

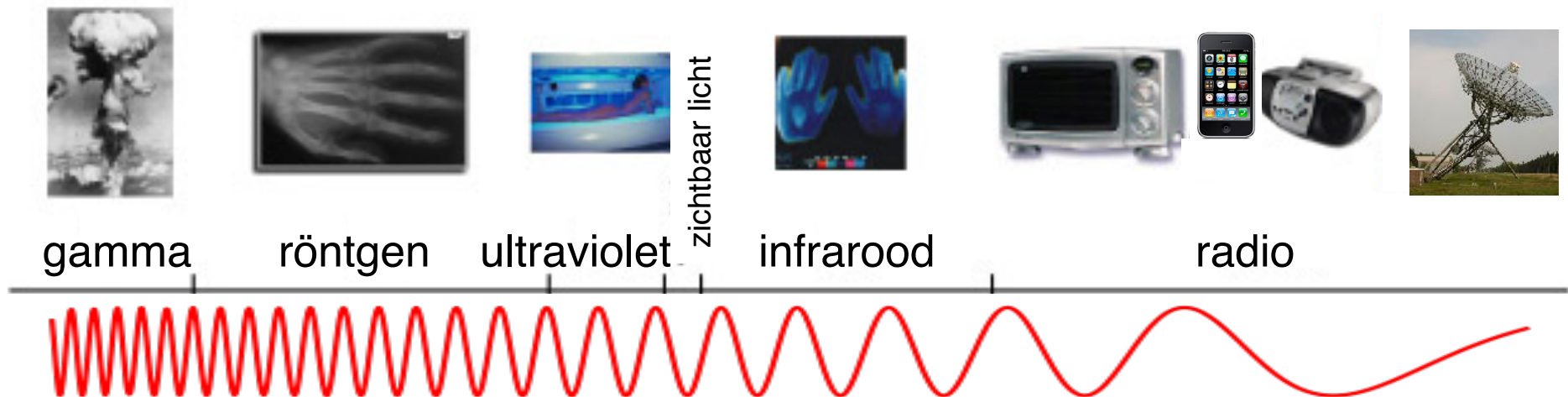


NEDERLANDSE STERRENKUNDE OLYMPIADE 2015

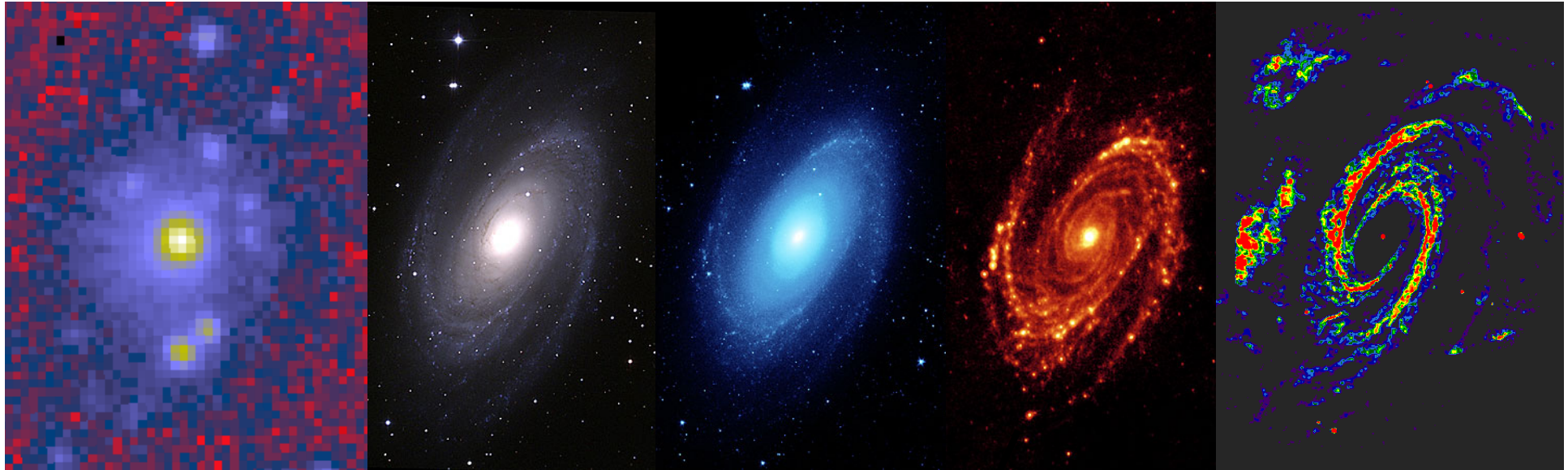
Radioastronomie
Marijke Haverkorn

Ga de uitdaging aan!

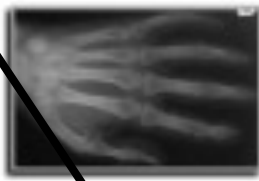
Sterrenkunde onderzoekt alle soorten straling in het electromagnetisch spectrum



Eén melkwegstelsel, vele gezichten...



gamma



röntgen



ultraviolet

zichtbaar licht



infrarood



radio



...elk met zijn eigen soort telescoop



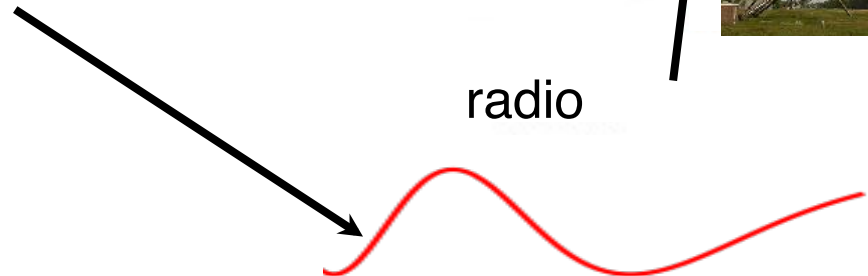
Radioastronomie

... is de studie van het heelal
d.m.v. radiostraling

Typische golflengten: mm tot meters
Typische frequenties: ~ 100 GHz tot ~ 10 MHz



radio



Waarom radioastronomie?

andere kijk op het heelal

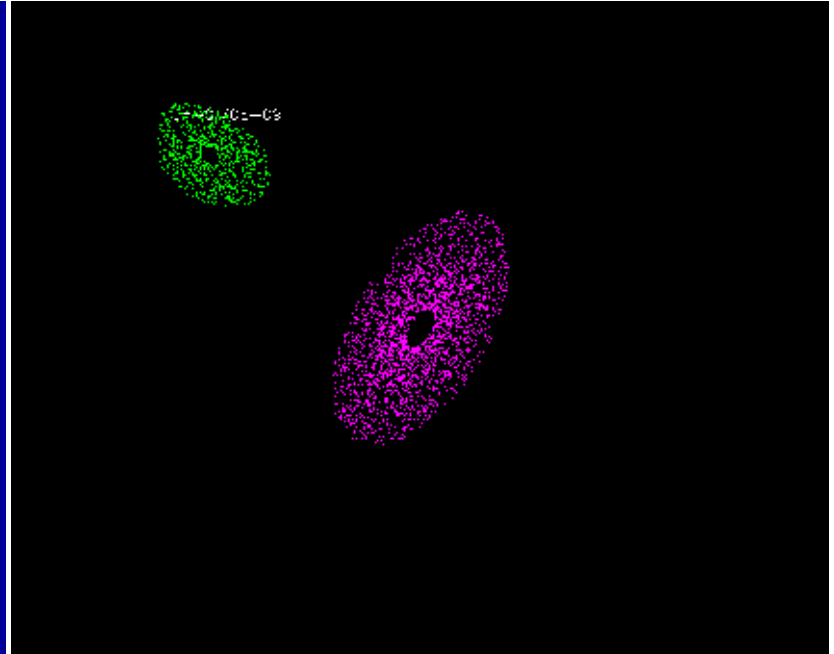
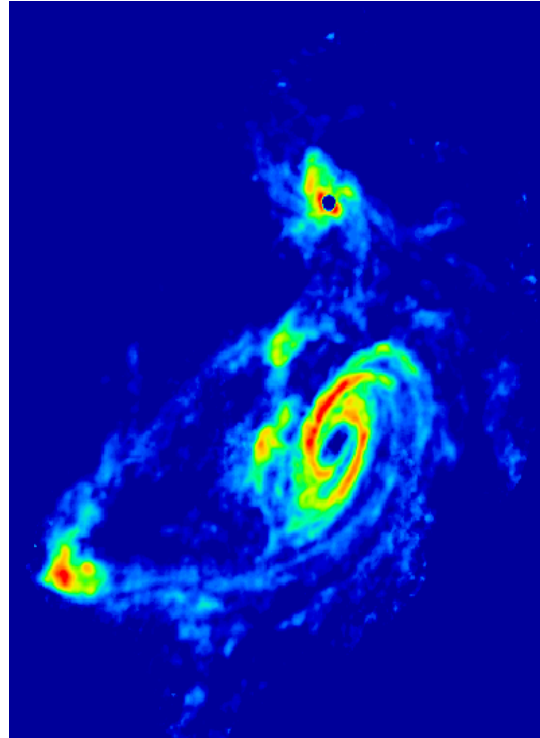
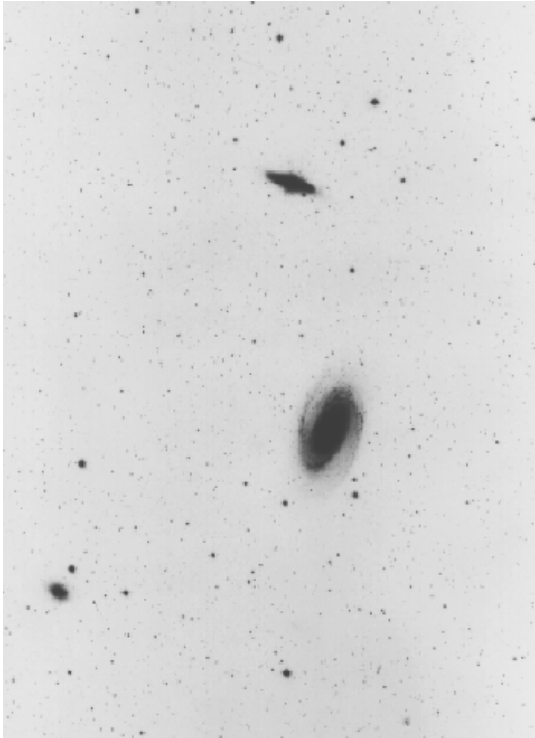
geen extinctie: zicht tot het einde van het heelal

transparante ionosfeer: waarnemen vanaf de grond

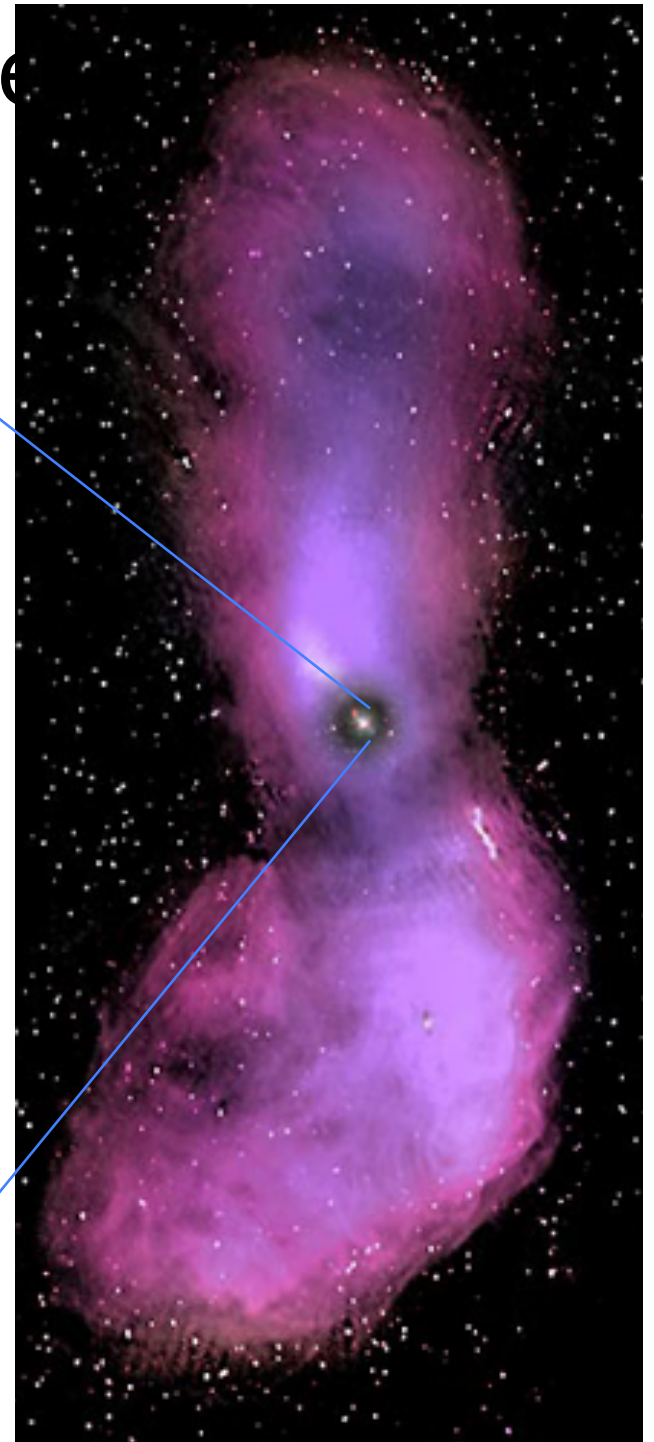
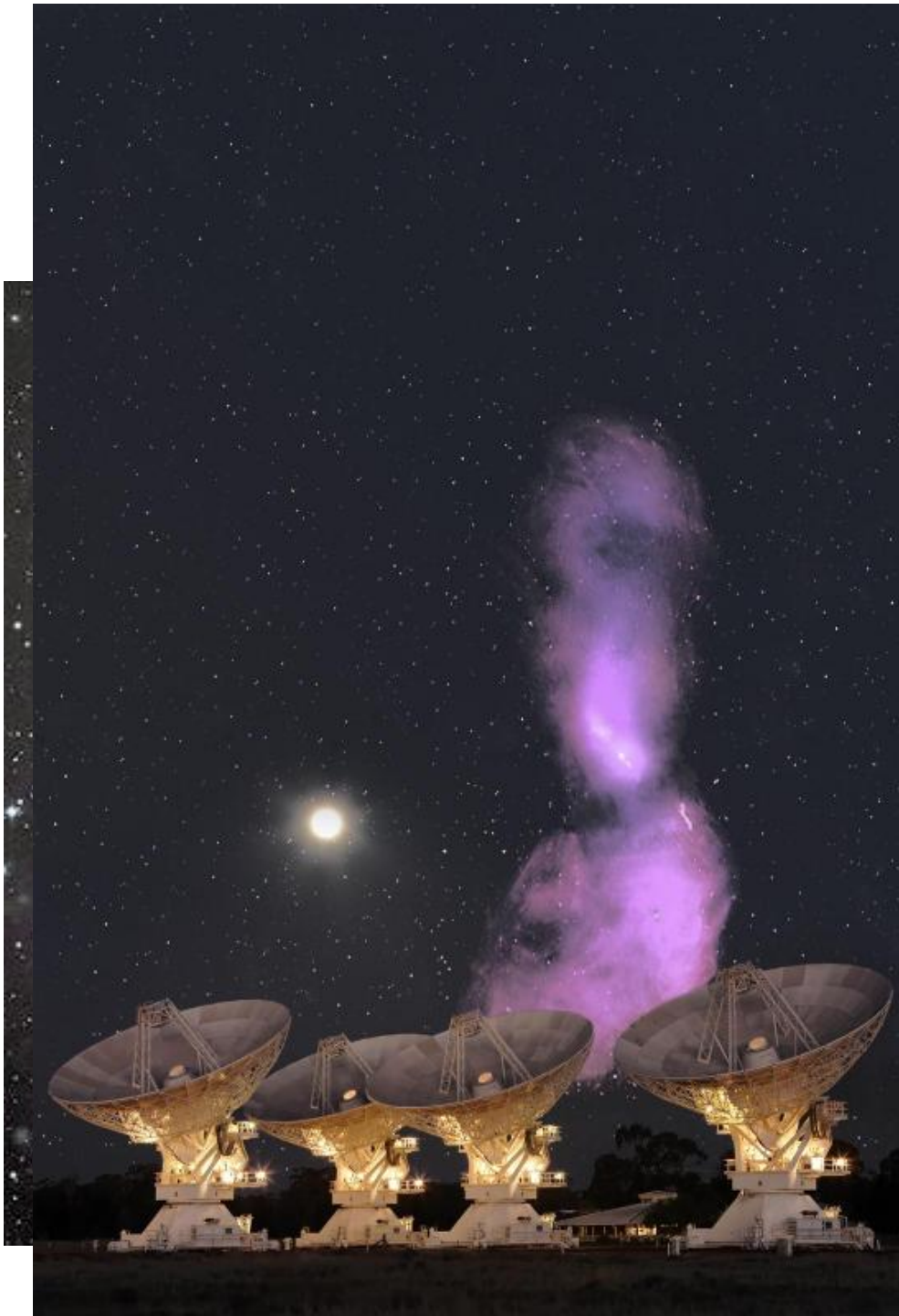
het meeste voorkomende gas in het heelal (waterstofgas) heeft een **21cm spectraallijn** in het radiobereik

Werken met **golven** in plaats van **deeltjes**!

Radiostraling laat onverwachte dingen zien...

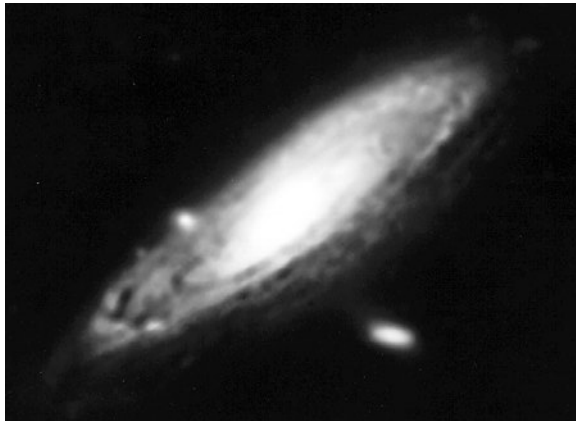


t onve
zien...

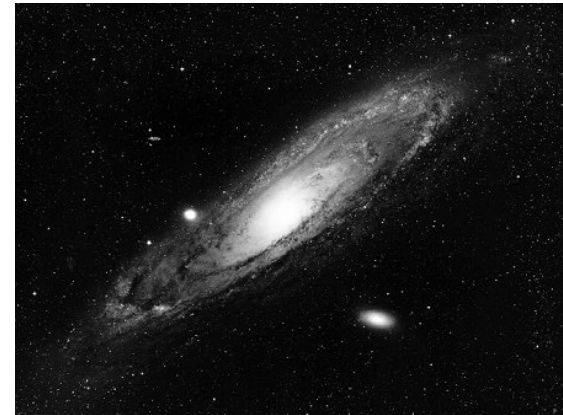


Hoe scherp kunnen telescopen zien?

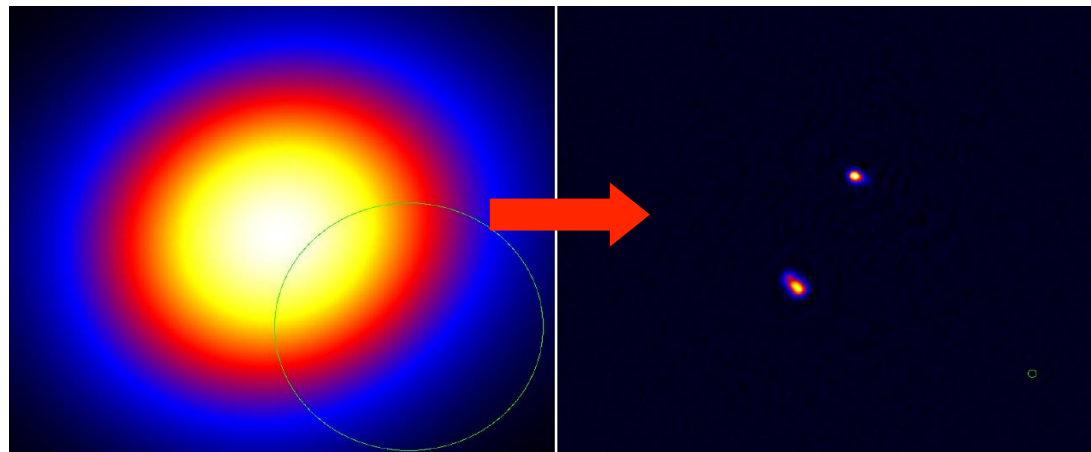
Dit is gedefinieerd door de **resolutie** van een telescoop



lage resolutie



hoge resolutie



Hoe scherp kunnen telescopen zien?

Dit is gedefinieerd door de **resolutie** van een telescoop
= het kleinste detail wat zichtbaar is

$$\text{resolutie } \theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D} = \frac{\text{golflengte van de straling}}{\text{diameter van de telescoop}}$$

met θ in radialen
 λ in meters
 D in meters

Voorbeelden van resolutie

Hubble telescoop (zichtbaar licht):



$$\theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D} \approx 1.22 \times \frac{500 \text{ nm}}{2.4 \text{ m}} \approx 0,000014^\circ \approx 0,05''$$

Voor een radiotelescoop is golflengte λ VEEL groter, bijvoorbeeld 21cm in plaats van 500 nm!

Dus als je een radiotelescoop wil bouwen met dezelfde resolutie als Hubble, dan moet de diameter van die radiotelescoop zijn:

$$D \approx 1.22 \frac{\lambda}{\theta} \approx 1.22 \frac{21 \text{ cm}}{0,05''} \approx 1056900 \text{ m} \approx 1000 \text{ km}$$

De grootste radiotelescopen van de wereld:

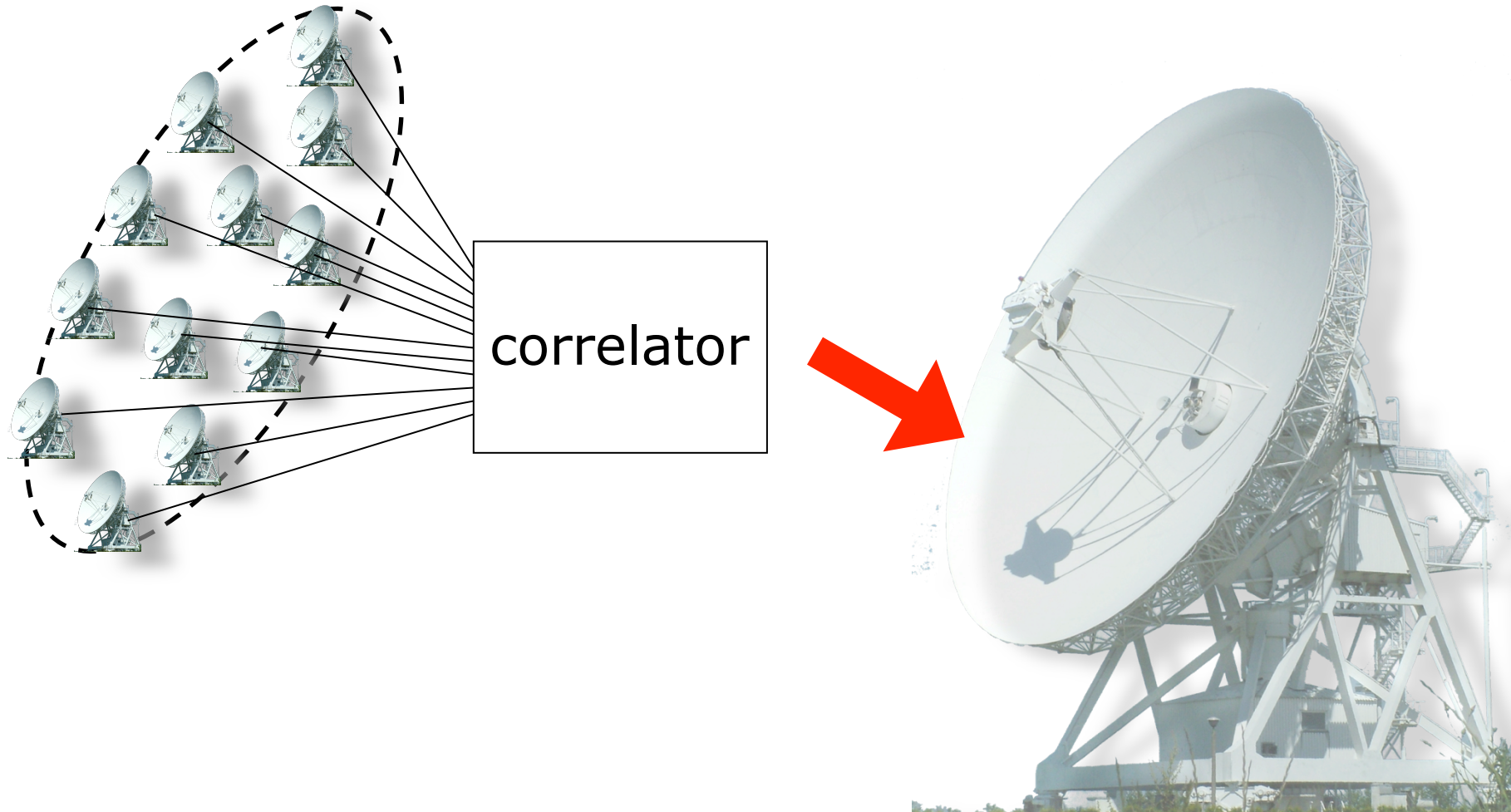


Arecibo, Puerto Rico, diameter: 305 m

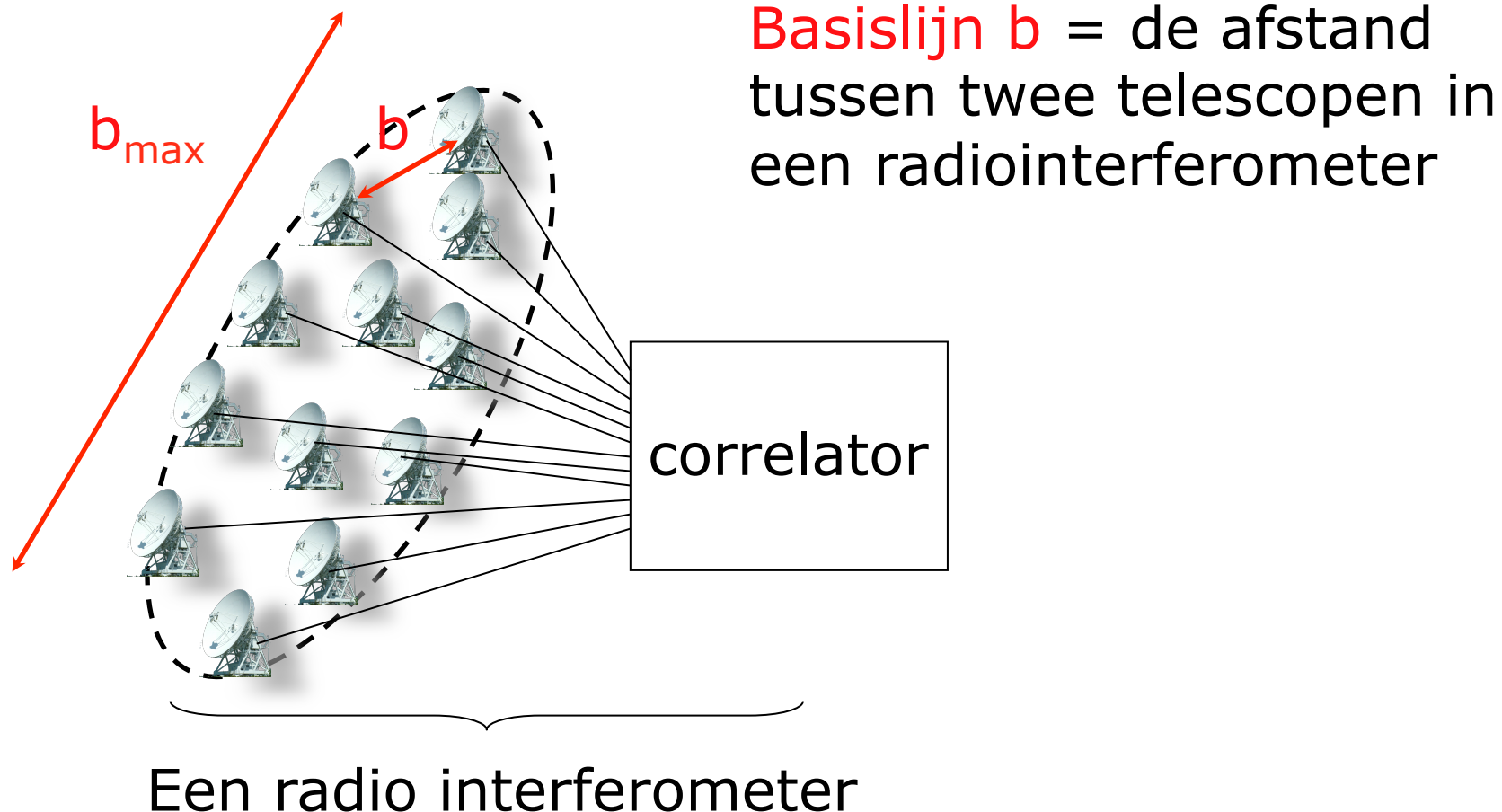
Effelsberg, Duitsland, diameter: 100 m



Radio interferometrie: van veel kleine telescopen één grote maken



Radio interferometrie: van veel kleine telescopen één grote maken



interferometer

Resolutie van een ~~schotel~~:

resolutie $\theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D} = \frac{\text{golflengte van de straling}}{\text{diameter van de telescoop}}$

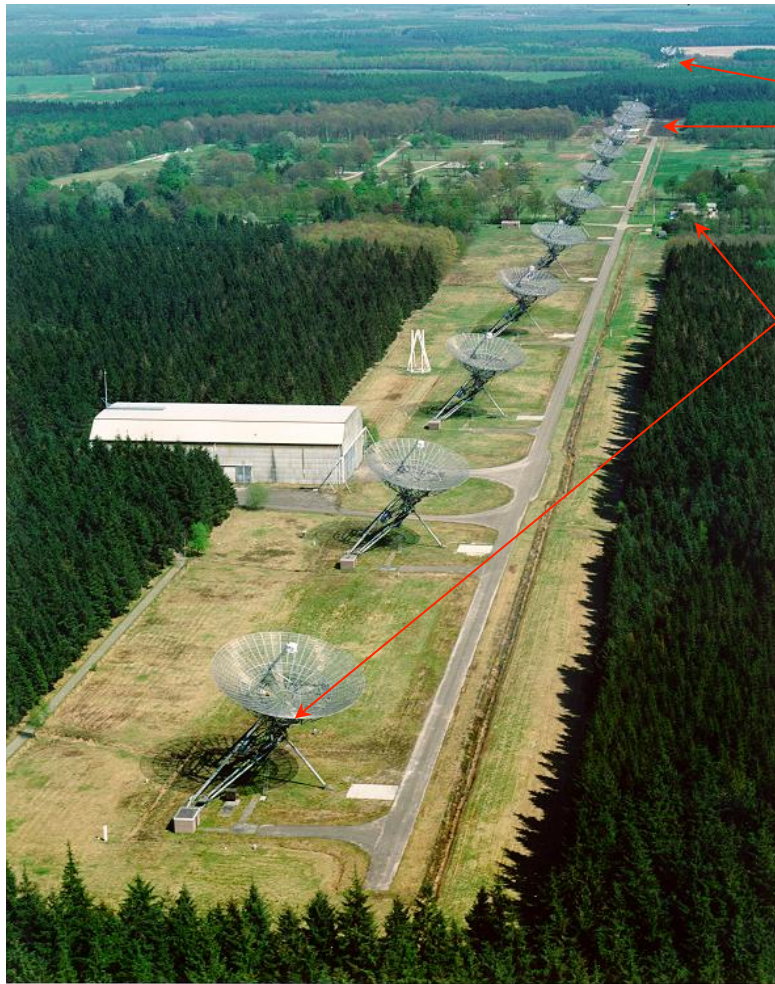
~~D~~ b langste basislijn

met θ in radialen

λ in meters

~~D~~ b in meters

Voorbeeld: Westerbork Synthese Radio Telescoop



14 telescopen

correlator

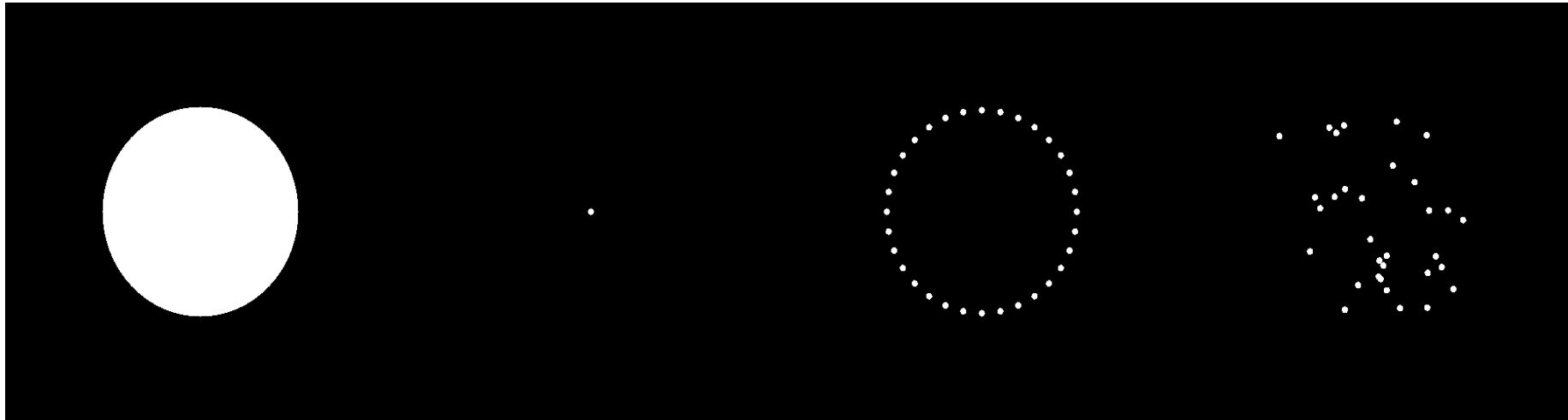
Voorbeeld: VLBI telescopenen over heel Europa koppelen...



Voorbeeld:
...voor een telescoop zo groot als Europa!



De kwaliteit van het radioplaatje:



A B C D

A B C D E F G

A B C D E F G H I J K

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

A B C D E F G H I J K L M N O P R S T U V W X Y Z

A B C D

A B C D E F G

A B C D E F G H I J K

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

A B C D E F G H I J K L M N O P R S T U V W X Y Z

A B C D

A B C D E F G

A B C D E F G H I J K

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

A B C D E F G H I J K L M N O P R S T U V W X Y Z

A B C D

A B C D E F G

A B C D E F G H I J K

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

A B C D E F G H I J K L M N O P R S T U V W X Y Z

Image Credits: Avruch and Pogrebenko

Hoe werkt een radio-interferometer?

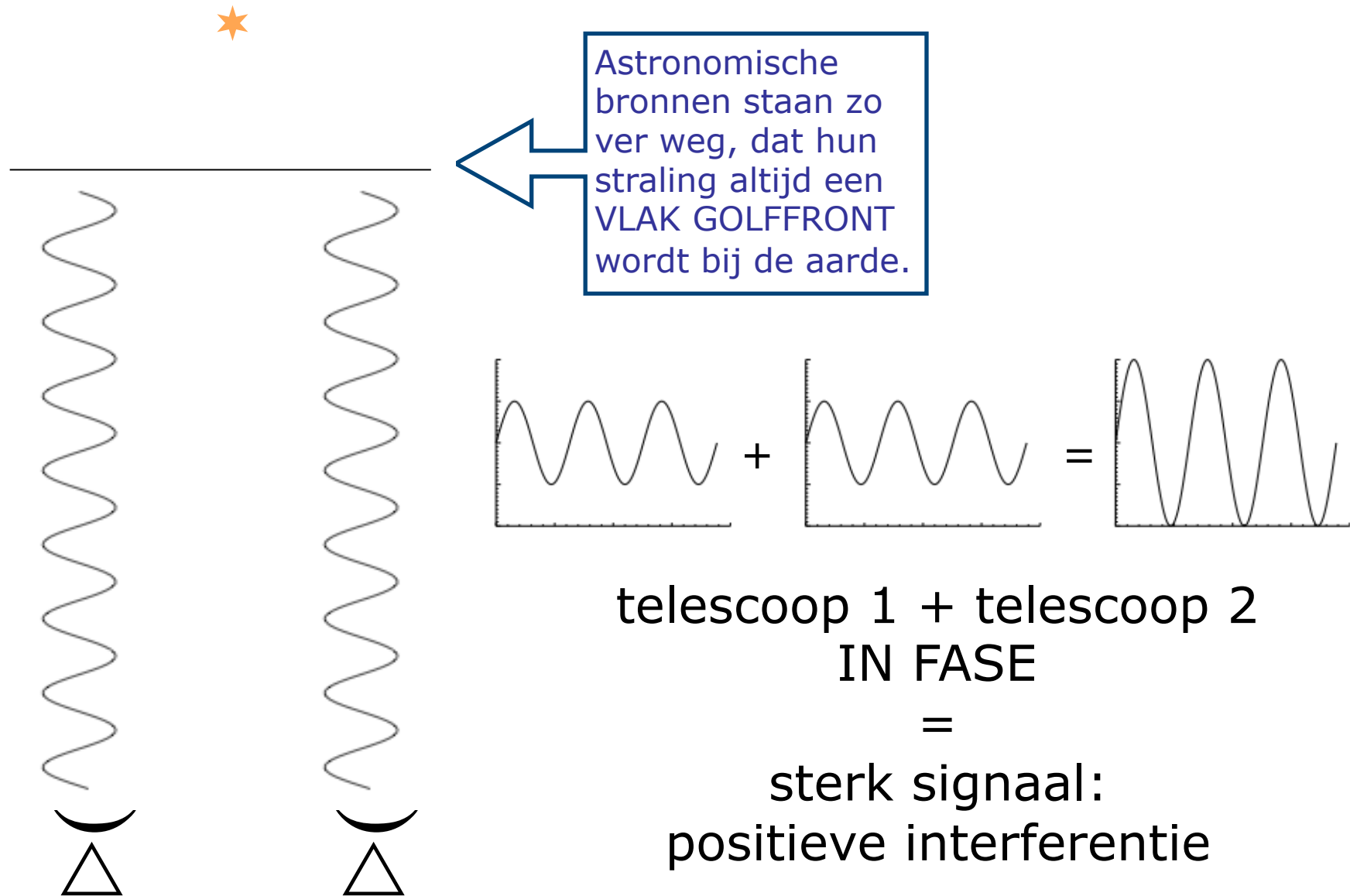
Vrijwilligers graag!

2 radioschotels

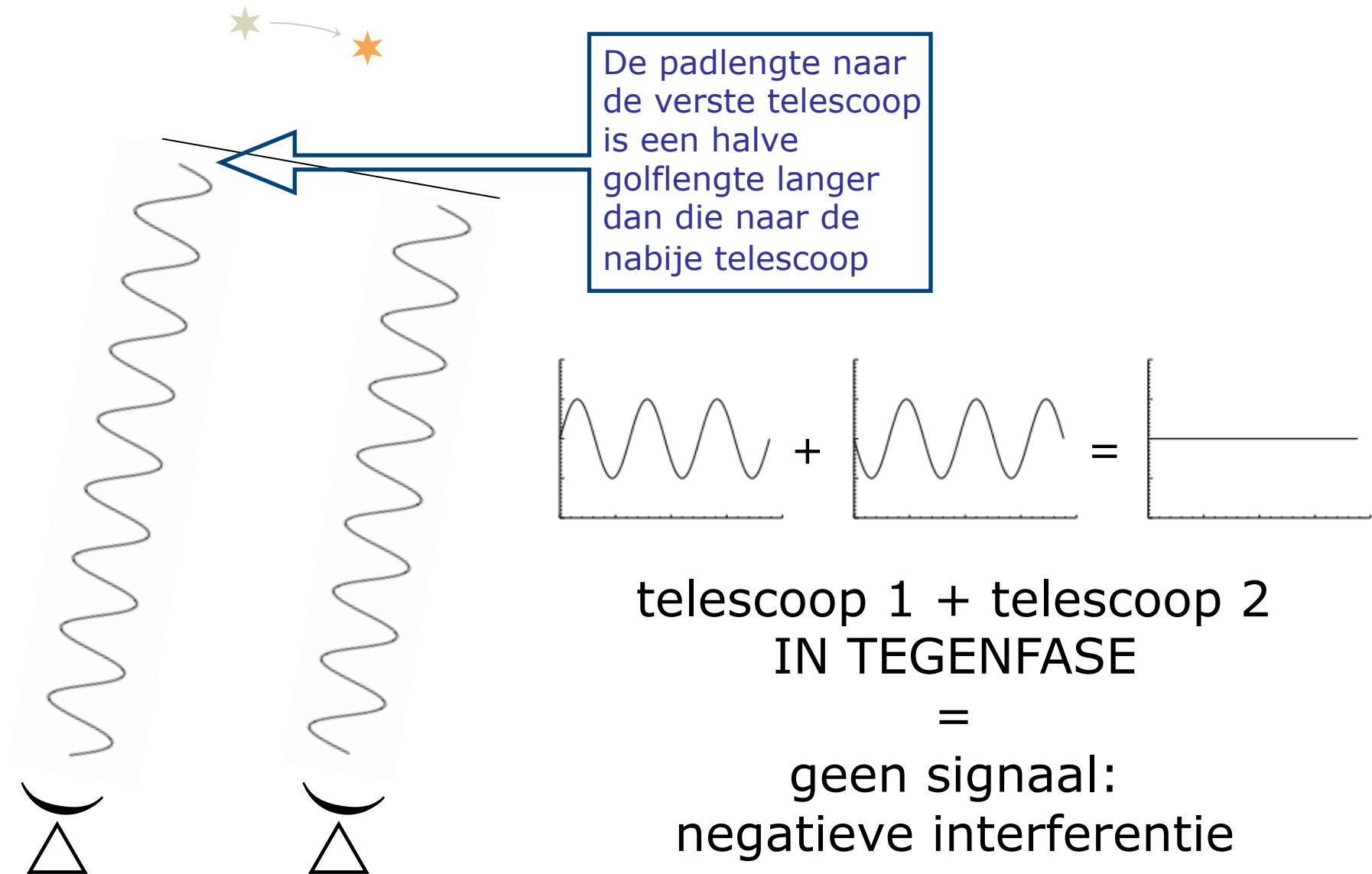
en

1 sterrenstelsel

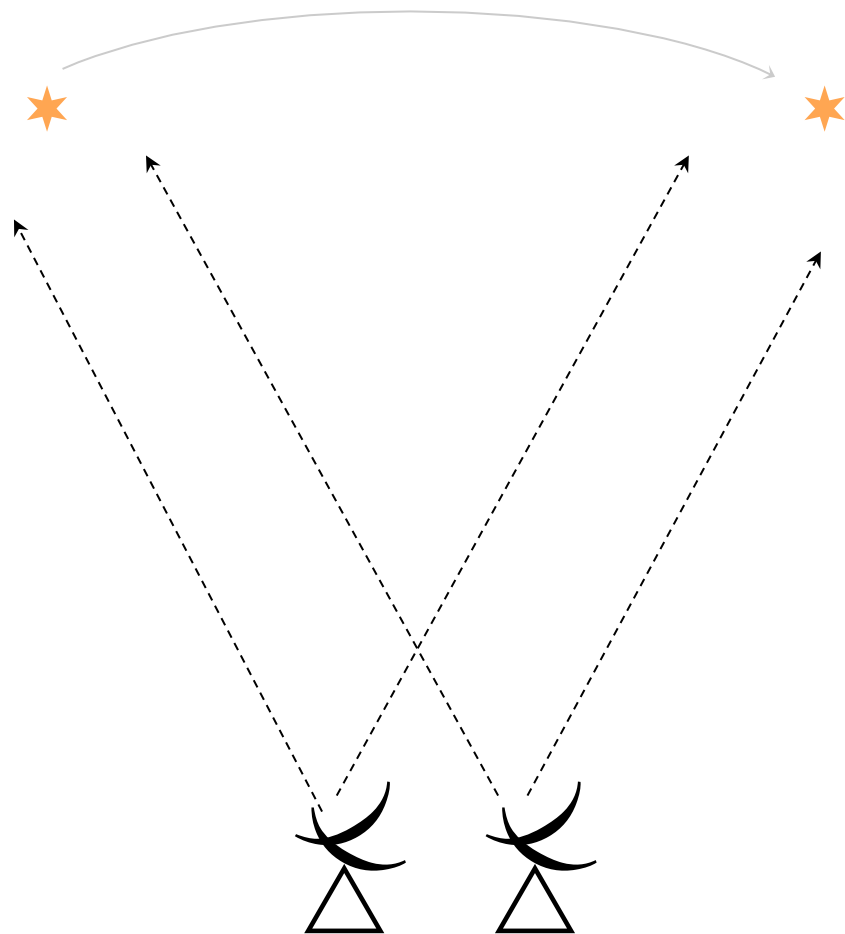
Hoe werkt een radio-interferometer?



Hoe werkt een radio-interferometer?

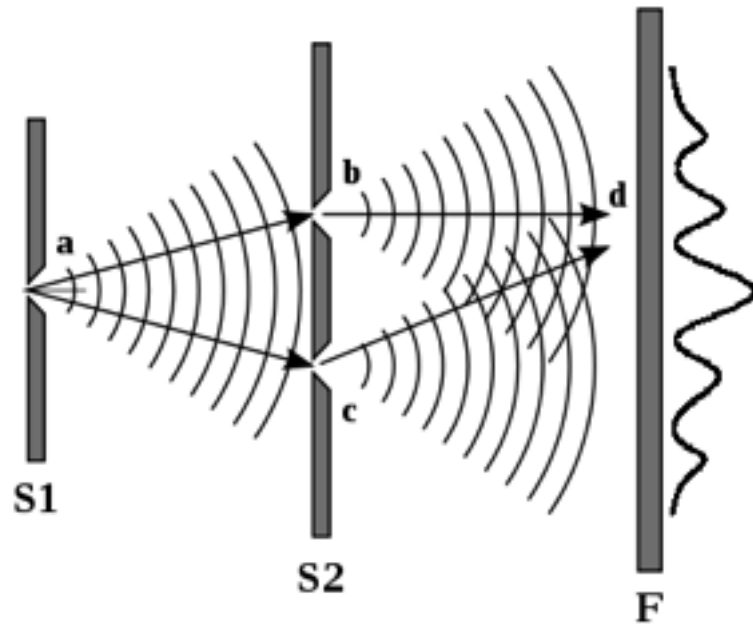


Hoe werkt een radio-interferometer?



Als een radio-interferometer een bron aan de hemel volgt, wordt deze gezien als een **interferentiepatroon**

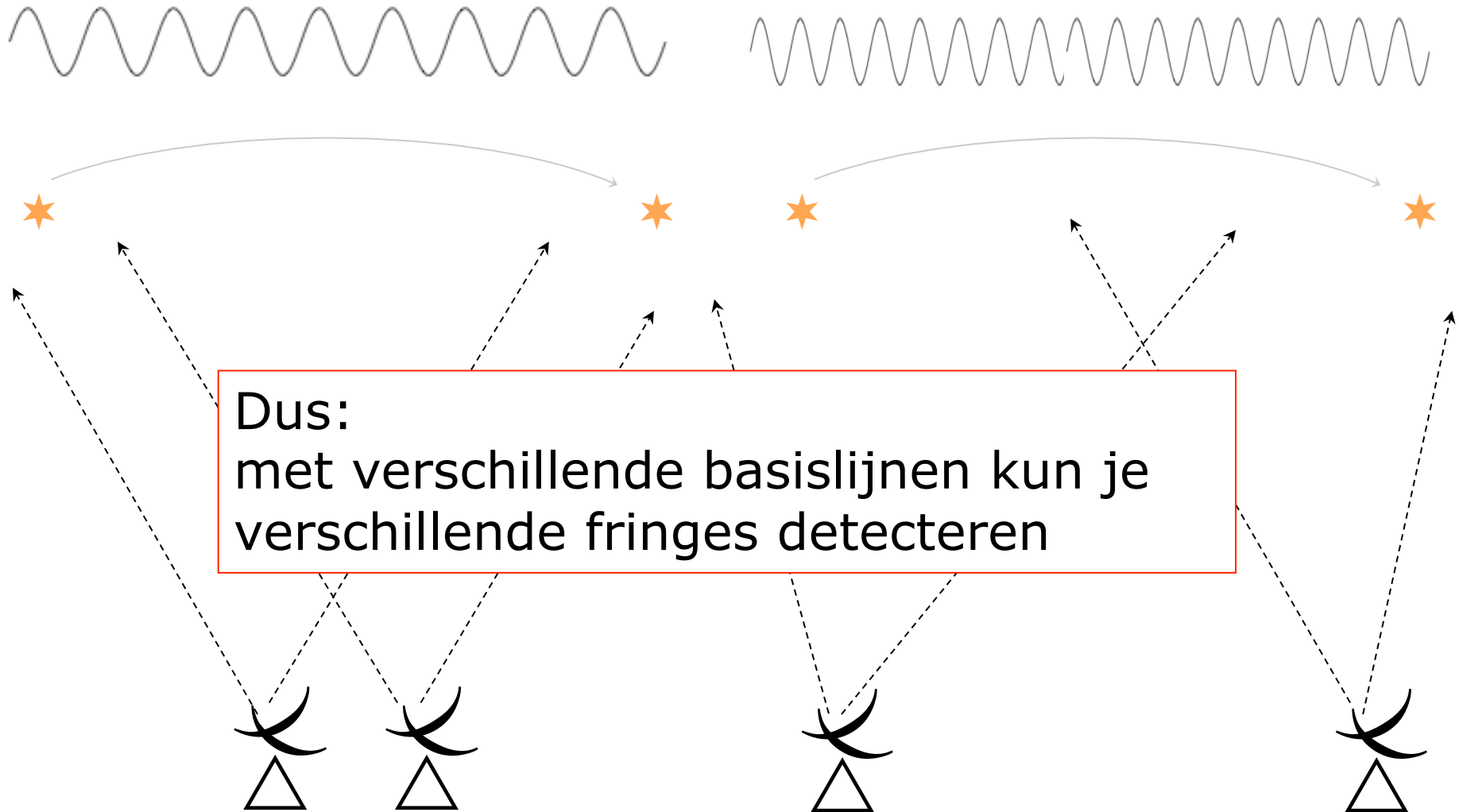
Hoe werkt een radio-interferometer?



Dit is hetzelfde effect als positieve interferentie van licht door een dubbele spleet, of van twee golven in een waterbak...

Hoe werkt een radio-interferometer?

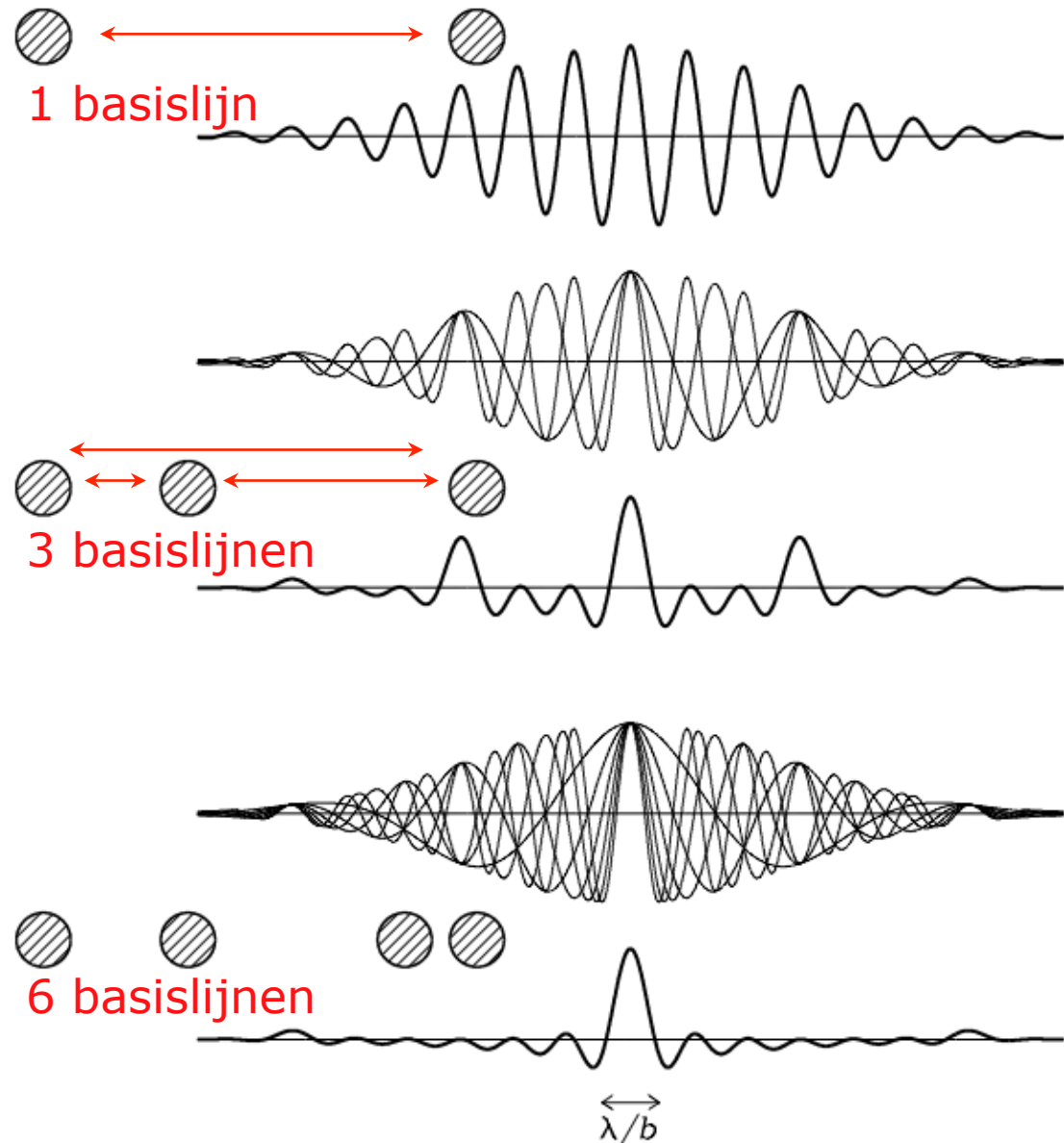
Hoe groter de basislijn, des te smaller de fringe



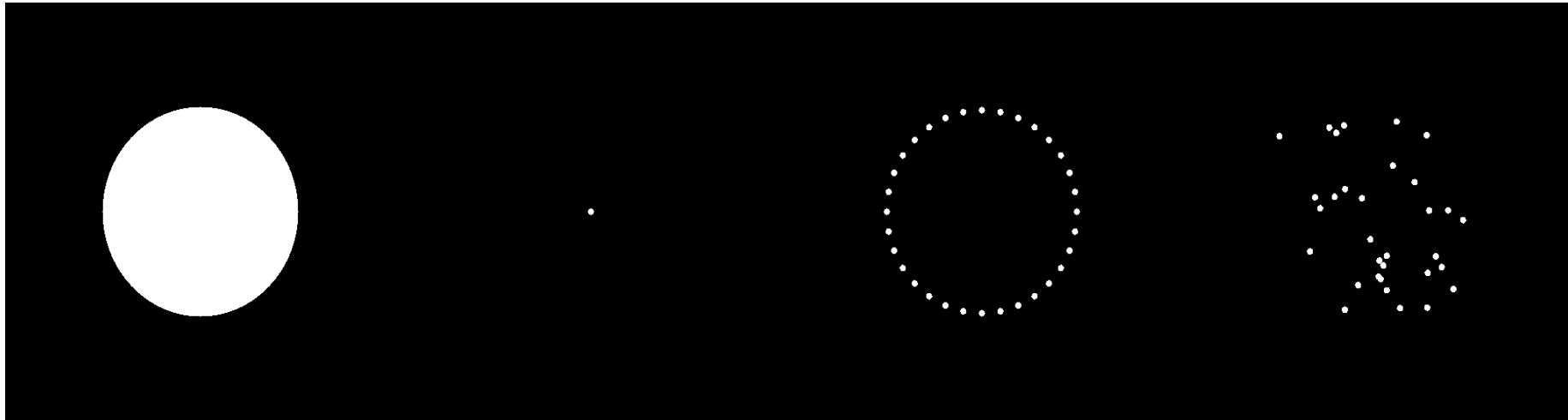
Hoe werkt een radio-interferometer?

Elke radiobron is opgebouwd uit veel verschillende fringes.

Met veel verschillende basislijnen kun je deze dus allemaal detecteren.



De kwaliteit van het radioplaatje:



A B C D

A B C D E F G

A B C D E F G H I J K

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

A B C D

A B C D E F G

A B C D E F G H I J K

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

A B C D

A B C D E F G

A B C D E F G H I J K

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

A B C D

A B C D E F G

A B C D E F G H I J K

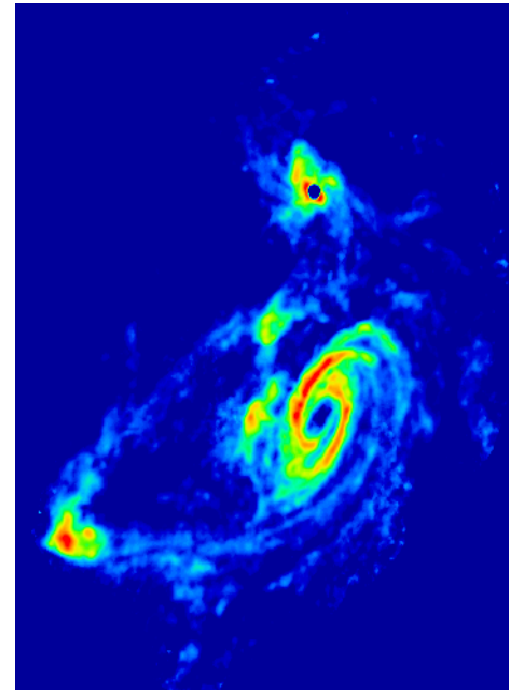
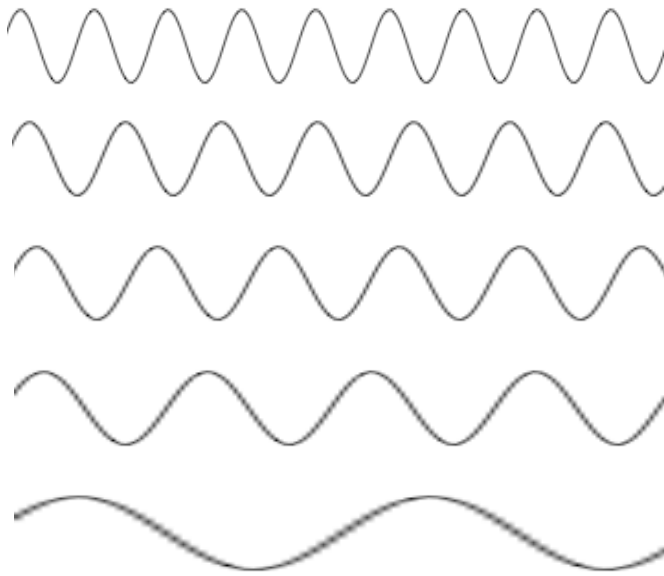
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Image Credits: Avruch and Pogrebenko

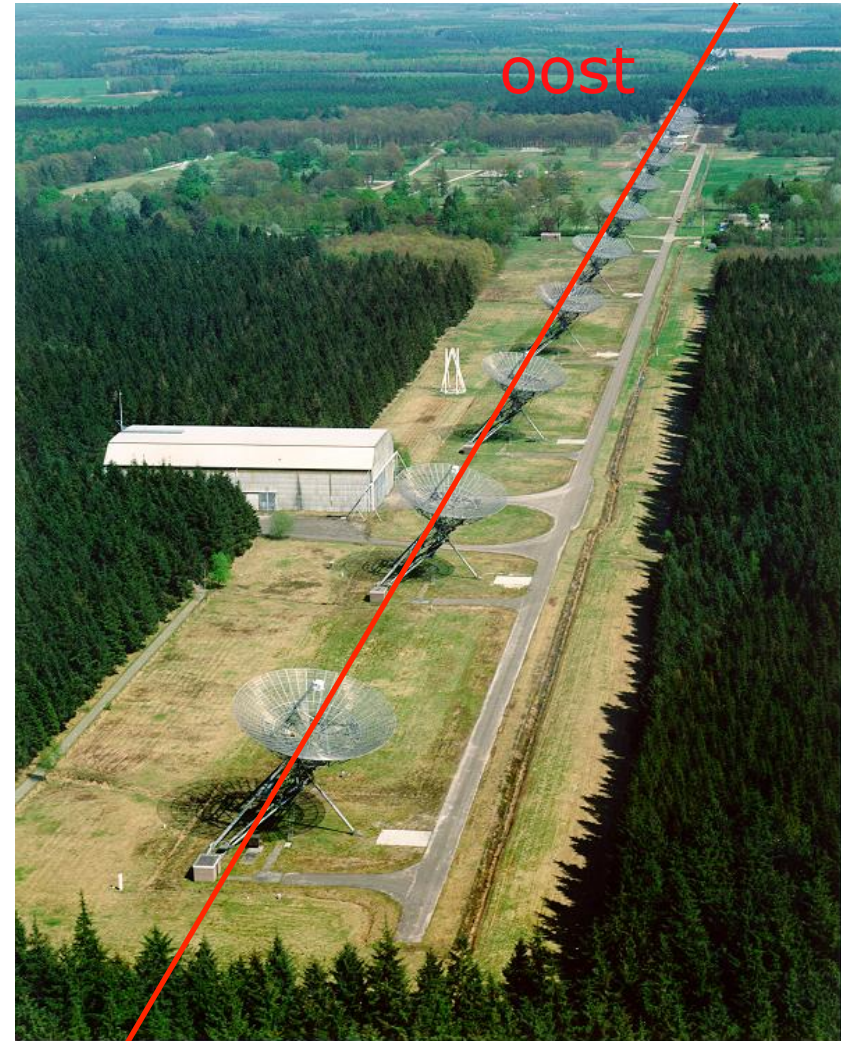
Hoe werkt een radio-interferometer?

Nu detecteer je dus allerlei verschillende fringes: hoe maak je daar een plaatje van?



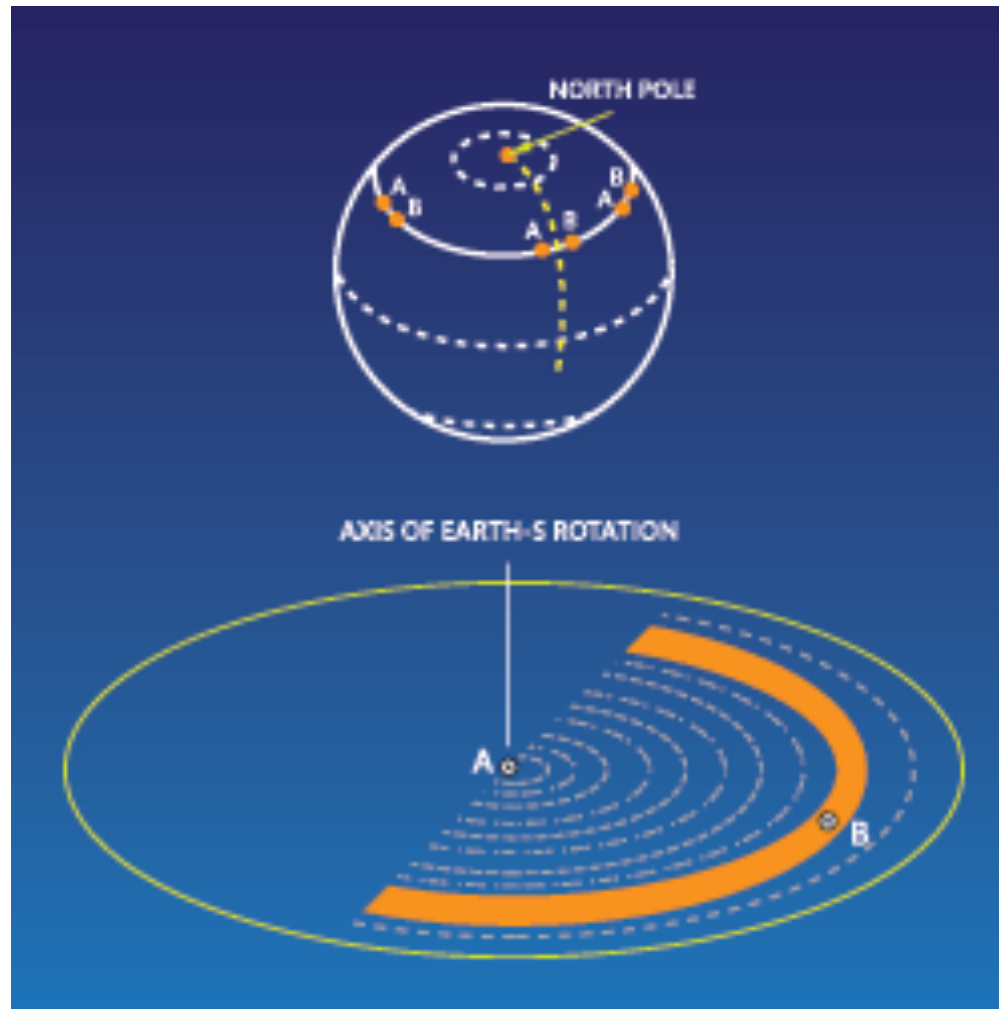
Dat kan met **Fourier transformatie**: een wiskundige techniek die alle fringes uit elkaar rafelt en omzet in een plaatje.

Beroemde radio-interferometers: Westerbork Synthesis Radio Interferometer

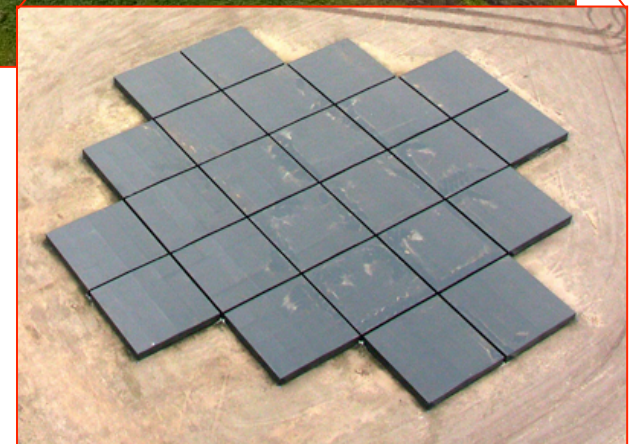


west

Een oost-west interferometer gebruikt de rotatie van de aarde om verschillende basislijnen te creëren



Nieuwe radio-interferometers: LOW Frequency ARray (LOFAR)



De ultieme radio-interferometer: Square Kilometer Array (SKA)



De 21cm spectraallijn



continuum spectrum



emissiespectrum



absorptiespectrum

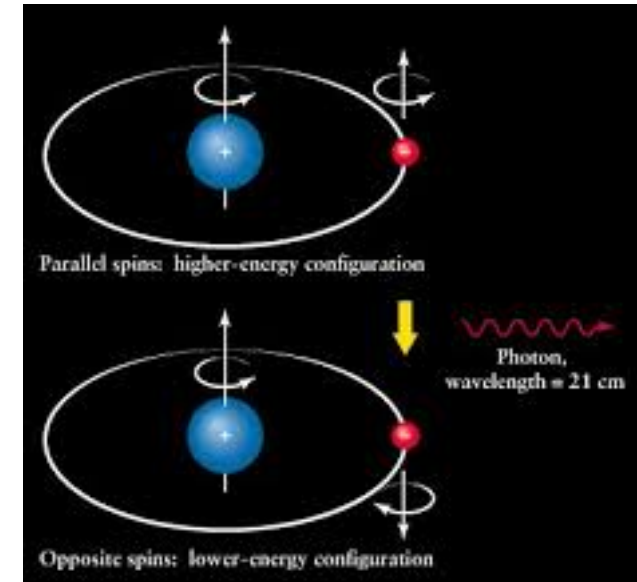
De 21cm spectraallijn, oftewel de spinflip-lijn

Waterstofatoom = 1 proton + 1 electron

Proton en electron hebben:

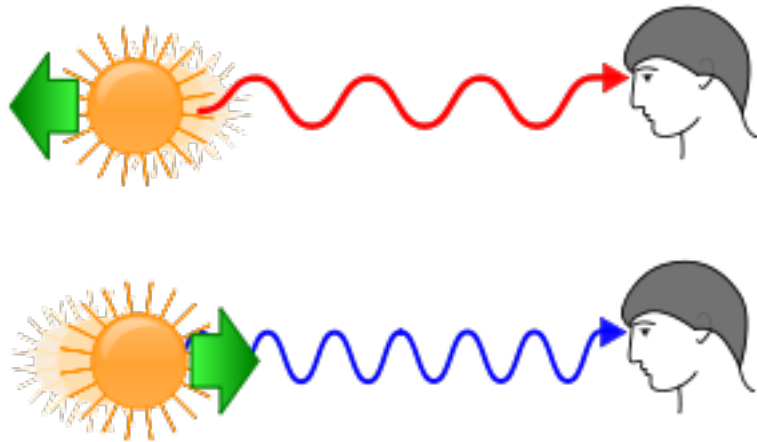
- dezelfde spin, of
- tegengestelde spin

Bij een spin-flip wordt een klein beetje energie opgenomen of afgestaan.



Waterstof is het meest voorkomende element in het heelal! Dit kunnen we detecteren in radio!

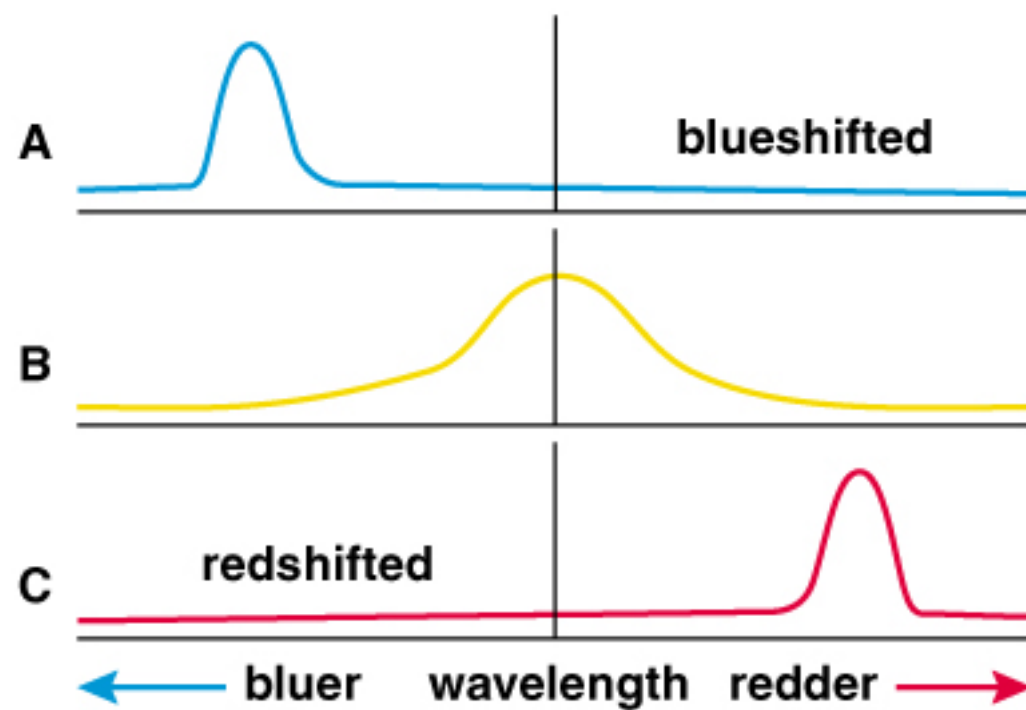
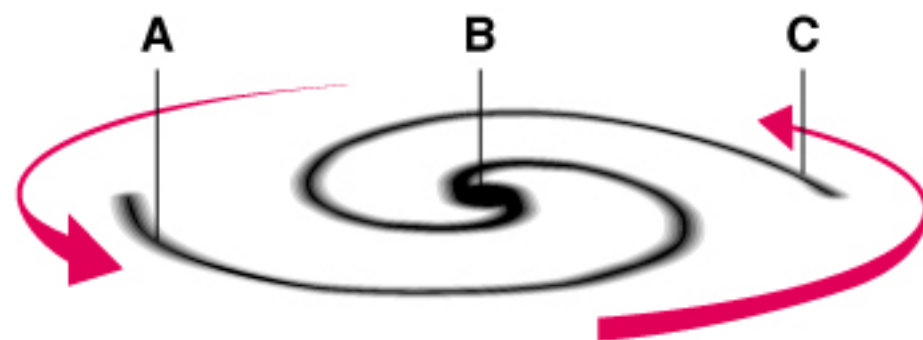
Dopplerverschuiving in de 21cm lijn



Uit de gemeten frequentie kunnen we de Dopplerverschuiving berekenen:

$$\frac{v_0 - v}{v_0} \sim \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{V_r}{c}$$

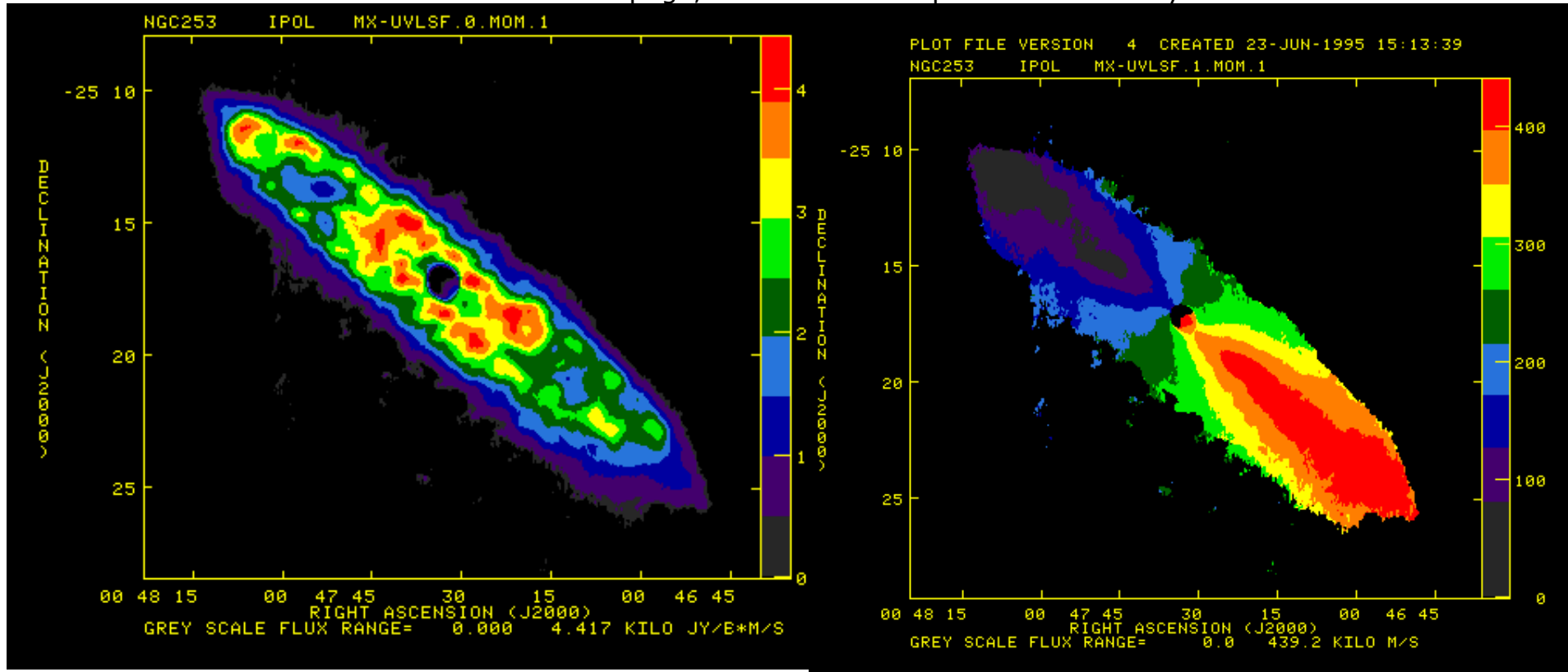
waarin v = frequentie
 λ = golflengte
 V_r = snelheid t.o.v. een referentiesysteem



Copyright © Addison Wesley.

Spiraalstelsel NGC 253

From B. Koribalski's page, Australia Telescope National Facility



Hoeveelheid waterstofgas

Rood = veel gas

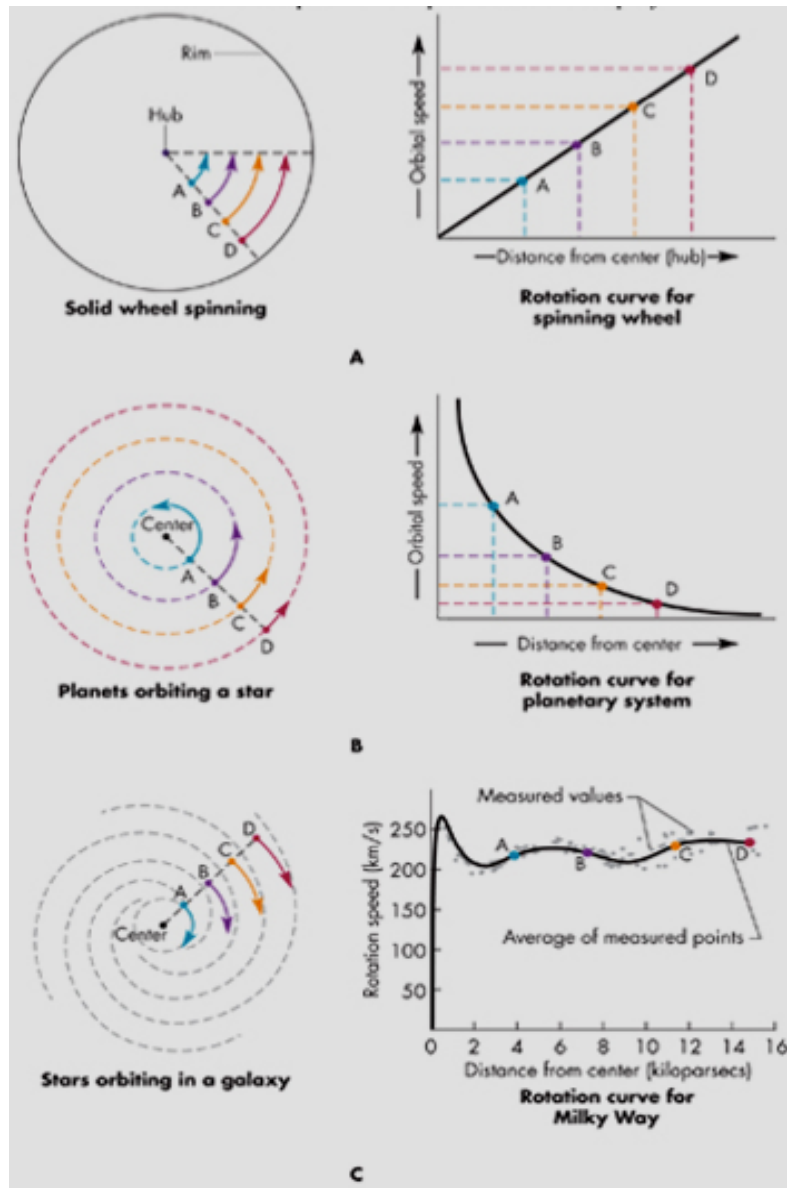
Blauw = weinig gas

Snelheid van het gas

Rood = van ons af

Blauw = naar ons toe

Rotation in the Milky Way



Frisbee (solid disk):

Steadily rising orbital velocity with distance from the center.

→ All parts of the disk take the same time to complete one rotation.

Planets around the Sun:

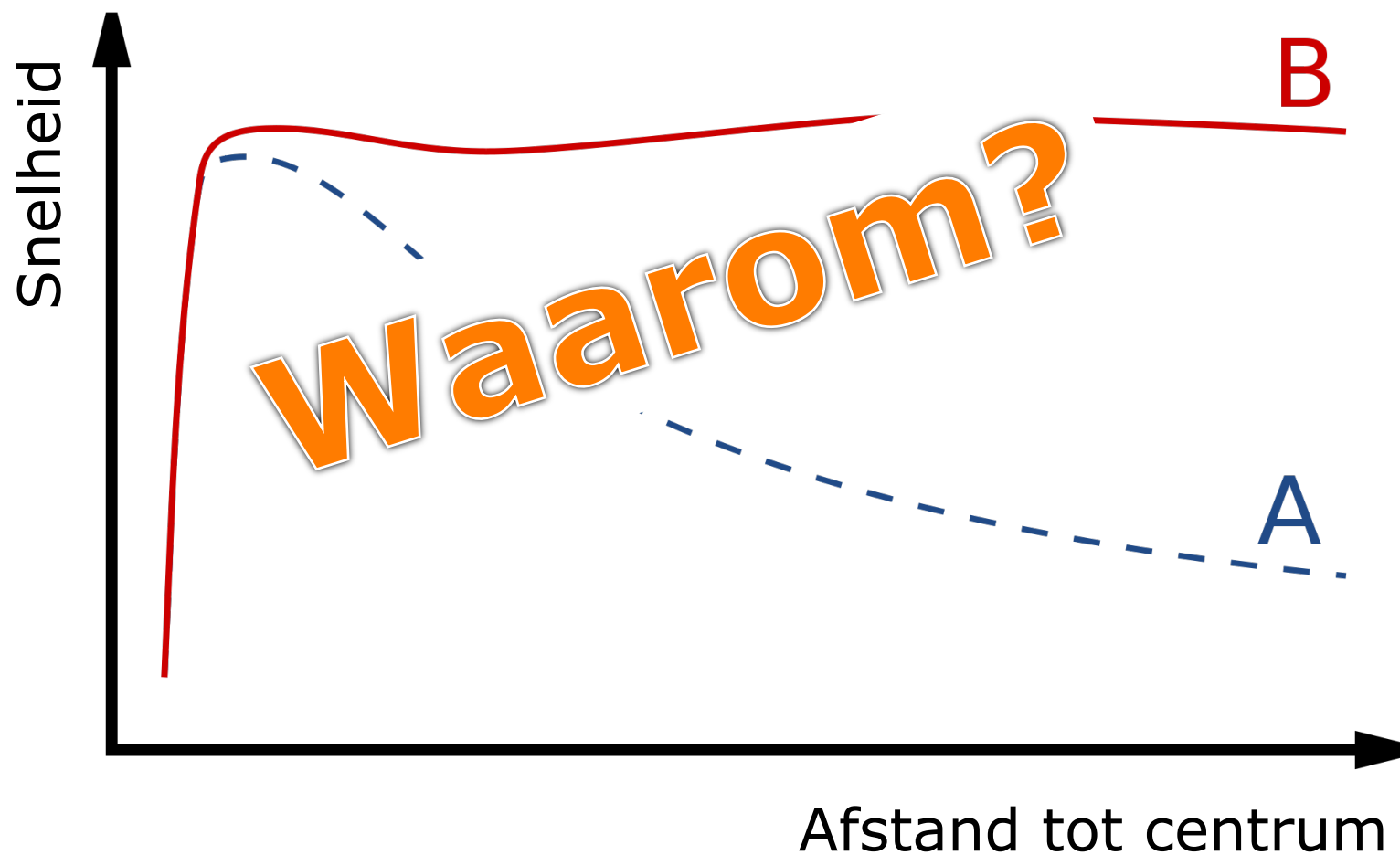
Steadily declining orbital velocity with distance from the center.

→ Planets further from the Sun take longer to complete one rotation.

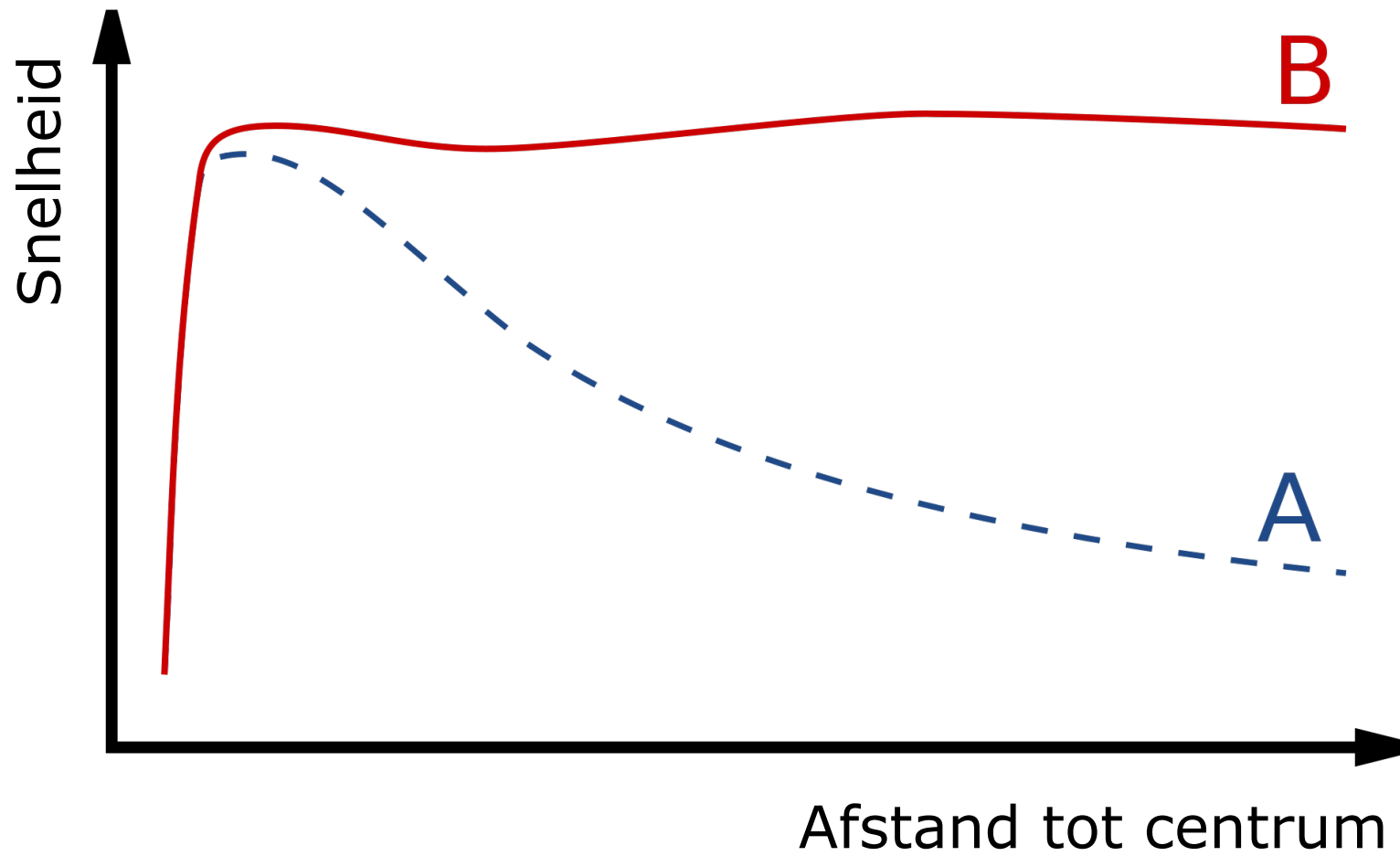
Stars in the Milky Way:

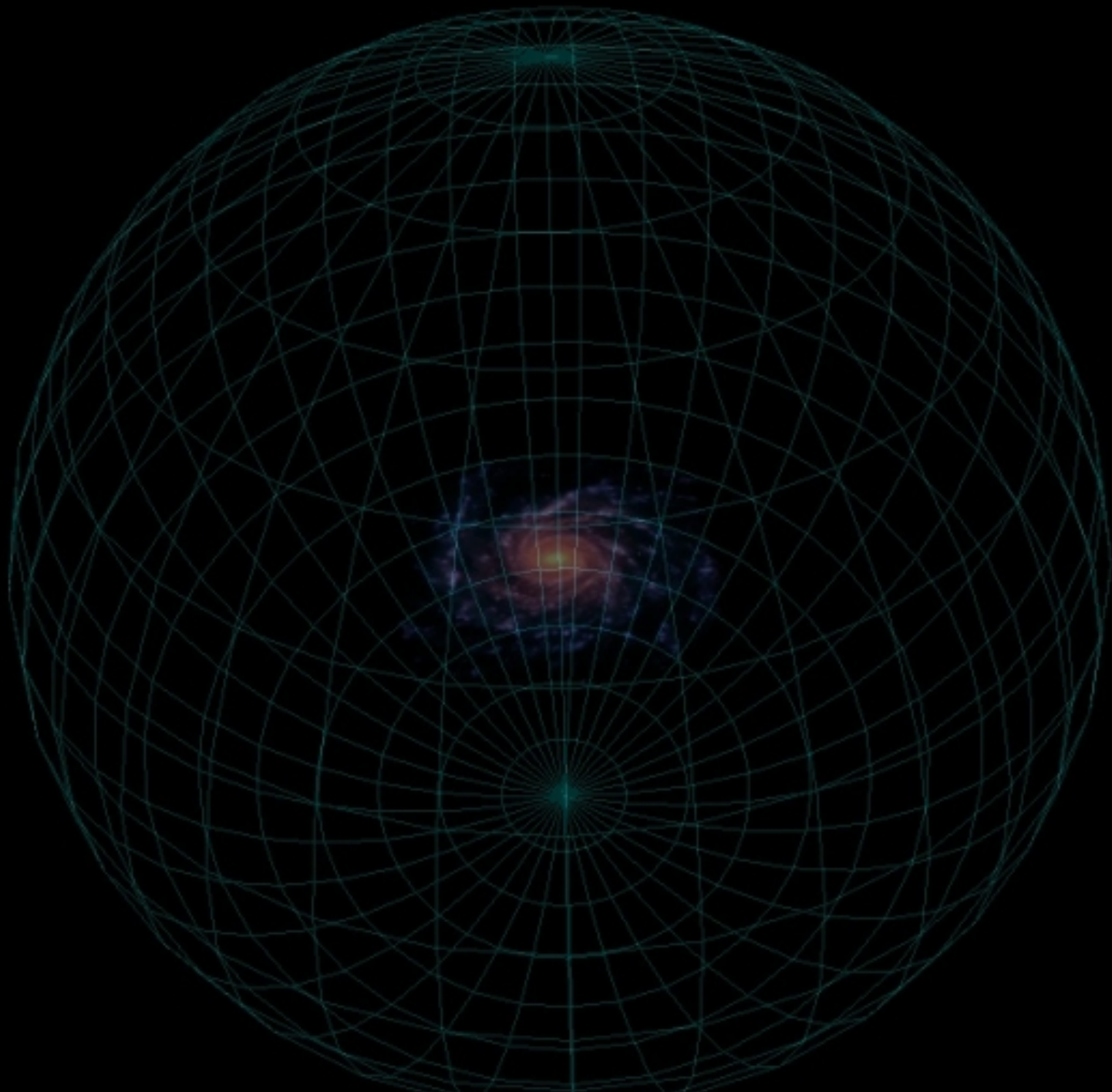
About the same orbital velocity for most radii. Stars closer to the center complete one rotation faster than stars further away. The star is held in orbit by the collective gravitational pull from all stars, gas, black holes etc.

Verwachte en waargenomen rotatiekrommen zijn totaal verschillend!



Donkere materie!





Waterstofgas in de Melkweg

