

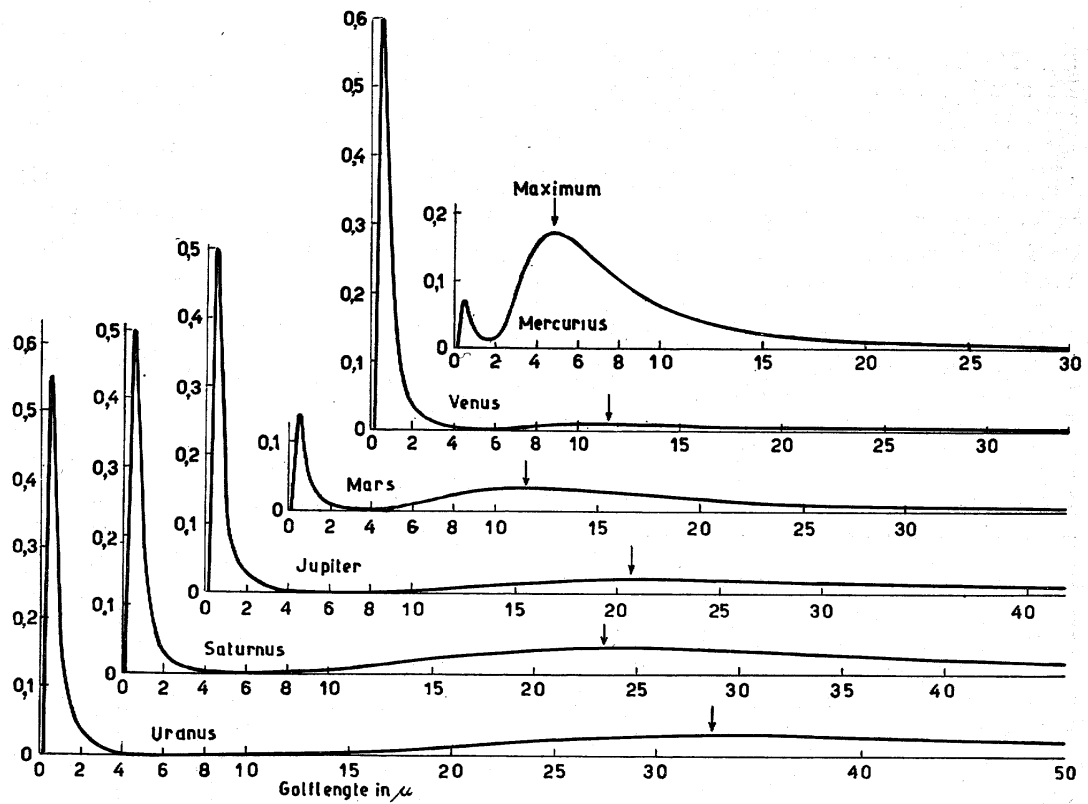
# SPECTRA VAN STERREN, PLANETEN EN DE ZON

Robert J. Rutten

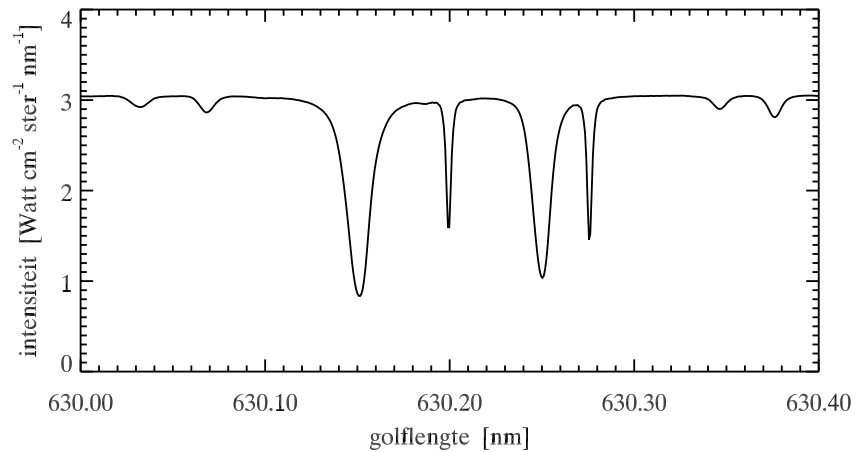
Sterrekundig Insituut Utrecht & Institute of Theoretical Astrophysics Oslo

## OPGAVEN

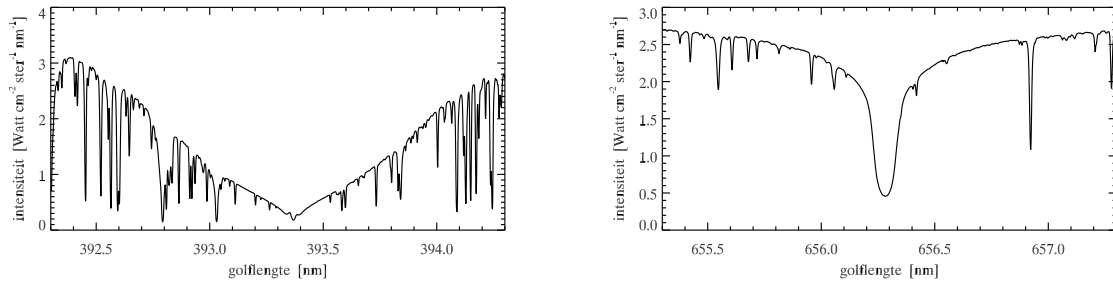
1. Je naam is Annie Cannon, je werkt op de Harvard-universiteit op het einde van de negentiende eeuw. Figuur 4 op de laatste pagina toont een reeks sterspectra. Het zijn fotografische negatieven: de spectraallijnen zijn in werkelijkheid donkere absorptielijnen op een helder continuüm. Je probeert systeem te vinden in het voorkomen van spectraallijnen in zulke sterspectra. Je weet welke elementen welke lijnen veroorzaken (de regelmatige reeks die zich naar links toe verdicht zijn bijvoorbeeld de “Balmerlijnen” van neutraal waterstofgas; zie de spectraalplaat in het BINAS-boek) maar als Annie Cannon heb je geen idee waarom ze wel of niet verschijnen in sterspectra.
  - a) Je weet ook dat anderszins vergelijkbare lijnen voor de ene ster breder kunnen zijn dan voor een andere door snellere aswenteling. Verklaar hoe dat gaat.
  - b) Probeer een systeem te ontdekken in de aanwezigheid van spectraallijnen zonder op hun breedte te letten. Knip de pagina in repen en leg ze zo goed mogelijk op volgorde.
  - c) Vergelijk jouw volgorde met die van je maat en probeer het (als goede onderzoekers) samen eens te worden. Annie Cannon definieerde zo de spectrale reeks O – B – A – F – G – K – M.
2. Figuur 1 toont spectra van een reeks planeten in de volgorde van hun afstand tot de zon. De linker piek in de spectra ligt in het zichtbare deel van het elektromagnetische spectrum, de rechter piek in het infrarode deel.
  - a) Verklaar waarom de linker piek in de spectra een Planck-kromme is voor temperatuur  $T \approx 6000$  K.
  - b) Verklaar waarom de rechter piek ook een Planck-kromme is en waarom deze naar langere golflengte schuift voor verder weg staande planeten.
  - c) Verklaar het relatieve verschil in de twee piekhoogtes tussen Mercurius en Venus.
  - d) Schets zulke spectra voor de aarde en voor de maan.
3. Figuur 2 toont een klein stukje zonnenspectrum.
  - a) Geef een reden waarom de zuurstofflijnen smaller zijn dan de ijzerlijnen.
  - b) De ijzerlijnen verschuiven in golflengte tussen de linker rand en de rechter rand van de zichtbare zonneschijf. De zon draait rond haar as in ongeveer 25 dagen. Bereken de grootte van de verschuiving.
  - c) Bedenk proefjes om aan te tonen dat de smalle lijnen niet van de zon zijn maar in de aardse dampkring worden veroorzaakt.



Figuur 1: Planetenspectra (M. Minnaert en J. Houtgast, *Hemel en Dampkring*, band 44, pagina 36, 1946). Horizontaal: golflengte in micrometer. Verticaal: stralingssterkte van de betreffende planeet per golflengte, uitgedrukt in de albedo (de oppervlakte van de linker piek gedeeld door de totale hoeveelheid opvallend zichtbaar zonlicht).



Figuur 2: Een stukje zonnenspectrum. De twee brede absorptielijnen worden veroorzaakt door ijzeratomen in de zonsatmosfeer. De twee kleine absorptielijnen worden veroorzaakt door zuurstofmolekulen in de aardse dampkring.



Figuur 3: Twee stukjes zonnenspectrum. De figuur-brede en diepe kuil links is de K lijn van éénmaal geïoniseerd calcium. De grootste kuil rechts is de  $H\alpha$  lijn uit de Balmerreeks van neutraal waterstof. Op beide lijnen zijn kleinere absorptielijnen van andere elementen (zoals ijzer) gesuperponeerd.

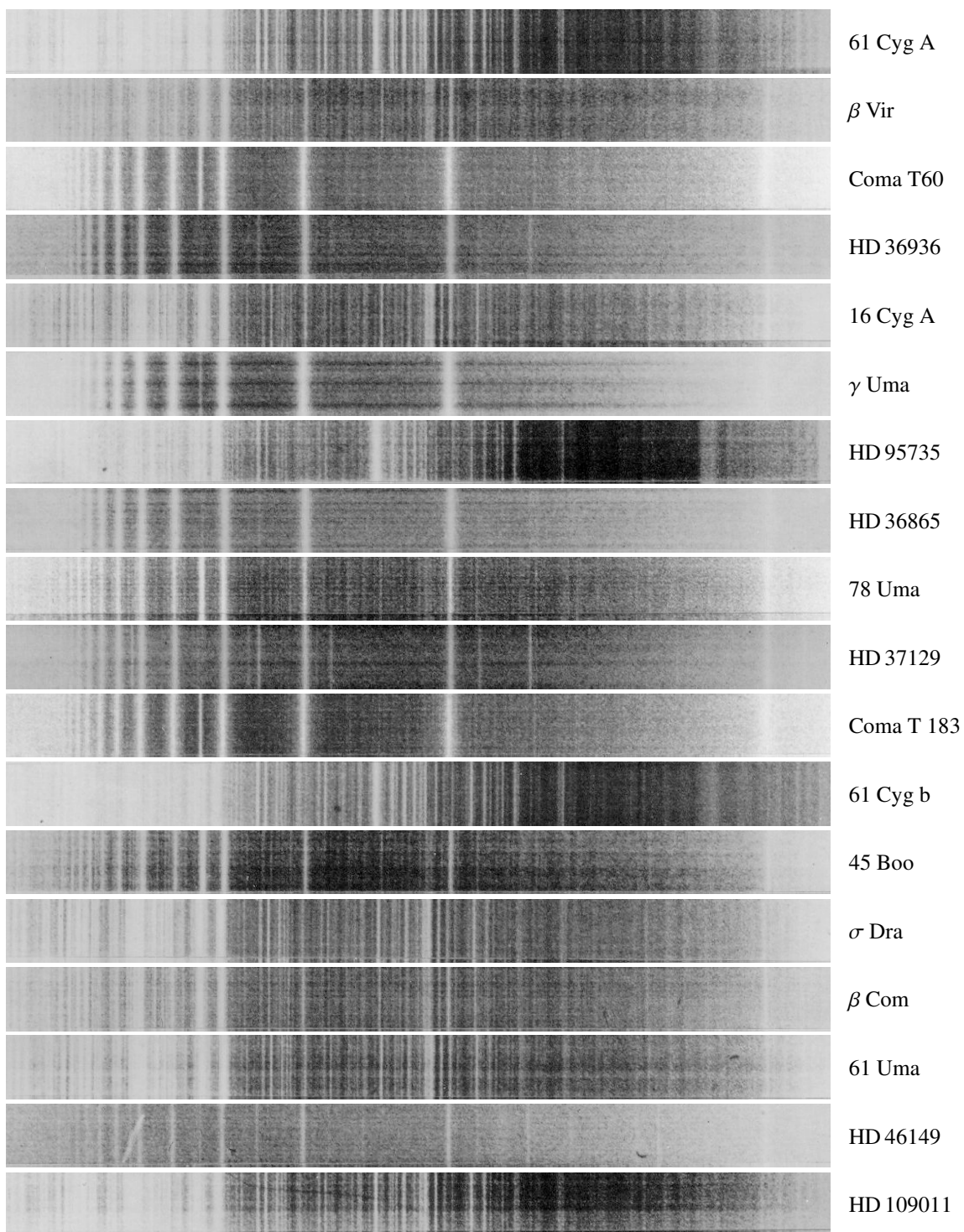
4. Figuur 3 toont de K lijn van  $Ca^+$  en de  $H\alpha$  lijn van waterstof in het zonnenspectrum. De eerste is veel sterker (grotere kuil) dan de tweede. Niettemin is er  $5 \times 10^5$  maal zo veel waterstof als calcium in de zon.

- a) Verklaar kwalitatief dat de K lijn veel sterker is dan  $H\alpha$  op grond van de volgende feiten:
- in de zonsatmosfeer is alle calcium geïoniseerd tot  $Ca^+$ ;
  - in de zonsatmosfeer is waterstof niet geïoniseerd;
  - de  $Ca^+$  K lijn heeft het grondniveau van  $Ca^+$  als onderniveau;
  - de  $H\alpha$  lijn heeft het tweede waterstofniveau met excitatie-energie 10,2 eV als onderniveau.

b) Bereken de sterkteverhouding van de twee lijnen bij temperatuur  $T = 6000$  K met behulp van de Boltzmann-verdeling voor de niveaubezettingen per ionsoort (met  $j > i$ ):

$$\frac{n_j}{n_i} = C e^{-E_{ji}/kT} = C e^{-hc/\lambda kT}$$

waarin  $E_{ji}$  het verschil in aanslagenergie van niveaus  $j$  en  $i$ ,  $h$  de constante van Planck,  $k$  de constante van Boltzmann, en  $C \approx 1$ . Waarom moet je deze formule hier gebruiken voor het onderniveau van de betreffende lijn?



Figuur 4: Sterspectra in negatief. De golflengte loopt op van links naar rechts.