

Sterrenkunde Hoofdstuk 6: Sterrenstelsels

Marc van der Sluys

Universiteit Utrecht, Nikhef



**Universiteit
Utrecht**

<https://www.nikhef.nl/~sluys/>

sluys@nikhef.nl

Nikhef

Sterrenstelsels

Ons
Melkwegstelsel
Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen
Waarnemen

Morfologie
Stemvorkdiagram
Elliptisch
Spiraal
Rotatiecurven
Tully-Fisher
Onregelmatig

Groepen en
clusters
Lokale Groep
Andromedanevel
Virgo cluster
Grote schaal
Interacties

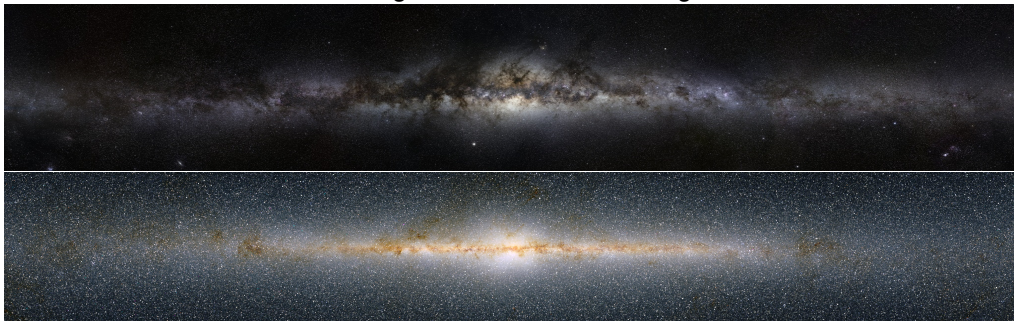
Ontstaan
Ontstaan

Meer
sterrenkunde!

- 1 Ons Melkwegstelsel
 - Melkweg
- 2 Sterrenstelsels waarnemen

- 3 Morfologie
- 4 Groepen en clusters
- 5 Ontstaan
- 6 Meer sterrenkunde!

De Melkweg in zichtbaar licht/microgolven:



Bron: [Brunier, La Silla/ESO \(2009\)](#)

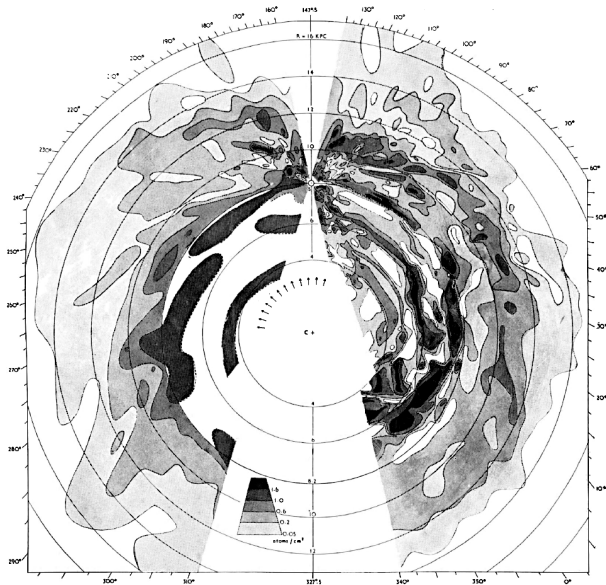
Bron: [Two-micron all-sky survey \(2MASS\)](#)

NGC 981:



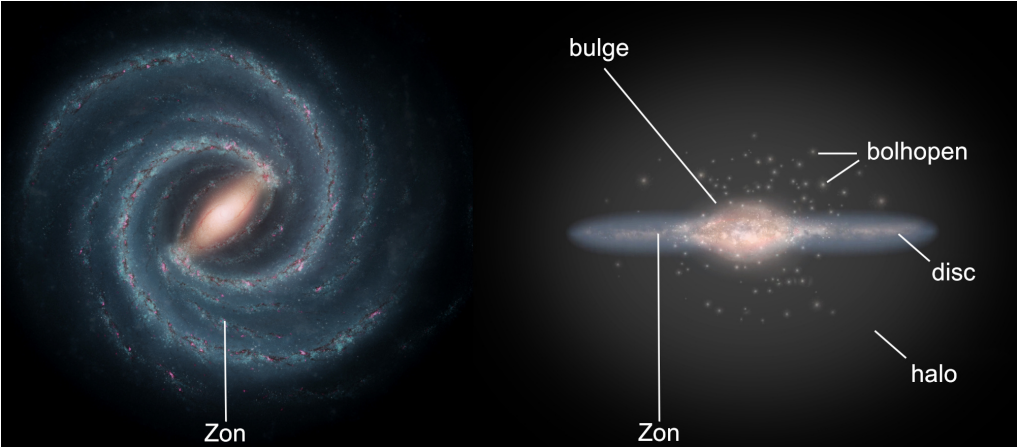
Bron: [Adam Block](#)

Meer
sterrenkunde!



Bron: Oort et al., MNRAS 118, 379 (1958)

- Ons
- Melkwegstelsel
 - Melkweg
- Sterrenstelsels waarnemen
 - Waarnemen
- Morfologie
 - Stemvorkdiagram
 - Elliptisch
 - Spiraal
 - Rotatiecurven
 - Tully-Fisher
 - Onregelmatig
- Groepen en clusters
 - Lokale Groep
 - Andromedanevel
 - Virgo cluster
 - Grote schaal
 - Interacties
- Ontstaan
 - Ontstaan
- Meer sterrenkunde!



Bron: links: [NASA/JPL-Caltech](#); rechts: [ESA](#); lay-out: [ESA/ATG medialab](#) (2016)

Sterrenstelsels

Ons
Melkwegstelsel
Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen
Waarnemen

Morfologie
Stemvorkdiagram
Elliptisch
Spiraal
Rotatiecurven
Tully-Fisher
Onregelmatig

Groepen en
clusters
Lokale Groep
Andromedanevel
Virgo cluster
Grote schaal
Interacties

Ontstaan
Ontstaan

Meer
sterrenkunde!

- 1 Ons Melkwegstelsel
- 2 Sterrenstelsels waarnemen
 - Waarnemen

- 3 Morfologie
- 4 Groepen en clusters
- 5 Ontstaan
- 6 Meer sterrenkunde!

Ons
Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemvorkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en
clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

Grote schaal

Interacties

Ontstaan

Ontstaan

Meer
sterrenkunde!

- 1920: **Great Debate**: gasnevels of verzamelingen van sterren
- 1926: Hubble: sterrenstelsels zijn verre eilanden van sterren, buiten ons Melkwegstelsel
- we nemen vele sterren waar met de gebruikelijke methoden (H. 1), maar:
 - **fotometrie en spectroscopie** worden beïnvloed doordat $N_{\text{ster}} > 1$
 - **snelheidsdispersie** door rotatie
 - **kosmologische roodverschuiving**

Sterrenstelsels

Ons
Melkwegstelsel
Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen
Waarnemen

Morfologie
Stemvorkdiagram
Elliptisch
Spiraal
Rotatiecurven
Tully-Fisher
Onregelmatig

Groepen en
clusters
Lokale Groep
Andromedanevel
Virgo cluster
Grote schaal
Interacties

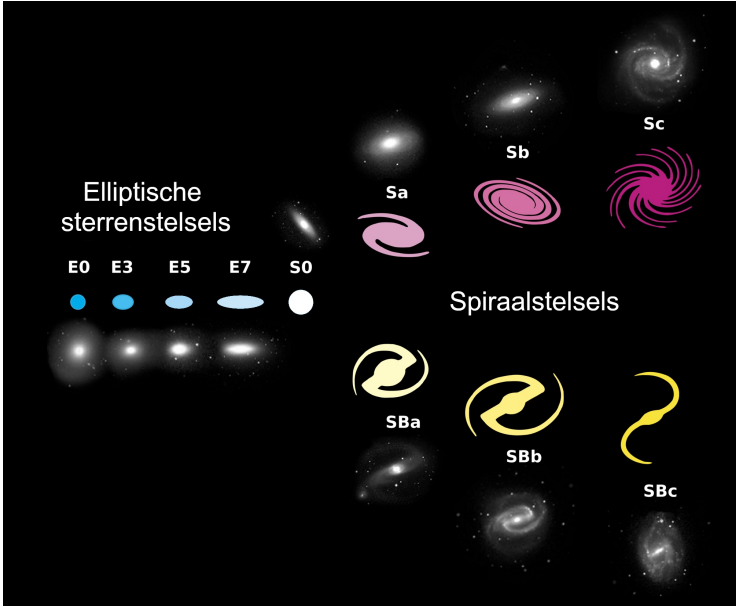
Ontstaan
Ontstaan

Meer
sterrenkunde!

- 1 Ons Melkwegstelsel
- 2 Sterrenstelsels waarnemen
- 3 Morfologie
 - Stemvorkdiagram
 - Elliptisch
 - Spiraal

- Rotatiecurven
- Tully-Fisher
- Onregelmatig
- 4 Groepen en clusters
- 5 Ontstaan
- 6 Meer sterrenkunde!

- Ons
- Melkwegstelsel
 - Melkweg
- Sterrenstelsels waarnemen
 - Waarnemen
- Morfologie
 - Stemvorkdiagram
 - Elliptisch
 - Spiraal
 - Rotatiecurven
 - Tully-Fisher
 - Onregelmatig
- Groepen en clusters
 - Lokale Groep
 - Andromedanevel
 - Virgo cluster
 - Grote schaal
 - Interacties
- Ontstaan
 - Ontstaan
- Meer sterrenkunde!



Ons
Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemvorkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en
clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

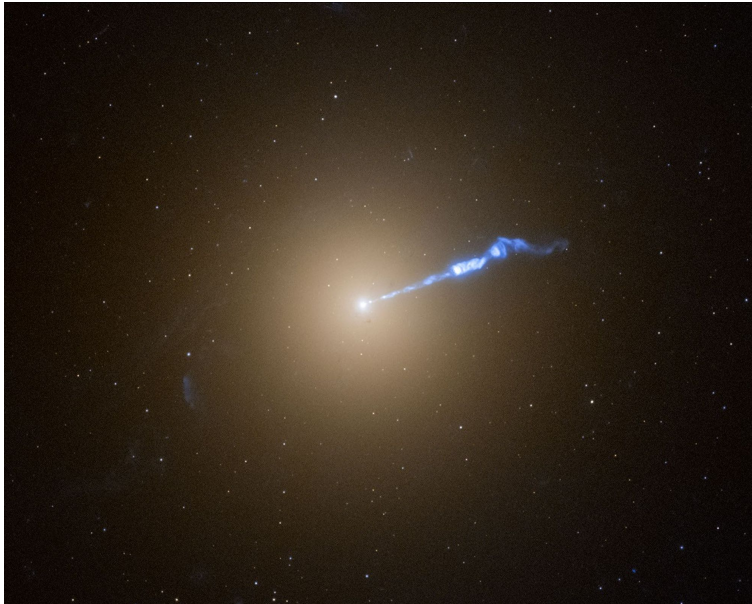
Grote schaal

Interacties

Ontstaan

Ontstaan

Meer
sterrenkunde!



Ons
Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemvorkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en
clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

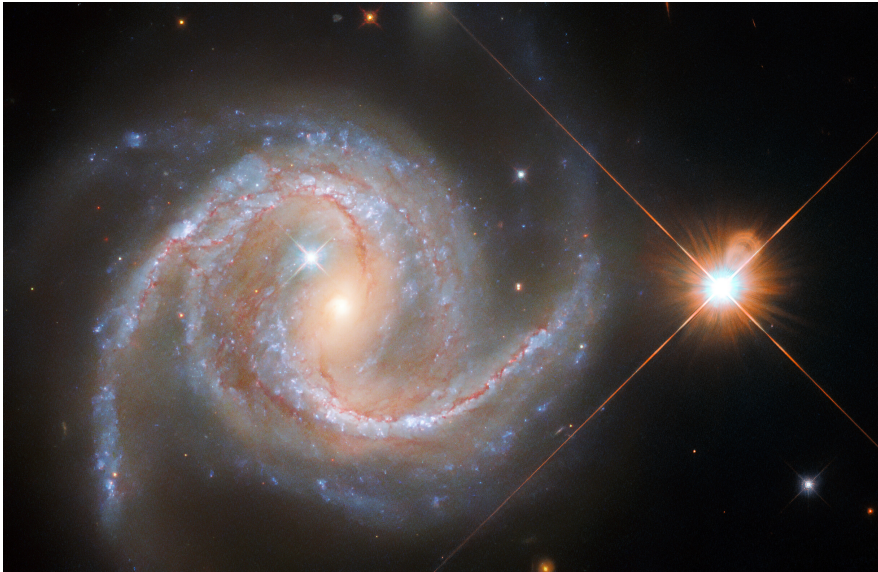
Grote schaal

Interacties

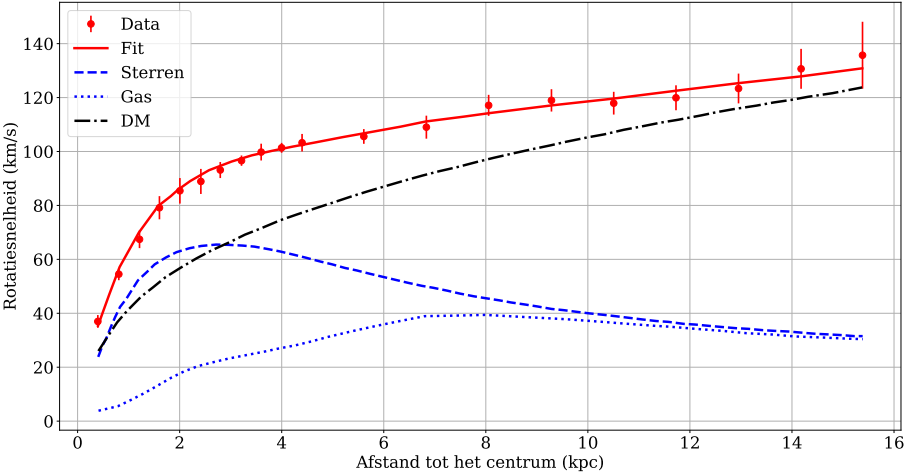
Ontstaan

Ontstaan

Meer
sterrenkunde!



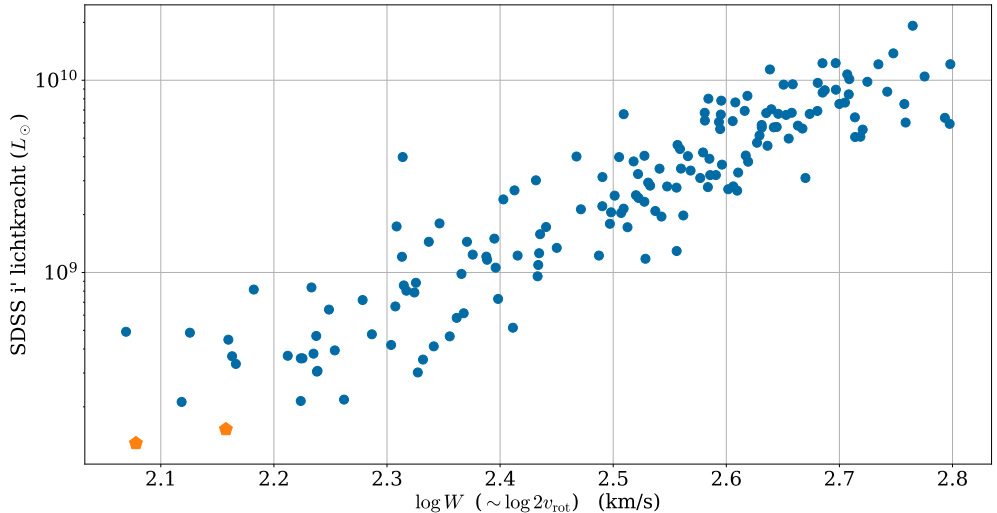
- Ons Melkwegstelsel
 - Melkweg
- Sterrenstelsels waarnemen
 - Waarnemen
- Morfologie
 - Stemvorkdiagram
 - Elliptisch
 - Spiraal
 - Rotatiecurven
 - Tully-Fisher
 - Onregelmatig
- Groepen en clusters
 - Lokale Groep
 - Andromedanevel
 - Virgo cluster
 - Grote schaal
 - Interacties
- Ontstaan
 - Ontstaan
- Meer sterrenkunde!



Bron data: [Corbelli & Salucci MNRAS 311, 441 \(2000\)](#)

$$v_b = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$$

De Tully-Fisherrelatie voor spiraalstelsels (H6.3.2)



Bron data: [Corbelli & Salucci MNRAS 311, 441 \(2000\)](#)

● Relatie tussen **maximale rotatiesnelheid** en de **helderheid** van spiraalstelsels

Sterrenstelsels

Ons
Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemvorkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en
clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

Grote schaal

Interacties

Ontstaan

Ontstaan

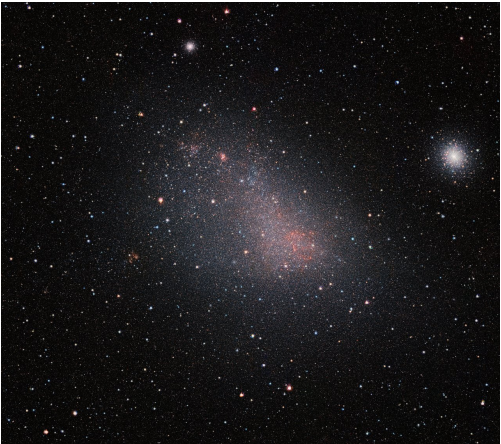
Meer
sterrenkunde!

- Ons Melkwegstelsel
 - Melkweg
- Sterrenstelsels waarnemen
 - Waarnemen
- Morfologie
 - Stemvorkdiagram
 - Elliptisch
 - Spiraal
 - Rotatiecurven
 - Tully-Fisher
 - Onregelmatig
- Groepen en clusters
 - Lokale Groep
 - Andromedanevel
 - Virgo cluster
 - Grote schaal
 - Interacties
- Ontstaan
 - Ontstaan
- Meer sterrenkunde!



LMC

Bron: [ESO/VMC Survey \(2019\)](#)



SMC

Bron: [ESO/VMC Survey \(2017\)](#)

Sterrenstelsels

Ons
Melkwegstelsel
Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen
Waarnemen

Morfologie
Stemvorkdiagram
Elliptisch
Spiraal
Rotatiecurven
Tully-Fisher
Onregelmatig

Groepen en
clusters
Lokale Groep
Andromedanevel
Virgo cluster
Grote schaal
Interacties

Ontstaan
Ontstaan

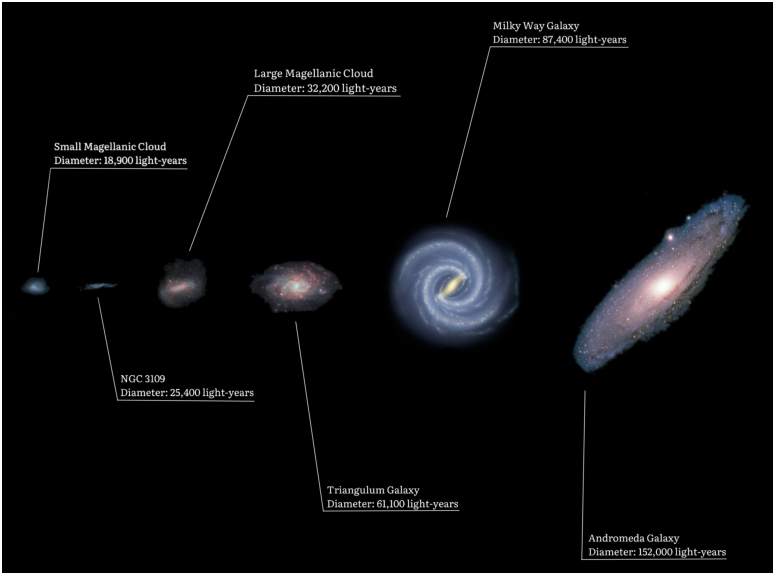
Meer
sterrenkunde!

- 1 Ons Melkwegstelsel
- 2 Sterrenstelsels waarnemen
- 3 Morfologie
- 4 Groepen en clusters

- Lokale Groep
- Andromedanevel
- Virgo cluster
- Grote schaal
- Interacties

- 5 Ontstaan
- 6 Meer sterrenkunde!

- Ons Melkwegstelsel
 - Melkweg
- Sterrenstelsels waarnemen
 - Waarnemen
- Morfologie
 - Stemvorkdiagram
 - Elliptisch
 - Spiraal
 - Rotatiecurven
 - Tully-Fisher
 - Onregelmatig
- Groepen en clusters
 - Lokale Groep
 - Andromedanevel
 - Virgo cluster
 - Grote schaal
 - Interacties
- Ontstaan
 - Ontstaan
- Meer sterrenkunde!



Ons
Melkwegstelsel
Melkweg
Sterrenstelsels
waarnemen
Waarnemen
Morfologie
Stemvorkdiagram
Elliptisch
Spiraal
Rotatiecurven
Tully-Fisher
Onregelmatig
Groepen en
clusters
Lokale Groep
Andromedanevel
Virgo cluster
Grote schaal
Interacties
Ontstaan
Ontstaan
Meer
sterrenkunde!

	Melkweg	LMC	SMC	Andromeda (M31)	Driehoek (M33)
Type	SBbc	Irr	Irr	Sb	Scd
Afstand (kpc)	—	50	62	765	970
Diameter (kpc)	26 – 30	9.86	5.78	46.6	18.7
Sterren (10^9)	100 – 400	20	3	1000	40
Lichtkracht ($L_{\odot}$)	2×10^{10}	2×10^9	3×10^8	2.6×10^{10}	4×10^9
Stermassa ($M_{\odot}$)	6×10^{10}	1×10^{10}	7×10^8	1.5×10^{11}	5×10^9
Totale massa ($M_{\odot}$)	1.15×10^{12}	1.4×10^{11}	7×10^9	$1.3 - 1.7 \times 10^{12}$	5×10^{10}
Massa SMBH ($M_{\odot}$)	4.3×10^6	6×10^5	geen?	$1.4 - 2.3 \times 10^8$	geen???

+ ~ 80 dwergsterrenstelsels

Ons
Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemvorkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en
clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

Grote schaal

Interacties

Ontstaan

Ontstaan

Meer
sterrenkunde!



Ons Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemvorkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

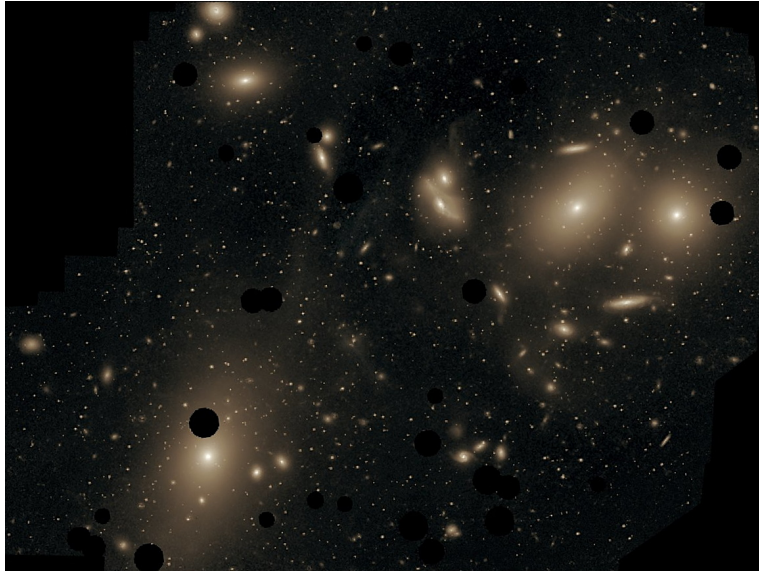
Grote schaal

Interacties

Ontstaan

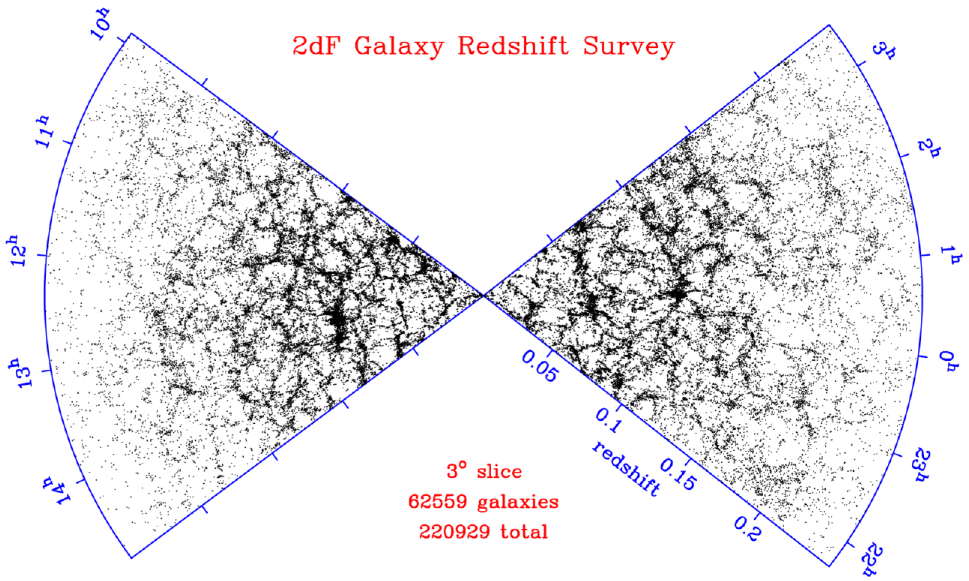
Ontstaan

Meer sterrenkunde!



Bron: Chris Mihos (Case Western Reserve University)/ESO (2009)

- Ons Melkwegstelsel
 - Melkweg
- Sterrenstelsels waarnemen
 - Waarnemen
- Morfologie
 - Stemworkdiagram
 - Elliptisch
 - Spiraal
 - Rotatiecurven
 - Tully-Fisher
 - Onregelmatig
- Groepen en clusters
 - Lokale Groep
 - Andromedanevel
 - Virgo cluster
- Grote schaal
 - Interacties
- Ontstaan
 - Ontstaan
- Meer sterrenkunde!



Interacties: M51 — the Whirlpool Galaxy (H6.4.1)

Sterrenstelsels

Ons

Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemworkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

Grote schaal

Interacties

Ontstaan

Ontstaan

Meer

sterrenkunde!



Bron: NASA, ESA (2005)

- Ons Melkwegstelsel
 - Melkweg
- Sterrenstelsels waarnemen
 - Waarnemen
- Morfologie
 - Stemvorkdiagram
 - Elliptisch
 - Spiraal
 - Rotatiecurven
 - Tully-Fisher
 - Onregelmatig
- Groepen en clusters
 - Lokale Groep
 - Andromedanevel
 - Virgo cluster
 - Grote schaal
- Interacties
- Ontstaan
 - Ontstaan
- Meer sterrenkunde!



Bron: [Wikimedia](#), user W4sm astro (2020)

Sterrenstelsels

Ons

Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels

waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemvorkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en

clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

Grote schaal

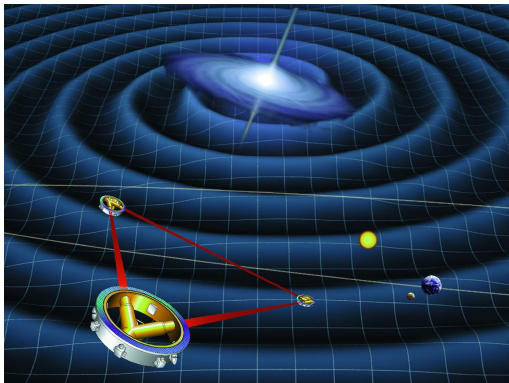
Interacties

Ontstaan

Ontstaan

Meer

sterrenkunde!



Bron: lisamission.org

Ruimtemissie

- 3 ruimtevaartuigen, 4 testmassa's
- Detector in een baan om de Zon, 20° achter de Aarde
- Driehoeksofstelling, armen van 2.5 miljoen km
- 1 Watt lasers
- Lage frequenties: 0.1 mHz – 1 Hz ($P \sim 1 \text{ s} - 3 \text{ u}$)
- Missieduur 5+ jaar
- LISA Pathfinder (december 2015) heeft technologie getest
- Lancering 2037+?

Waarnemingen

- Galactische dubbele witte dwergen
- Supermassieve zwarte gaten (SMBHs) in de kernen van botsende sterrenstelsels
- Vangst van compacte objecten door SMBHs
- Kosmische strings?
- Fase-overgangen in het vroege heelal?

Nauwkeurigheid

- Massa's van SMBHs ($10^4 - 10^7 M_{\odot}$): tot $\sim 0.1 - 10\%$
- Posities: enkele graden
- Directe afstandmeting: $\sim 1 - 10\%$



Sterrenstelsels

Ons
Melkwegstelsel
Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen
Waarnemen

Morfologie
Stemvorkdiagram
Elliptisch
Spiraal
Rotatiecurven
Tully-Fisher
Onregelmatig

Groepen en
clusters
Lokale Groep
Andromedanevel
Virgo cluster
Grote schaal
Interacties

Ontstaan
Ontstaan

Meer
sterrenkunde!

- 1 Ons Melkwegstelsel
- 2 Sterrenstelsels waarnemen
- 3 Morfologie

- 4 Groepen en clusters
- 5 Ontstaan
 - Ontstaan
- 6 Meer sterrenkunde!

Ons
Melkwegstelsel

Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen

Waarnemen

Morfologie

Stemworkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

Groepen en
clusters

Lokale Groep

Andromedanevel

Virgo cluster

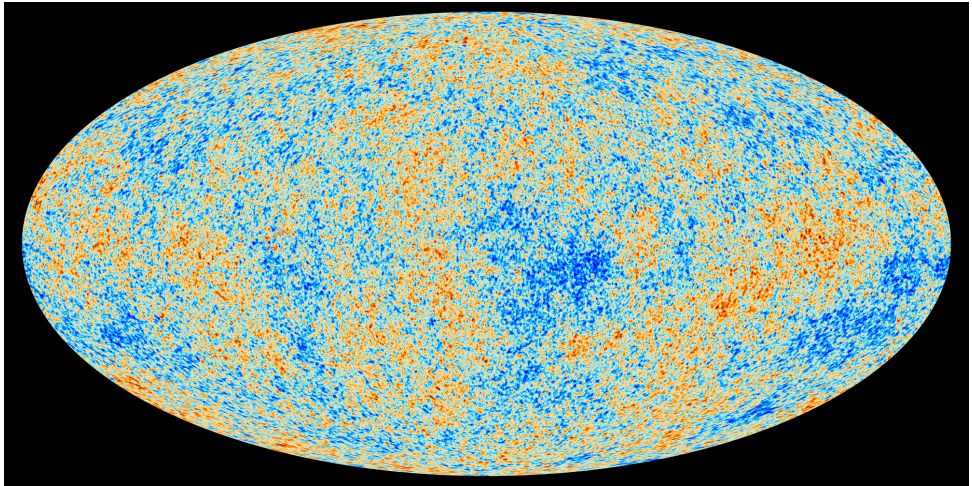
Grote schaal

Interacties

Ontstaan

Ontstaan

Meer
sterrenkunde!



Bron: ESA/Planck

- $T_{\text{eff}} = 2.72548 \pm 0.00057 \text{ K}$

- $\Delta T/T \sim 10^{-5} (!)$

- structuur ontstaan: $t \sim 10^{-30} \text{ s}$

- vastgelegd: $t = 377.7 \pm 3.2 \text{ kyr}$ ($z \approx 1100$)

**Ons
Melkwegstelsel**

Melkweg

**Sterrenstelsels
waarnemen**

Waarnemen

Morfologie

Stemvorkdiagram

Elliptisch

Spiraal

Rotatiecurven

Tully-Fisher

Onregelmatig

**Groepen en
clusters**

Lokale Groep

Andromedanevel

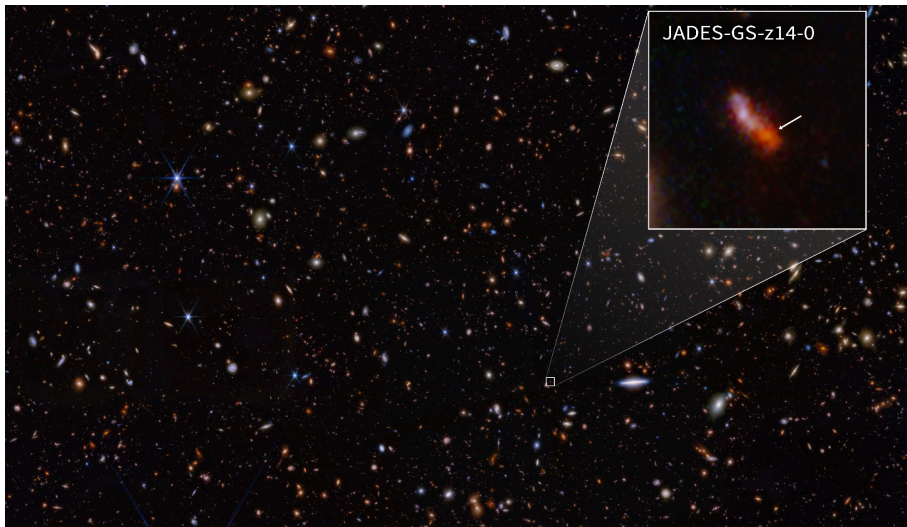
Virgo cluster

Grote schaal

Interacties

Ontstaan

Ontstaan

**Meer
sterrenkunde!**

Bron: NASA, ESA, CSA, STScI

$$z \approx 14.3; \quad t(z) \approx 230 \text{ Myr}; \quad t_{\text{rel}} = t(z)/t_0 \sim 1.7\%; \quad a(z) \sim 0.065$$

Sterrenstelsels

Ons
Melkwegstelsel
Melkweg

Sterrenstelsels
waarnemen
Waarnemen

Morfologie
Stemvorkdiagram
Elliptisch
Spiraal
Rotatiecurven
Tully-Fisher
Onregelmatig

Groepen en
clusters
Lokale Groep
Andromedanevel
Virgo cluster
Grote schaal
Interacties

Ontstaan
Ontstaan

Meer
sterrenkunde!

- 1 Ons Melkwegstelsel
- 2 Sterrenstelsels waarnemen
- 3 Morfologie

- 4 Groepen en clusters
- 5 Ontstaan
- 6 Meer sterrenkunde!

Meer weten over:

(Dubbel)sterevolutie: → cursus **Stellaire astrofysica** (2^e jaar), MvdS

Zwarte gaten: → cursus **Zwarte gaten** (1^e of 2^e jaar), Prof. S. Vandoren

Zwaartekrachtgolven: → cursus **Gravitational waves** (3^e jaar), Prof. C. van den Broeck & Dr. A. Samajdar

Sterrenstelsels en kosmologie: → cursus **Cosmology & Galaxies** (3^e jaar), Dr. E. Chisari & Dr. E. Plauschinn

Afstuderen met compacte dubbelsterren/zwaartekrachtgolfbronnen:

- Kom over ~ 1.5 jaar langs voor je BSc-project (BONZ)