Exoplaneten

Astronomiworkshop

Vibenshus Gymnasium

Jacob Debel

Velkommen

Forestil jer

tanken om

at bebo en fremmed planet

en exoplanet

Hvad skal der til?

Hvad skal der til?

- Først skal de opdages.

Hvad skal der til?

- Først skal de opdages.
- Så skal der rejses der hen.

Hvad skal der til?

- Først skal de opdages.
- Så skal der rejses der hen.
- Gerne med en udforskningsrobot, som kan tage prøver.

Hvad skal der til?

- Først skal de opdages.
- Så skal der rejses der hen.
- Gerne med en udforskningsrobot, som kan tage prøver.
- Disse skal så testes for, om de er giftige.

4 workshops

Derfor har vi 4 workshops

Astronomi

Hvordan finder man exoplaneter?

(Raket)Fysik

Hvad skal der til for at rejse der hen?

Programmér en rover

Hvordan styrer man en udforskningsrobot?

Jordbundsanalyse

Hvordan kan man foretage en jordbundsanalyse?

Exoplaneter

- En exoplanet er en planet, som bevæger sig om en anden stjerne end Solen.
- Den 1. oktober 2022 er der registreret 5197 exoplaneter. (Kilde https://en.wikipedia.org/wiki/Exoplanet

Observationsmetoder

Hvordan observeres de?

Observationsmetoder

Hvordan observeres de?

- Radialhastighed
- Astrometri
- Formørkelse
- Microlensing
- Direkte observationer

Radialhastighed

Den første metode til at påvise exoplaneter.

Astrometri

En meget svær metode. Kun en exoplanet er opdaget på denne måde.

Formørkelsesmetoden

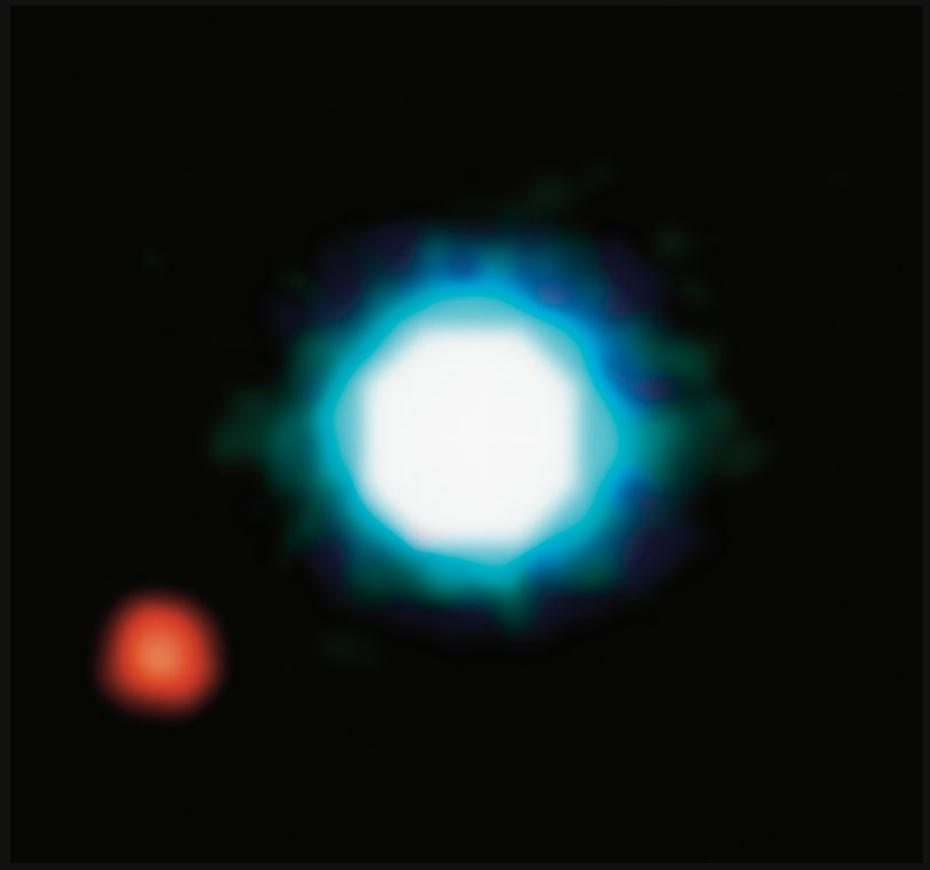
Den mest succesfulde metode.

Microlensing

Kan detektere meget små exoplaneter. Optræder dog kun én gang.

Direkte observationer

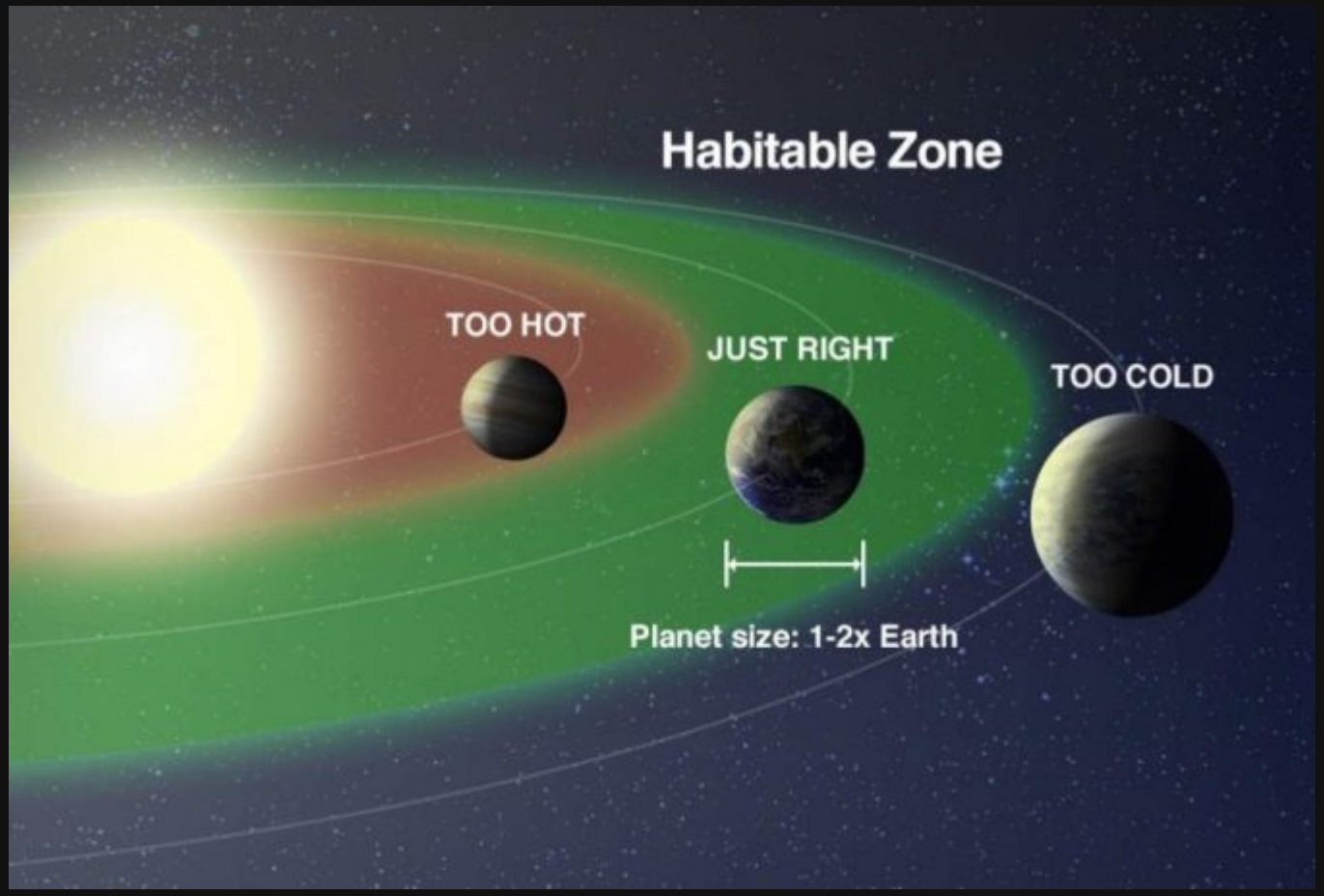
- 2M1207b
- Første billede af en exoplanet
- 2004 af VLT
- 5 gange tungere end Jupiter
- 55 gange afstanden mellem Jorden og Solen
- 230 lysår væk
- Billedet er sammensat af 3 nærinfrarøde billeder



VLT - Very Large Telescope

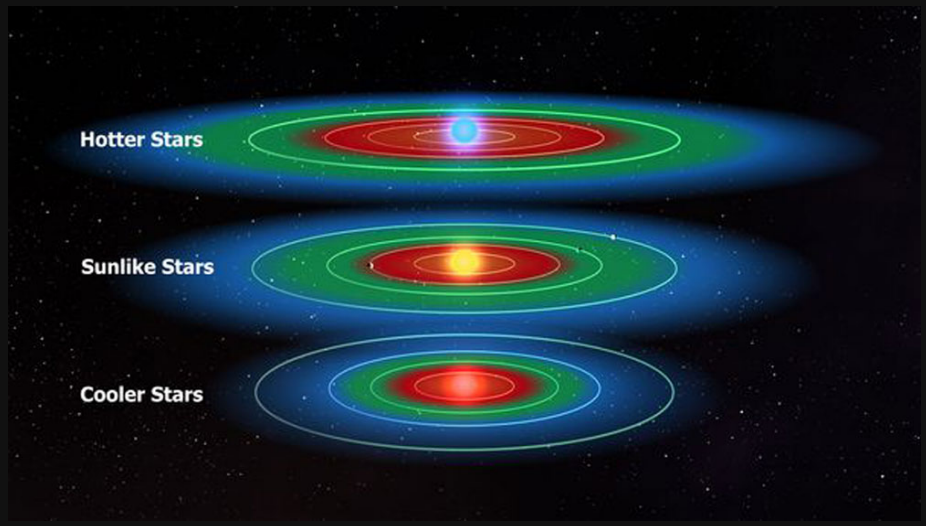
Kan man så bo der?

Den beboelige zone



Den beboelige zone

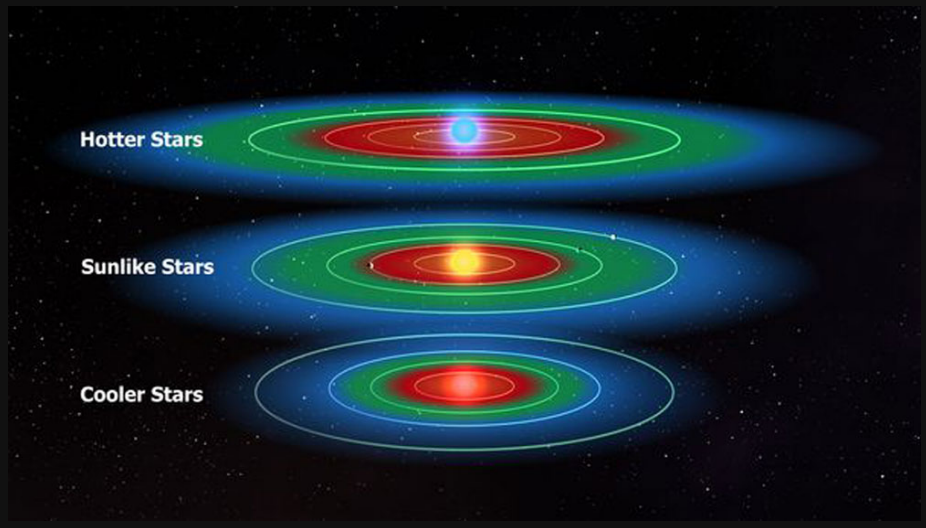
Vi ved at der er liv på Jorden.



Den beboelige zone

Vi ved at der er liv på Jorden.

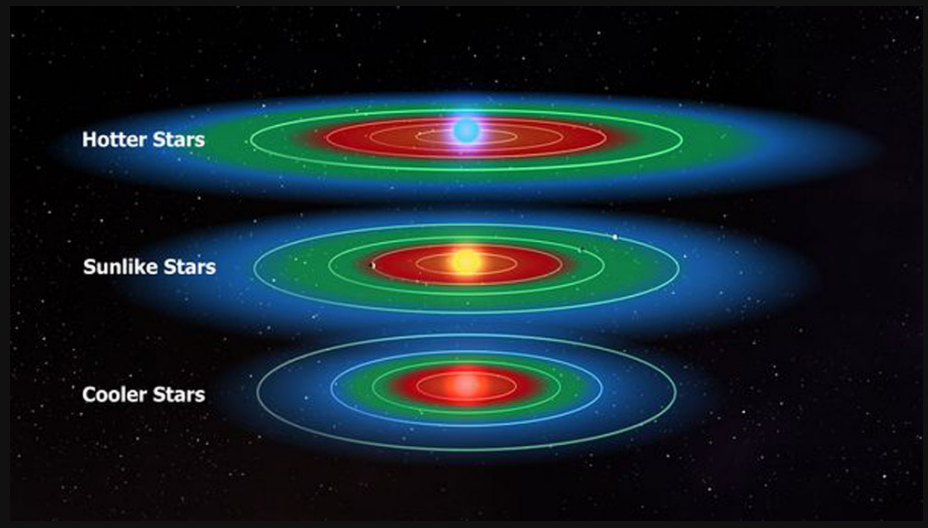
- Den beboelige zone er derfor et bælte omkring en stjerne med nogenlunde samme *flux*, som vi modtager fra Solen.



Den beboelige zone

Vi ved at der er liv på Jorden.

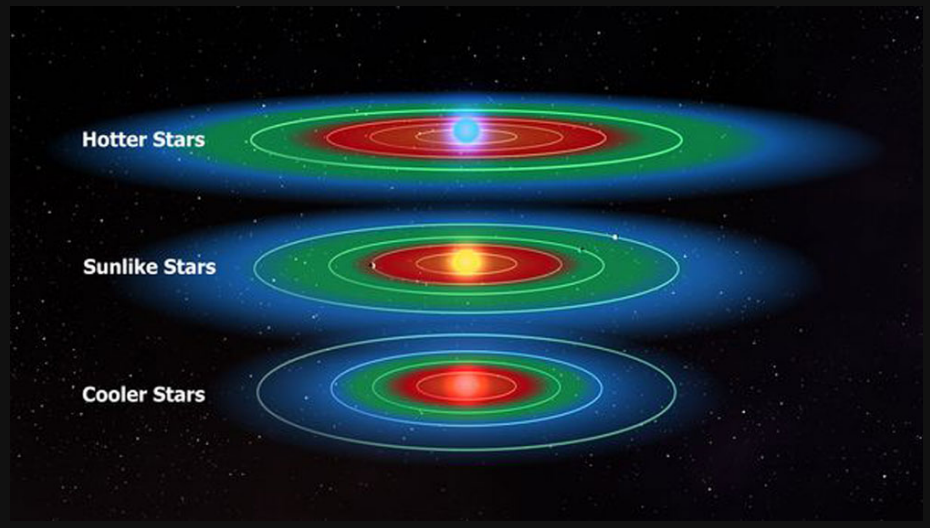
- Den beboelige zone er derfor et bælte omkring en stjerne med nogenlunde samme *flux*, som vi modtager fra Solen.
- Kaldes undertiden *guldlokzonen*.



Den beboelige zone

Vi ved at der er liv på Jorden.

- Den beboelige zone er derfor et bælte omkring en stjerne med nogenlunde samme *flux*, som vi modtager fra Solen.
- Kaldes undertiden *guldlokzonen*.
- Her er der lige tilpas varmt.



Kan vi selv regne den ud?

Kan vi selv regne den ud?

- Ja selvfølgelig!

Kan vi selv regne den ud?

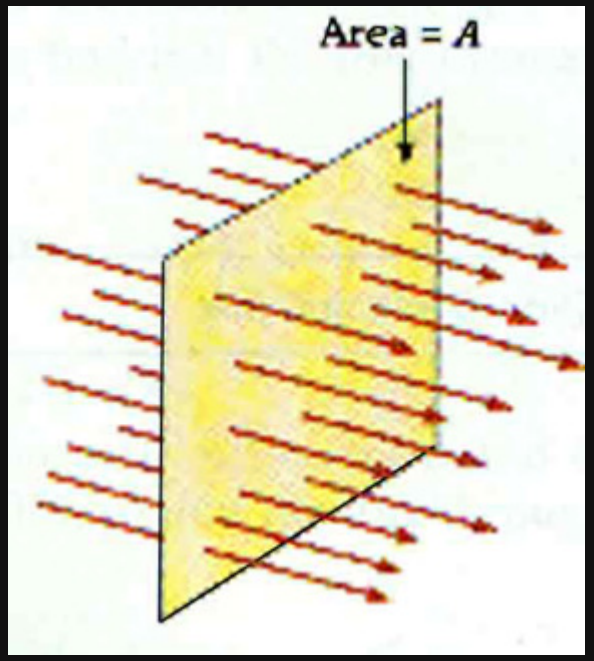
- Ja selvfølgelig!
- Men først skal vi lige vide lidt om *luminositet* og *flux*.

Luminositet

- Den samlede *effekt* i *alle* retninger.
- Måles i watt, eller i enheder af $L_\odot$ (solluminositeter)

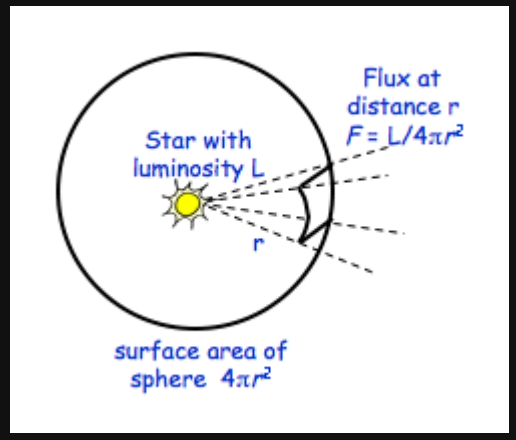
Flux

- *Effekt* per areal.
- $\phi = \sigma \cdot T^4$ Stefan-Boltzmanns lov



Sammenhæng

- $L = A_{\text{overflade}} \cdot \phi$
- $A_{\text{kugleoverflade}} = 4\pi r^2$
- $L = 4\pi r^2 \cdot \phi$
- $\boxed{r = \sqrt{\frac{L}{4\pi\phi}}}$



Beboelig zone om Jorden

- Jorden modtager en flux fra Solen på $\phi = 1386\ \frac{W}{m^2}$
- Jordens afstand til Solen er $1\ AE = 1.496 \cdot 10^{11}\ m.$
- Solens luminositet er $L_\odot = 3.90 \cdot 10^{26}\ W$

Beboelig zone om Jorden

- Jorden modtager en flux fra Solen på $\phi = 1386\ \frac{W}{m^2}$
- Jordens afstand til Solen er $1\ AE = 1.496 \cdot 10^{11}\ m.$
- Solens luminositet er $L_\odot = 3.90 \cdot 10^{26}\ W$
- Lad os antage at den beboelige zone ligger der, hvor fluxen er mellem $1200\ \frac{W}{m^2}$ og $1500\ \frac{W}{m^2}$

Beboelig zone om Jorden

- Jorden modtager en flux fra Solen på $\phi = 1386\ \frac{W}{m^2}$
- Jordens afstand til Solen er $1\ AE = 1.496 \cdot 10^{11}\ m.$
- Solens luminositet er $L_\odot = 3.90 \cdot 10^{26}\ W$
- Lad os antage at den beboelige zone ligger der, hvor fluxen er mellem $1200\ \frac{W}{m^2}$ og $1500\ \frac{W}{m^2}$
- Lad os indsætte værdierne i formlen fra forrige

Beboelig zone om Jorden

- Jorden modtager en flux fra Solen på $\phi = 1386\ \frac{W}{m^2}$
- Jordens afstand til Solen er $1\ AE = 1.496 \cdot 10^{11}\ m.$
- Solens luminositet er $L_\odot = 3.90 \cdot 10^{26}\ W$
- Lad os antage at den beboelige zone ligger der, hvor fluxen er mellem $1200\ \frac{W}{m^2}$ og $1500\ \frac{W}{m^2}$
- Lad os indsætte værdierne i formlen fra forrige
- $r = \sqrt{\frac{L}{4\pi\phi}}$

Beboelig zone om Jorden

- Jorden modtager en flux fra Solen på $\phi = 1386\ \frac{W}{m^2}$
- Jordens afstand til Solen er $1\ AE = 1.496 \cdot 10^{11}\ m.$
- Solens luminositet er $L_\odot = 3.90 \cdot 10^{26}\ W$
- Lad os antage at den beboelige zone ligger der, hvor fluxen er mellem $1200\ \frac{W}{m^2}$ og $1500\ \frac{W}{m^2}$

- Lad os indsætte værdierne i formlen fra forrige
- $r = \sqrt{\frac{L}{4\pi\phi}}$
- $r_{\max} = \sqrt{\frac{3.90 \cdot 10^{26} W}{4\pi \cdot 1200 W/m^2}} = 1.61 \cdot 10^{11} m = 1.0$

Beboelig zone om Jorden

- Jorden modtager en flux fra Solen på $\phi = 1386\ \frac{W}{m^2}$
- Jordens afstand til Solen er $1\ AE = 1.496 \cdot 10^{11}\ m.$
- Solens luminositet er $L_\odot = 3.90 \cdot 10^{26}\ W$
- Lad os antage at den beboelige zone ligger der, hvor fluxen er mellem $1200\ \frac{W}{m^2}$ og $1500\ \frac{W}{m^2}$

- Lad os indsætte værdierne i formlen fra forrige
- $r = \sqrt{\frac{L}{4\pi\phi}}$
- $r_{\max} = \sqrt{\frac{3.90 \cdot 10^{26} W}{4\pi \cdot 1200 W/m^2}} = 1.61 \cdot 10^{11} m = 1.0$
- $r_{\min} = \sqrt{\frac{3.90 \cdot 10^{26} W}{4\pi \cdot 1500 W/m^2}} = 1.44 \cdot 10^{11} m = 0.9$

Beboelig zone om andre stjerner

- Hvis en anden stjerne har en luminositet på $L = k \cdot L_{\odot}$ bliver formlerne til
- $r_{\max} = \sqrt{k} \cdot 1.07\, AE$
- $r_{\min} = \sqrt{k} \cdot 0.96\, AE$

Opgave

1. Beregn de beboelige zoners bredder og afstande for de viste typer af stjerner.
2. Beregn, hvor meget Solens luminositet skal ændre sig, før Jorden kommer til at befinde sig uden for den beboelige zone.

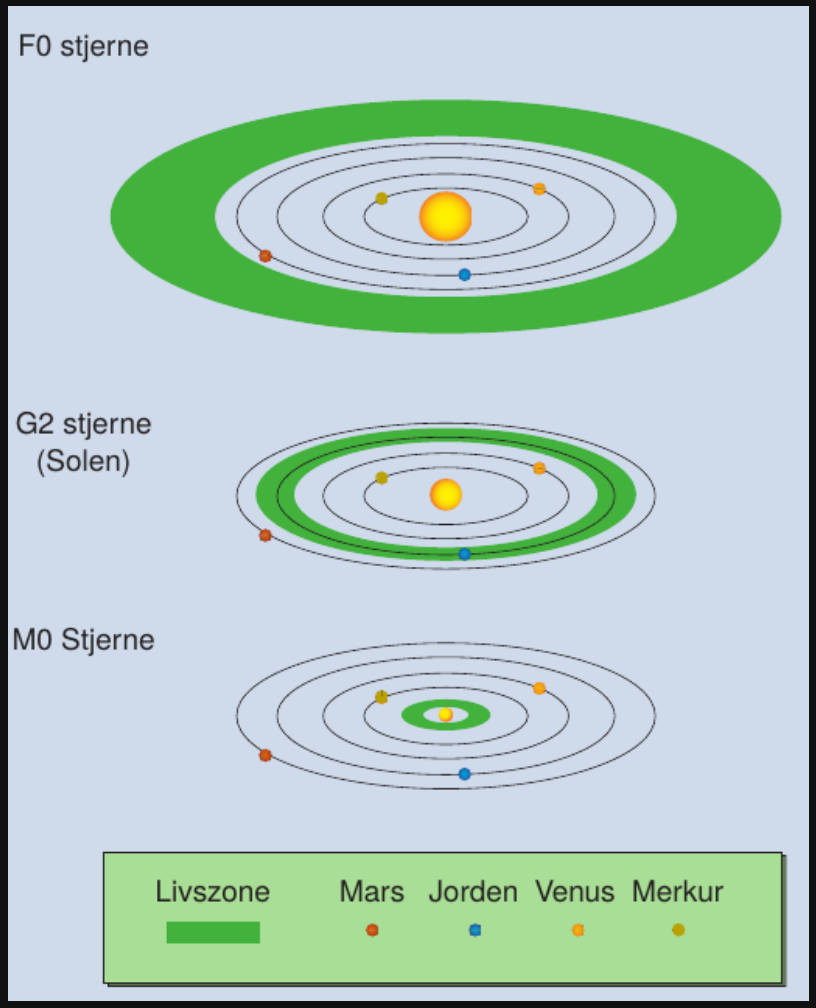
Spektraltype	**Luminositet** $L/L_\odot$
B5	800
A0	60
F0	8
G0	1.4
K0	0.4
K5	0.2
M0	0.06

Svar

Spektraltype	$L/L_\odot$	$r_{\min}[AE]$	$r_{\max}[AE]$	**Bredde** $[AE]$
B5	800	27.15	30.26	3.11
A0	60	7.44	8.29	0.85
F0	8	2.72	3.03	0.31
G0	1.4	1.14	1.26	0.12
K0	0.4	0.61	0.68	0.07
K5	0.2	0.43	0.48	0.05
M0	0.06	0.24	0.26	0.02

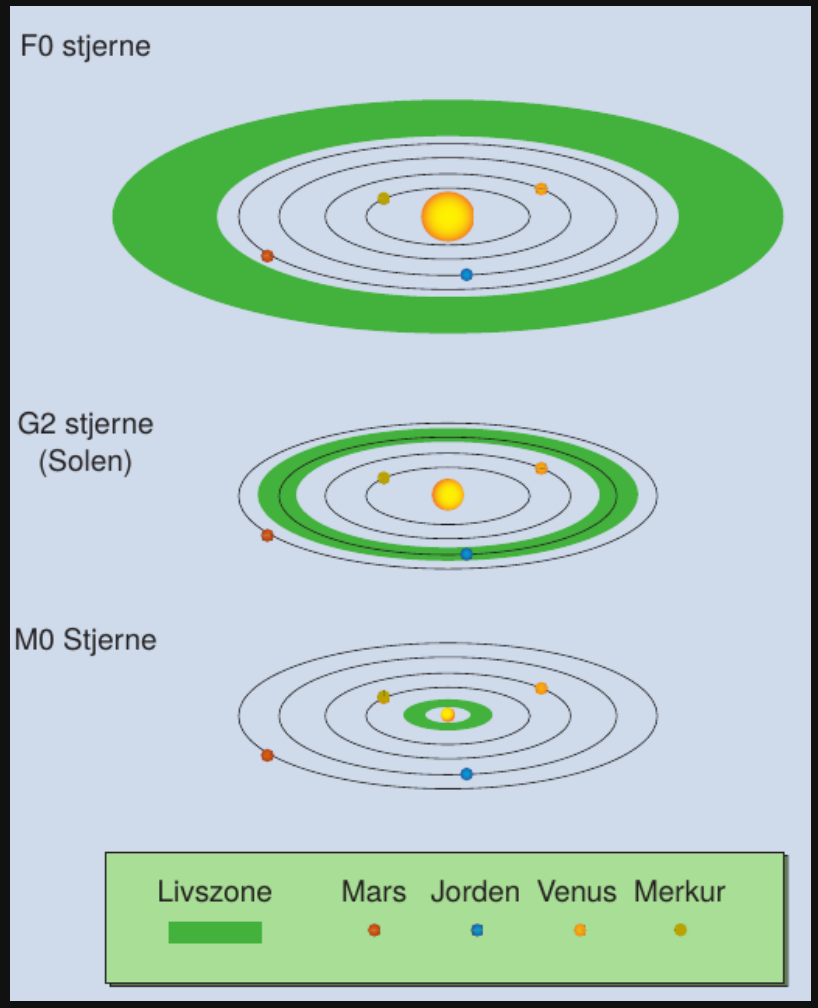
- Hvis $r_{\min} = 1AE$ så er $1AE = \sqrt{k} \cdot 0.96AE \rightarrow k = \left(\frac{1}{0.96}\right)^2 = 1.085$. Luminositeten er steget med 8.5%
- Hvis $r_{\max} = 1AE$ så er $1AE = \sqrt{k} \cdot 1.07AE \rightarrow k = \left(\frac{1}{1.07}\right)^2 = 0.87$. Luminositeten er faldet med 13%

Konklusion


F0 stjerne
G2 stjerne
(Solen)
M0 Stjerne
Livszone
Mars
Jorden
Venus
Merkur

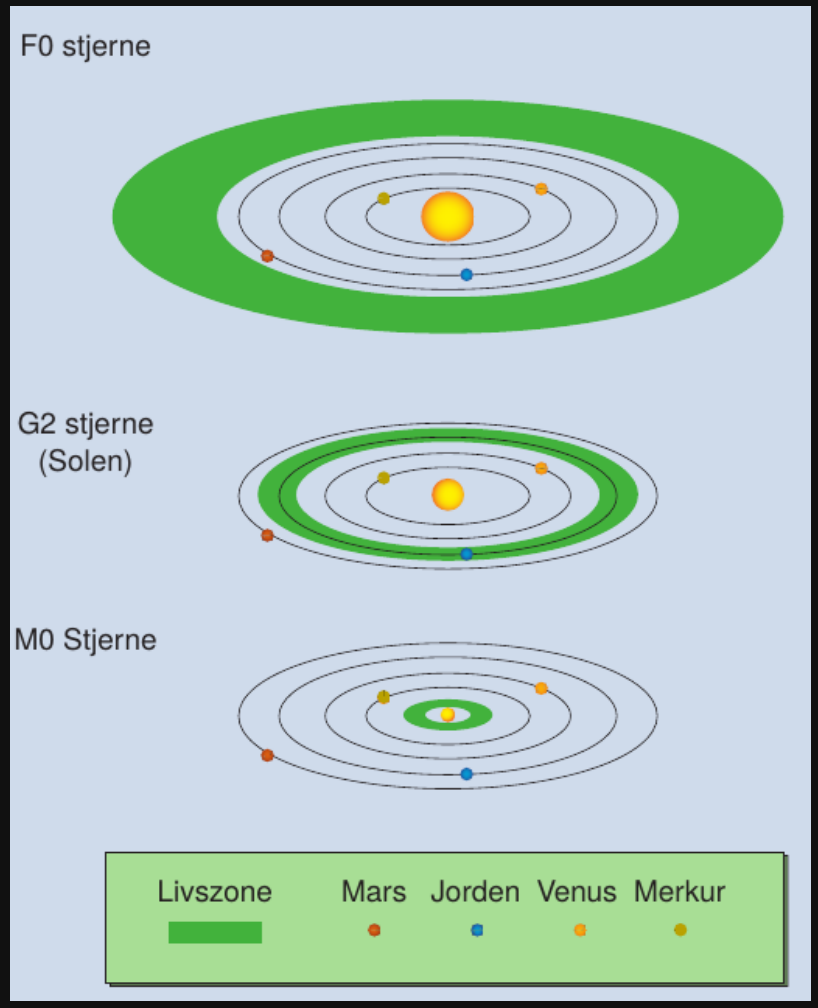
Konklusion

- Beboelig zone længere væk for store stjerner.



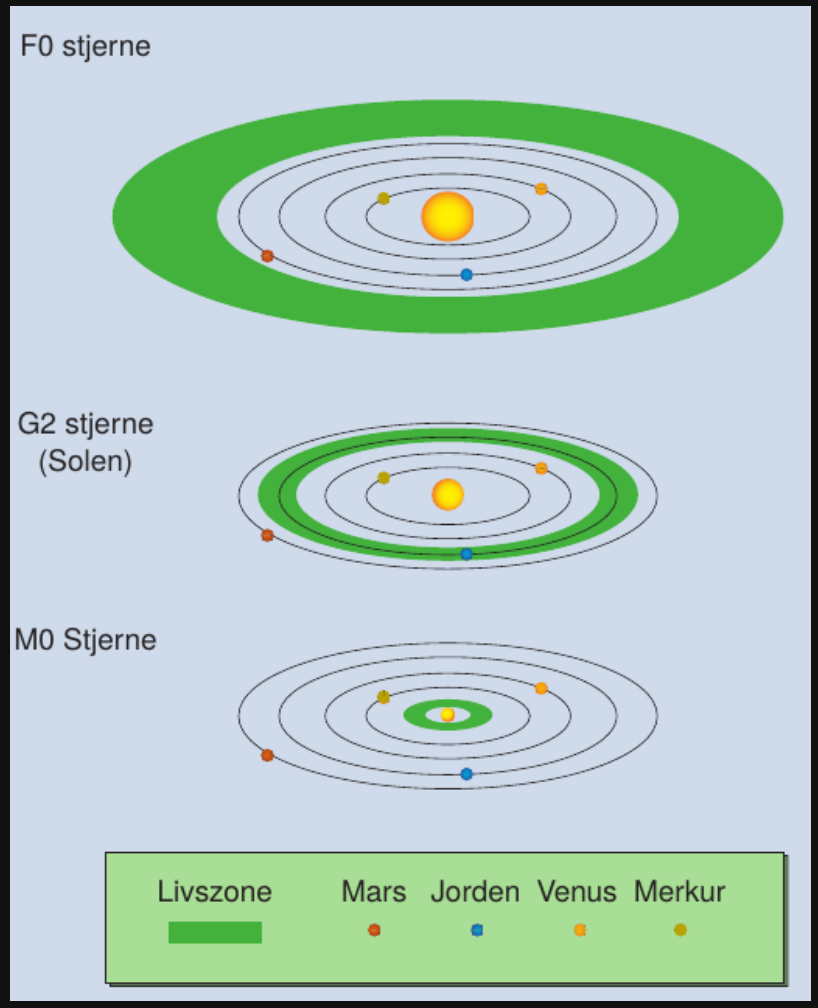
Konklusion

- Beboelig zone længere væk for store stjerner.
- Beboelig zone bredere for store stjerner.



Konklusion

- Beboelig zone længere væk for store stjerner.
- Beboelig zone bredere for store stjerner.
- Omkring hvilke stjerner vil det så være nemmest at lede efter exoplaneter i den beboelige zone?



Men, men, men

Men, men, men

- Der er ikke særligt mange store stjerner i universet.

Men, men, men

- Der er ikke særligt mange store stjerner i universet.
- Store stjerner "lever" i meget kort tid (~1 000 000 år for O)

Men, men, men

- Der er ikke særligt mange store stjerner i universet.
- Store stjerner "lever" i meget kort tid (~1 000 000 år for O)
- Solen lever i ca 12 mia år.

Men, men, men

- Der er ikke særligt mange store stjerner i universet.
- Store stjerner "lever" i meget kort tid (~1 000 000 år for O)
- Solen lever i ca 12 mia år.
- De små stjerner lever lææænge (~ 100 mia år)

Men, men, men

- Der er ikke særligt mange store stjerner i universet.
- Store stjerner "lever" i meget kort tid (~1 000 000 år for O)
- Solen lever i ca 12 mia år.
- De små stjerner lever lææænge (~ 100 mia år)
- Men den beboelige zone er meget tæt på stjernen.

Men, men, men

- Der er ikke særligt mange store stjerner i universet.
- Store stjerner "lever" i meget kort tid (~1 000 000 år for O)
- Solen lever i ca 12 mia år.
- De små stjerner lever lææænge (~ 100 mia år)
- Men den beboelige zone er meget tæt på stjernen.
- Exoplanet og stjerner kommer i bunden rotation. Ingen dag og nat.

Men, men, men

- Der er ikke særligt mange store stjerner i universet.
- Store stjerner "lever" i meget kort tid (~1 000 000 år for O)
- Solen lever i ca 12 mia år.
- De små stjerner lever lææænge (~ 100 mia år)
- Men den beboelige zone er meget tæt på stjernen.
- Exoplanet og stjerner kommer i bunden rotation. Ingen dag og nat.
- Man vil blive svitset af stjernens stråling, hvis man er så tæt på den.

Men, men, men

- Der er ikke særligt mange store stjerner i universet.
- Store stjerner "lever" i meget kort tid (~1 000 000 år for O)
- Solen lever i ca 12 mia år.
- De små stjerner lever lææænge (~ 100 mia år)
- Men den beboelige zone er meget tæt på stjernen.
- Exoplanet og stjerner kommer i bunden rotation. Ingen dag og nat.
- Man vil blive svitset af stjernens stråling, hvis man er så tæt på den.
- Overfladen på en lille stjerne er meget mere aktiv/urolig end store stjerner. Udsender mange "solstorme".

Spektralklasser

Hvad er det nu for noget?

Type	Masse (1 for Solen)	Temp [K]	Radius (1 for Solen)	Luminositet (1 for Solen)
O	60	50 000	15	1 400 000
B	18	28 000	7	20 000
A	3.2	10 000	2.5	80
F	1.7	7 400	1.3	6
G	1.1	6 000	1.1	1.2
K	0.8	4 900	0.9	0.4
M	0.3	3 000	0.4	0.04

Oh Be A Fine Girl Kiss Me!

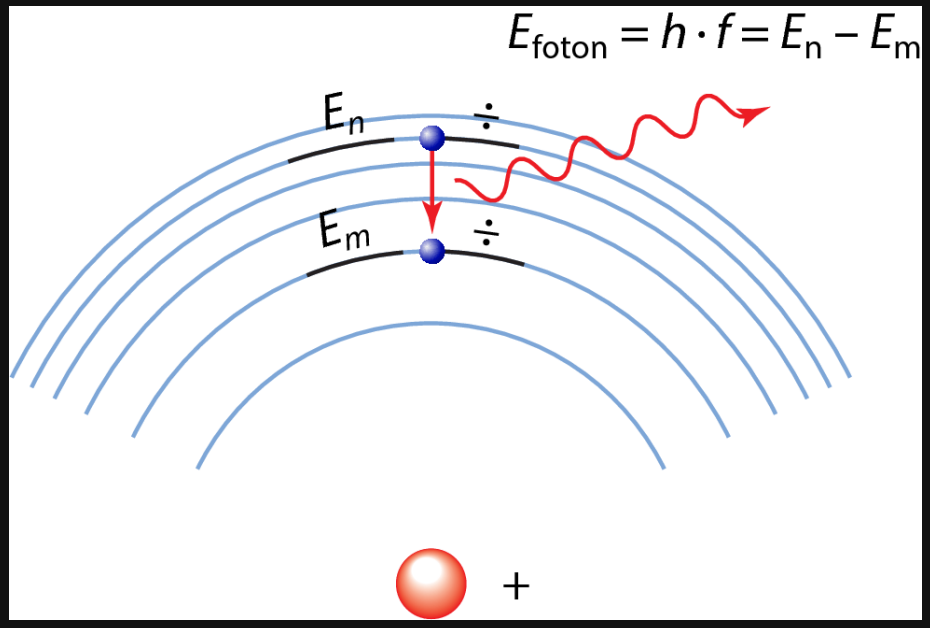
Oh Be A Fine Girl Kiss Me!

Hvordan skelner man så stjernerne fra hinanden?

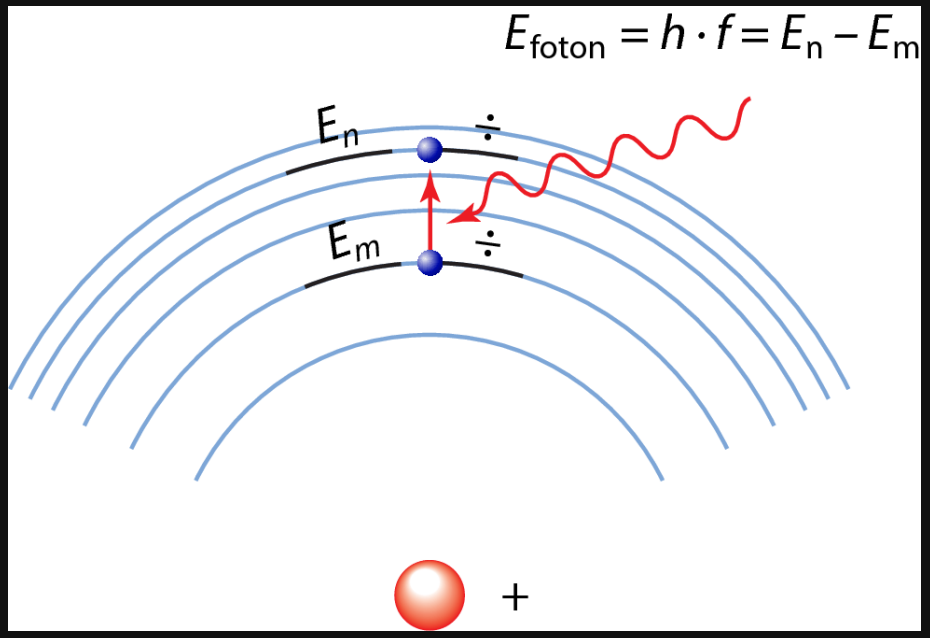
Spektralanalyse

Simpel atomfysik

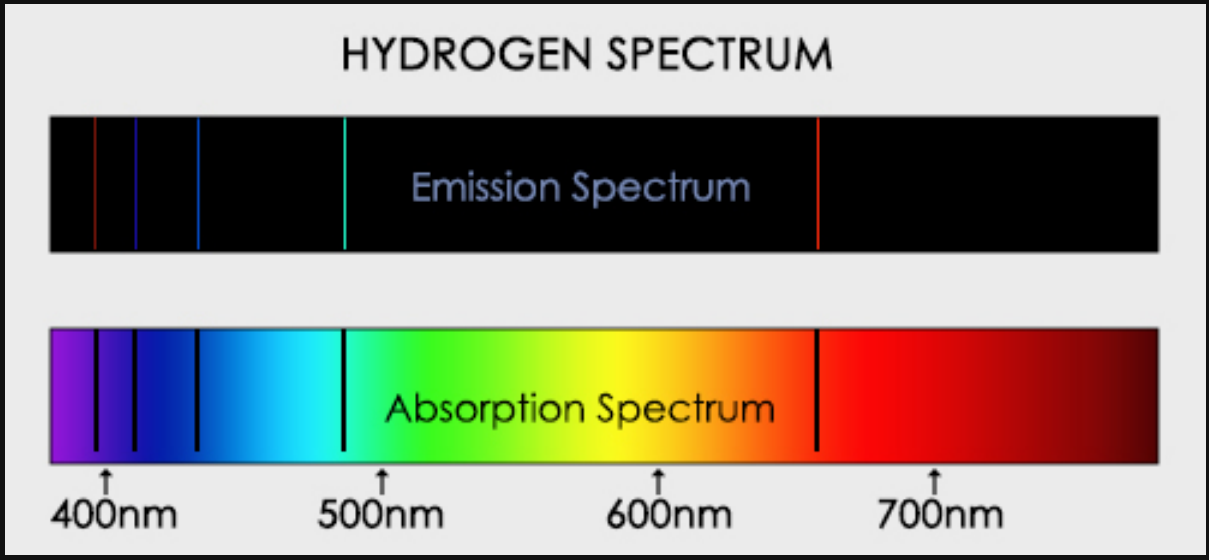
Emission



Absorption



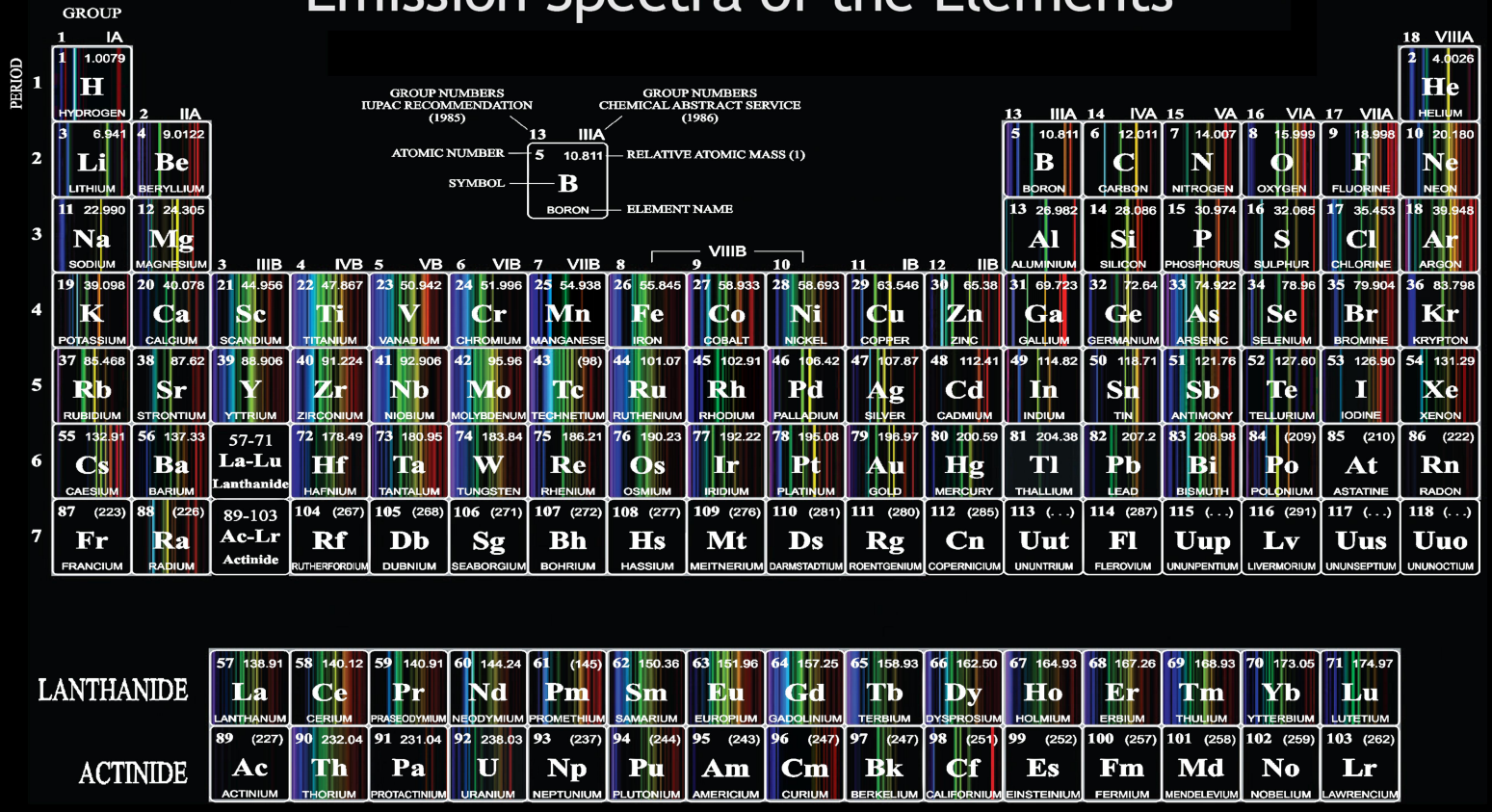
Spektra


HYDROGEN SPECTRUM
Emission Spectrum
Absorption Spectrum
400nm
500nm
600nm
700nm

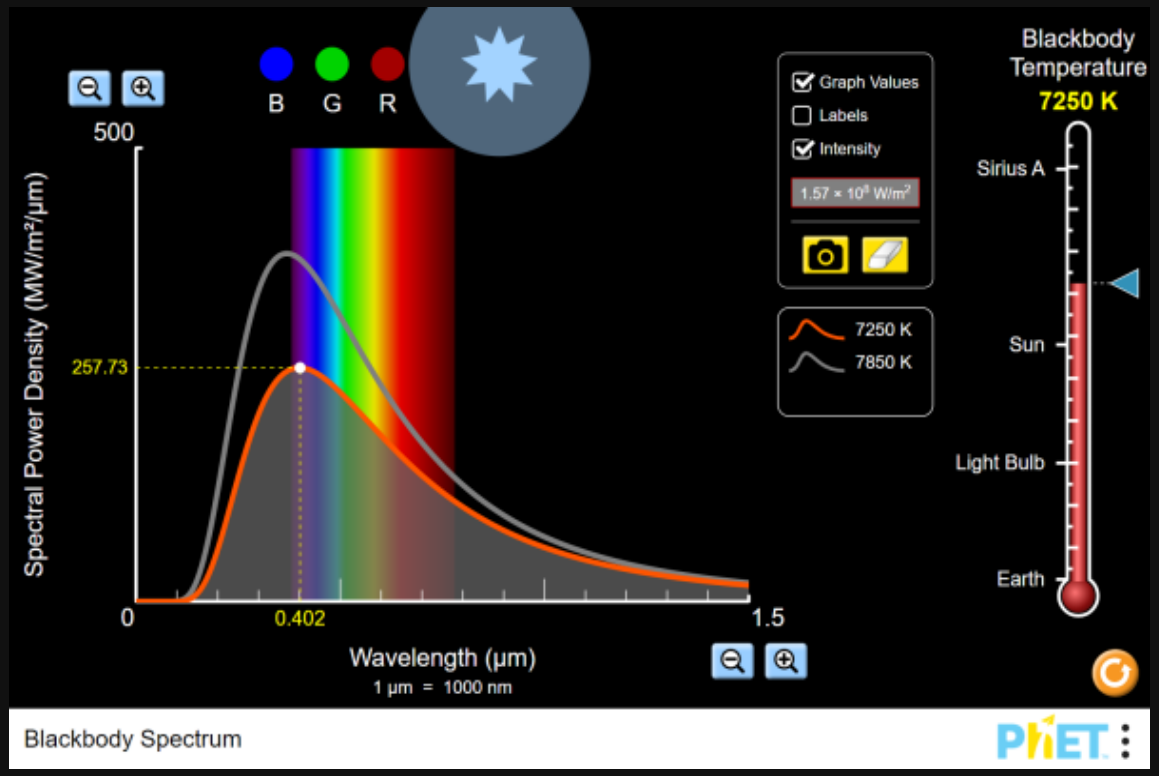
Fingeraftryk

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

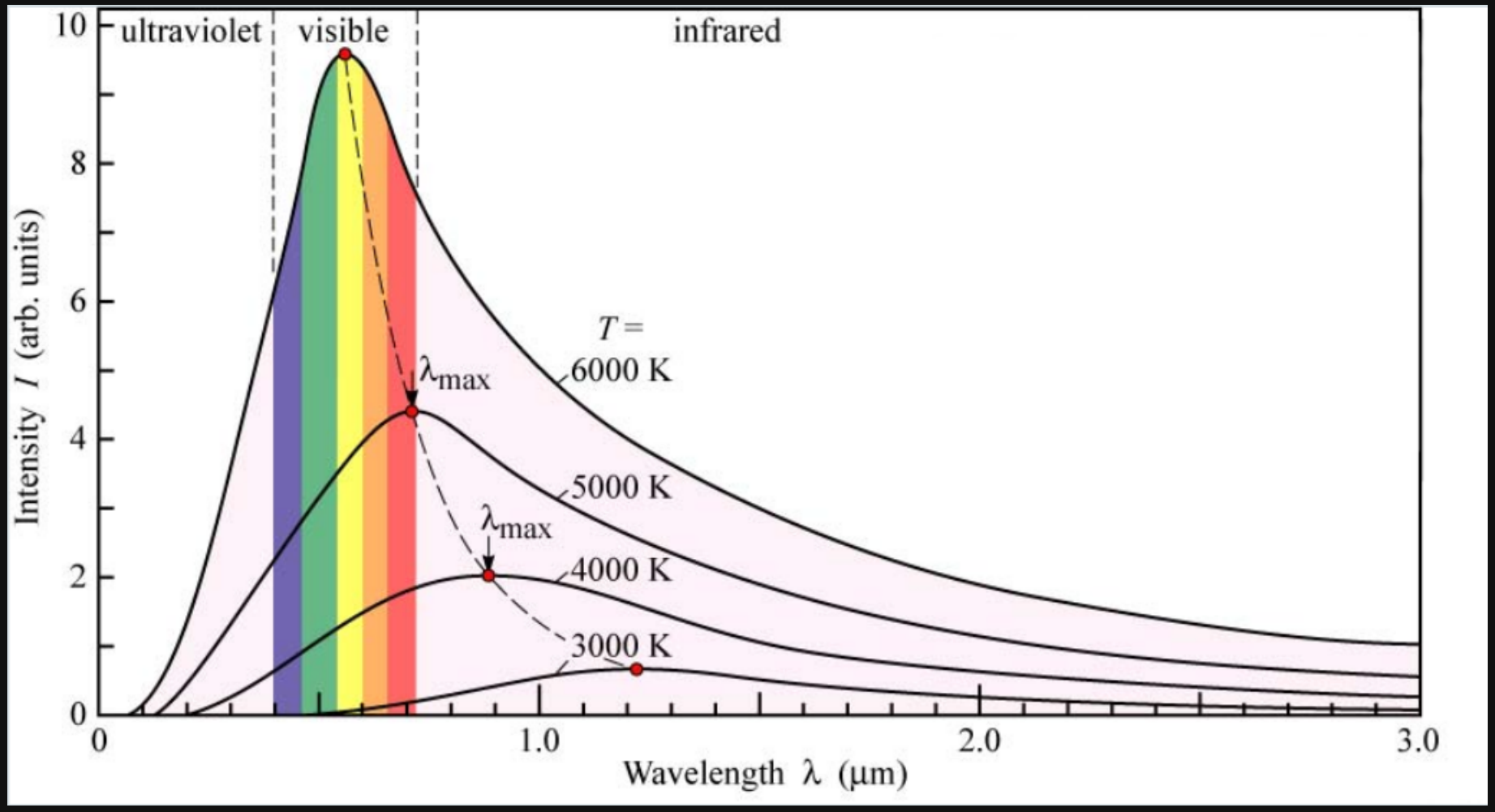
Emission Spectra of the Elements



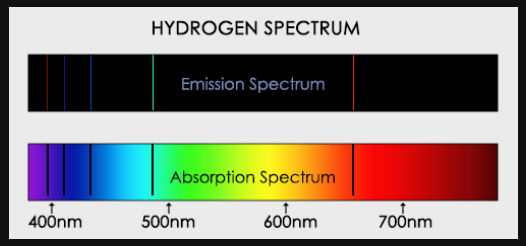
Sortlegemestråling



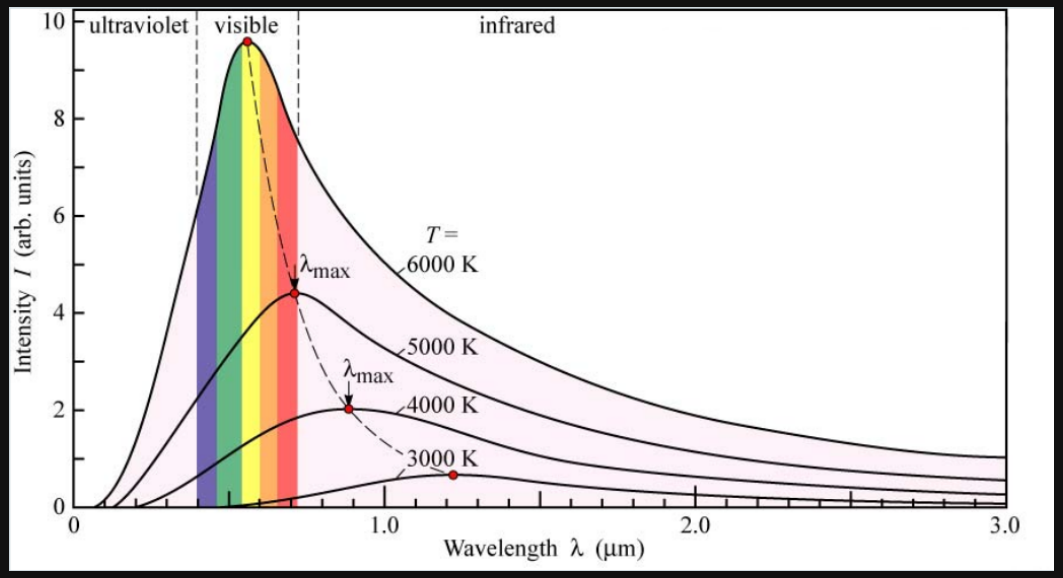
Sortlegemestråling



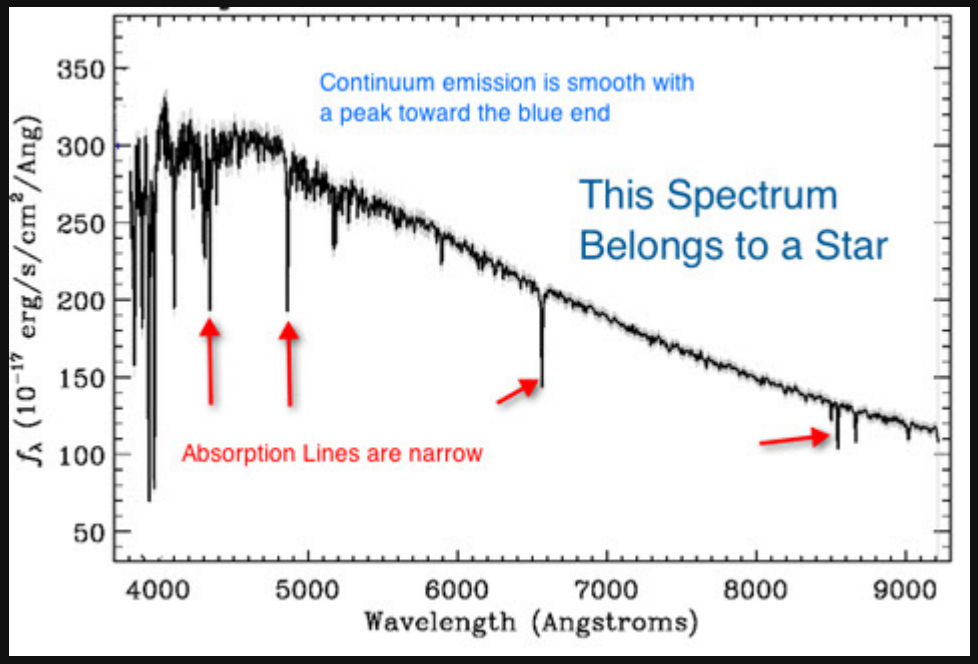
Spektrallinjer + sortlegemestråling



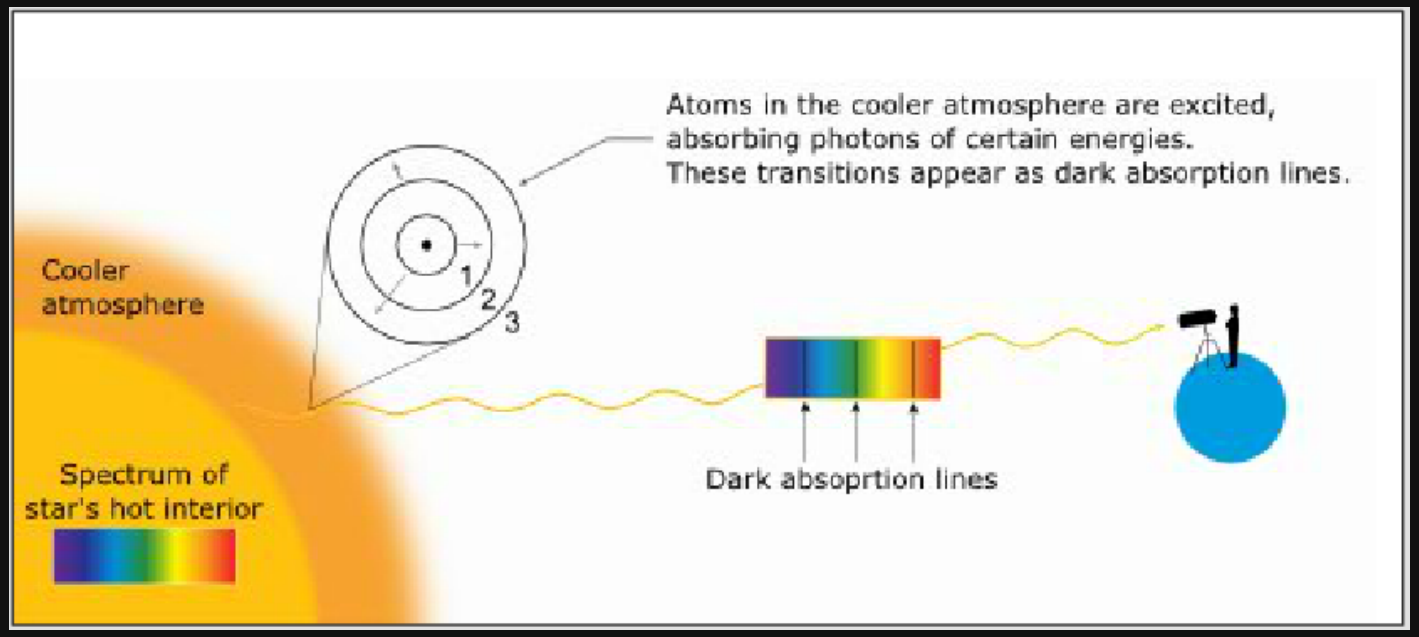
+



Spektrallinjer + sortlegemestråling



Hvorfor ser man mest absorptionslinjer fra stjerner?

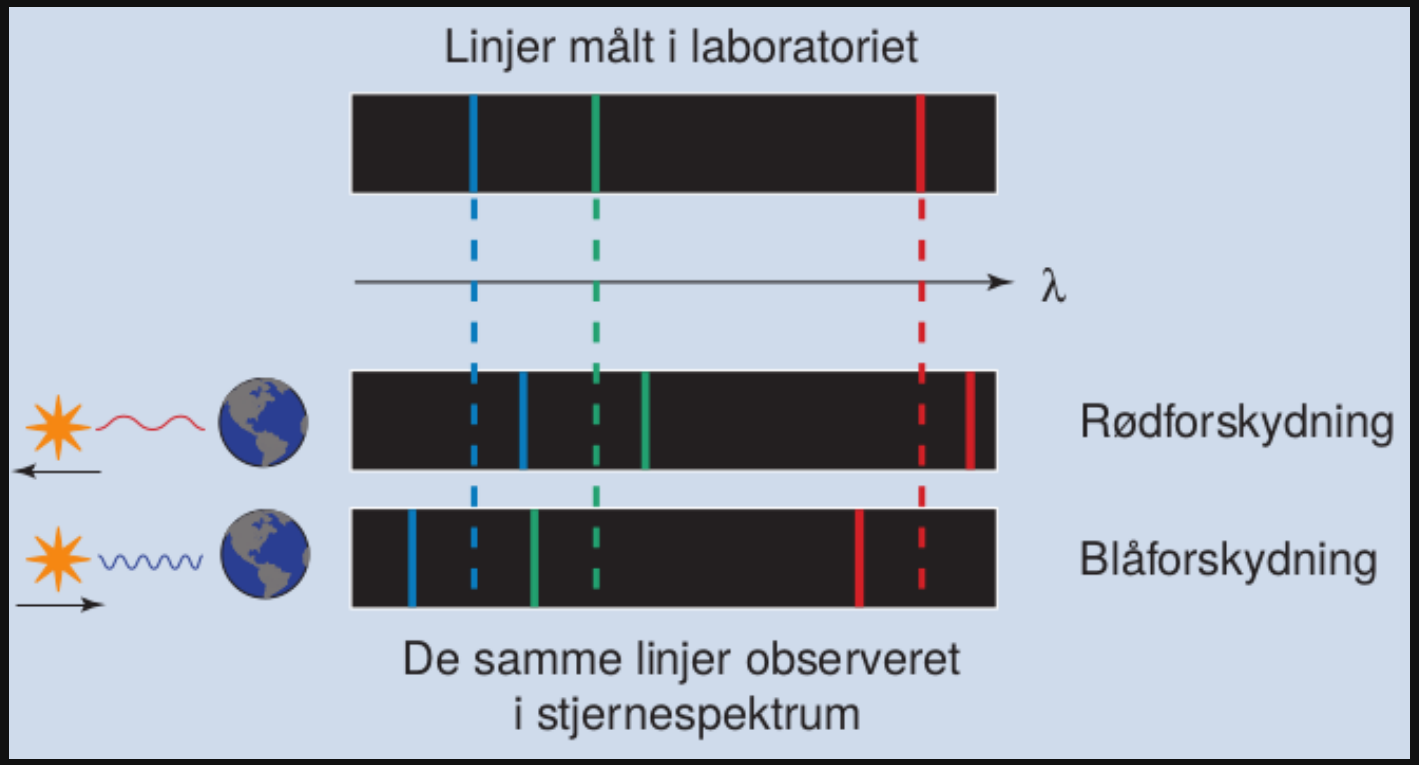


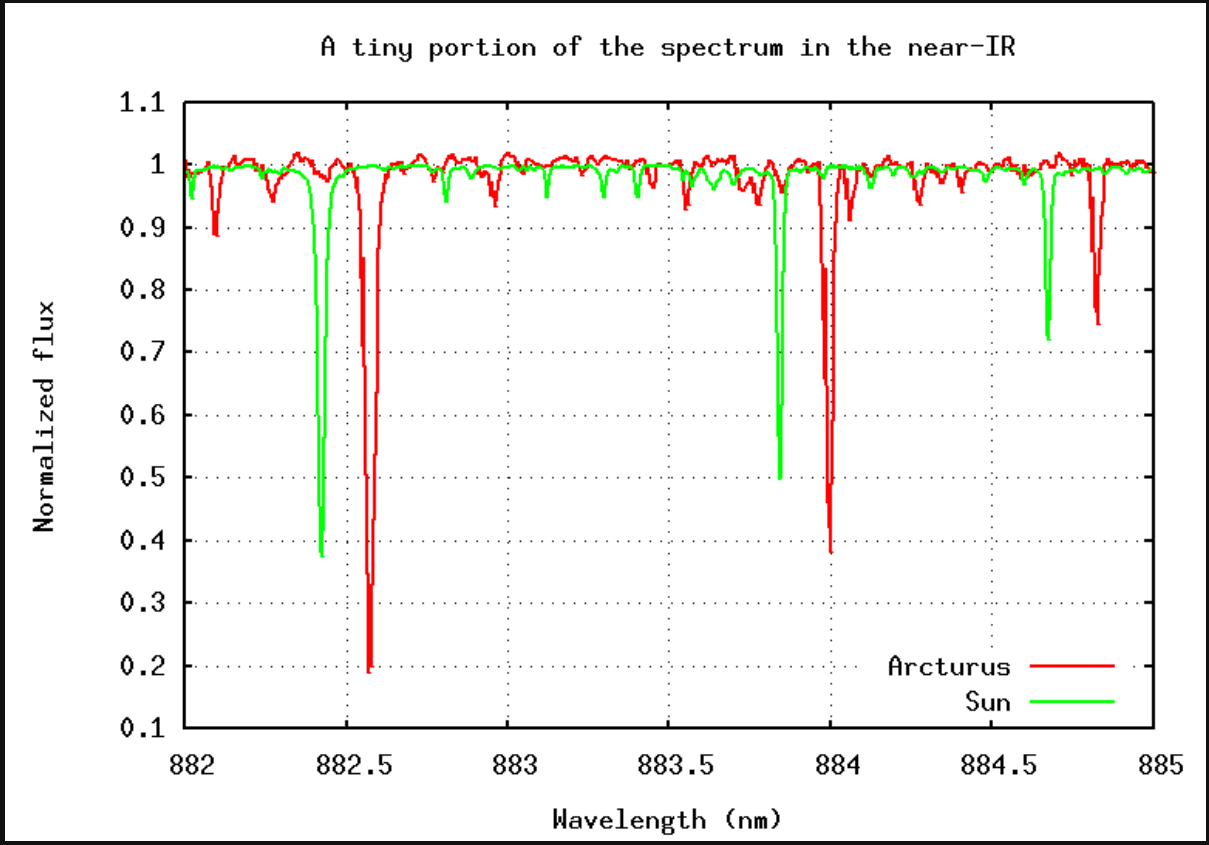
- Fordi lyset skal ud gennen stjernens (kolde) atmosfære.

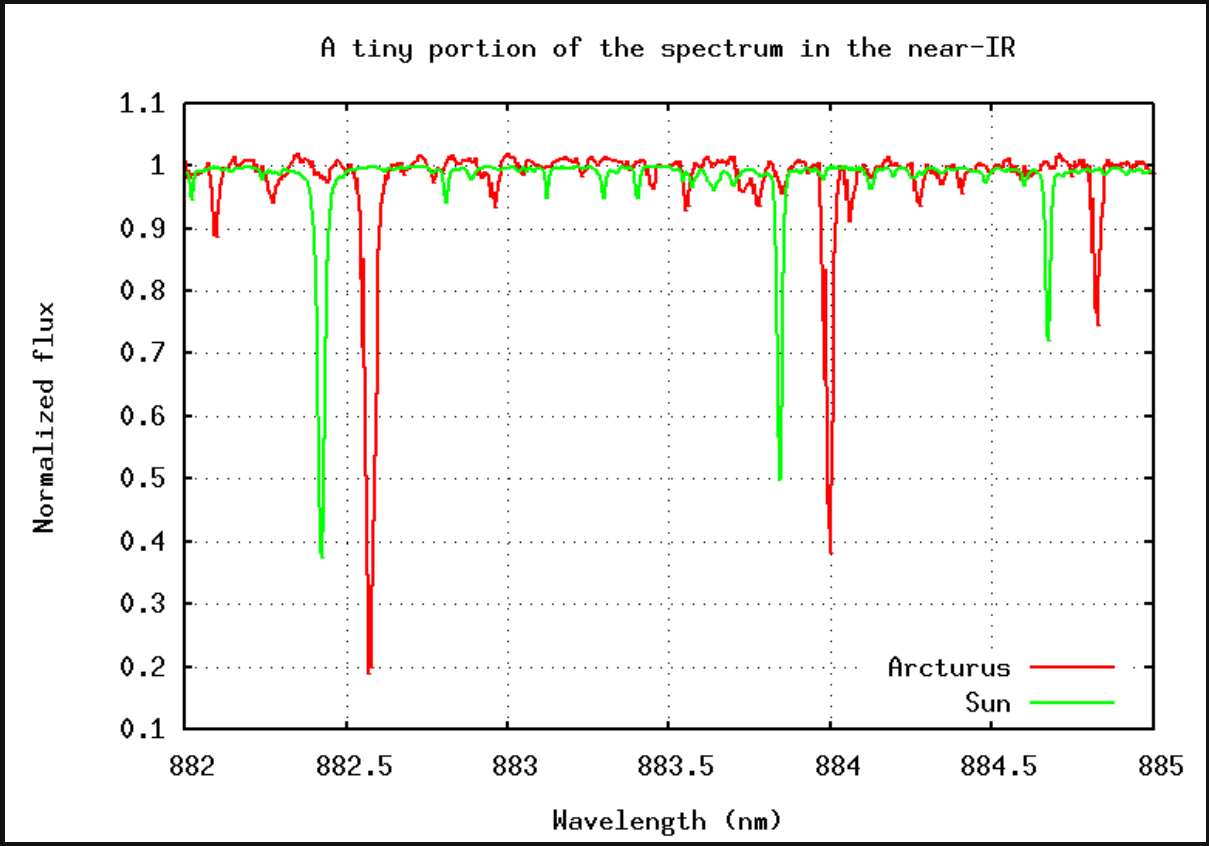
Men der er mere endnu

Dopplereffekten

Rød- og blåforskydning

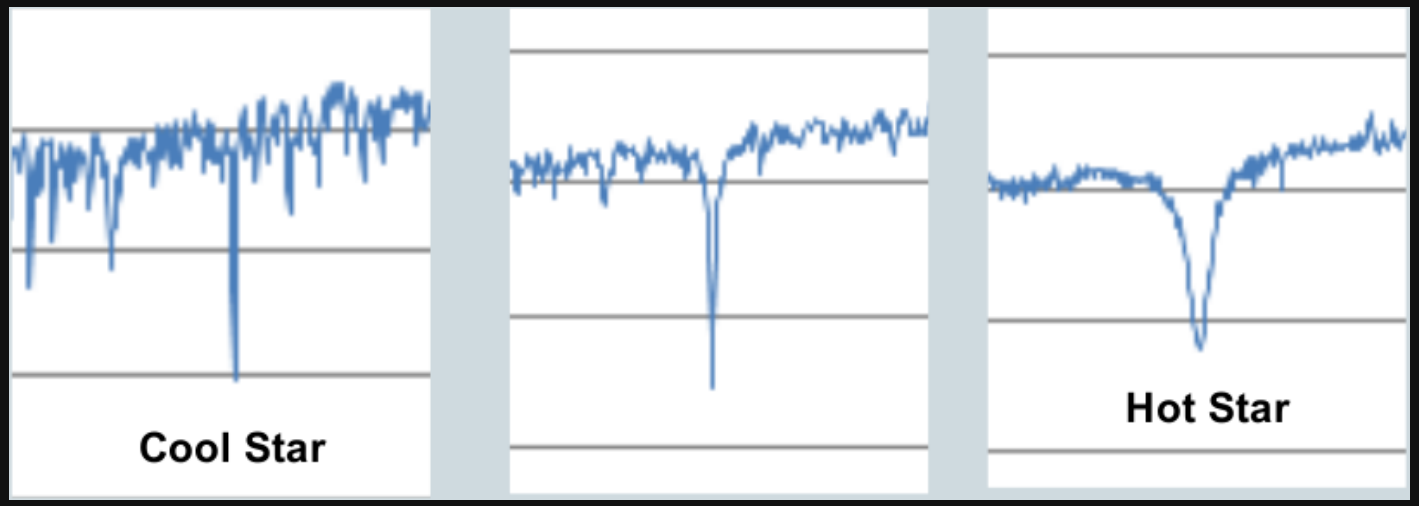



A tiny portion of the spectrum in the near-IR
Normalized flux
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
882
882.5
883
883.5
884
884.5
885
Wavelength (nm)
Arcturus
Sun

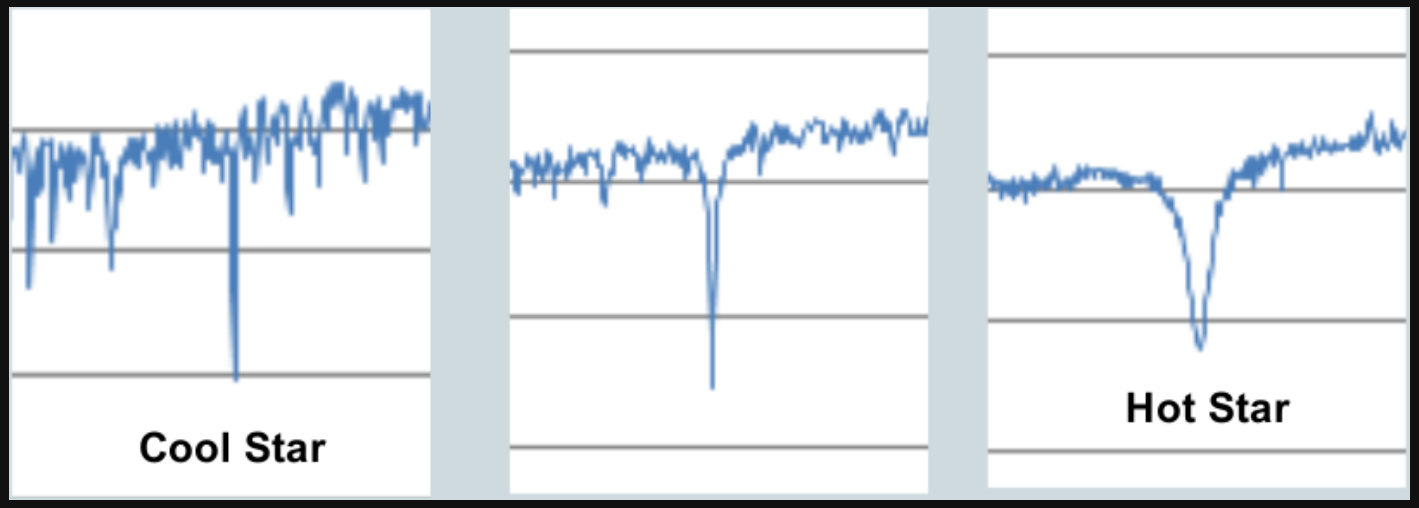


- Stjernen Arcturus bevæger sig væk fra os, fordi spektrallinjerne er rødforskudte!

Dopplerudtværing

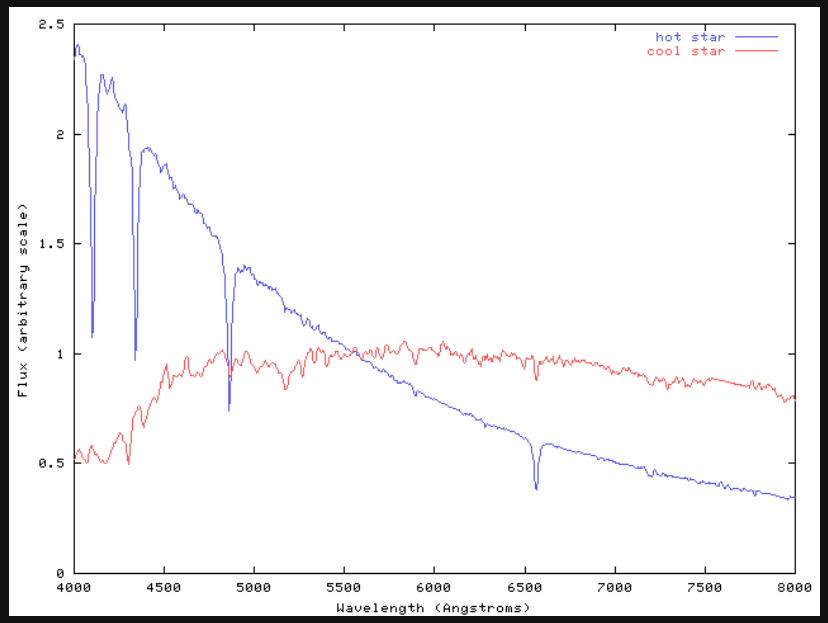


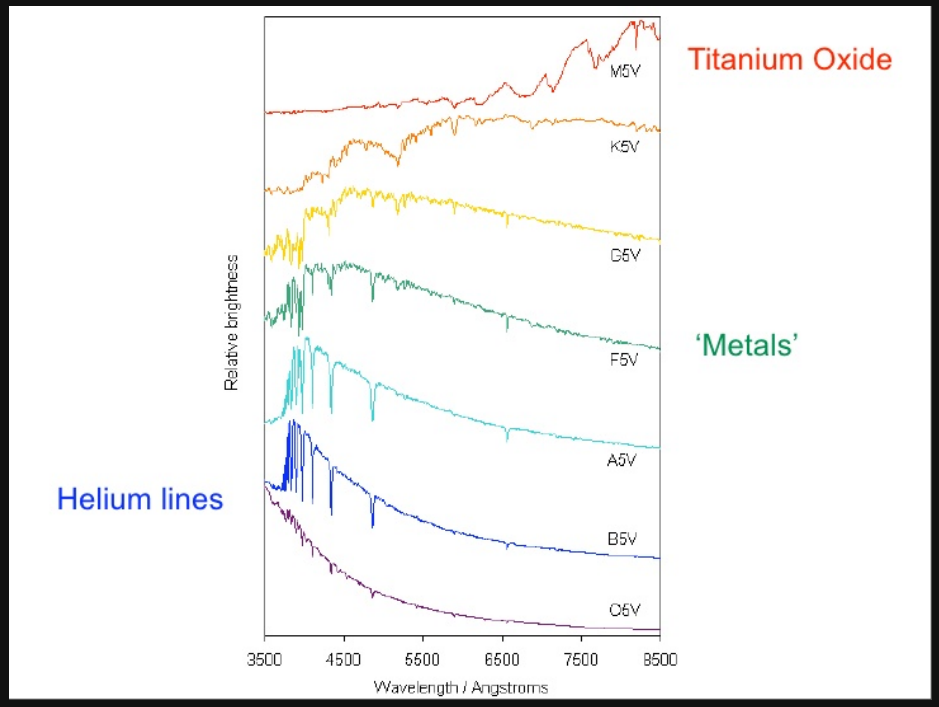
Dopplerudtværing



- Hvorfor skaber roterende og/eller varme stjerner bredere spektrallinjer?

Opsummering



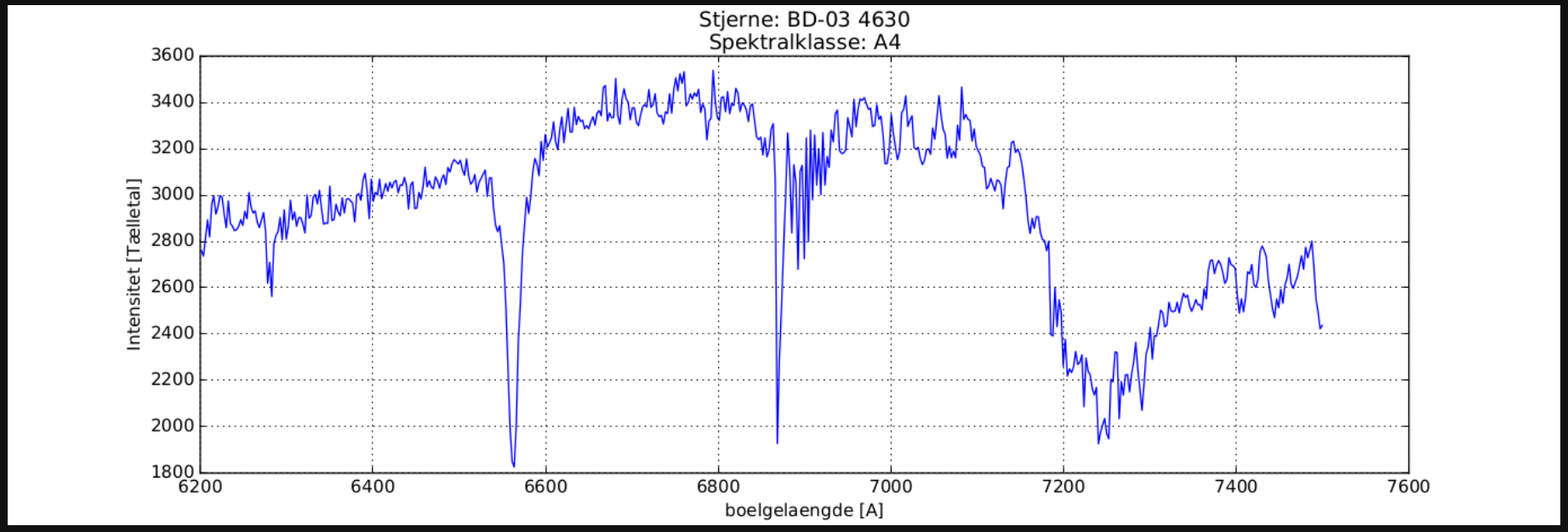


- Form på sortlegemestråling (Varm vs kold)
- Se efter obsorptionslinjer for bestemte grundstoffer
- (Rød og blåforskydning)
- Bredde af absorptionslinjer (Varm vs kold)

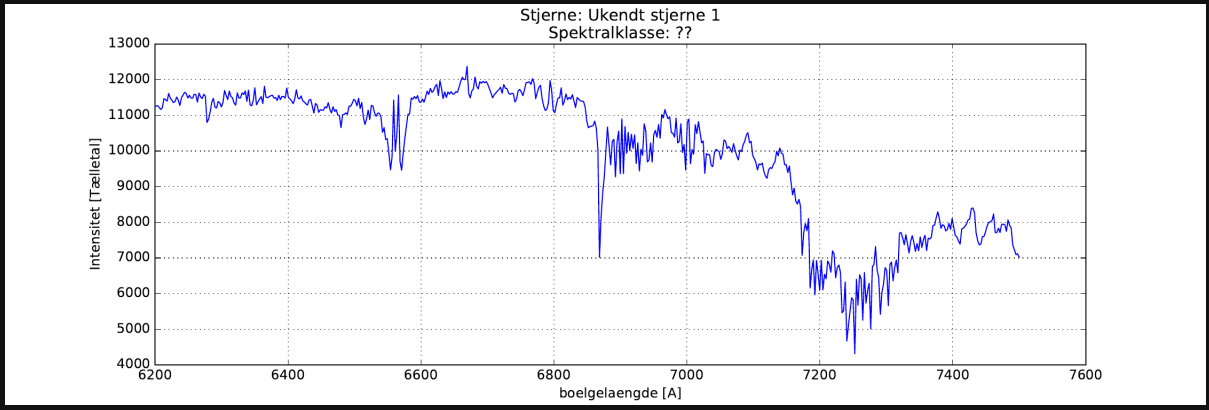
Spektralklasse	Fremtrædende absorptionslinjer
O	He+,He,H, He, H
B	He,H
A	H(stærkest),ioniserede metaller
F	Ioniserede metaller
G	Ioniserede og neutrale metaller
K	Neutrale metaller
M	Neutrale atomer, TiO

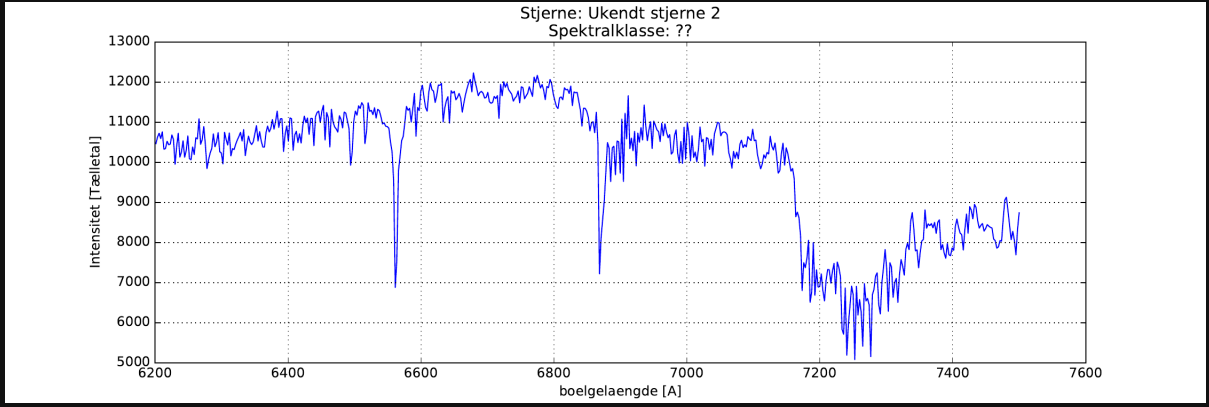
Sammenlign spektre

- 9 spektre af kendte stjerner. Læg dem op i spektralklasserækkefølge. Sammenlign dem.
- Læg mærke til bredde af udvalgte spektrallinjer.
- Hydrogenlinje ved 6563 Å er god at studere.
- Varme stjerner har bredere absorptionslinjer end kolde.
- Kolde stjerner har mere "ujævne" spektre ift. varme.
- Nogle spektrallinjer optræder hos nogle stjerner og ikke andre.



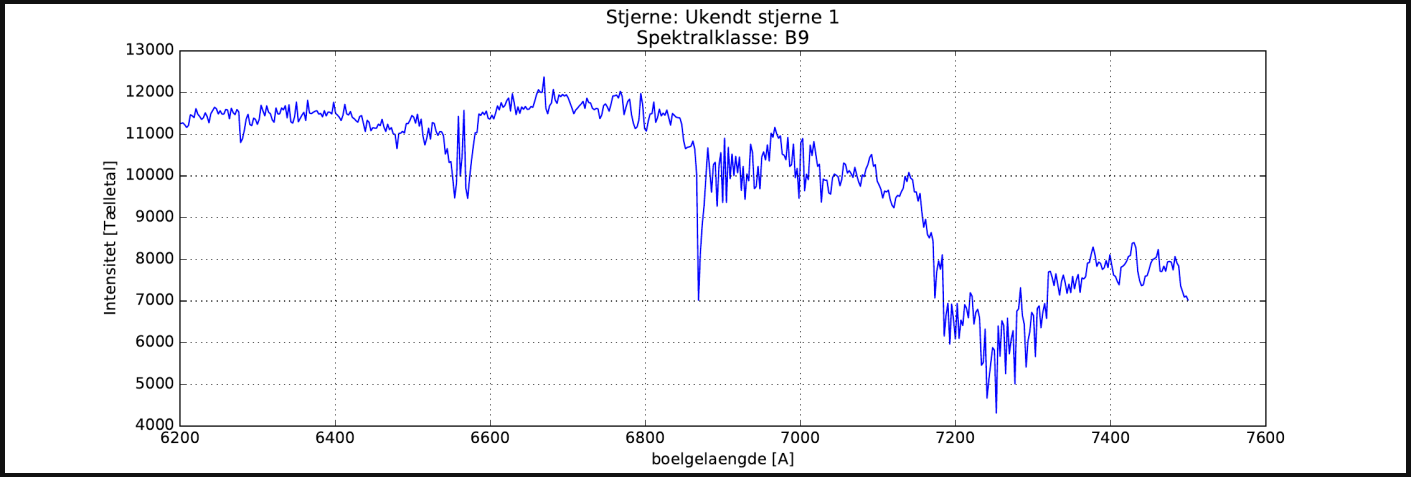
2 ukendte stjerner

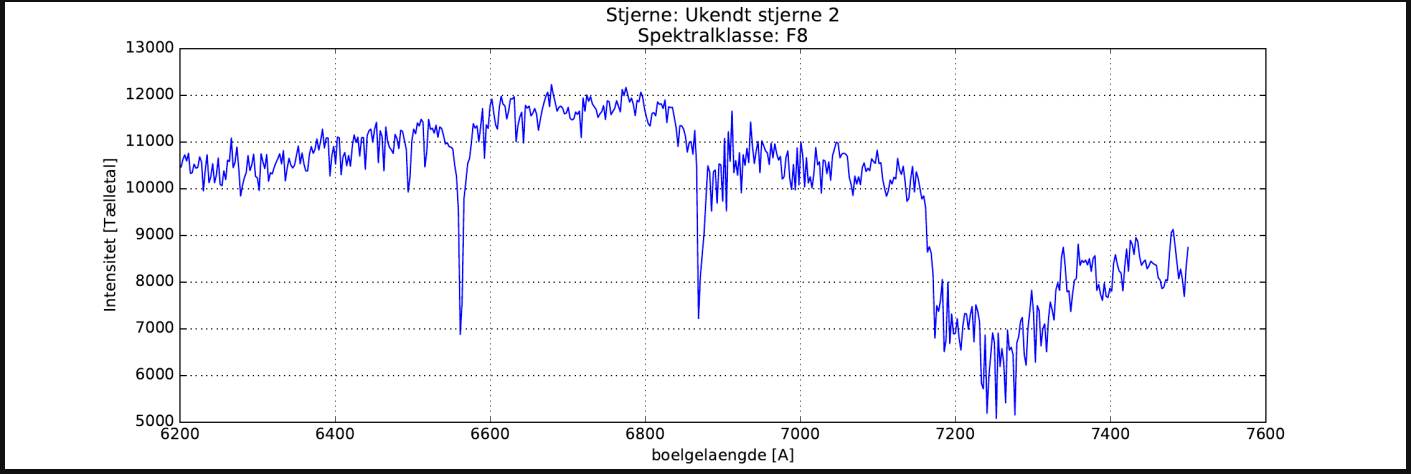




- Giv jeres bedste bud på disse to stjerners spektralklasse.

Og svaret er


Stjerne: Ukendt stjerne 1
Spektralklasse: B9
Intensitet [Tælletal]
boelgelaengde [A]
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
6200
6400
6600
6800
7000
7200
7400
7600

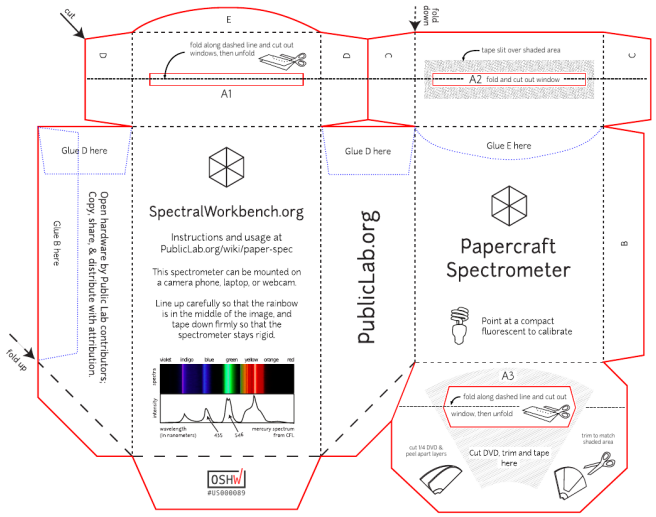

Stjerne: Ukendt stjerne 2
Spektralklasse: F8
Intensitet [Tælletal]
boelgelaengde [A]
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
6200
6400
6600
6800
7000
7200
7400
7600

- Hvordan får man så egentlig disse spektre?

- Hvordan får man så egentlig disse spektre?
  - Vha et spektrometer!

Spektrometer

Kan laves selv



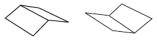
Instructions

(also see PublicLab.org/wiki/paper-spec)

1. Cut out the shape above along red lines (these may be grey if printed black & white)

2. Use a butter knife or ball-point pen to score the dotted lines for folding

3. Fold over and cut out the "windows" at A1, A2, & A3



4. "Mountain" fold along the dotted lines: - - - - - - - -
5. "Valley" fold along dashed lines: — — —

6. Cut, peel, and attach DVD fragment

7. Tape the slit over window A2 (or make your own with two pieces of black paper); trim as needed. See web link for more.

8. Align tabs B, C, D & E and tape them down. Use black sticker dots if available.

You're done! Go to this address to find activities like calibration, different tests you can do, and see the latest design challenges to solve:

PublicLab.org/wiki/paper-spec

Have **questions**? Ideas for **improvement**?

Want to collaborate with others? Visit the link above!

Open Source CERN OHL v1.2

This is an open source hardware design developed by contributors like you. We need your help!

Public Lab's

Papercraft Spectrometer v2.0.7

Men vi har snydt lidt

Montér på jeres telefon med tape

Grundstofbestemmelse

Ukendte grundstoffer

Bestem de ukendte grundstoffer udelukkende vha jeres spektrometre.

Her er lidt hjælp igen

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Emission Spectra of the Elements

GROUP NUMBERS IUPAC RECOMMENDATION (1985)

GROUP NUMBERS CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986)

ATOMIC NUMBER — 5 — 10.811 — RELATIVE ATOMIC MASS (1)

SYMBOL — B

BORON — ELEMENT NAME

PERIOD	1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIIB	9 VIIIB	10 VIIIB	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1	1 1.0079 H HYDROGEN																	2 4.0026 He HELIUM
2	3 6.941 Li LITHIUM	4 9.0122 Be BERYLLIUM											5 10.811 B BORON	6 12.011 C CARBON	7 14.007 N NITROGEN	8 15.999 O OXYGEN	9 18.998 F FLUORINE	10 20.180 Ne NEON
3	11 22.990 Na SODIUM	12 24.305 Mg MAGNESIUM											13 26.982 Al ALUMINIUM	14 28.086 Si SILICON	15 30.974 P PHOSPHORUS	16 32.065 S SULPHUR	17 35.453 Cl CHLORINE	18 39.948 Ar ARGON
4	19 39.098 K POTASSIUM	20 40.078 Ca CALCIUM	21 44.956 Sc SCANDIUM	22 47.867 Ti TITANIUM	23 50.942 V VANADIUM	24 51.996 Cr CHROMIUM	25 54.938 Mn MANGANESE	26 55.845 Fe IRON	27 58.933 Co COBALT	28 58.693 Ni NICKEL	29 63.546 Cu COPPER	30 65.38 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALLIUM	32 72.64 Ge GERMANIUM	33 74.922 As ARSENIC	34 78.96 Se SELENIUM	35 79.904 Br BROMINE	36 83.798 Kr KRYPTON
5	37 85.468 Rb RUBIDIUM	38 87.62 Sr STRONTIUM	39 88.906 Y YTTRIUM	40 91.224 Zr ZIRCONIUM	41 92.906 Nb NIOBIUM	42 95.96 Mo MOLYBDENUM	43 (98) Tc TECHNETIUM	44 101.07 Ru RUTHENIUM	45 102.91 Rh RHODIUM	46 106.42 Pd PALLADIUM	47 107.87 Ag SILVER	48 112.41 Cd CADMIUM	49 114.82 In INDIUM	50 118.71 Sn TIN	51 121.76 Sb ANTIMONY	52 127.60 Te TELLURIUM	53 126.90 I IODINE	54 131.29 Xe XENON
6	55 132.91 Cs CAESIUM	56 137.33 Ba BARIUM	57-71 La-Lu Lanthanide	72 178.49 Hf HAFNIUM	73 180.95 Ta TANTALUM	74 183.84 W TUNGSTEN	75 186.21 Re RHENIUM	76 190.23 Os OSMIUM	77 192.22 Ir IRIDIUM	78 195.08 Pt PLATINUM	79 196.97 Au GOLD	80 200.59 Hg MERCURY	81 204.38 Tl THALLIUM	82 207.2 Pb LEAD	83 208.98 Bi BISMUTH	84 (209) Po POLONIUM	85 (210) At ASTATINE	86 (222) Rn RADON
7	87 (223) Fr FRANCIUM	88 (226) Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actinide	104 (267) Rf RUTHERFORDIUM	105 (268) Db DUBNIUM	106 (271) Sg SEABORGIUM	107 (272) Bh BOHRIUM	108 (277) Hs HASSIUM	109 (276) Mt MEITNERIUM	110 (281) Ds DARMSTADTIUM	111 (280) Rg ROENTGENIUM	112 (285) Cn COPERNICIUM	113 (. . .) Uut UNUNTRIUM	114 (287) Fl FLEROVIUM	115 (. . .) Uup UNUNPENTIUM	116 (291) Lv LIVERMORIUM	117 (. . .) Uus UNUNSEPTIUM	118 (. . .) Uuo UNUNOCTIUM

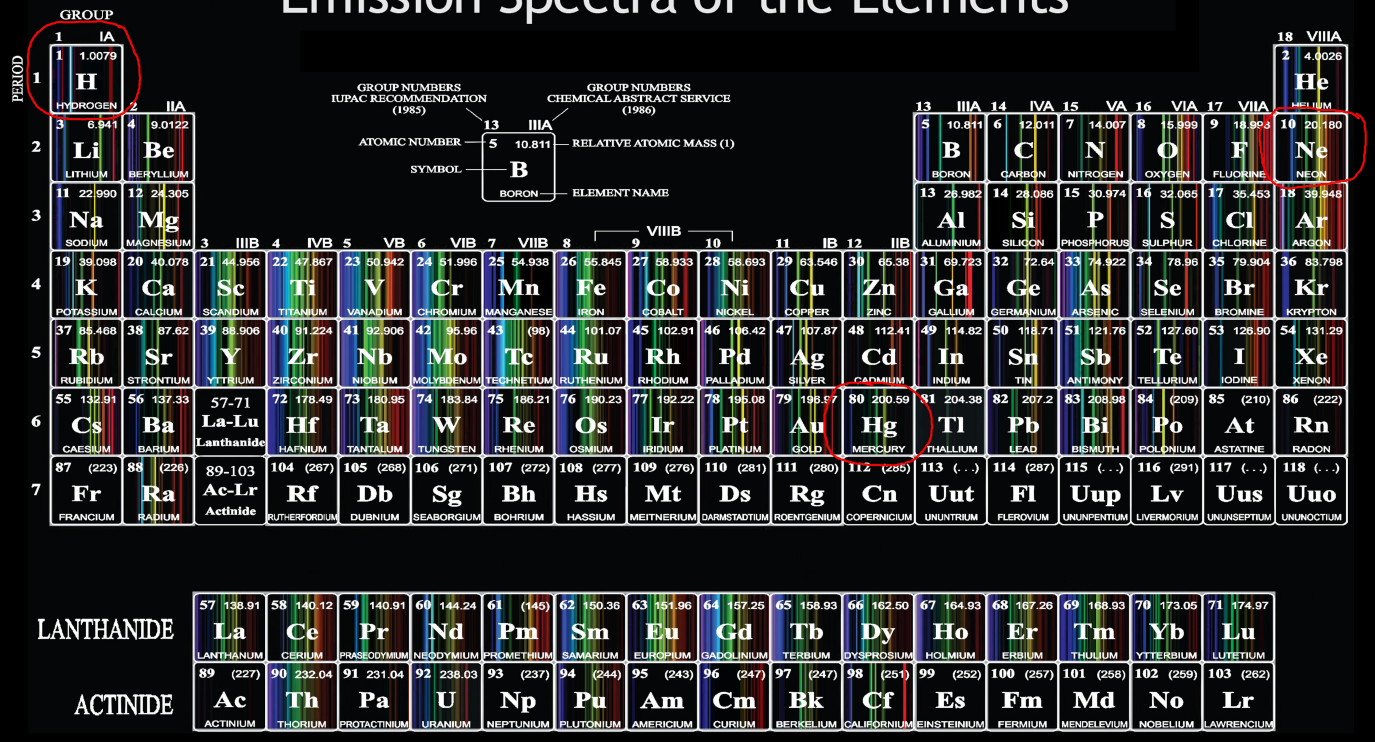
LANTHANIDE	57 138.91 La LANTHANUM	58 140.12 Ce CERIUM	59 140.91 Pr PRASEODYMIUM	60 144.24 Nd NEODYMIUM	61 (145) Pm PROMETHIUM	62 150.36 Sm SAMARIUM	63 151.96 Eu EUROPIUM	64 157.25 Gd GADOLINIUM	65 158.93 Tb TERBIUM	66 162.50 Dy DYSPROSIUM	67 164.93 Ho HOLMIUM	68 167.26 Er ERBIUM	69 168.93 Tm THULIUM	70 173.05 Yb YTTERBIUM	71 174.97 Lu LUTETIUM
ACTINIDE	89 (227) Ac ACTINIUM	90 232.04 Th THORIUM	91 231.04 Pa PROTACTINIUM	92 238.03 U URANIUM	93 (237) Np NEPTUNIUM	94 (244) Pu PLUTONIUM	95 (243) Am AMERICIUM	96 (247) Cm CURIUM	97 (247) Bk BERKELIUM	98 (251) Cf CALIFORNIUM	99 (252) Es EINSTEINIUM	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELEVIUM	102 (259) No NOBELIUM	103 (262) Lr LAWRENCIUM

Endnu mere hjælp

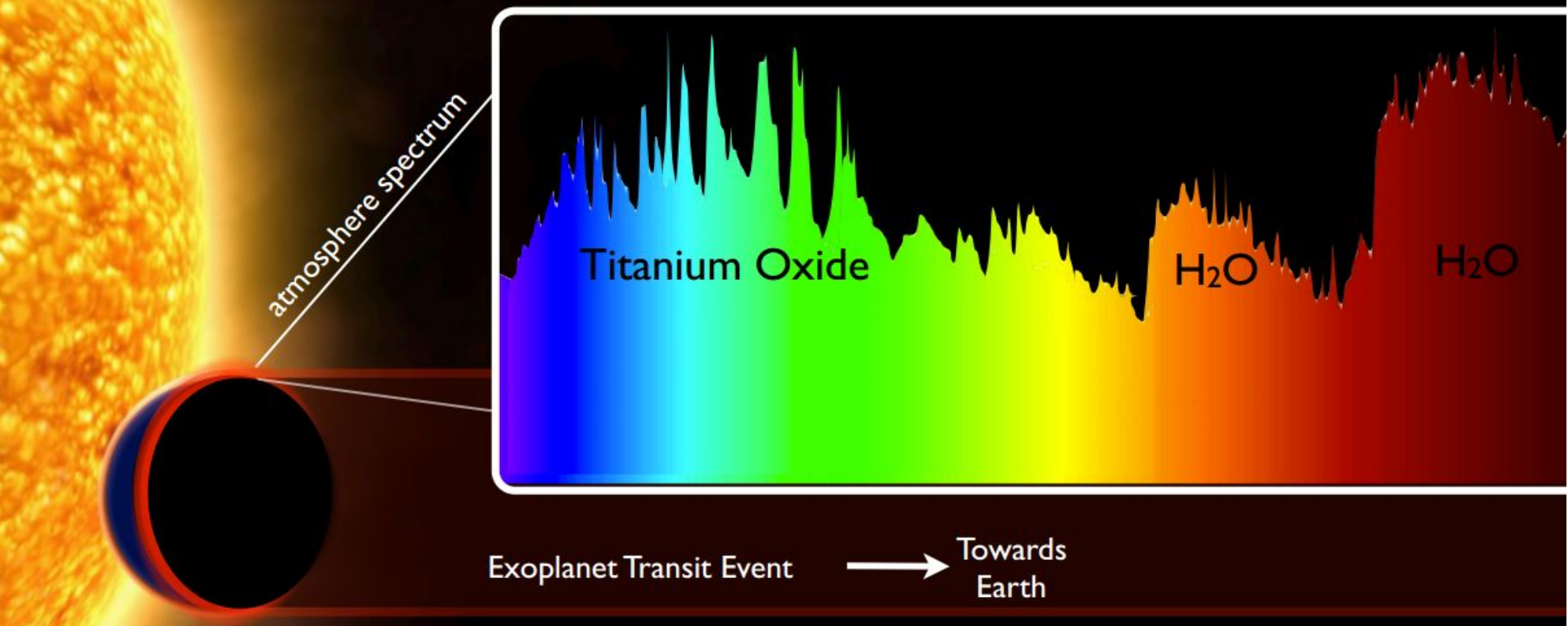
- Brint, Neon og Kviksølv

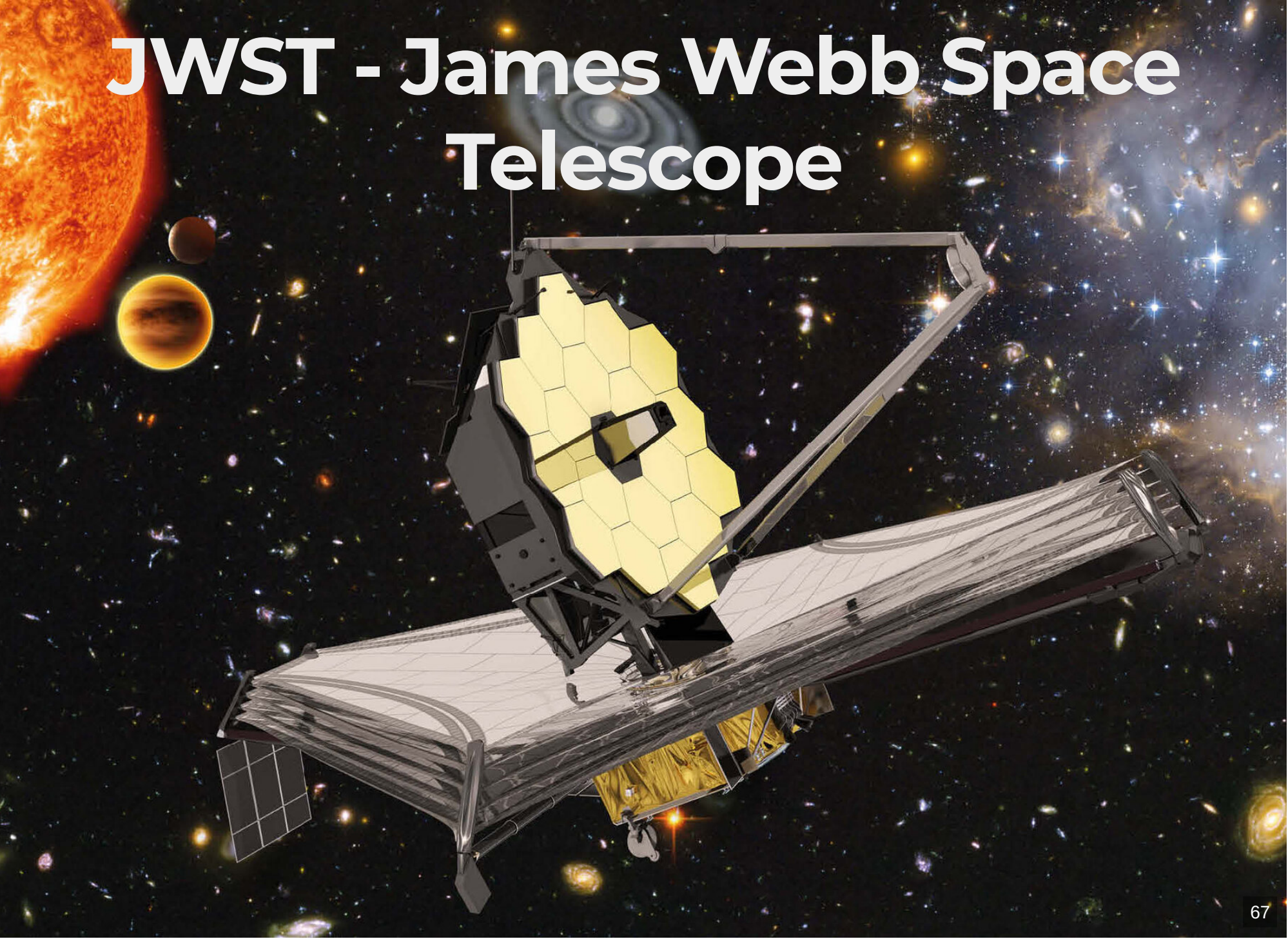
PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Emission Spectra of the Elements



Hvordan vil man så finde grundstofferne i exoplaneters atmosfærer?



ELT - Extremely Large Telescope

JWST - James Webb Space Telescope