

## STERREN & STRALING – VWO

Foton is een opgavenverzameling voor het nieuwe eindexamenprogramma natuurkunde.

Foton is gratis te downloaden via [natuurkundeuitgelegd.nl/foton](http://natuurkundeuitgelegd.nl/foton)

Uitwerkingen van alle opgaven staan op [natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen](http://natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen)

Videolessen over de theorie zijn te vinden op [natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen](http://natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen)

Theorie bij dit hoofdstuk wordt behandeld in onderstaande videolessen:

[Elektromagnetisch spectrum](#)

[Wet van Stefan-Boltzmann](#)

[Levensloop van sterren](#)

[Soorten straling](#)

[Kwadratenwet](#)

[Telescopen](#)

[Lijnspectra](#)

[Zonneconstante](#)

[Dopplereffect](#)

[Planckkrommen](#)

[Lichtjaar](#)

[Oerknal](#)

[Wet van Wien](#)

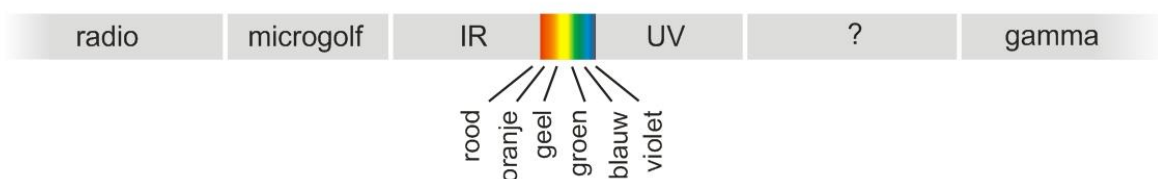
[HR-diagrammen](#)



### 1 Elektromagnetisch spectrum

Hieronder staat schematisch het elektromagnetisch spectrum met daarin aangegeven de verschillende soorten elektromagnetische straling.

- Wat is elektromagnetische straling?
- Waarvoor staan de afkortingen 'IR' en 'UV'?
- Welke stralingsoort hoort op de plaats van het vraagteken te staan?
- Sommige stralingssoorten kunnen gevaarlijk zijn. Dit komt omdat de straling in staat is om moleculen en atomen te ioniseren. Staan de ioniserende stralingssoorten aan de linkerkant of aan de rechterkant van het schema?
- Omcirkel het juiste woord in onderstaande zin:  
Rood licht heeft een *langere/kortere* golflengte dan blauw licht



## 2 Stralingssoort

Om welke straling gaat het in onderstaande gevallen?

- Straling met een golflengte van 546 nm
- Straling met een frequentie van 96,8 MHz
- Straling met een fotonenergie van  $2,0 \cdot 10^5$  eV

## 3 Lichtsnelheid

De snelheid waarmee elektromagnetische golven zich in vacuüm voortplanten is hetzelfde voor alle soorten elektromagnetische straling:  $2,99792458 \cdot 10^8$  ms<sup>-1</sup>. De naam "lichtsnelheid" is dus enigszins misleidend aangezien het ook de snelheid is voor alle andere soorten elektromagnetische straling.

- In het heelal wordt door wolken neutraal waterstofgas radiostraling uitgezonden met een golflengte van 21,11 cm en een frequentie van 1420 MHz. Laat met een berekening zien dat de voortplantingssnelheid van deze radiogolven gelijk is aan de lichtsnelheid in vacuüm.
- De lichtsnelheid in een bepaald medium, zoals lucht, water of glas, is altijd lager dan de lichtsnelheid in vacuüm en hangt af van de brekingsindex van het medium volgens onderstaande formule.  $n_{\text{water}}$  is 1,3. Bereken de lichtsnelheid onder water.
- Met de 'golflengte van straling' wordt de golflengte bedoeld die de betreffende straling in vacuüm zou hebben. Bereken de golflengte onder water van geel licht met een golflengte van 589 nm.
- Rudy en Agnes zijn het niet eens over de lichtsnelheid. Rudy zegt dat de lichtsnelheid voor alle soorten straling constant is. Agnes zegt dat dit alleen in vacuüm geldt en dat in een medium de lichtsnelheid voor verschillende soorten straling best kan verschillen. Leg aan de hand van BINAS tabel 18 uit wie er gelijk heeft.

$$c_{\text{medium}} = \frac{c_{\text{vacuum}}}{n_{\text{medium}}}$$

$c_{\text{medium}}$  = lichtsnelheid in medium (ms<sup>-1</sup>)

$c_{\text{vacuum}}$  =  $2,99792458 \cdot 10^8$  ms<sup>-1</sup>

$n_{\text{medium}}$  = brekingsindex medium

## 4 Lichtjaar

*Gebruik bij deze opgave BINAS tabel 32 B*

Afstanden in het heelal worden vaak gegeven in lichtjaren in plaats van meters. Een lichtjaar is de afstand die het licht in vacuüm aflegt in één jaar tijd.

- Waarom is het bij de definitie van lichtjaar belangrijk om de lichtsnelheid in vacuüm te gebruiken?
- Laat met een berekening zien dat 1 lichtjaar overeenkomt met  $9,461 \cdot 10^{15}$  m.
- De dichtstbijzijnde ster (de zon niet meegerekend) is Proxima Centaurus. Wat is de afstand tot Proxima Centaurus in lichtjaar?

- d Een ster zoals we die vanaf de aarde zien is hoe de ster er jaren geleden uitzag. We kijken dus terug in het verleden. De ster Deneb is een heldere ster in het sterrenbeeld Zwaan die je in de zomer aan de hemel kunt zien. Bereken hoeveel jaar je terug in het verleden kijkt als je naar Deneb kijkt.

### 5 Continu of lijn?

Wat voor spectrum (continu-, absorptie- of emissie-) heeft het licht van...

- a een gloeiende staaf ijzer in een smederij.
- b een gloeilamp.
- c een laserpointer die monochromatisch licht geeft bij  $\lambda = 635 \text{ nm}$ .
- d een ijle wolk heet waterstof gas in het heelal

### 6 Zwarte straler

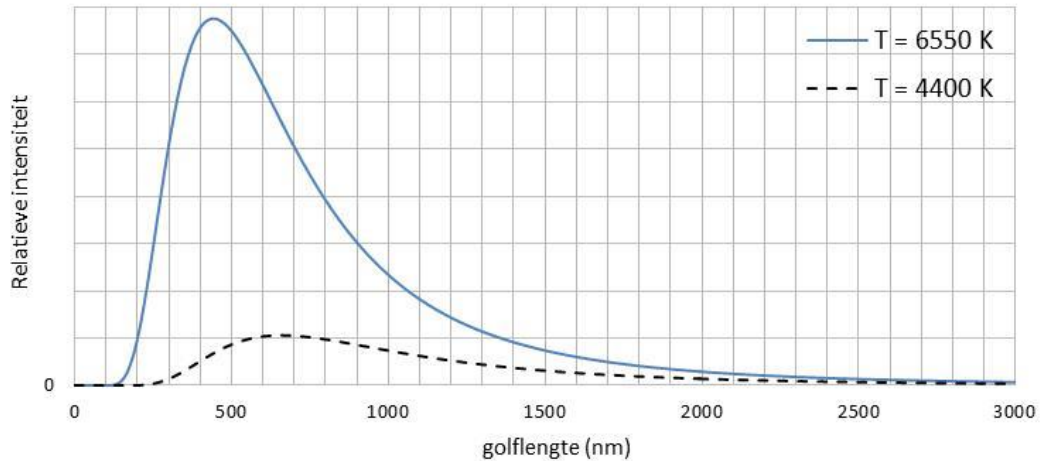
Een *zwart lichaam* is een object dat 100% van alle straling die erop valt absorbeert en 0 % reflecteert of doorlaat. Een *zwarte straler* is een lichaam dat 100% van alle straling die wordt opgewekt ook uitzendt. Geen enkel deel van het spectrum wordt geabsorbeerd.

- a Een ideaal zwart lichaam ziet er raar uit. Je kunt het alleen als 2D object zien, van welke kant je het ook bekijkt. Het is niet mogelijk om er diepte in te zien, behalve door het object rond te draaien of te voelen. Leg uit hoe het komt.
- b Dat de objecten in het dagelijks leven geen ideaal zwart lichaam zijn komt doordat ze een altijd wel een klein beetje glanzend zijn of kleur hebben. Een deel van het licht wat erop valt wordt gereflecteerd. Ook zijn deze objecten geen ideale zwarte straler. Een deel van de straling wordt door het object zelf geabsorbeerd voordat het wordt uitgezonden. Het object verandert hiermee de samenstelling van de straling die het uitzendt. Leg uit waarom BINAS tabel 22 alleen geldt voor ideale zwarte stralers.
- c In de praktijk komt de straling uitgezonden sterren redelijk goed overeen met dat van een ideale zwarte straler. Leg uit waarom.

### 7 Planckkrommen

Hieronder staan de Planckkrommen van een zwarte straler bij 4400 K en 6550 K.

- a Bepaal voor beide temperaturen de golflengte waarbij de intensiteit maximaal is ( $\lambda_{\text{max}}$ ).
- b Wat voor kleur heeft het uitgestraalde licht in beide gevallen?
- c De totale intensiteit is evenredig met het oppervlak tussen de grafiek en de x-as. De totale intensiteit bij 6550 K is veel groter dan de totale intensiteit bij 4400 K. Schat met de hokjesmethode hoeveel keer groter de totale intensiteit is bij 6550 K dan bij 4400 K.
- d De totale intensiteit is volgens de theorie evenredig met de vierde macht van de temperatuur ( $I_{\text{tot}} = \text{constante} \cdot T^4$ ). Laat met een berekening zien dat dit klopt voor deze twee metingen.



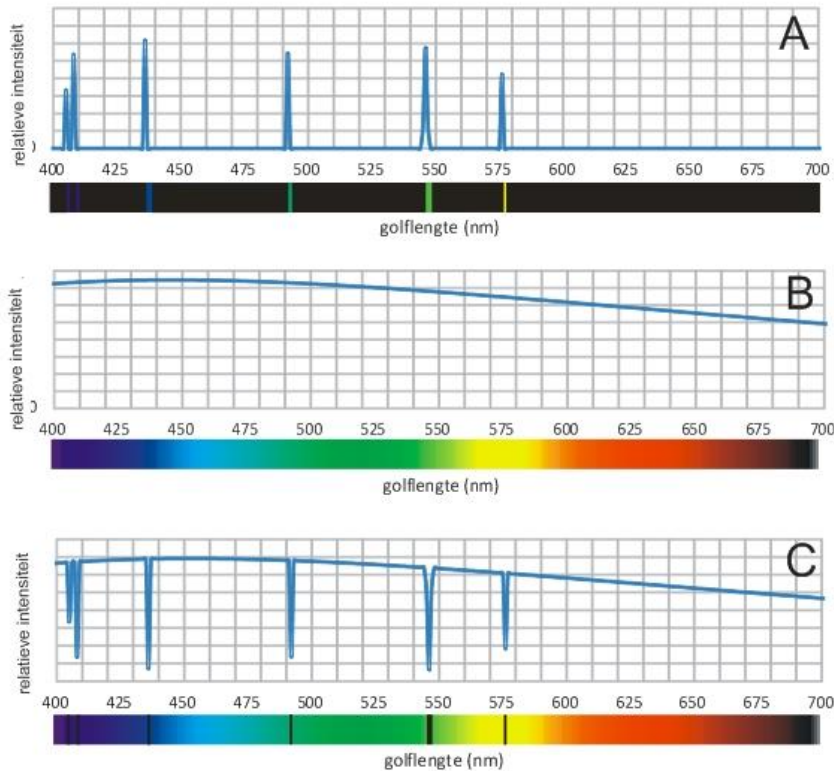
## 8 Kleurtemperatuur

In de verlichtingsindustrie bestaan er verschillende soorten wit licht. Zo bestaan er “daglichtlampen” waarvan de kleur overeenkomt met die van daglicht op een zonnige dag. Gloeilampen geven een warmere kleur licht met relatief veel rood en minder blauw in het spectrum. Het is gebruikelijk om lichtbronnen aan te duiden op grond van hun “kleurtemperatuur”. De kleurtemperatuur van een lichtbron is de temperatuur die een zwarte straler zou moeten hebben om dezelfde kleur licht te geven als de lichtbron.

- Een lamp heeft een kleurtemperatuur van 2500 K. Is het licht van deze lamp roodachtig of blauwachtig? (Gebruik BINAS tabel 22).
- In welke stralingssoort (zichtbaar licht of infrarood) zendt deze lamp zijn meeste energie uit? Wat zijn de gevolgen hiervan voor het rendement van de lamp?
- Wat is de kleurtemperatuur van een “daglichtlamp”?
- Bij een gloeilamp is de kleurtemperatuur ook de daadwerkelijk temperatuur van de gloeidraad. Leg uit waarom het moeilijk is om een gloeilamp te maken die “daglicht” geeft.

## 9 Gasspectrum

Met behulp van een continue lichtbron, een hoeveelheid van een bepaald gas en een spectroscop zijn drie spectra opgemeten. Bepaal aan de hand van BINAS tabel 20 om welke stof het gaat en leg bij elke spectrum uit wat voor soort het spectrum het is. Kies uit: *continu spectrum*, *absorptiespectrum* en *emissiespectrum*. Beschrijf bij elk spectrum hoe het is gemeten.



## 10 Spectraallijnen

Gebruik bij deze opgave BINAS tabel 20

Van vier onbekende stoffen is het spectrum opgenomen. Hieronder staat een beschrijving van het zichtbare gedeelte van elk van de spectra (400 tot 700 nm). Identificeer de stoffen aan de hand van hun spectraallijnen.

- Spectrum heeft maar één (dubbele) spectraallijn bij 589 nm.
- Spectrum bevat lijnen bij 656 nm, 486 nm, 434 nm en 410 nm.
- Spectrum heeft maar één (dubbele) spectraallijn bij 405 nm.
- Spectrum bevat twee clusters met veel lijnen rond 465 nm en 422 nm.

## 11 Zonnespectrum

De zon bestaat uit een gas onder zeer hoge druk en temperatuur. De dichtheid is zo groot dat het spectrum van de uitgezonden straling een continu spectrum is vergelijkbaar met dat van een zwarte straler.

- Hoe zou het spectrum van het zonlicht eruit hebben gezien als de dichtheid veel lager zou zijn geweest?
- Om de zon heen zit een laag van relatief koel gas. Het licht wat door de zon wordt uitgezonden moet eerst door deze laag gas heen voordat het licht ons bereikt. Leg uit wat dit voor invloed heeft op het zonnenspectrum.
- Een duidelijke spectraallijn in het zonnenspectrum is de zogenaamde “natrium-D-lijn” bij  $\lambda = 589 \text{ nm}$ . Dana en Mick zijn het niet eens over deze lijn. Volgens Dana wijst het feit dat de lijn zo duidelijk is erop dat de stof veel voorkomt op de zon. Volgens Mick zegt de

duidelijkheid van de lijn niks over de relatieve hoeveelheid. Volgens hem bestaat de zon voornamelijk uit waterstof en nauwelijks uit natrium. Leg uit wie er gelijk heeft.

## 12 Sterspectra

Door telescoop te voorzien van een spectroscop kan het spectrum van individuele sterren gemeten worden.

- Leg uit hoe met het spectrum de temperatuur van een ster bepaald kan worden.
- Leg uit hoe met het spectrum ontdekt kan worden welke stoffen op een ster voorkomen.
- In de dampkring van de aarde komen ook stoffen voor die ook allemaal hun eigen spectraallijnen hebben. Leg uit waarom het voor astronomen belangrijk is om ook deze spectraallijnen goed te kennen.

## 13 Wet van Wien

Gebruik in elk van onderstaande opgaven de wet van Wien.

- De oppervlaktetemperatuur van de zon is 5780 K. Bereken de golflengte waarbij de zon de meeste straling uitzendt.
- De temperatuur van gaswolken onder invloed van gravitatiekracht van zware objecten in het heelal kan zó hoog oplopen dat er röntgenstraling uitgezonden wordt. Bereken de temperatuur van een gaswolk die röntgenstraling met  $\lambda_{\max} = 5,0 \text{ nm}$  uitzendt.
- Ook het menselijk lichaam is warm en zendt straling uit. Bereken in welke golflengte de meeste straling wordt uitgezonden. Welke stralingsoort is dit?

## 14 Spectraaltype

Sterren worden door astronomen op basis van hun kleur ingedeeld in verschillende 'spectraaltypes' aangeduid met een letter (O,B,A,F,G,K,M). In de tabel hieronder is te vinden welk spectraaltype bij welke kleur hoort. Achter de letter wordt vaak een cijfer gezet om de kleur preciezer aan te duiden. Bijvoorbeeld: Een B0-ster is blauw-wit en een B9-ster is vrijwel wit van van kleur. Achter de spectraaltype wordt een romeins cijfer I, II, III, IV of V gezet om de grootte van de ster mee aan te duiden. I is groot V is klein. Zo is bijvoorbeeld de zon een "G2V ster". Een relatief kleine gele ster.

- Zoek in BINAS tabel 32B het spectraaltype van ster Arcturus op.
- Bepaal aan de hand van de tabel hieronder de kleur van Arcturus.
- De golflengte waarbij Arcturus de meeste straling uitgestraald ( $\lambda_{\max}$ ) is 655 nm. Ga aan de hand van BINAS tabel 19A na dat dit klopt met het antwoord op de vorige vraag.
- Bereken met de wet van Wien de temperatuur van Arcturus. Vergelijk je antwoord met de effectieve temperatuur van Arcturus in tabel 32 B.

Spectraaltype	O	B	A	F	G	K	M
Kleur	blauw	blauw/wit	wit	wit/geel	geel	oranje	rood

### 15 Stefan-Boltzmann

Een hete staaf ijzer wordt door een smid uit het vuur gehaald. De uitgezonden straling heeft zijn hoogste intensiteit bij  $\lambda = 1700 \text{ nm}$ .

- Bereken met de wet van Wien de temperatuur van de ijzeren staaf.
- Wat voor kleur heeft het uitgezonden licht?
- StAAF is 5,0 cm bij 5,0 cm dik en heeft een lengte van 30 cm. Bereken het totale buitenoppervlak van de ijzeren staaf.
- Bereken met de wet van Stefan-Boltzmann het vermogen aan straling wat door de ijzeren staaf wordt uitgezonden. Je mag er hierbij vanuit gaan dat de ijzeren staaf zich als ideale zwarte straler gedraagt.

### 16 Lichtkracht

De lichtkracht van een ster is het vermogen dat de ster als straling uitzendt. De lichtkracht hangt af van de straal van een ster en van de temperatuur. De straal van de zon is  $6,963 \cdot 10^8 \text{ m}$  en de effectieve oppervlaktetemperatuur 5778 K.

- Bereken het buitenoppervlak van de zon.
- Bereken de lichtkracht van de zon met de wet van Stefan-Boltzmann. Controleer je antwoord aan de hand van BINAS tabel 32C.
- De ster Betelgeuze is een rode reuzenster in het sterrenbeeld Orion die in de winter goed met het blote oog zichtbaar is. De temperatuur van Betelgeuze is  $3,6 \cdot 10^3 \text{ K}$  en de straal  $4,9 \cdot 10^{11} \text{ m}$ . Bereken de lichtkracht van Betelgeuze.
- Een ster heeft dezelfde lichtkracht als Betelgeuze maar heeft een drie keer zo hoge temperatuur. Beredeneer (geen berekening) of dit een grote ster of een kleine ster is.
- Bereken de straal van de ster uit de vorige vraag.

### 17 Kwadratenwet

De kwadratenwet geeft de intensiteit als functie van de afstand tot een bron.

- Zoek de kwadratenwet op in BINAS tabel 35-B2 (laatste formule).  
Wat voor soort verband bestaat er tussen de intensiteit en de afstand  $r$ ?
- Het licht van een kandelaar met 12 brandende kaarsen is nét voldoende om een boek te kunnen lezen op een afstand van 4,0 m van de kandelaar. De kaarsen branden op totdat er nog maar één kaars brandt. Bereken op welke afstand je minimaal van de kaars moet zitten om een boek te kunnen lezen.

### 18 Zonneconstante

De zonneconstante is de intensiteit van de zonnestraling op aarde.

- De zon heeft een uitgestraald vermogen van  $3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$ . Bereken met de kwadratenwet de zonneconstante.
- De daadwerkelijk intensiteit van de zonnestraling op het aardoppervlak is iets lager

doordat een deel van de straling in de dampkring wordt geabsorbeerd. Leg aan de hand van BINAS tabel 30E uit dit maar een vrij klein deel van de zonnestraling is.

- c Op een planeet in ons zonnestelsel bedraagt de intensiteit van het zonlicht  $3,71 \text{ Wm}^{-2}$ . Bepaal welke planeet dit is.

## 19 Afstandsbepaling

Bepaal bij elk van onderstaande sterren de afstand. Je mag er hierbij vanuit gaan dat de ster een ideale zwarte straler is en dat er geen licht geabsorbeerd wordt in de afstand die het licht aflegt naar de aarde

- Een ster met een lichtkracht van  $5,6 \cdot 10^{26} \text{ W}$  waarvan de intensiteit van het opgevangen licht op aarde  $1,7 \cdot 10^{-9} \text{ Wm}^{-2}$  is.
- Een ster met dezelfde lichtkracht als de zon waarvan de intensiteit van het opgevangen licht 500 miljard keer zwakker is dan zonlicht.
- Een ster met een oppervlaktetemperatuur van 4500 K en een straal van  $3,0 \cdot 10^9 \text{ m}$  waarbij het intensiteit van het opgevangen licht op aarde  $2,2 \cdot 10^{-11} \text{ Wm}^{-2}$  bedraagt.
- Wat is de afstand van de ster uit de vorige vraag in lichtjaren?

## 20 Superreus

De ster  $\mu\text{Cephei}$  is vanaf aarde met het blote oog zichtbaar als een zwak rood sterretje met een intensiteit van  $6,4 \cdot 10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$ . De ster heeft een  $\lambda_{\text{max}}$  van 785 nm en staat op een afstand van 6000 lichtjaar.  $\mu\text{Cephei}$  is een van de allergrootste sterren die bekend zijn en behoort tot de zogenaamde *superreuzen*. Toon met een berekening dat de straal van deze ster meer dan 500 keer groter is dan die van de zon.

## 21 Hertzsprung-Russell

Een Hertzsprung-Russell of HR-diagram is manier om de gegevens van grote groep sterren tegelijk weer te geven. In BINAS tabel 33 staat een HR-diagram. Elke ster krijgt afhankelijk van zijn temperatuur en lichtkracht één stipje in het diagram. Op de horizontale as staat de temperatuur en verticaal de lichtkracht. Naast de temperatuur is ook het 'spectraaltipe' af te lezen uit de letters aan de bovenkant van het diagram (O, B, A, F, G, K en M).

*Let op: assen zijn logaritmisch en de horizontale as loopt de andere kant op dan je verwacht.*

- Lees uit het HR-diagram de temperatuur van de ster Sirius af. Controleer je antwoord met BINAS tabel 32B.
- Lees uit het HR-diagram de het spectraaltipe van de ster Sirius af. Controleer je antwoord met BINAS tabel 32B.
- De sterren die zich rechts bovenin bevinden zijn relatief koele sterren met een grote lichtkracht. Leg met behulp van de wet van Stefan-Boltzmann uit dat dit sterren met een grote straal zijn.
- Gea en Laurens zijn het er niet over de 'O-sterren' aan de linkerkant van het diagram.



Volgens Laurens zijn O-sterren hele hete sterren en zouden ze volgens de wet van Stefan-Boltzmann ook een grote lichtkracht moeten hebben. Je zou dus de meeste O-sterren aan de bovenkant verwachten. Dat ze niet in het diagram staan komt volgens hem omdat hun lichtkracht zo groot is dat ze buiten het diagram vallen. Volgens Gea zijn deze sterren juist extreem compact en klein. Door hun kleine straal hebben ze een klein oppervlak en dus een kleine lichtkracht, ondanks hun hoge temperatuur. Leg uit wie er gelijk heeft.

## 22 Sterevolutie

Sterren die zich op de hoofdreeks bevinden krijgen hun energie doordat ze in hun kern waterstof omzetten in helium. Als de ster in zijn kern geen waterstof meer heeft om in helium om te zetten, gaat de ster in de laag buiten de kern waterstof omzetten in helium. De ster zwelt hierbij op tot een rode reuzenster en verlaat de hoofdreeks. Hierna kunnen er verschillende dingen gebeuren. De ster kan uiteindelijk

- Inkrimpen tot een witte dwergster en vervolgens afkoelen.
- Exploderen in een supernova-explosie en vervolgens als neutronenster eindigen
- Exploderen in een supernova-explosie en vervolgens als zwart gat eindigen

Ga voor elk van onderstaande sterren na of het een hoofdreeksster is en voorspel hoe de ster uiteindelijk zal eindigen.

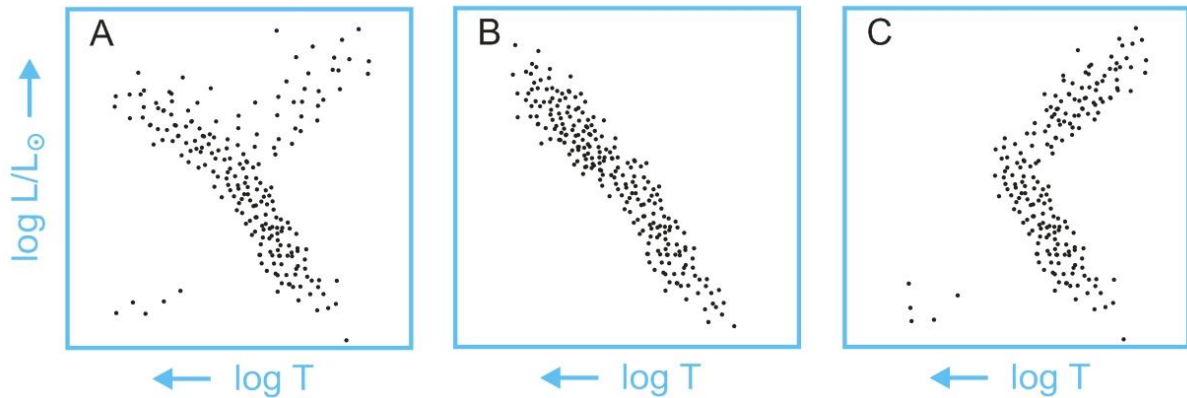
- Een ster met  $T = 7943 \text{ K}$ ,  $m = 5,9 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ , en  $P = 1,8 \cdot 10^{28} \text{ W}$ .
- Een ster met  $T = 20000 \text{ K}$ ,  $m = 2,4 \cdot 10^{31} \text{ kg}$  en  $P = 2,3 \cdot 10^{30} \text{ W}$ .
- Een ster met  $T = 3450 \text{ K}$ ,  $m = 4,2 \cdot 10^{31} \text{ kg}$  en  $P = 4,0 \cdot 10^{30} \text{ W}$
- Een ster met  $T = 25000 \text{ K}$ ,  $m = 1,8 \cdot 10^{30} \text{ kg}$  en  $P = 1,2 \cdot 10^{25} \text{ W}$ .

## 23 Sterpopulatie

Een groep sterren wordt een sterpopulatie genoemd. Dit kunnen sterren zijn die toevallig bij elkaar in de buurt staan maar het kunnen ook sterren zijn die tegelijkertijd uit dezelfde gaswolk gevormd zijn. In het laatste geval hebben we spreken van een sterrenhoop. Omdat sterren in een sterrenhoop op hetzelfde moment geboren zijn hebben ze allemaal ongeveer dezelfde leeftijd. Hieronder staan 3 HR-diagrammen van drie verschillende sterpopulaties:

- Een groep sterren die tot dezelfde relatief jonge sterrenhoop behoort
- Een groep sterren die tot dezelfde relatief oude sterrenhoop behoort
- Een groep willekeurige sterren die niet dezelfde leeftijd hebben.

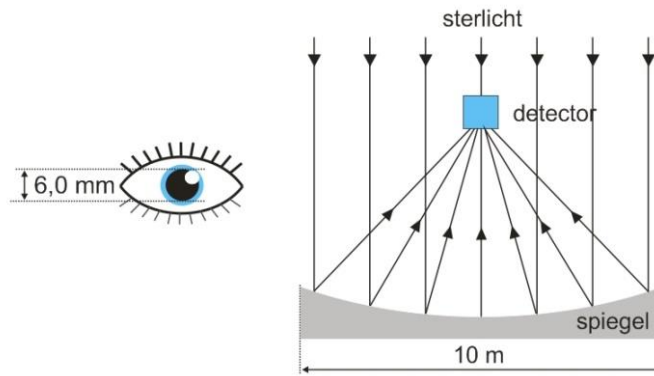
Welk HR-diagram hoort bij welke sterpopulatie? Leg uit hoe je aan je antwoord komt.



## 24 Telescoop

In een moderne supertelefoon wordt het sterlicht opgevangen in een gigantische parabolvormige spiegel met een spiegel­diameter van 10 m. Voordeel van het gebruik van een grote spiegel is dat veel licht wordt opgevangen en extreem zwakke objecten zichtbaar worden. Met het blote oog zijn dergelijke zwakke objecten niet zichtbaar. De pupildiameter van het blote oog is onder optimale omstandigheden 6,0 mm. Onder deze omstandigheden is sterlicht met een intensiteit van  $1,7 \cdot 10^{-9} \text{ Wm}^{-2}$  het zwakste wat nog met het blote oog gezien kan worden.

- Bereken welke intensiteit nog net zichtbaar is als met het oog door de supertelefoon gekeken wordt. Ga er hierbij vanuit dat de hoeveelheid opgevangen sterlicht recht evenredig is met het oppervlak waarover licht verzameld wordt.
- In de praktijk wordt er door astronomen niet 'live' door telescopen gekeken. In plaats daarvan zit in de telescoop een camera. Om de gevoeligheid nog verder op te voeren worden vaak zeer lange belichtingstijden gebruikt. Al het licht wat in die tijd wordt opgevangen draagt bij aan het beeld en zo kunnen nóg zwakkere objecten zichtbaar worden. Bij een belichtingstijd van 30 minuten is een zwakke ster met intensiteit  $8,0 \cdot 10^{-18} \text{ Wm}^{-2}$  nog nét zichtbaar op een opname. Bereken wat de belichtingstijd moet worden om een identieke ster waar te nemen die twee keer zo ver staat.
- Stel: De zon zou in het Andromeda sterrenstelsel staan op een afstand van 2,6 miljoen lichtjaar van de aarde. Laat met een berekening zien dat de belichtingstijd die nodig is om de zon als afzonderlijke ster waar te nemen veel langer zou zijn dan één nacht.



## 25 Hubble Space Telescope

Naast telescopen op aarde maken astronomen ook steeds meer gebruik van ruimtetelescopen. Voordeel is dat deze geen last hebben van turbulentie in de lucht en dus een veel scherper beeld opleveren. Een voorbeeld hiervan is de Hubble Space Telescope (HST). De HST zit net als andere satellieten in een baan om de aarde en doet iets meer dan anderhalf uur over een rondje.

- Tijdens zijn baan om de aarde zit de HST de helft van de tijd aan de dagkant van de aarde en de helft van de tijd aan de nachtkant. Toch kan de HST 24 uur per dag waarnemen. Leg uit hoe dit kan.
- HST heeft ook extreem lange opnamen gemaakt. Tijdens een zo'n opname was de telescoop steeds op hetzelfde kleine stukje van de hemel gericht en is één enkele foto gemaakt met een belichtingstijd van 23 dagen. Wat is het voordeel van zo'n extreem lange belichtingstijd?
- Een ander voordeel van ruimtetelescopen is dat ze stralingssoorten kunnen waarnemen die op aarde niet zichtbaar zijn omdat de straling in de dampkring worden geabsorbeerd. Welke soortstraling kunnen wél vanuit de ruimte waargenomen worden maar niet vanaf aarde? (gebruik BINAS tabel 30E).

## 26 Dopplereffect

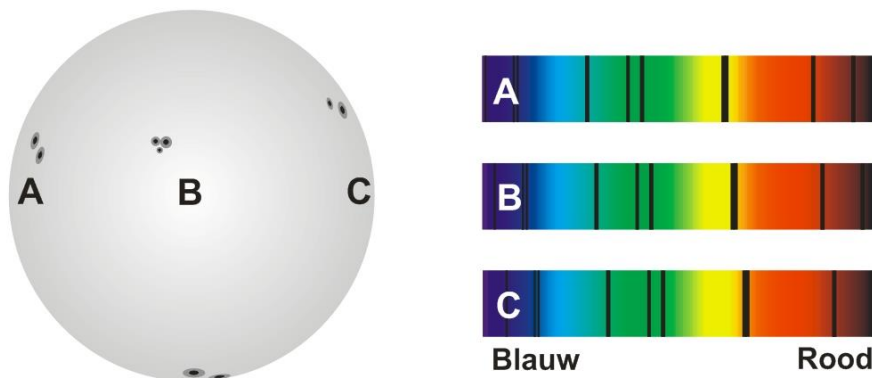
Bereken met de formule voor dopplerverschuiving (BINAS 35-E1) de radiale snelheid van onderstaande objecten. Geef ook aan of het object zich van ons af of naar ons toe beweegt.

- Een ster waarbij in het spectrum een waterstoflijn verschoven is van 656,281 nm naar 656,360 nm.
- Een ster met een temperatuur van  $T = 4500$  K met als spectrum een verschoven Planck-kromme met  $\lambda_{\max} = 645,0$  nm.
- Een wolk waterstofgas waarvan radiostraling ontvangen wordt met een frequentie van 1420,4 MHz cm terwijl de uitgezonden frequentie 1419,1 MHz is.

## 27 Zonnerotatie

Al in de 17<sup>e</sup> eeuw is door Galileï aan de hand van zonnevlekken ontdekt dat de zon om zijn eigen as draait. Door de rotatie beweegt de zon aan één kant van ons af en aan de andere kant naar ons toe. In de afbeelding hieronder staat schematisch weergegeven hoe het spectrum eruit zit wat is opgenomen op 3 verschillende plaatsen op het zonsoppervlak.

- Beredeneer aan de hand van de verschuiving van de spectraallijnen welke kant we de zonnevlekken op de zonneschijf zien bewegen. Naar rechts of naar links?
- In werkelijkheid is de verschuiving van de spectraallijnen veel kleiner. In spectrum A zit een spectraallijn bij 527,035 nm. In spectrum C zit dezelfde lijn bij 527,043 nm. Bereken aan de hand van de rood- en blauwverschuiving de radiale snelheid van de beide zijkanten van de zon.
- De straal van de zon bedraagt  $6,963 \cdot 10^8$  m. Bereken aan de hand van de in de vorige vraag gevonden snelheid hoeveel dagen de zon er over doet om één keer om zijn as te draaien.



## 28 Oerknal

Begin 20<sup>e</sup> eeuw ontdekte de Amerikaanse astronoom Edwin Hubble door metingen aan de roodverschuiving van verre sterrenstelsels dat er een verband bestaat tussen de afstand van een object en de snelheid waarmee het van ons af beweegt. In de grafiek hieronder staan van een aantal verre sterrenstelsel de afstand en radiale snelheid uitgezet.

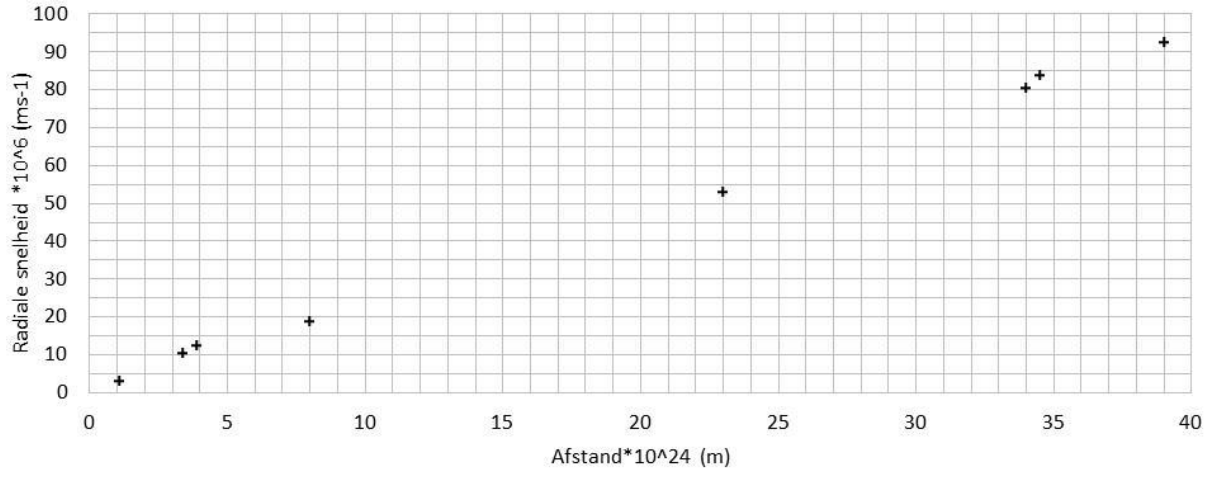
- Wat voor soort verband bestaat er tussen de afstand en de radiale snelheid?
- Op grond van zijn waarnemingen heeft Hubble onderstaande formule opgesteld. De constante  $H_0$  die in de formule voorkomt wordt de Hubbleconstante genoemd. Bepaal uit de grafiek zo nauwkeurig mogelijk  $H_0$ .
- Een verklaring voor dit verband tussen afstand en snelheid is dat het heelal ooit is ontstaan in een oerknal waarna het heelal is gaan uitdijen. Door met de afstand en de snelheid terug te rekenen naar het moment dat het heelal in één punt bijeen was kan de leeftijd van het heelal bepaald worden. De leeftijd van het heelal wordt op dit moment door astronomen tussen de 13 en 14 miljard jaar geschat. Laat zien dat de in de vorige vraag bepaalde waarde van  $H_0$  hiermee in overeenstemming is.

$$v = H_0 \cdot d$$

$v$  = radiale snelheid ( $\text{ms}^{-1}$ )

$H_0$  = Hubbleconstante ( $\text{s}^{-1}$ )

$d$  = afstand (m)



## ANTWOORDEN VAN DE REKENOPGAVEN

Uitwerkingen en uitleg van alle opgaven zijn te vinden op [natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen](http://natuurkundeuitgelegd.nl/uitwerkingen)

### 2 Stralingssoort

- a licht
- b radio
- c röntgen/gamma

### 3 Lichtsnelheid

- b  $2,3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$
- c  $4,5 \cdot 10^7 \text{ m}$

### 5 Continu of lijn?

- a continu
- b continu
- c lijnen (emissie)
- d lijnen (emissie)

### 7 Plankkrommen

- a  $6,5 \cdot 10^7 / 4,4 \cdot 10^7 \text{ m}$
- b 5 x groter

### 8 Kleurtemperatuur

- b 5780 K

### 10 Spectraallijnen

- a Na
- b H
- c K
- d  $\text{N}_2^+$

### 13 Wet van Wien

- a 501,3 nm
- b  $5,8 \cdot 10^5 \text{ K}$
- c  $9,35 \mu\text{m}$

### 14 Spectraaltype

- a K2 III
- b oranje
- d  $4,42 \cdot 10^3 \text{ K}$

### 15 Stefan-Boltzmann

- a 1705 K
- b rood (zwak)
- c  $6,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- d  $3,1 \cdot 10^4 \text{ W}$

### 16 Lichtkracht

- a  $6,093 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$
- b  $3,851 \cdot 10^{26} \text{ W}$
- c  $2,9 \cdot 10^{31} \text{ W}$
- d  $5,4 \cdot 10^{10} \text{ m}$

### 17 Kwadratenwet

- b 1,2 m

### 18 Zonneconstante

- a  $1,37 \cdot 10^3 \text{ Wm}^{-2}$

### 19 Afstandsbepaling

- a  $1,6 \cdot 10^{17} \text{ m}$
- b  $1,1 \cdot 10^{17} \text{ m}$
- c  $3,1 \cdot 10^{18} \text{ m}$
- d  $3,3 \cdot 10^2 \text{ lj}$

### 24 Telescoop

- a  $6,2 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^{-2}$
- b 2,0 uur

### 26 Dopplereffect

- a  $3,6 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$
- b  $4,9 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}$
- c  $2,7 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}$

### 27 Zonnerotatie

- b  $2 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-1}$
- c  $7 \cdot 10^8 \text{ m}$

### 28 Oerknal

- b  $2,4 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$