

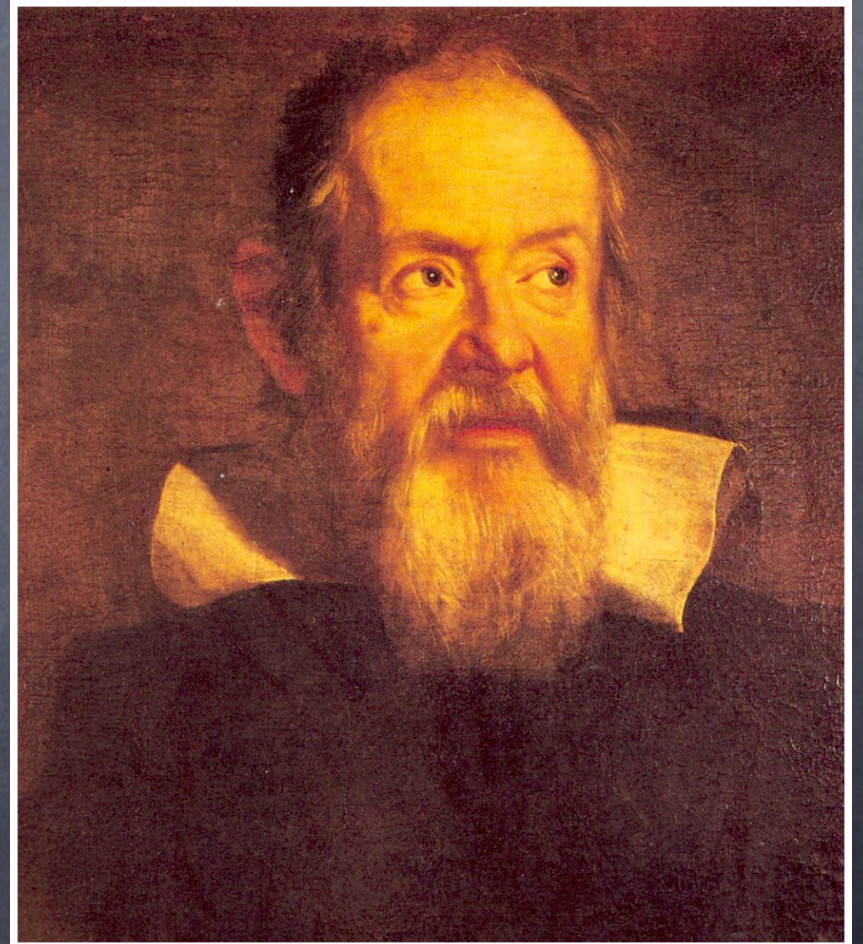
Elektromagnetisk strålning

The background of the slide is a deep blue field filled with numerous stars of varying sizes and colors. Most stars are bright blue or white, while a few are yellow or orange. The stars are scattered across the frame, with a higher concentration in the center.

Lektion 5

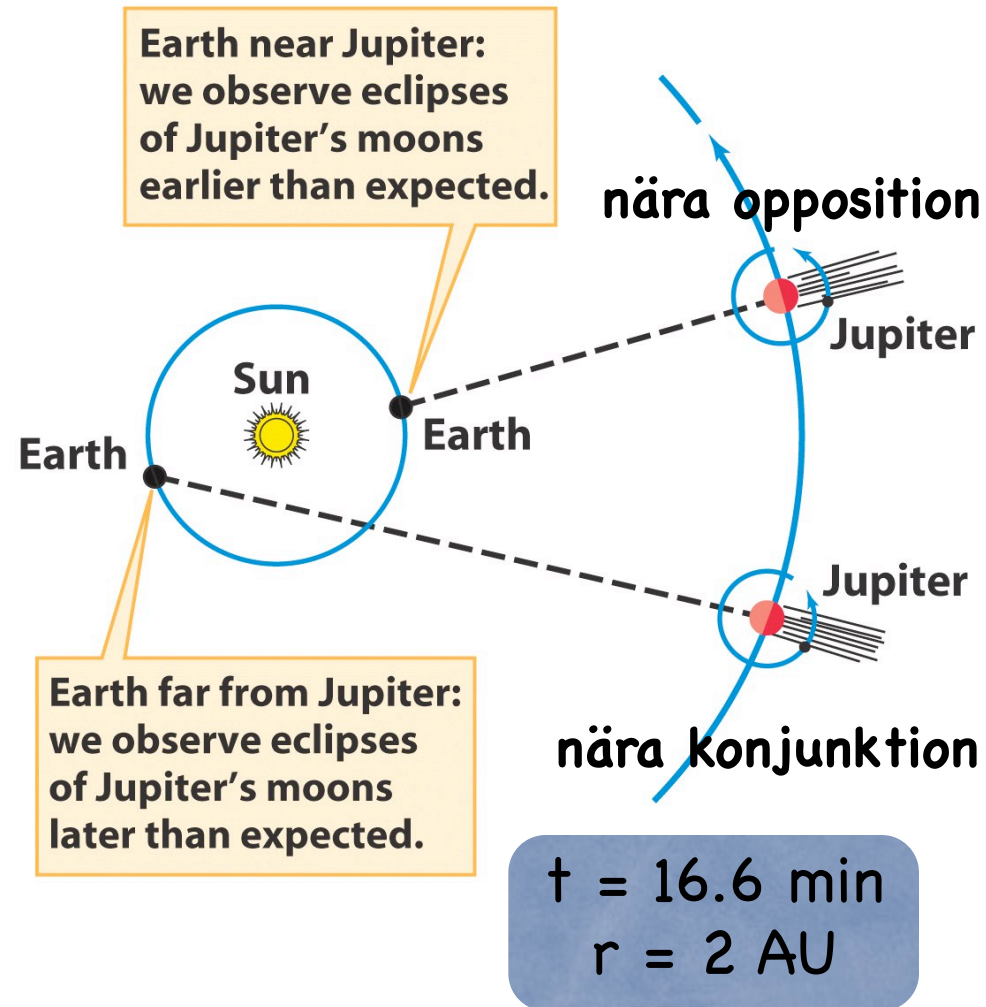
Bestämning av ljusets hastighet

- Galilei lyckades inte bestämma ljusets hastighet trots flitiga försök

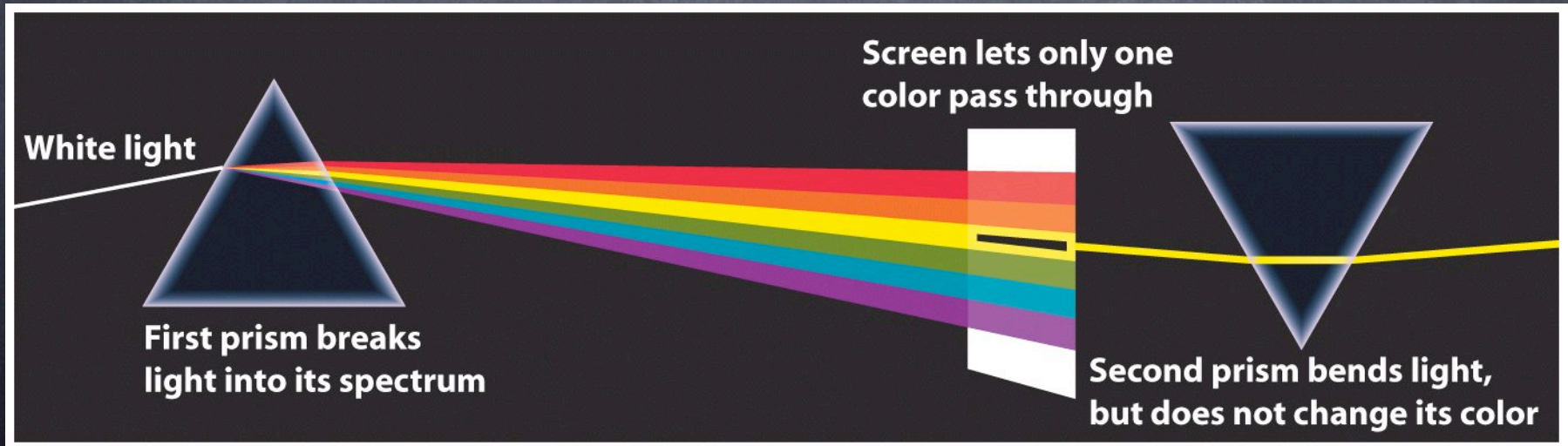


Ljuset färdas med en hastighet av 300000 km/s genom tomma rymden (vakuum)

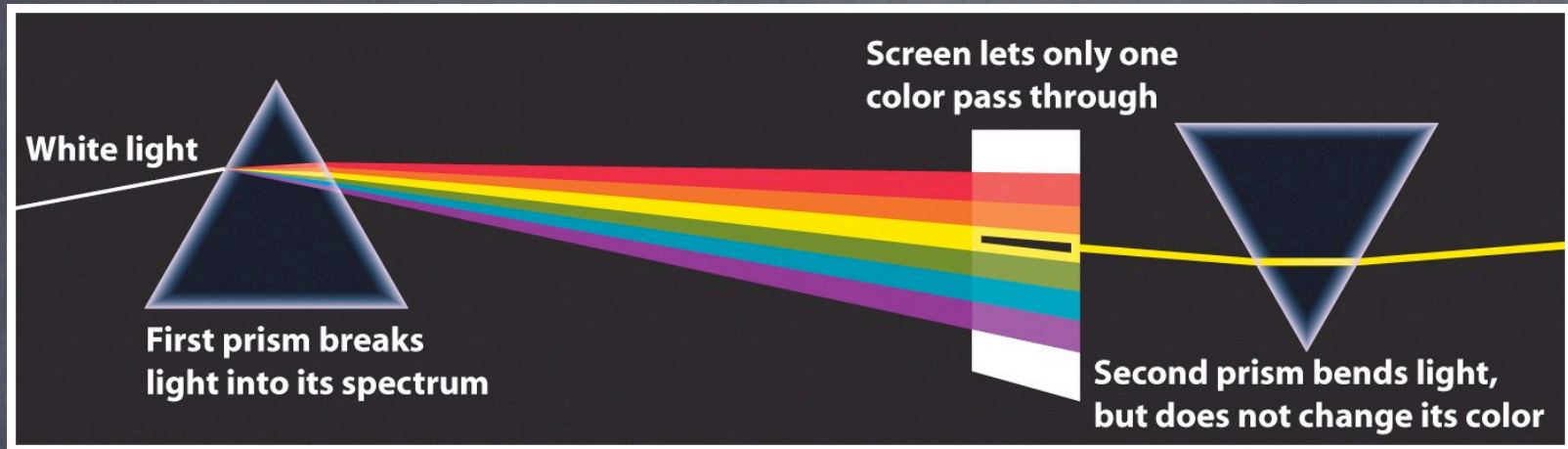
- År 1676, upptäckte den danske astronomen Olaus Rømer att den exakta tiden för förmörkelsen av Jupiters månar beror på avståndet till Jorden
- Detta på grund av att det tar olika långa tider för ljuset att färdas till Jorden eftersom avståndet hela tiden varierar
- med ett känt avstånd och en uppmätt tid ger ljusets hastighet c (latin: celeritas = fart)



Ljus är elektromagnetisk strålning och karakteriseras av sin våglängd (λ)



Våglängd och frekvens



Frekvens och våglängd hos en elektromagnetisk våg

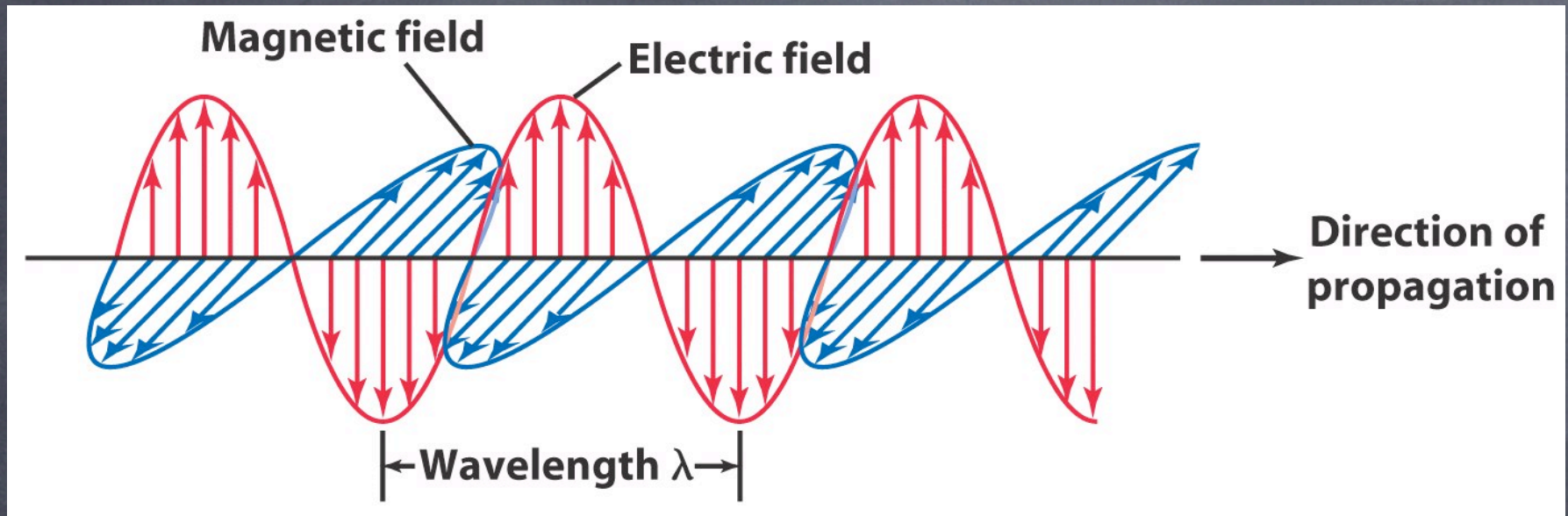
$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

ν = frekvens (i Hz)

c = ljushastighet = $3 \cdot 10^8$ m/s

λ = våglängd (i meter)

Elektromagnetisk strålning



- På 1860-talet, lyckades den skotske matematikern och fysikern James Clerk Maxwell att med hjälp av fyra ekvationer beskriva elektrisitet och magnetism
- Hans arbete demonstrerade att elektriska och magnetiska krafter är två aspekter av samma fenomen, **elektromagnetism**

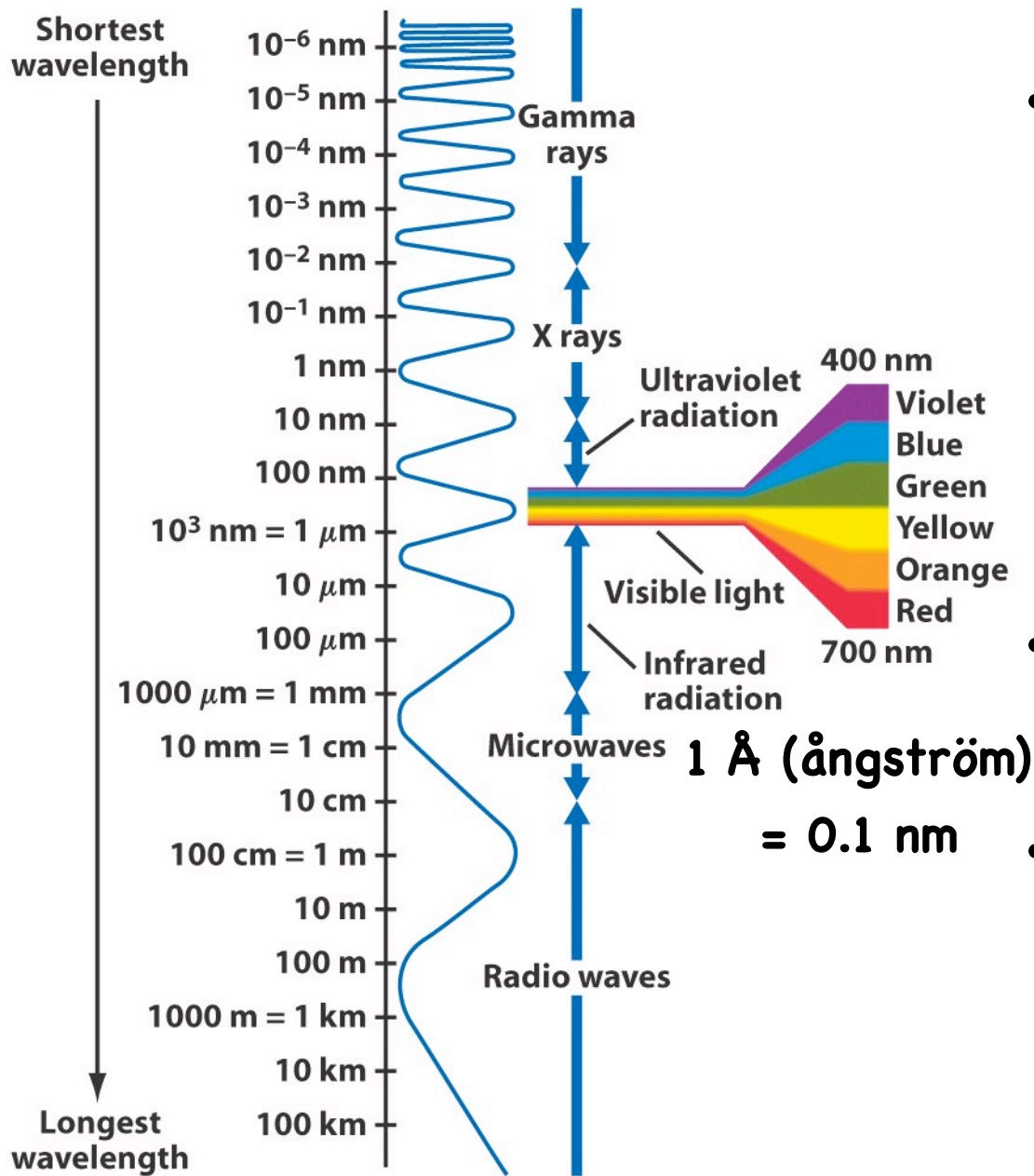
Maxwells ekvationer

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

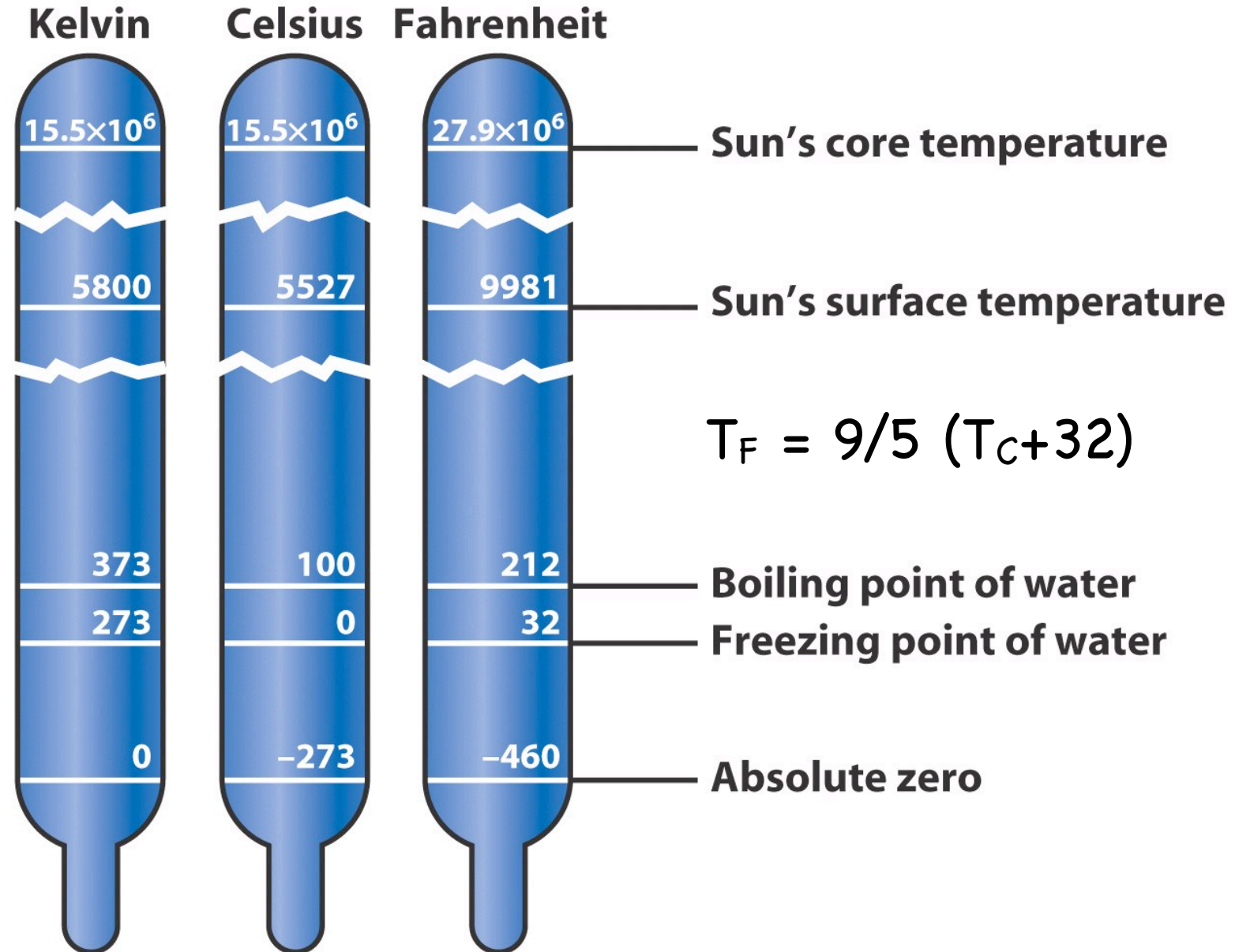
$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

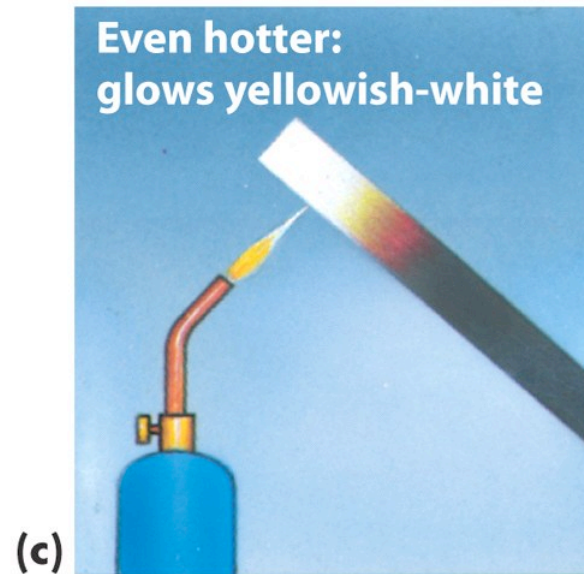
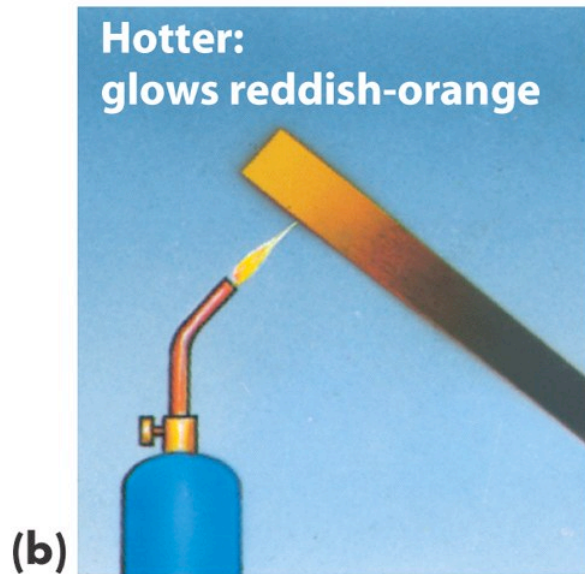
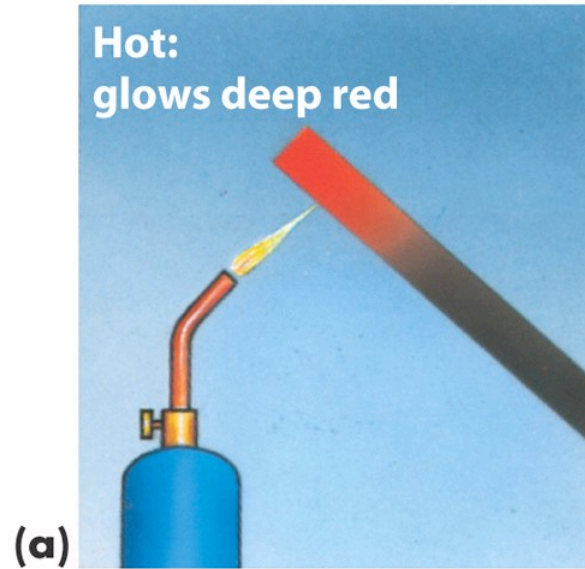


- På grund av sina elektriska och magnetiska egenskaper kallas ljus också för **elektromagnetisk strålning**
- Synbart ljus ligger mellan 400 till 700 nm
- Stjärnor, galaxer och andra objekt sänder ut ljus över ett brett spektrum

Tre temperaturskalar

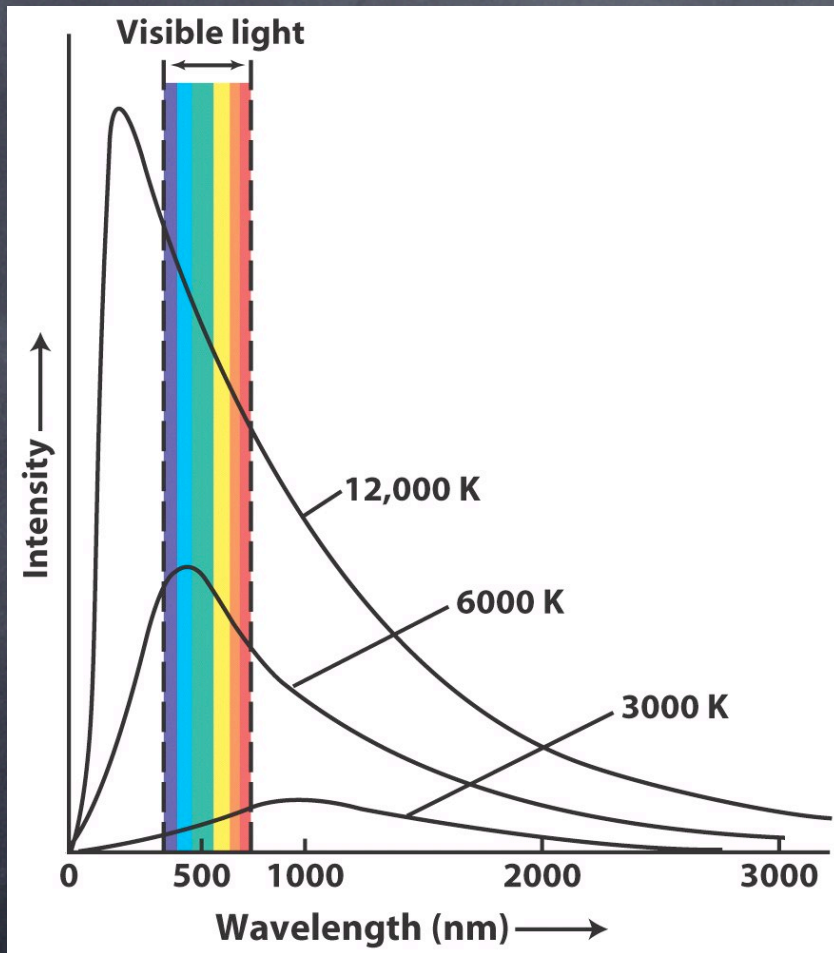


Ett ogenomskinligt objekt sänder ut elektromagnetisk strålning vars intensitet bestäms av temperaturen





Wiens (förskjutnings)lag och Stefan-Boltzmanns lag är användbara vid studiet av t.ex. stjärnor



- En svartkropp är ett hypotetiskt objekt som absorberar allt ljus vid alla våglängder
- Stjärnor kan till en första approximation antas skicka ut strålning som en svartkropp
- Intensiteten hos denna emitterade (utsända) strålning kan beskrivas med en enda temperatur

$$I_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$

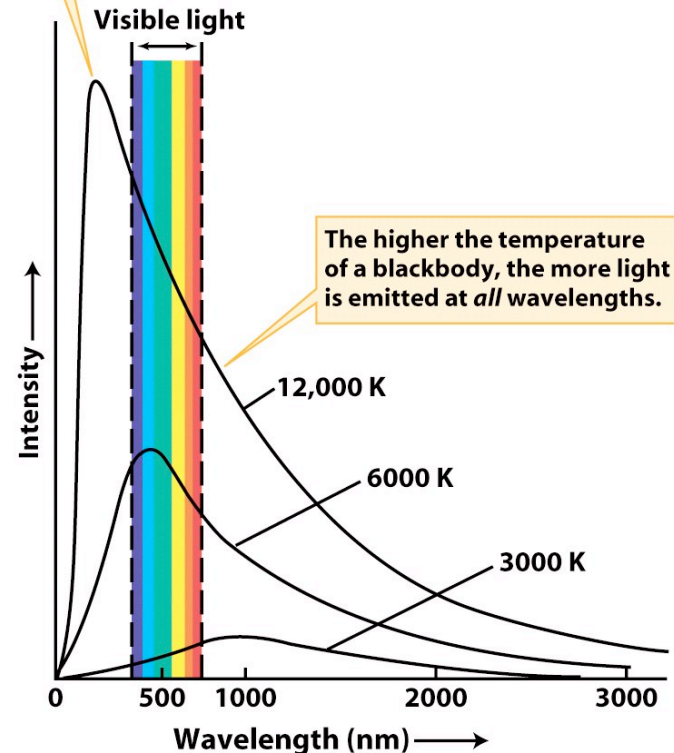
[J s⁻¹ m⁻² ster⁻¹ m⁻¹]

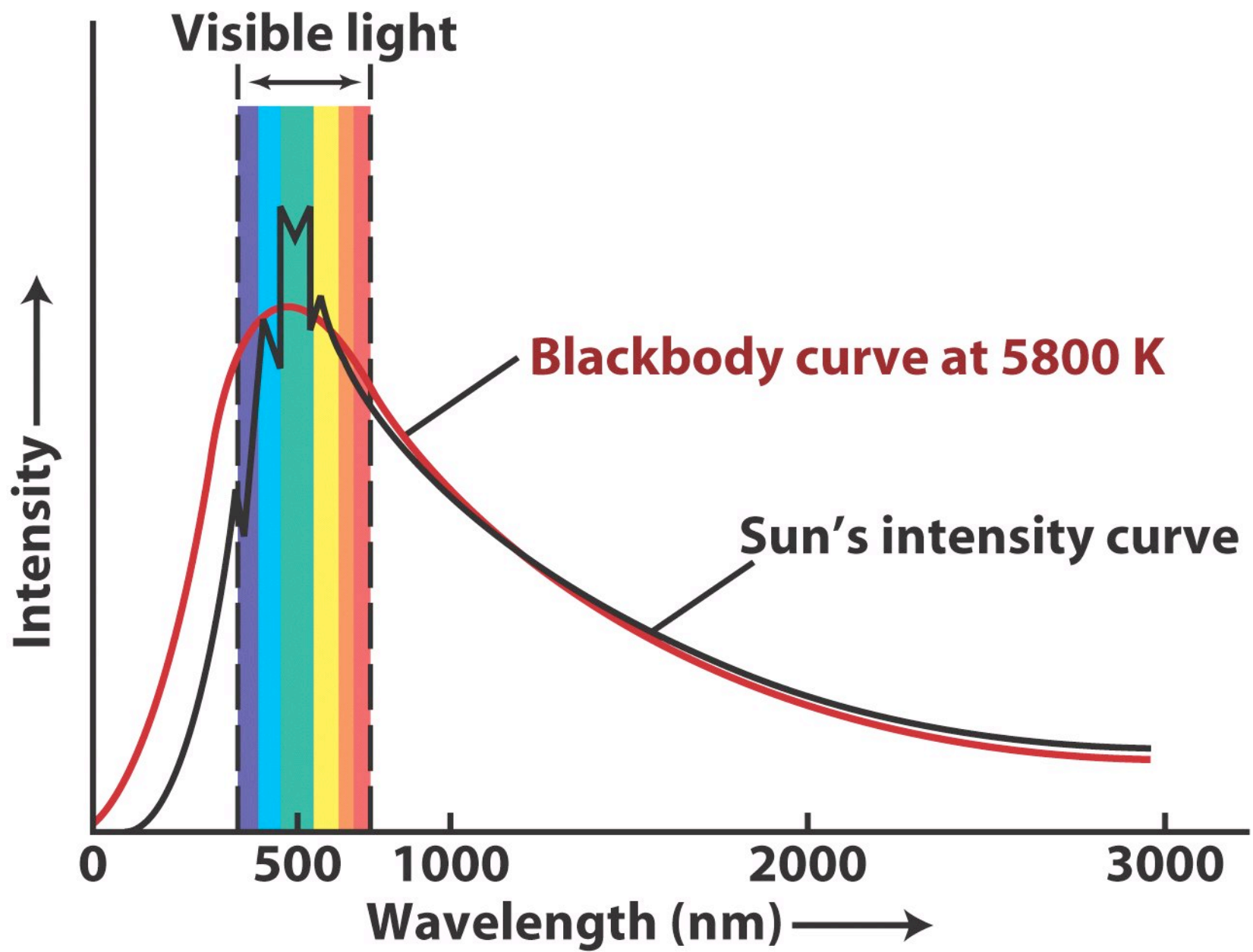
Wiens (förskjutnings)lag

$$\lambda_{\max} = \frac{0.0029 \text{ K m}}{T}$$

Wiens lag säger att den dominerande våglängden (λ_{\max}) som en svartkropp emitterar är inverst proportionell mot dess temperatur (T)

The higher the temperature of a blackbody, the shorter the wavelength of maximum emission (the wavelength at which the curve peaks).





Stefan-Boltzmanns lag

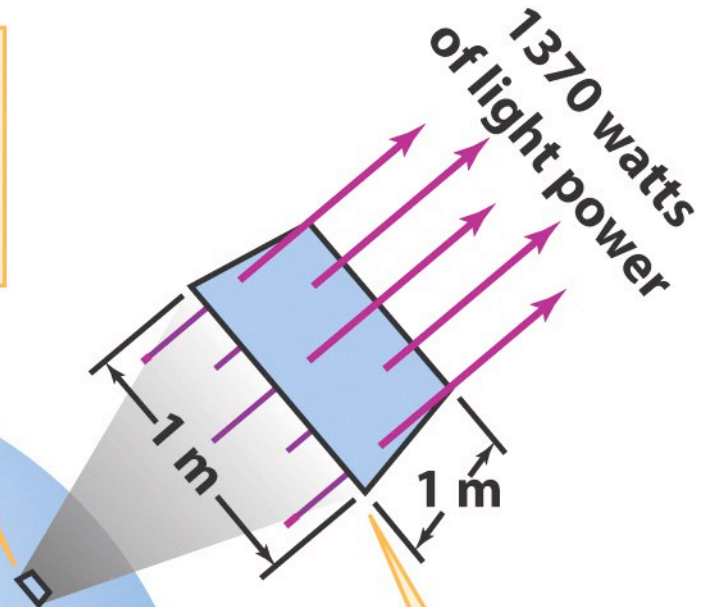
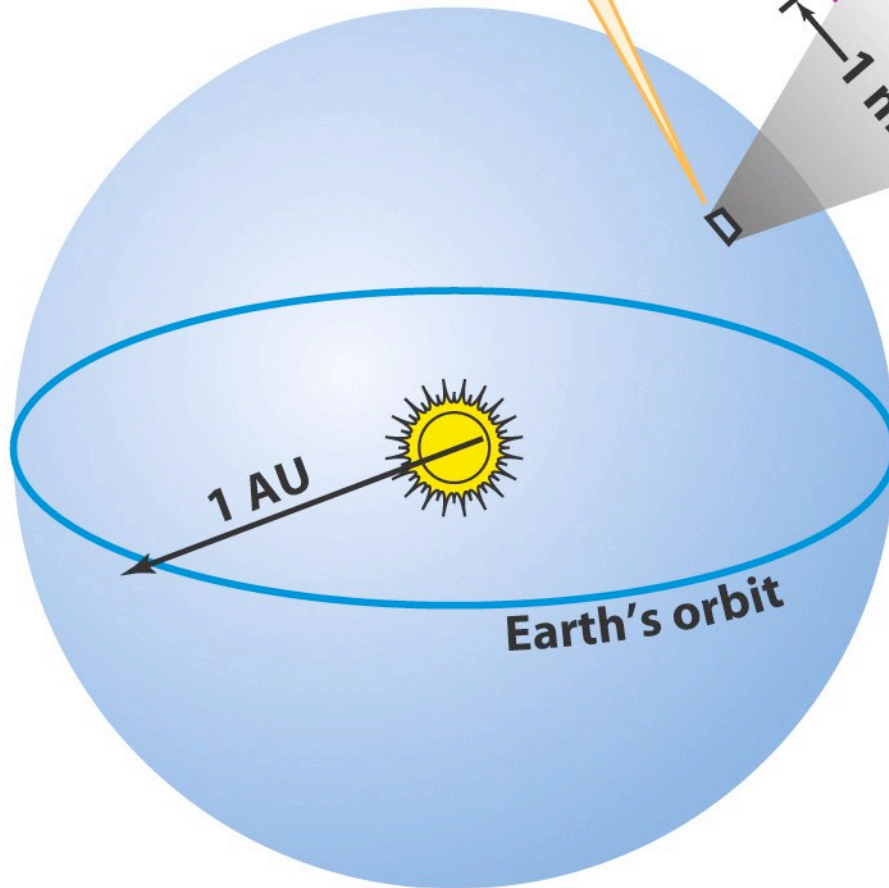
- Stefan-Boltzmanns lag säger att en svartkropp utsänder elektromagnetiska vågor med ett totalt energiflöde F direkt proportionellt mot temperaturen upphöjt i fyra:

$$F = \sigma T^4$$

där $\sigma = 5.6693 \times 10^{-8} \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{K}^{-4}$ är Stefan-Boltzmanns konstant

Solarkonstanten

At a distance of 1 AU from the Sun, this square meter of area receives 1370 watts of light power from the Sun.



Close-up of this square meter of area.

Energikonservierung

$$F(r_1)4\pi r_1^2 = F(r_2)4\pi r_2^2$$

$$\Rightarrow F = \frac{\text{konstant}}{r^2}$$

Räkna ut solens luminositet [Watt]
med $F(1 \text{ AU}) = S$ (solarkonstanten)

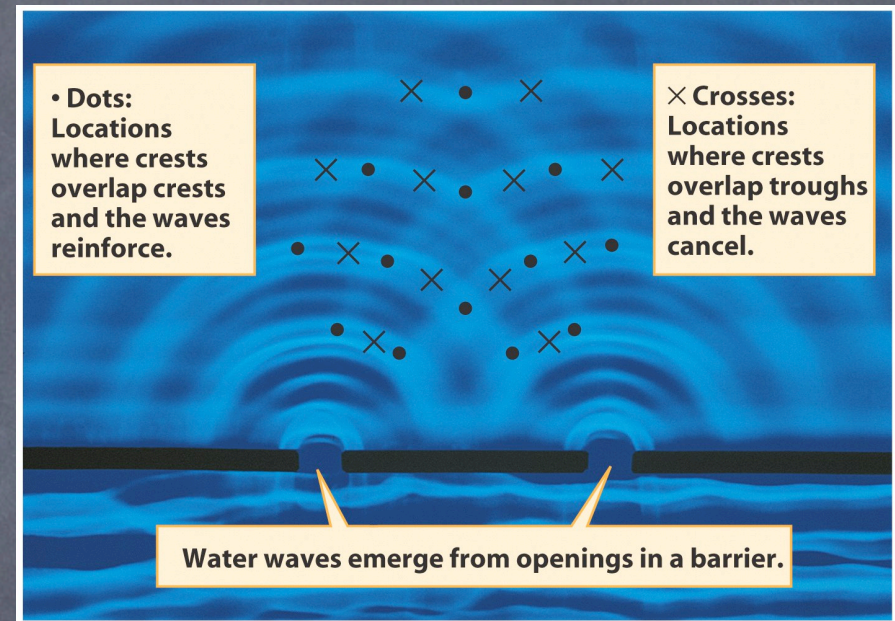
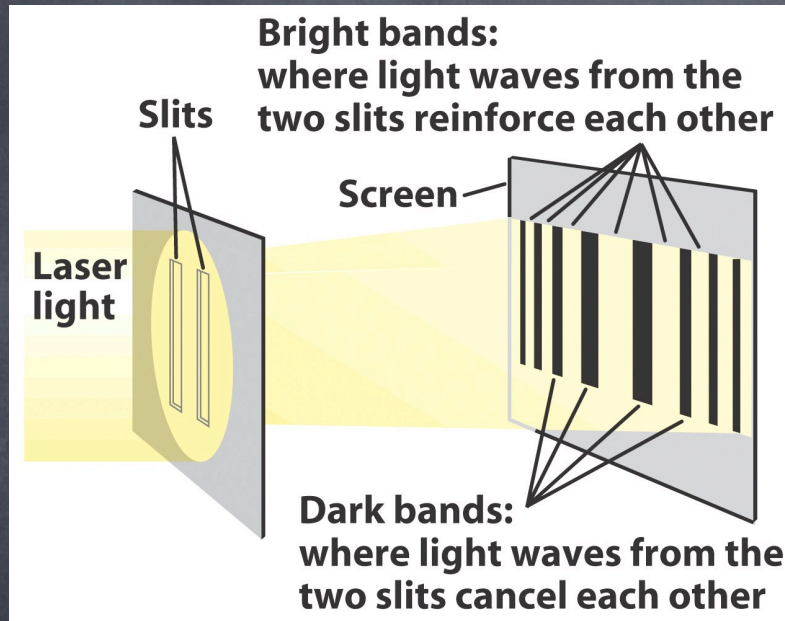
$$\begin{aligned} L &= S 4\pi r^2 = 1370 \times 4\pi (1.5 \times 10^{11})^2 \text{ W} \\ &= 3.9 \times 10^{26} \text{ W} = 1 L_{\odot} \end{aligned}$$

Räkna ut solens temperatur

$$\begin{aligned} F_{\odot} &= \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2} = \frac{3 \times 10^{26}}{4\pi (6.96 \times 10^8)^2} \text{ W m}^{-2} \\ &= 6.41 \times 10^7 \text{ W m}^{-2} \end{aligned}$$

$$T_{\odot} = \left(\frac{F_{\odot}}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} = 5800 \text{ K}$$

Ljus har både partikel och vågegenskaper



- Newton thought light was in the form of little packets of energy called photons and subsequent experiments with blackbody radiation indicate it has particle-like properties
- Young's Double-Slit Experiment indicated light behaved as a wave
- Ljus har en dualitet: det uppför sig som en ström av partiklar (fotoner) men varje foton har våglika egenskaper

Fotoner

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

- Plancks lag relaterar energin hos en foton till dess frekvens eller våglängd

E = energin hos en foton

h = Plancks konstant

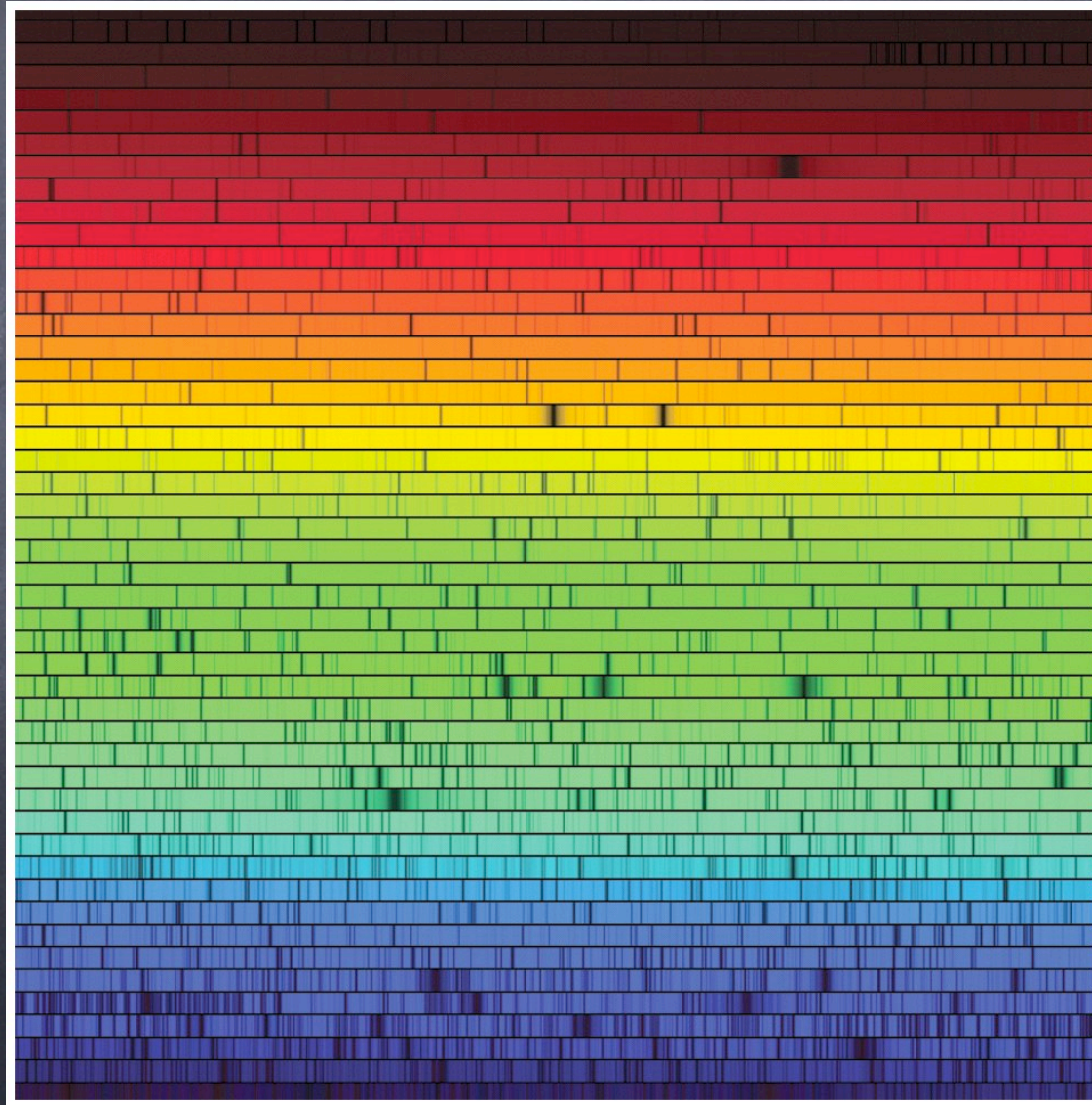
c = ljushastigheten

λ = våglängd

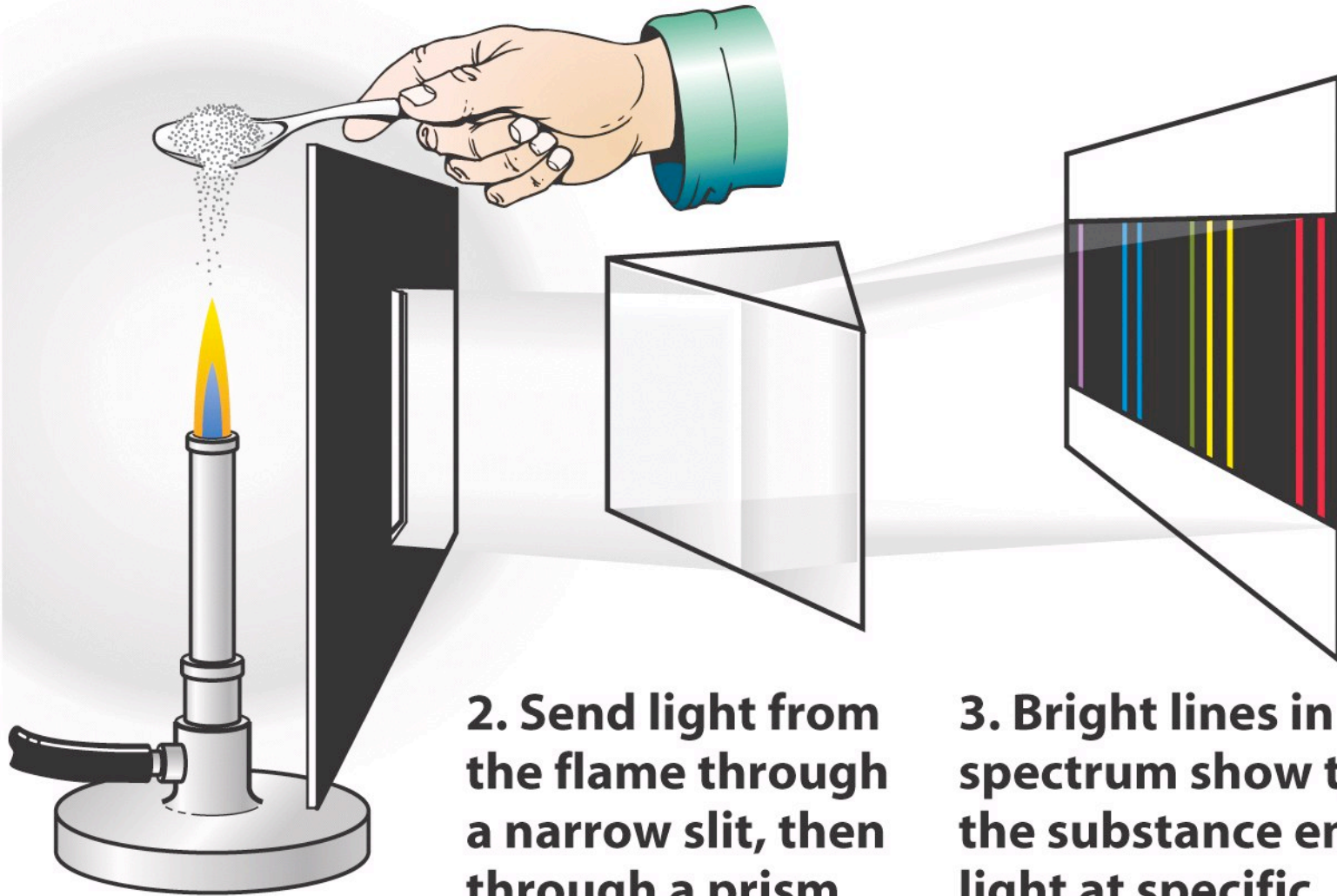
- Experiment ger

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Varje kemiskt element producerar sin egen uppsättning spektrallinjer



1. Add a chemical substance to a flame



2. Send light from the flame through a narrow slit, then through a prism

3. Bright lines in the spectrum show that the substance emits light at specific wavelengths only

Kirchhoffs lagar

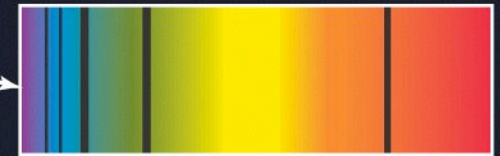
Hot blackbody



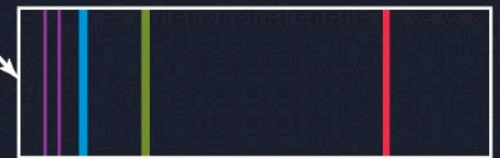
(a) CONTINUOUS SPECTRUM
(blackbody emits light at all wavelengths)

Cloud of cooler gas

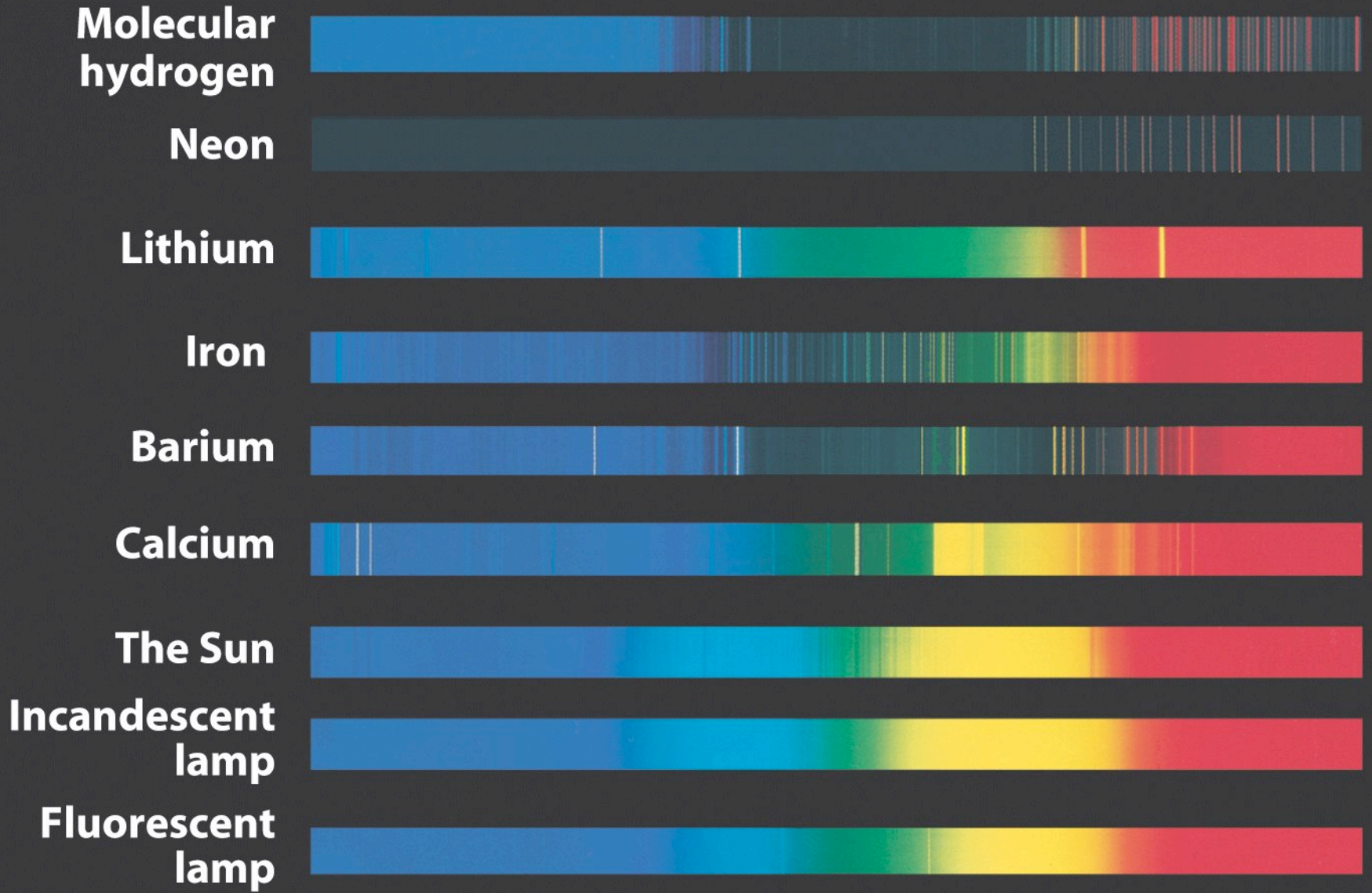
Prism



(b) ABSORPTION LINE SPECTRUM
(atoms in gas cloud absorb light of certain specific wavelengths, producing dark lines in spectrum)



(c) EMISSION LINE SPECTRUM
(atoms in gas cloud re-emit absorbed light energy at the same wavelengths at which they absorbed it)





Absorption spectrum of the Sun

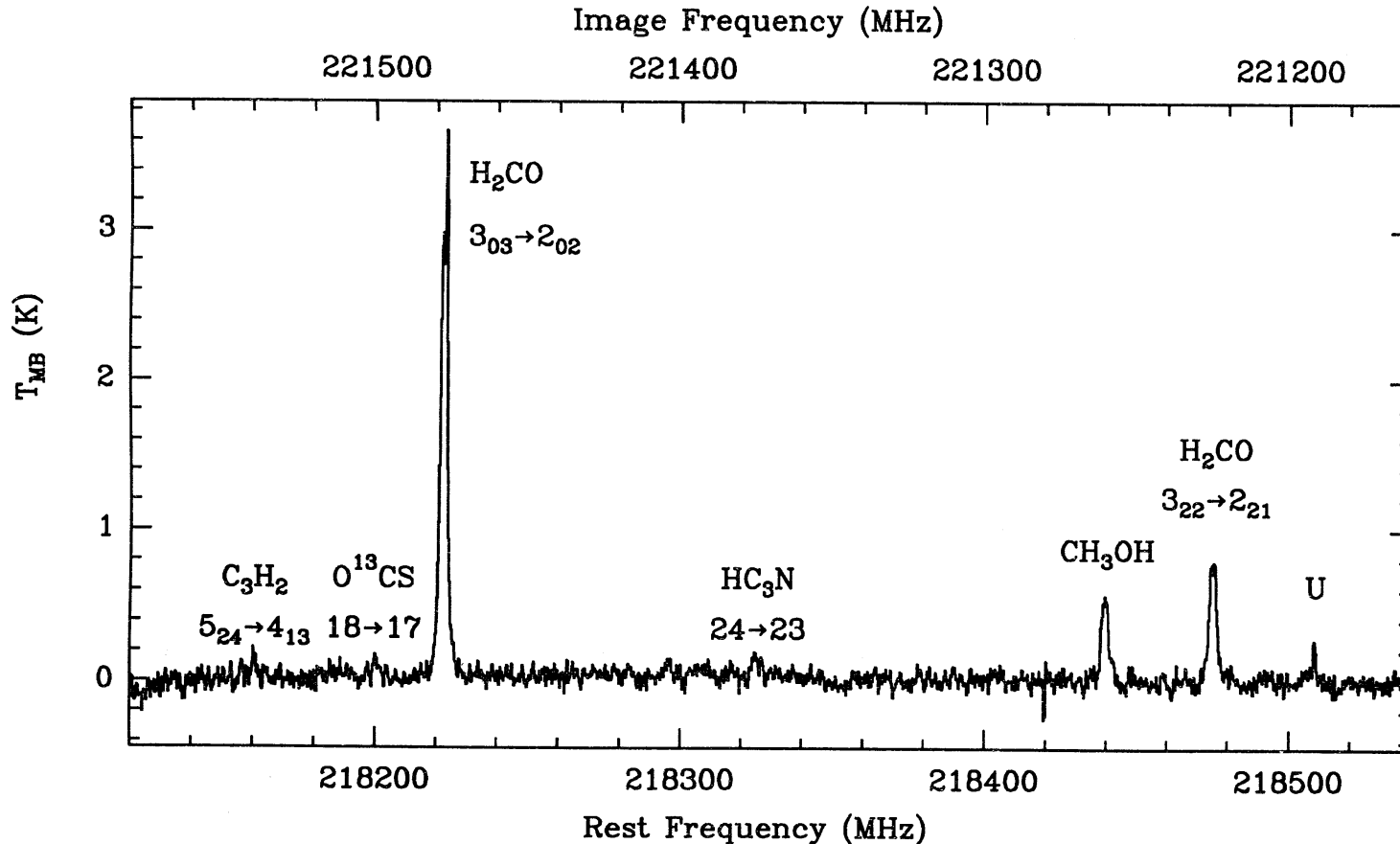


Emission spectrum of iron (in the laboratory on Earth)



For each emission line of iron, there is a corresponding absorption line in the solar spectrum; hence there must be iron in the Sun's atmosphere

Spektrum mot en ung stjärna (IRAS 16293-2422)

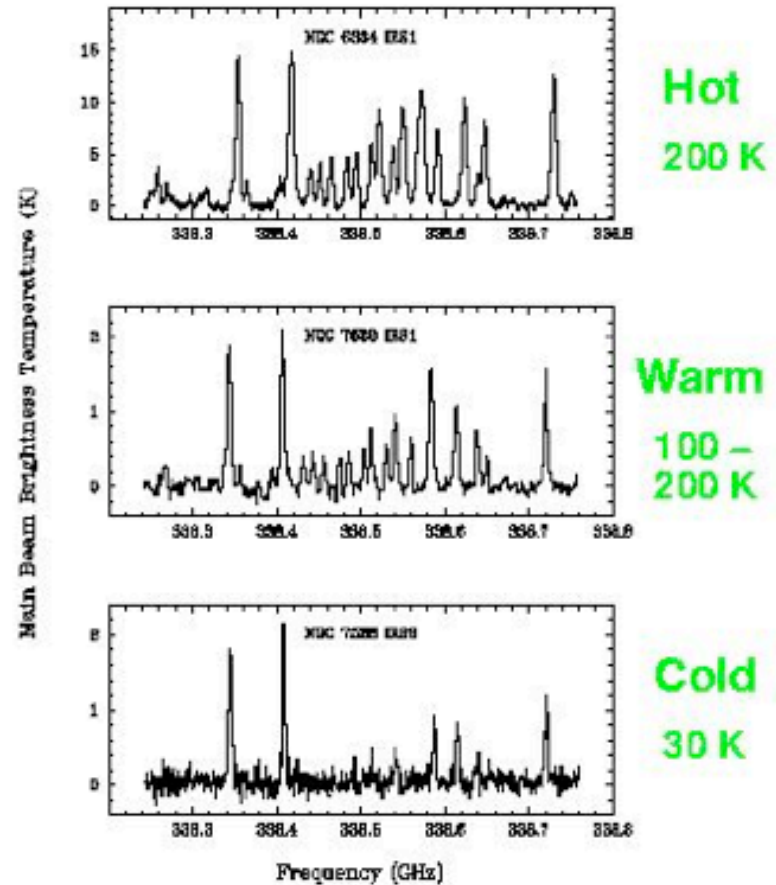


Info om vad gasen kring stjärnan består av, vilka temperaturer råder, täthet, hastigheter etc.

CH₃OH as Evolutionary Tracer

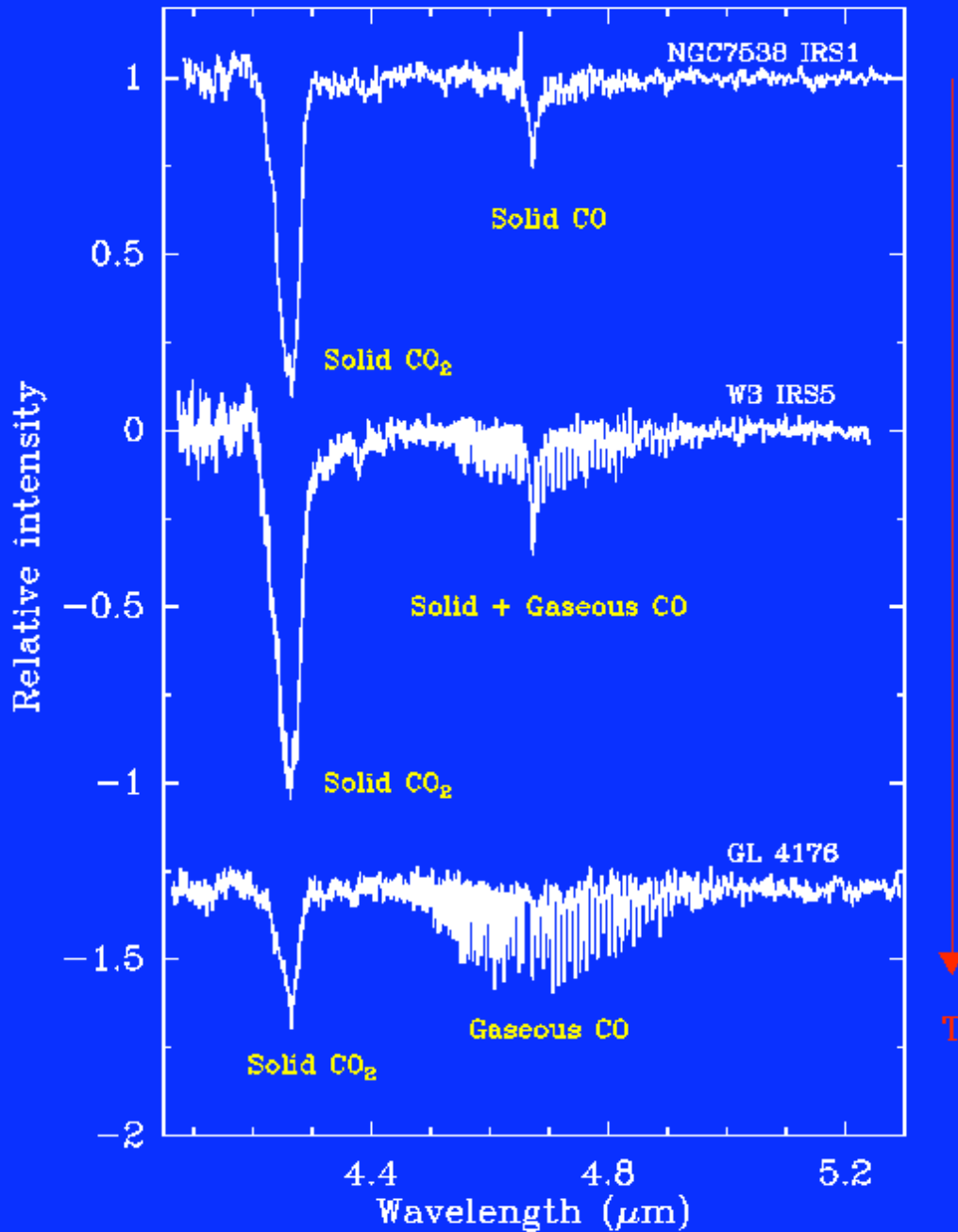
- Large variations in excitation temperature
- Abundance jump from 10^{-9} to 10^{-7} above 90 K

→ Ice evaporation



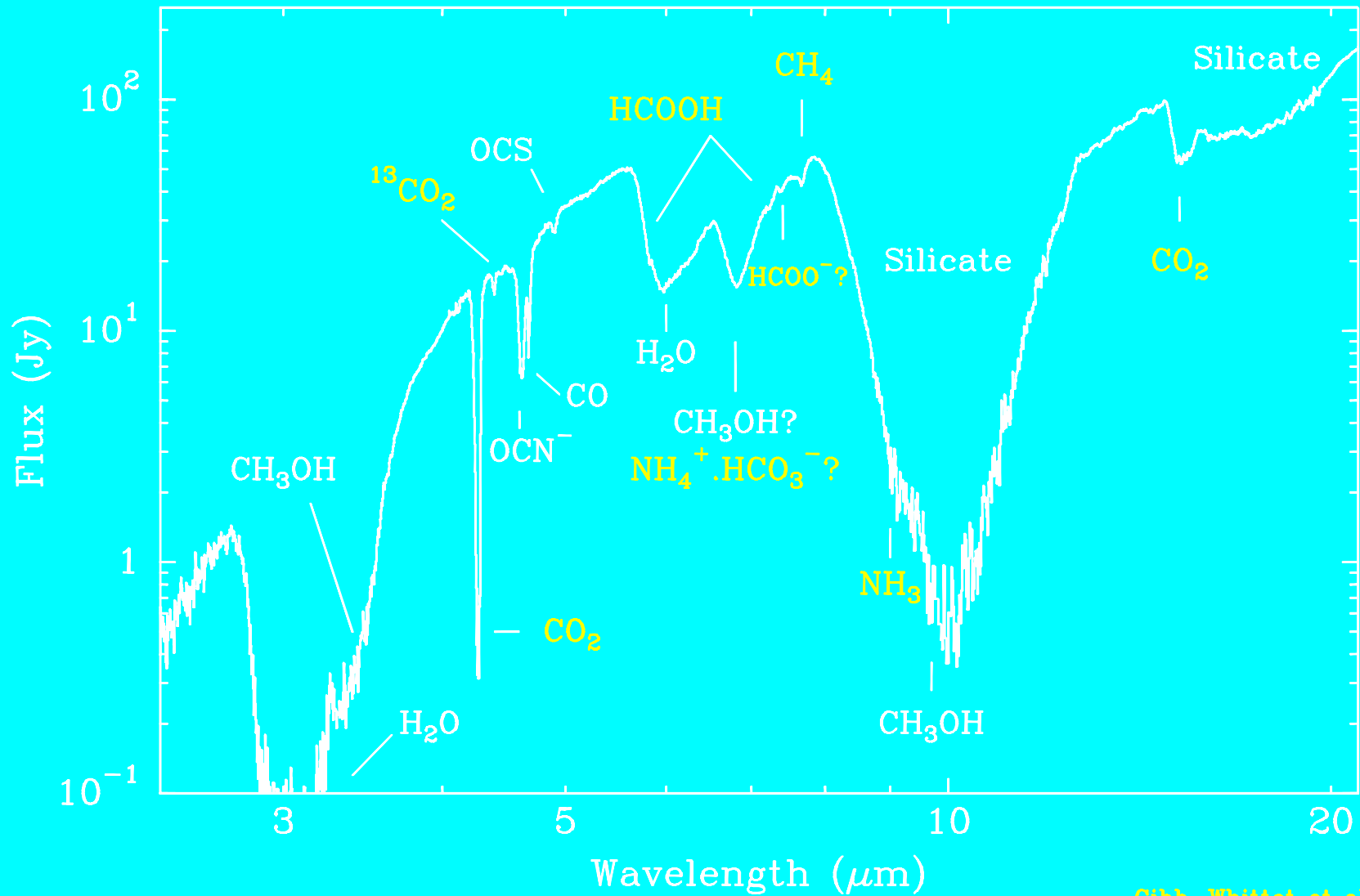
van der Tak, van Dishoeck & Caselli 2000

Evolution of Solid and Gaseous CO₂ and CO



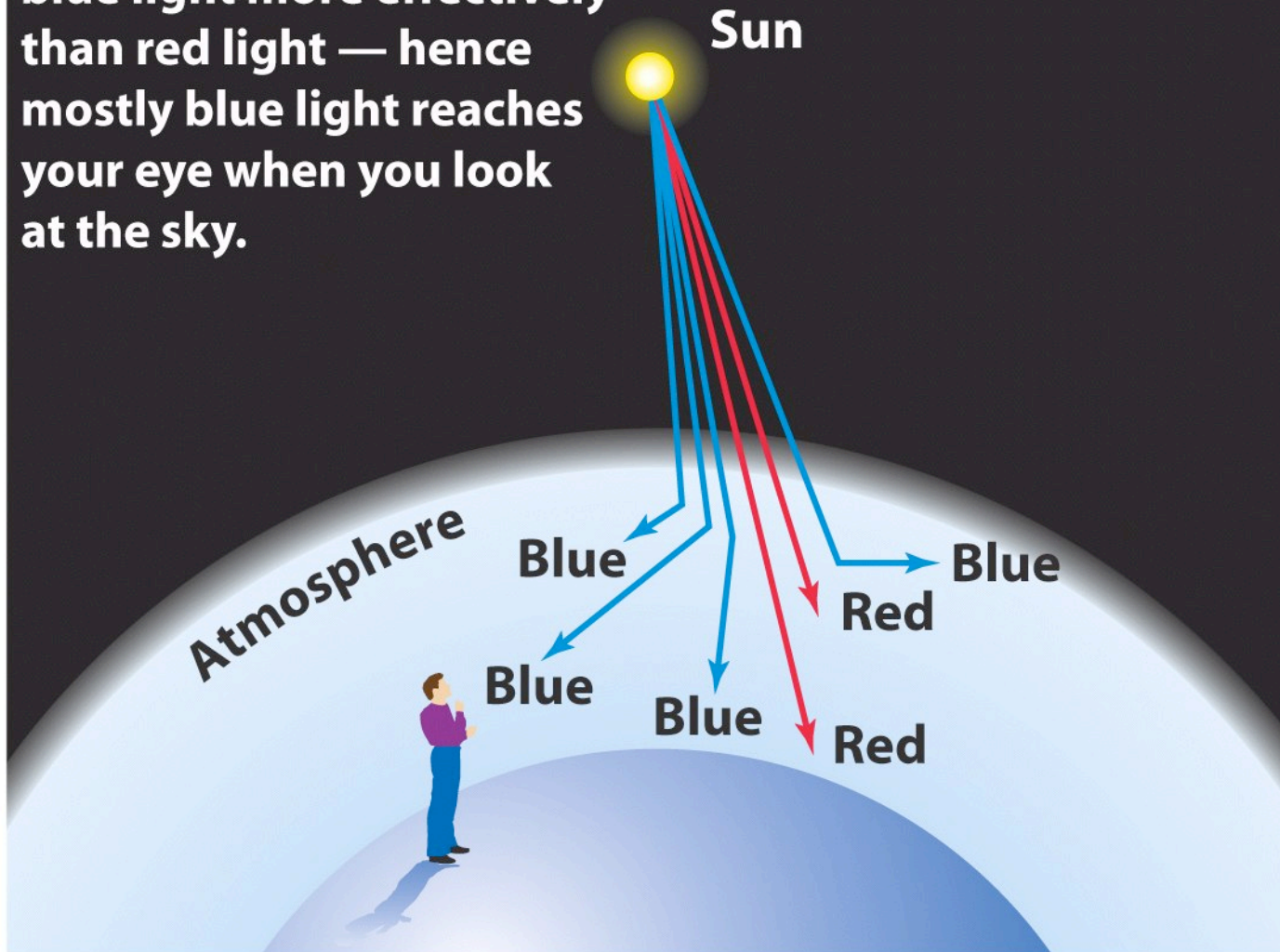
Data från ISO
(Infrared Space
Observatory)

W33A: INVENTORY OF ICES

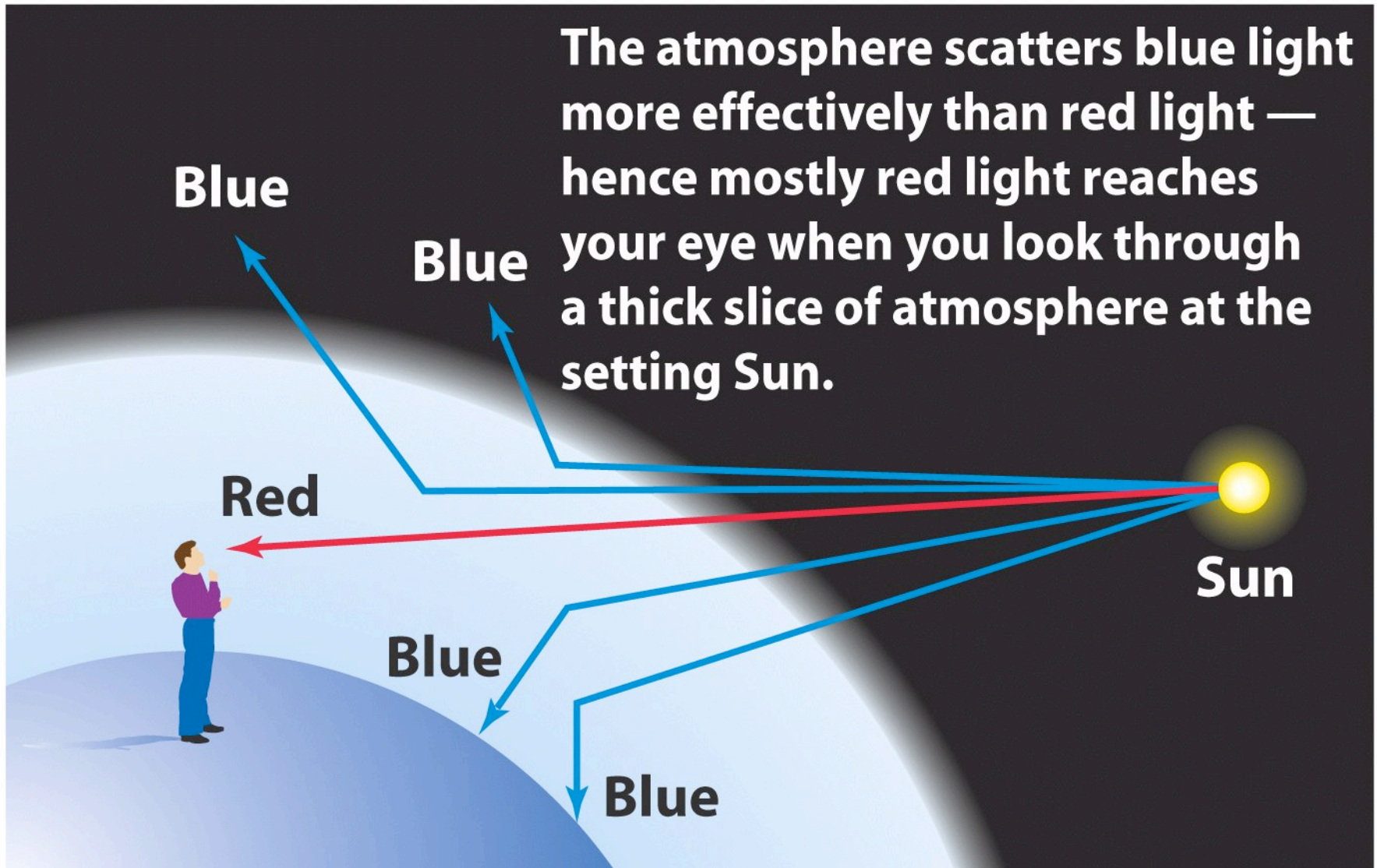


Gibb, Whittet et al. 2000
Schutte et al. 1999

The atmosphere scatters blue light more effectively than red light — hence mostly blue light reaches your eye when you look at the sky.

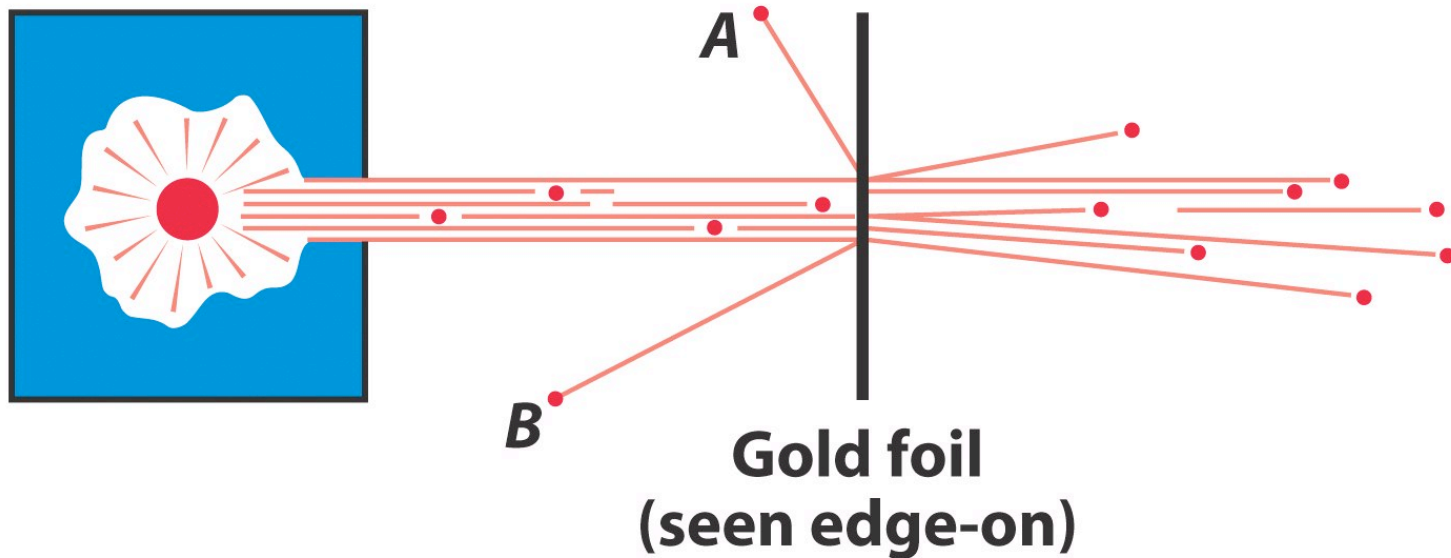


(a) Why the sky looks blue

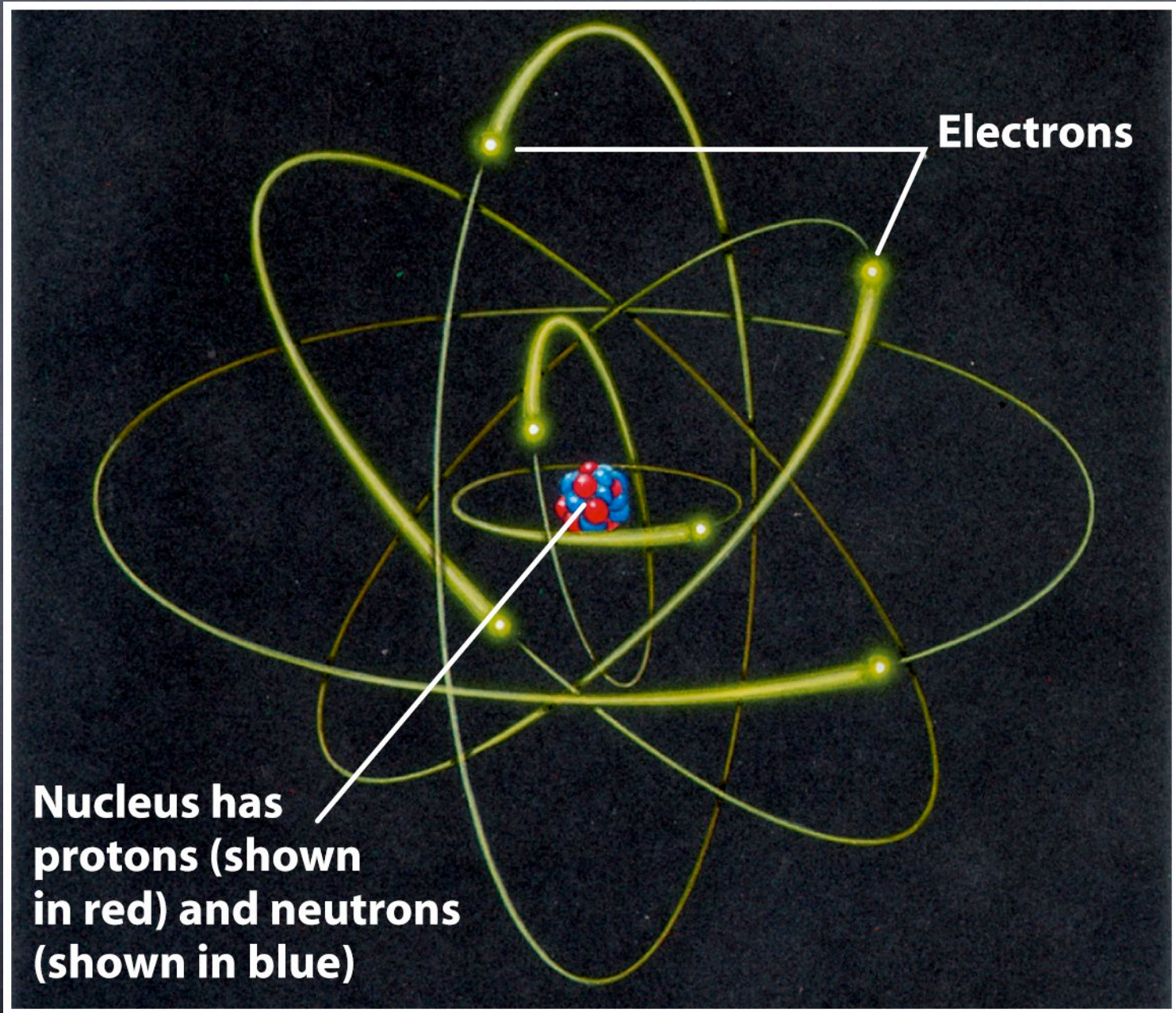


(b) Why the setting Sun looks red

En atom består av en liten, tät kärna omgiven av elektroner



- Atomkärnan består av protoner och neutroner
- Rutherford's experiment med alpha partiklar (helium kärna) som träffade en guldfolie hjälpe till med att bestämma dess struktur



Periodic Table of the Elements

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111	112	113	114	115	116	117	118

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No

- Antalet protoner i atomkärnan ger ämnets **atomnummer**, ex Syre med 8
- Samma ämne kan ha olika antal neutroner i sin kärna
- Dessa kallas **isotoper**, ex Syre ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O (där ^{16}O vanligast)

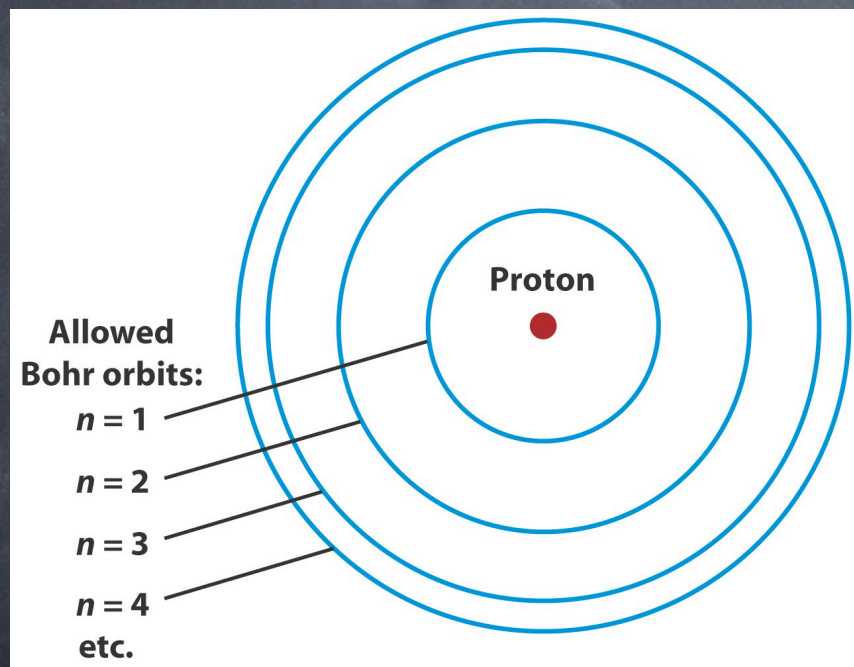
Spektrallinjer uppkommer då en elektron i en atom går från en energinivå till en annan

- Atomkärnan omges av elektroner som bara kan gå i vissa specifika banor eller energinivåer

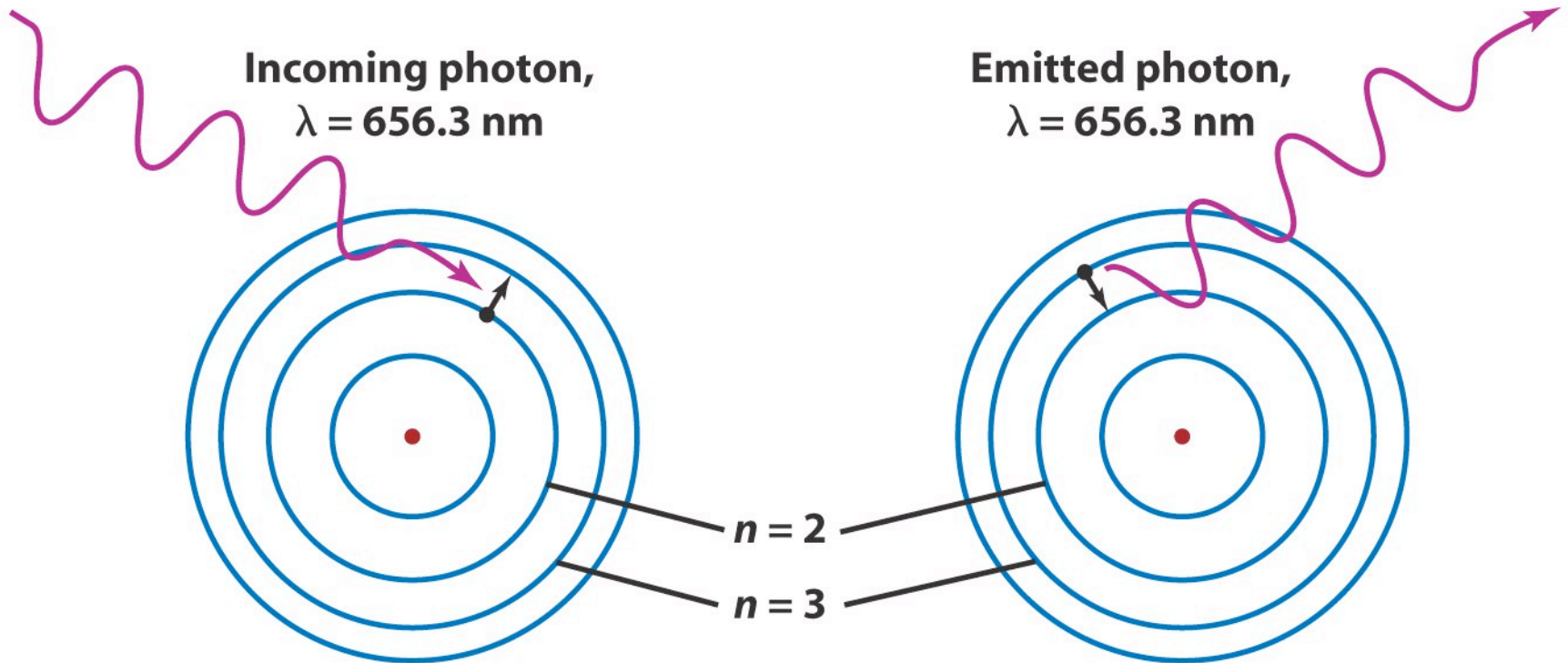
- När en elektron går från en energinivå till en annan så absorberar eller emitterar den en foton av lämplig energi (alltså med en specifik våglängd)

- Spektrallinjerna hos ett givet ämne motsvarar elektronövergångar mellan dess energinivåer

- Bohrs modell för atomen predikterar noggrant väteets spektrallinjer

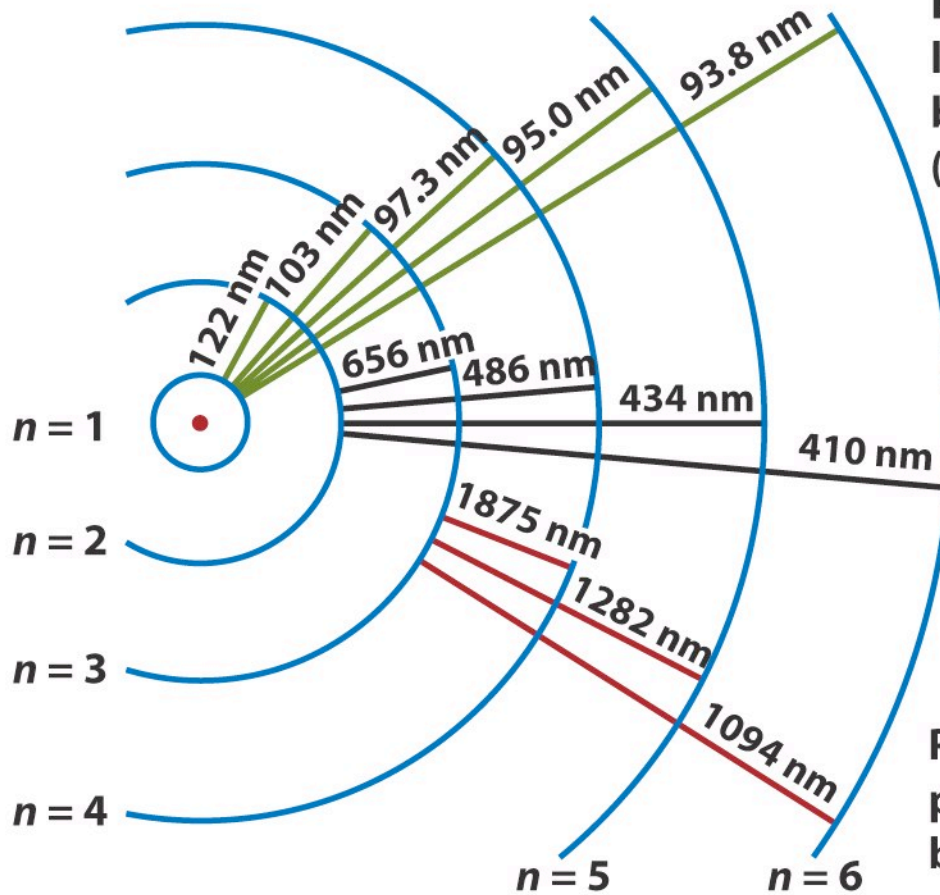


n är huvudkvanttalet



(a) Atom absorbs a 656.3-nm photon; absorbed energy causes electron to jump from the $n = 2$ orbit up to the $n = 3$ orbit

(b) Electron falls from the $n = 3$ orbit to the $n = 2$ orbit; energy lost by atom goes into emitting a 656.3-nm photon



Lyman series (ultraviolet) of spectral lines: produced by electron transitions between the $n = 1$ orbit and higher orbits ($n = 2, 3, 4, \dots$)

Balmer series (visible and ultraviolet) of spectral lines: produced by electron transitions between the $n = 2$ orbit and higher orbits ($n = 3, 4, 5, \dots$)

Paschen series (infrared) of spectral lines: produced by electron transitions between the $n = 3$ orbit and higher orbits ($n = 4, 5, 6, \dots$)

Bohrs atommodell

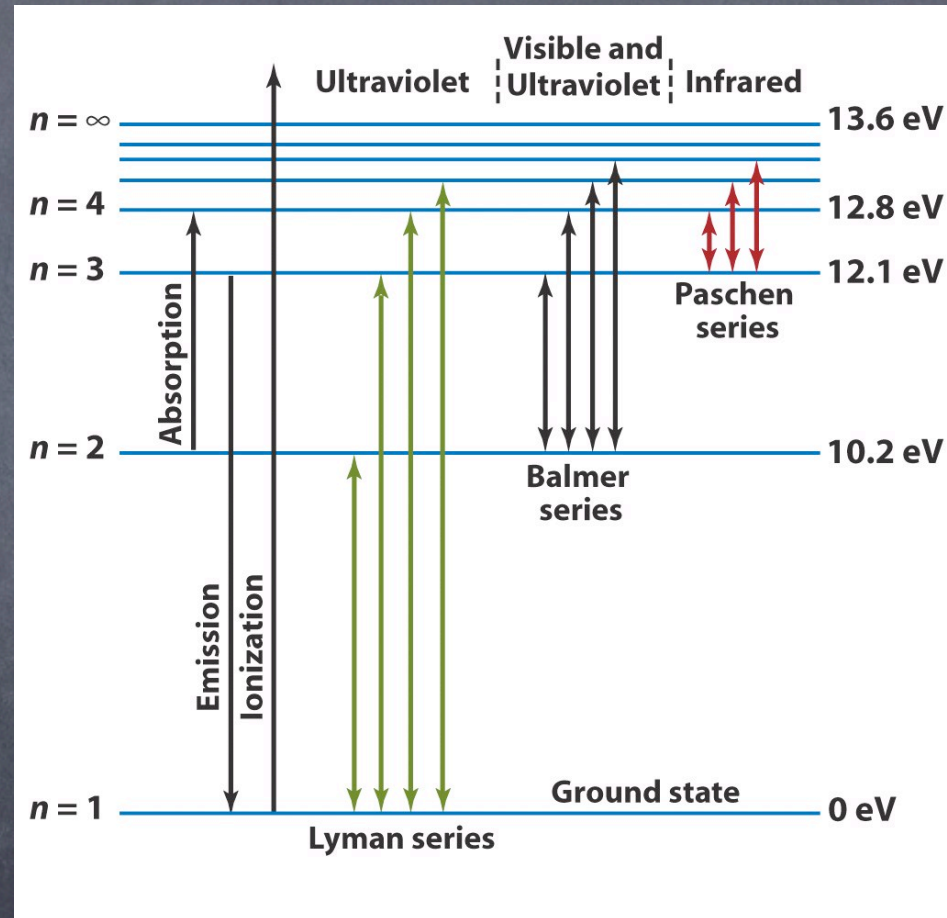
$$\frac{1}{\lambda} = R \times \left[\frac{1}{N^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

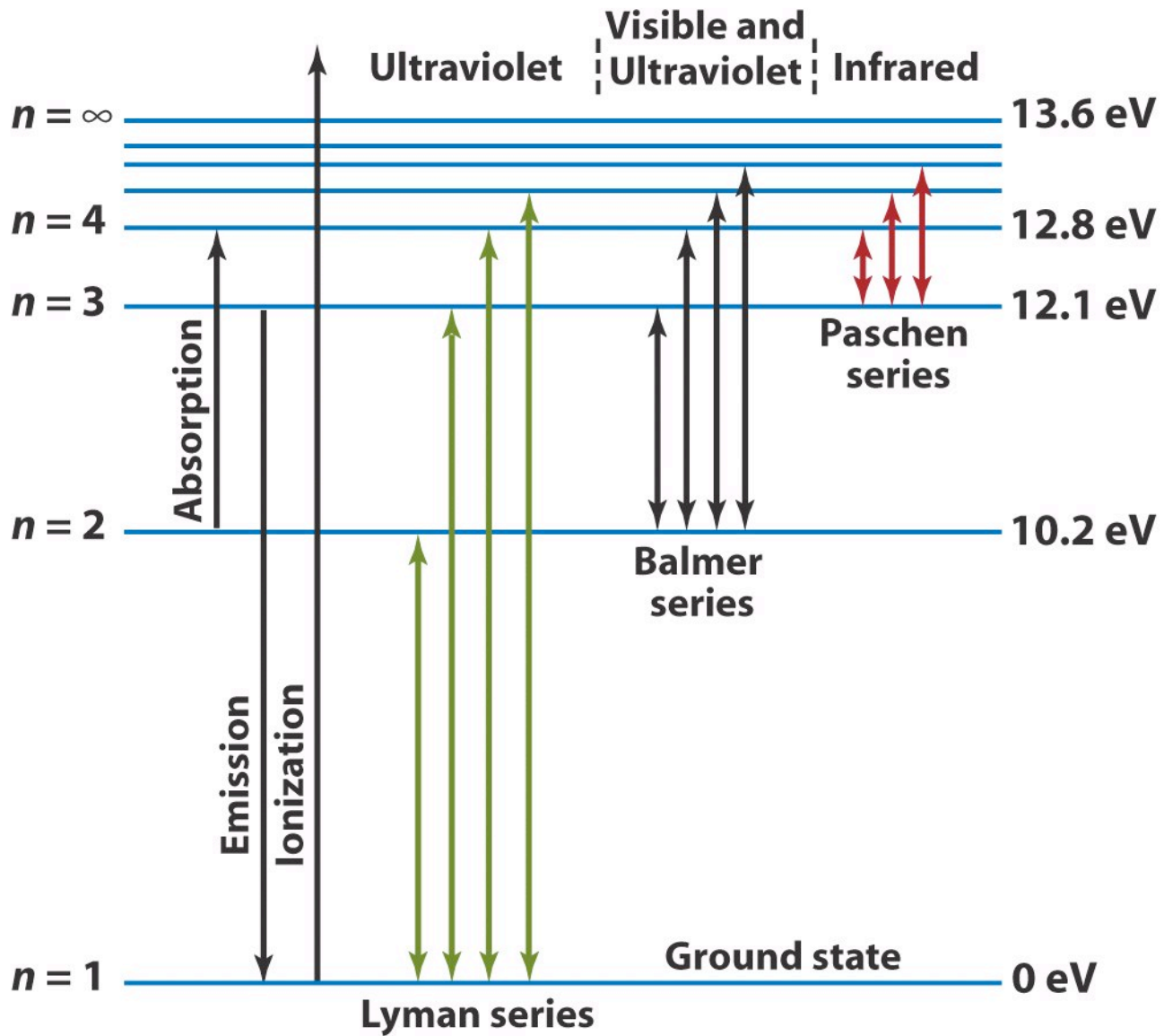
N = kvantal för inre banan

n = kvanttal för yttre banan

R = Rydbergs konstant ($1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$)

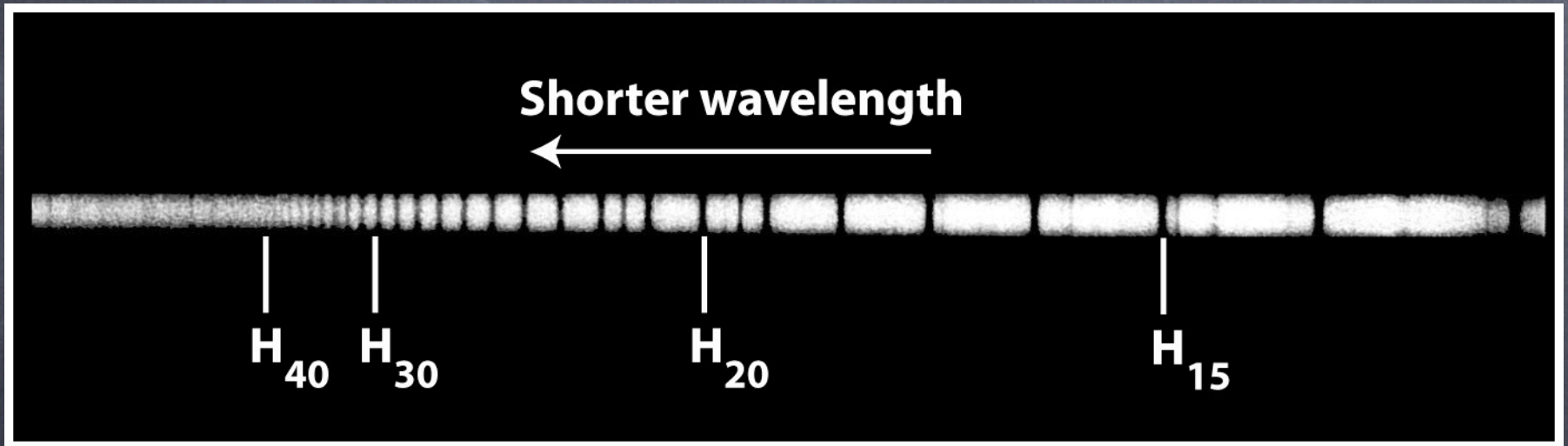
λ = våglängd hos den absorberade eller emitterade fotonen





emission - absorption- jonisation

Balmerlinjer i ett stjärnspektrum

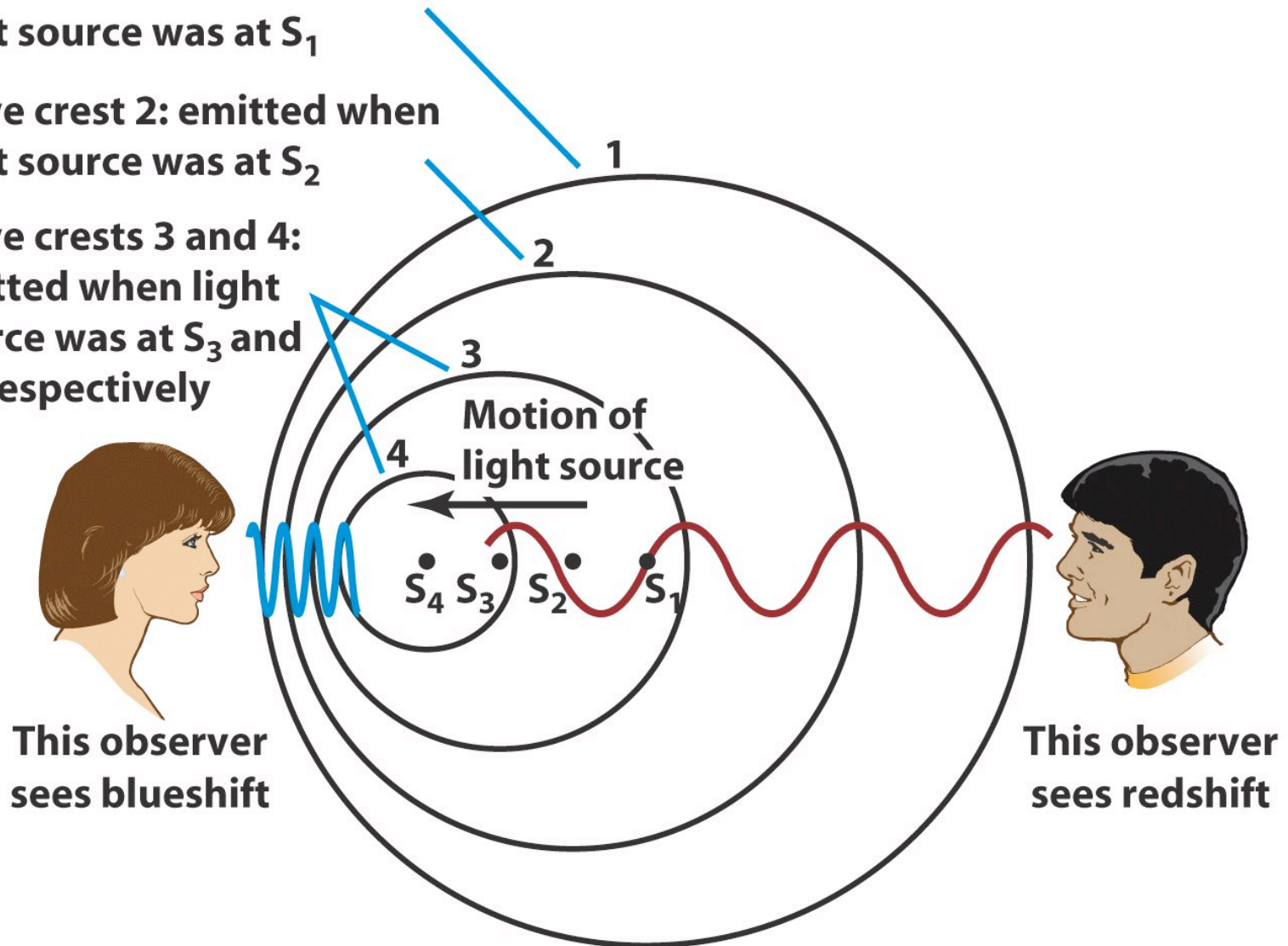


Våglängden hos en spektrallinje som en observatör mäter upppåverkas av den relativa rörelsen mellan källan och observatören

Wave crest 1: emitted when light source was at S_1

Wave crest 2: emitted when light source was at S_2

Wave crests 3 and 4: emitted when light source was at S_3 and S_4 , respectively



This observer sees blueshift

This observer sees redshift

Dopplerskift

- **Rödskift:** objektet rör sig ifrån observatören
- **Blåskift:** objektet rör sig mot observatören

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

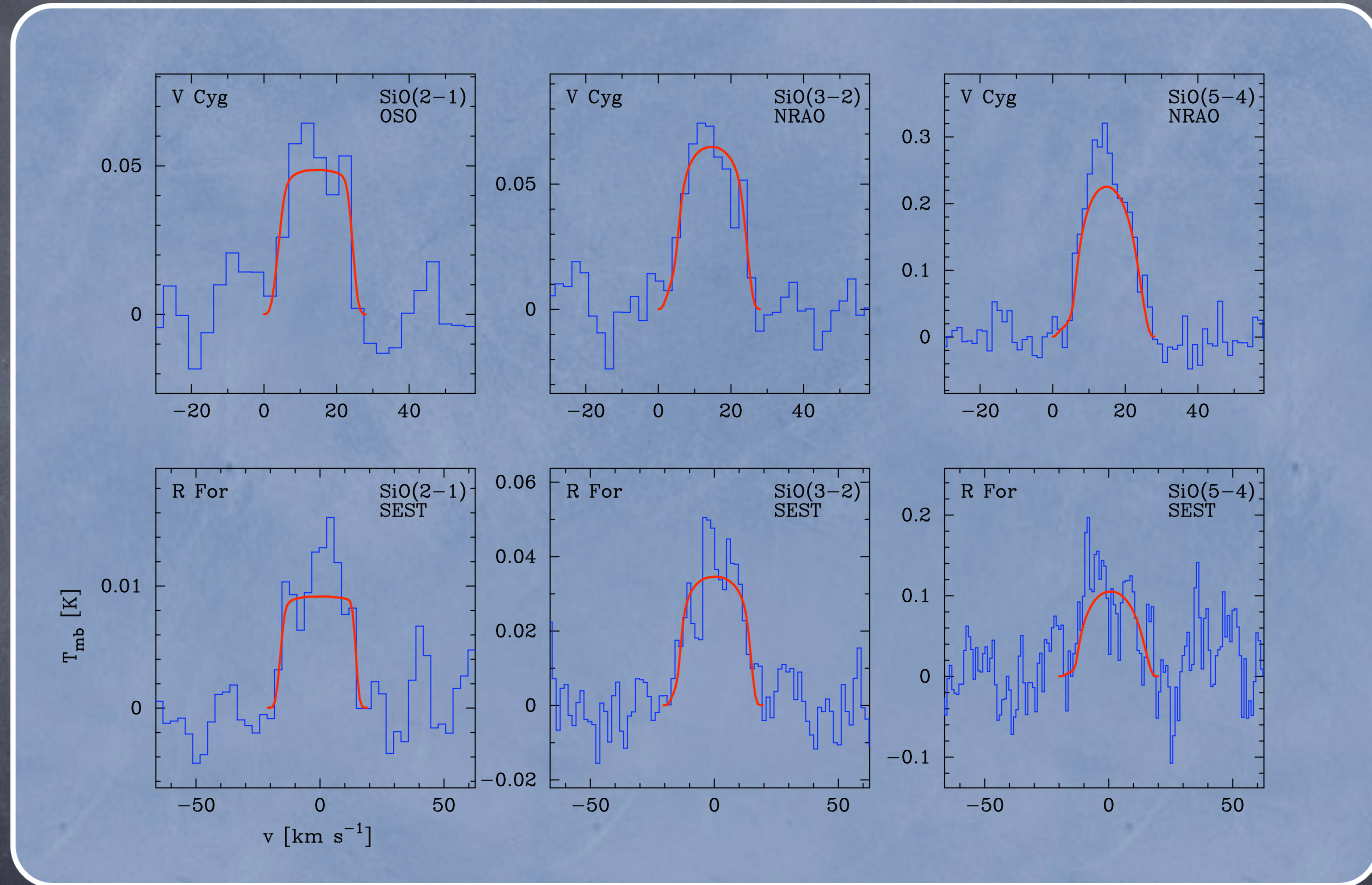
$\Delta\lambda$ = skift i våglängd

λ_0 = våglängd om källan i vila (lab-våglängd)

v = källan hastighet

c = ljusets hastighet

SiO runt kolstjärnor



Info om hur mycket SiO som finnes, hastighet med vilken gasen rör sig (här en stjärnvid med 10–15 km/s)