



# Sterrenstelsels



**prof.dr. Paul Groot**  
**Afdeling Sterrenkunde, IMAPP**  
**Radboud Universiteit Nijmegen**



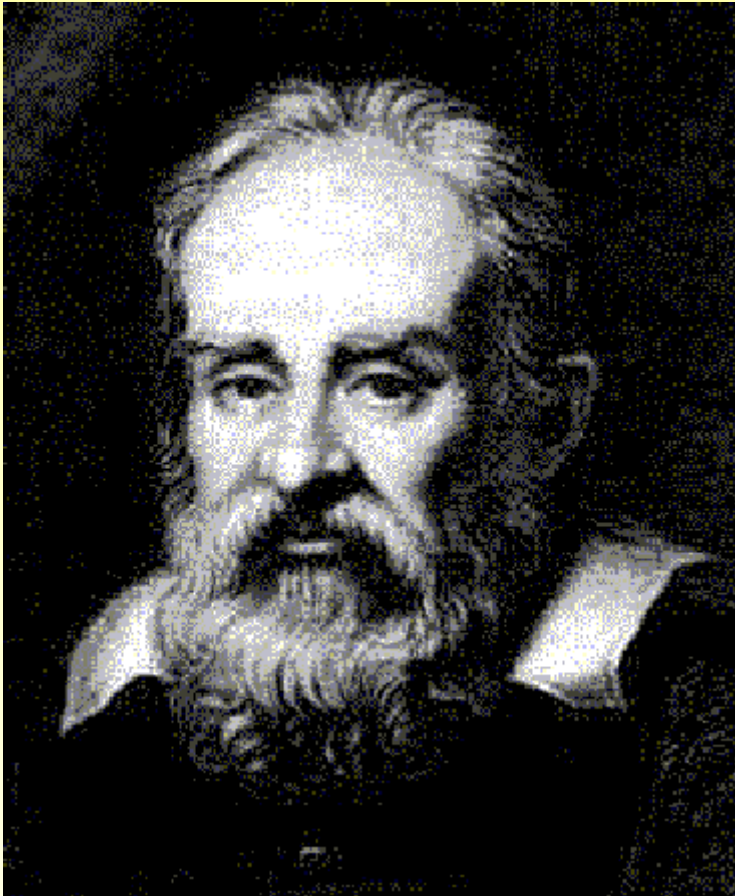
# Sterrenstelsels

- Uur 1: Ons Melkwegstelsel
  - Uur 2: Andere sterrenstelsels
- 





# De Melkweg

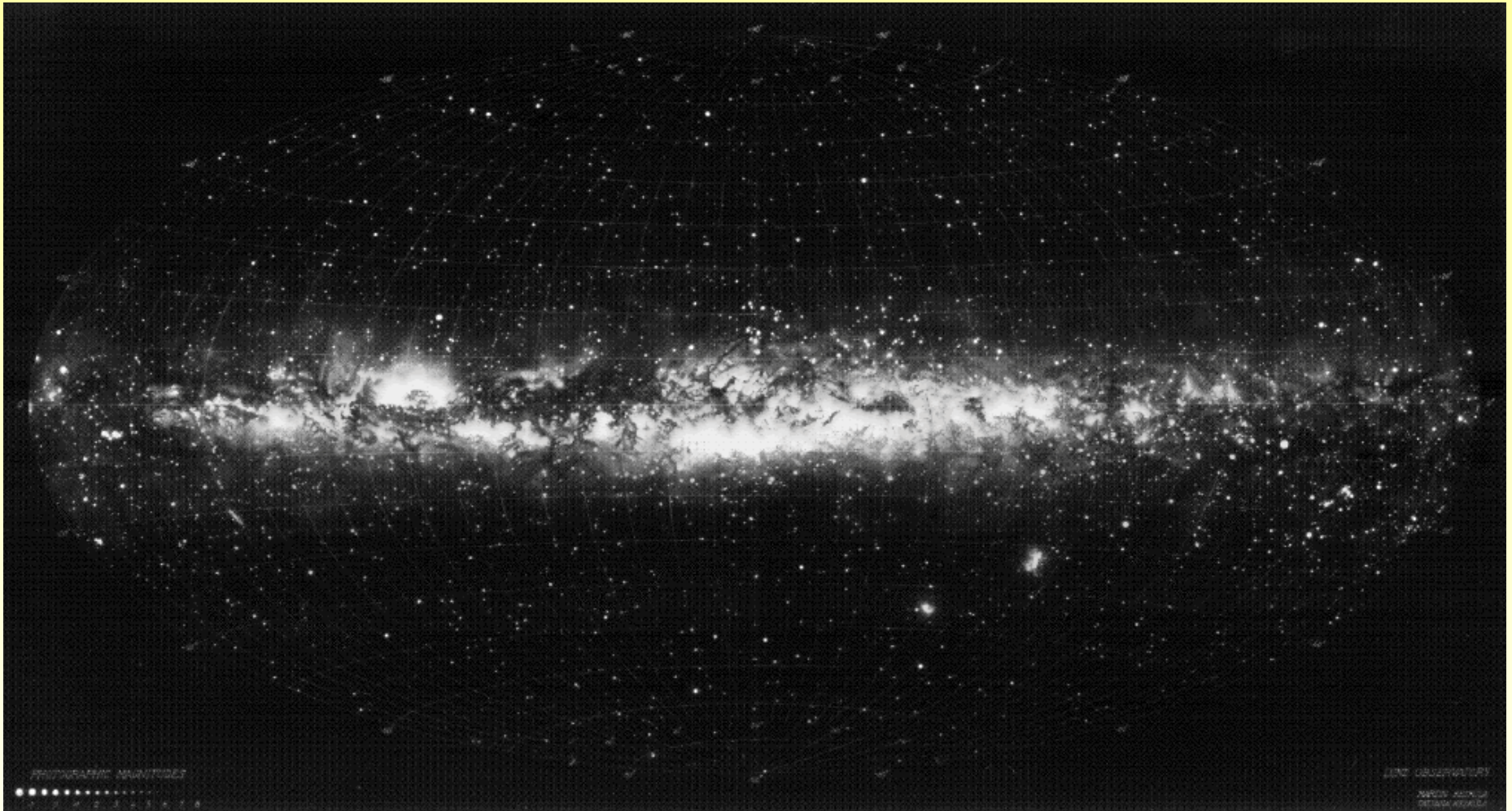


Galileo: Melkweg bestaat uit duizenden sterren





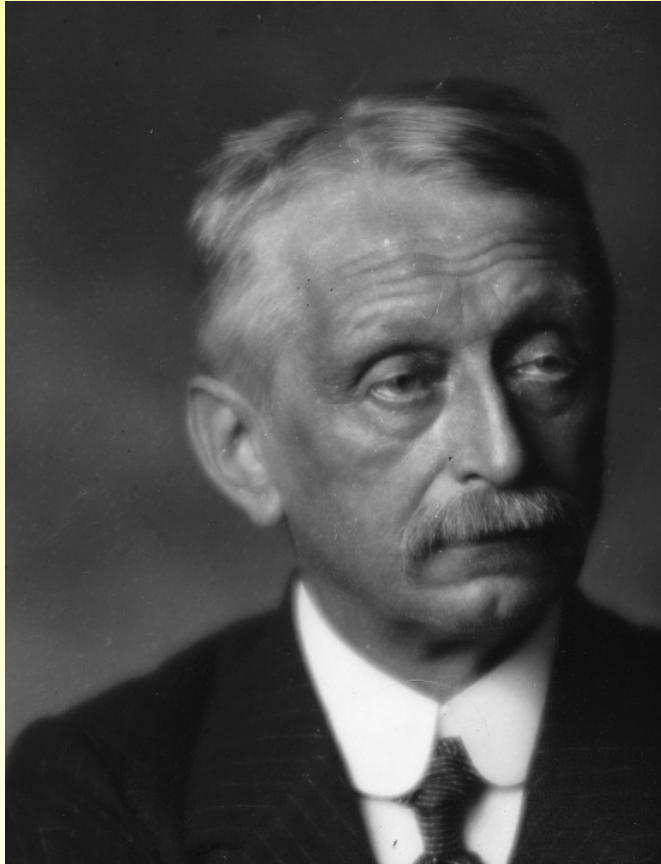
# De Melkweg



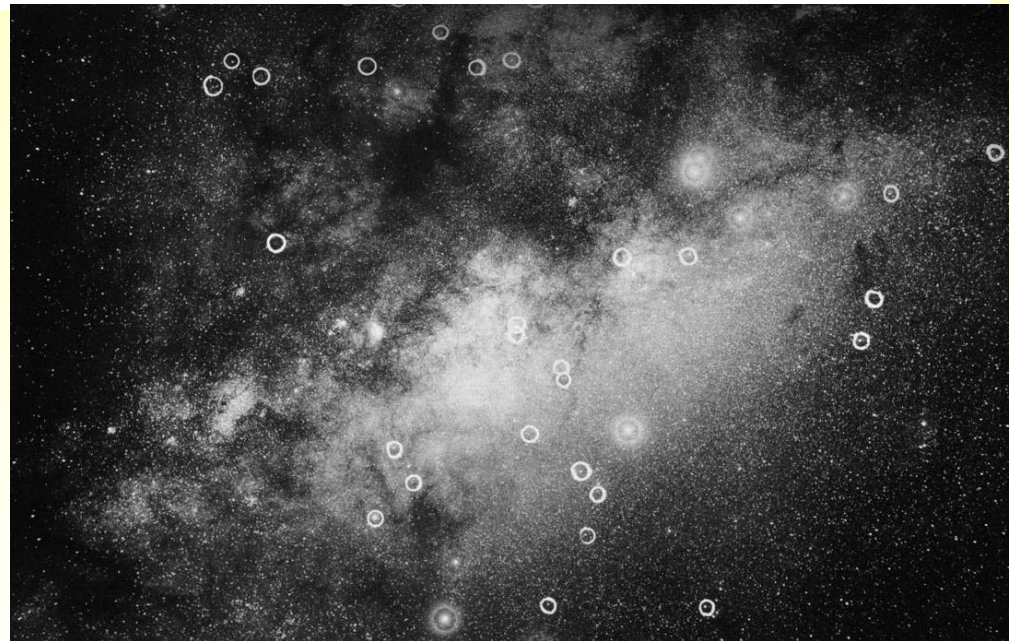
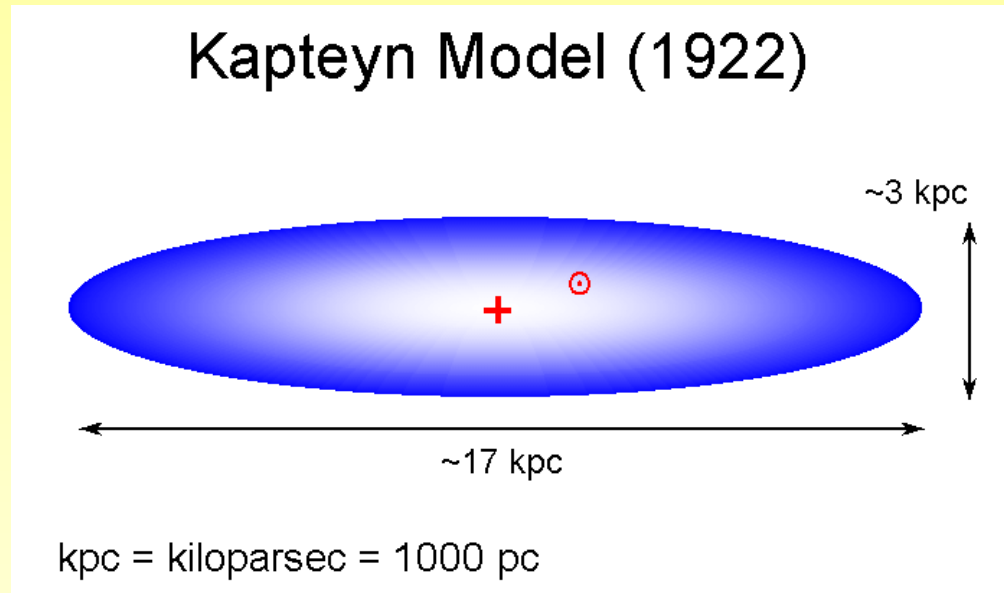
Grootte en omvang van Melkweg lang slecht bekend geweest.



# Kapteyn model



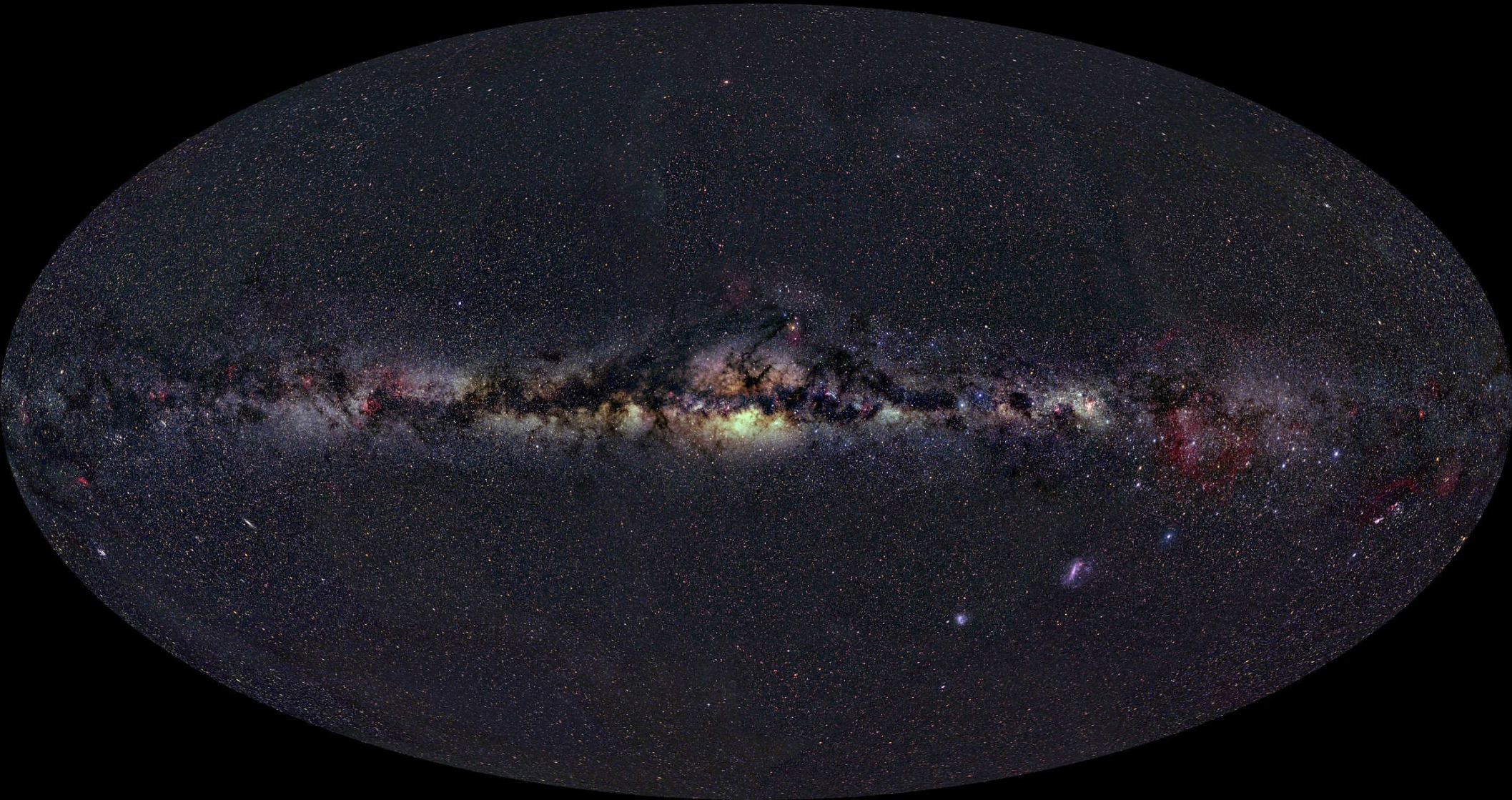
(1851-1922)



# Stof en structuur



# Stof en structuur





# Spiraal armen

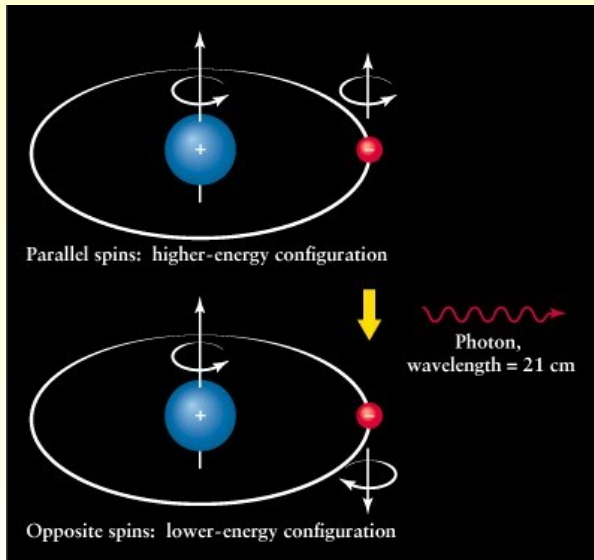
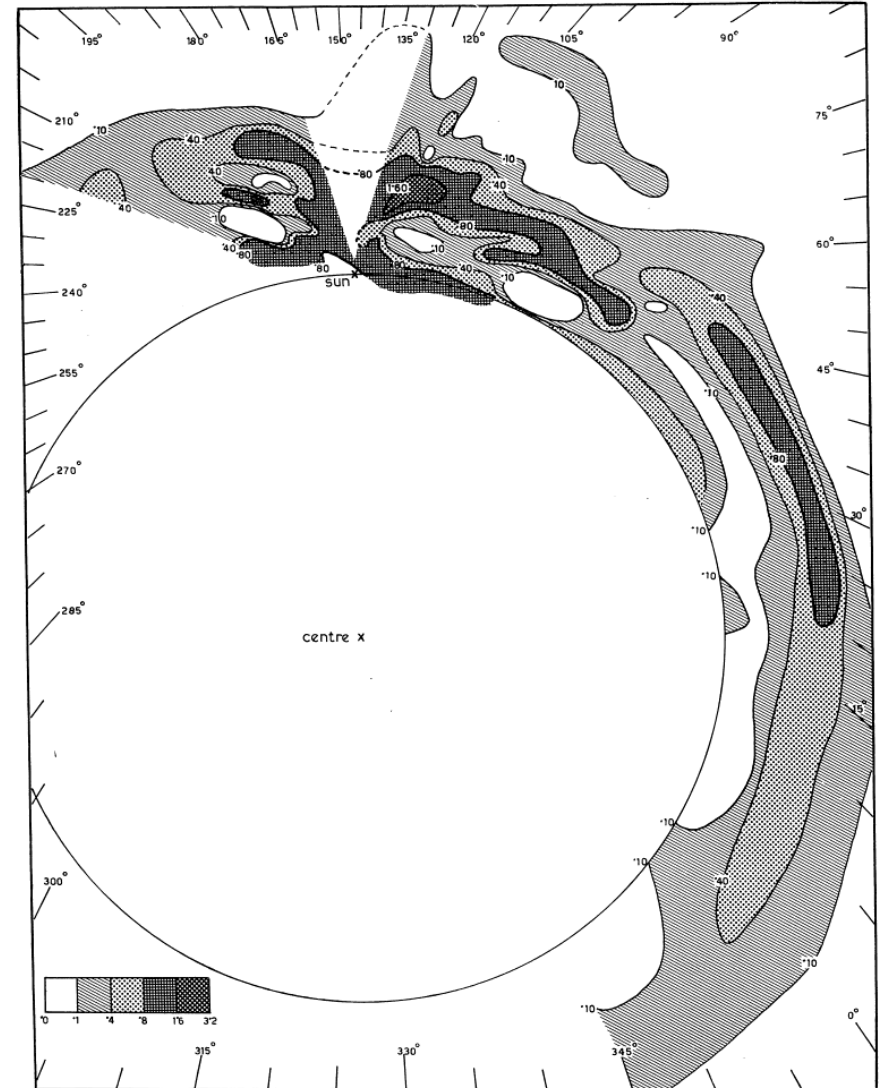


B. A. N. 452

146

LEIDEN

FIGURE 15



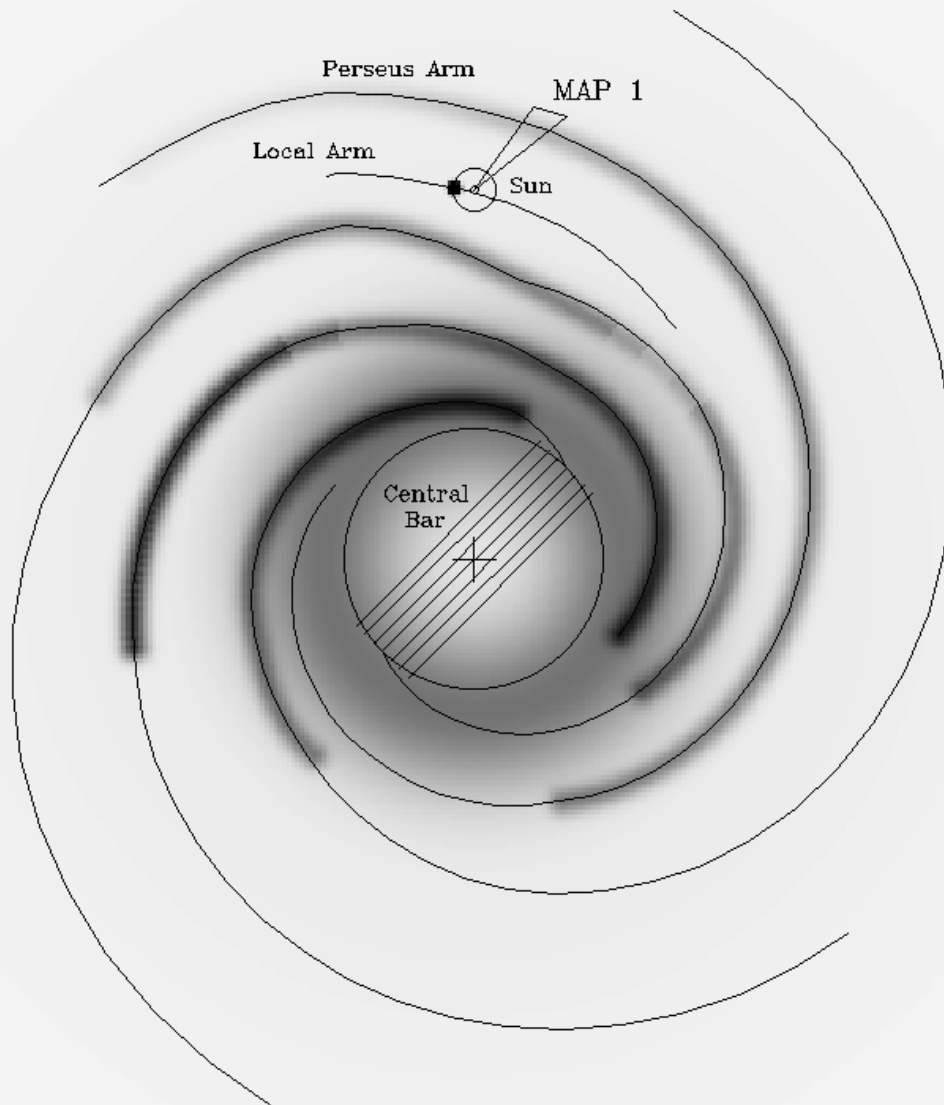
b





# Spiraal armen

Top View of Milky Way (Schematic)



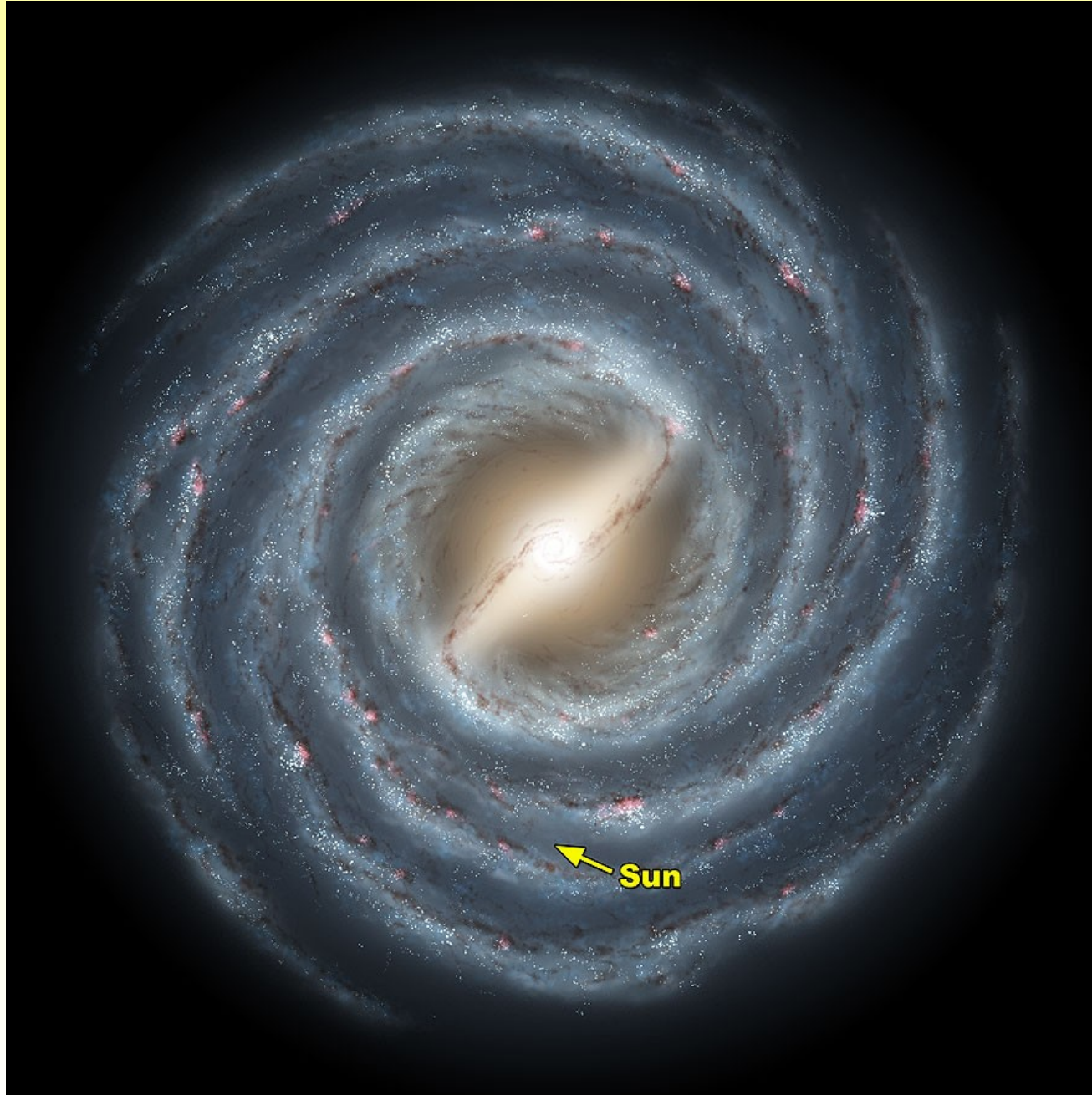
De Melkweg  
is een spiraal stelsel



NGC 1232



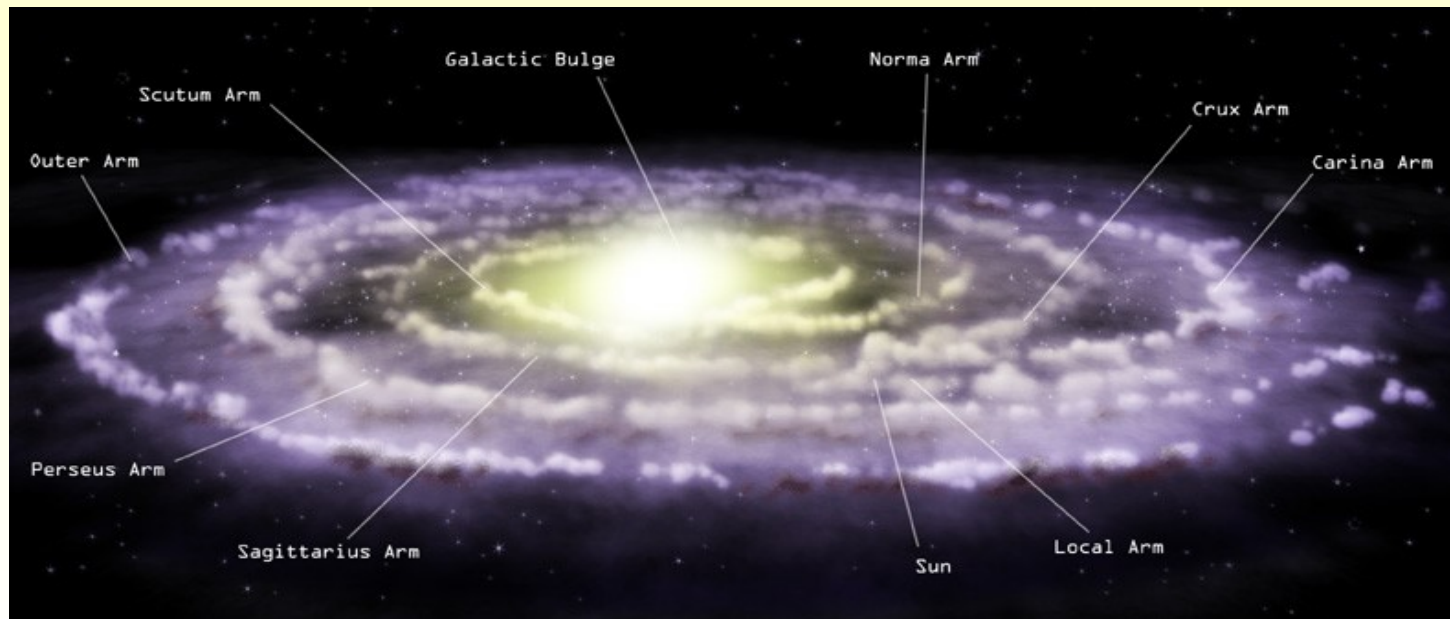
# De Melkweg





# De Melkweg

- Een verzameling van 100 miljard sterren en gas
- Een platte (1kpc dik) schijf 30 kpc doorsnede
- Gas en jonge sterren in middelste vlak (100 pc)
- Centrale verdikking (de Bulge)
- IJle halo van sterren en bolhopen
- Centraal superzwaar zwart gat
- **Halo van donkere materie**





# De Sterren in de Melkweg

- Aantal populaties:
  - Dunne schijf ( $\sim 300$  pc schaalhoogte): 95%
  - Dikke schijf ( $\sim 1$  kpc schaalhoogte): 5%
  - Halo (sferisch, 100 kpc): 1%

Dubbele exponentiele verdeling van dunne en dikke schijf:

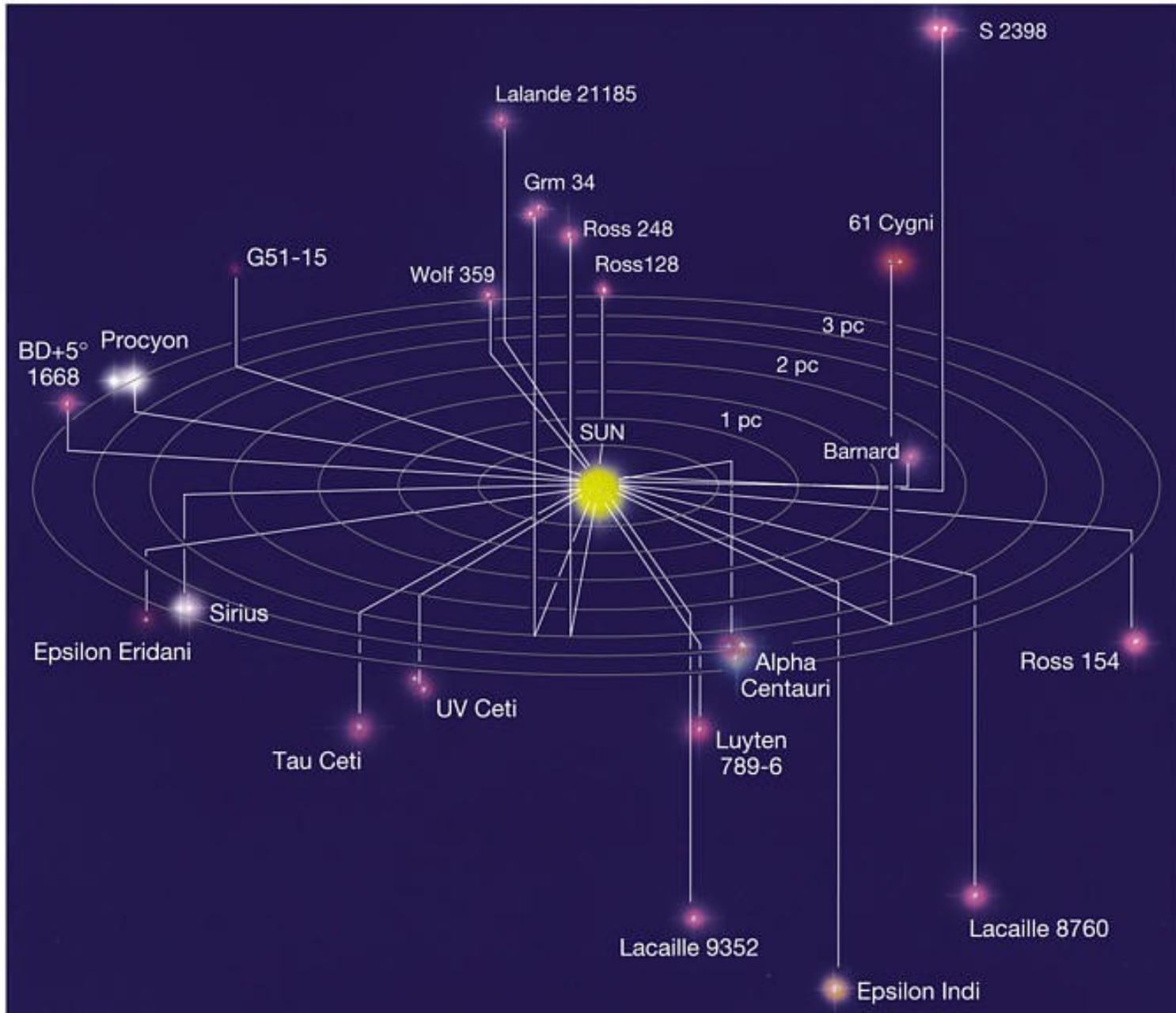
$$N(r, z) = N_0 e^{-(r/r_0)} e^{-(z/z_0)}$$

$r_0$  = schaallengte ( $\sim 3$  kpc)

$z_0$  = schaalhoogte

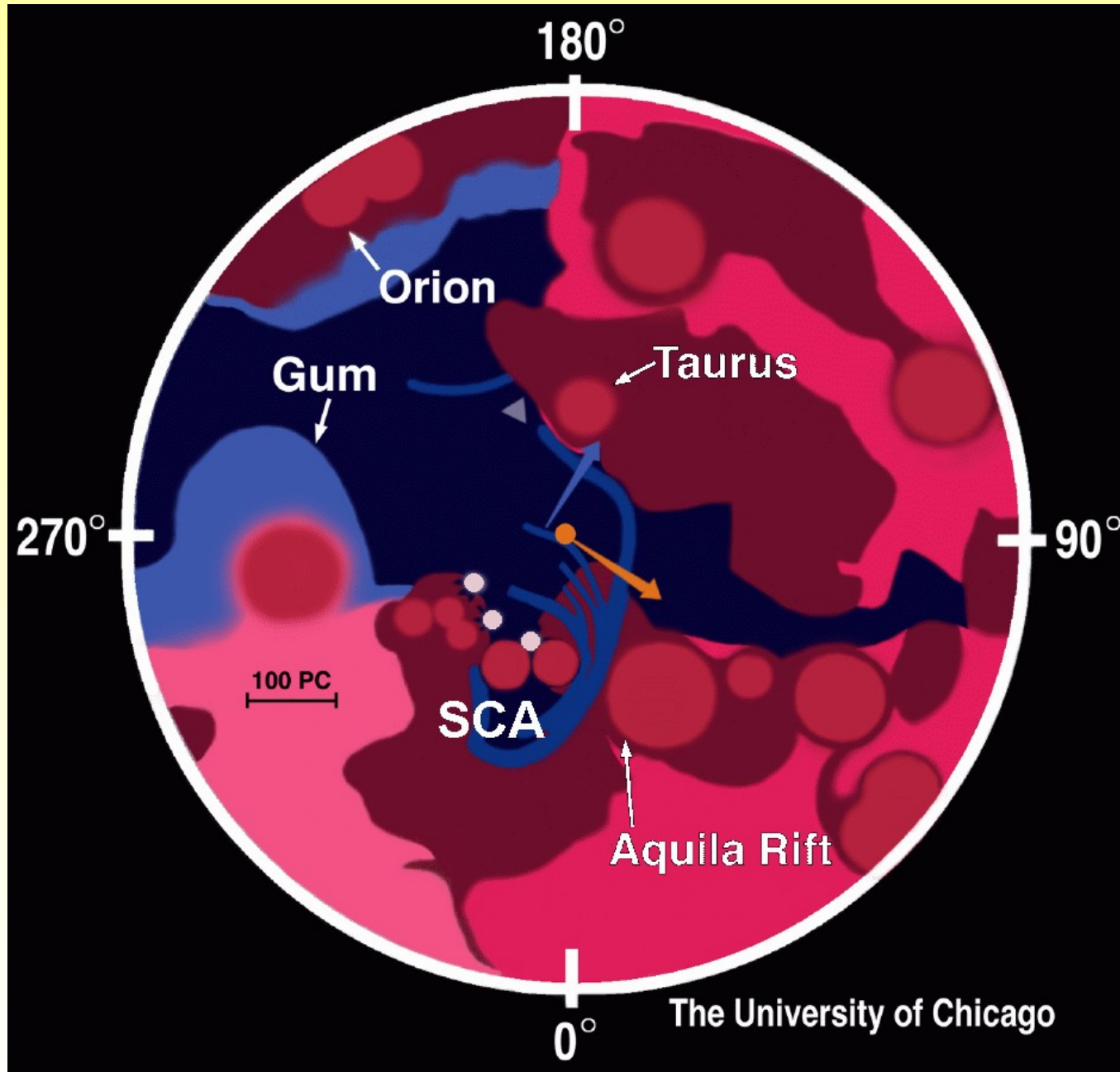


# De Sterren in de Melkweg



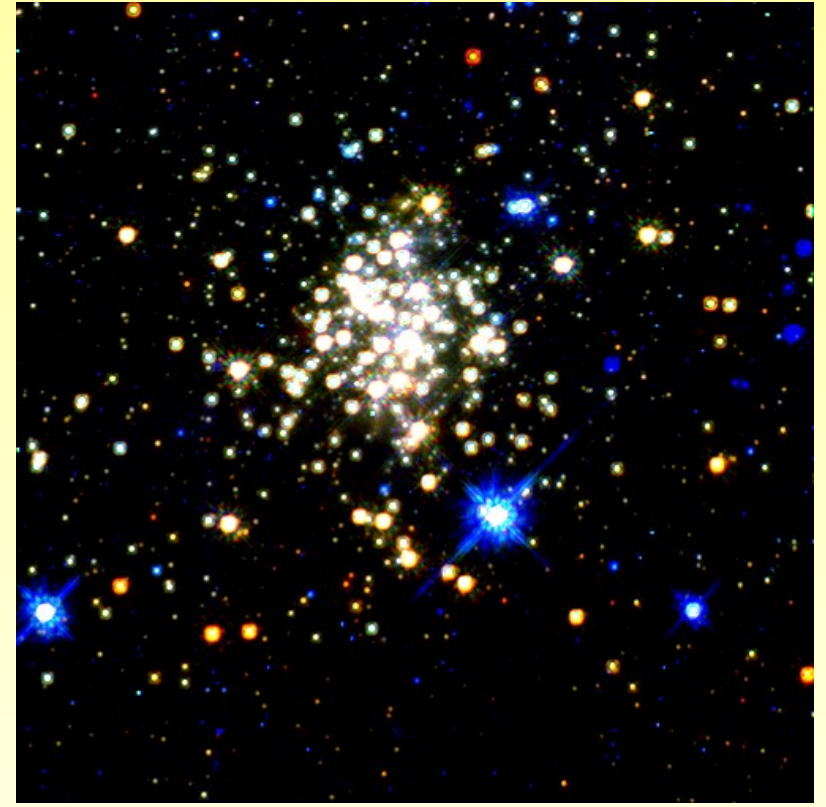


# De Zonsomgeving





# Sterpopulaties: Open sterhopen



Verzamelingen van tientallen – honderduizenden sterren  
Geboorte op zelfde moment uit zelfde gas: enorm  
belangrijk voor begrijpen ster-evolutie

Zijn alle sterren in de Melkweg geboren in cluster?



# 'Infant mortality rate'

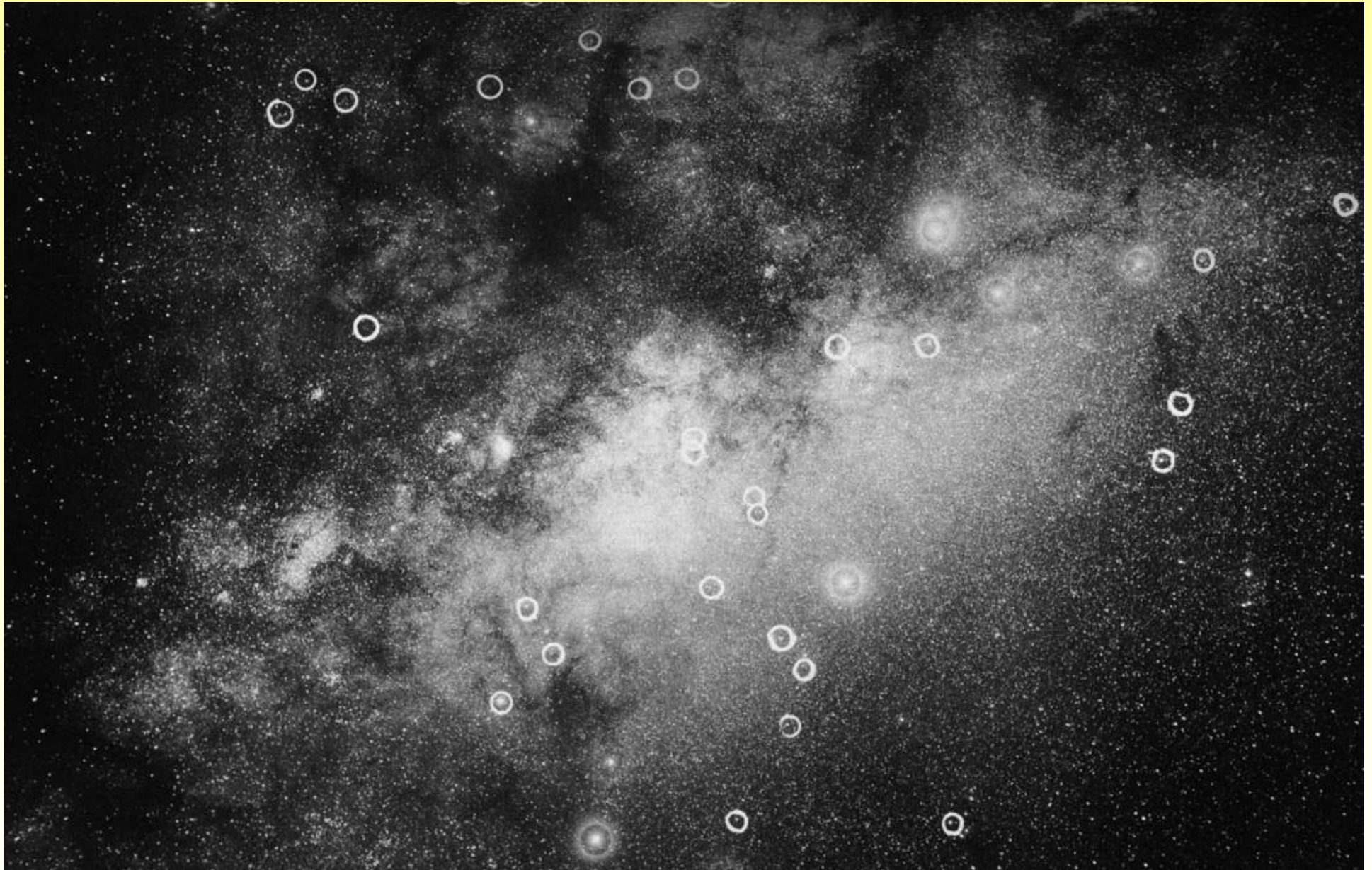


Veel open clusters  
'verdampen' kort na  
geboorte: sterren  
verspreiden zich over  
melkweg. Alleen  
zwaarste en in rustige  
gebieden overleven



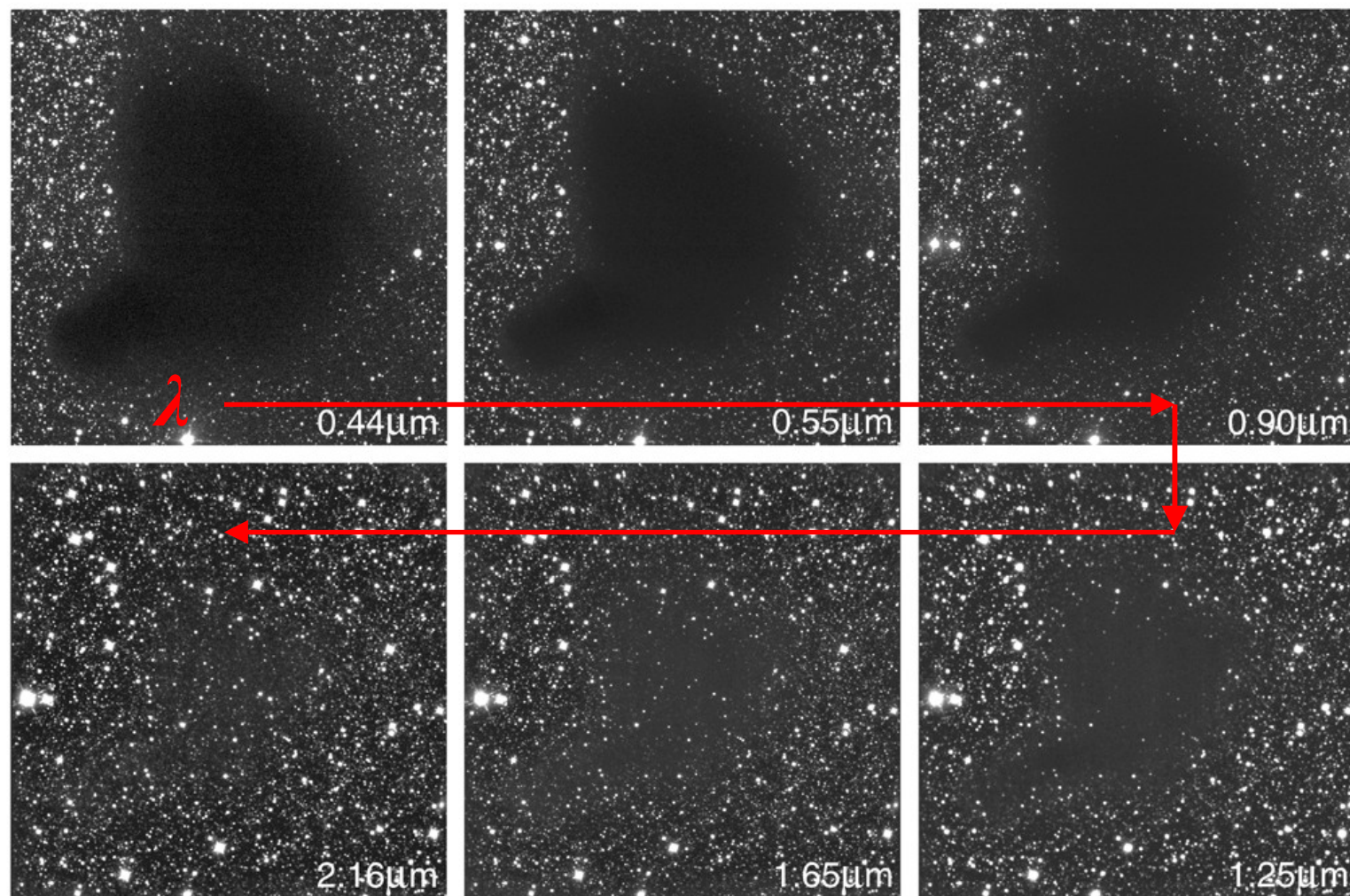


# Galactisch Centrum





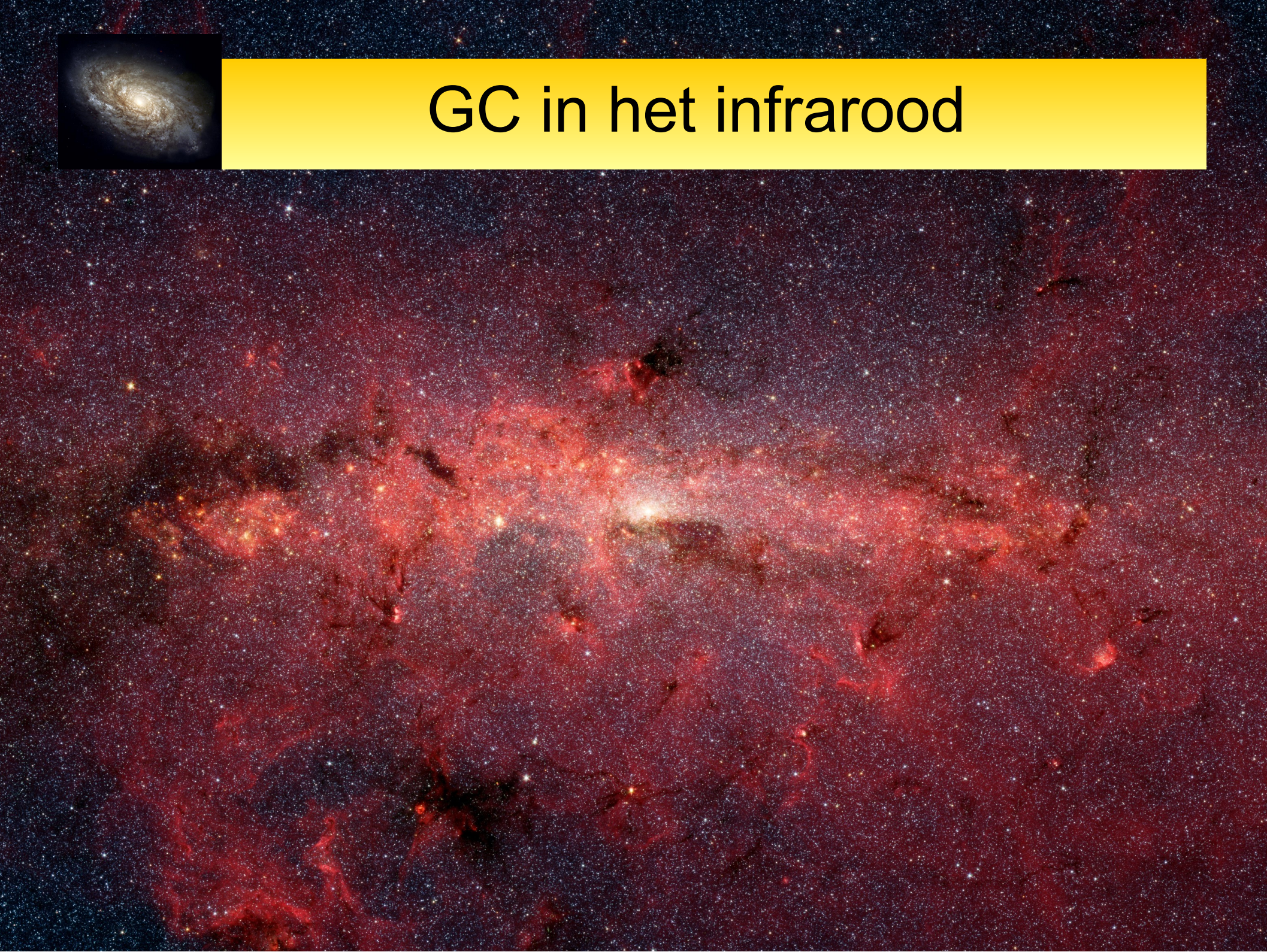
# Extinctie



$$A_{\lambda} \propto A_V \lambda^{-1}$$

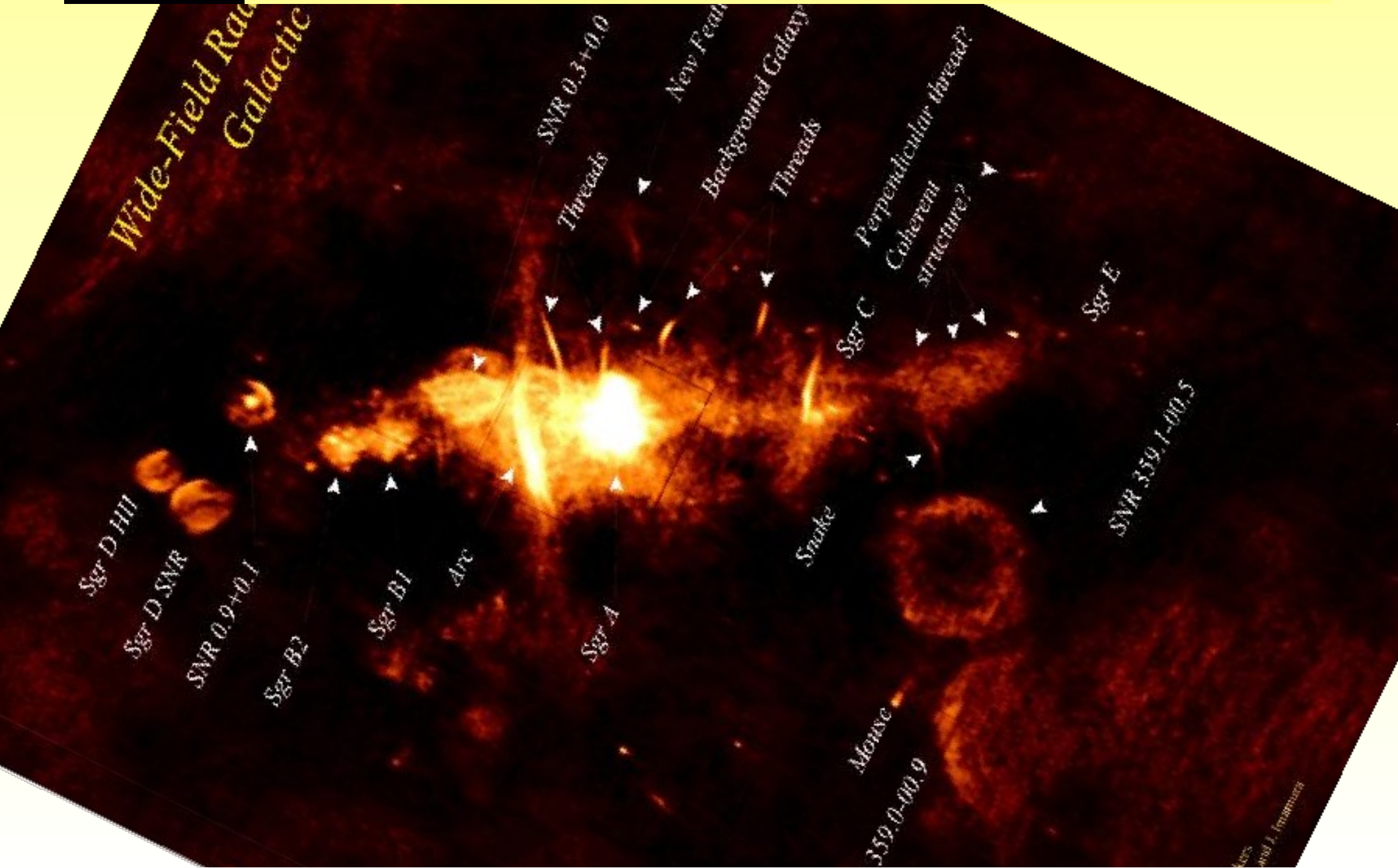


# GC in het infrarood





# GC in het radio



# Bij het zwarte gat

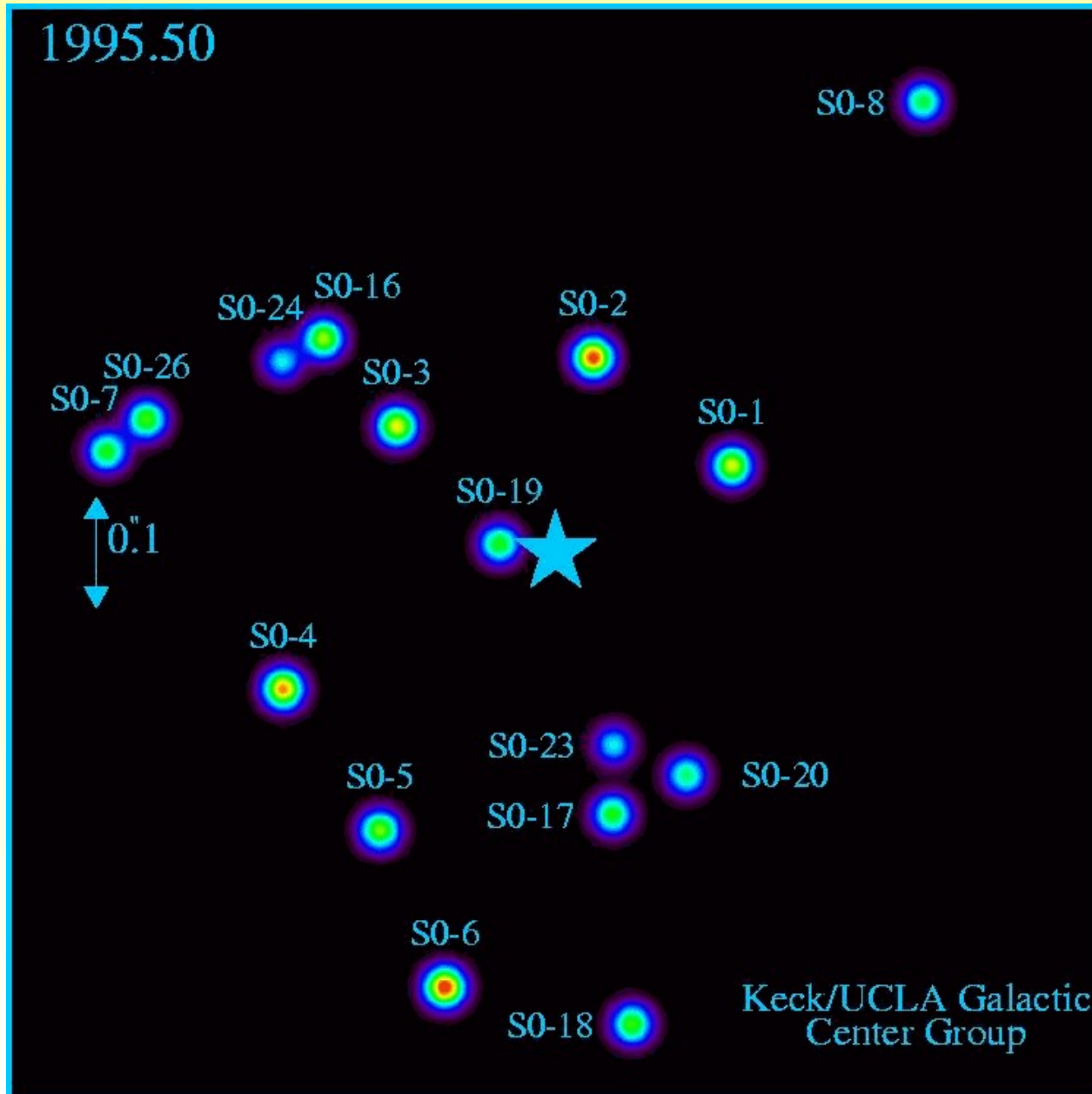
2pc

← Sgr A\*



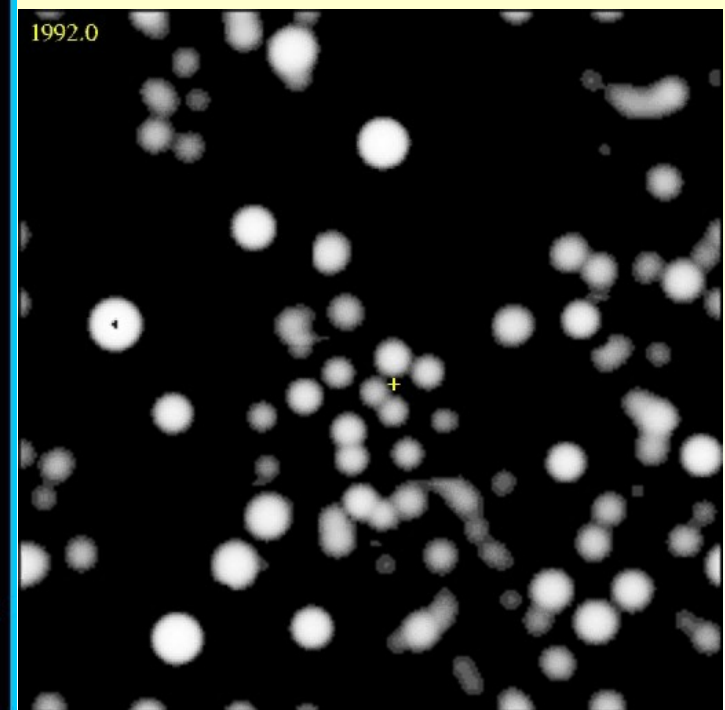


# Het zwarte gat wegen



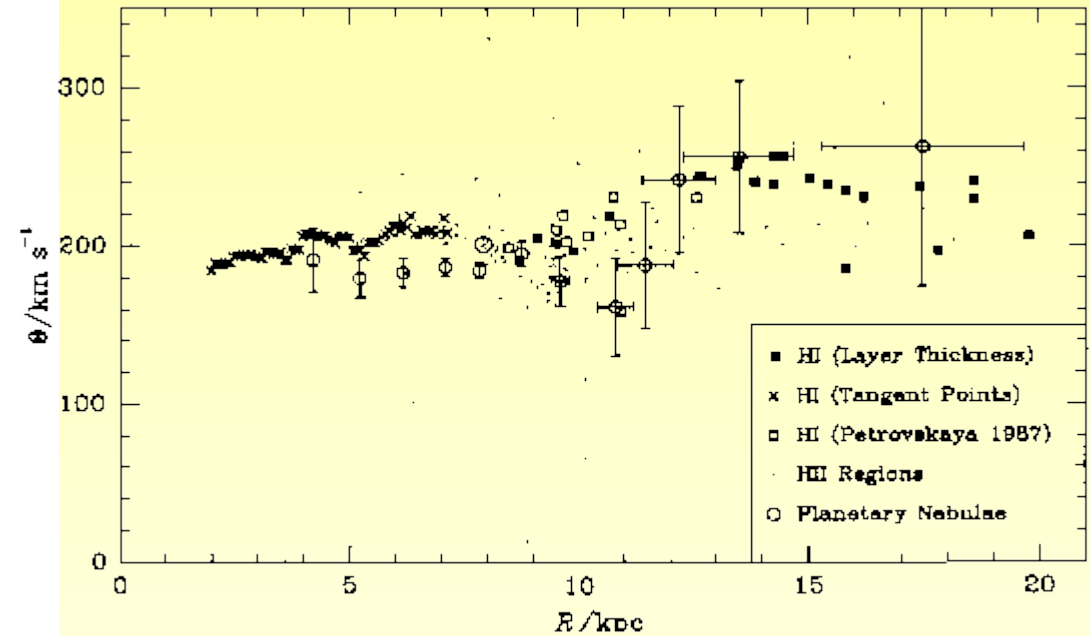
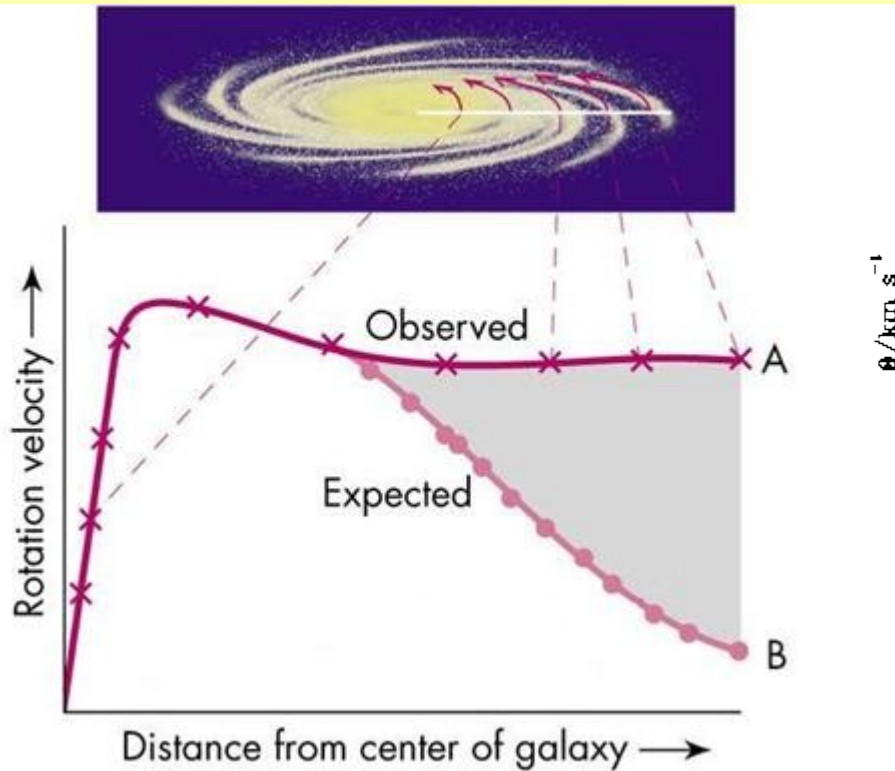
Banen gemeten,  
Kepler & Newton

$$M_{\bullet} = 2.6 \times 10^6 M_{\text{zon}}$$





# De Melkweg wegen



Comparison of the rotation curves calculated by all the methods discussed (assuming  $R_0 = 7.9$  kpc and  $\Theta_0 = 200$  km s $^{-1}$ ).

Er is meer massa dan verwacht werd op basis van aantal sterren... donkere materie



# Donkere materie

Materie die geen interactie heeft met normale materie:

- uitgebrande sterren?
- Vrij vliegende planeten?
- Neutrino's?
- *Exotische elementaire deeltjes*





# Andere sterrenstelsels



De Andromeda nevel: het meest nabije  
grote sterrenstelsel, afstand 2 miljoen lichtjaar



# Historisch intermezzo



Charles Messier, en zijn catalogus van ‘vervelende nevels’:  
110 nevels die te verwarren waren met kometen.



M1



M3



M44

M33





# Het grote debat

Begin jaren 20 van 20<sup>e</sup> eeuw:

*Zijn de nevels van Messier in ons eigen Melkwegstelsel?*

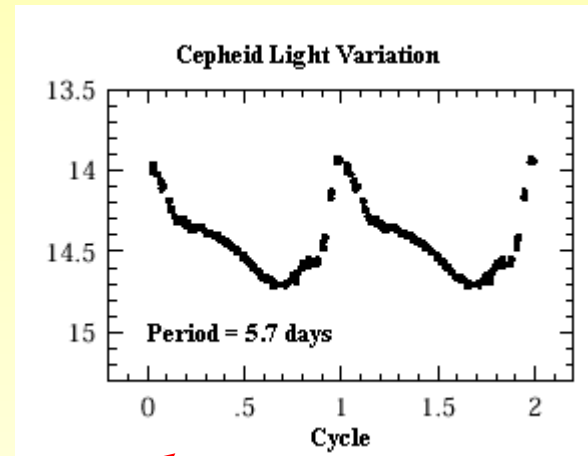
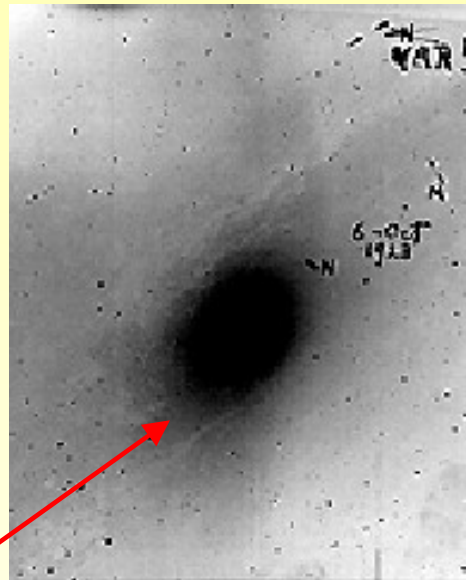
Bedenk: Het heelal = ons Melkwegstelsel, in deze tijd!

Geen concensus: helft zegt: *ja, het zijn Galactische nevels*  
Helft zegt: *nee, het zijn 'eiland – universa'.*



# Variabelen van Hubble

Kort hierna laat Hubble zien: eiland-universa



M31 bevat Cepheiden: pulserende sterren met bekende lichtkracht.





# Expansie van Hubble

Bovendien laat Hubble zien: sterrenstelsel bewegen zich van ons vandaan: het heelal dijt uit.

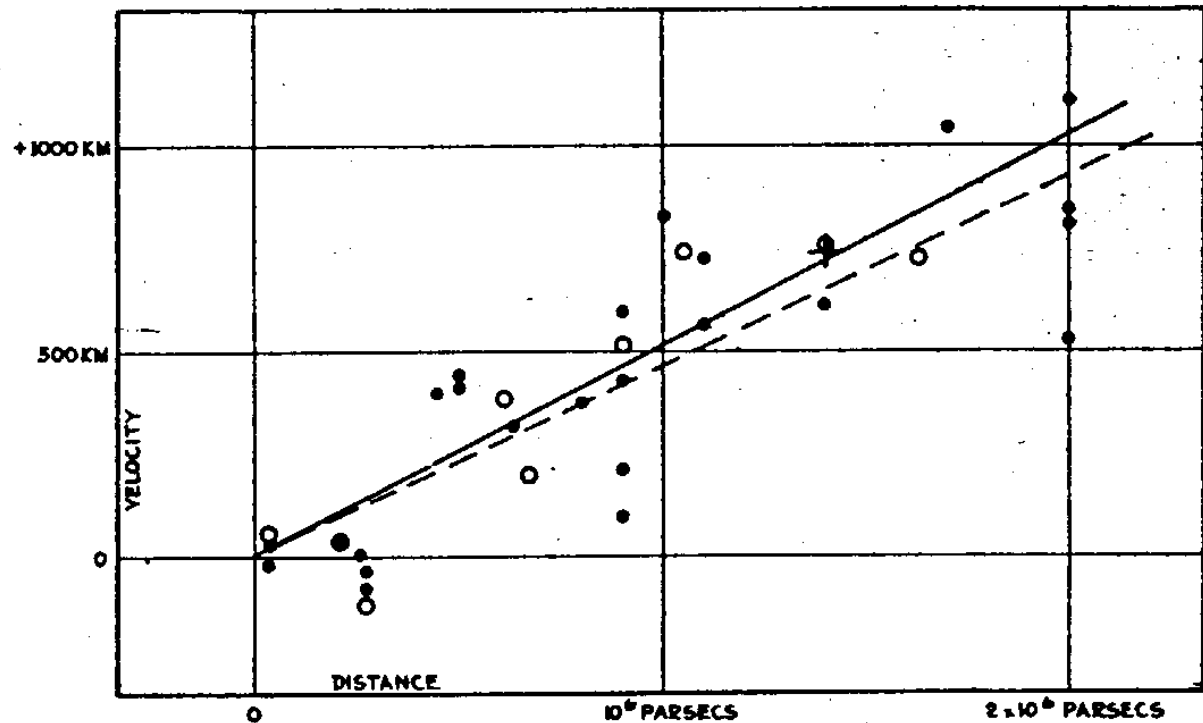


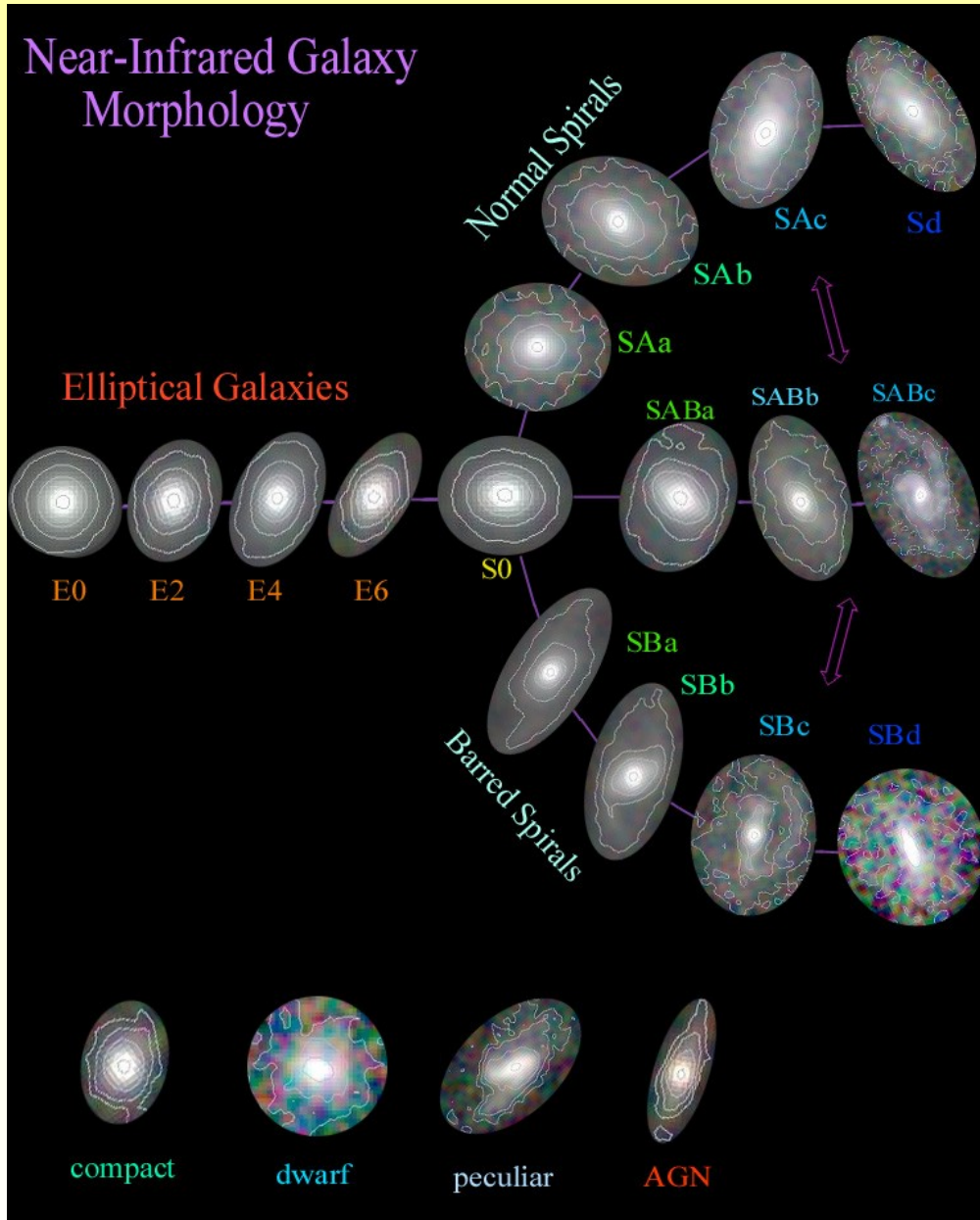
FIGURE 1

$$v = H_0 d$$

$$H_0 = \text{Hubble constante} = 72 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$



# Stemvork van Hubble



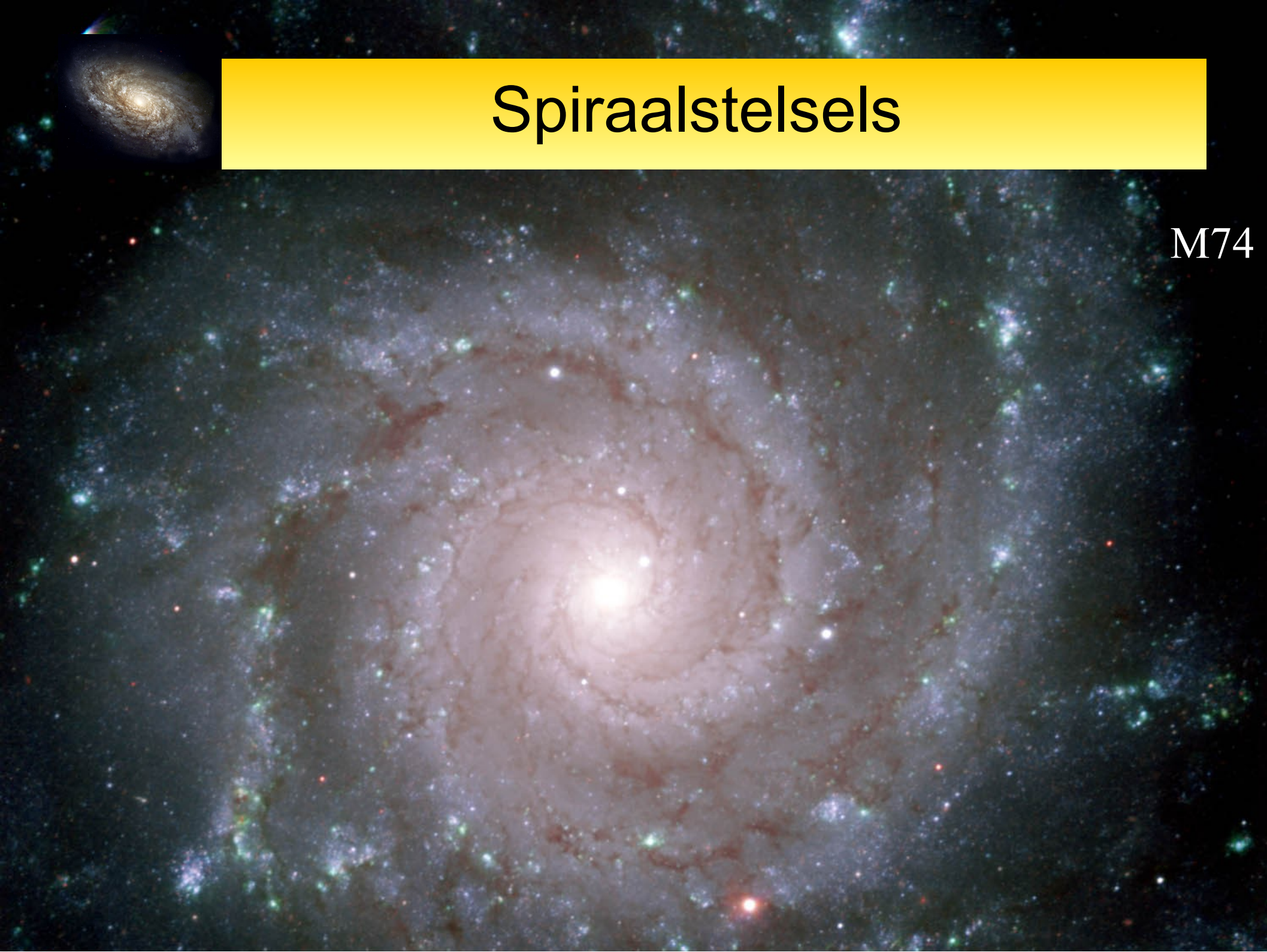
Hubble maakt bovendien classificatie van sterrenstelsels

Belangrijkste categoriën:

- Spiraalstelsel (met en zonder balk): S(B)a,b,c,d
- Elliptische stelsels (E0-E6)
- Onregelmatige stelsels (magellaanse wolken-achtig)

# Spiraalstelsels

M74





# Spiraalstelsels

M101



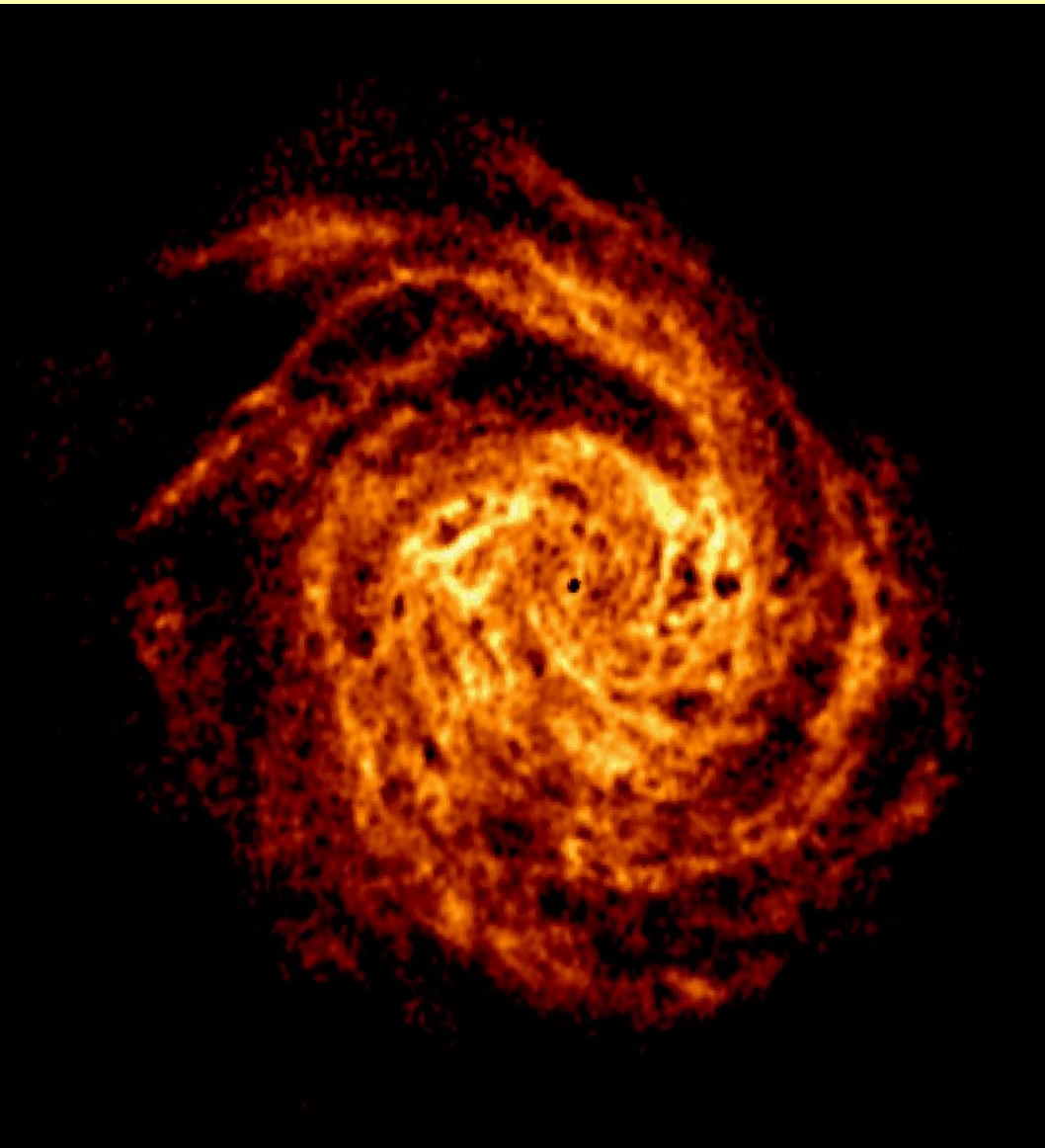




# Spiraalstelsels

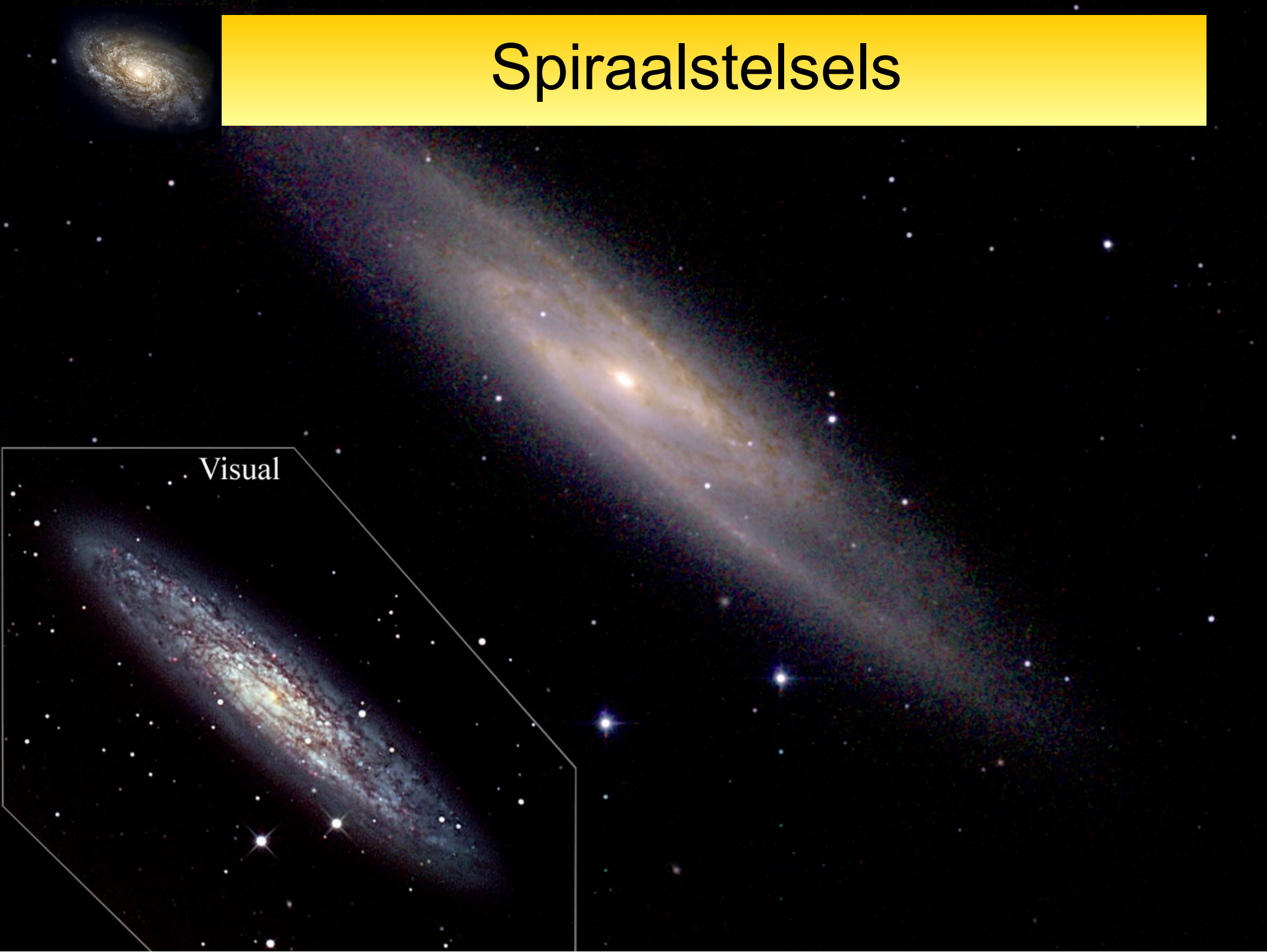


Sterren

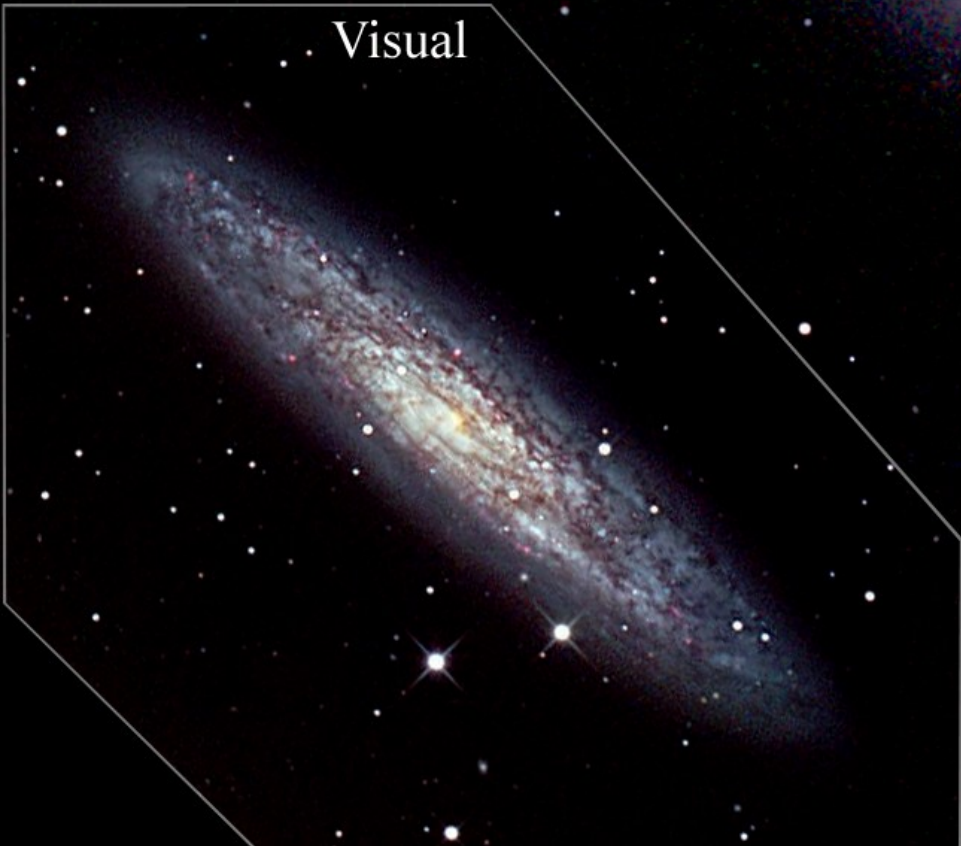


Waterstof gas

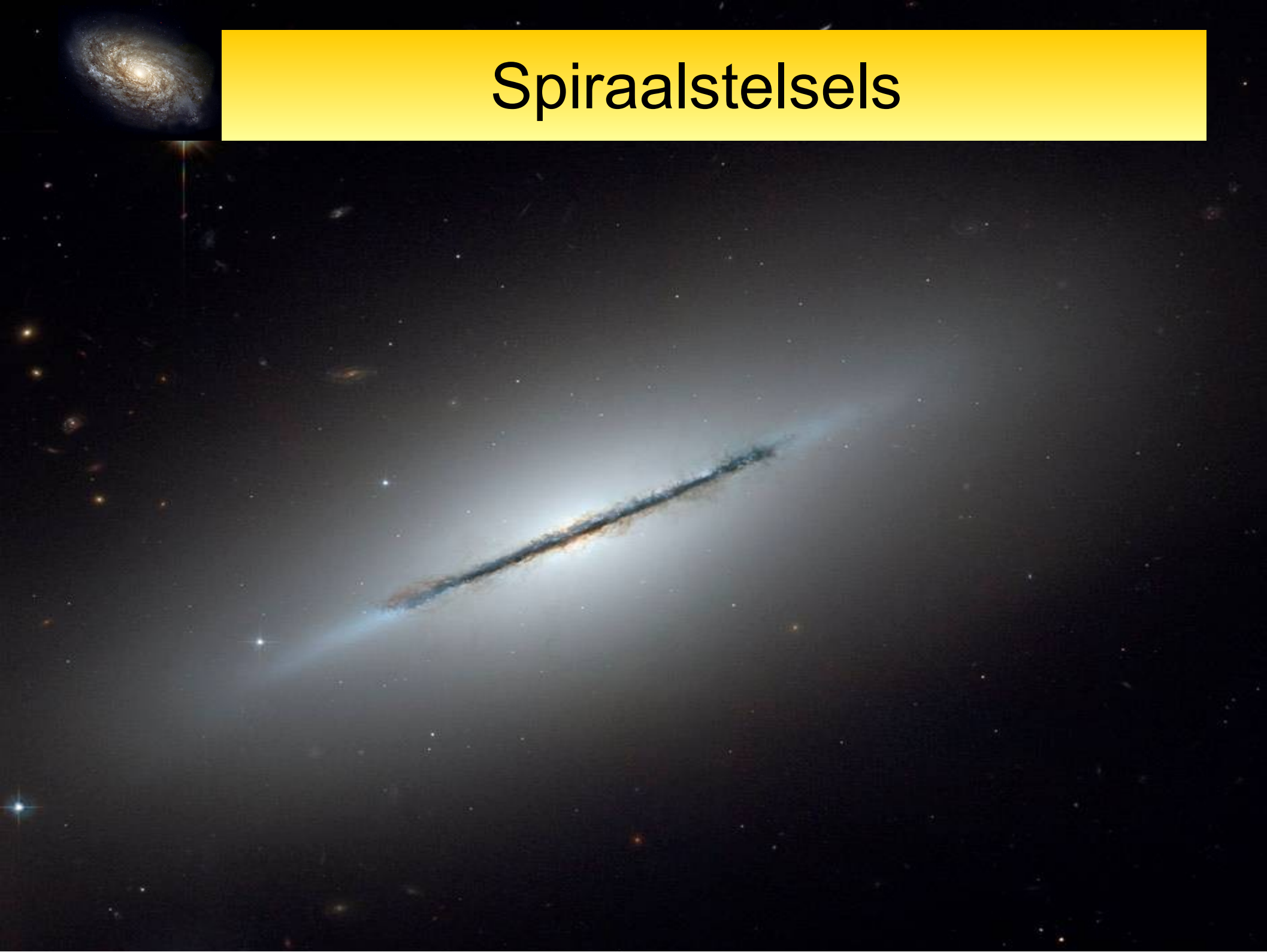
# Spiraalstelsels



Visual



# Spiraalstelsels





# Elliptische stelsels



M87



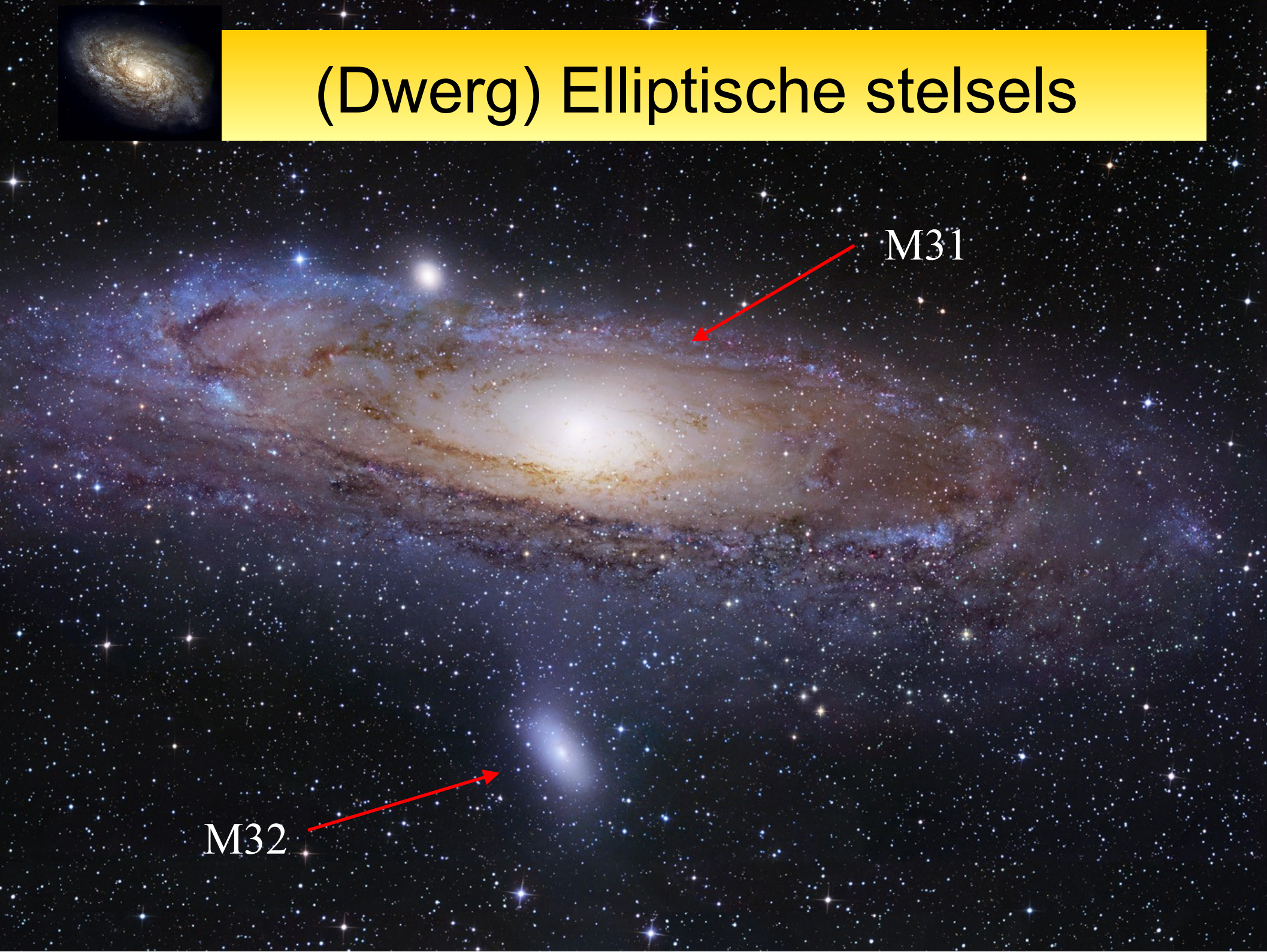
# (Reuze) Elliptische stelsels



Cen A



# (Dwerg) Elliptische stelsels



M31

M32



# Onregelmatige stelsels



Grote Magellaanse Wolk



# Onregelmatige stelsels



Kleine Magellaanse Wolk





# Dwerg stelsels

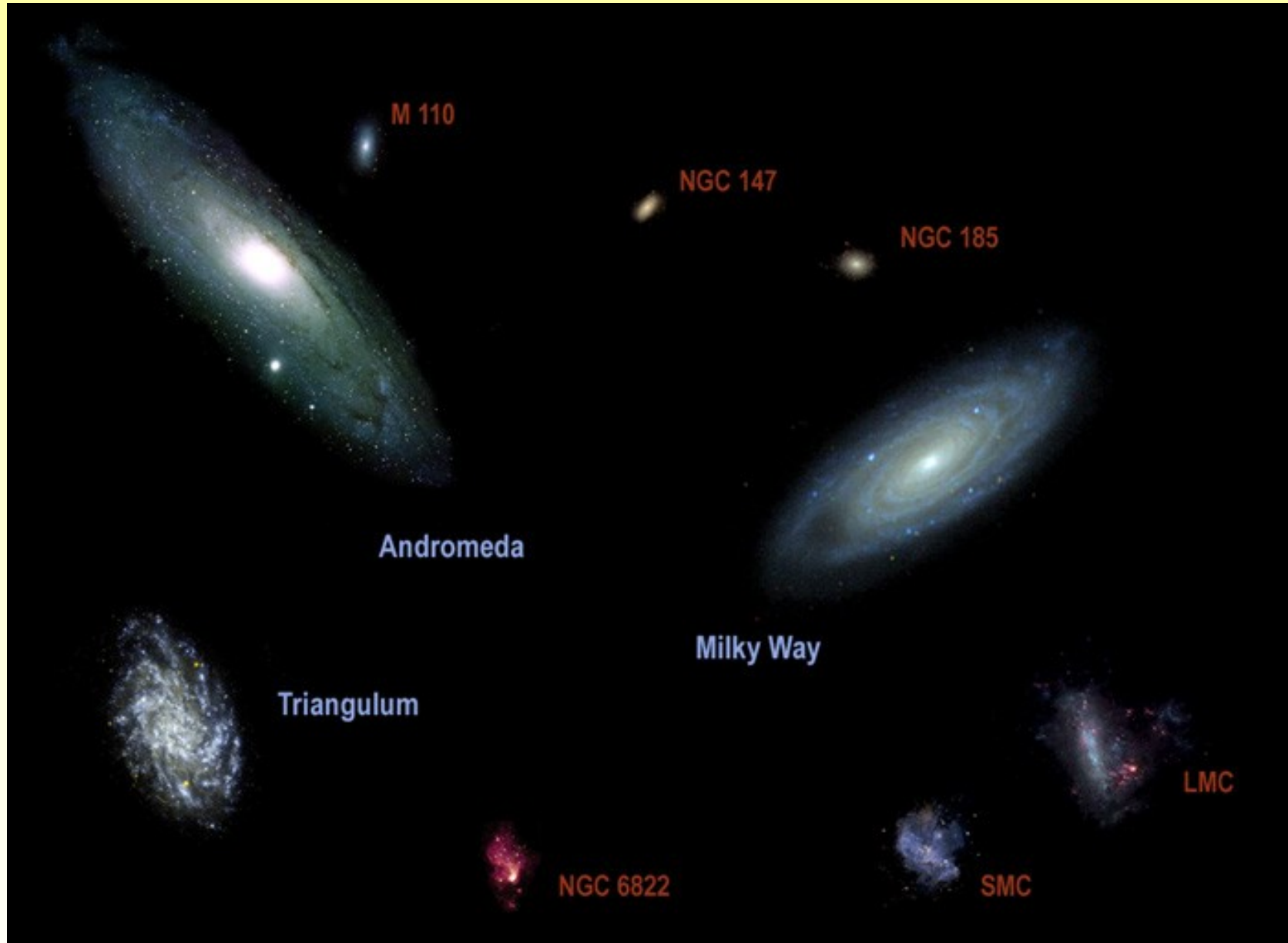


Pegasus, Fornax  
En Sextans Dwarf  
Spheroidals



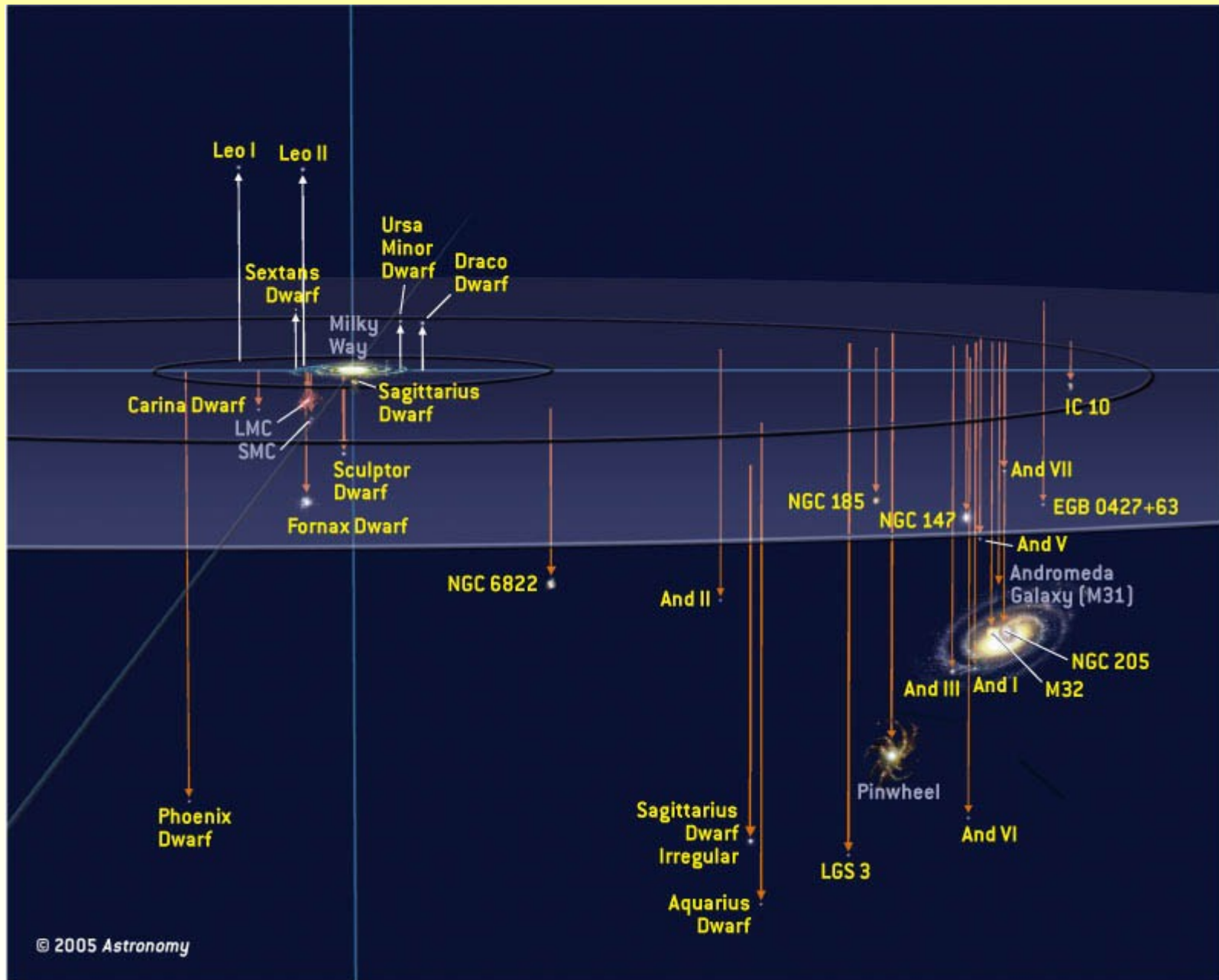


# De Lokale Groep





# De Lokale Groep





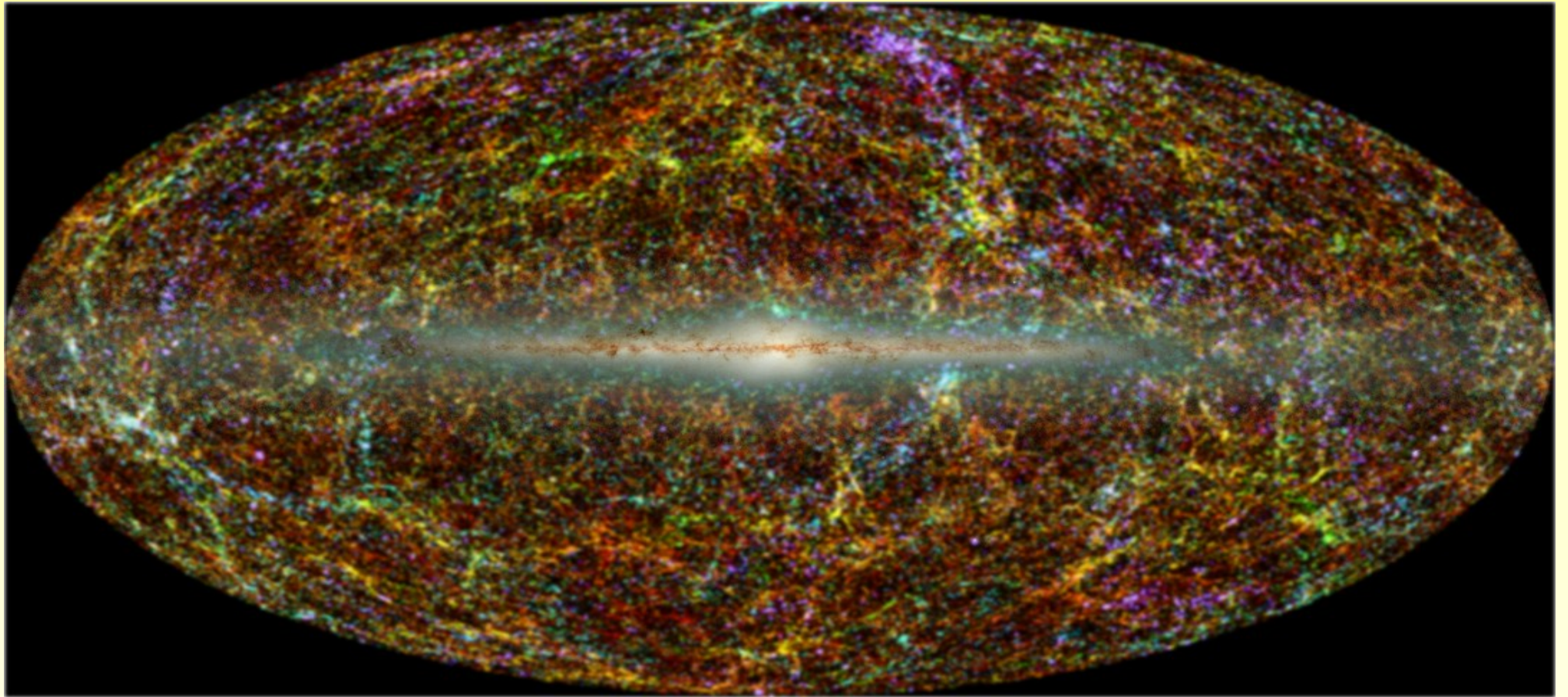
# De Virgo Cluster







# Clusters van Sterrenstelsels



Verdeling van sterrenstelsels aan de hemel. Kleur geeft roodverschuiving (= afstand) aan.



# Roodverschuiving

Gebruik wet van Hubble:

$$v = H_0 d$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{emitted}}{\lambda_{emitted}} = z$$

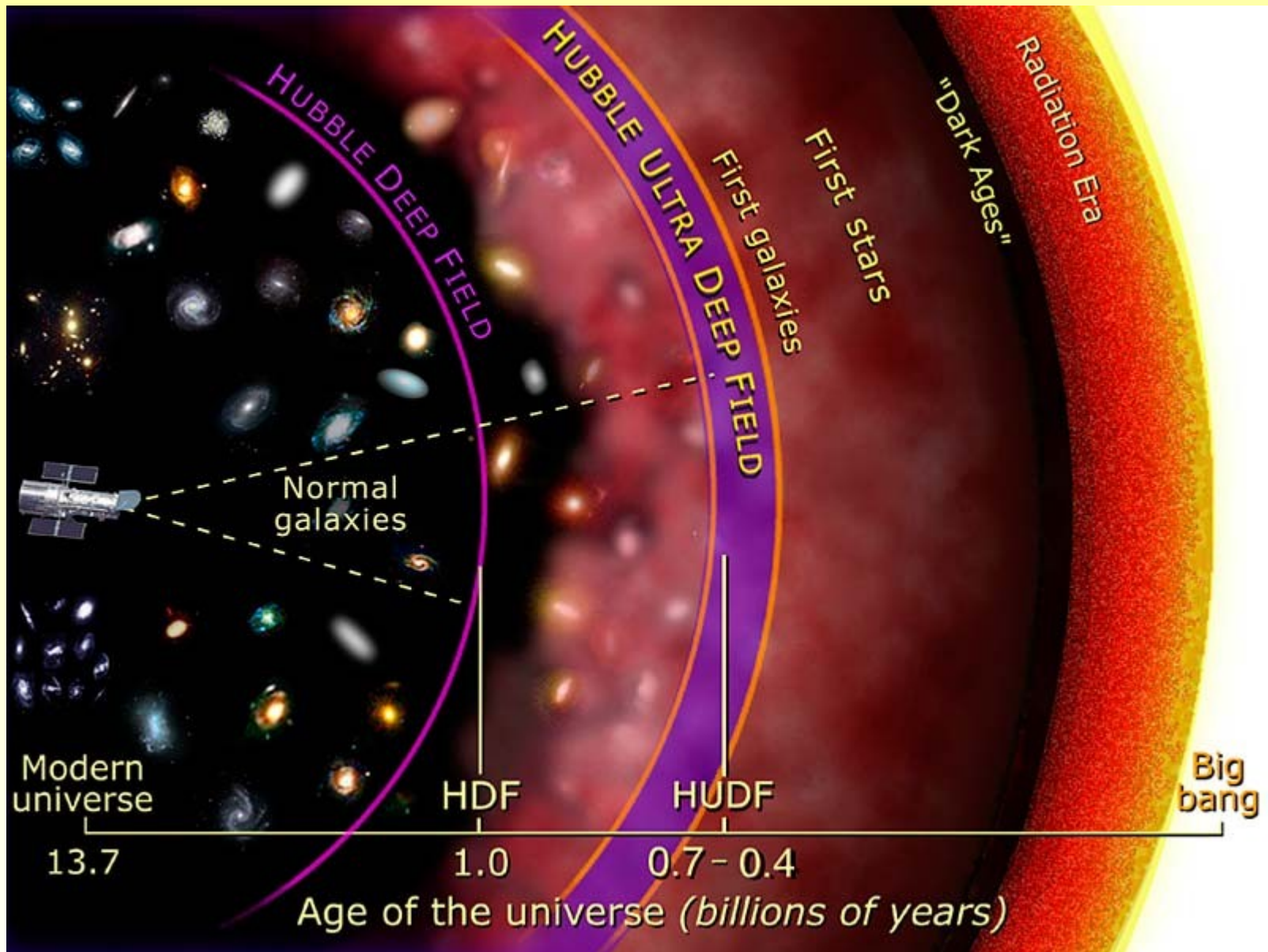
$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} = \frac{H_0 d}{c} \text{ (non-rel.)}$$

$$z = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} - 1$$

$$z + 1 = \frac{R_{obs}}{R_{emitted}}; R_i = \text{scale of universe}$$



# Ver weg = lang geleden

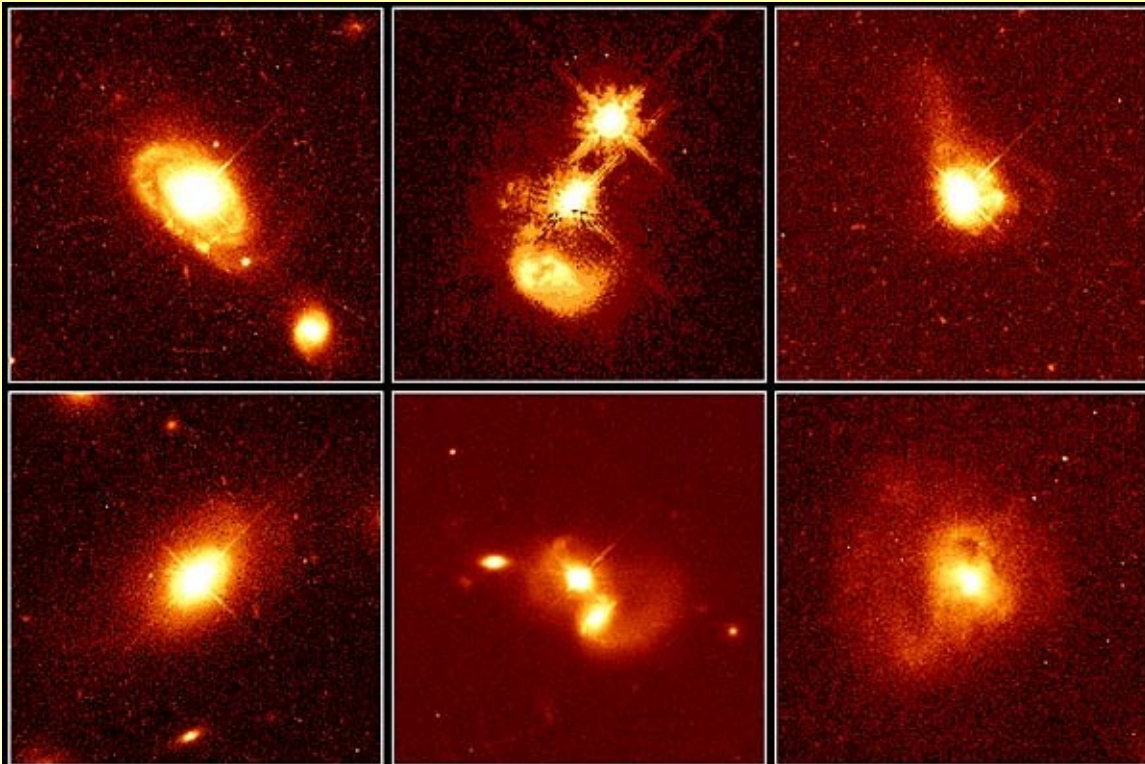






Ver weg = lang geleden

# Quasars

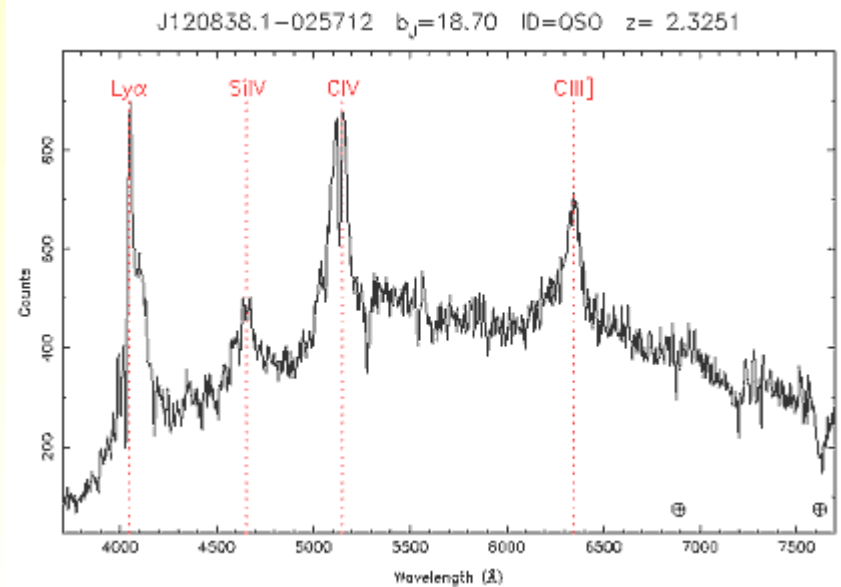
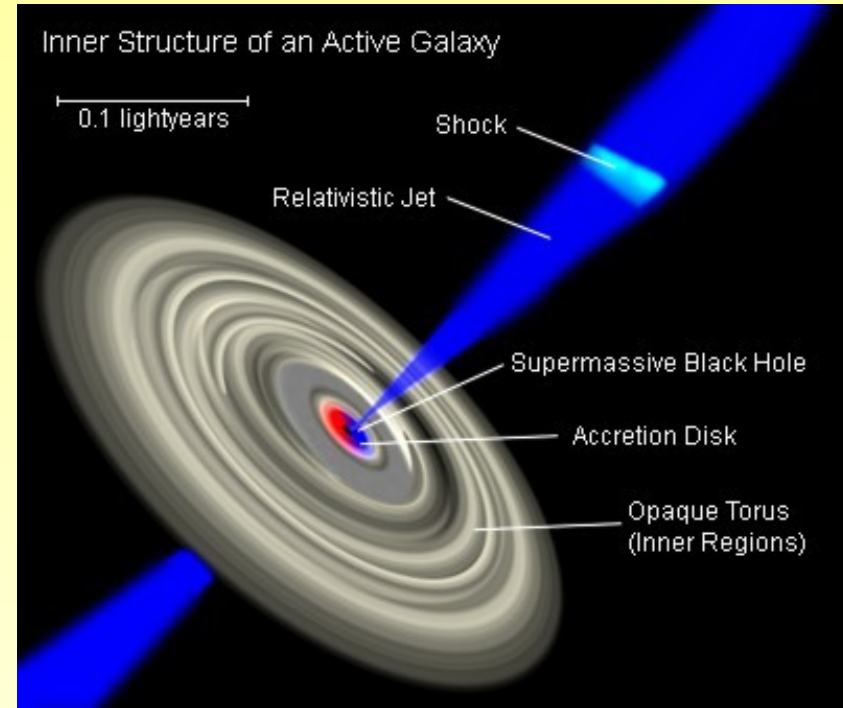


**Quasar Host Galaxies**

**HST • WFPC2**

PRC96-35a • ST ScI OPO • November 19, 1996

J. Bahcall (Institute for Advanced Study), M. Disney (University of Wales) and NASA



Quasar spectrum



# Eerste sterren?

Wanneer onstonden de eerste sterren?

- Heelal na Oerknal aan het afkoelen.
- Alle normale materie nog maar  $\sim 50$  K: neutraal
- Eerste sterren ontstaan rond  $z=20$

Leidt tot reionisatie van het Heelal!

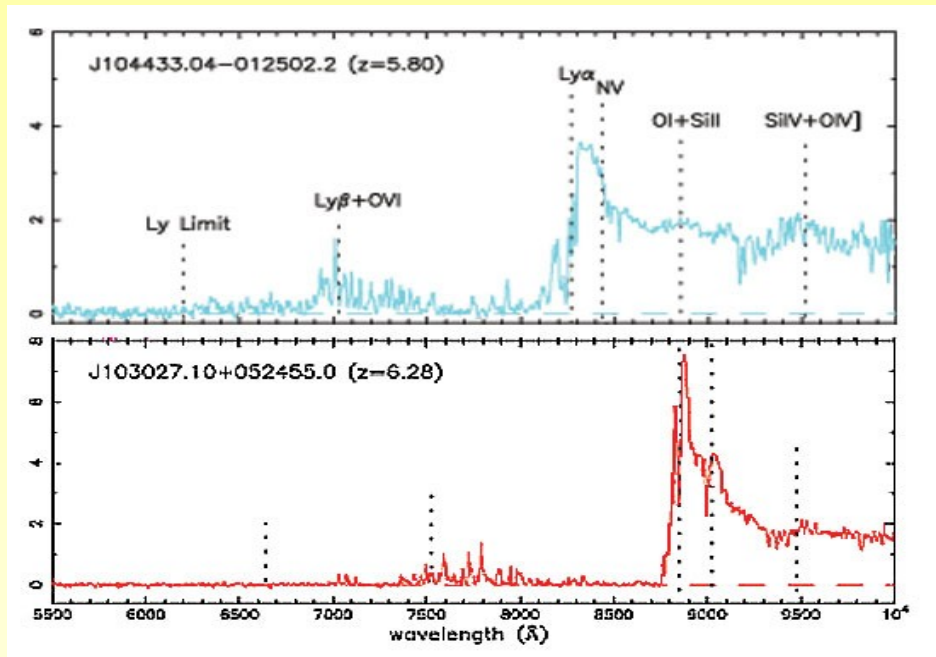
Dit is zichtbaar in spectra van ververwijderde quasars

Het *Gunn-Petersen* effect





# Gunn-Petersen effect



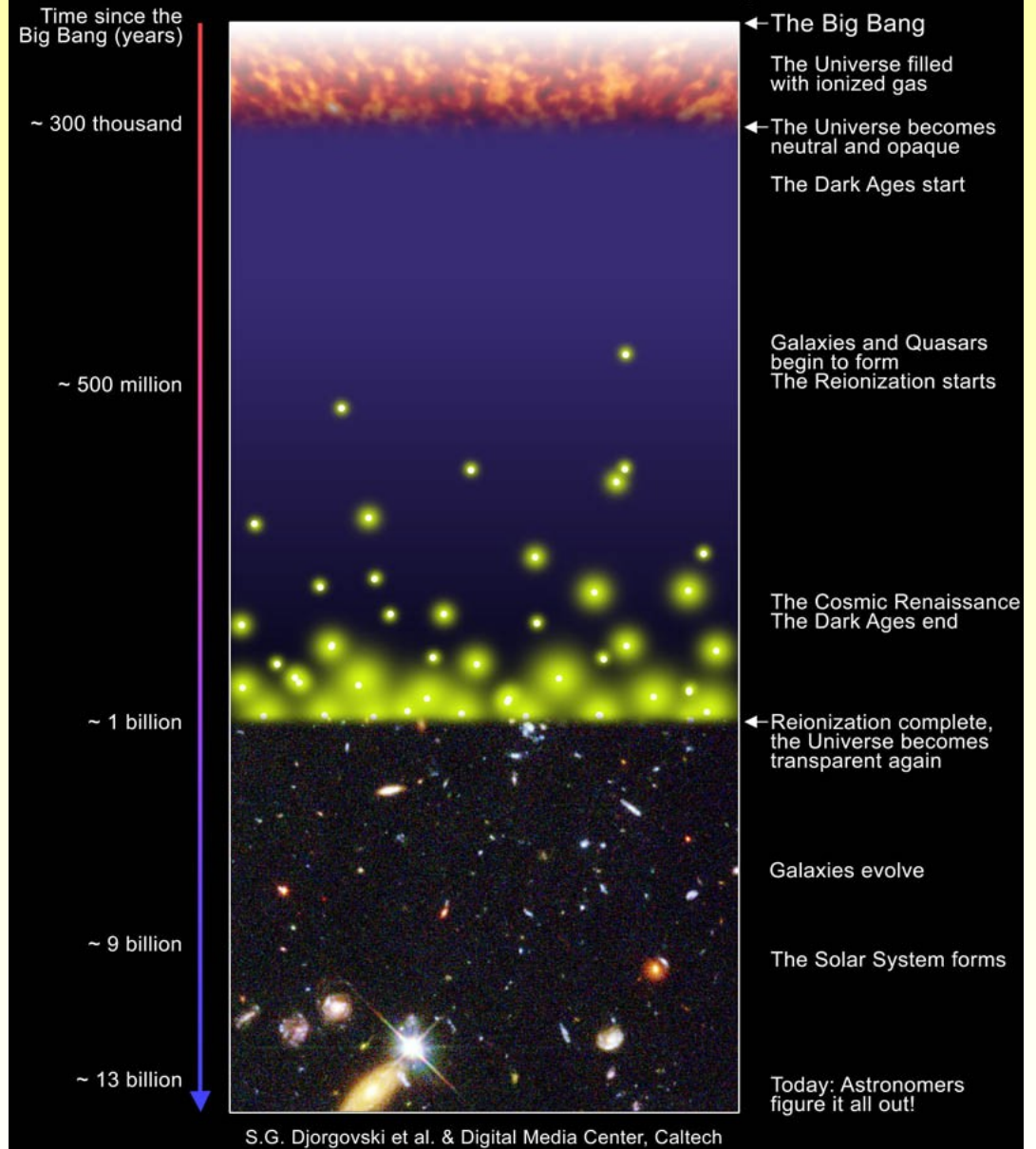
Roodverschuiving  $z=6.28$ :

$$R_{z=6.28} = 13.7\% R_{nu}$$

$$T_{z=6.28} = 0.9 \text{ Gyr}$$

## What is the Reionization Era?

A Schematic Outline of the Cosmic History





# Het verste (= eerste) object

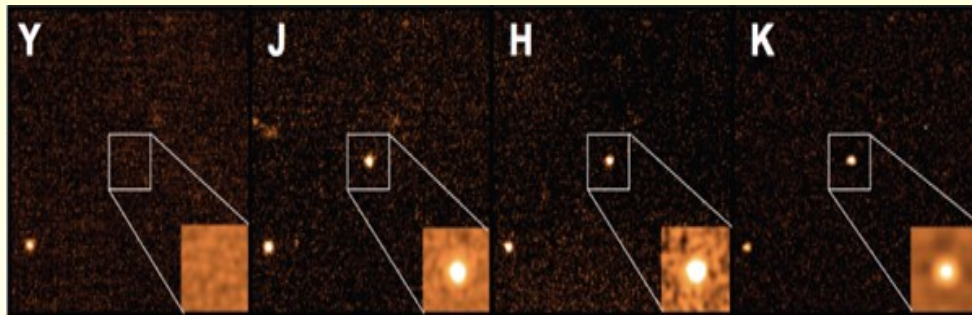
Huidige recordhouder is een *gamma-ray burst*

Dit is een zeer zware ster die aan het einde van zijn leven ontploft in een hypernova explosie.

GRB 090423

$z=8.2$

Tijd sinds de oerknal: 660 miljoen jaar.





# Wanneer eerste sterren

Polarisatie in het microgolf-achtergrond signaal geeft aan dat de eerste sterren gevormd zijn rond  $z=15$

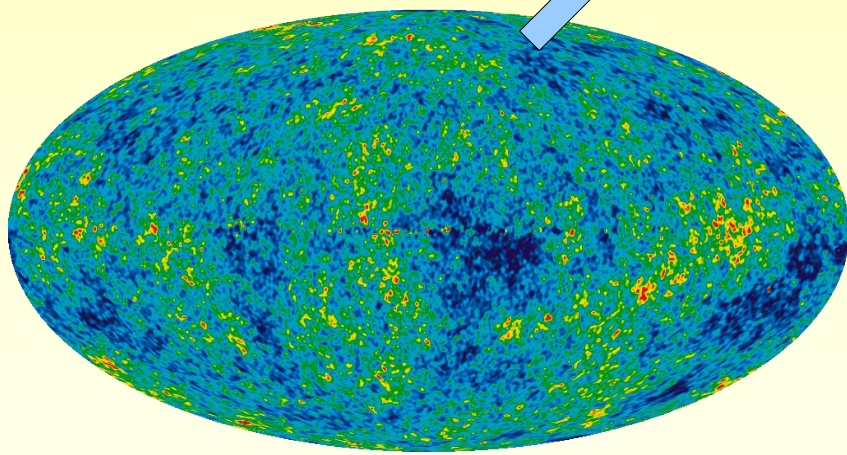
i.e. slechts 0.3 Gyr na de Oerknal

Grote vraag: kan structuur zo snel gevormd zijn?



# Structuur v

Kunnen we de structuur in het Heelal zoals we die nu zien vormen uit de fluctuaties in de microgolfachtergrond?



-200 T( $\mu$ K) +200 WMAP 5-year

