

# De Dwingeloo Radiotelescoop

## Historie en het belang van het Doppler-effect



C.A. Muller Radio Astronomie Station

Vijfde spectroscopiedag der lage landen

16 november 2019

Frans De Jong (Stichting CAMRAS)



# Spectraal continuum

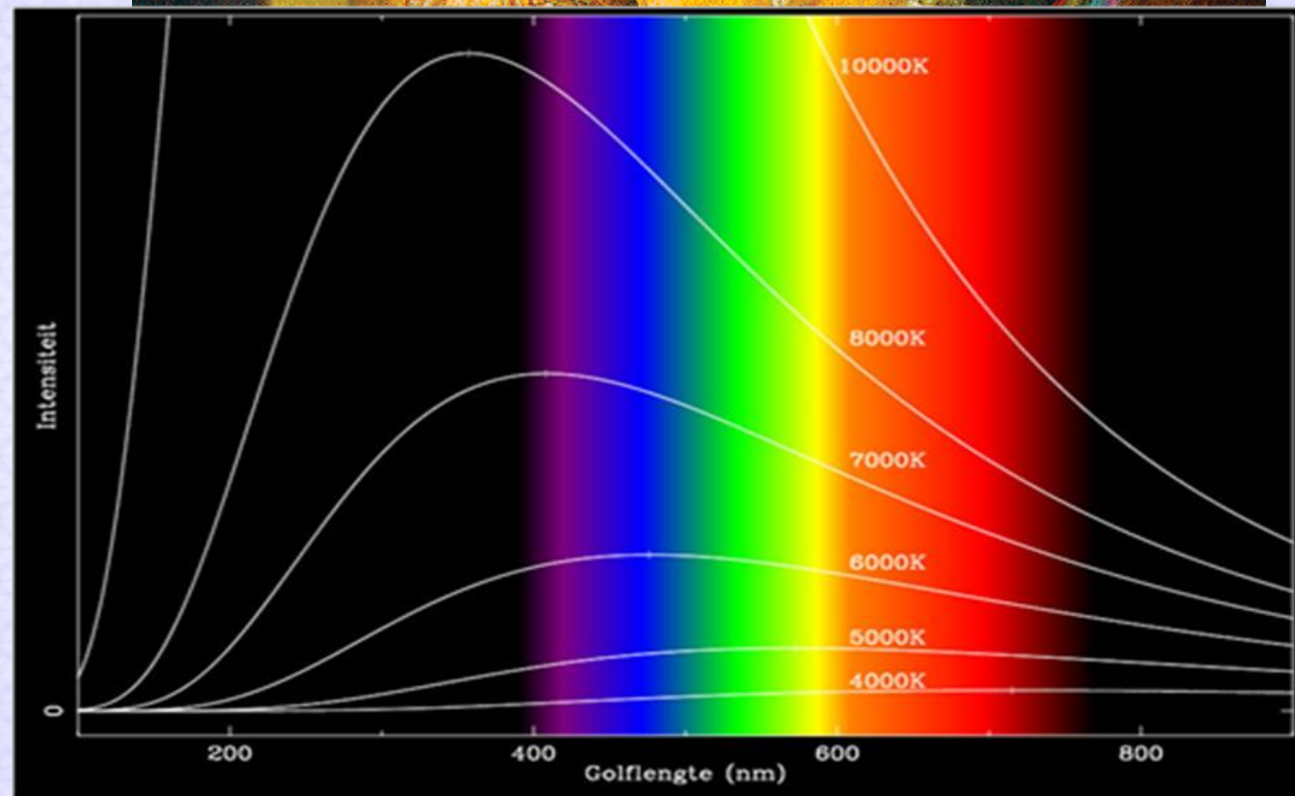
- W. Herschel





# Spectraal continuum

- W. Herschel
- M. Planck
- 
- 





# Oorsprong Radioastronomie

- Kenelly 1890 (Edison's assistant)

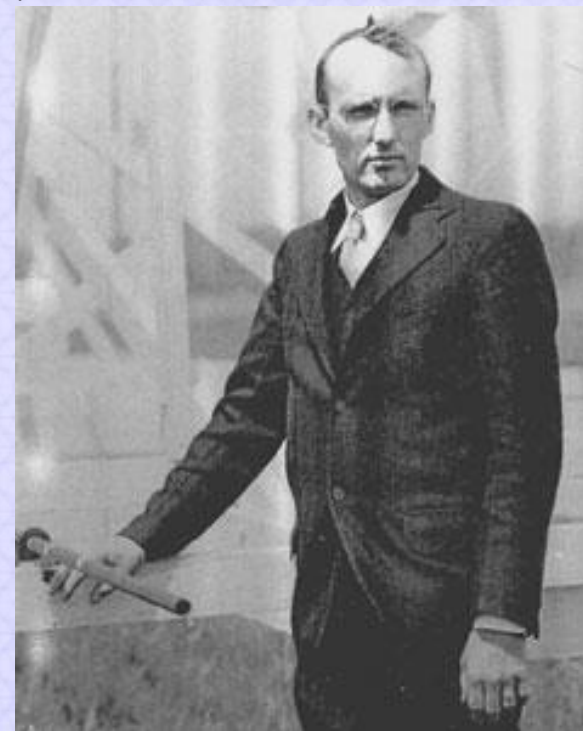
- "Simultaneously to the Electromagnetic perturbations coming from the Sun, and that we perceive, as you know, in the form of light and heat, perturbations on longer wavelength are perfectly plausible. If it was so we could convert them to sound"

- Karl Jansky

Since 1928 at Bell Labs

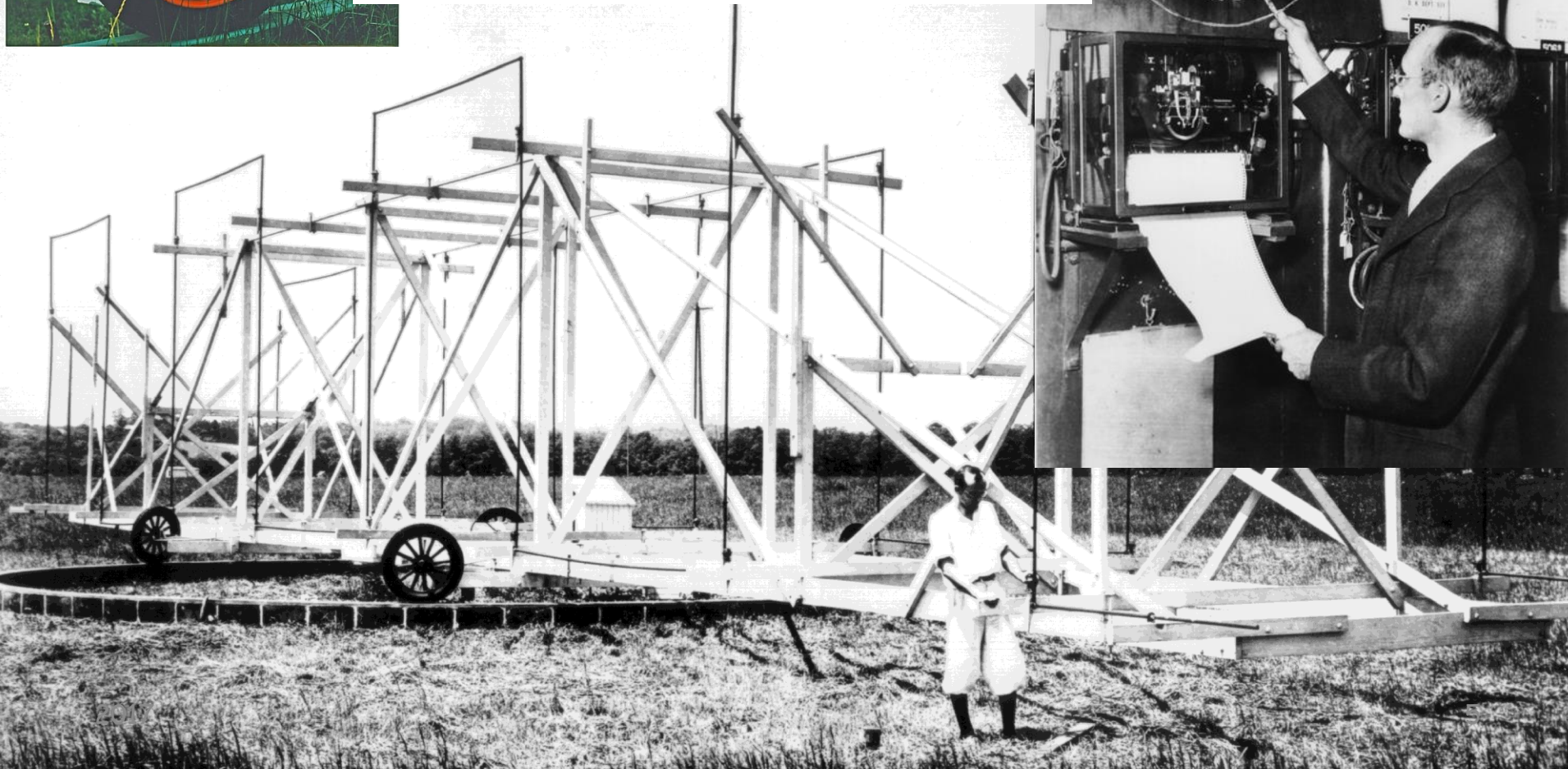
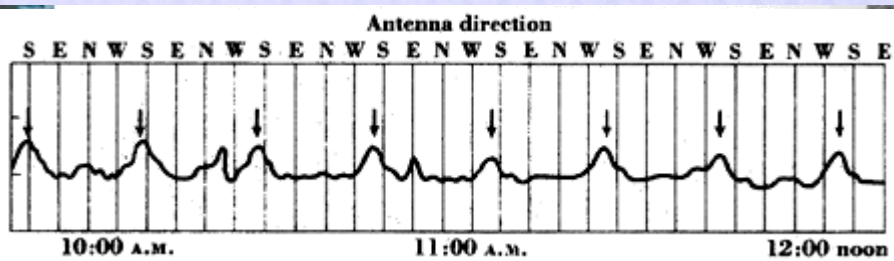
Search for 'statics' around 15 m

Discovers noise out of the sky that shifts position daily by 4 minutes.



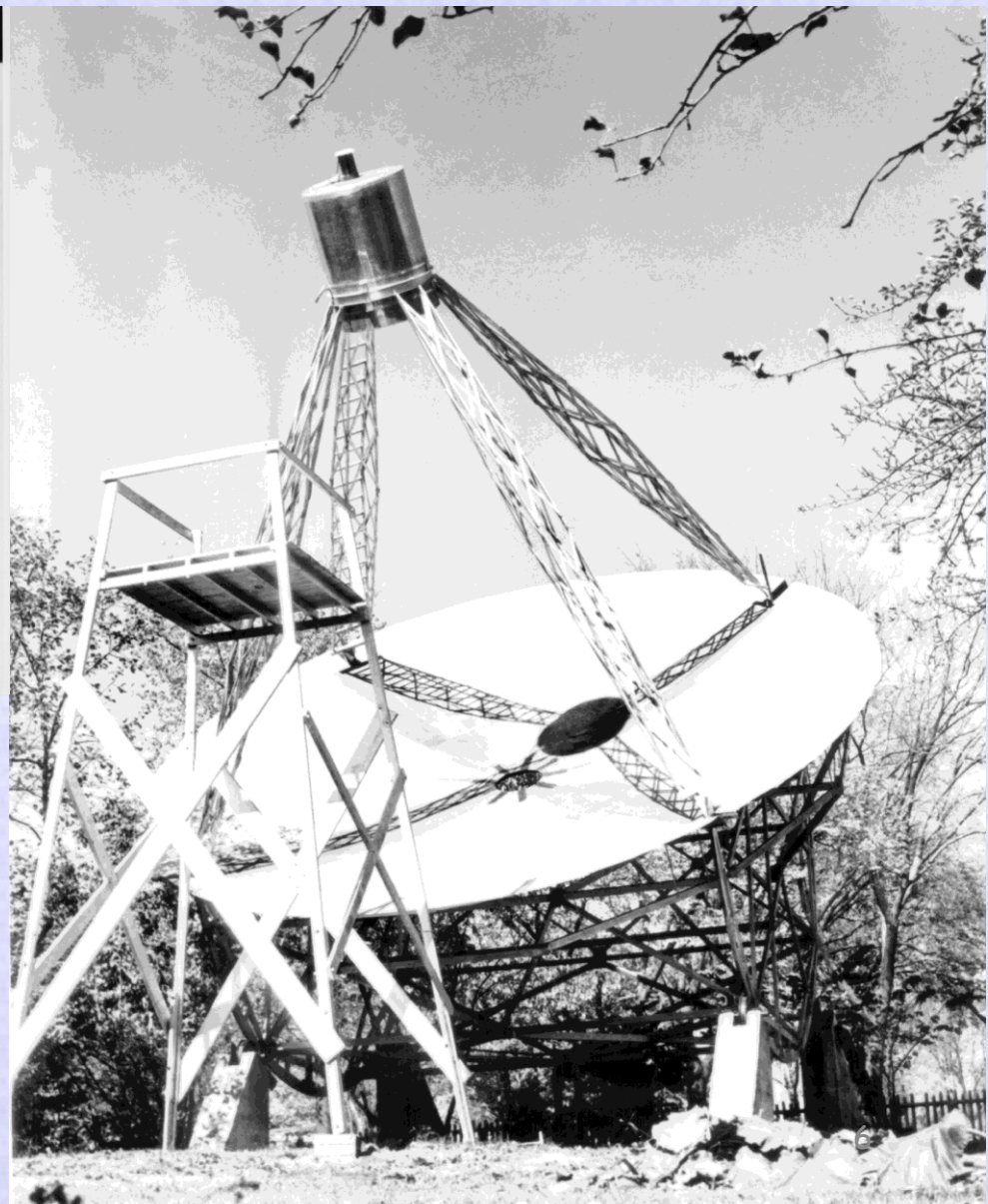


# 1931 - Karl Jansky's Bruce-Array ( $\lambda=14,6$ m) bij Bell Telephone Laboratories





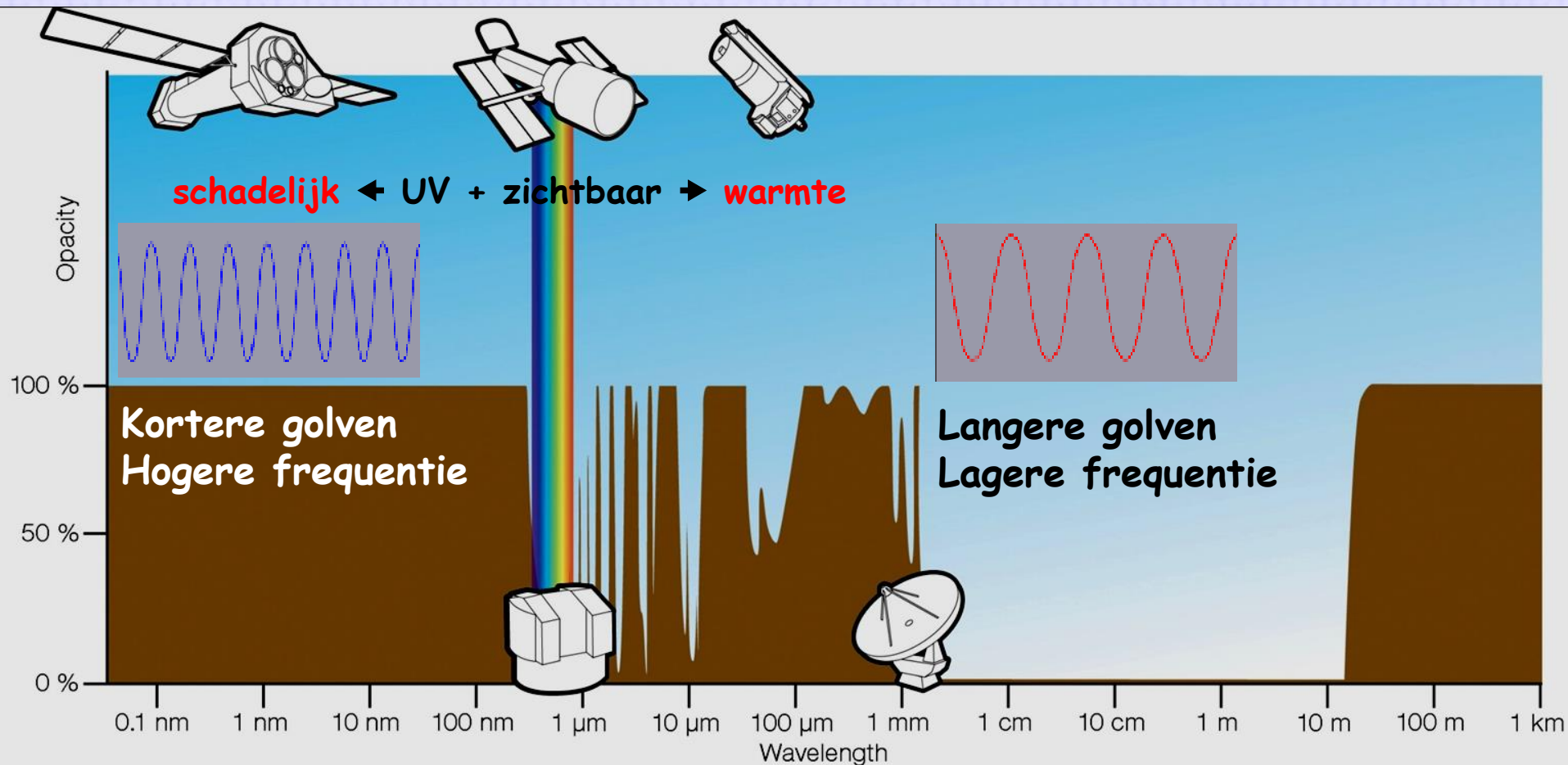
# 1936 - Grote Reber met eigen transit-radiotelescoop in Wheaton Ill USA



- Parabolische metaal-schotel diameter 9 m.
- Alleen eleveerbaar (verticaal beweegbaar).



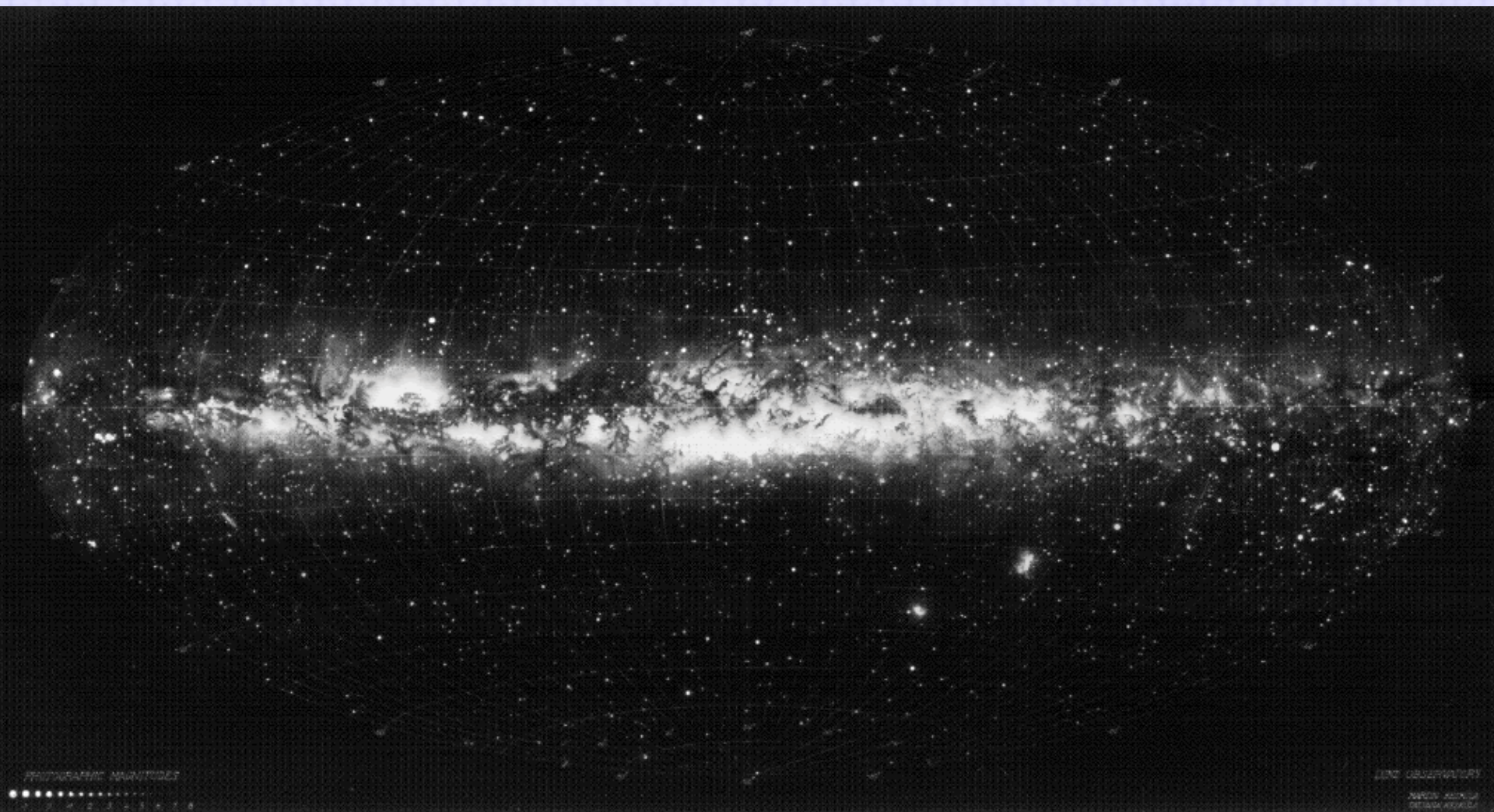
# Soorten elektromagnetische straling/golven



$\gamma$ -straling + X-straling + UV + zichtbaar + infrarood + (sub)mm-golven + radiogolven



# Beeld van de Melkweg midden 19<sup>de</sup> eeuw (schildering in Lund Sterrenwacht)







# The Dutch Discovery!

- Prof. Oort and the ant

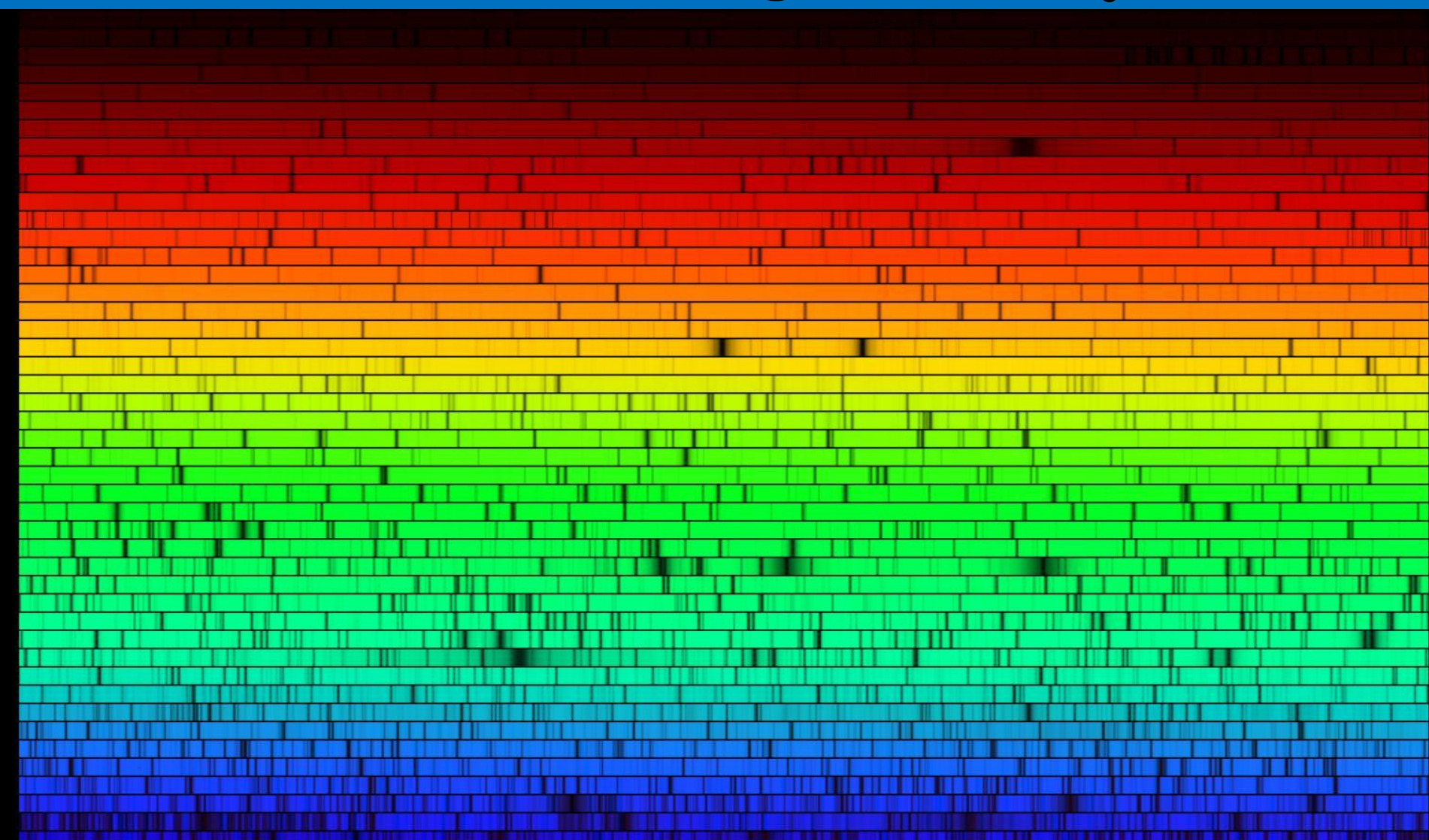


- Doppler  
(Noise vs single tone)





# Sterspectrum (Zon) en het belang van de lijnen





# 1943 - Jan Oort piekert

# 1944 - Henk van de Hulst rekent

Oort hoort tijdens WOII over de radiowaarnemingen van de Melkweg door Grote Reber.

Radiogolven worden niet gehinderd door stoffige gebieden in de Melkweg, dus ...

Van de Hulst toont aan dat het waterstofatoom bij 21 cm een spectraallijn heeft.

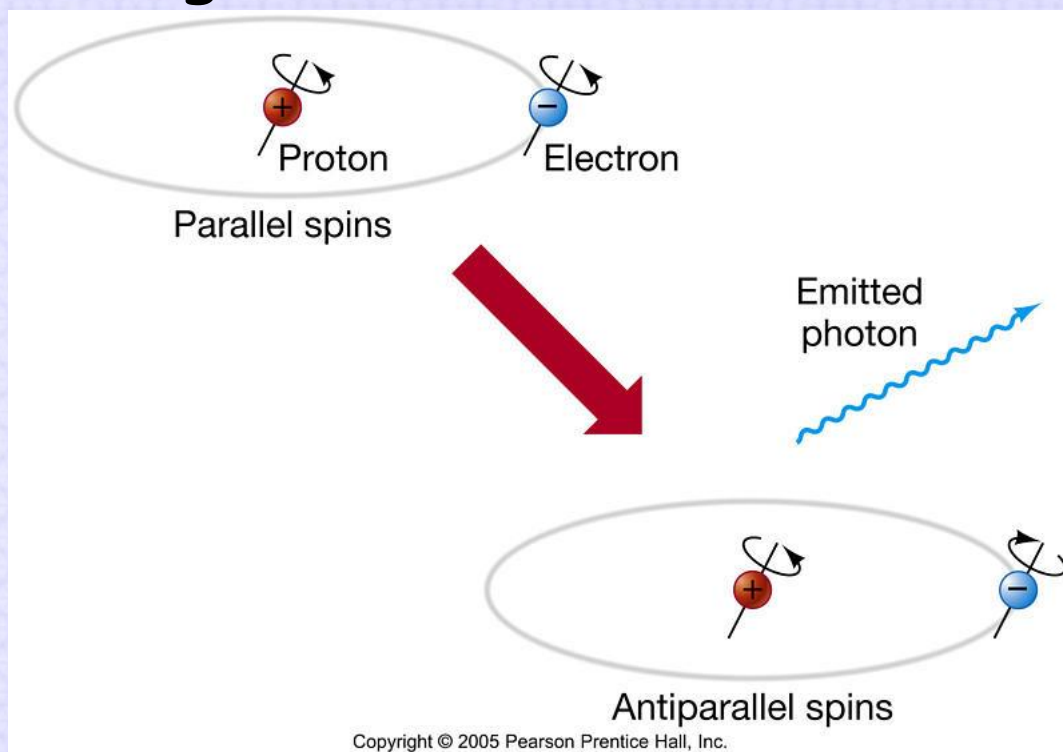
Maar is de waterstof 21cm HI lijn waarneembaar ?





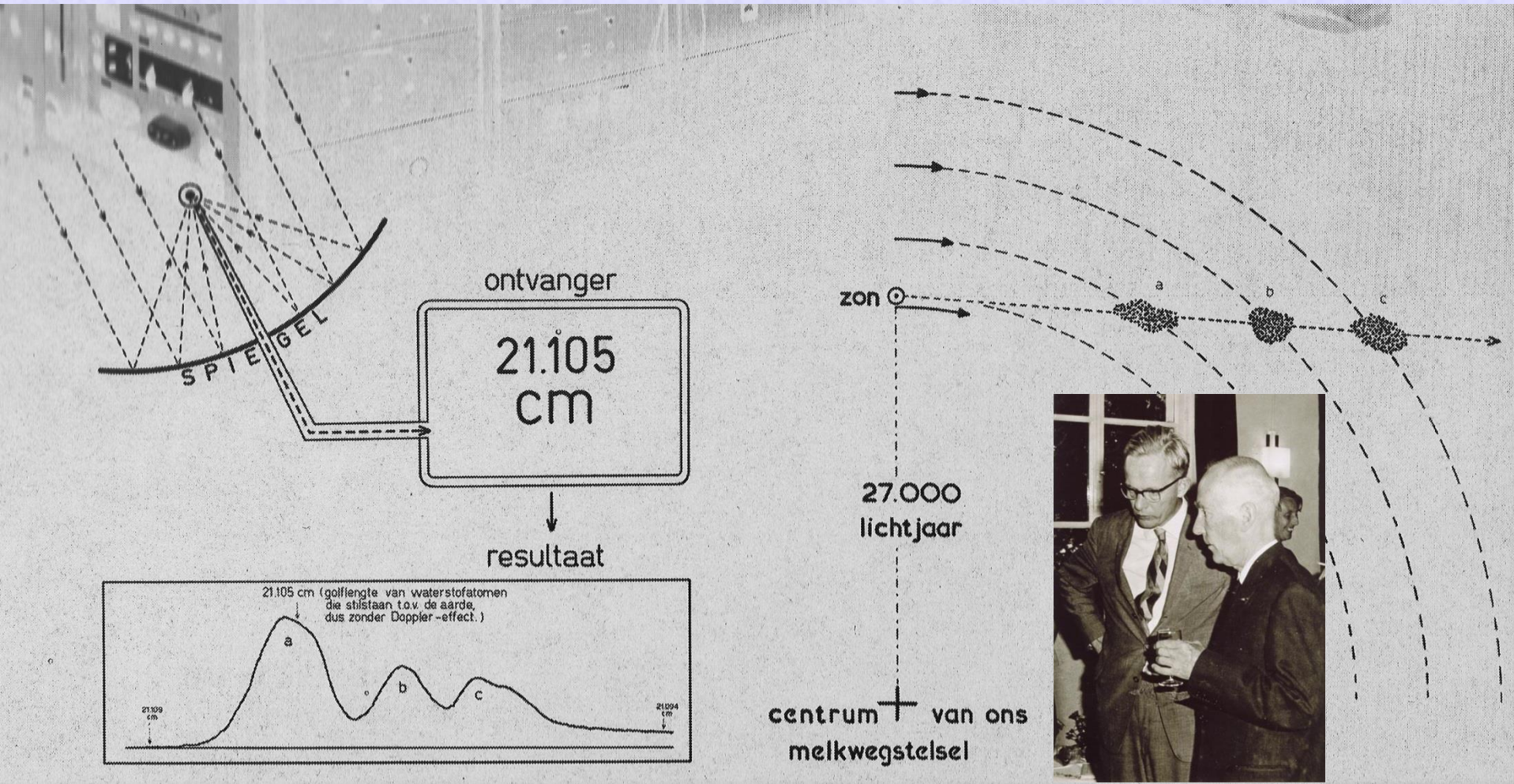
# Oorsprong van de waterstoflijn op golflengte 21 cm

- Waterstofatoom heeft in grondtoestand twee subniveaus.
- Het verschil zit in de oriëntatie van - protonspin en - elektronspin.
- Bij omklappen van elektronspin komt energie vrij.
- Foton met  $f = 1420.4058 \text{ MHz} \leftrightarrow \lambda = 21.106 \text{ cm}$
- Kans dat zoiets gebeurt  $\approx 1 \text{ X}$  per 10 miljoen jaar !





# 1946 - Wens van Oort en Van de Hulst



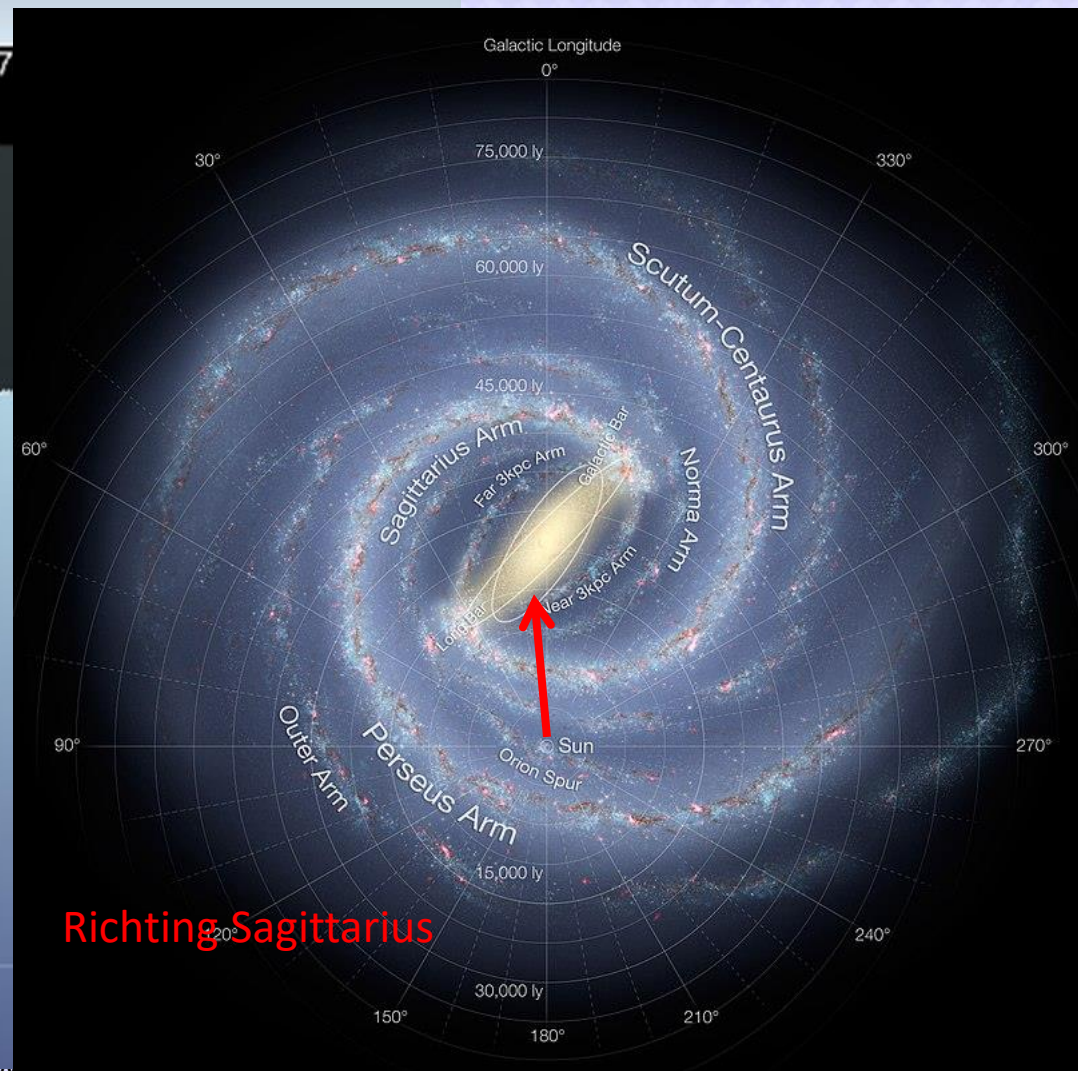
In centrum van de Melkweg draaien sterren en gas met hogere snelheid rond dan in de buitengebieden. Uit de snelheid van de waterstofwolken willen de sterrenkundigen uitrekenen hoever ze weg staan en ze in een plattegrond intekenen.



# The Dutch Discovery!

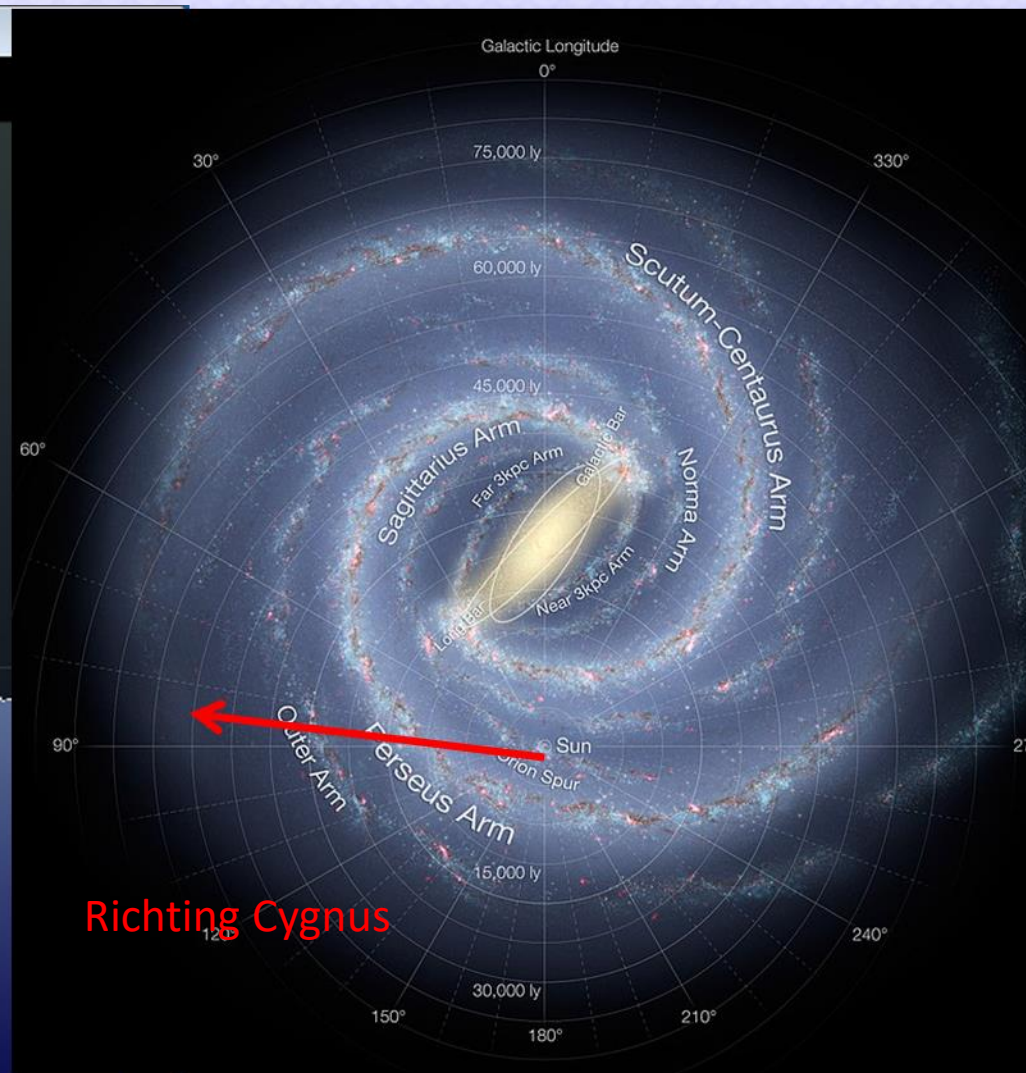
Cumulations: 1940000 of: 2010000 Recording time: 97

und!





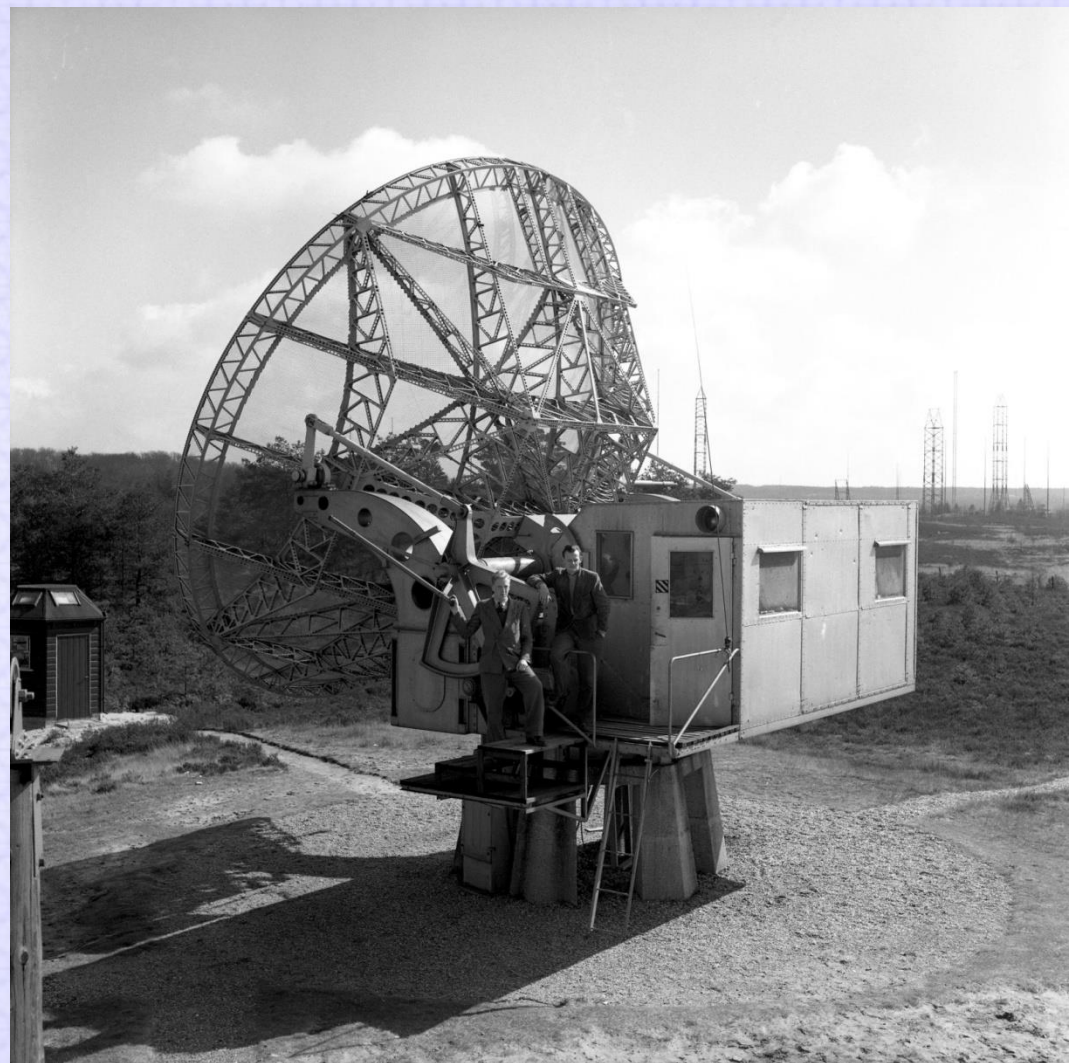
# The Dutch Discovery!





# 1948 - Jan Oort krijgt een radiotelescoop ter beschikking

- Würzburg-Riesen: radar-installaties van de "Atlantikwall".
- Installatie van 15 ton met gaasschotel van 7,5 meter diameter.
- De Würzburg wordt omgebouwd tot radiotelescoop voor astronomisch onderzoek.

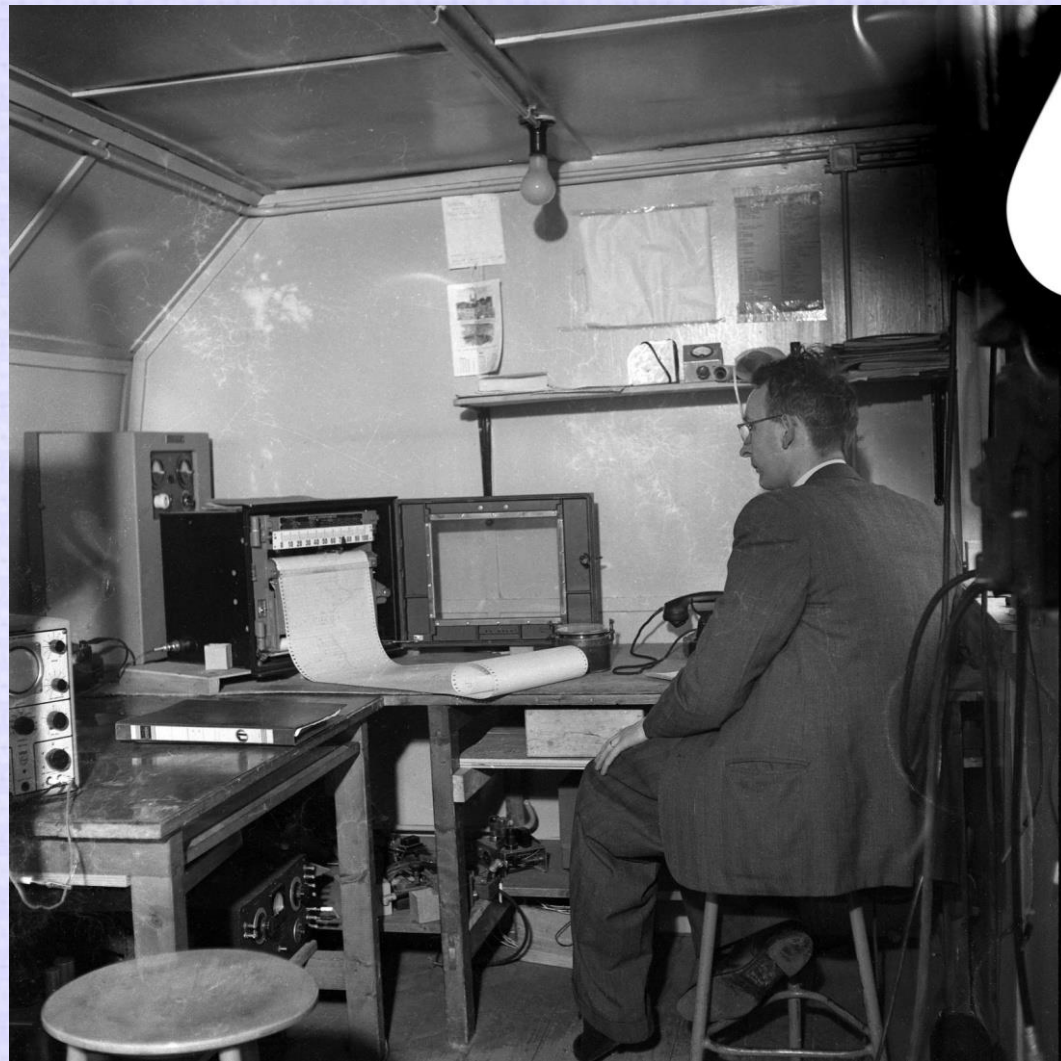






# Lex Muller in de waarneemruimte

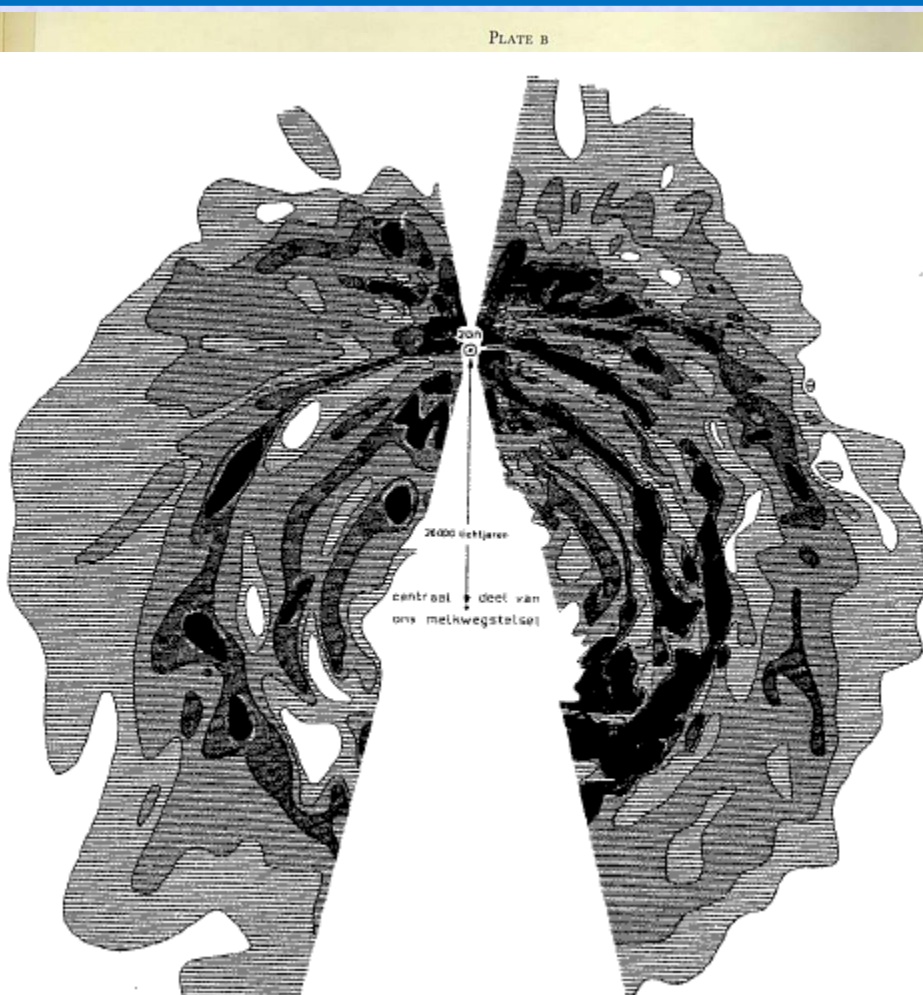
- Na de nodige tegenslagen lukt het de Nederlandse onderzoekers de 21 cm HI lijn voor het eerst op 11 mei 1951 waar te nemen.





# Eerste plattegrond van de Melkweg

(Spiraalarmen van waterstofgas gemeten op 21 cm)



## LEIDEN SPIRAL STRUCTURE

This paper contains a  
emission at 21 cm wave  
quency intervals of abo  
-3°.5' - 5°.5'.  
The distribution in lati  
the same Doppler shift  
angular distributi  
layer between the po  
220 pc for  $R > 3$  kpc.  
tion of the two contrib  
to optical depth. Corr  
hydrogen densities  $n_H$   
Plate B).  
Four or five arms are  
trailing. Further arms

### 1. Introduction.

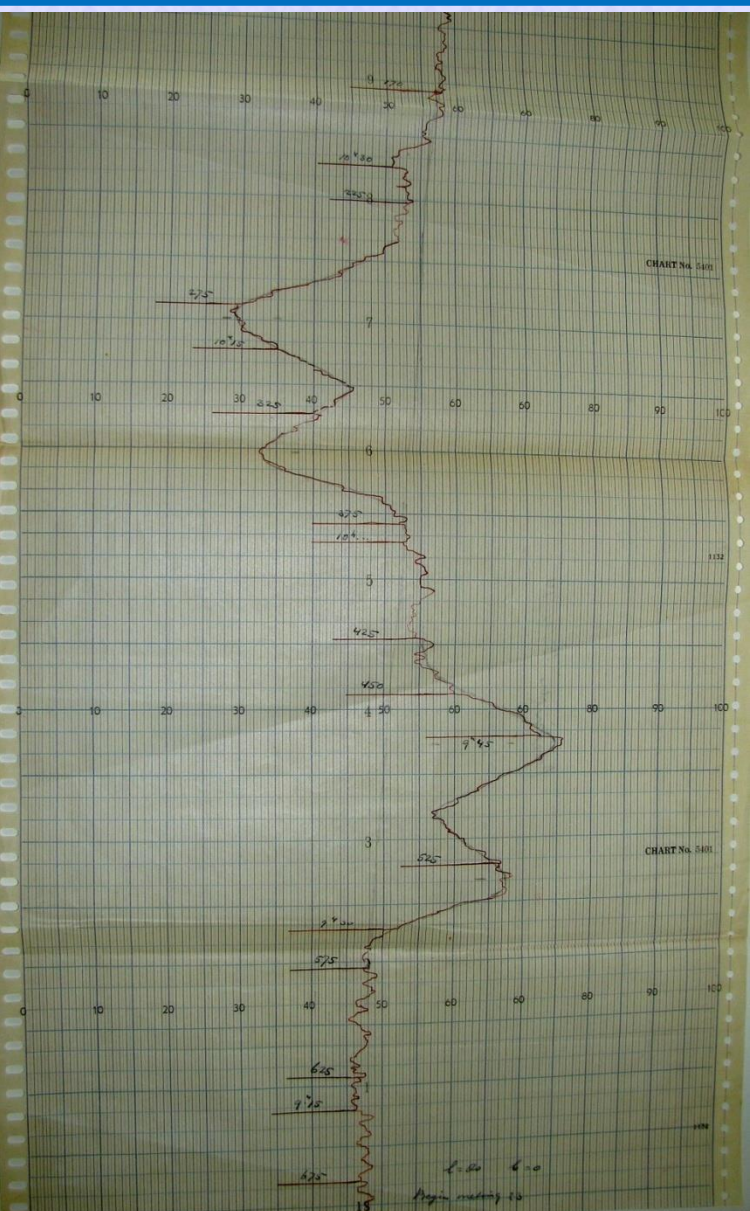
In the present p  
derive the distrib  
inner parts of the  
at 21 cm wave l  
LOHMANN<sup>1)</sup> from  
largely arbitrary. K  
found two secondar  
ties which they att

The main diffic  
hydrogen from 21  
in distance at ea  
velocity of a hydro  
to differential gala  
centre of the Ga  
rotational velocity  
quantities near the  
between the hydr

$$V_g =$$

It is possible to co  
each value of the r  
l. If the angular  
increasing  $R$ , as it  
we may obtain  $R$   
sight contains two  
Therefore, the em  
quency consists of  
separation of these  
investigation by st  
with galactic latitu  
the linear distribu  
the galactic plane  
the line profiles wi

<sup>1)</sup> W. LOHMANN, *Z. f. Astrophys.*  
<sup>2)</sup> K. K. KWEE, *C. A. B. Monographs*,  
12, 211 (No. 458), 1957

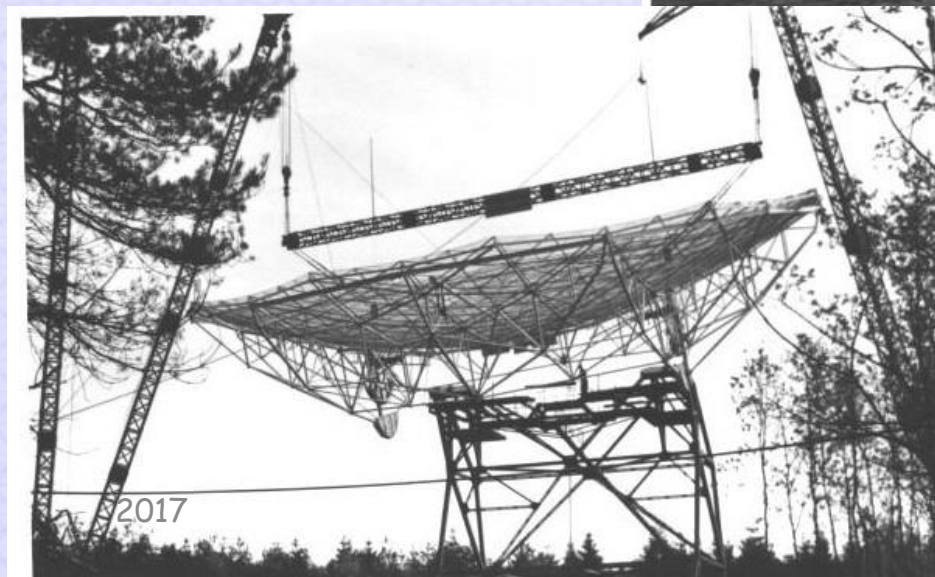


Eerste kaart van de Melkweg (1957) gemaakt in Radio Kootwijk met een Würzburg antenne uit de Atlantikwal



# Constructie en opening van de Dwingeloo Radiotelescoop

- 120 ton staal
- 25 m diameter
- 12 m brandpuntsafstand
- 540 m<sup>2</sup> gaasoppervlak





# Computers voor offline datareductie kwamen pas na 1960



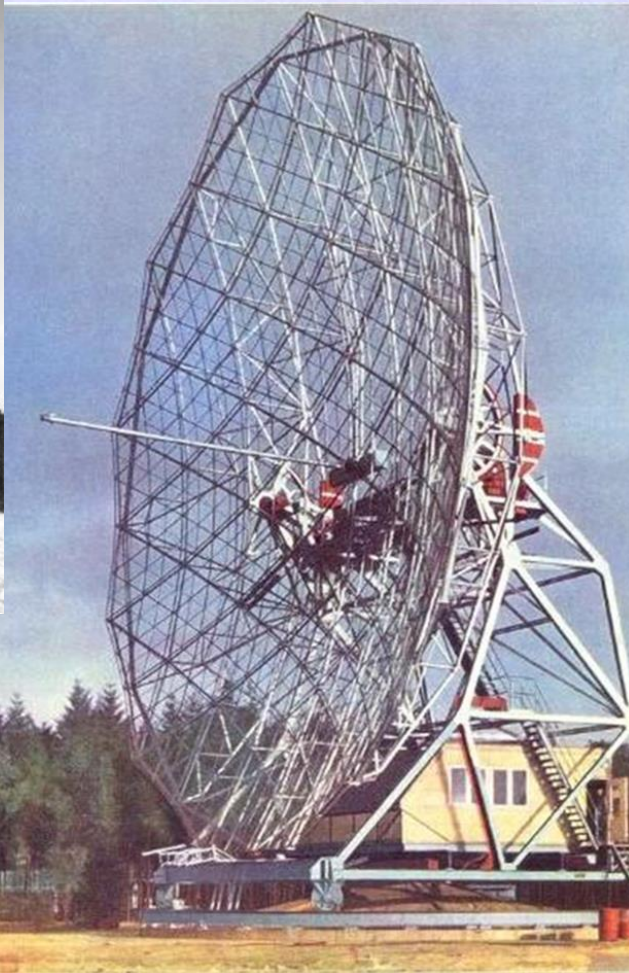


# Computers voor instellen en volgen kwamen pas na 1970





# In 1955 een 'vlaggenmast' snel met driepoot en na 1970 met 4 poten



- Meer ruimte voor versterkers dan in de vlaggenmastantenne.
- Er kunnen nu ook gekoelde versterkers in de focusbox.



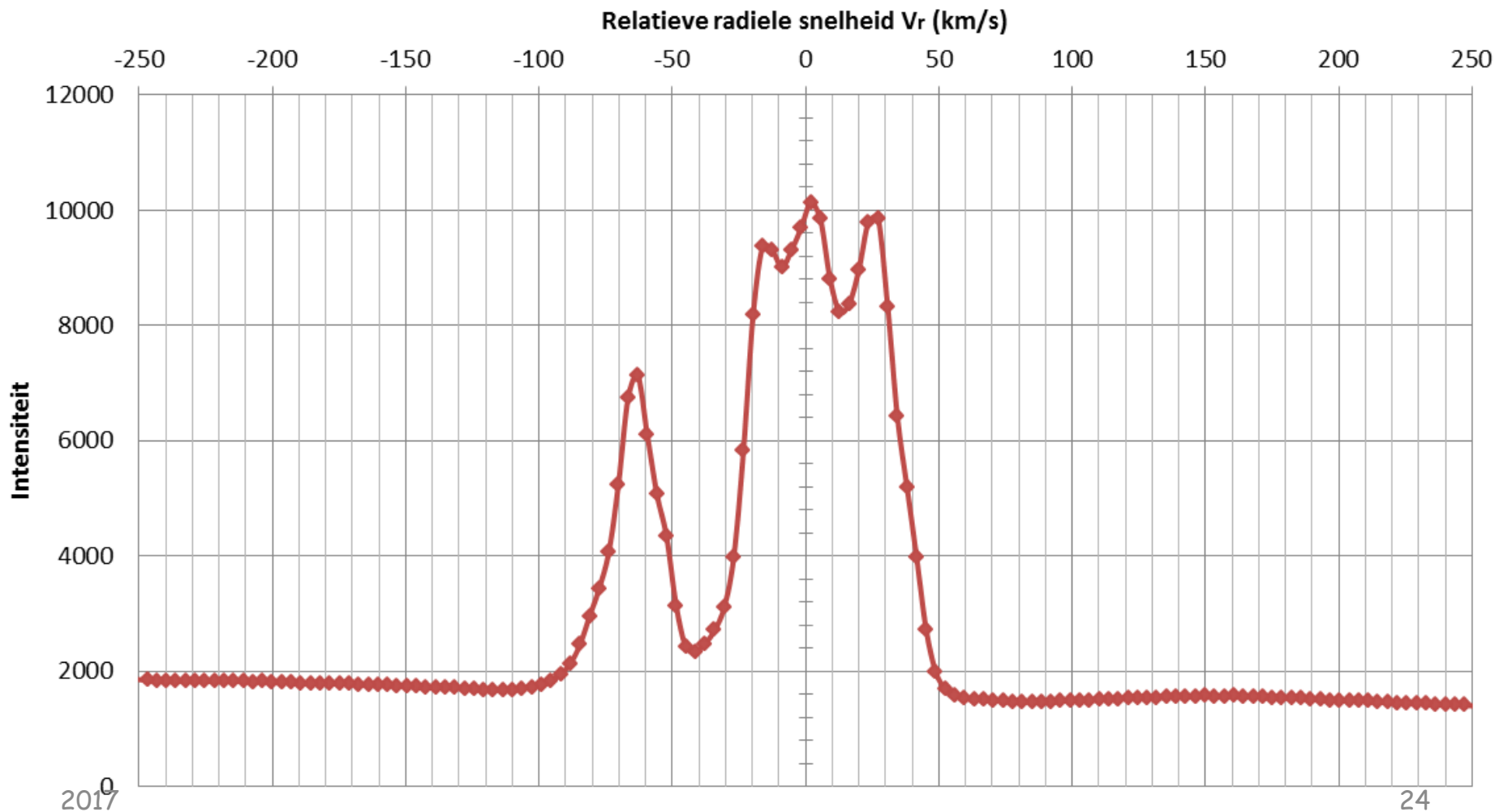
# Hoe scherp "ziet" een 25 m radiotelescoop ?





# Voorbeeld van meting ( $l = 60^\circ$ , $Q = 1$ ) Dopplerverschuiving al omgerekend in snelheden

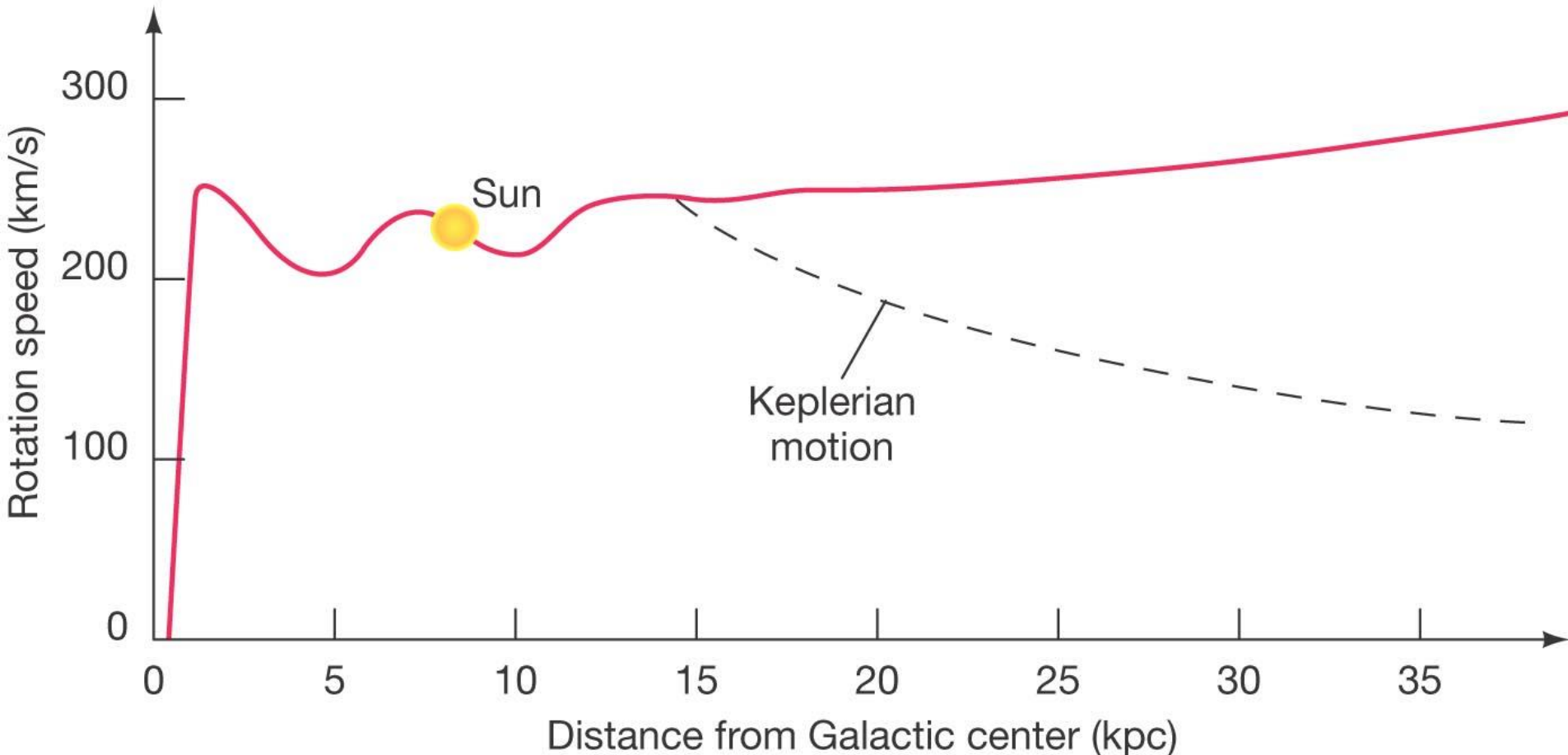
## 21 cm waterstoflijn snelheidsprofiel 1







# Een bijzondere waarneming!

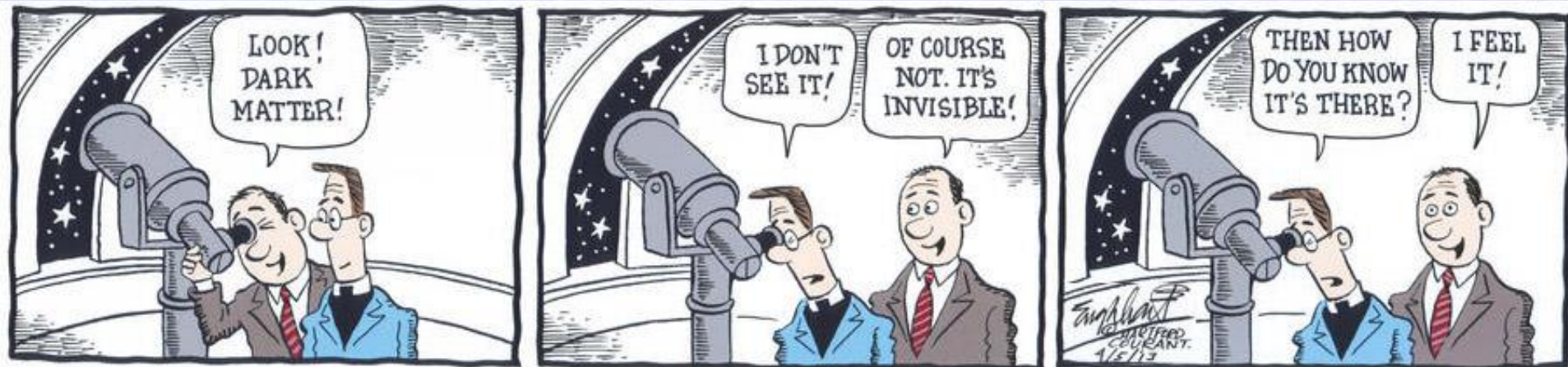


Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

Uit waarnemingen blijkt dat  $V_{r,max}$  constant is en niet volgens de wetten van Kepler afneemt. Verklaring ... ?

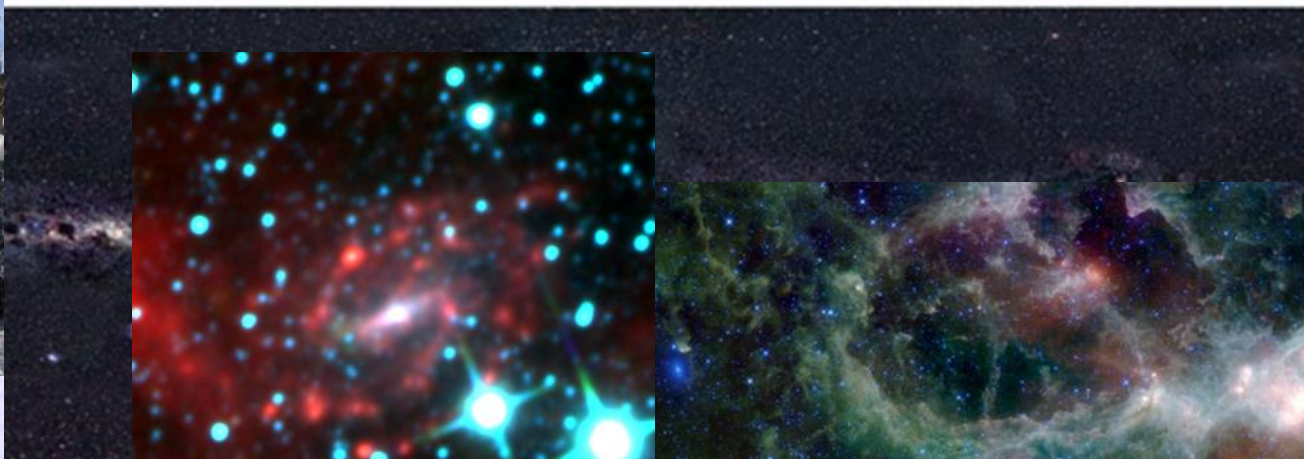
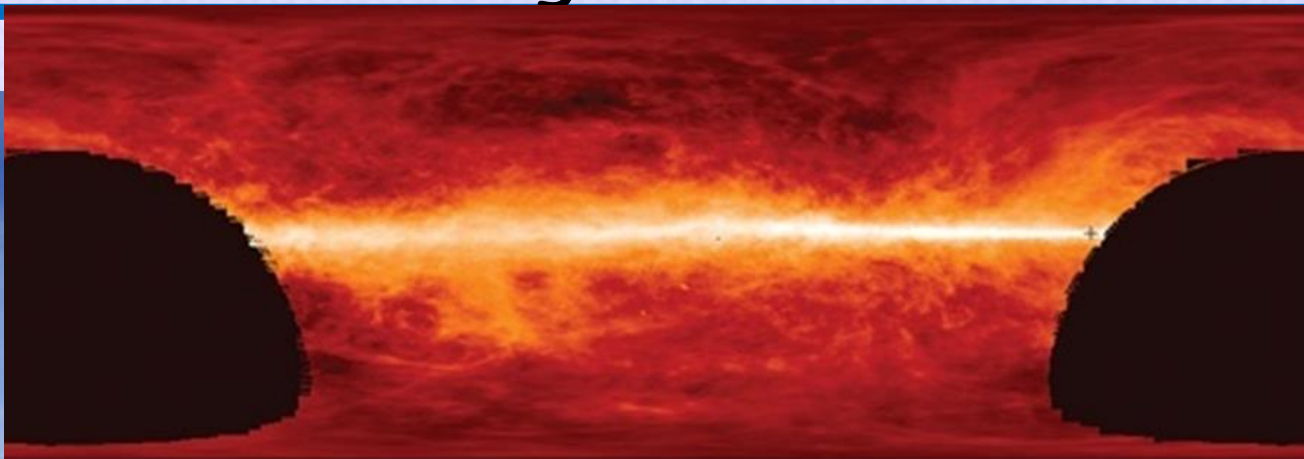


# Verklaring !





# Laatste atlas van de Melkweg op 21 cm gemaakt in Dwingeloo in 1997



**Ontdekking van  
twee kleine melkwegstelsels  
Dwingeloo I en II  
(10 miljoen lichtjaar weg)**

# Informatie

[www.camras.nl](http://www.camras.nl)

[info@camras.nl](mailto:info@camras.nl)



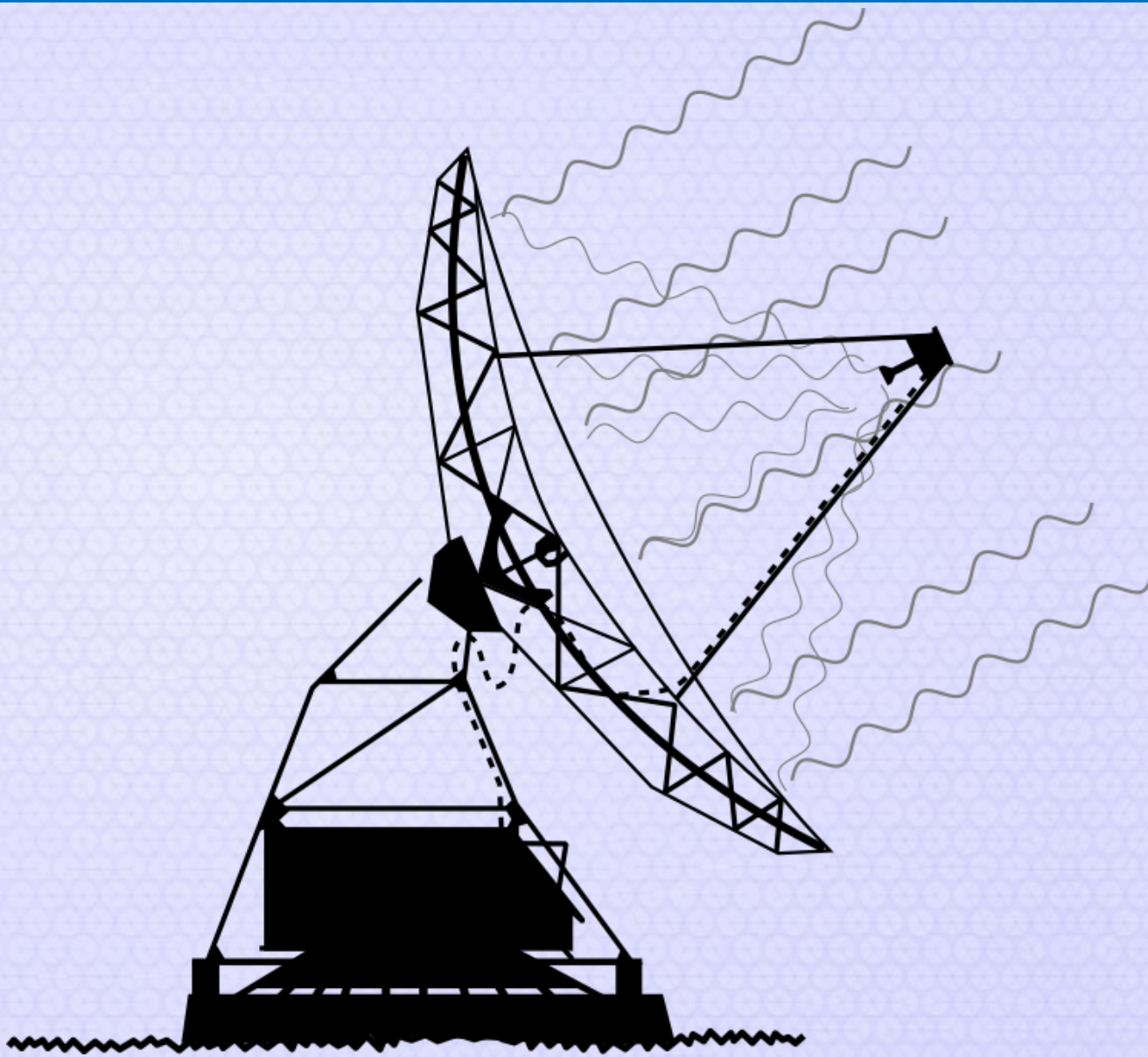


# DETAILLERING

- Volgende slides geven detail over de diverse gepresenteerde onderwerpen



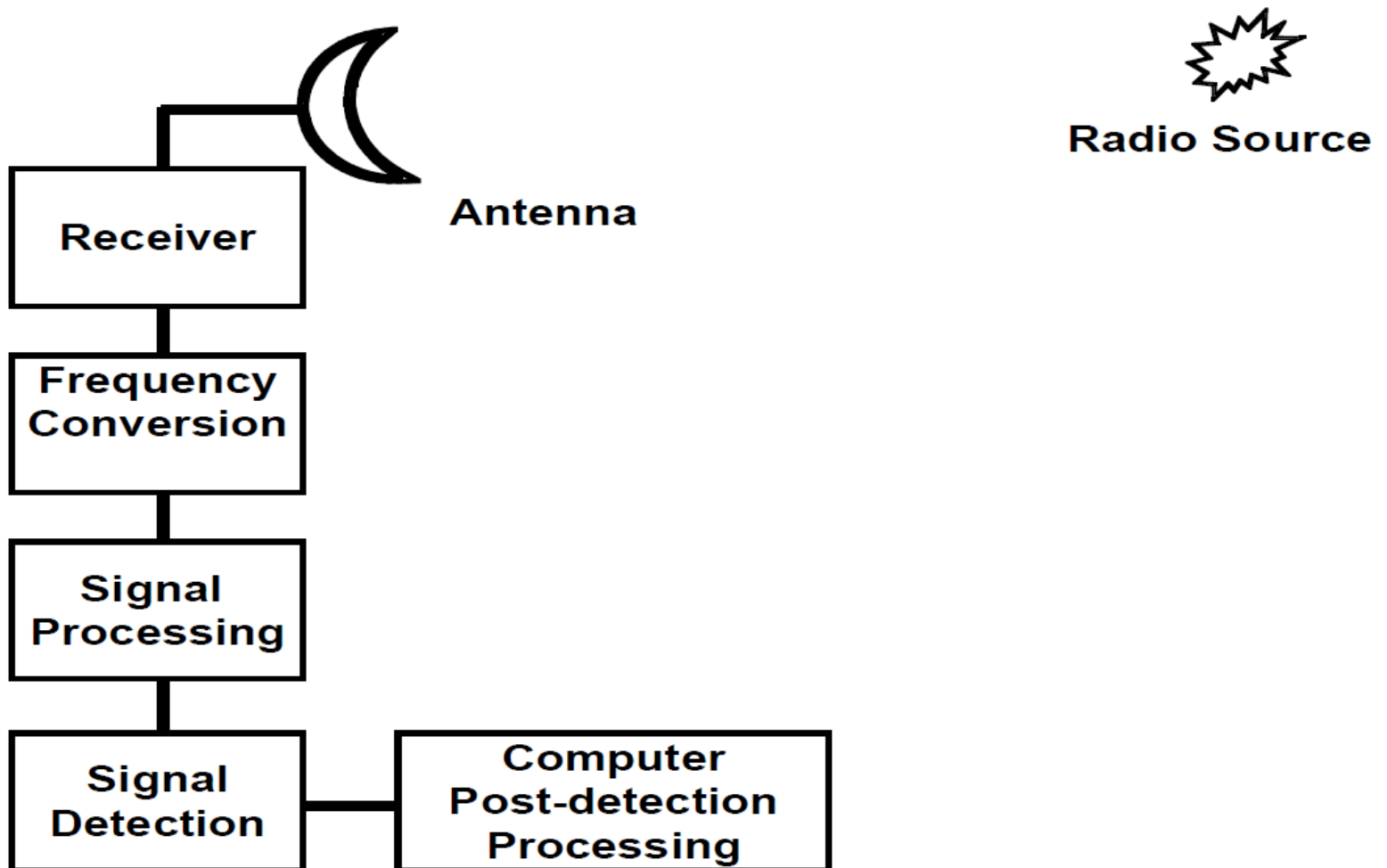
# Hoe werkt een radiotelescoop ?





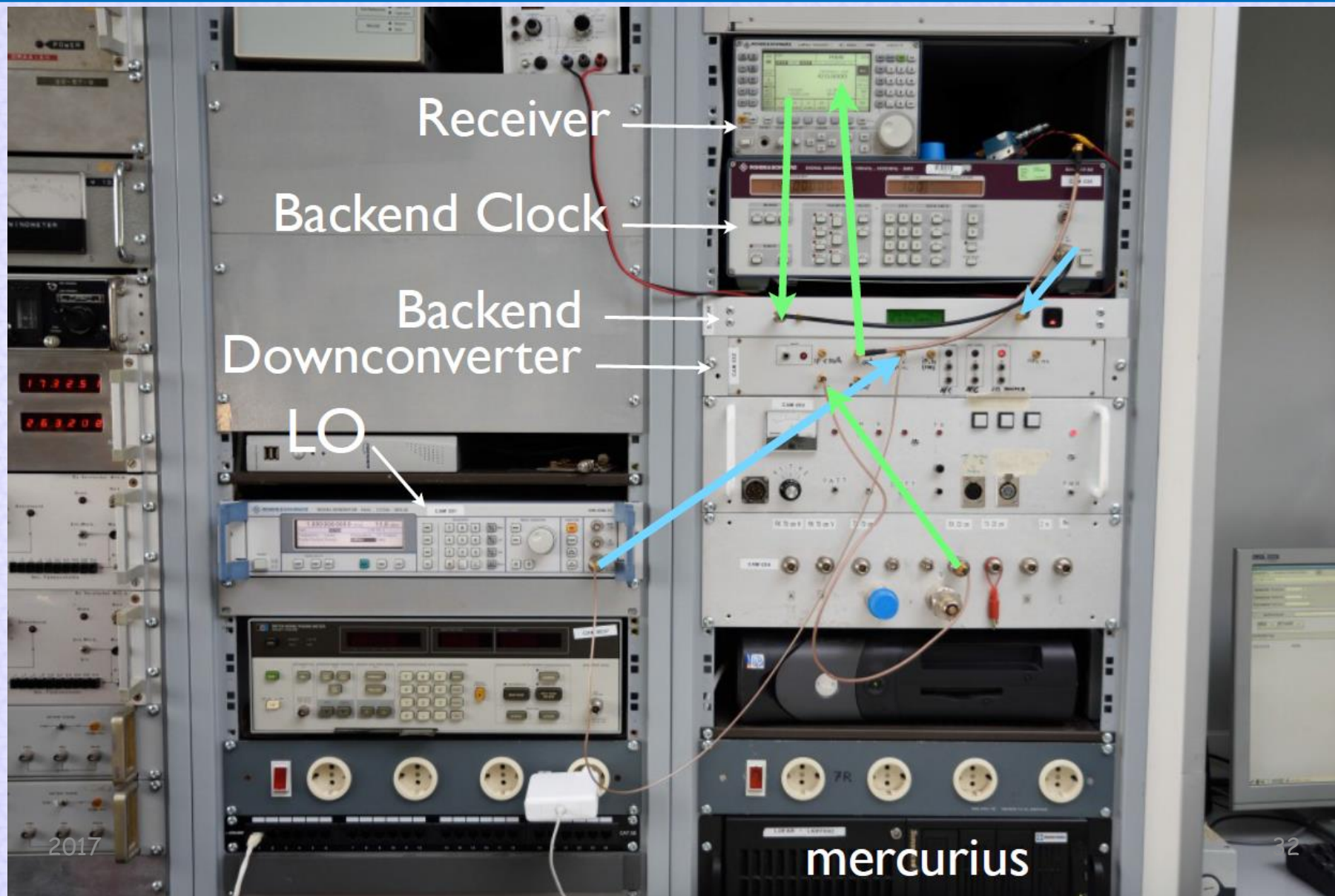
# Ontvanger (1)

## Radio Telescope Block Diagram





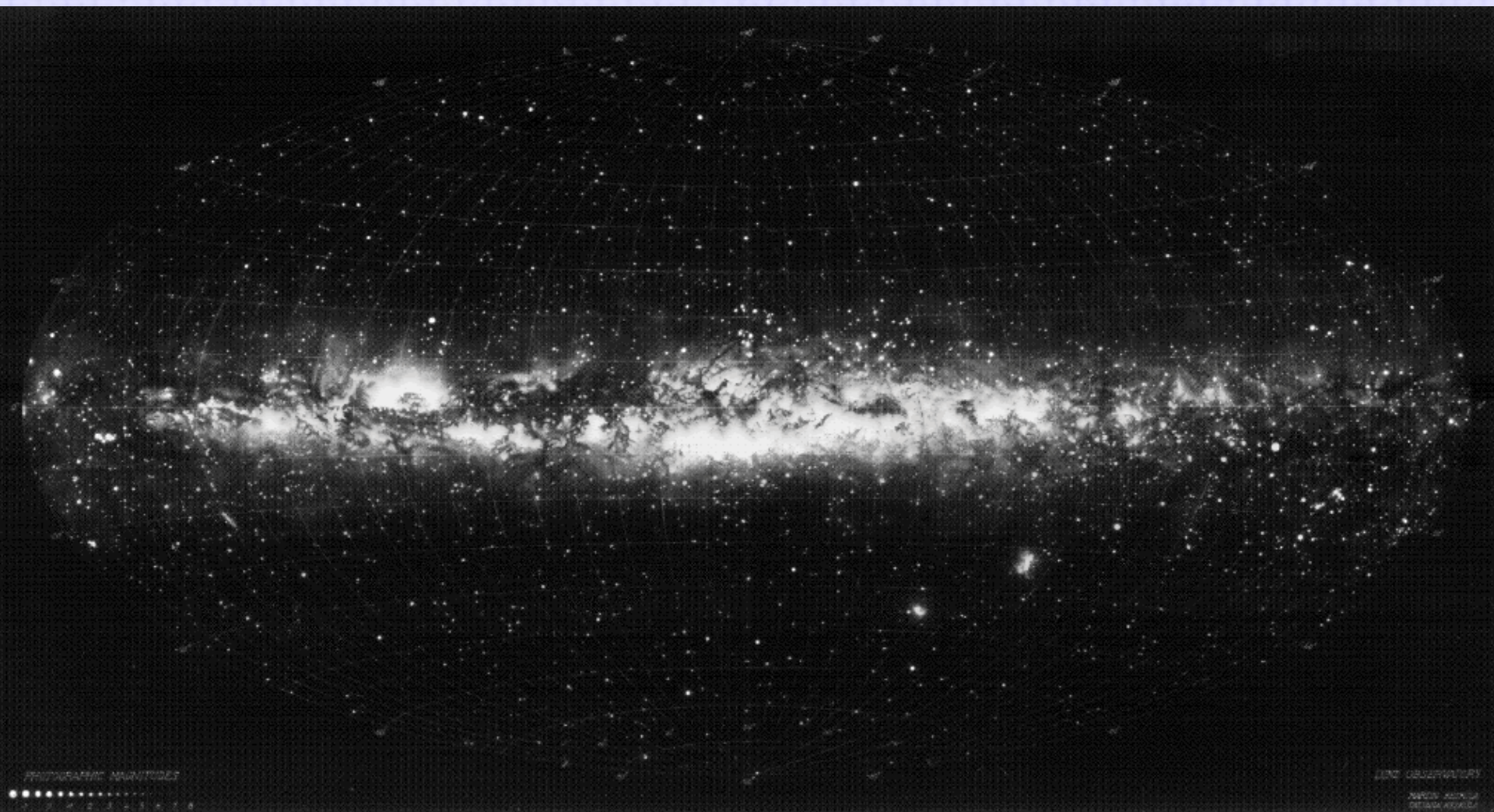
# Ontvanger (2)







# Beeld van de Melkweg midden 19<sup>de</sup> eeuw (schildering in Lund Sterrenwacht)



PHOTOGRAPHIC MAGNITUDES

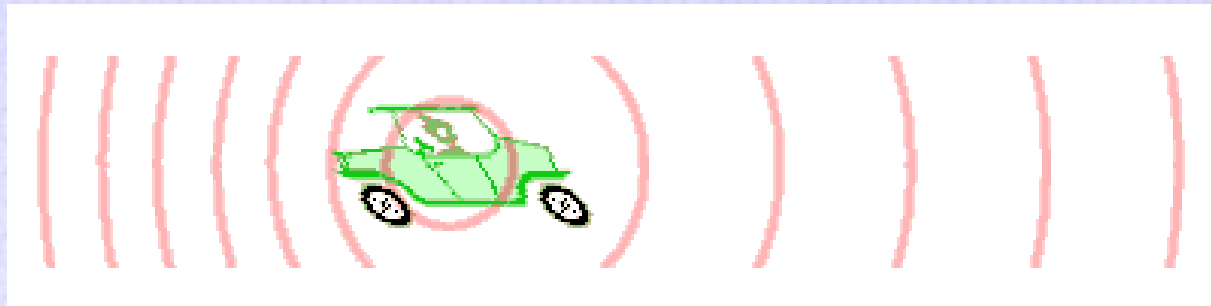
LUND OBSERVATORY

SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



# Dopplereffect

geldt ook voor 21 cm radiogolven waterstofwolk



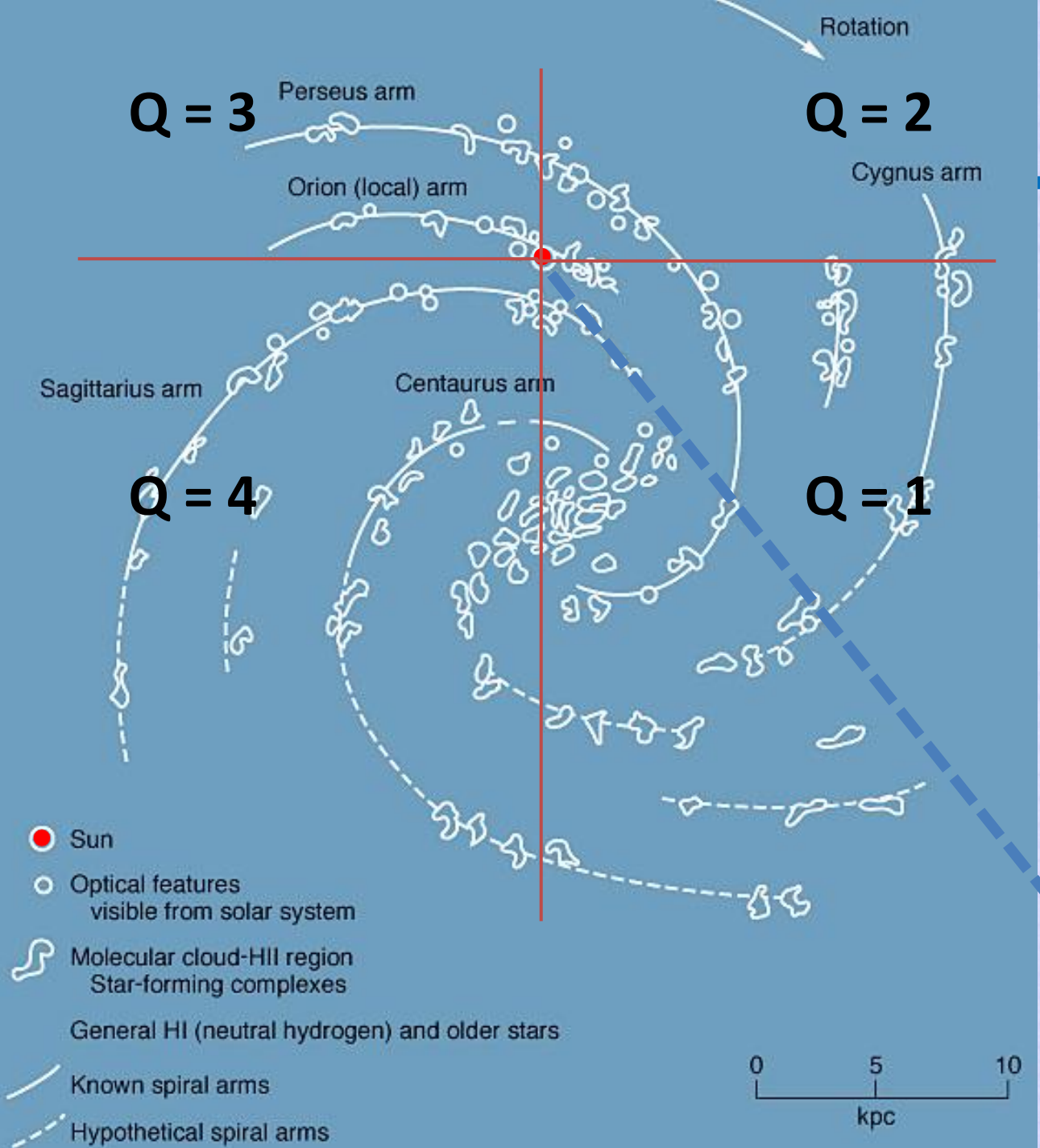
$$f_w = f_b \left( \frac{v}{v - v_b} \right)$$

$$f_w = f_b \left( \frac{v}{v + v_b} \right)$$

- $f_b$  = frequentie bron
- $f_w$  = frequentie voor waarnemer W
- $v_b$  = snelheid bron ("- " naar W toe / "+ " van W weg)
- $v$  = snelheid golf



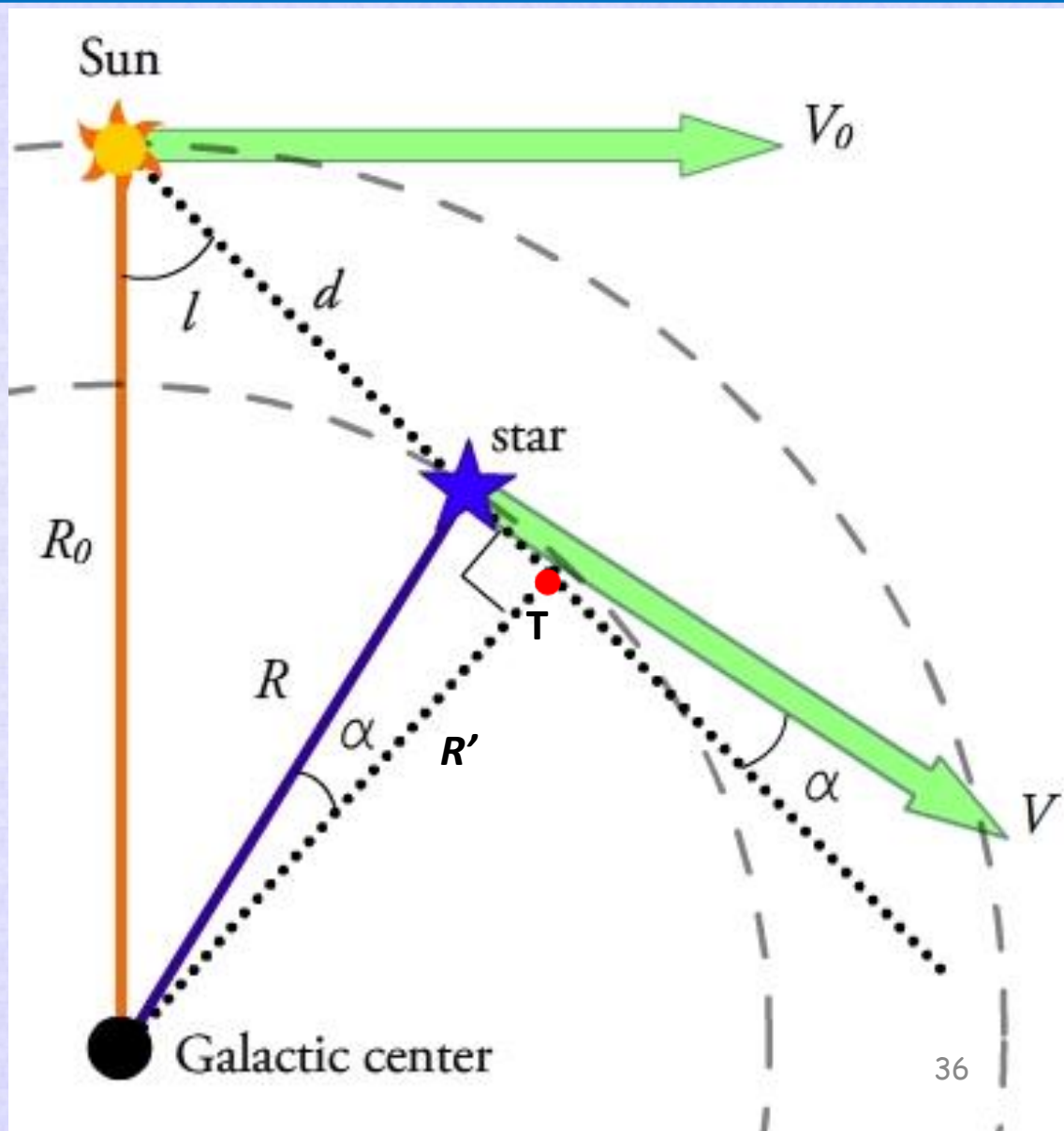
# Huidig beeld van de Melkweg





# Rotatiemodel van de Melkweg

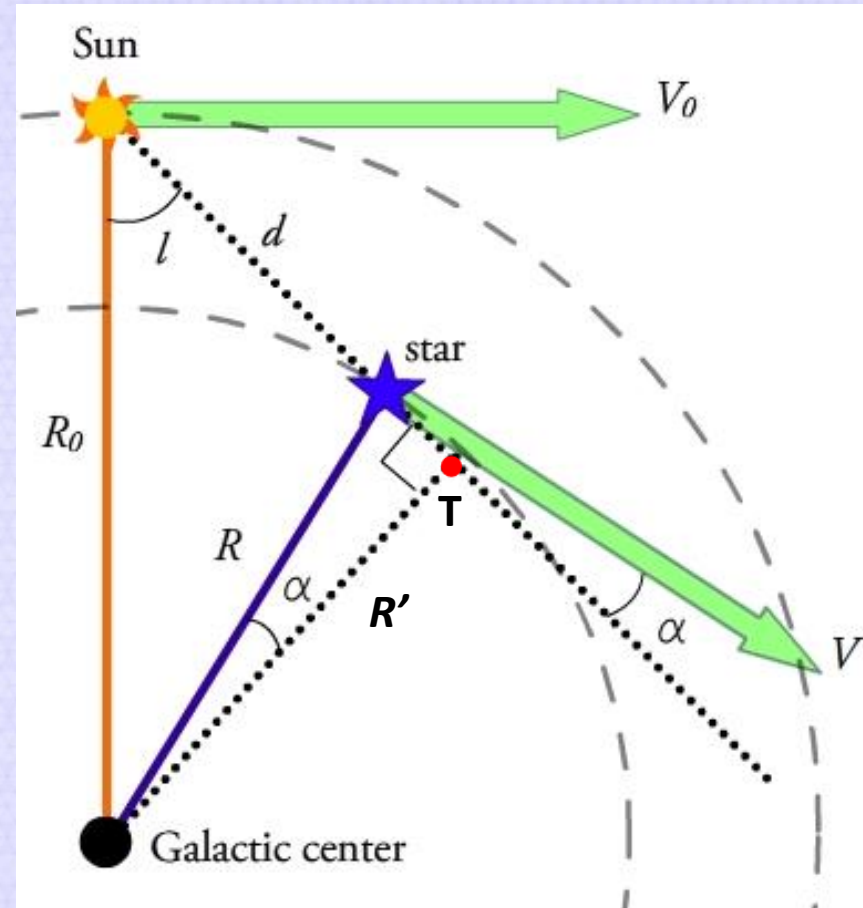
- $V_0 =$ 
  - snelheid zon rond Melkwegcentrum
  - 220 km/s
- $R_0 =$ 
  - afstand zon tot Melkwegcentrum
  - 8,5 kpc
  - $8,5 \times 3,26 \times 10^3$  lj =
  - $\approx 28.000$  lj
- Ster (H-wolk)
  - $V, R, d$  (afstand) en  $l$  (galactische lengte)
- $R' =$  loodlijn op gezichtslijn
- $T^{2017} =$  snijpunt twee lijnen





# Oort's wens : snelheid waterstofwolken meten op 21 cm en $V$ en $R$ bepalen

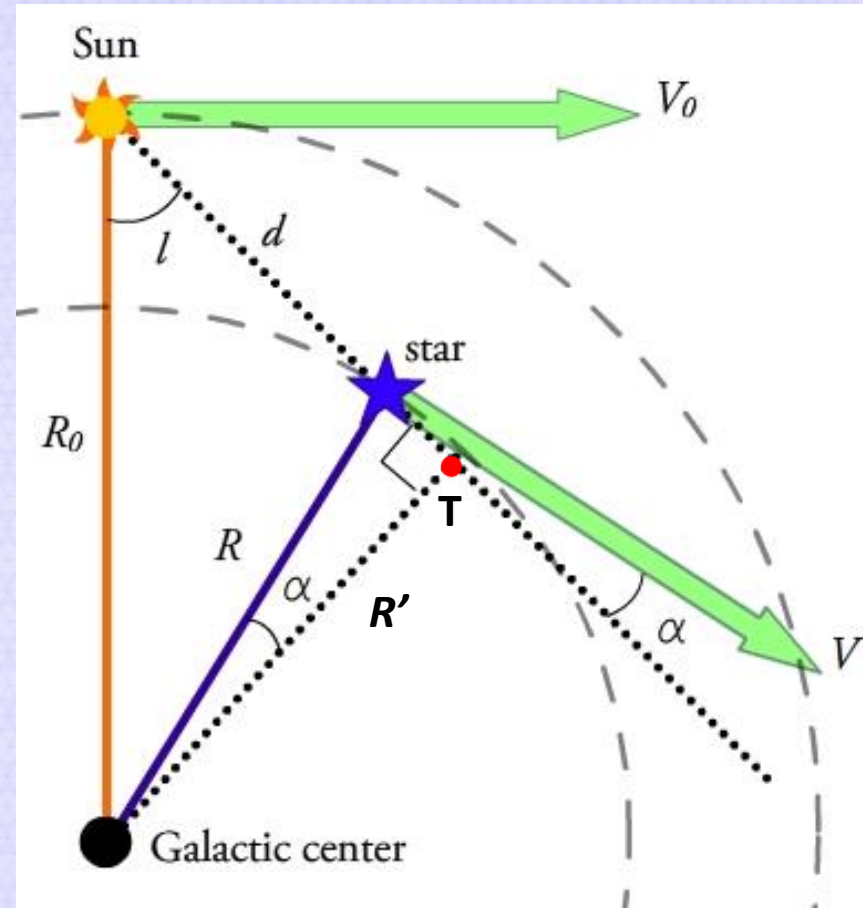
- $V_r$  relative snelheid langs de gezichtslijn
  - Afleiden:
- $$V_r = V \frac{R_0}{R} \sin l - V_0 \sin l$$
- Dat is één vergelijking met twee onbekenden:  $V$  en  $R$





# 1<sup>ste</sup> aanname : rotatie volgens Kepler op grotere afstand langzamere rotatiesnelheid

- In punt T ( $\alpha=0^\circ$ ) is de relatieve snelheid van ster (of H-wolk) langs de gezichtslijn maximaal  $V_{r,max}$
- Dat geldt in Q = 1 en 4
- Afleiden:
- $V_{r,max} = V - V_0 \sin l$
- Dat is één vergelijking met een onbekende: V

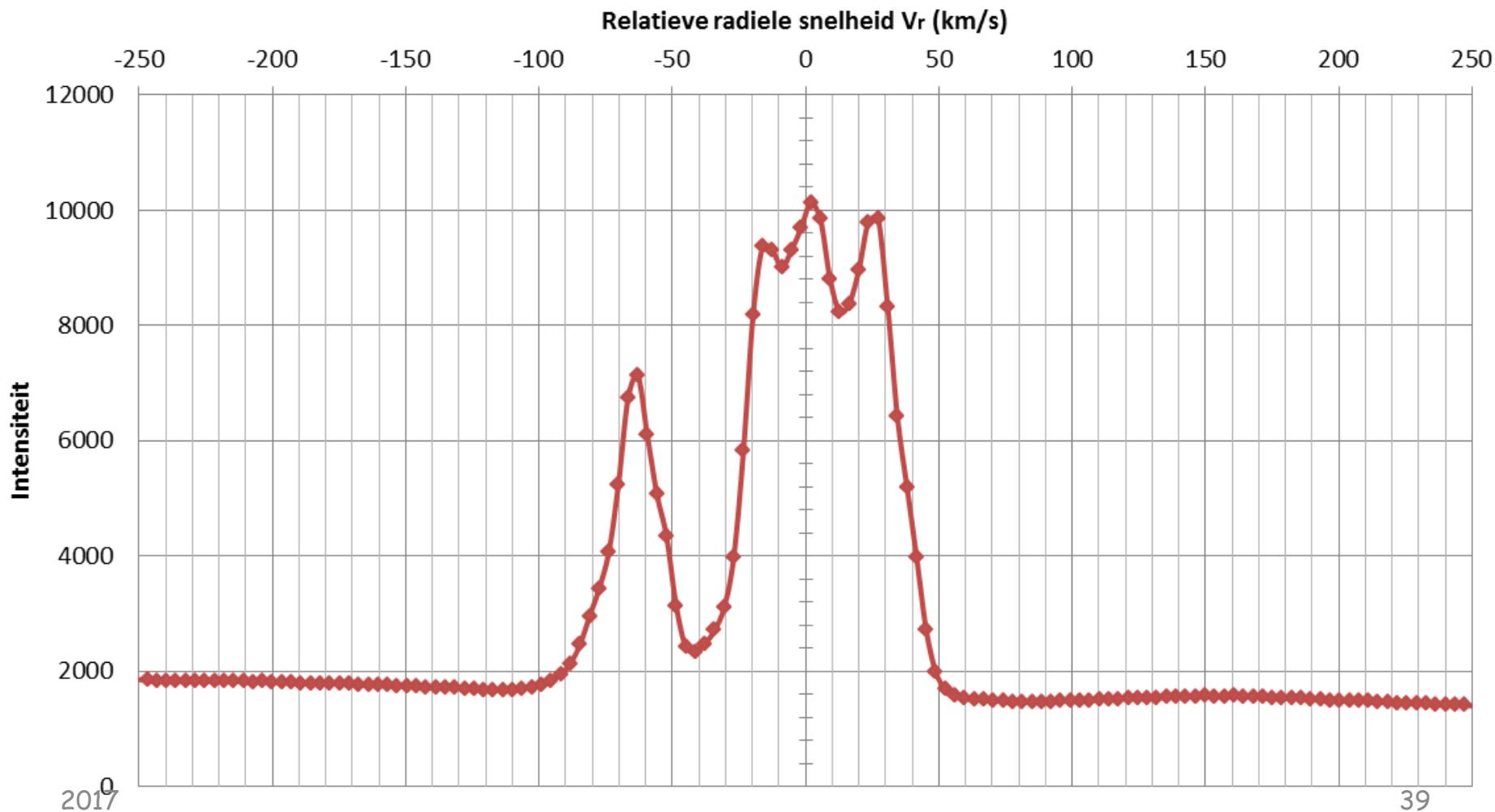




# Voorbeeld van meting ( $l = 60^\circ$ , $Q = 1$ )

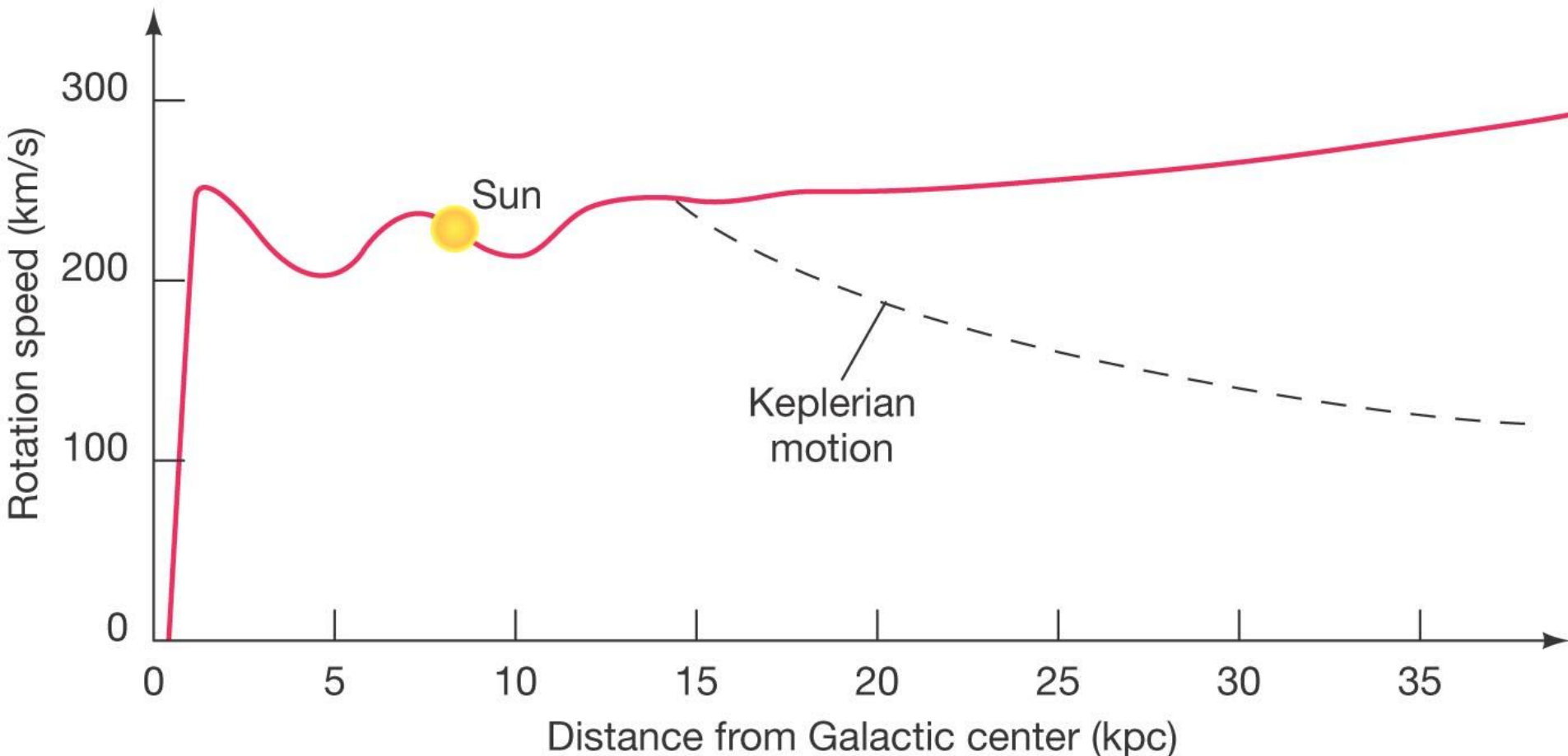
## Dopplerverschuiving al omgerekend in snelheden

### 21 cm waterstoflijn snelheidsprofiel 1





# Een bijzondere waarneming!



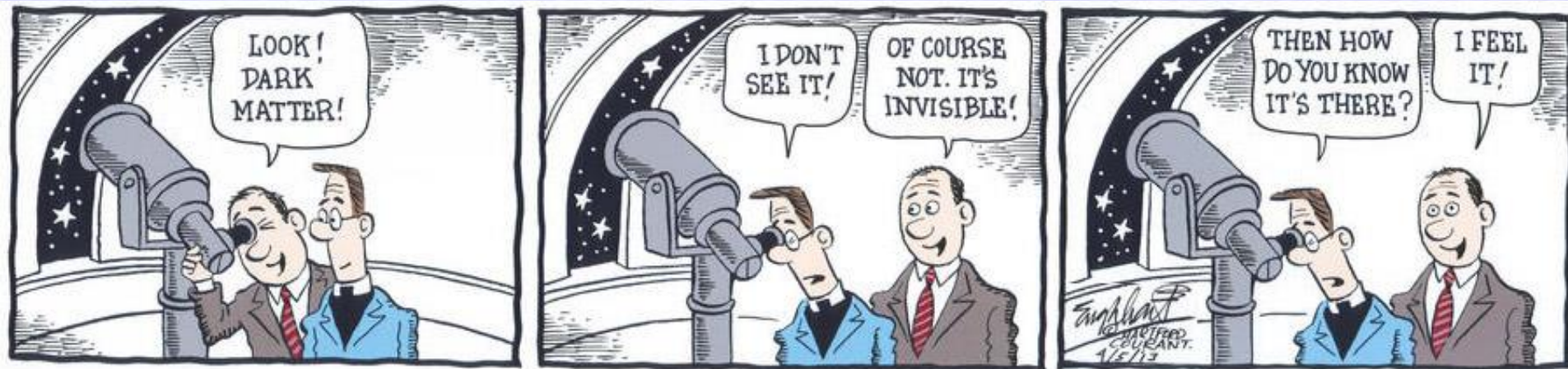
Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

Uit waarnemingen blijkt dat  $V_{r,max}$  constant is en niet volgens de wetten van Kepler afneemt. Verklaring ... ?



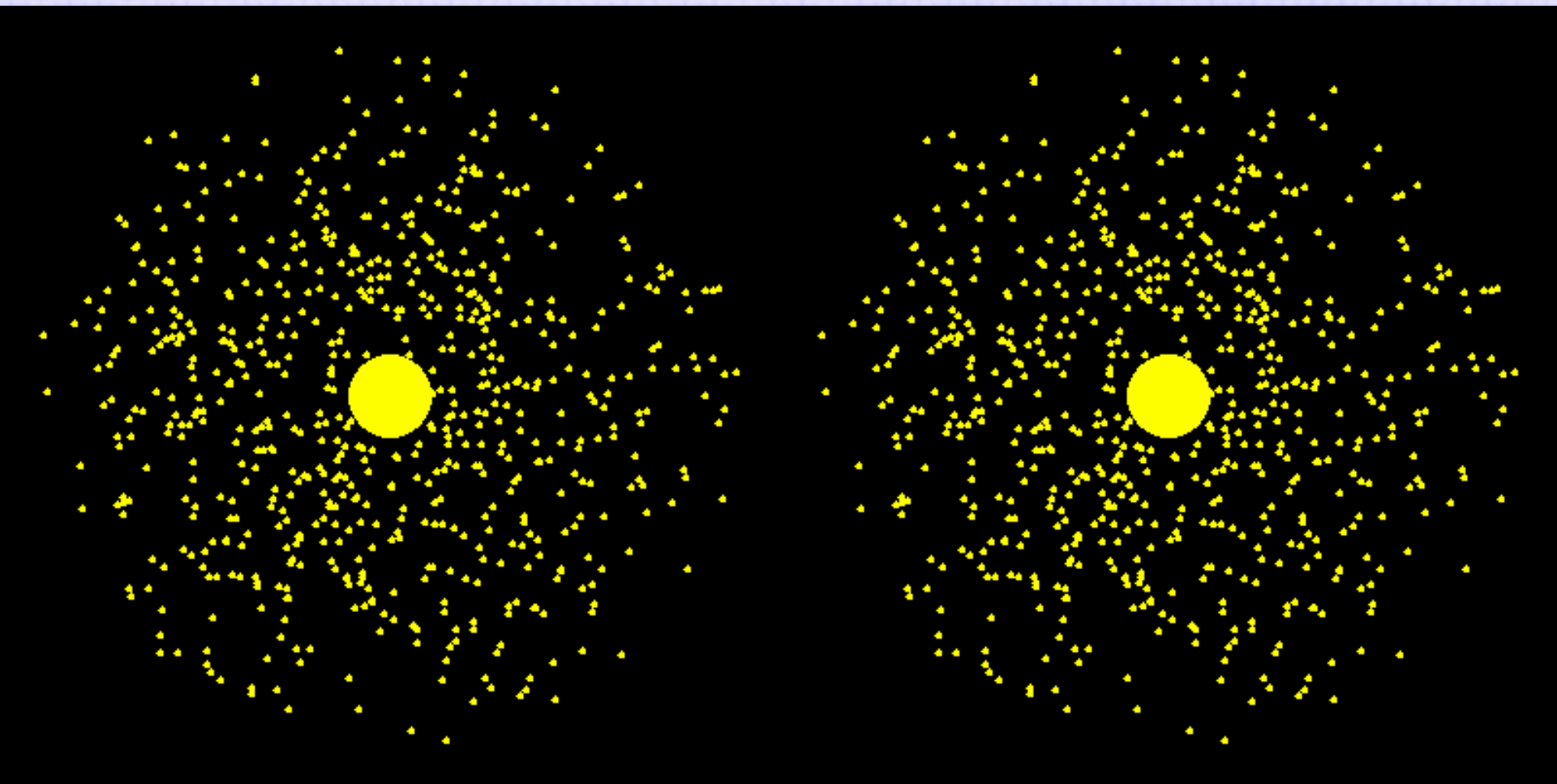


# Verklaring !





# Er zit "onzichtbare" massa in de Melkweg



Links: rotatie van Melkweg als alle massa in sterren zou zitten.  
Rechts: de werkelijke rotatie met constante snelheid.



# Uit gemeten $V_r$ en $l$ van iedere H-wolk $R$ , $d$ en $(x,y)$ -coördinaten berekenen

- Op basis van aanname  
 $V_{\text{iedere } R} = \text{constant} = V_0$   
verder afleiden:

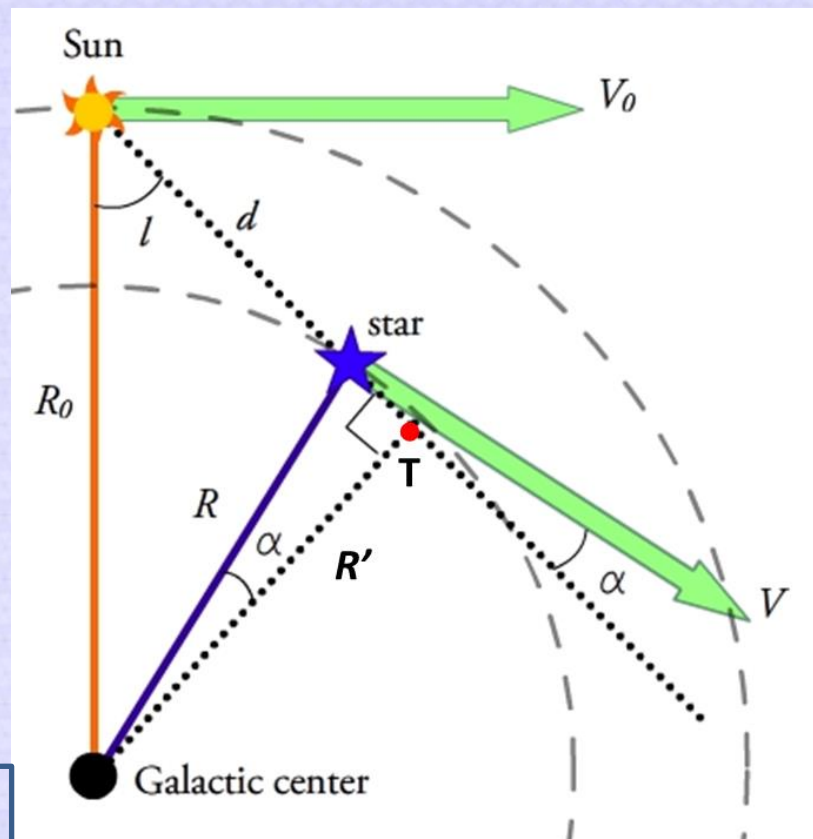
$$R = \frac{R_0 V_0 \sin l}{V_r + V_0 \sin l}$$

- Dat is één vergelijking met één onbekende:  $R$ .
- En verder afleiden:

$$d = R_0 \cos l \pm \sqrt{R^2 - R_0^2 \sin^2 l}$$

$$x = d \cos(l - 90^\circ)$$

$$y = d \sin(l - 90^\circ)$$



In kant en klaar spreadsheet worden uit de metingen van  $V_r$  alle  $(x,y)$  berekend en getekend