

Hoe meten we STERAFSTANDEN ?

(soorten sterren en afstanden)

Frits de Mul

Jan. 2017

www.demul.net/frits

Hoe meten we STERAFSTANDEN ? (soorten sterren en afstanden)

- ➔ 1. Afstandsmaten in het heelal
- 2. Soorten sterren
- 3. Helderheid en magnitude van sterren
- 4. Methoden voor afstandsbepaling

1. Afstandsmaten in het heelal

1. “Astronomische eenheid” (1 AE; AU) =
Afstand aarde – zon = 150 miljoen km
= **150 000 000 km = 150×10^6 km**
2. “Parsec” (1 pc) =
de afstand waarop je de **afstand aarde-zon** (1 AE)
zou zien onder een hoek van
1 boogsec = $1/3600$ graad

Machten van 10:

.....

$$10^3 = 1000$$

$$10^2 = 100$$

$$10^1 = 10$$

$$10^0 = 1$$

$$10^{-1} = 0.1$$

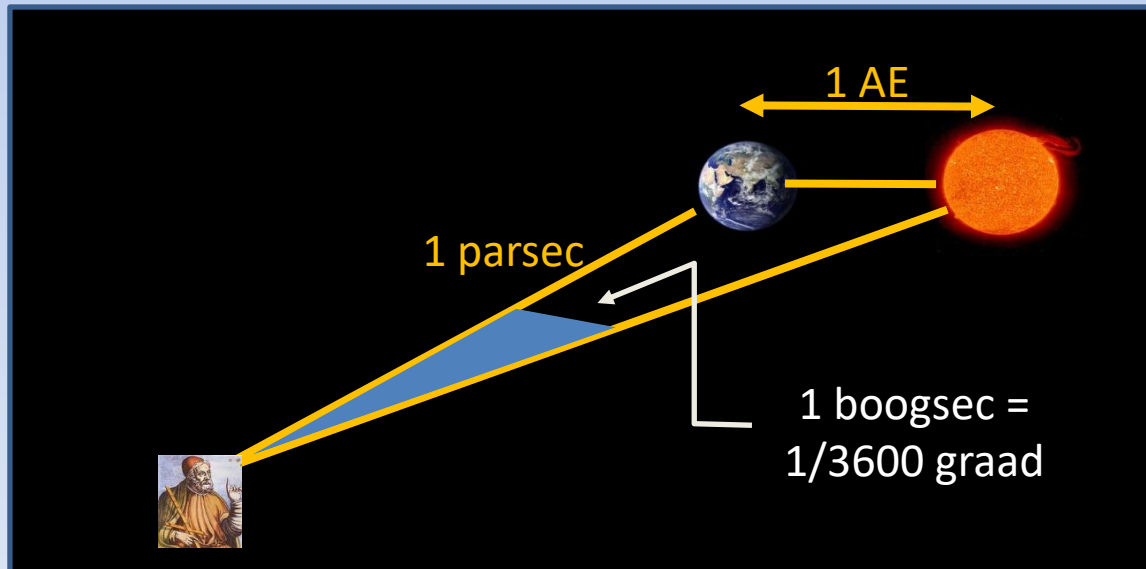
$$10^{-2} = 0.01$$

$$10^{-3} = 0.001$$

.....

$\times 10 \rightarrow$ macht +1

$/ 10 \rightarrow$ macht - 1



$$1 \text{ pc} = \mathbf{31 \times 10^{12} \text{ km}} = 31\,000\,000\,000\,000 \text{ km} = 206\,000 \text{ AE}$$

1. Afstandsmaten in het heelal

1. “Astronomische eenheid” (1 AE; AU) =
Afstand aarde – zon = 150 miljoen km = 150×10^6 km

2. “Parsec” (1 pc) = 31×10^{12} km = 206 000 AE

3. “Lichtjaar” (1 lj; ly) = de afstand die het licht in 1 jaar aflegt.

Lichtsnelheid = 300 000 km/s = 3×10^5 km/s.

(1 jaar = 365.25 dag x 24 h x 60 min x 60 sec = 31 600 000 sec)

In 1 jaar: 300 000 x 31 600 000 km
= 9 500 000 000 000 km
= 9.5×10^{12} km (= 63 000 x afstand aarde-zon (1AE))

1 parsec = 206 000 AE = 3.3 lichtjaar

1 lichtjaar = 63 000 AE = 0.3 parsec

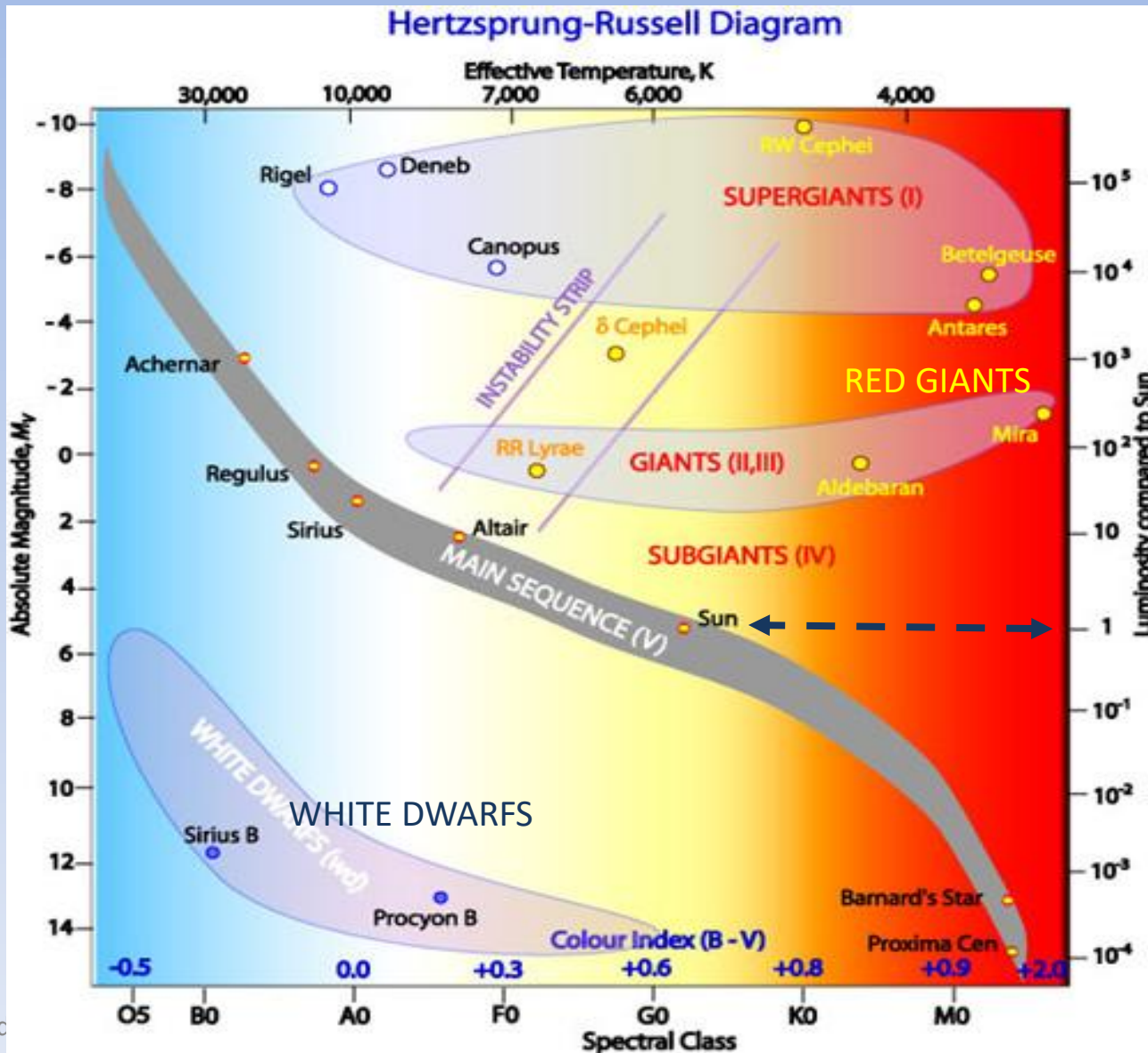
NB. Een “lichtjaar” is een AFSTAND !!

Hoe meten we STERAFSTANDEN ?

1. Afstandsmaten in het heelal
- 2. Soorten sterren
3. Helderheid en magnitude van sterren
4. Methoden voor afstandsbepaling

2. Soorten sterren

Toenemende helderheid ↑

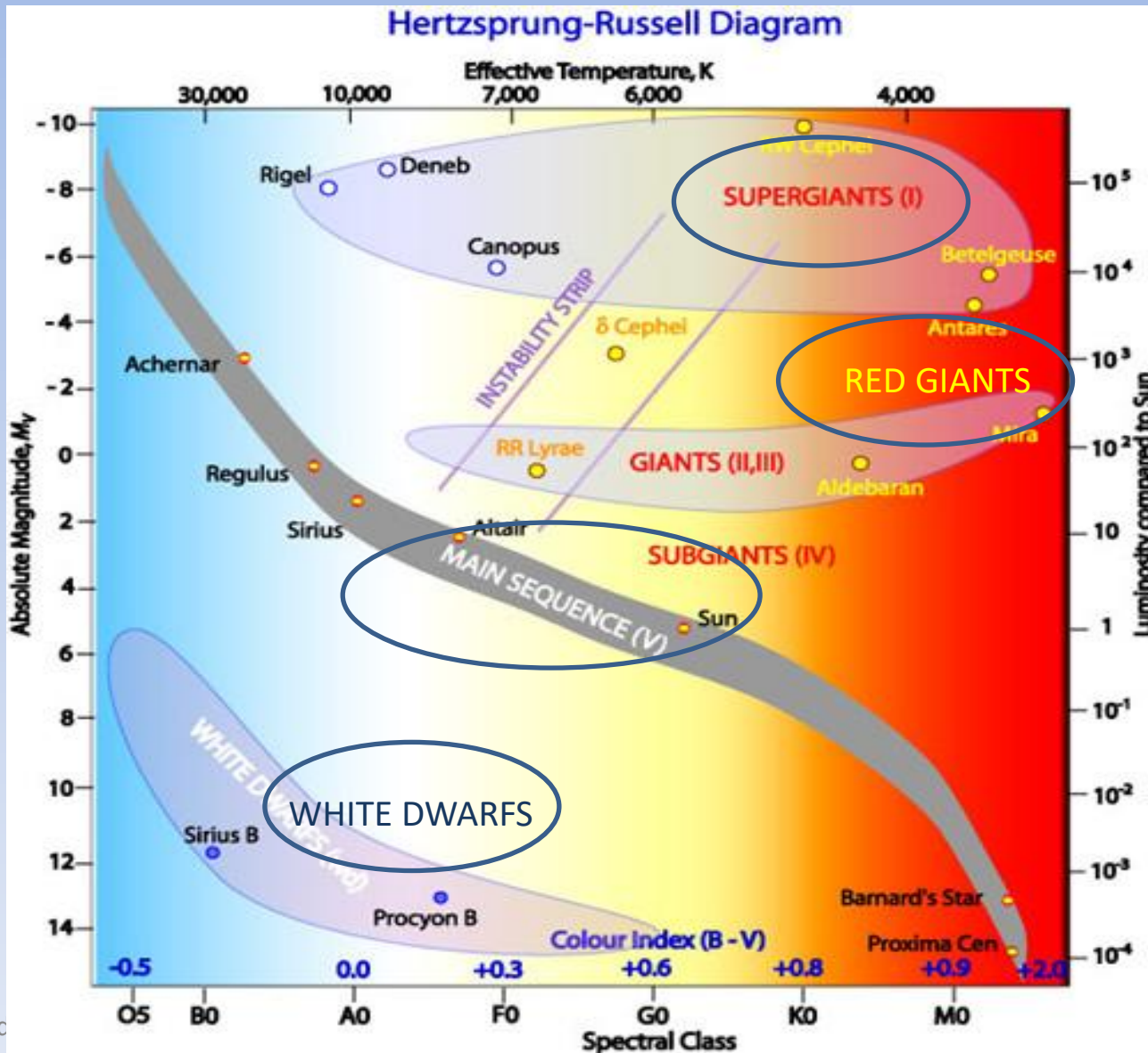


Overzicht sterren:

- **horizontale assen:**
onder: kleur
boven: temperatuur
 buitenste lagen
 ($^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$)
- **verticale assen:**
links: magnitude
rechts: helderheid
 (luminosity)
 NB. logaritmische schaal.
 Onze zon is hier op = 1 gesteld.

2. Soorten sterren

Toenemende helderheid ↑



Soorten sterren:

- **hoofdreeks**
(met onze zon)
- **rode reuzen** en
superreuzen
- **witte dwergen**

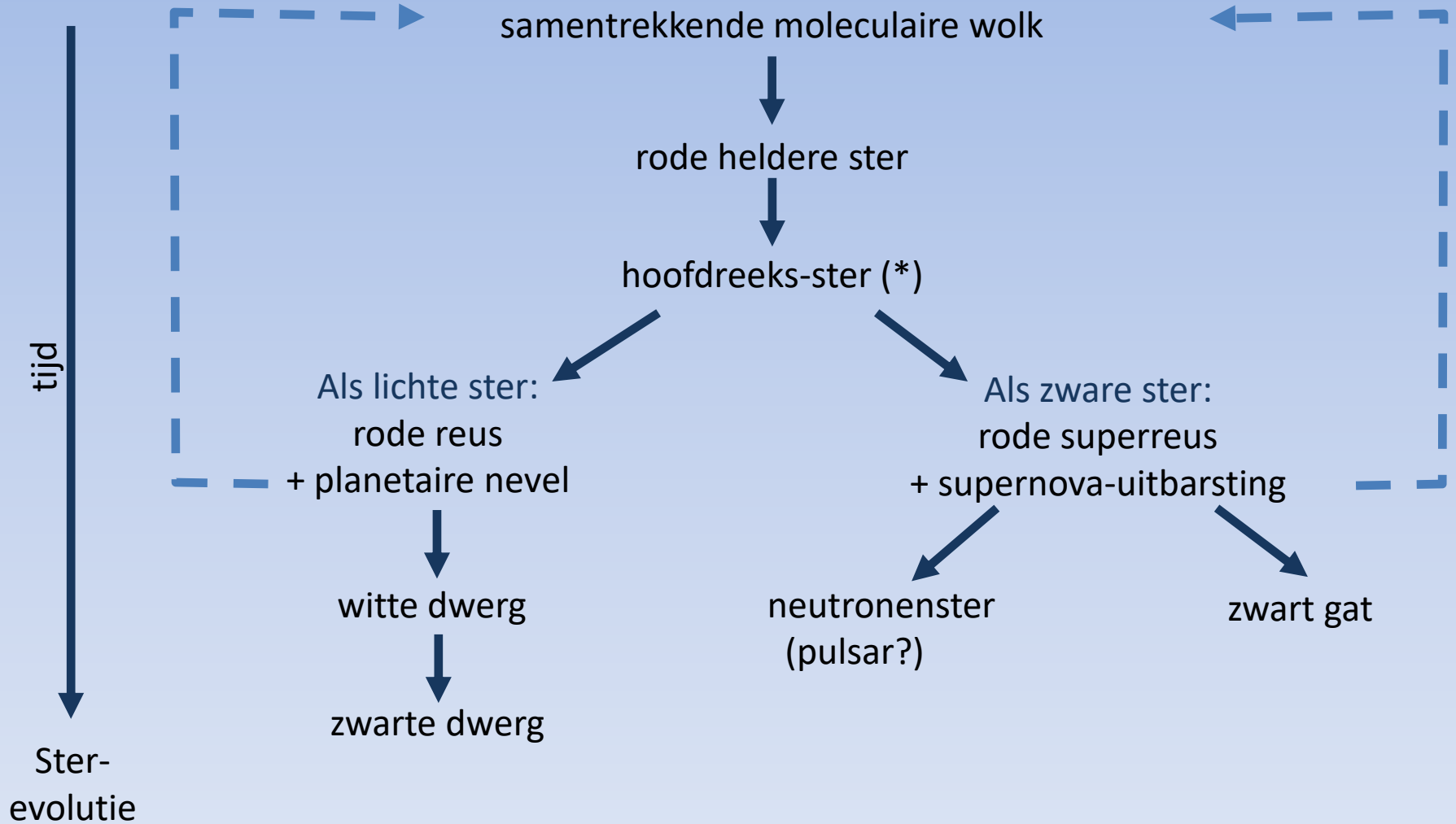
(onder figuur:
niet getekend)

- **zwarte dwergen**
- **neutronensterren**
(en pulsars)
- **zwarte gaten**

(niet getoond:)

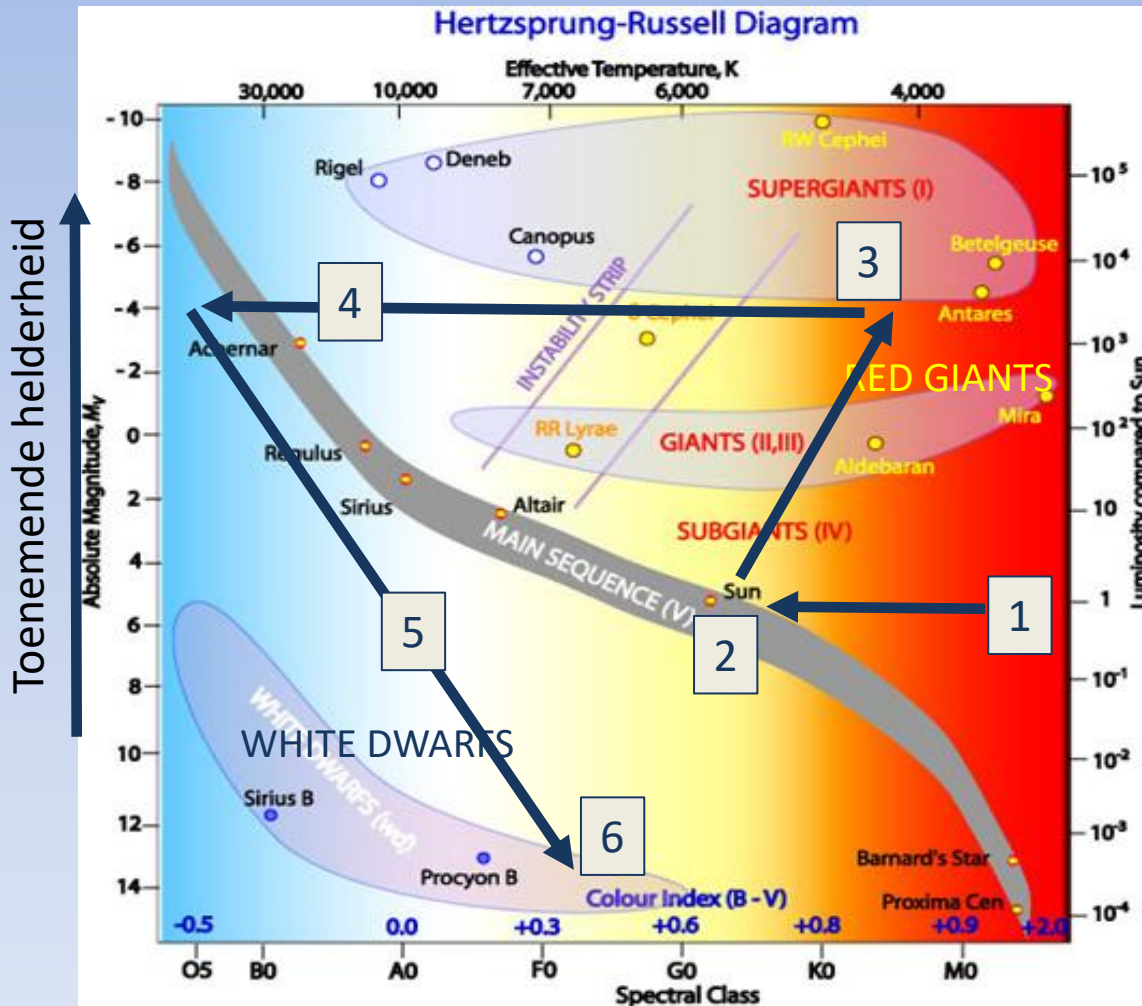
- **quasars**
(exploderende
sterrenstelsels)

2. Soorten sterren



(*) bv. onze zon

2. Soorten sterren



Evolutie van onze zon:

1. Van moleculaire nevel naar (rode) heldere ster
2. Huidige toestand
3. Rode reus
(planeten t/m Mars verzwoegen)
4. Planetaire nevel
(alle planeten verzwoegen)
5. Witte dwerg
6. Naar zwarte dwerg

Hoe meten we STERAFSTANDEN ?

1. Afstandsmaten in het heelal
2. Soorten sterren
- 3. Helderheid en magnitude van sterren
4. Methoden voor afstandsbepaling

3. Helderheid en magnitude

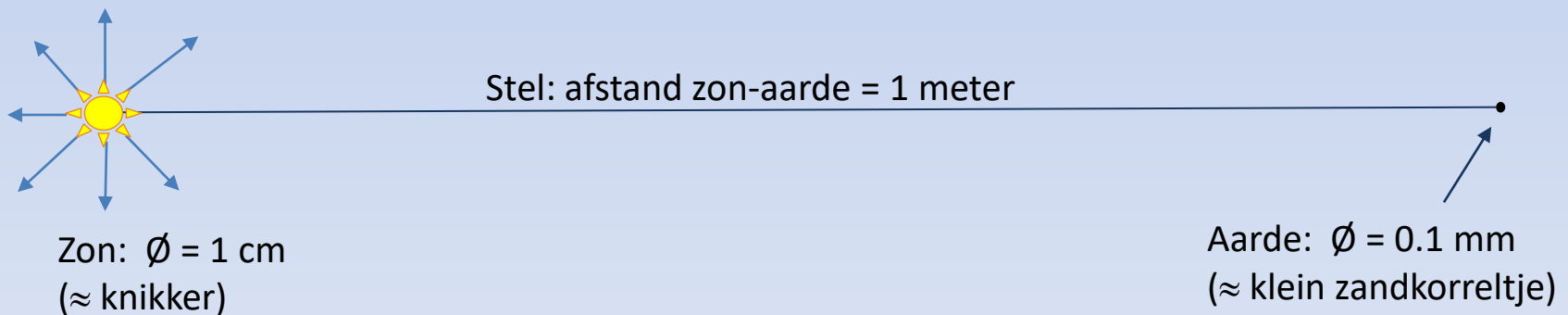
“**Lichtkracht**” = uitgestraald vermogen (energie per sec) (Watt = Joule / sec)

Betere naam = “**lichtvermogen**”.

Zon: “lichtkracht” = 3.43×10^{26} W = 343 000 000 000 000 000 000 000 000 Watt

Welk gedeelte ontvangt de aarde?

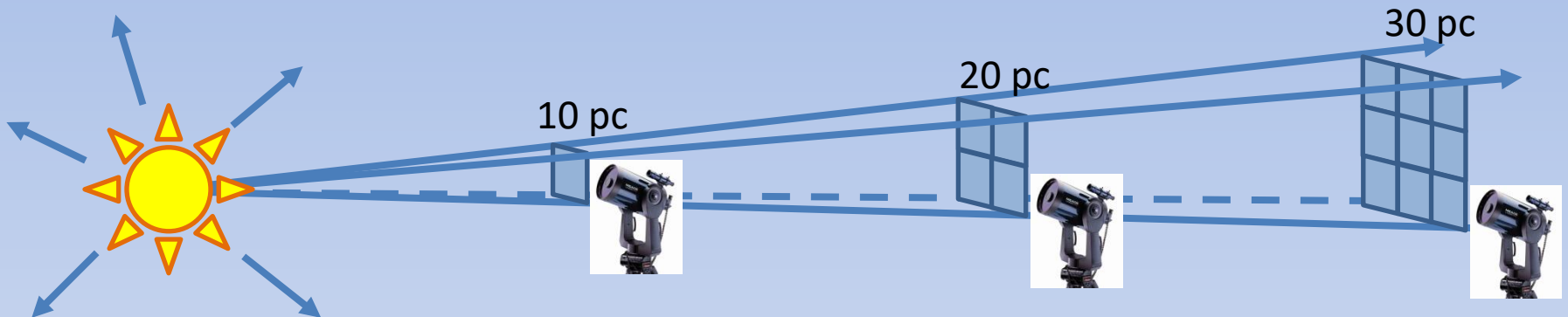
Afstand zon-aarde :	150 000 000 km	Stel = 1 m
Diameter (\emptyset) zon :	1 200 000 km	1 cm
Diameter (\emptyset) aarde :	12 000 km	0.1 mm



De aarde ontvangt maar 0.000 000 000 4^e deel
(= 0.4×1 miljardste deel = 0.4×10^{-9} e deel)

3. Helderheid en magnitude

- **schijnbare helderheid:** “hoe helder zien wij de ster?”
- **absolute helderheid:** indien de ster op 10 pc (parsec) afstand zou staan (33 lichtjaar).



Afstand 2 x zo **groot** → helderheid per m²: 4 x zo **klein**

Afstand 3 x zo **groot** → helderheid per m²: 9 x zo **klein**

Afstand 4 x zo **groot** → helderheid per m²: 16 x zo **klein**

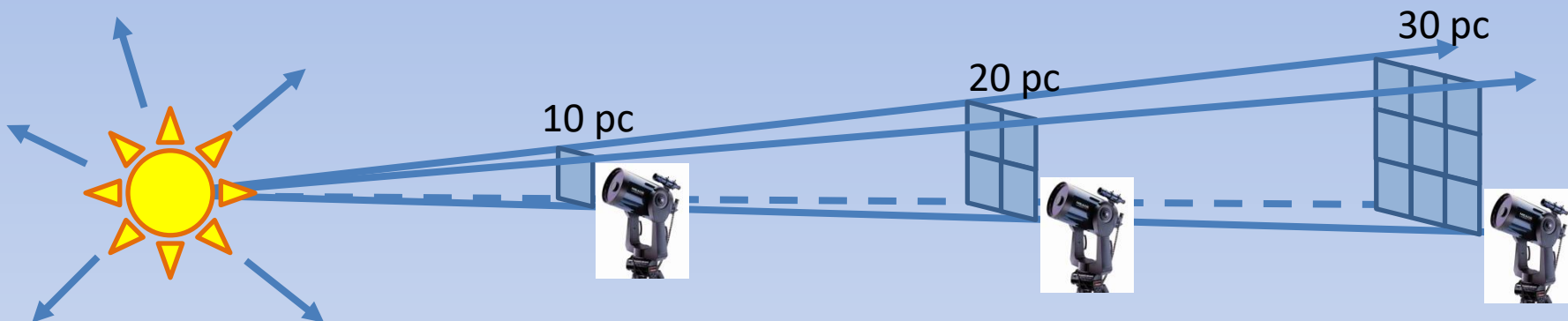
Afstand 4 x zo **klein** → helderheid per m²: 16 x zo **groot**

**Als de afstand toeneemt,
neemt de helderheid
kwadratisch af**

$$\text{Schijnbare helderheid} = \text{Absolute helderheid} \times \left(\frac{10 \text{ parsec}}{\text{afstand in parsec}} \right)^2$$

3. Helderheid en magnitude

- **schijnbare helderheid:** “hoe helder zien wij de ster?”
- **absolute helderheid :** indien de ster op 10 pc (parsec) afstand (= 33 lichtjaar).

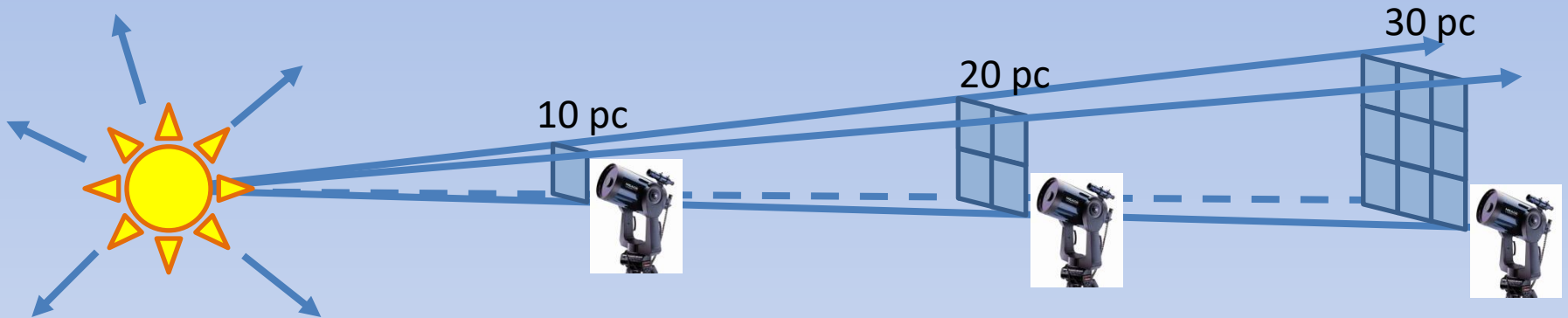


<u>Absolute helderheid</u>	<u>Schijnbare helderheid</u>	<u>Verhouding</u>	<u>Afstand</u>
100	1	100	10 x 10 pc
72	18	4	2 x 10 pc
81	9	9	3 x 10 pc

$$\text{afstand} = \sqrt{\frac{\text{absolute helderheid}}{\text{schijnbare helderheid}}} \times 10 \text{ pc}$$

3. Helderheid en magnitude

- **schijnbare helderheid:** “hoe helder zien wij de ster?”
- **absolute helderheid :** indien de ster op 10 pc (parsec) afstand (= 33 lichtjaar).



Als de afstand toeneemt, neemt de helderheid kwadratisch af

Als beide helderheden bekend zijn, is de afstand te berekenen

Schijnbare helderheid: te bepalen door meting

Absolute helderheid: af te leiden uit kleurspectrum en/of fluctuaties in helderheid (..... straks)

3. Helderheid en magnitude

“Lichtkracht” = werkelijk uitgestraald vermogen (Watt = energie per sec)

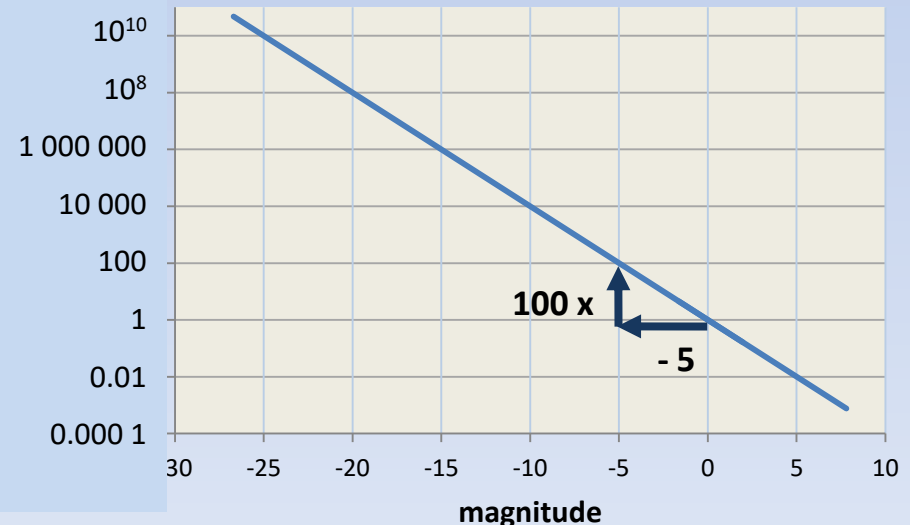
- **schijnbare helderheid**
(“schijnbaar” = “hoe helder zien wij de ster?”).
- **absolute helderheid** = helderheid indien de ster op afstand = 10 parsec (= 33 lichtjaar) zou staan.

MAGNITUDE: (logaritmische schaal)

- magnitude ster Vega = 0 gesteld
- 100 x helderdere ster: magnitude -5
- 100 x zwakkere ster: magnitude +5

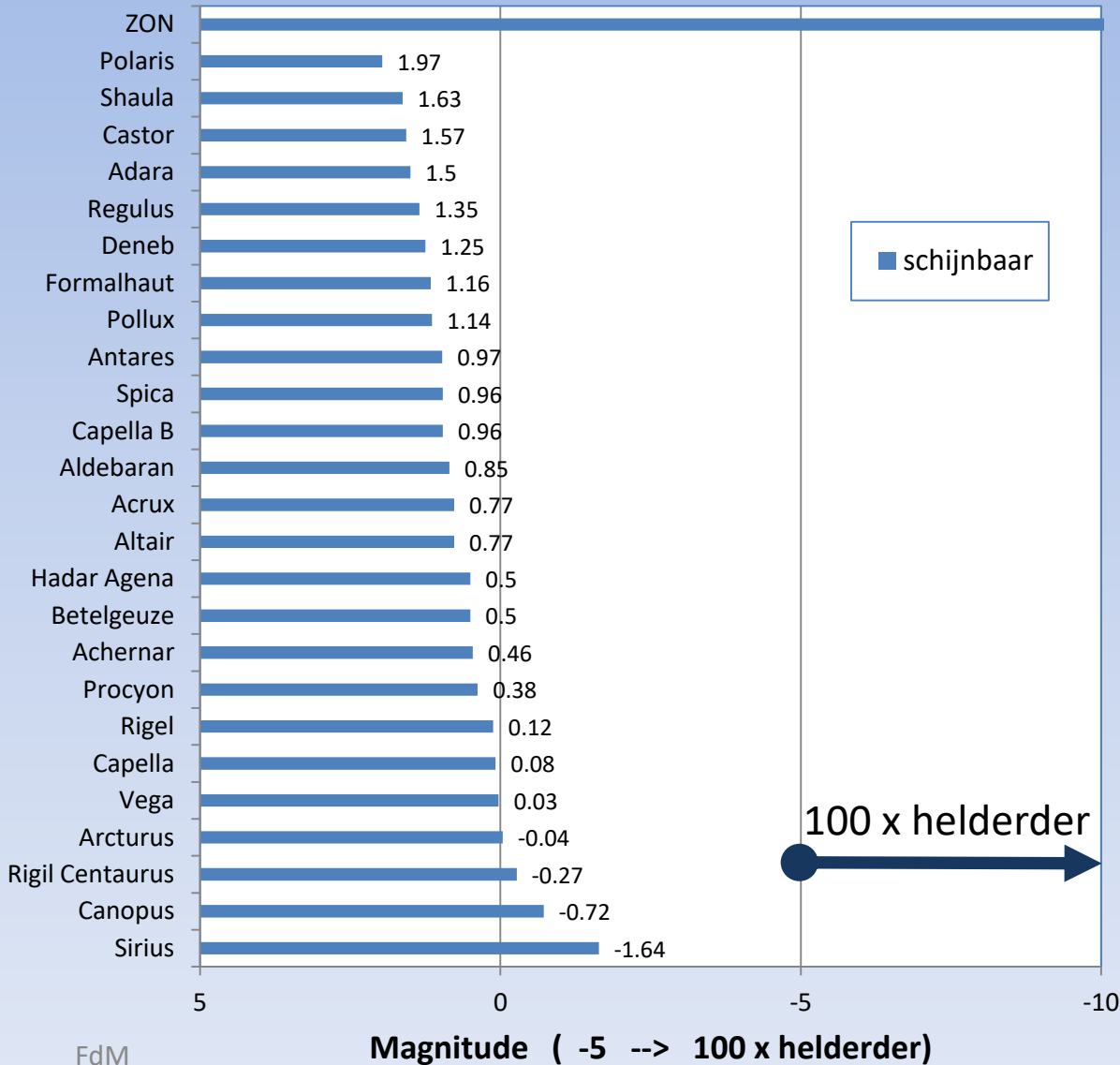
NB. Helderder → **kleinere** magnitude !!

helderheid vs. magnitude



3. Helderheid en magnitude

Schijnbare magnitude sterren



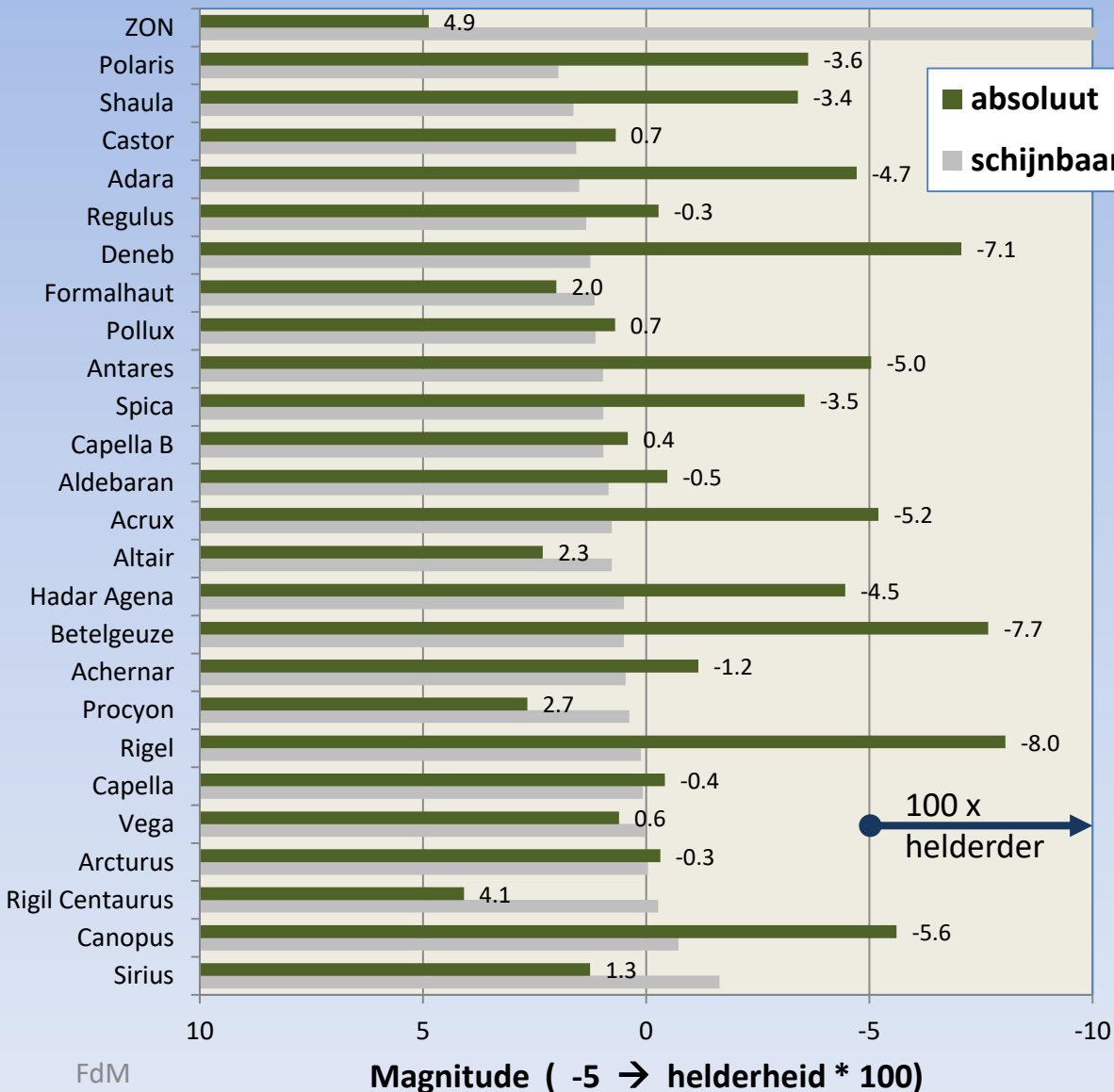
De **schijnbare helderheid** is de helderheid zoals wij die zien.

100 x grotere helderheid:
magnitude: 5 kleiner
(kan dus zelfs negatief worden)

Onze zon :
schijnbare magnitude = -26.7
dus zeer grote **schijnbare** helderheid

3. Helderheid en magnitude

Magnitude sterren



De **absolute helderheid** = helderheid als de ster op 10 parsec (33 lichtjaar) zou staan.

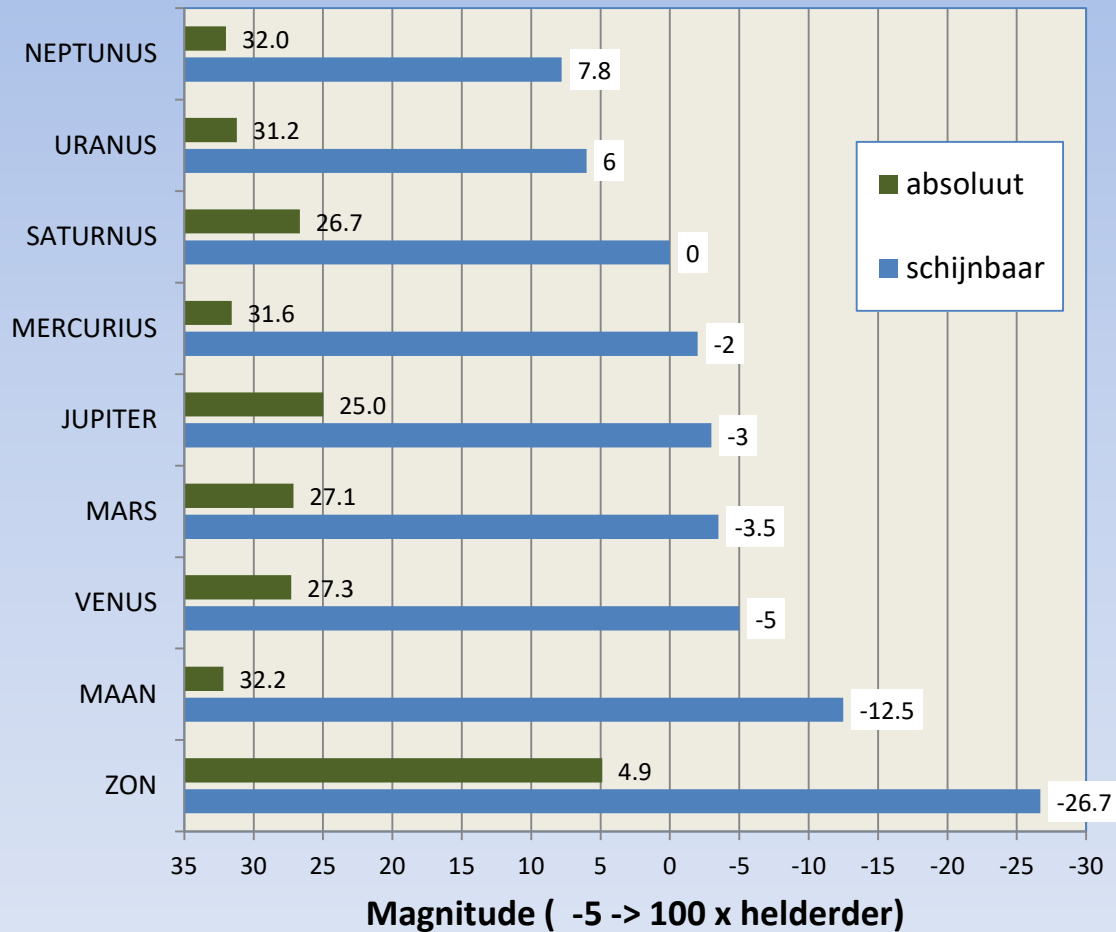
100 x grotere helderheid:
magnitude: 5 kleiner

Onze zon:
absolute magnitude = +4.9
dus relatief zwak
schijnbare magnitude = -26.7
dus zeer grote **schijnbare** helderheid

De absolute magnitudes lopen tamelijk uiteen.

3. Helderheid en magnitude

Magnitude in zonnestelsel



Magnitude:

-5 : 100 x helderder ;
-10 : 10 000 x helderder

+5 : 100 x zwakker ;
+10 : 10 000 x zwakker

Qua **schijnbare helderheid** is de Maan het helderste (afgezien van de zon).

Qua **absolute helderheid** is Jupiter het helderste.

Hoe meten we STERAFSTANDEN ?

1. Afstandsmaten in het heelal
2. Soorten sterren
3. Helderheid en magnitude van sterren
- ➔ 4. Methoden voor afstandsbepaling

4. Hoe meten we sterafstanden ?

Belangrijkste methoden voor afstandsbeplaling	bereik
a. Parallax-meting	dichtbij binnen Melkweg
b. Ster-spectra	verder weg + nabije nevels buiten Melkweg
c. Cepheïden	fluctuerende helderheid; spiraalvormige sterrenstelsels
d. Superreuzen	alle zelfde helderheid; elliptische sterrenstelsels
e. Roodverschuiving van spectra	quasars en verre sterrenstelsels

4a. Parallax-methode

Voor dichtbij sterren binnen onze Melkweg

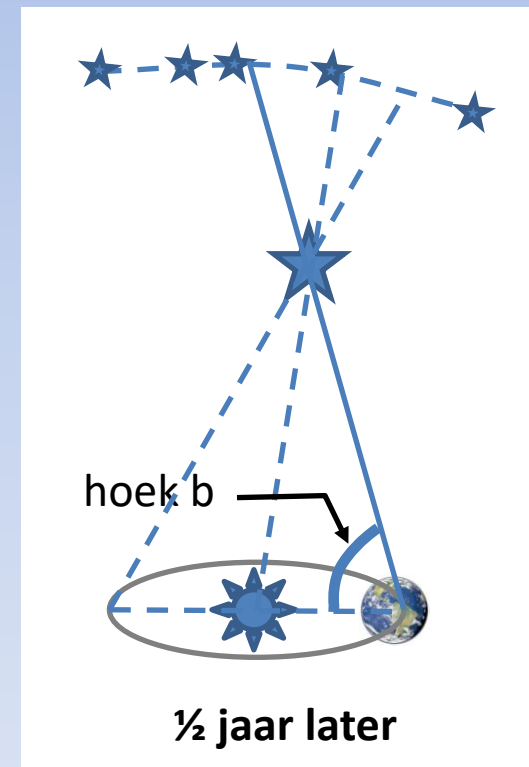
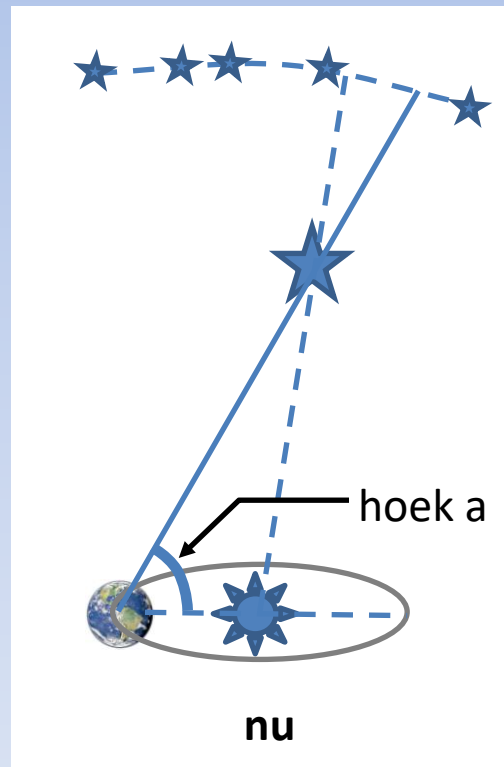
Bekijk de ster vanuit de aarde, op twee posities rond de zon, “nu” en “1/2 jaar later”.

De verre sterren lijken
stil te staan.

Een dichtbij ster lijkt te
bewegen ten opzichte
van de verre sterren.

Meting:

1. Meet “nu” kijkhoek **a**
2. Meet “over ½ jaar” kijkhoek **b**
3. Gebruik de afstand aarde-zon
4. Bereken met driehoeksmeting de afstand zon-ster.



4a. Parallax-methode

Voor dichtbij sterren binnen onze Melkweg

Praktijk: nauwkeurig meten van hoeken **a** en **b** moeilijk.

(De hoeken **a** en **b** zijn vaak vrijwel gelijk, en de aarde en zon zijn niet puntvormig).

Daarom wordt een “hulp-ster” gebruikt, met zichtlijnen **L1** en **L2**.

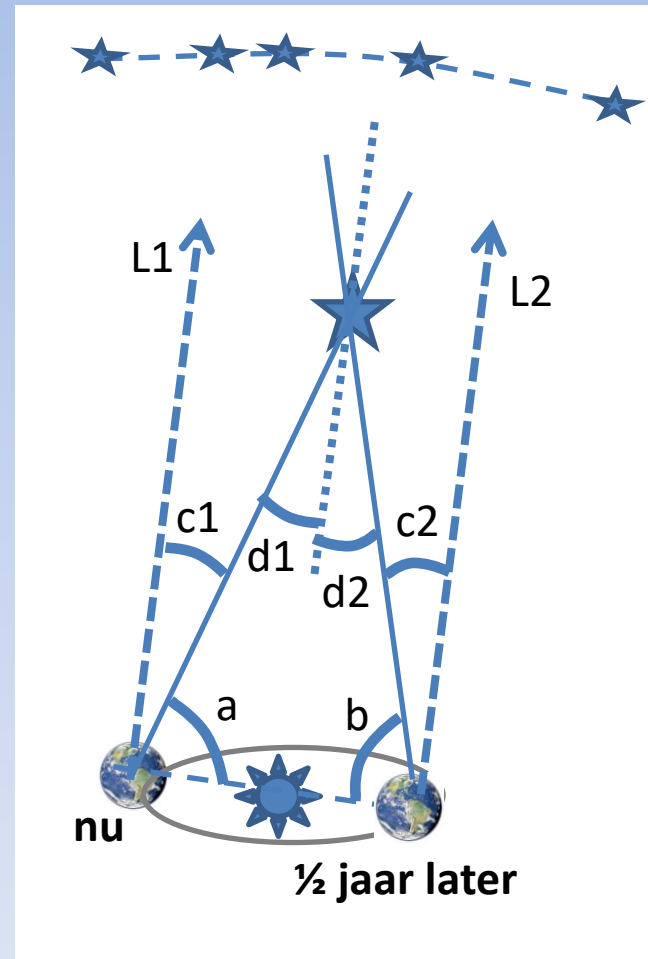
De “hulp-ster” staat heel ver weg.

Daardoor zijn de zichtlijnen **L1** en **L2** als evenwijdig te beschouwen.

Meet nu hoeken **c1** en **c2**.

Hoeken **d1 = c1** en **d2 = c2**.

De gevraagde **tophoek** is **$d1+d2 = c1+c2$** .



4a. Parallax-methode

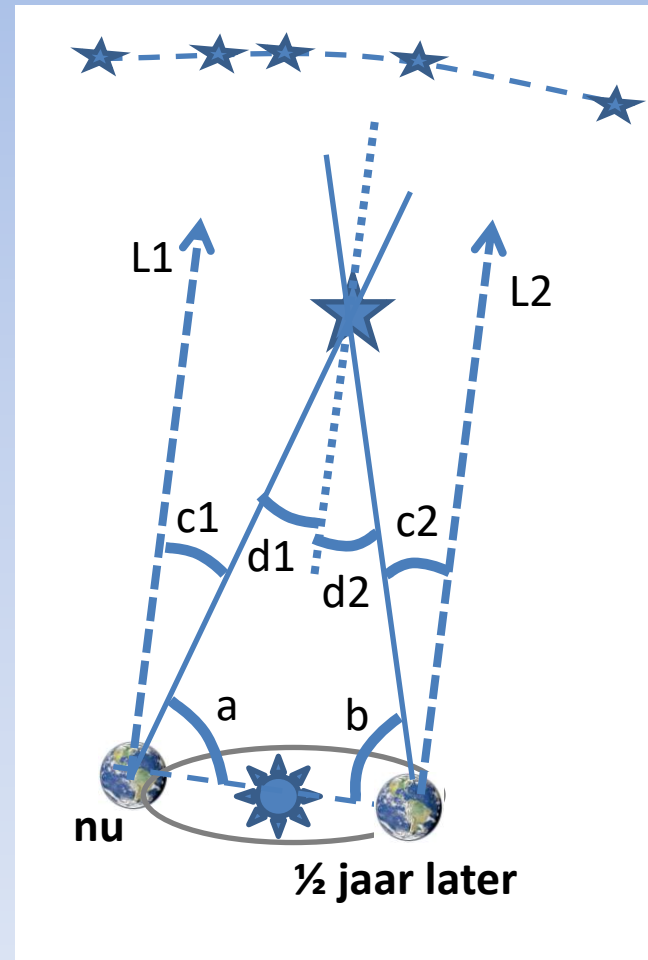
Voor dichtbijge sterren binnen onze Melkweg

De gevraagde **tophoek** is $d_1 + d_2 = c_1 + c_2$.

De **tophoek** "kijkt" naar 2 AE
(1 AE = afstand Aarde-Zon)

Als de **tophoek** = 2 boogsec,
dan is afstand = 1 parsec =
= 31×10^{12} km = 206 000 AE = 3.3 lichtjaar

Tophoek	Afstand
2 boogsec	1 parsec
4	1/2
8	1/4
1/2	4
1/x	2x

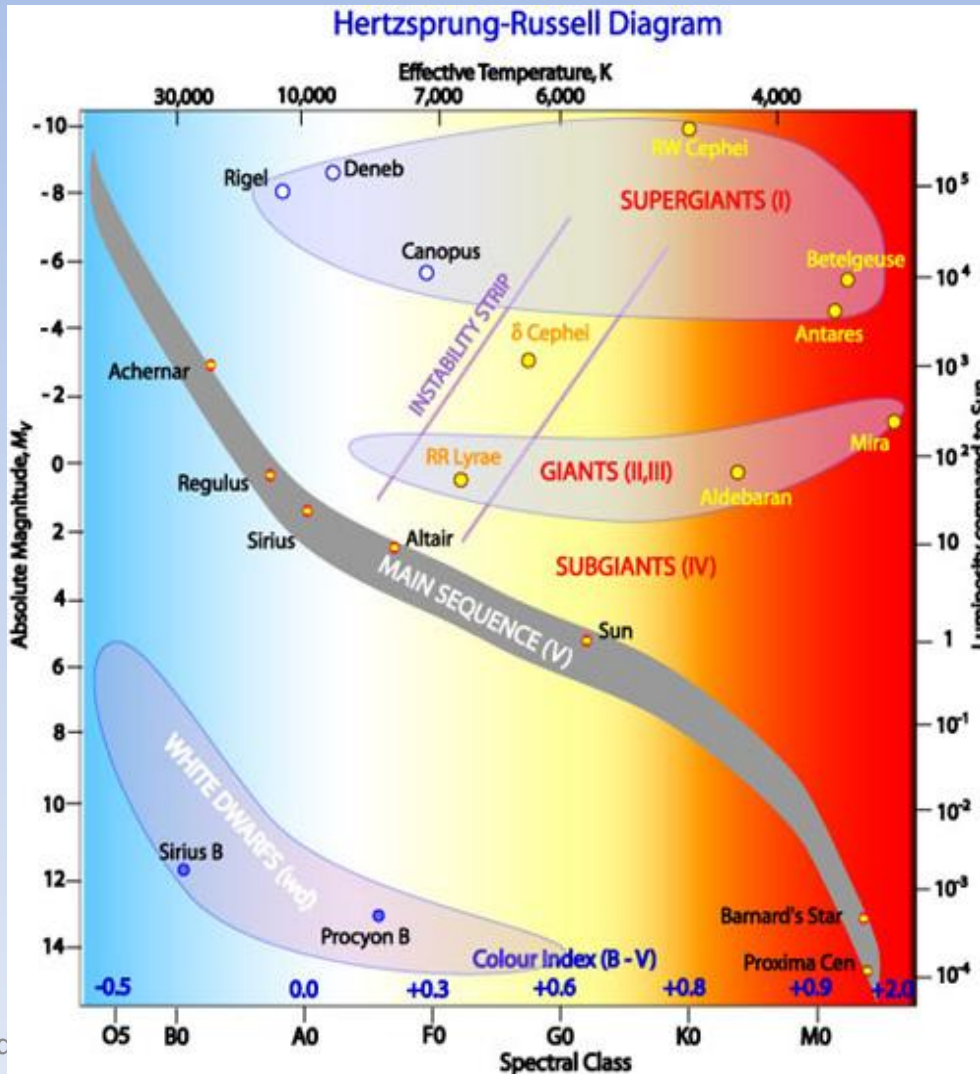


NB. Als de ster niet loodrecht boven vlak van de aardbaan staat, is correctie noodzakelijk.

4b. Ster-spectra

Voor sterren verder weg + in nabije levels buiten de Melkweg

Toenemende helderheid ↑



Observatie:

Sterren met **zelfde spectrum** (= kleursamenstelling) hebben dezelfde **temperatuur** en daardoor dezelfde **samenstelling** en **grootte**

Methode:

Vergelijken van de **schijnbare helderheid** van de onbekende ster met die van een **bekende ster** (op bekende afstand) met overeenkomstig spectrum, levert de afstand tot de **onbekende ster**.

4b. Ster-spectra

Voor sterren verder weg + in nabije nevels buiten de Melkweg

Observatie:

Sterren met **zelfde spectrum**
(= kleursamenstelling)
hebben dezelfde **temperatuur**
en daardoor dezelfde
samenstelling en **grootte**

Methode:

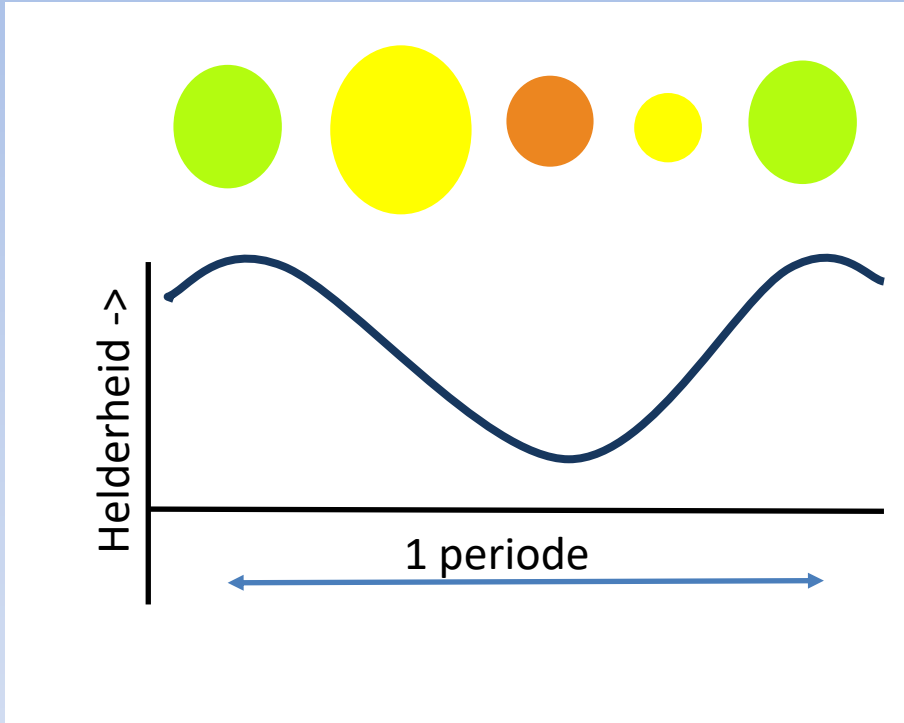
Vergelijken van de **schijnbare helderheid** van de onbekende ster met die van een **bekende ster** (op bekende afstand) met overeenkomstig spectrum, levert de afstand tot de **onbekende ster**.

Voorbeeld:

Stel:
Schijnbare helderheid **onbekende ster** = 5
Schijnbare helderheid **bekende ster** = 35
Dan staat de **onbekende ster**
 $\sqrt{35/5} = \sqrt{7} = 2.65$ x zo ver weg
als de **bekende ster**.

4c. Cepheïden

Pulserende sterren, zoals in sterrenbeeld “Cepheus”.



Lichtkracht, diameter en oppervlakte-temperatuur variëren periodiek (dus de kleur ook).

De absolute helderheid is dus bekend.

Observatie (Leavitt, 1912):

Hoe langer de periode, des te groter is de absolute helderheid

Methode:

Meet de schijnbare helderheid.

Vergelijken van de schijnbare met deze absolute helderheid

levert de afstand tot de onbekende ster.

NB. “Absolute” helderheid = helderheid als de ster op afstand = 10 parsec = 33 lichtjaar had gestaan.

4d. Superreuzen

Met name in verre sterrenstelsels.

Van “**superreuzen**” wordt aangenomen:

als ze overeenkomstige kleurenspectra hebben
dat ze vrijwel dezelfde **absolute helderheid (en grootte)** hebben
(er zijn “rode” en “blauwe” superreuzen).

Methode:

1. Meet de **absolute helderheid** van een nabije bekende superreus, met een van de al genoemde methoden.
2. Meet de **schijnbare helderheid** van de onbekende superreus.
3. De wortel uit de **verhouding** van deze absolute en schijnbare helderheden levert de **afstand** tot de onbekende ster.
(vb. als de verhouding = 25.9 , dan staat de **onbekende ster**:
 $\sqrt{25.9} = 5.09$ x zo ver weg als de **bekende ster**).

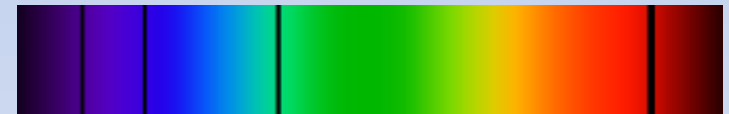
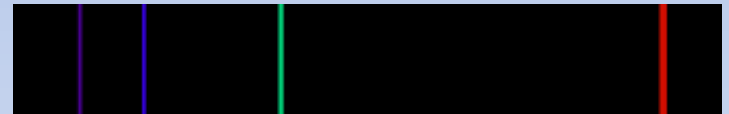
Superreuzen zijn vrij zeldzaam maar stralen veel energie uit en zijn daardoor toch goed zichtbaar, ook al staan ze ver weg.

4e. Roodverschuiving

Voor verre sterrenstelsels.

Spectra: 3 typen:

- **Continu spectrum**
van bv. een gloeilamp, of de zon
- **Emissiespectrum**
van een heet gas (bv. geel natriumlicht)
- **Absorptiespectrum**
als een continu spectrum door een absorberend gas moet passeren



Sterrenspectra zijn absorptiespectra.

Het licht dat van binnenin komt moet de koelere buitenste gaslagen passeren. De gassen daarin hebben elk hun eigen absorptie-“lijnen”. Dat geeft informatie over de samenstelling.

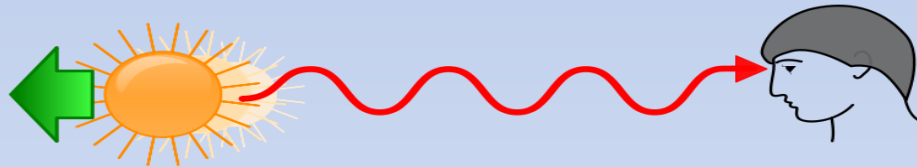
4e. Roodverschuiving

Voor verre sterrenstelsels.

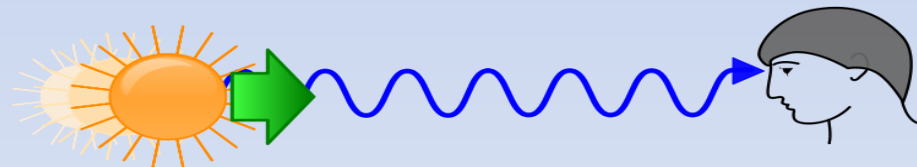
- Absorptiespectrum
als een continu spectrum door een
absorberend gas moet passeren



Roodverschuiving = Doppler-effect van wegvliëgend sterrenstelsel



Ster beweegt van je af:
langere golflengte →
roder

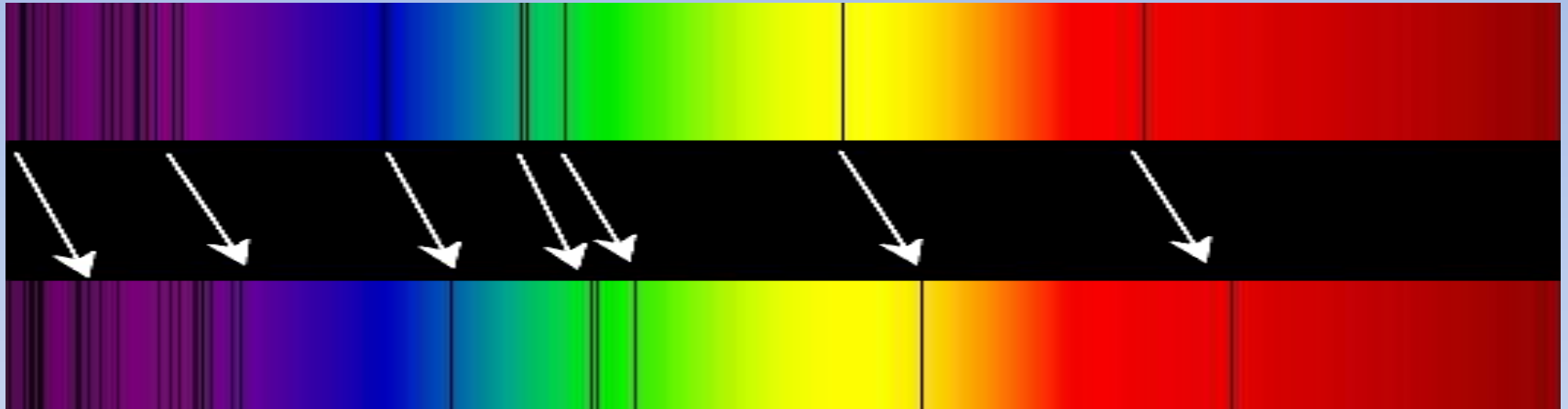


Ster beweegt naar je toe:
kortere golflengte →
blauwer

Denk aan het Doppler-effect bij geluid.

4e. Roodverschuiving

Voor verre sterrenstelsels.



De spectraallijnen zijn “**naar het rood**” verschoven.

De mate van **roodverschuiving** is evenredig met de **wegvlieg-snelheid** (Doppler-effect).

En de **wegvlieg-snelheid** is evenredig met de **afstand** (wet van Hubble).

Dus geeft de **roodverschuiving** informatie over de **afstand**.

Hoe meten we STERAFSTANDEN ?

1. Afstandsmaten in het heelal
2. Soorten sterren
3. Helderheid en magnitude van sterren
4. Methoden voor afstandsbepaling

Dank u.