

# Op zoek naar exoplaneten

# STEM

**Bijlagebundel:  
Intermezzo's**

Belgium



**UC** Leuven  
Limburg  
MOVING MINDS

**Doelgroep**

**Basis**

K

1

2

3

4

5

6

**Secundair**

1

2

3

4

5

6

**Uitgave**

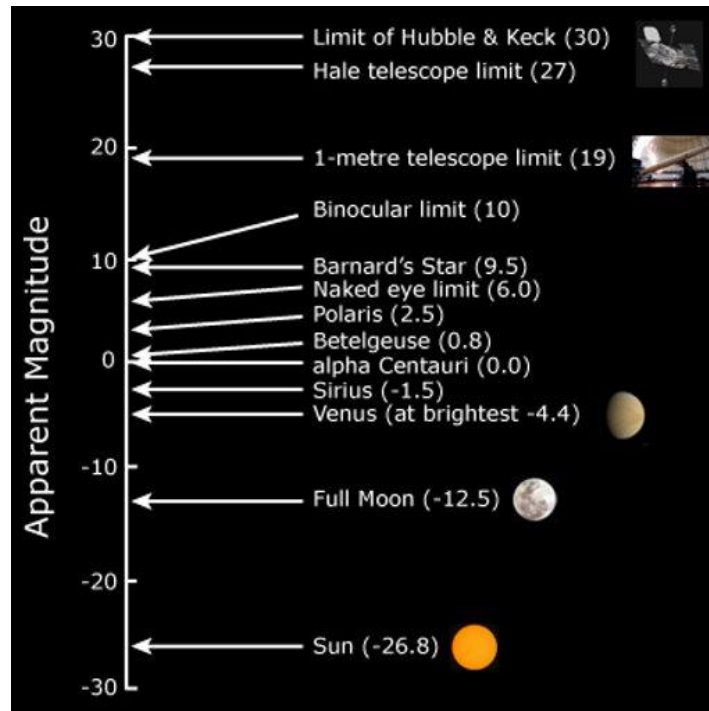
Augustus 2020

## Intermezzo: Zichtbaar verschil in sterren

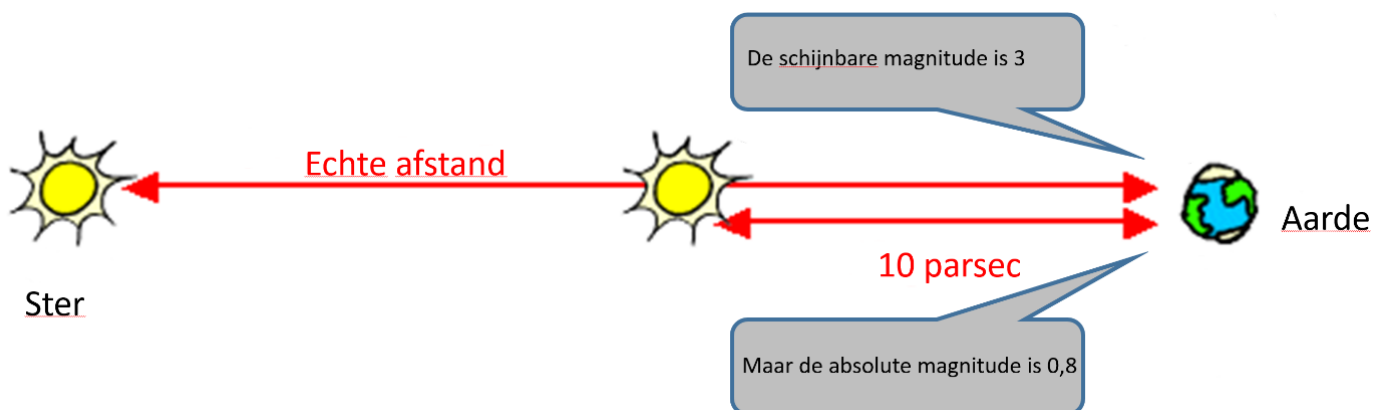
### helderheid en afstanden in parsec

Een andere eigenschap van een ster is de helderheid, of magnitude.

In deze lijst staan enkele hemellichamen met hun schijnbare magnitude.



### Schijnbare of absolute magnitude?



Door observaties kan de schijnbare magnitude bepaald worden. Om sterren, en andere hemellichamen, te vergelijken hebben we echter de absolute magnitude nodig. Om deze te bekomen gaan we de sterren allemaal op eenzelfde afstand van 10 parsec zetten. Zo kan er een eerlijke vergelijking gemaakt worden.

De parsec is een afstandsmaat uit de astronomie om heel grote afstanden aan te duiden. 1 parsec komt overeen met ongeveer 3,26 lichtjaar of bijna 31 biljoen kilometer.

## Intermezzo: De Nobelprijs

Pedagogisch wenk:  
Dit is best een ICT-opdracht.  
De leerkracht duidt op het feit dat het krijgen van een nobelprijs wijst op het belang van het onderzoek.

### Wat is de Nobelprijs?

.....

*Antw: De Nobelprijs is een jaarlijkse prijs, enerzijds voor wetenschappelijk onderzoekers die een opmerkelijke prestatie hebben geleverd op het gebied van de natuurkunde, scheikunde en fysiologie of geneeskunde, anderzijds aan auteurs die belangrijke bijdragen hebben geleverd aan de literatuur alsook voor personen en organisaties die belangrijk hebben bijgedragen aan de bevordering van de vrede.*

### Wie is Alfred Nobel?

.....

*Antw: Een Zweedse chemicus en industrieel. Bekend voor het uitvinden van het dynamiet. Alfred Nobel bepaalde in zijn testament dat er elk jaar vijf nobelprijzen moeten uitgereikt worden. De prijzen zijn bestemd voor 'hen die in het afgelopen jaar aan de mensheid het grootste nut hebben verschaft'.*

### Zijn er Belgische winnaars, wie en waarvoor?

.....

Er zijn in totaal 10 nobelprijzen aan Belgen uitgereikt. Deze voor natuurkunde, scheikunde, geneeskunde, de vrede en de literatuur. In 1977 won Ilya Prigogine de Nobelprijs voor de Scheikunde. Hij won deze voor zijn bijdrage aan de niet-evenwichtthermodynamica, voornamelijk de theorie van dissipatieve structuren. De laatste keer dat België een nobelprijs won was in 2013. Toen won Francois Englert de nobelprijs voor de natuurkunde. Hij won deze voor zijn bijdrage aan de theoretische ontdekking van een mechanisme dat bijdraagt aan onze kennis van de oorsprong van massa van subatomaire deeltjes.

### Som enkele bekende winnaars op samen met de reden waarom ze gewonnen hebben.

.....

*Antw: Albert Einstein (verdienden voor de theoretische natuurkunde, met name zijn ontdekking van de wet van het foto-elektrisch effect), Niels Bohr (voor zijn verdiensten bij het onderzoek naar de structuur van atomen en de straling die door atomen wordt uitgezonden) en Marie Curie (voor haar onderzoek naar stralingsverschijnselen).*

### Leg in eigen woorden uit waarom de nobelprijs een belangrijke prijs is.

.....

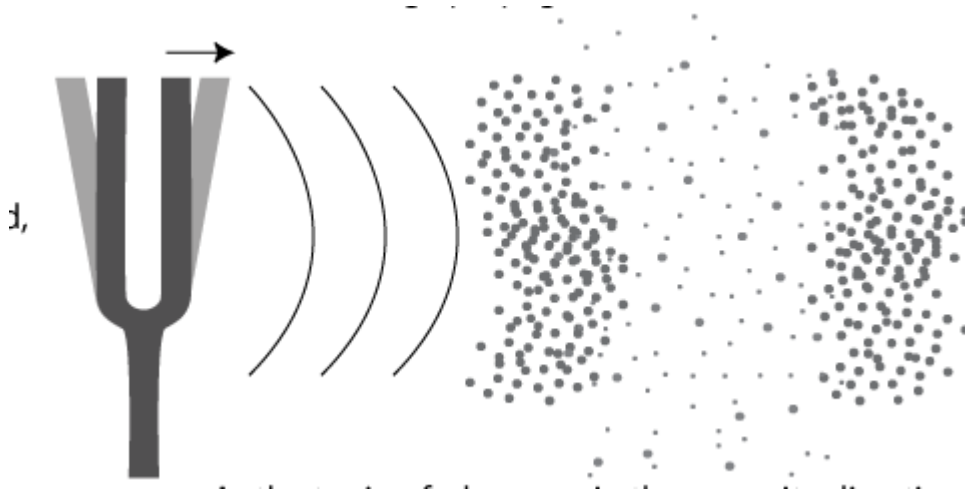
*De prijs eert elk jaar iemand die voor de vooruitgang van de mens gezorgd heeft. Het zorgt voor erkenning van degene die iets uitzonderlijks bereikt hebben binnen onder andere de wetenschap.*

## Intermezzo: De golf

### Begrippen van een golf:

Een golf ontstaat in een elastisch medium als een trilling die zich voortplant.

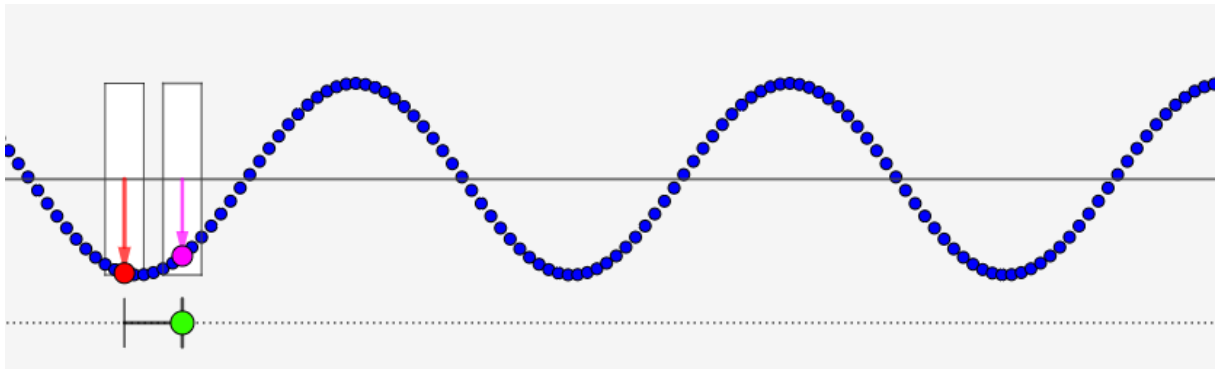
Bv. Het ontstaan van een geluidsgolf door de trilling van een stemvork



*Bron: Digital Sources and waves.*

Als de trilling zich voortplant ontstaat er een golf.

Bekijk even [deze simulatie](#).



We bekijken enkele begrippen van een lopende golf.

### Periode

Die trilling herhaalt zich in de tijd. De tijd dat één volledige trilling duurt, noemen we een periode.

### Frequentie

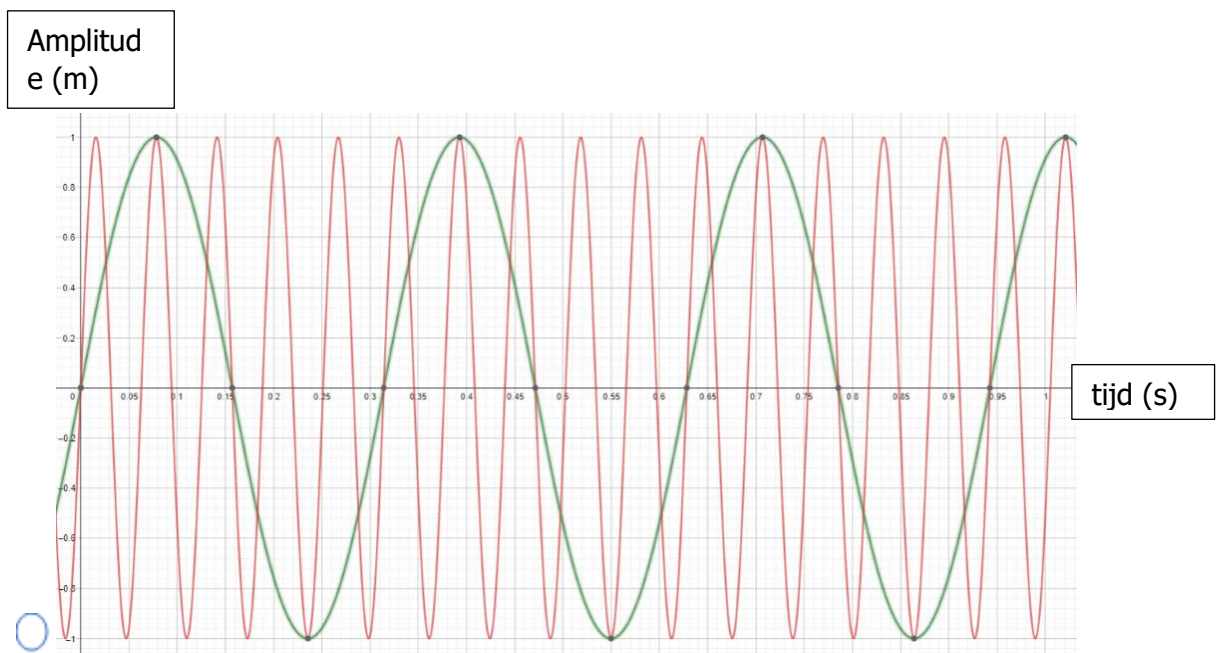
Van een trilling kan je zeggen hoe vaak per seconde de trilling zich voordoet. Dit wordt uitgedrukt in de eenheid 'Hertz' of 'per seconde'

Wat betekent het dat een geluidsgolf een frequentie heeft van 100Hz?

.....

Een geluidsgolf met een frequentie van 100 Hz, trilt 100 keer per seconde

**Hieronder zie je een rode en een groene golf**



Welke golf heeft de hoogste frequentie?

.....

*De rode golf.*

Hoeveel is de frequentie van de groene golf? (Tel het aantal volledige cycli over een bepaalde tijdsperiode)

.....

*3,33 Hz*

Hoeveel is de frequentie van de rode golf?

.....

*20 Hz*

Op de tekening (in het blauwe cirkeltje) is 1 aangeduid. We merken dat de rode golf veel meer toppen heeft dan de groene, de frequentie van de rode golf ligt dan ook veel hoger dan die van de groene.

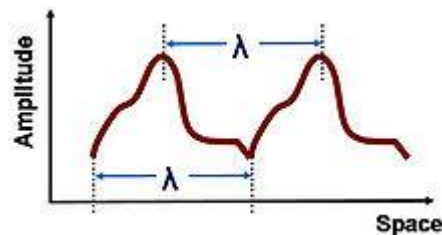
Bv: een golf met frequentie 10, telt 10 trillingen per seconde ([hier kan je spelen met de frequentie](#))

We noteren de frequentie dan ook op de volgende manier: . De frequentie is gelijk aan 1 gedeeld door de periode.

## Golflengte

Een golf met een bepaalde frequentie vormt een **regelmatig terugkerend golfpatroon**. Dit patroon plant zich voort in de ruimte.

Na een zekere afstand zal het golfpatroon zich herhalen. De afstand waarover het kenmerkende golfpatroon zich uitstrekt, is de golflengte, voorgesteld door de Griekse letter lambda



## Voortplantingsnelheid van een golf

De deeltjes in een golf wijken uit, maar verplaatsen zich netto niet. Maar de storing, het golfpatroon plant zich wel voort in de ruimte. In een bepaald medium (bv. De lucht) gebeurt dit met een bepaalde snelheid. Dit wil zeggen dat het golfpatroon zich met een zekere snelheid verplaatst

Bv. Een geluidsgolf heeft een golfsnelheid van 343 m/s (bij 20°C)

Hoe groot is de lichtsnelheid (in vacuüm)?

.....  
*299 792 458 m/s.*

In welke eenheid zal men golfsnelheid uitdrukken?

## Golfsnelheid is golflengte gedeeld door periode

Snelheid is altijd een verhouding van 2 grootheden. Welke?

.....

*Afstand en tijd*

De voortplantingssnelheid van de golf is de afstand die een golf aflegt in de bijhorende tijd, één periode dus.

Vermits de periode T de tijd is waarin de golf één golflengte aflegt, is de snelheid waarmee de golf zich voortplant:

$$V = \lambda / T$$

## Frequentie is het omgekeerde van de periode

Als bv. een toon een frequentie heeft van bv. 3 Hz

Hoeveel volledige trillingen zijn er dan per seconde? ..... *(Antw. 3)*

Hoelang duurt dan één trilling?

..... *(Antw. 1/3 s)*

Indien een toon een periode van 1/10 s heeft, hoeveel trillingen per seconde zijn er dan?

..... *(Antw. 10 trillingen per seconde/10Hz)*

Steeds geldt dat periode en frequentie elkaars omgekeerde zijn. Men kan dit wiskundig noteren als:

$$f = 1/T$$

De snelheid is dan ook  $V = \lambda * f$

[Hier kan je spelen met de frequentie](#)

## Intermezzo: Wiskunde

We kunnen dit natuurlijk ook wiskundig gaan benaderen.

$$f_w = f_b \frac{(c_g + v_w)}{(c_g - v_b)}$$

Wat wil dit nu zeggen?

$f_w$  = de waarneembare frequentie. Deze frequentie zal de waarnemer effectief horen.

$f_b$  = de frequentie van de bron. Dit is de frequentie waarmee de bron geluid uitzend.

$c_g$  = dit is de snelheid van het geluid. Deze waarde is temperatuur afhankelijk maar we kiezen ervoor om steeds  $343 \frac{m}{s}$  te gebruiken.

$v_w$  = de snelheid waarmee de waarnemer beweegt ten opzicht van de bron.

$v_b$  = de snelheid waarmee de bron beweegt ten opzicht van de waarnemer.

Nu we alle symbolen verklaard hebben kunnen we formule gaan bekijken.

Wat kunnen we zeggen over  $f_w$ ?

We merken op de  $f_w$  gelijk is aan de frequentie van de bron, vermenigvuldigd met een bepaalde verhouding. De waarneembare frequentie zal dus afhankelijk zijn van een verhouding van snelheden.

Wat kunnen we zeggen over  $\frac{(c_g + v_w)}{(c_g - v_b)}$ ?

We merken op dat we steeds een bepaalde snelheid nodig hebben. Dit is namelijk de snelheid van de golf in een bepaald medium. We weten reeds dat geluid en licht golven zijn. Voor een ambulance die ons nadert aan een kruispunt, is de snelheid van de golf gelijk aan de snelheid van het geluid in het medium lucht.

We kunnen deze verhouding vereenvoudigen. Wat gebeurt er met de verhouding indien we langs de weg staan en we horen een ambulance naderen?

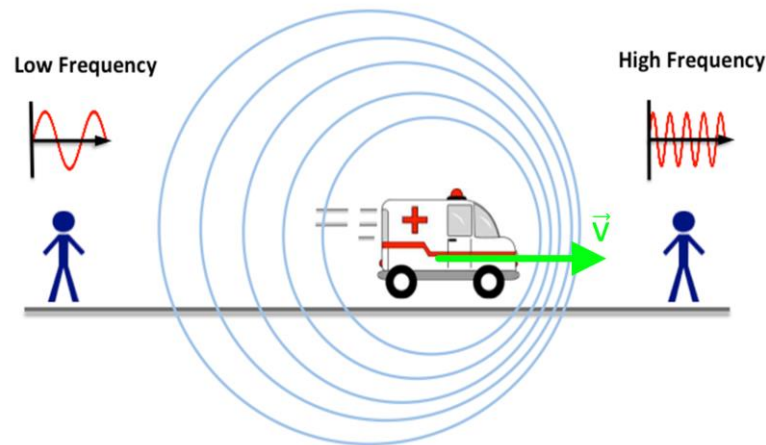
In dit geval kunnen we de verhouding vereenvoudigen naar  $\frac{(c_g)}{(c_g - v_b)}$ . Indien de

ambulance ons nadert merken we op dat de verhouding groter zal zijn dan 1 (we delen een getal door hetzelfde getal waarvan we een ander getal afgetrokken hebben).

Omgekeerd werkt dit op dezelfde manier. Wanneer de bron geen snelheid heeft kunnen we de verhouding op de volgende manier schrijven  $\frac{(c_g + v_w)}{(c_g)}$ . hier zien we opnieuw dat de teller groter is dan de noemer waardoor de verhouding groter zal zijn dan 1.



## Doppler Effect



In bovenstaande tekening zien we dat beide observatoren stil staan. Hun snelheid bedraagt 0.

In [dit videofragment](#) krijgen jullie een duidelijk voorbeeld.  
( <https://www.youtube.com/watch?v=LvJAV6le2No> )

### Rekenoefening:

1. Een geluidsbron zendt golven uit met een frequentie van 440 Hz.
  - a. Welke frequentie hoort een stilstaande waarnemer ?
  - b. Welke frequentie hoort een stilstaande waarnemer indien de geluidsbron zich met een snelheid van van 90,0 km/ h verwijdert ?
  - c. Welke frequentie wordt door de waarnemer geregistreerd als hij zich met een snelheid van 90,0 km/h naar de geluidsbron toe beweegt ?
2. Een waarnemer ziet een brandweerauto naderen met loeiende sirenes. Hij kan de frequentie van de naderende sirene bepalen op 467,50 Hz. Eens de brandweerauto gepasseerd, stelt hij vast dat de frequentie van de sirene nog maar 415,56 Hz is. Bepaal de frequentie van de sirene die de waarnemer zou horen mocht de brandweewagen stilstaan, en bereken de snelheid van de brandweewagen.

**Opdracht: We weten dat snelheid een vectoriele grootte is. Kan je aan de hand hiervan de tekens van  $v_w$  en  $v_b$  verklaren.**

We bekijken snelheden, deze hebben een richting, een zin, een grootte en een aangrijpingspunt. We zeggen dat wanneer de bron en de waarnemer elkaar naderen de snelheden positief zijn. Wanneer de bron en de waarnemer zich van elkaar weg bewegen zal de snelheid negatief zijn.

We passen dit even toe. Bij het geval dat de waarnemer stil staat zien we dat de snelheid van de bron moeten aftrekken van de snelheid van de golf. Deze snelheid is positief, de bron nadert ons. Wanneer de bron de waarnemer passeert zal deze snelheid negatief worden. Uit de verhouding leren we dan dat deze kleiner zal worden dan 1. De waarneembare frequentie zal kleiner zijn dan die van de bron. Hetzelfde geldt voor wanneer de bron geen snelheid heeft.

**Opdracht: zoek zelf een voorbeeld van wanneer de bron geen snelheid heeft en verklaar wat je hoort als waarnemer.**

**Opdracht: verklaar waarom we een knal horen wanneer er een straaljager tegen hoge snelheid over je hoofd vliegt.**

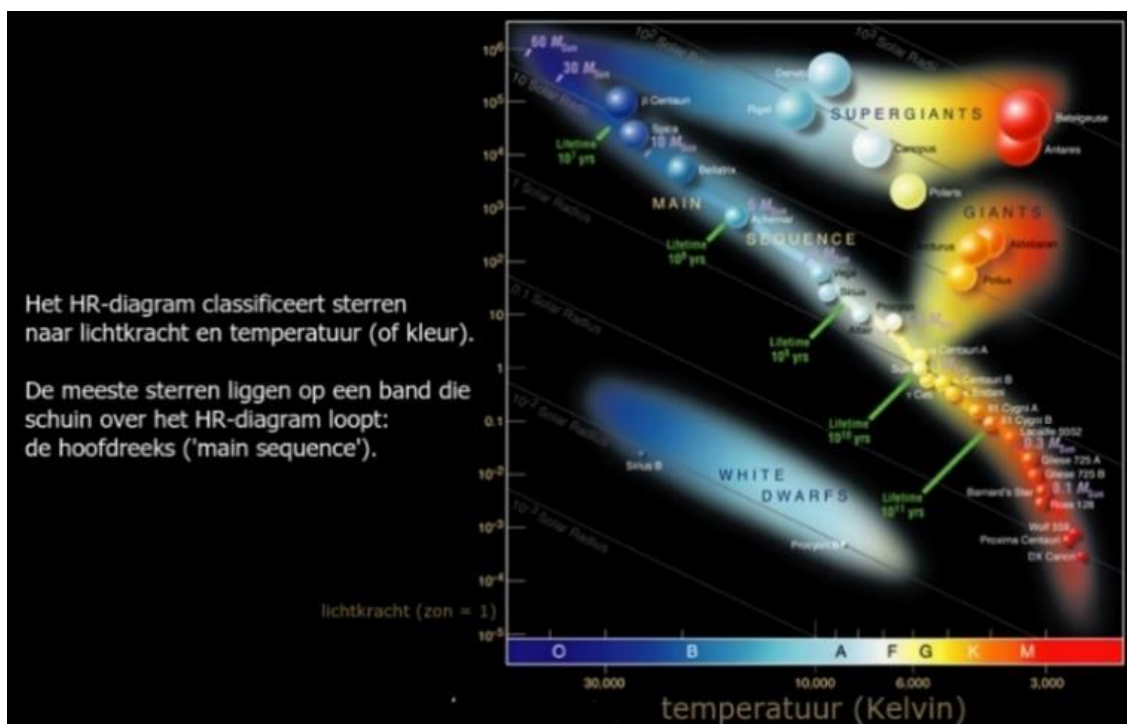
Nog niet voldoende info, neem dan zeker eens een kijkje op <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/dopp.html#c1>

## Intermezzo: Massa bepalen van een exoplaneet

### Bepalen we de massa van een exoplaneet

We hebben gesproken over het dopplereffect en wat we hier allemaal uit kunnen afleiden. Het belangrijkste aspect hebben we echter nog niet besproken. Door de doppler shift te bekijken kunnen we de massa van een exoplaneet dit lichtjaren van ons verwijderd staat (we kunnen deze nooit zien) gaan bepalen. We doen dit aan de hand van enkele stappen.

1. De eerste stap is de **massa** bepalen van de **ster** (=  $M^*$ ). Dit is niet zo moeilijk. We kunnen namelijk de massa van de ster aflezen uit een grafiek. In de grafiek zien we het verband tussen de lichtintensiteit en de temperatuur. Aan de hand van deze grafiek kunnen astronomen de massa van sterren gaan bepalen. [https://aardrijkskunde.dbz.be/vijfdetweeuurs/kosmografie/iw\\_sterevolutie\\_ontsta\\_anzonnestelsel.html](https://aardrijkskunde.dbz.be/vijfdetweeuurs/kosmografie/iw_sterevolutie_ontsta_anzonnestelsel.html)



Afbeelding: HR-diagram

2. Als tweede bepalen we de **radiale snelheid** van de ster. Dit doen we aan de hand van onze doppler shift zoals hierboven verklaard werd.
3. Vervolgens moeten we de periode van de planeet gaan bepalen in jaren. Dit doen we door te observeren. De periode van de planeet is de tijd die ze nodig

heeft om 1 maal rond zijn ster te draaien. Als we dit vergelijken met de aarde is de periode van de aarde gelijk aan 365,25 dagen of 1 jaar.

- Als vierde stap moeten we de **afstand** gaan bepalen tussen de planeet en de halve lange as. (zie **derde** wet van **Kepler-Newton**).

$(M^* + M^p)T^2 = a^3$  waarbij  $a$  de afstand tot de halve lange as is. In deze vergelijking vinden we reeds de massa van de planeet. Maar aangezien we 2 onbekende hebben en maar 1 vergelijking kunnen we de vergelijking niet oplossen naar de massa van de planeet. We kunnen echter wel een handig truckje gebruiken. We weten dat de planeet rond de ster draait. Dit impliceert dat de massa van de ster zodanig groot is dat er een gravitatieveld optreedt dat de planeet in zijn baan houdt. Dit wil zeggen dat de massa van de planeet minstens een factor  $10^6$  (een miljoen) kleiner is dan de massa van de ster. We kunnen dus stellen dat  $M^*$  de volledige massa bedraagt en we de massa van de planeet in deze vergelijking kunnen verwaarlozen.

We vinden:  $a = \sqrt[3]{(M^*)T^2}$

T bepalen komt uit transitmethode: naar kijken, tabel aflezen?

- We bepalen de massa van de planeet. We kunnen dit doen omwille van dat we er vanuit gaan dat de planeet een circulaire baan volgt rond de ster. We vinden dan de massa van een planeet met de volgende vergelijking:

$$M^p = (2,1 \cdot 10^{-4}) \frac{M^* V^* T}{2\pi a} V^* \text{ berekend met dopplershift}$$

We moeten hier een factor  $2,1 \cdot 10^{-4}$  toevoegen om de massa van de planeet om te zetten in aantal zonmassa's. We kunnen dit op zijn beurt omzetten in aardmassa's door te vermenigvuldigen met 332.946.

$$M^* V^* = m_p \cdot V_p \text{ (behoud van momentum/hvhd van beweging)}$$

*Besluit:*

*Door naar een ster te kijken die circulair beweegt en de doppler shift te gebruiken kunnen we de massa van een exoplaneet gaan bepalen, zonder deze planeet dan ook maar gezien te hebben. Een eerste stap werd gezet om een ander leefbare planeet te vinden en wie weet ooit buitenaards leven te ontdekken.*

## Intermezzo: Derde wet van Kepler

We kunnen niet alle eigenschappen van een exoplaneet rechtstreeks uit metingen halen. Bepaalde eigenschappen worden berekend. Een belangrijke wet hierbij is de derde wet van Kepler. Deze wet zegt dat het kwadraat van de omlooptijd  $T$  evenredig is met de derde macht van de halve lange as  $r$ .

$$T^2 R^3 = \text{constant}$$

Deze constante valt te bepalen wanneer we de gravitatiewet van Newton toevoegen.

$$T^2 r^3 = 4\pi^2 G(M+m)$$

Waarbij  $G$  de universele gravitatieconstante is,  $M$  de massa van de ster en  $m$  de massa van de planeet.

Aangezien de massa van de planeet veel kleiner is dan de massa van de ster, kunnen we de formule vereenvoudigen.

$$T^2 r^3 = 4\pi^2 GM$$

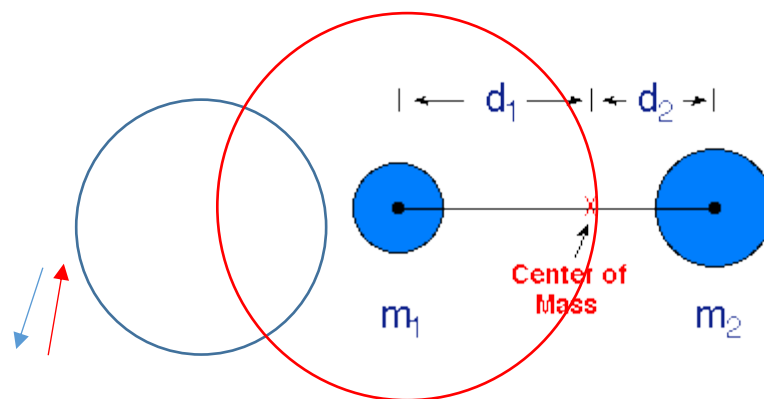
Nu is het dus mogelijk om met de massa van de ster (bepaald uit de hoofdreeks) en de periode van de planeet (waar te nemen met de transitmethode) de straal van de planeet te berekenen.

## Intermezzo: behoud van momentum

Kwalitatief: Zoals in vraag 2 beschreven, hebben we een gezamenlijk massamiddelpunt waarrond zowel de planeet als de ster draaien. Deze dubbele rotatie ontstaat door de krachten die beide hemellichamen op elkaar uitoefenen, en staan in recht evenredig verband met elkaar.

Aangezien ze door een even grote maar tegengestelde kracht hun baan volgen, kunnen we hieruit afleiden dat ze een even groot momentum hebben.

Kwantitatief:



Beide hemellichamen draaien rond het gezamenlijke punt:

- De massa  $m_2$  is veel groter, maar de baan kleiner.
- De massa  $m_1$  is kleiner, maar de baan groter.

Aangezien de snelheid proportioneel is met de straal van de baan (beide hemellichamen hebben dezelfde periode), krijgen we dan  $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$ .