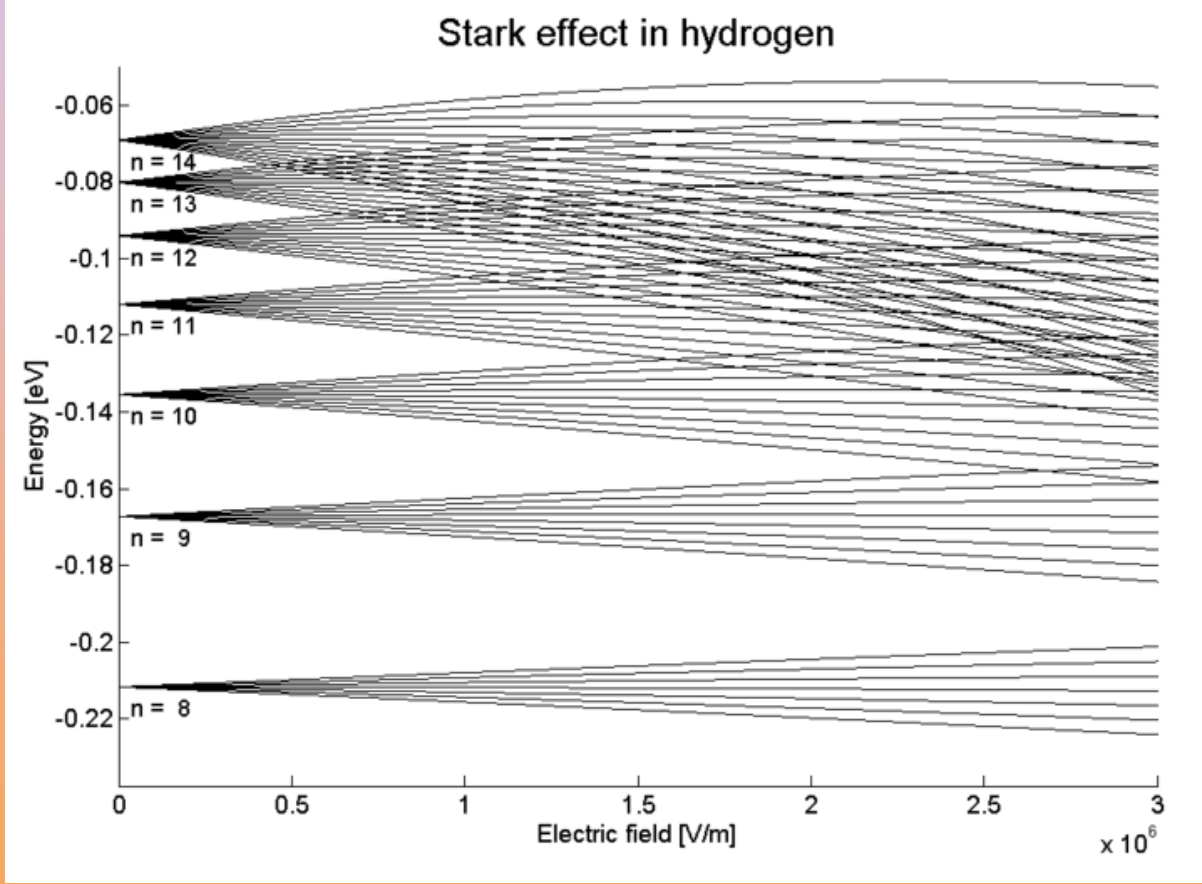


Anvendelse: Vi kan måle **magnetisk feltstyrke** ute i verdensrommet, f.eks. på stjerner.

Splitting av linjer i elektriske felt – Stark-effekten

Stark-effekten skyldes interaksjon mellom et **elektrisk felt** utenfor atomet **og elektronenes ladning**. Dette splitter energinivåene.

Dette ligner mye på Zeeman-effekten. Man kan likevel skille splittingen fra elektriske og magnetiske felter fra hverandre ved å sammenligne splittingen til flere ulike linjer.

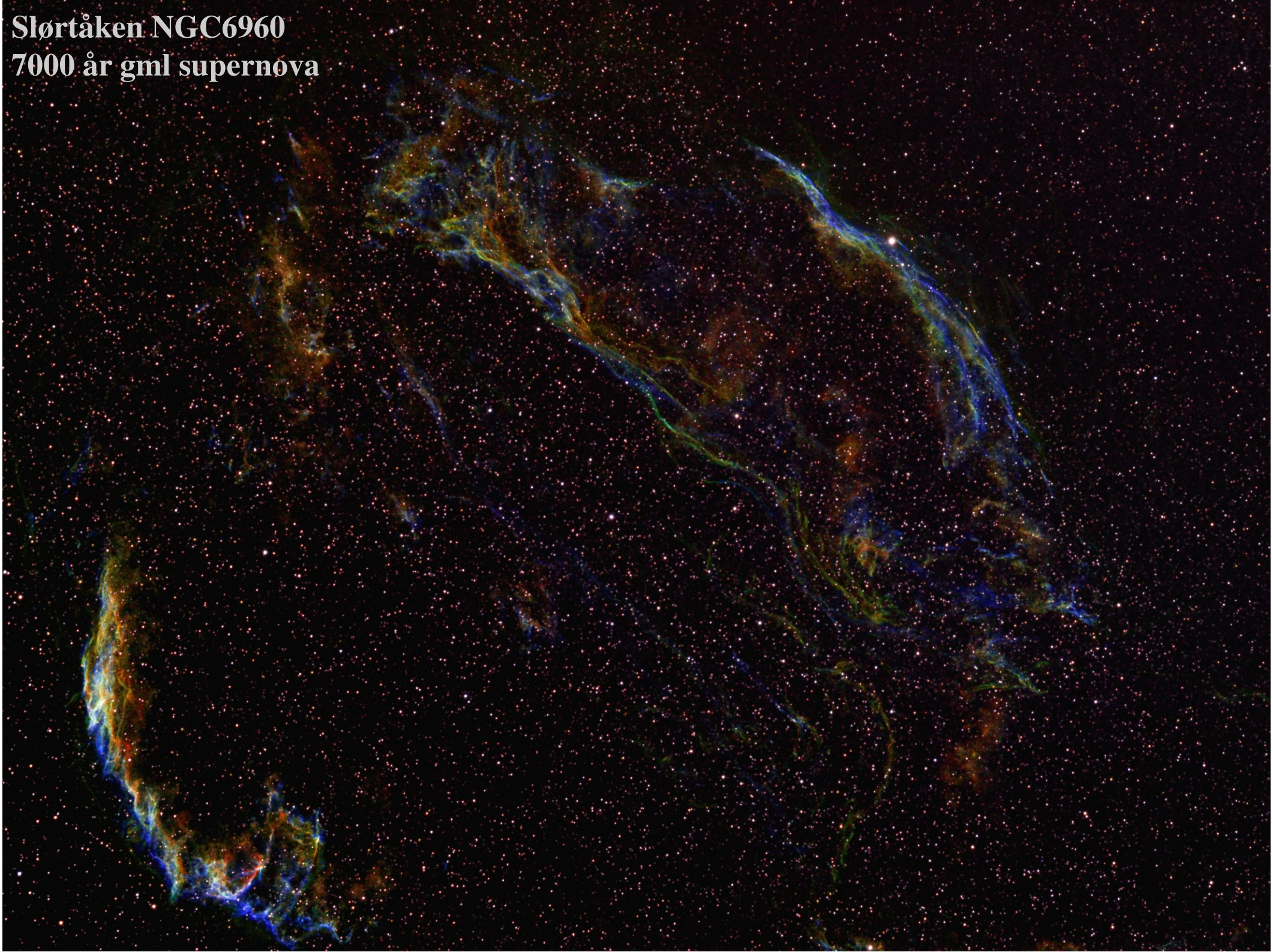


Konstante elektriske felter gir en splitting av energinivåene som kan måles.

Sterkt fluktuerende elektriske felter fører til forbredning av spektrallinjene (tilsvarende trykk og temperatur).

Anvendelse: Vi kan måle **elektrisk feltstyrke** ute i verdensrommet, f.eks. på stjerner.

Takk for meg!


Slørtåken NGC6960
7000 år gml supernova