

# Melkwegstelsels

## Bouwstenen van het Heelal

Henny J.G.L.M. Lamers  
Universiteit van Amsterdam

[h.j.g.l.m.lamers@uu.nl](mailto:h.j.g.l.m.lamers@uu.nl)  
[www.hennylamers.nl](http://www.hennylamers.nl)

De sterrenkunde in 2026 Amersfoort 22 april 2026



1



De melkweg boven een kerkje in Frankrijk

2



De melkweg boven  
Terschelling

Foto: Marco Lok

3



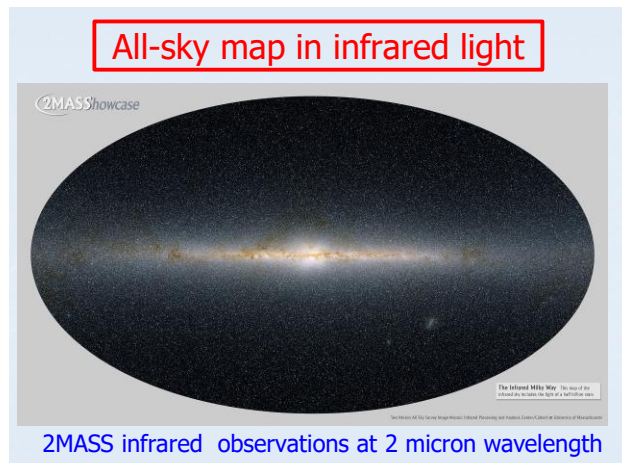
Groothoek opname van Melkweg  
op het zuidelijk halfrond

4



All-sky map in visual light (all around)

5

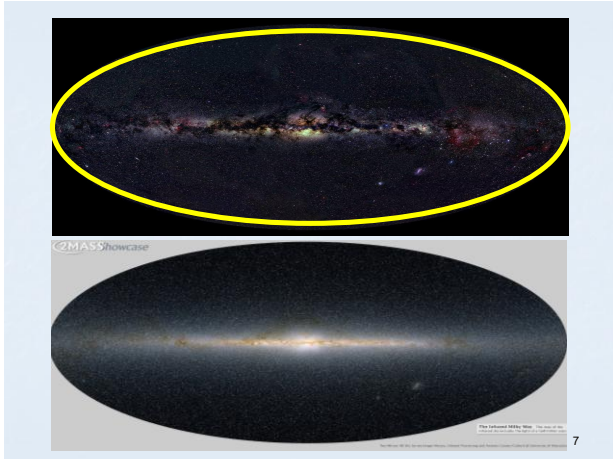


All-sky map in infrared light

2MASS Showcase

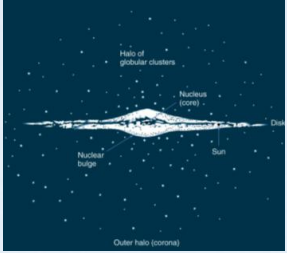
2MASS infrared observations at 2 micron wavelength

6




7

**Harold Shapley (1885 - 1972)**

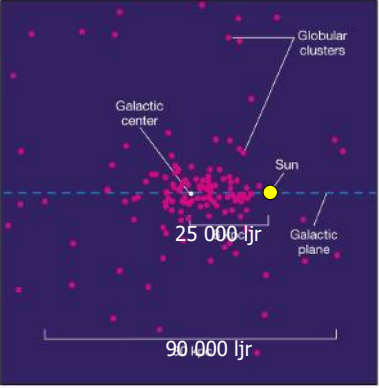
Rondom melkweg zitten bolhopen



Directeur van Harvard Observatory 1921 - 1952

9

**Shapley's model van de melkweg (1918)**



1. Melkwegstelsel is ongeveer 90 000 ljr groot.
2. Zon zit niet in centrum, maar ca 25 000 ljr daar vandaan, in het platte vlak

11


Het Andromeda sterrenstelsel lijkt veel op onze Melkweg



Afstand 2 miljoen lichtjaar, diameter 100 000 lichtjaar

12

**Spiraal stelsels**



NGC 1232, d=61 Mlj  
Boven-aanzicht van een spiraal stelsel

NGC 4013, d = 55 Mlj  
Zij-aanzicht van een spiraal stelsel

13

**Een melkwegstelsel op zijn kant**



Afstand : 30 miljoen lichtjaar

Diameter : 100 000 lichtjaar

Dikte : 3000 lichtjaar

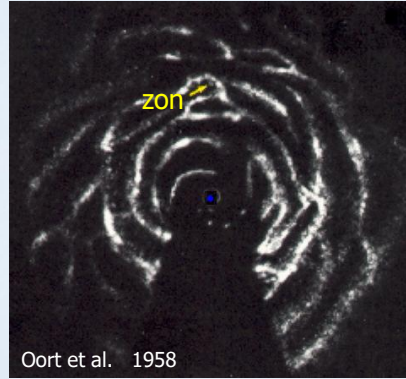
NGC 4565

14

Heeft onze Melkweg ook een spiraal structuur ?

15

De spiraal structuur van onze Melkweg



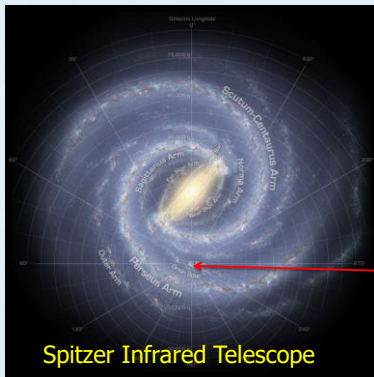
De ligging van gaswolken in MW-vlak. Voor het eerst in kaart gebracht met metingen van de radio telescoop van Dwingeloo in 1958 !



Oort et al. 1958

16

Huidig model van spiraal structuur van onze MW een centrale balk met spiraal-armen



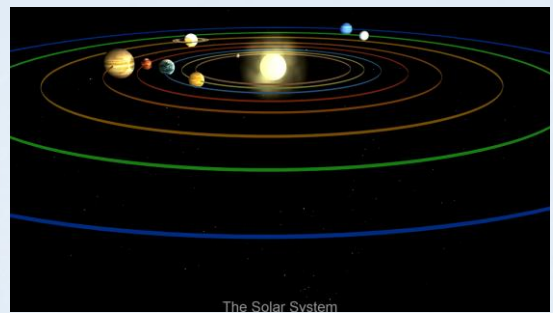
Churchwell et al. 2005

Zon

Spitzer Infrared Telescope

17

17

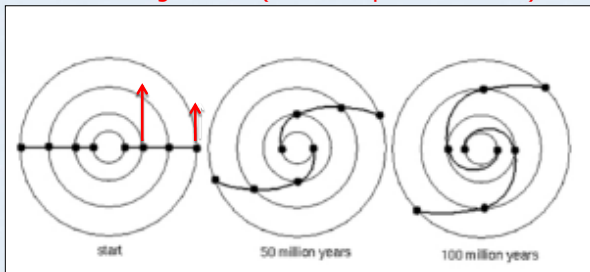


The Solar System

19

19

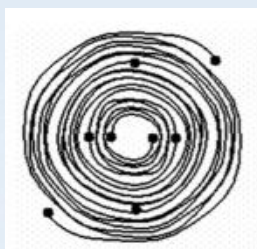
1. Stel je begint met een rechte structuur
2. De binnengebieden draaien sneller dan de buitengebieden (net als in planetenstelsel)



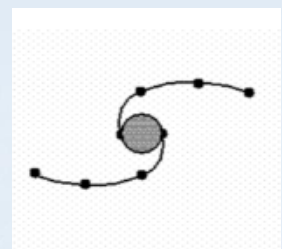
Zo zouden spiraalarmen kunnen ontstaan, maar...

20

20



Na een paar honderd miljoen jaar zou de spiraal heel sterk zijn opgewonden !!



Maar na 12 miljard jaar zien we zo iets!

Dus spiraalarmen zijn geen opgewonden slierten !!

21

## Spiraal armen zijn golfpatroon



Golfpatroon in  
stilstaand water

22

22



4 dec 2011: Heerenveen – AZ 5-1

23

23

## Spiraal armen zijn golfpatroon



Golfpatroon in  
stilstaand water



Golfpatroon in  
bewegend water

24

24

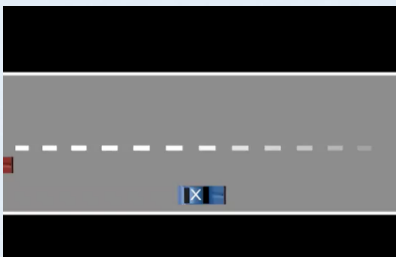
De spiraal armen van melkwegstelsels zijn  
**dichtheidsgolven.**

(ongeveer als geluidsgolven in de lucht)

25

25

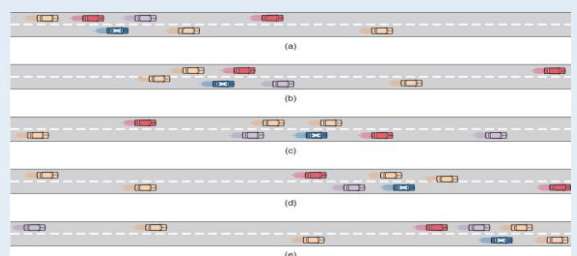
## Ontstaan van een dichtheidsgolf in het verkeer



De verdichting is altijd bij de politie auto, maar het zijn  
steeds andere auto's !!  
Iedere auto remt alleen maar even tijdelijk en gaat dan  
weer met de oorspronkelijke snelheid verder.

26

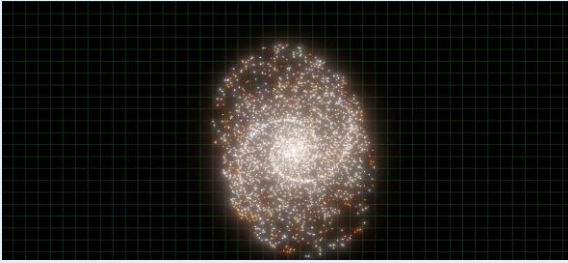
26



De auto's blijven niet in de verdichting:  
ze remmen even af en gaan dan weer verder.  
Dus in de dichtheidspiek zitten steeds andere auto's !  
Dit zou ook gelden als de politiewagen stil staat,  
of als hij langzaam rijdt, of achteruit rijdt !

27

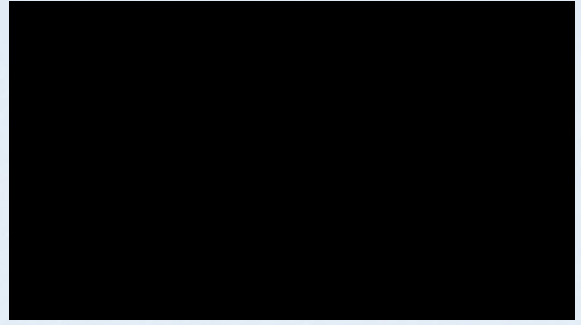
## The reason galaxies have spiral arms



<https://youtu.be/frDNADqWzT4?si=97ONv1BjunbKCZMN>

28

28

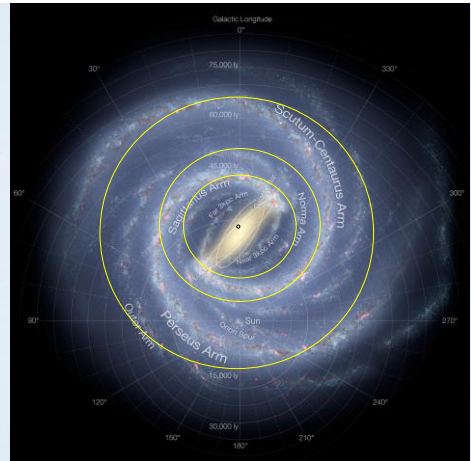


<https://youtu.be/frDNADqWzT4?si=97ONv1BjunbKCZMN>

29

29

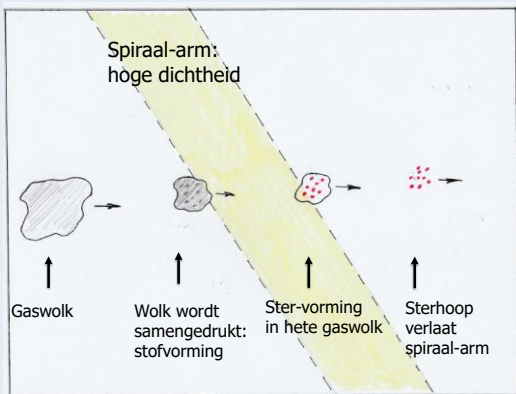
## Stervorming in spiral armen



32

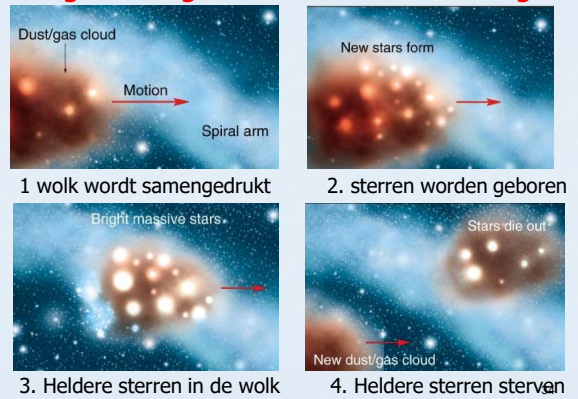
31

## Stervorming in een spiraal-arm



33

## Een gaswolk gaat door een dichtheidsgolf



34



35

Het verschil tussen licht van sterren en van gas/stof wolken

voornamelijk wolken      voornamelijk sterren

Spiraal stelsel M81, afstand 12Mlj

37

Hubble  
Vooral sterren

Webb  
Vooral koud stof en stervormingsgebieden

38

Het centrum van ons melkwegstelsel

39

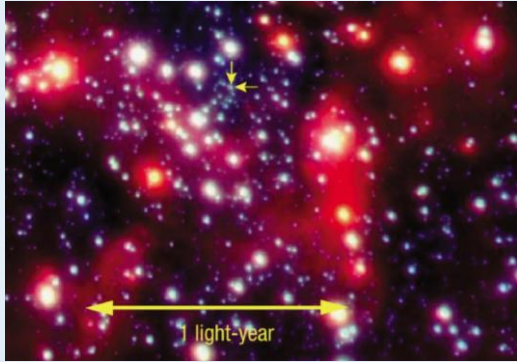


40



41

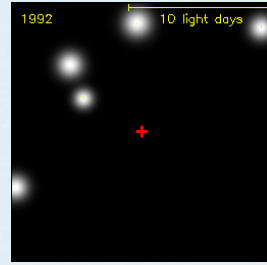
## Sterren in het centrum van onze MW



42

42

## aanwijzing voor een zwart gat in het centrum van onze MW



Uit de snelheid van sterren rondom de rode punt is af te leiden dat hier een zwart gat moet zitten met een massa van 3,7 Miljoen  $M_{\text{zon}}$  !

43

43

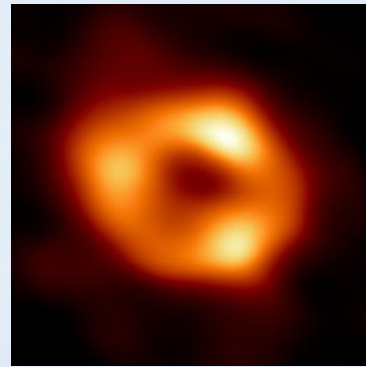


**Event Horizon Telescope = Whole Earth Telescope**  
Een samenwerkings project van 12 radio sterrenwachten o.l.v. o.a. Heino Falcke

45

45

## foto van zwarte gat in centrum van de melkweg

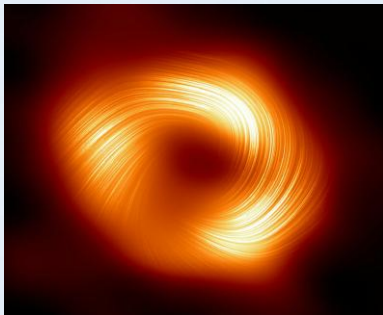


Event Horizon Telescope  
Mei 2022

46

46

## Zwarte gat in het centrum van de melkweg (opname in gepolariseerde radio straling)



Maart 2024

Slierten tonen het magneteveld

47

47

## 2019: beroemde foto van het zwarte gat in M87



in centrum M87  
5 miljard x zon  
55 miljoen lichtjaar

Heel zwaar zwart gat: 6,5 miljard  $M_{\text{zon}}$

48

48

## donkere materie in de melkweg

49



1933

“ Als dit bevestigd kan worden dan krijgen we het verrassende resultaat dat er donkere materie is in de Coma cluster: veel meer dan de “zichtbare materie”.

Zwicky's idee sloeg niet aan : vergeten.

50

50



Coma cluster: een groep van > 1000 melkwegstelsels, op een afstand van 300 miljoen lj  
Vlucht-snelheid van de cluster: 7000 km/s

51

## De rotatie van melkwegstelsels

1939

Horace Babcock vindt dat de buitengebieden van het Andromeda melkwegstelsel veel sneller roteren dan verwacht.



**Horace Babcock**  
1882-1968  
Mount Palomar



Andromeda stelsel  
afstand 2 miljoen lj.

52

52

## De rotatie van melkwegstelsels

1940

Jan Oort vindt hetzelfde voor melkwegstelsel NGC 3115. Maar hij was aanvankelijk geen aanhanger van donkere materie.



**Jan Oort**  
1900-1992



**NGC 3115**  
Afstand 32 miljoen lj

53

53

## Waar zit de donkere materie precies ?

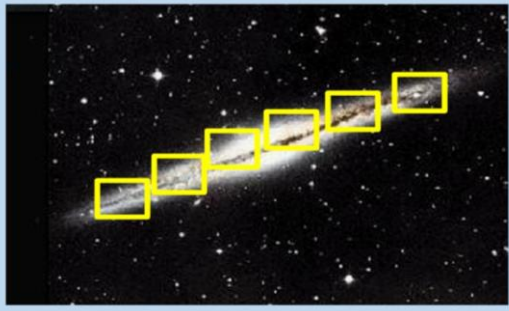


De rotatiekromme van platte melkwegstelsels

54

54

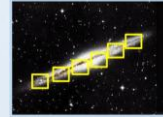
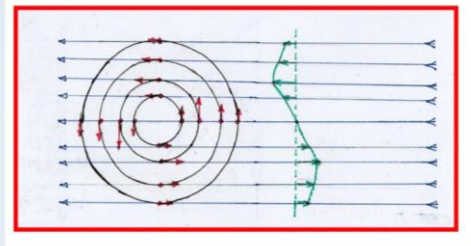
Waar zit de donkere materie precies ?



De rotatiekromme van platte melkwegstelsels

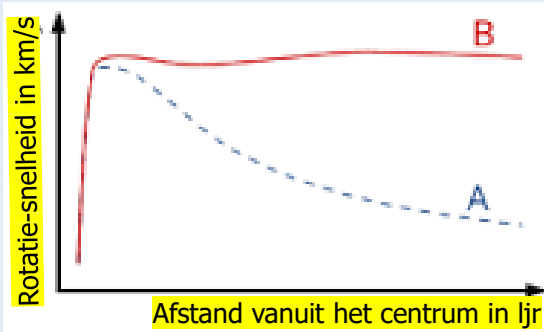
55

De rotatie kromme van platte melkwegstelsels



56

De rotatiekromme van een plat melkwegstelsels



57

1970

Studie van de rotatiekromme van melkwegstelsels



Vera Rubin  
Optische spectra van  
sterrenstelsels  
(Palomar en Kitt Peak)



Albert Bosma  
Radiostraling van gaswolken  
in sterrenstelsels  
(Westerbork)

58

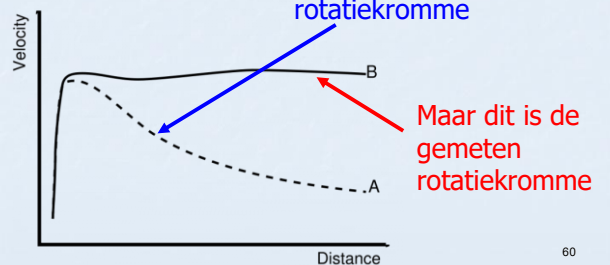
Helderheids verdeling: sterk gecentreerd



59



Als de verdeling van  
het licht overeenkomt  
met de verdeling van  
de massa, dan  
verwacht je deze  
rotatiekromme



60

1970  
 Studie van de rotatiekromme van melkwegstelsels



**Vera Rubin**  
 Optische spectra van  
 sterrenstelsels  
 (Palomar en Kitt Peak)



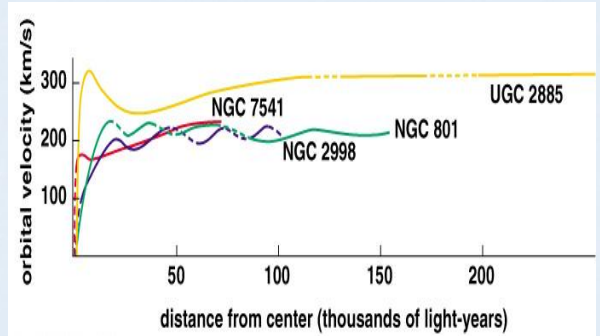
**Albert Bosma**  
 Radiostraling van gaswolken  
 in sterrenstelsels  
 (Westerbork)

**Dus donkere materie bestaat echt !!**

61

61

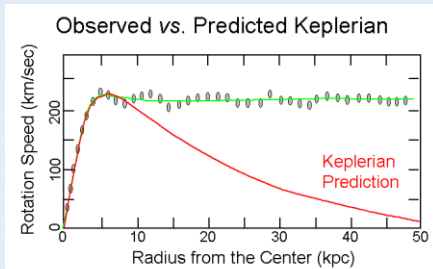
De rotatiekrommen van alle spiraalstelsels zijn vlak



62

62

De rotatiekromme van de Melkweg

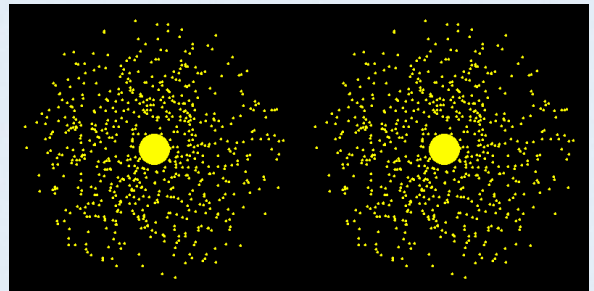


Conclusie: er is dus meer materie dan we kunnen zien  
 en die is uitgebreid in en rondom de melkweg:  
**donkere materie**

63

63

Draaiing van sterren in het vlak van een MW  
 stelsel



Zonder donkere materie

Met donkere materie

64

64

Wet van Newton:

De aantrekkingskracht hangt af van de massa  
 binnen de straal (r)

$$F = G M(r) / r^2$$

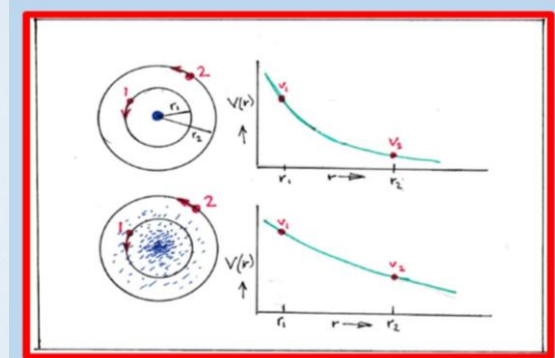
Daaruit volgt

$$v = \sqrt{G M(r) / r}$$

- V = baansnelheid
- G = zwaartekrachts constante
- M(r) = massa binnen straal (r)
- r = straal van de cirkelbaan

66

66



$$V(r) = \sqrt{G M(r) / r} \quad \rightarrow \quad M(r) = V^2 \times r / G$$

67

67

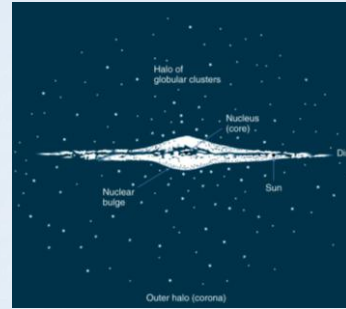
## De bouw van onze melkweg

68

## Onze melkweg: een plat spiraal stelsel

Diameter  
100 000 lj

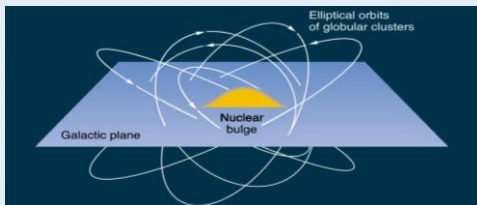
Afstand  
zon-  
centrum  
25 000 lj



Een platte schijf met gaswolken en jonge sterren: 0 tot 10 Gjr .  
Er omheen een halo van oude sterren en oude sterhopen: 12 Gjr .  
( een Gigajaar = Gjr = 1 miljard jaar )

69

Uit de snelheid van sterhopen kan worden  
afgeleid hoe zwaar de hele MW is



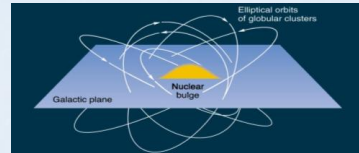
Dat blijkt  $10^{12}$  (biljoen)  $M_{\text{zon}}$  te zijn.  
Dat is  $\sim 5$  keer meer dan alle sterren en gaswolken samen. !

We zien en kennen dus maar  $\sim 20\%$  van de materie waaruit  
onze MW is opgebouwd.

De onbekende rest noemen we "donkere materie" 70

70

Uit de bewegingen van sterren kan worden  
afgeleid hoe zwaar een MW is



Men vindt voor vrijwel ALLE melkwegstelsels hetzelfde:  
80 procent van hun materie is onzichtbaar

**Donkere materie !**

Totaal onbekend waaruit het bestaat !  
80 % van de materie van het heelal  
is "donker" = onbekend

71

71

**DE MENS TUSSEN DE STERREN**  
WELKE OERKNAAL VAN HET TIJDIJNDE HEELAL?

Prof. Henk J.G.L.M. Lammers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam  
Astroboekjes: deel 1

**HALLO IS DAAR IEMAND?**  
SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL

Prof. Henk J.G.L.M. Lammers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam  
Astroboekjes: deel 2

Hier 5,00

**DE OERKNAAL EN HET TIJDIJNDE HEELAL**  
OP ZOEK NAAR DE OERSPRONG

Prof. Henk J.G.L.M. Lammers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam  
Astroboekjes: deel 3

**HET DRAAIT ALLEMAAL OM DE ZON**  
ONTSTAAN, BOUW EN EVOLUTIE VAN ONS PLANETENSTELSEL

Prof. Henk J.G.L.M. Lammers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam  
Astroboekjes: deel 4

AstroBoekjes

1. De mens tussen de sterren (33<sup>e</sup> druk)
2. Hallo is daar iemand (29<sup>e</sup> druk)
3. De oerknal en het tijdijnd heelal (29<sup>e</sup> druk)
4. Het draait allemaal om de Zon (21<sup>e</sup> druk)

nu  
euro 7,50 per stuk

Ik signeer op verzoek

72

MYSTERIES IN HET HEELAL

DONKERE MATERIE  
EN  
DONKERE ENERGIE

Prof. Henk J.G.L.M. Lammers  
Sterrenkundig Instituut  
Universiteit van Amsterdam

Astroboekjes: deel 5

Nieuw  
AstroBoekje 5  
November 2024

6<sup>e</sup> druk 2026

73

## Soorten melkwegstelsels

74

## Spiraal stelsel (S)

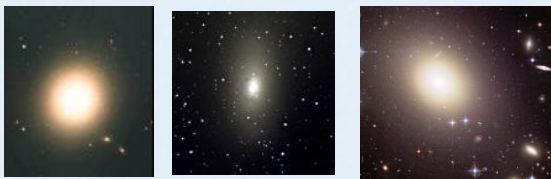


1. Sterk afgeplat
2. Jonge sterren in spiraalarmen:  
Stervorming gaat door.
3. Bulge alleen oude sterren
4. Zwaar:  $10^{10}$  a  $10^{12}$  Mzon
5. Groot: 100 000 lj.



75

## Elliptische stelsels (E)



- Vorm als rugby bal
- Weinig structuur
- Voornameijk oude sterren: geen recente stervorming

76

## Onregelmatige dwerg stelsels



Large Magellanic Cloud

NGC 1427



NGC 1569

Hummingbird Galaxy

Meest voorkomend, klein,  $10^7$  a  $10^8$  Mzon

77

## Faint fuzzies



Leda 677373 d= 14 Mlj

78

## Elliptisch reuzen stelsel



Dit zijn de  
grootste en  
zwaarste  
stelsels:

$10^{12}$   
zonsmassa

M87  
d= 53 Mlj  
M=2,5  $10^{12}$  Mzon

79

**Messier 87 een reuzen elliptisch stelsel**  
1000 maal meer massa dan ons eigen MW-stelsel

Afstand: 55 miljoen lj

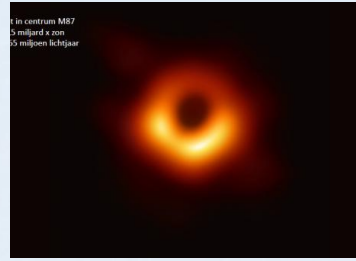


Dit stelsel heeft een Zwart Gat van 6,5 miljard x Zon

80

80

**2019: beroemde foto van het zwarte gat in M87**



Je ziet de straling van het hete gas in de schijf rondom het zwarte gat.  
Het donkere deel is binnen de waarnemings horizon

81

81

**Cluster van melkweg stelsels**



Cluster Abell 1056, afstand 160 Mlj

84

84

Een van de eerste Webb opnamen: zeer verre sterrenstelsels



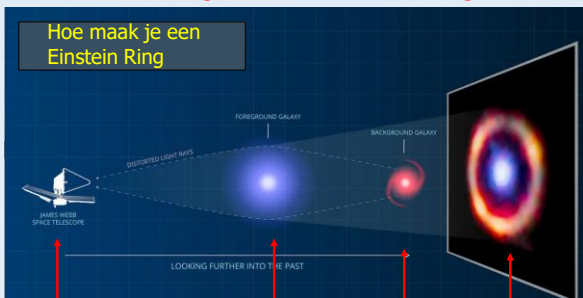
De boogjes wijzen op aanwezigheid van donkere materie die het licht van stelsels erachter afbuigt: Einstein ringen

85

85

**De vorming van een Einstein ring**

Hoe maak je een Einstein Ring



JWST

Een heel zwaar voorgrond stelsel dat licht afbuigt.

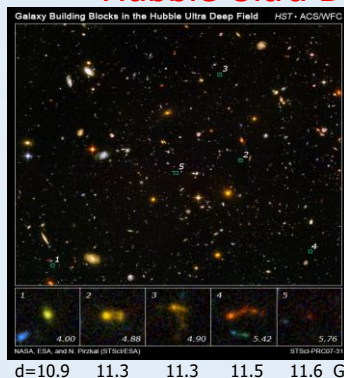
Achtergrond stelsel

Dit ziet de JWST

86

86

**Hubble Ultra Deep Field**



Oppervlak: 1 % van volle maan  
Totale belichting: 11.3 dagen  
Vier filters

Duizenden stelsels op zeer grote afstand!  
Vaak onregelmatige vorm.  
Meerderheid veel kleiner dan ons melkwegstelsel.

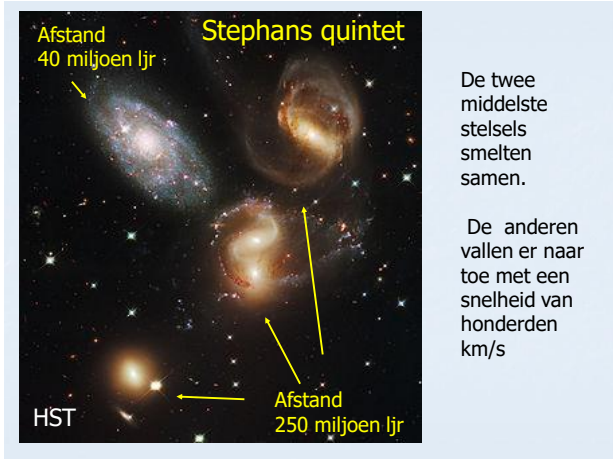
Bouwstenen van zware melkwegstelsels

d=10.9 11.3 11.3 11.5 11.6 Gljr

(Big bang= 13.78 Gjr)

87

87



De twee middelste stelsels smelten samen.  
De anderen vallen er naar toe met een snelheid van honderden km/s

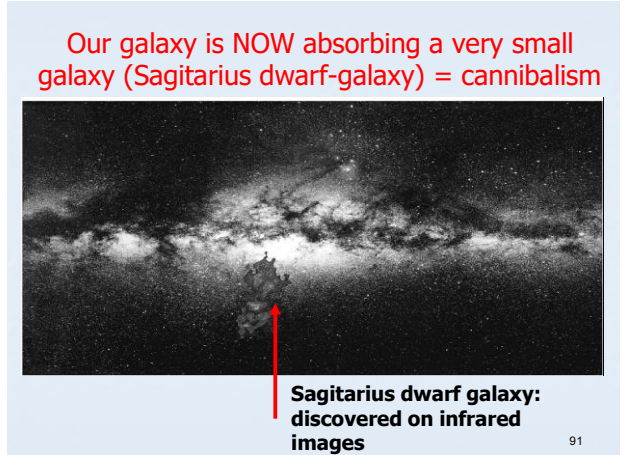
88



89



90



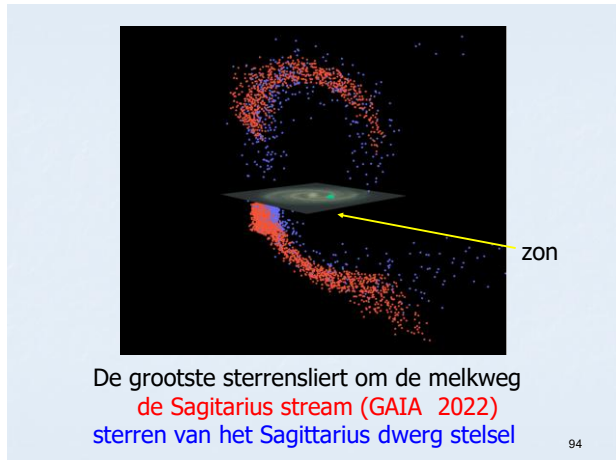
91



92



93



94

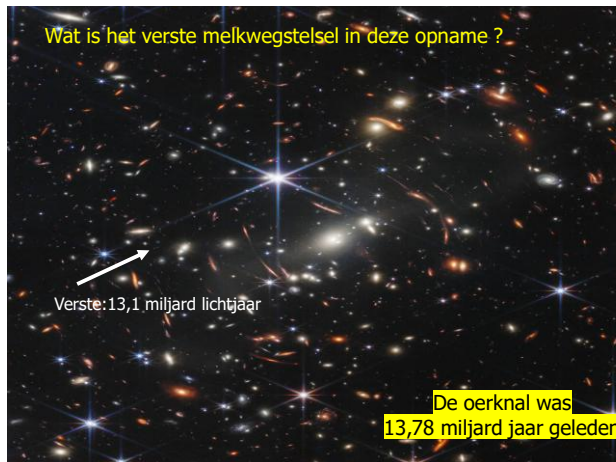
## ENCELADUS: "the last major merger"

Uit GAIA metingen:

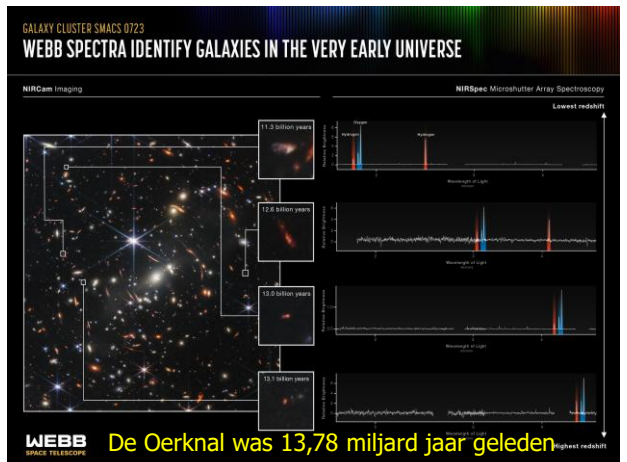
De laatste samensmelting van de melkweg met een ander groot stelsel was 8 – 10 miljard jaar geleden.

De helft van de losse sterren in de halo komt van deze samensmelting!

95



96



98

### Webb: CEERS = Cosmic Evolution Early Release Science

o.l.v. Steven Finkelstein (Austin, Texas)

CEERS JWST/NIRCam: 10000, 10000, 10000, 10000, 10000, 10000  
NASA/STScI/CEERS/TAAC/S. Finkelstein/M. Bagley/B. Larson/Z. Levay

Zoeken naar de verste = oudste = eerste melkwegstelsels

99



100

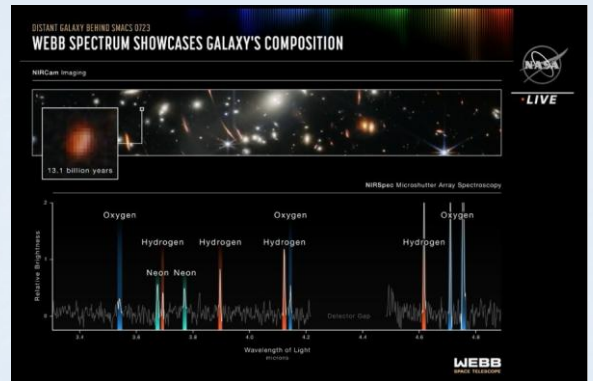
**CEERS 1019 = Maisie's galaxy**  
 400 miljoen jaar na de oerknal  
 Het oudste melkwegstelsel (tot nu toe)



Ontdekt op de 9e verjaardag van de Maisie Finkelstein

101

101

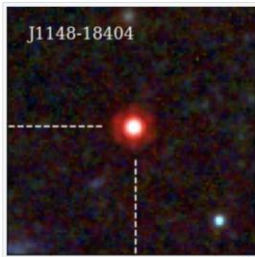


De chemische samenstelling van oudste stelsels

102

102

**Little Red Dots (LRD)**



Ontdekt op Webb opnamen : heel veel voorkomend  
 Van ca 0.6 to 1,6 miljard jaar na oerknal

Grote superzware ster met zwart gat in centrum ?

104

**THE END**  
 Dank U voor Uw  
 aandacht!

105

**DE MENS TUSSEN DE STERREN**  
 WIE OVERLEEFDE VAN VERBODEN VOEDSEL?

Prof. Henry J.G.L.M. Lammers  
 Sterrenkundig Instituut  
 Universiteit van Amsterdam  
 AstroBoekjes: deel 1

**HALLO IS DAAR IEMAND?**  
 SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL

Prof. Henry J.G.L.M. Lammers  
 Sterrenkundig Instituut  
 Universiteit van Amsterdam  
 AstroBoekjes: deel 2

Hier 5,00

**DE OERKNAL EN HET UITDIJDEND HEELAL**  
 OP ZOEK NAAR DE OERSPRONG

Prof. Henry J.G.L.M. Lammers  
 Sterrenkundig Instituut  
 Universiteit van Amsterdam  
 AstroBoekjes: deel 3

**HET DRAAIT ALLEMAAL OM DE ZON**  
 ONTSTAAN, BOUW EN EVOLUTIE VAN ONS PLANETENSTELSEL

Prof. Henry J.G.L.M. Lammers  
 Sterrenkundig Instituut  
 Universiteit van Amsterdam  
 AstroBoekjes: deel 4

AstroBoekjes

1. De mens tussen de sterren (33<sup>e</sup> druk)
2. Hallo is daar iemand (29<sup>e</sup> druk)
3. De oerknal en het uitdijend heelal (29<sup>e</sup> druk)
4. Het draait allemaal om de Zon (21<sup>e</sup> druk)

nu  
**euro 7,50 per stuk**

Ik signeer op verzoek

106

MYSTERIES IN HET HEELAL

DONKERE MATERIE  
 EN  
 DONKERE ENERGIE

Prof. Henry J.G.L.M. Lammers  
 Sterrenkundig Instituut  
 Universiteit van Amsterdam  
 AstroBoekjes: deel 5

Nieuw  
 AstroBoekje 5  
 November 2024

6<sup>e</sup> druk 2026

107