

ZONNESPECTRUM

Robert J. Rutten

<http://www.staff.science.uu.nl/~rutte101>

KONTINUUM

- Eddington's wolken
- formule van Planck
- zonnenspectrum versus Planck-kromme
- Planck-invers zonnenspectrum
- idem op z'n kop
- ondoorzichtigheid zonnegas

LIJNEN

- Fraunhofer's zonnenspectrum
- opgeknipt zonnenspectrum
- termschema waterstof
- emissie & extinctie lijnfotonen
- vorming Fraunhoferlijnen

WAAROM EN HOE STRALEN STERREN?



Arthur Stanley Eddington 1882–1944

“The Internal Constitution of the Stars” (1926):

- *tamelijk arrogante conclusie*

“there are only two clouds obscuring the theory of the stars”

- what is the energy generation by which stars shine?

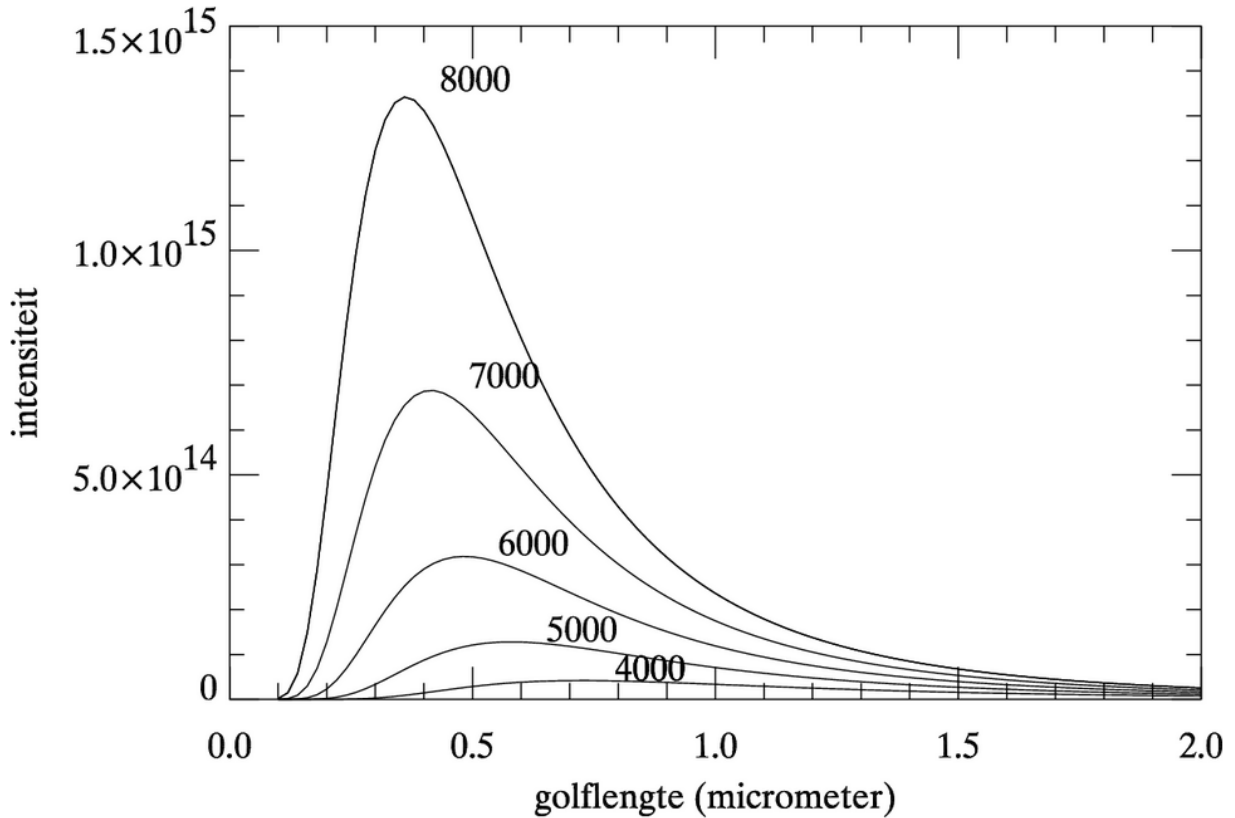
- what causes the continuous opacity in their atmospheres?

- *laatste zin*

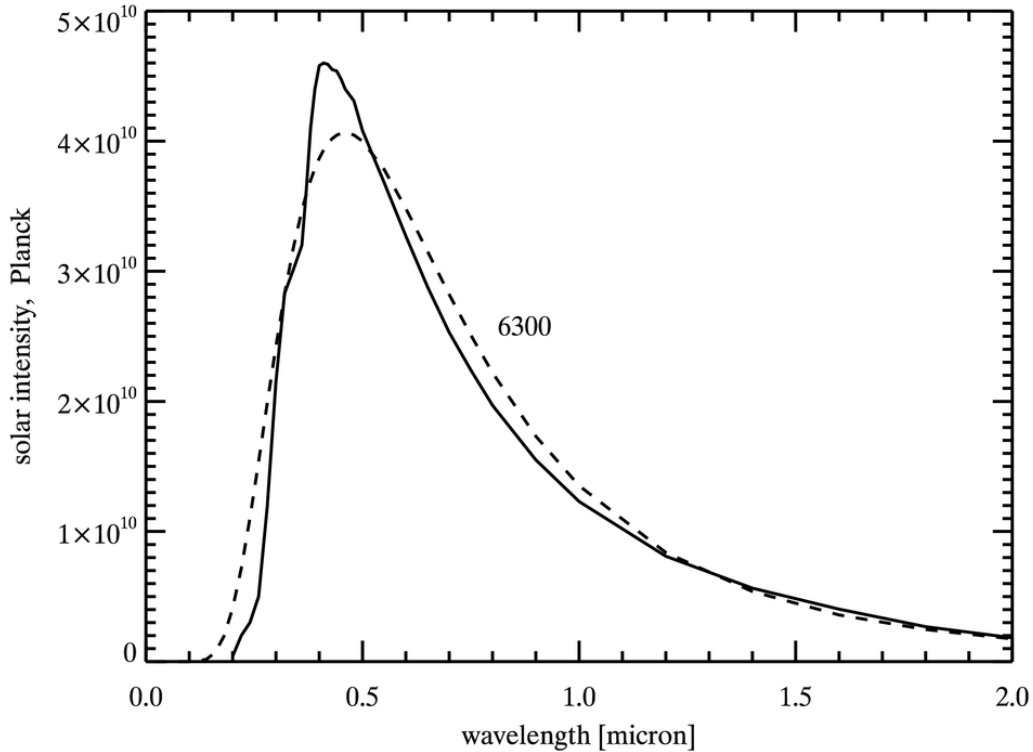
- “it is reasonable to hope that in a not too distant future we shall be competent to understand as simple a thing as a star.”

STRALINGSFORMULE VAN PLANCK

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



ZONNESPECTRUM & PLANCK KROMME

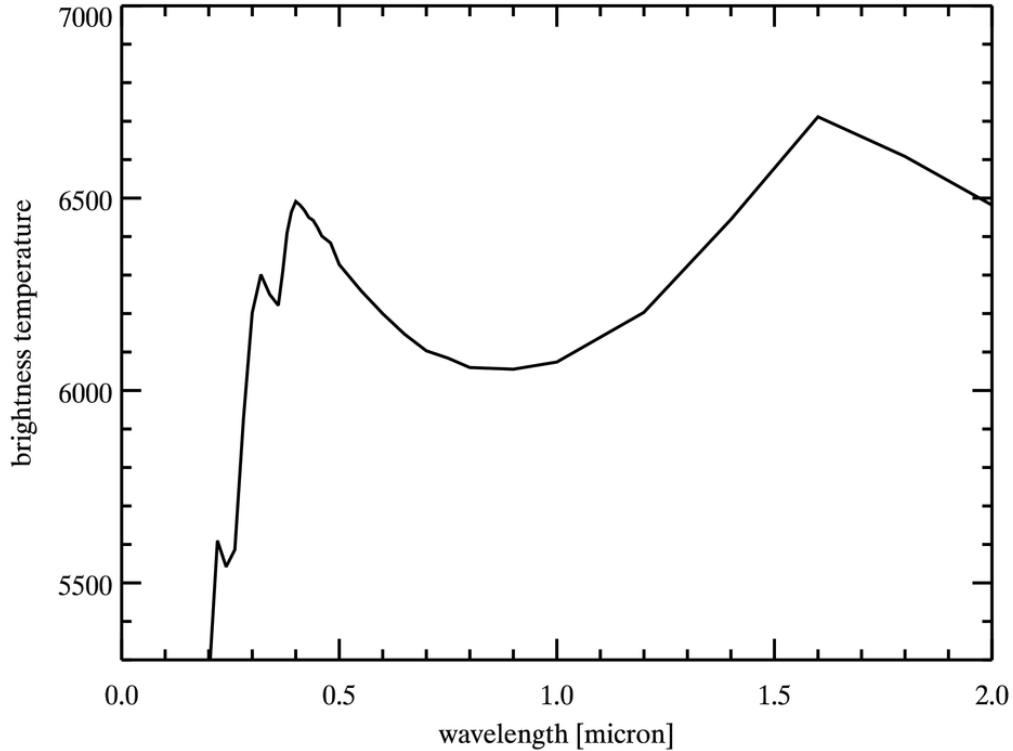


Getrokken: continue spectrum van de zon (hoge punten tussen de spectraallijnen).

Gestippeld: Planckfunctie $B_\lambda(T)$ voor $T = 6300 \text{ K}$.

Op welke golflengte straalt de zon het heetst? Op $\lambda = 0.4 \mu\text{m}$ (violet)?

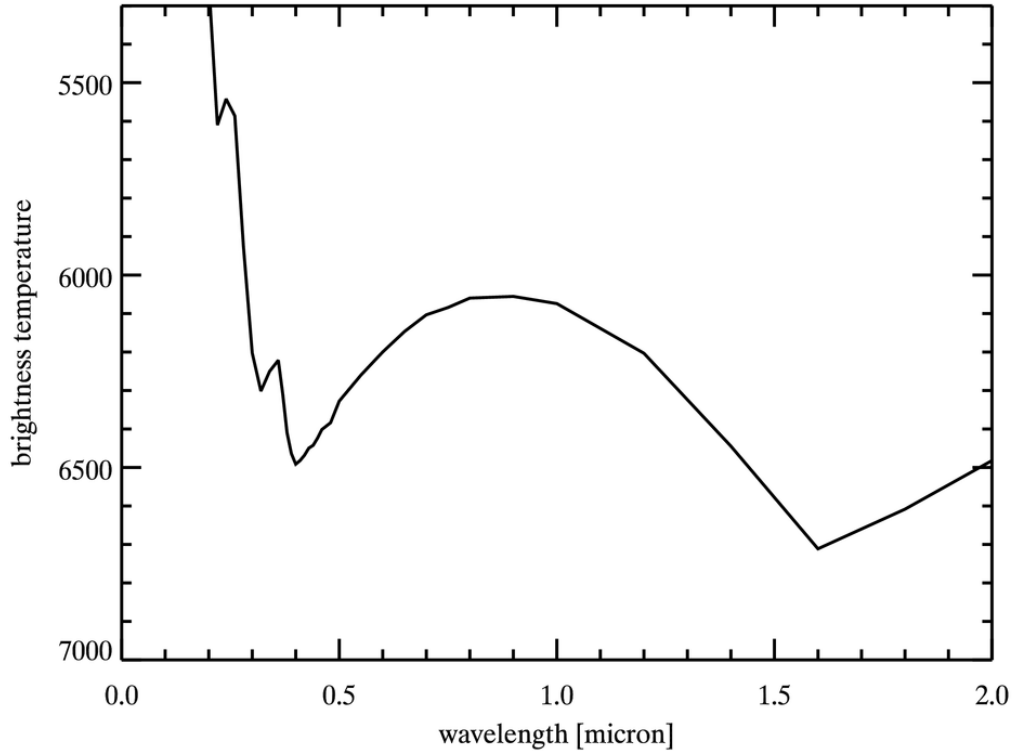
PLANCK-INVERSE VAN ZONNESPECTRUM



Helderheidstemperatuur van het zonlicht: T_b met $B_\lambda(T_b) \equiv I_{\text{zon}}$, of $T_b = [B_\lambda]^{-1}(I_{\text{zon}})$. Dit is een formele temperatuur, maar als de ontsnappende straling wordt gegeven door de Planck-functie van de gastemperatuur ter plekke is de helderheidstemperatuur daaraan gelijk.

Het zonlicht is blijkbaar het heetst op golflengte $\lambda = 1.6 \mu\text{m}$ (infrarood).

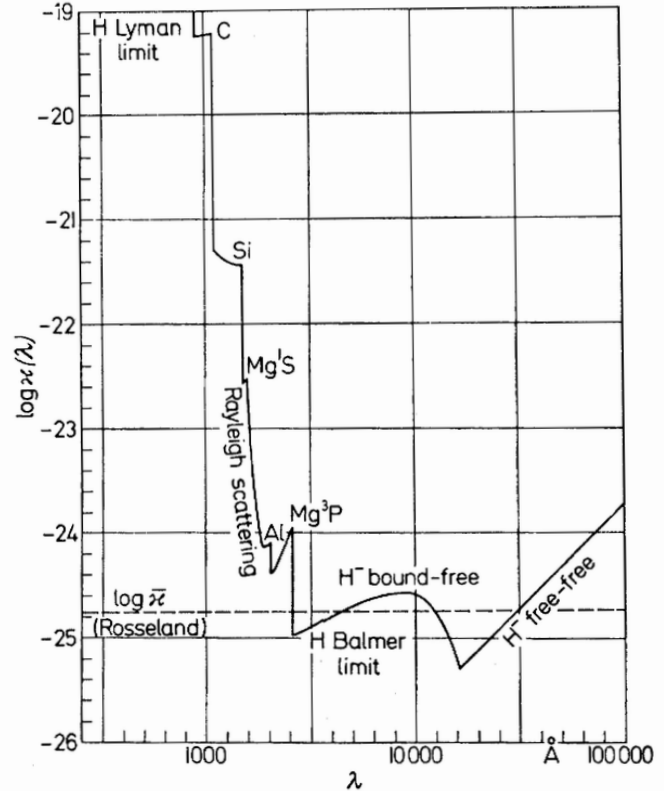
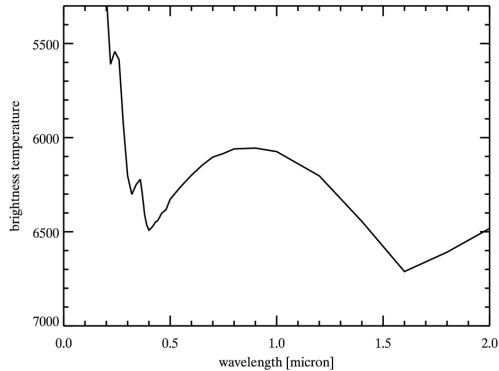
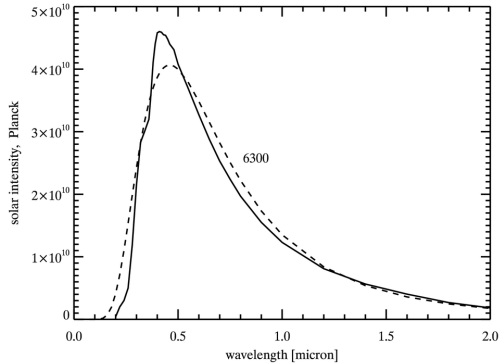
PLANCK-INVERSE VAN ZONNESPECTRUM OP ZIJN KOP



De temperatuur in de zonnefotosfeer neemt naar buiten af.

Schaalomkering: de helderheidstemperatuur van de ontsnappende straling is hoger op golflengten waar het gas doorzichtiger is. Op $\lambda = 1.6 \mu\text{m}$ kijk je blijkbaar het diepst in de zon. Deze grafiek geeft kwalitatief het verloop van de ondoorzichtigheid met de golflengte. Een raadsel totdat H^- (waterstof met extra electron) als grote bijdrager werd geïdentificeerd.

ONDOORZICHTIGHEID ZONNEGAS

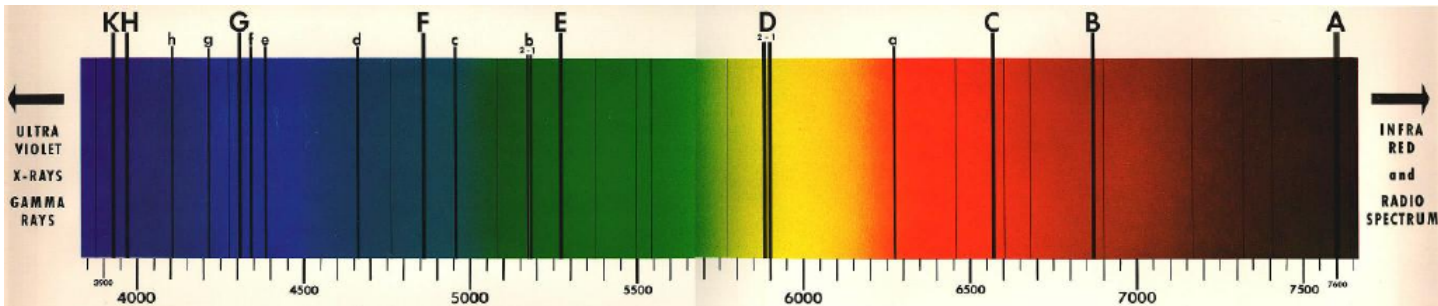


Grafiek rechts: ondoorzichtigheid van het zonnegas tegen golflengte (logaritmisch), met de processen die deze leveren. Ultraviolet: ionisatie van C, Si, Mg, Al. Zichtbaar ($\lambda = 0.4 - 0.8 \mu\text{m} = 4000 - 8000 \text{ \AA}$) en nabij-infrarood: ionisatie van H⁻. Ver infrarood: H⁻ vrij-vrij (versnelling van vrije elektronen in het veld van een waterstofatoom). Van E. Böhm-Vitense.

FRAUNHOFER'S ONTDEKKING

http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_von_Fraunhofer

In 1814, Fraunhofer invented the spectroscope, and discovered 574 dark lines appearing in the solar spectrum. These were later shown to be atomic absorption lines, as explained by Kirchhoff and Bunsen in 1859. These lines are still sometimes called Fraunhofer lines in his honour.



K, H: geïoniseerde calciumatomen

G: CH moleculen

F: Balmer- β waterstofatomen

b: magnesiumatomen

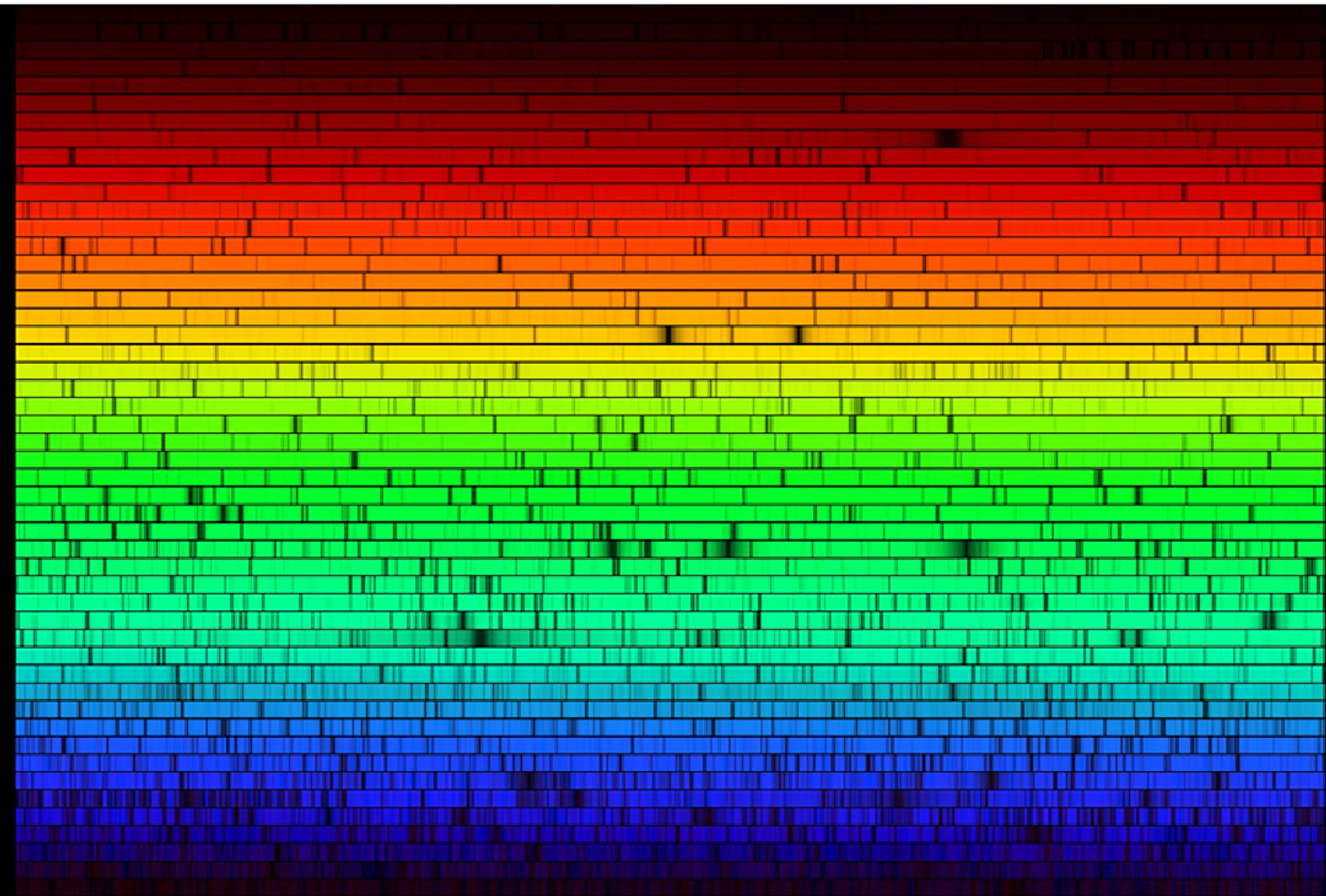
E: ijzeratomen

D: natriumatomen

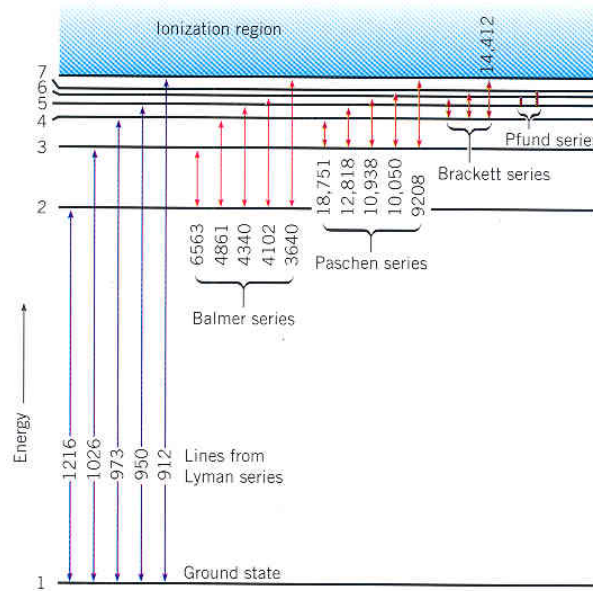
C: Balmer- α waterstofatomen

B, A: zuurstofmoleculen in de aardatmosfeer

OPGEKNIPT ZONNESPECTRUM

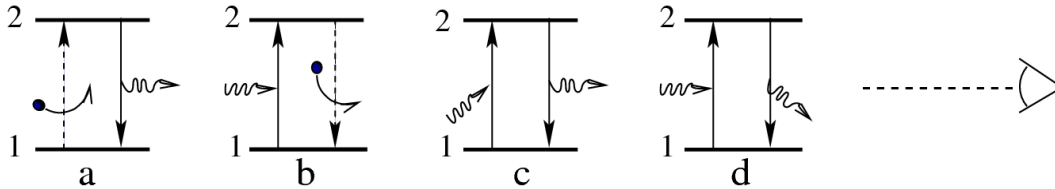


SPECTRAALLIJNEN WATERSTOF



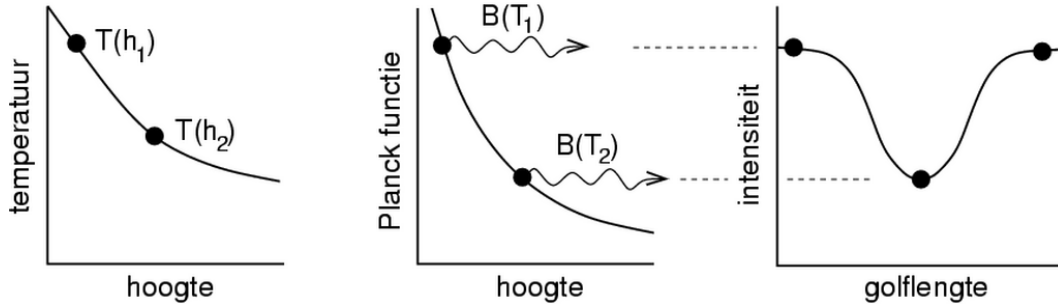
- Waterstofatoom: proton (+) met erom heen draaiend electron (-).
- Lymanlijnen: sprongen tussen grondniveau $n=1$ en hogere (“aangeslagen”) toestanden: Ly- α (1216 Å) tussen $n=1$ en $n=2$; Ly- β (1026 Å) tussen $n=1$ en $n=3$.
- Balmerlijnen: sprongen tussen $n=2$ en hogere toestanden: H α (6563 Å) tussen $n=2$ en $n=3$; H β (4861 Å) tussen $n=2$ en $n=4$.
- Ionisatie en recombinatie: verlies en terugpakken van een electron. Lyman-continuüm tussen $n=1$ en $n=\infty$; Balmer-continuüm tussen $n=2$ en $n=\infty$.

EMISSIE EN EXTINGTIE VAN LIJNFOTONEN



- Excitatie omhoog gaat óf door absorptie van een foton met de overeenkomstige energie (= precies de goede golflengte) óf door opname van kinetische energie in een botsing.
- Deëxcitatie omlaag gaat óf door emissie van een foton met de lijngolflengte óf door afgifte van kinetische energie in een botsing.
- Combinatie a: botsings-excitatie gevolgd door emissie van een foton in de kijkrichting (naar rechts) = thermische fotoncreatie.
- Combinatie b: absorptie van een foton uit de kijkrichting gevolgd door botsings-deëxcitatie = thermische fotonvernietiging.
- Combinatie c: verstrooiing van een foton de kijkrichting in.
- Combinatie d: verstrooiing van een foton de kijkrichting uit.
- De hoeveelheid opgewekte lijnstraling wordt gegeven door de verhouding van de hoeveelheid emissie in deëxcitatie-sprongen en de mate van fotonabsorptie in excitatie-sprongen.
- Als er meer botsingsovergangen dan stralingsovergangen zijn, zowel omhoog als omlaag, wordt de hoeveelheid opgewekte lijnstraling thermisch bepaald en is deze gelijk aan de Planckfunctie voor de plaatselijke temperatuur. Als verstrooiing domineert is dit niet zo.

VORMING VAN FRAUNHOFERLIJNEN



- Spectraallijn = sprong valentie-electron tussen twee discrete energieniveaus.
- Excitatie omhoog gaat óf door opname van kinetische energie in een botsing óf door absorptie van een foton met de overeenkomstige energie (juiste golflengte). Deëxcitatie gaat evenzo door fotonemissie of door afgifte van kinetische energie in een botsing.
- Door zulke specifieke fotonabsorptie is het gas op de lijngolflengte minder doorzichtig dan op golflengten naast de lijn. Het zonlicht ontsnapt op de lijngolflengte verder naar buiten.
- De hoeveelheid straling die ontsnapt wordt gegeven door de lokale Planckfunctie omdat frequente botsingsovergangen zorgen voor koppeling met de plaatselijke temperatuur.
- De temperatuur neemt in de zon naar buiten af. Waar het licht op de lijngolflengte ontsnapt is de temperatuur lager, de Planckfunctie ook. De resulterende Fraunhoferlijn is donker.
- De donkerste lijnen worden het verst naar buiten gevormd. De lage gasdichtheid daar maakt verstrooiing belangrijk. Die maakt de lijnen nog donkerder.
- De klokvorm van de lijnen komt via het Dopplereffect van de thermische bewegingen van de deeltjes in het zonnegas.

ZONNESPECTRUM

Robert J. Putten

<http://www.staff.science.uu.nl/~rputt101>

KONTINUUM

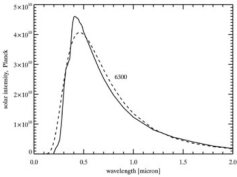
- Eddington's wolven
- formule van Planck
- zonnenspectrum versus Planck-kromme
- Planck-invers zonnenspectrum
- leem op 2's kop
- ondoorzichtigheid zonnes

LINIEN

- Fraunhofer's zonnenspectrum
- opgeknipt zonnenspectrum
- zonneschemo waterstof
- emissie & extinctie lijnfotonen
- vorming Fraunhoferlijnen

1

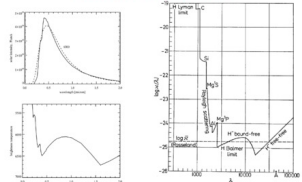
ZONNESPECTRUM & PLANCK KROMME



Getrokken: continu spectrum van de zon (hoge puriteit tussen de spectralijnen). Geïsoleerd: Planckfunctie $B_{\lambda}(T)$ voor $T = 5780\text{K}$. Op welke golflengte straalt de zon het heetst? Op $\lambda = 0,4 \mu\text{m}$ (viole)?

4

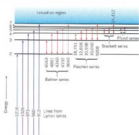
ONDOORZICHTIGHEID ZONNEGAS



Grafiek rechts: ondoorzichtigheid van het zonnes gas (golflengte logaritmischi), met de processen die deze bevesten. Ultraviolet: ionisatie van C, Si, Mg, Al; Zonbaar ($\lambda = 0,4 - 0,8 \mu\text{m} = 0,000 - 0,800 \text{ \AA}$) en nabij-infrarood: ionisatie van H⁺. Ver infrarood: H⁺ vrij (verspreiding van vrije elektronen in het veld van een waterstofatoom). Van E. Böhm-Vitense.

7

SPECTRAALLINIEN WATERSTOF



- Waterstofatoom: proton (+) met eerm heen draaiend elektron (-).
- Lymanlijnen: sprongen tussen grondniveau $n=1$ en hogere ('aanpakslagen') toestanden: Ly- α (1216 \text{ \AA}) tussen $n=1$ en $n=2$; Ly- β (1026 \text{ \AA}) tussen $n=1$ en $n=3$.
- Balmerlijnen: sprongen tussen $n=2$ en hogere toestanden: H α (6563 \text{ \AA}) tussen $n=2$ en $n=3$; H β (4861 \text{ \AA}) tussen $n=2$ en $n=4$.
- Ionisatie en recombinatie: verlies en terugpakken van een elektron. Lyman-continuüm tussen $n=1$ en $n=\infty$; Balmer-continuüm tussen $n=2$ en $n=\infty$.

10

WAAROM EN HOE STRALEN STERREN?



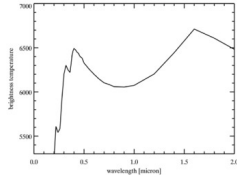
Arthur Stanley Eddington 1882-1944

'The Internal Constitution of the Stars' (1926):

- lamelijk arrogantie conclusie
 - 'there are only two clouds obscuring the theory of the stars'
 - what is the energy generation by which stars shine?
 - what causes the continuous opacity in their atmospheres?
- laatste zin
 - 'It is reasonable to hope that in a not too distant future we shall be competent to understand as simple a thing as a star.'

2

PLANCK-INVERSE VAN ZONNESPECTRUM



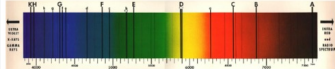
Helderheids temperatuur van het zonlicht: T_{λ} met $B_{\lambda}(T_{\lambda}) = I_{\lambda, \text{zon}}$ of $T_{\lambda} = (B_{\lambda}(T_{\lambda})/I_{\lambda, \text{zon}})^{1/5}$. Dit is een formele temperatuur, maar als de onderliggende straling wordt gezien door de Planck-functie van de gas temperatuur per plekke is de helderheids temperatuur daaraan gelijk. Het zonlicht is bijbaar het heest op golflengte $\lambda = 1,9 \mu\text{m}$ (infrarood).

5

FRAUNHOFER'S ONTDEKKING

http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_von_Fraunhofer

In 1814, Fraunhofer invented the spectroscope, and discovered 674 dark lines appearing in the solar spectrum. These were later shown to be atomic absorption lines, as explained by Kirchhoff and Bunsen in 1859. These lines are still sometimes called Fraunhofer lines in his honour.



- K: H: geïoniseerde calciumatomen
- G: OH moleculen
- F: Balmer- γ waterstofatomen
- B: magnesiumatomen
- E: ijzeratomen
- D: natriumatomen
- C: Balmer- α waterstofatomen
- B: A: zuurstofmoleculen in de aardatmosfeer

8

EMISSIE EN EXTINGTIE VAN LIJNFOTONEN

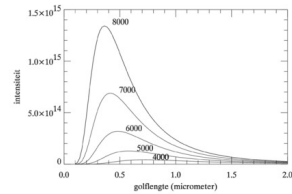


- Excitatie omhoog gaat of door absorptie van een foton met de overeenkomstige energie (= precies de goede golflengte) of door opname van kinetische energie in een botsing.
- Delectatie omlaag gaat of door emissie van een foton met de liggolflengte of door afgifte van kinetische energie in een botsing.
- Combinatie a: botsings-excitatie gevolgd door emissie van een foton in de kijkringrichting (naar rechts) = thermische fotoreactie.
- Combinatie b: absorptie van een foton uit de kijkringrichting gevolgd door botsings-delectatie = thermische fotoreversie.
- Combinatie c: verstrooiing van een foton in de kijkringrichting.
- Combinatie d: verstrooiing van een foton in de kijkringrichting uit.
- De hoeveelheid opgewekte (infrarood) wordt gegeven door de verhouding van de hoeveelheid emissie in delectatiehoogte n van de male van fotoonabsorptie in excitatiehoogten.
- Als er meer botsingsovergangen dan stralingsovergangen zijn, zowel omhoog als omlaag, wordt de hoeveelheid opgewekte (infrarood) straling thermisch bepaald en is de zeer gelijk aan de Planckfunctie voor de plaatselijke temperatuur. Als verstrooiing domineert is dit niet zo.

11

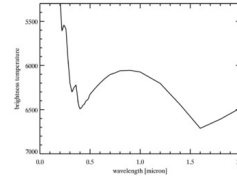
STRALINGSFORMULE VAN PLANCK

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



3

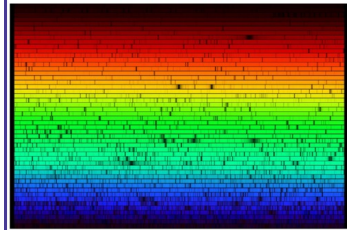
PLANCK-INVERSE VAN ZONNESPECTRUM OP ZUN KOP



De temperatuur in de zonnetoflaar neemt naar buiten af. Schalenontbreking: de helderheids temperatuur van de onderliggende straling is hoger op golflengten waar het gas doorzichtiger is. Op $\lambda = 1,6 \mu\text{m}$ kijkt u bijbaar het diepte in de zon. Deze grafiek geeft kwantitatief het verloop van de ondoorzichtigheid met de golflengte. Een naadsel totaal H⁺ (waterstof met extra electron) als grote bijdrager werd geïdentificeerd.

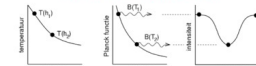
6

OPGEKNIPT ZONNESPECTRUM



9

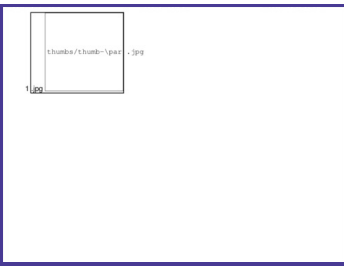
WORMING VAN FRAUNHOFERLIJNEN



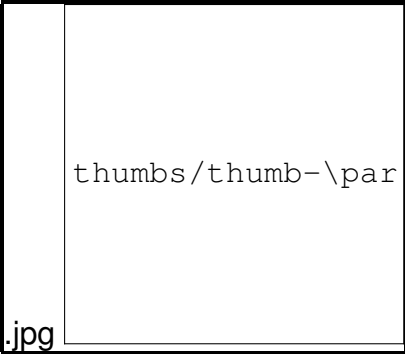
- Spectraalfijn = sprong valentie-electron tussen twee discrete energieniveaus.
- Excitatie omhoog gaat of door opname van kinetische energie in een botsing of door absorptie van een foton met de overeenkomstige energie (juiste golflengte). Delectatie gaat evenzo door fotoreactie of door afgifte van kinetische energie in een botsing.
- Door nuke specifieke fotoonabsorptie is het gas op de liggolflengte minder doorzichtig dan op golflengten naast de lijn. Het zonlicht contrast op de liggolflengte weder naar buiten.
- De hoeveelheid straling die ontsnapt wordt gegeven door de lokale Planckfunctie omdat frequente botsingsovergangen zorgen voor koppeling met de plaatselijke temperatuur.
- De temperatuur neemt in de zon naar buiten af. Waar het licht op de liggolflengte ontbreekt is de temperatuur lager. De Planckfunctie ook. De resulterende Fraunhoferlijnen is donker.
- De donkerste lijnen worden het verst naar buiten gevormd. De lage gasdichtheid daar maakt verstrooiing belangrijk. Die maakt de lijnen nog donkerder.
- De dikkeren van de lijnen komt via het Dopplereffect van de thermische bewegingen van de deeltjes in het zonnesgas.

12

13



14



.jpg