

Melkwegstelsels

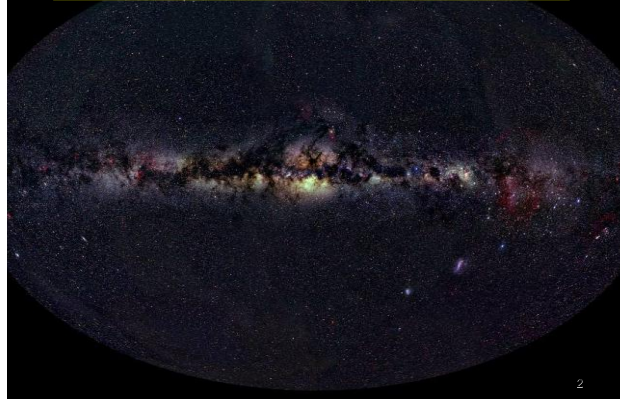
Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut, Universiteit van Amsterdam
h.j.g.l.m.lamers@uu.nl
www.hennylamers.nl



Walrecht cursus: "Wat leren we van de JWST"
26 maart 2025

1

All-sky map in visual light (all around)



2

Het Andromeda sterrenstelsel lijkt veel op onze Melkweg



Afstand 2 miljoen lichtjaar, diameter 100 000 lichtjaar

3

Spiraal stelsels



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

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

4

Een melkwegstelsel op zijn kant



Afstand :
30 miljoen
lichtjaar

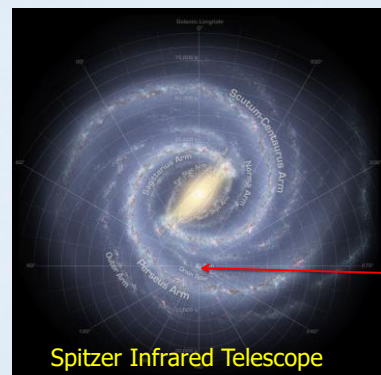
Diameter :
100 000
lichtjaar

Dikte :
3000
lichtjaar

NGC 4565

5

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



Churchwell
et al. 2005

Zon

Spitzer Infrared Telescope

6

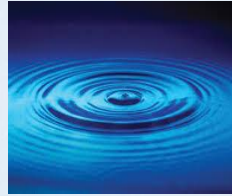
5

6

Spiraal structuur van melkwegstelsels

7

Spiraal armen zijn golfpatroon



Golfpatroon in stilstaand water



Golfpatroon in bewegend water

10

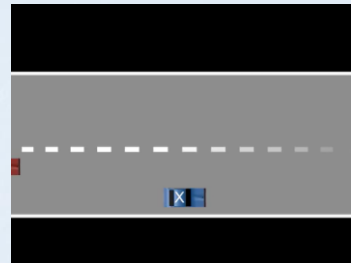
Het golfpatroon in een roterende gasschijf waar de binnendelen sneller draaien dan de buitendelen is spiraal-vormig.

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

(ongeveer als geluidsgolven in de lucht)

11

Ontstaan van een dichtheidsgolf in het verkeer

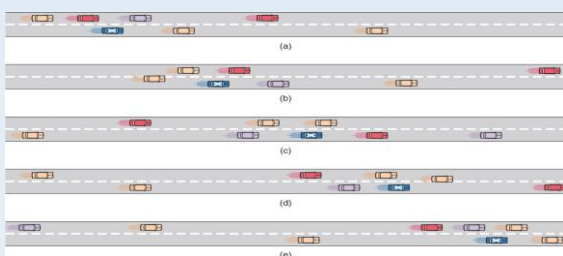


De verdichting is altijd bij de politie auto, maar het zijn steeds andere auto's !!
Iedere auto remt alleen maar even tijdelijk en gaat dan weer met de oorspronkelijke snelheid verder.

12

11

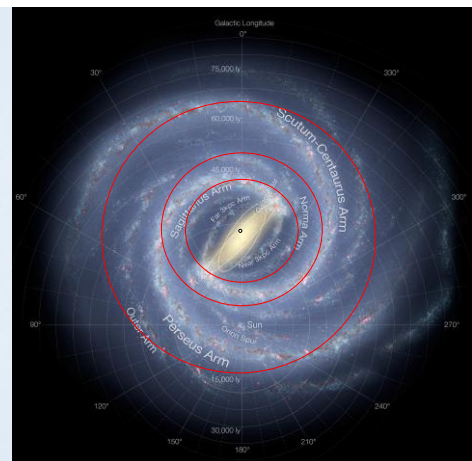
12



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 !

13

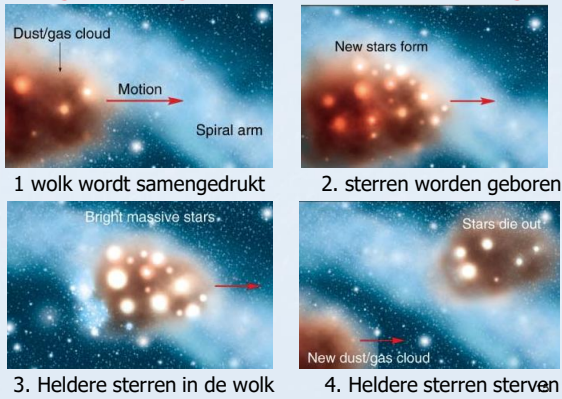
13



14

14

Een gaswolk gaat door een dichtheidsgolf



15

Het verschil tussen licht van sterren en van gas/stof wolken. Twee opnamen door verschillende filters



16



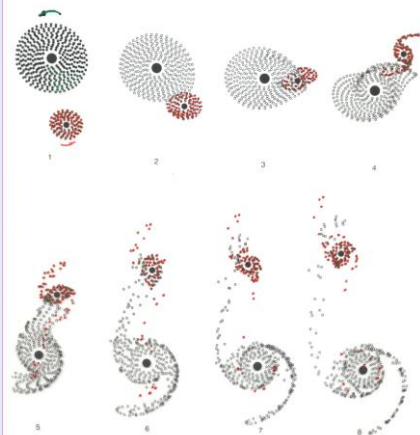
M51

Draaikolknevel met begeleider

Afstand 27 Mljr

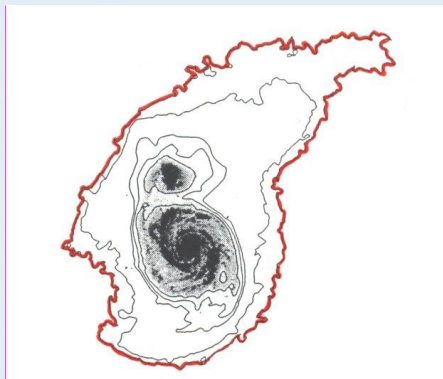
17

17



18

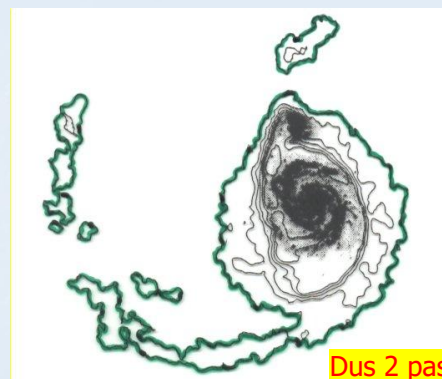
Lange belichting: lichtverdeling = uitstulping



19

19

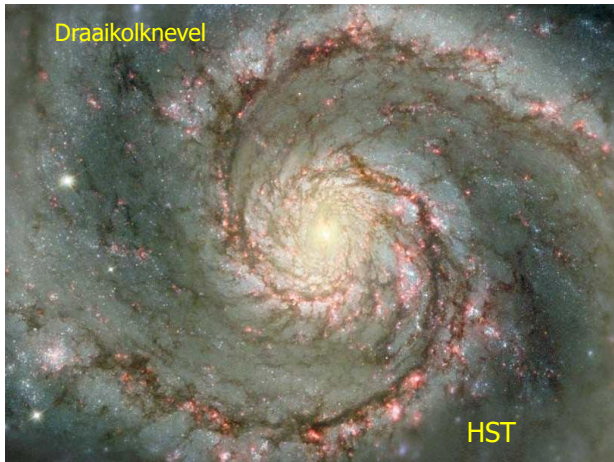
Radiostraling: heel lange staart



Dus 2 passages

20

20



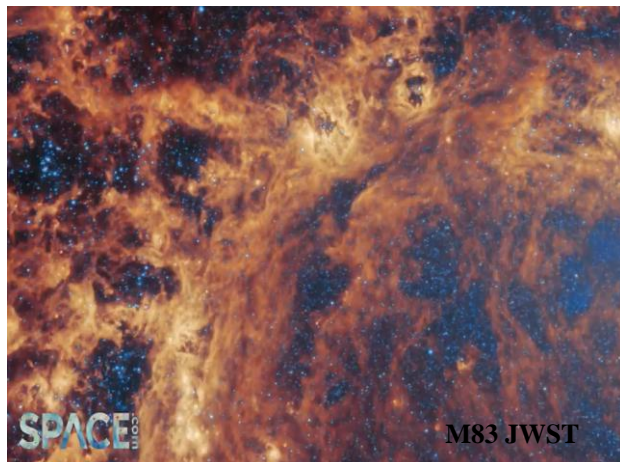
21



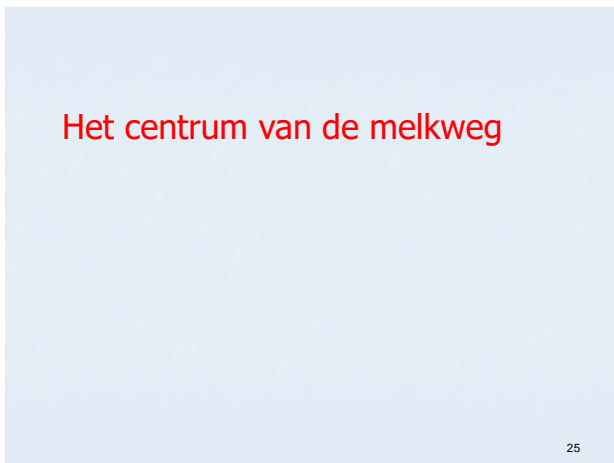
22



23



24

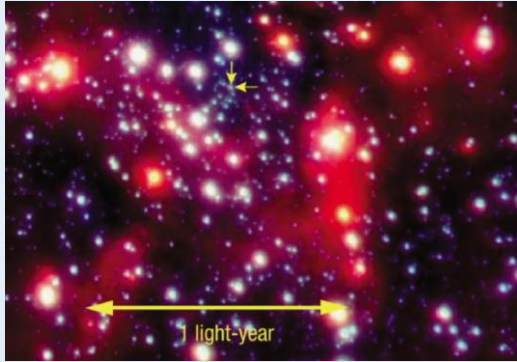


25



26

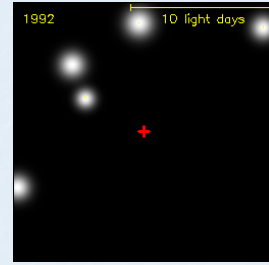
Sterren in het centrum van onze MW



27

27

aanwijzing voor een zwart gat in het centrum van onze MW

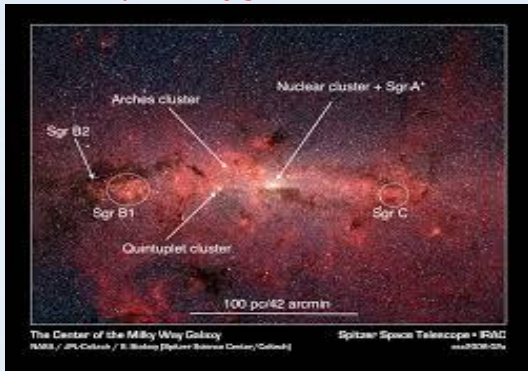


Uit de snelheid van sterren rondom de rode punt is af te leiden dat hier een zwart gat moet zitten met een massa van 3,7 Miljoen M_{zon} !

28

28

Sterhopen nabij galactisch centrum



29

29

Young Sgr C cluster near galactic center



Slechts 300 lichtjaar van zwart gat in centrum MW

Blauw: geïoniseerd H-gas in naald-vormige structuren ?

30

30

De vorming van onze melkweg

31

31

Vorming van onze melkweg



Z = 24

13.7 Gyr ago

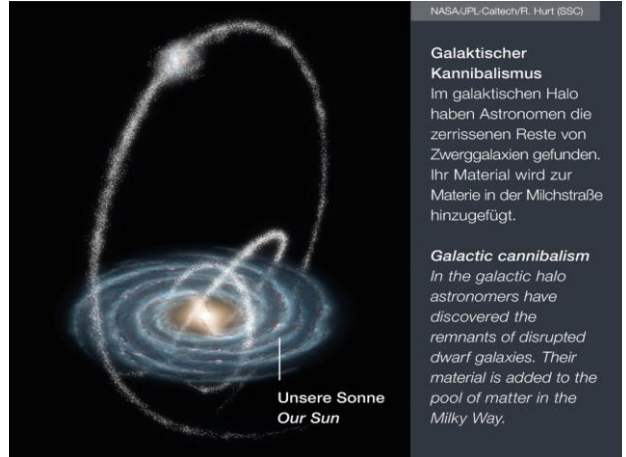
32

GAIA satelliet



34

34



35

Soorten sterrenstelsels

36

36

Spiraal stelsel (S)

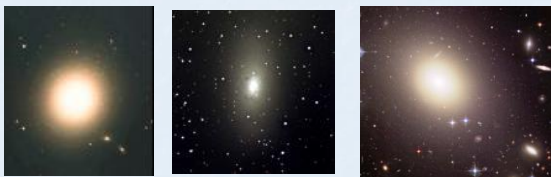


1. Sterk afgeplat
2. Jonge sterren in spiraalarmen: Stervorming gaat door.
3. Bulge alleen oude sterren
4. Zwaar: 10^{10} a 10^{12} Mzon
5. Groot: 100 000 lj.

37

37

Elliptische stelsels (E)



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

38

38

Elliptisch reuzen stelsels



Dit zijn de grootste en zwaarste stelsels:
 10^{14} a 10^{15} zonsmassa

Meestal in centrum van clusters van MW stelsels

M87
d= 53 Mlj

39

39

Onregelmatige dwerg stelsels



Large Magellanic Cloud

NGC 1427



NGC 1569

Hummingbird Galaxy

Veel voorkomend, klein, 10^7 a 10^8 Mzon

40

40

De kleine en de grote Magelhaense Wolk
afstand 163.000 lj
begeleiders van onze melkweg



41

41

Faint fuzzies



Leda 677373 d= 14 Mlj

42

42

Nature 29 maart 2018

NGC 1052 = Ultra Diffuse Galaxy

diameter 100 000 lj, Massa = 1/200 van de Melkweg



Afstand
63 Mlj

Uit rotatie meting van 10 bolhopen: geen donkere materie ?

43

43

NGC 6822: onregelmatig dwerg stelsel



Euclid image

Afstand
1,6 Mljr

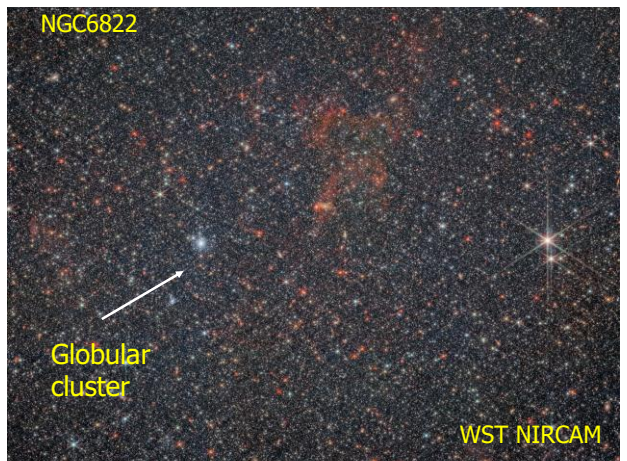
Massa
 10^8 Mzon

Opvallend laag metaal gehalte: 1/50 van MW.
Stervorming ca 4 Gjr geleden toen NGC 6822 de MW passeerde

44

44

NGC6822



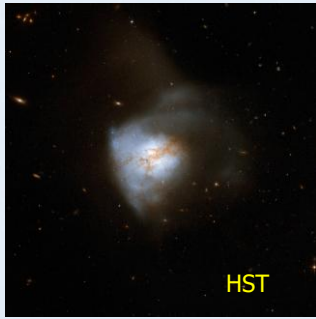
Globular
cluster

WST NIRCAM

45

ARP 220

Ultra luminous infrared galaxy : ULIRG



Afstand 250 Mljr
300 x helderder dan MW
Botsende
spiraal stelsels
Botsing 700 Mjr geleden
Omgeven door veel gas
en stof

46

46

JWST : spectacular galactic merger Arp 220



ULIRG :
ultra-luminous
infra-red
galaxy

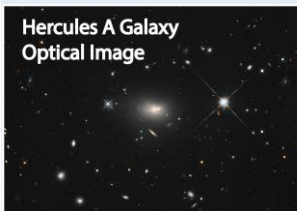
d= 250 Mljr

JWST kan door het stof heen kijken

47

47

Elliptisch reuzenstelsel Hercules A



Hercules A Galaxy
Optical Image



Hercules A Galaxy
Radio Image

Optische straling:
Reuzen stelsel
1000 x onze melkweg

Radio straling:
Bundels van uitgestoten gas
miljoen lichtjaar lang

48

48



Optisch + radio

Een reuzenstelsel met een
zwart gat van 4 miljard x zon

49

2019: beroemde foto van het zwarte gat in M87



in centrum M87
5 miljard x zon
55 miljoen lichtjaar



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

51

51

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

50

50

Eigenschappen van melkwegstelsels

20 % Lichtgevende materie

- sterren (ruwweg helft)
- gas en stofwolken (ruwweg helft)

80 % Donkere materie

(volledig onbekend wat het is !!!
maar het heeft wel zwaartekracht)

Massa bereik:

10^9 tot 10^{12} zonsmassa (inclusief donkere materie)

Diameter :

3000 lj (dwergstelsels) tot 100 000 lj (spiraalstelsels)

52

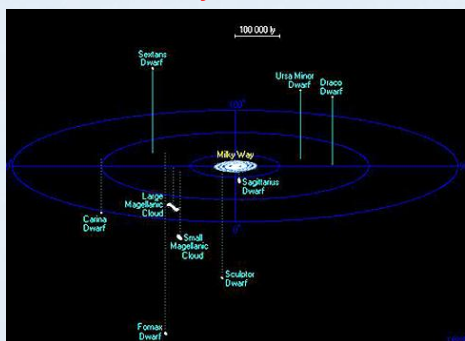
Clusters van melkwegstelsels

53

De lokale groep:

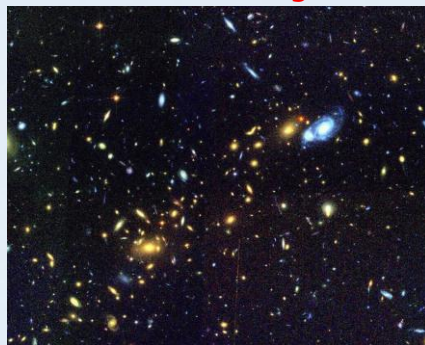
Melkweg omgeven door ongeveer 10 dwerg stelsels

Diameter ca 600 000 lj = 6 x diameter van MW



54

Cluster van melkweg stelsels



Cluster Abell 1056 , afstand 160 Mlj

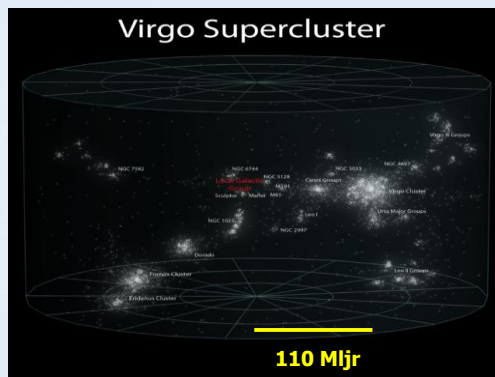
55

Een cluster van melkwegstelsels



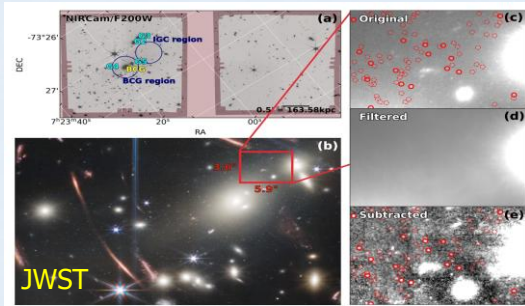
56

Supercluster = verzameling clusters



57

Intra-galactic globular clusters !



Bolhopen : gevormd 0,5 Gjaar na Oerknal

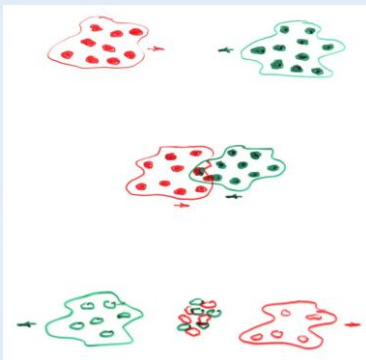
58

Botsende Melkwegstelsels

Wat gebeurt er bij
(bijna-) botsingen van
melkwegstelsels?

59

Gas wolken in botsende melkwegstelsels



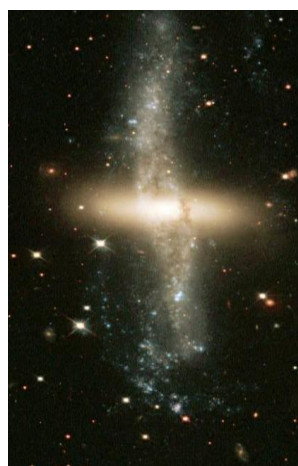
60

60



De vogelkop stelsels: stervormende gaswolken

61

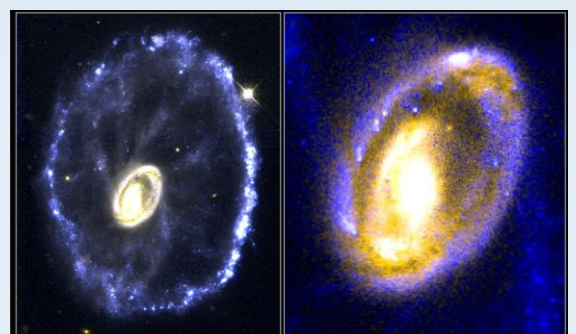


Polair Ring stelsel
=
ingevangen en
kapotgetrokken
stelsel

afstand = 130 Mljr
invang = 1 miljard
jaar geleden

62

62



Cartwheel Galaxy Detail

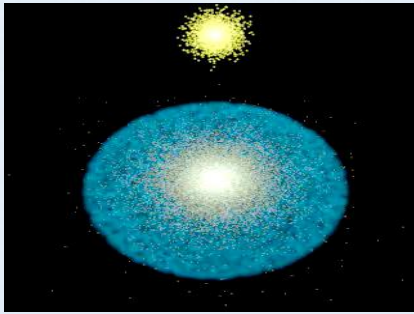
Hubble Space Telescope · Wide Field and P. Camera 2

PHOTONIC - ST Sc OPO - November 26, 1996 - C. Bruck and P. Appleton (Ohio State University), K. Bone (Hughes STX), R. Lucas (ST ScI) and NASA

63

63

Numerical simulation of Cartwheel galaxy: interaction



Yellow = stars
Blue = gas

Mihos 2002

<http://burro.astr.cwru.edu/models/models.html>

64

64

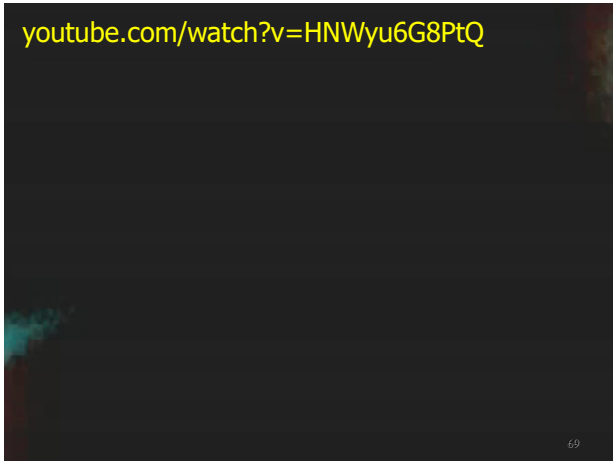
Two galaxies in the process of merging



68

68

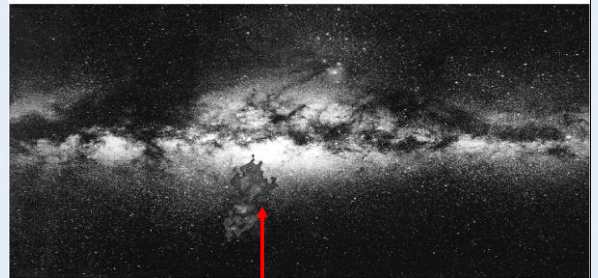
[youtube.com/watch?v=HNWyu6G8PtQ](https://www.youtube.com/watch?v=HNWyu6G8PtQ)



69

69

Our galaxy is NOW absorbing a very small galaxy (Sagittarius dwarf-galaxy) = cannibalism



Sagittarius dwarf galaxy: discovered on infrared images

70

70

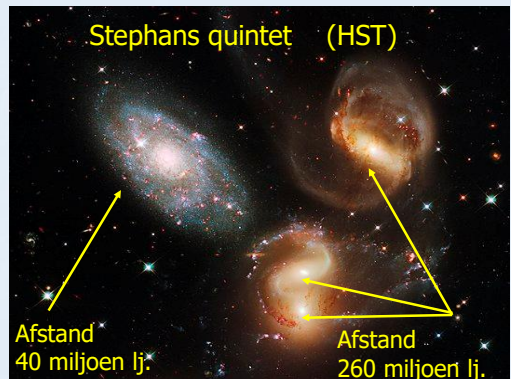
Samensmelten van Melkweg met Andromeda stelsel over 6 miljard jaar.



John Dubřinski

71

Botsende melkwegstelsels



Stephans quintet (HST)

Afstand 40 miljoen lj.

Afstand 260 miljoen lj.

72

Stephans quintet in midden IR licht



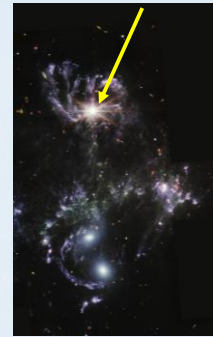
Webb

73

Een superzwaar zwart gat



Hubble
vooral sterren



Webb
vooral stof en stervorming

74

NGC 3256 afstand 120 Mljr



HST

75

75

Clash of the Titans NGC 3256



JWST

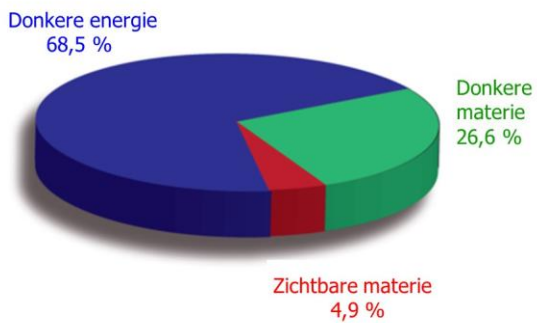
Result of head-on collision of two massive spiral galaxies 500 Myr ago

Red = young stars in dust clouds

76

76

De inhoud van het Heelal



90

Donkere materie in cluster van melkwegstelsels

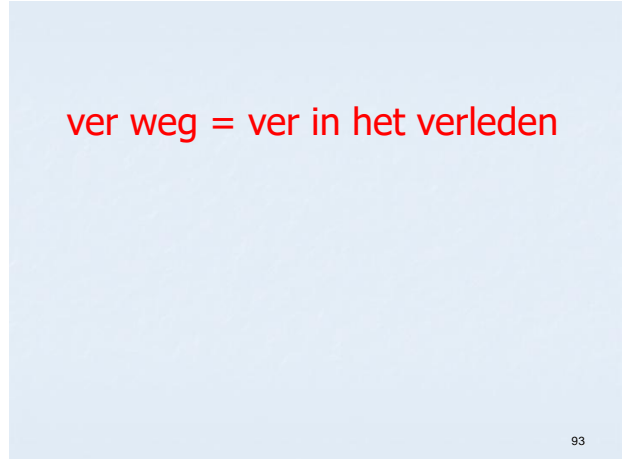


Einsteinringen verraden aanwezigheid van donkere materie ⁹¹

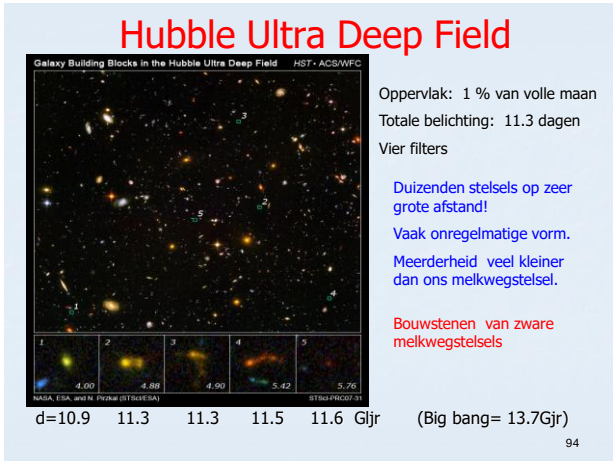
91



92



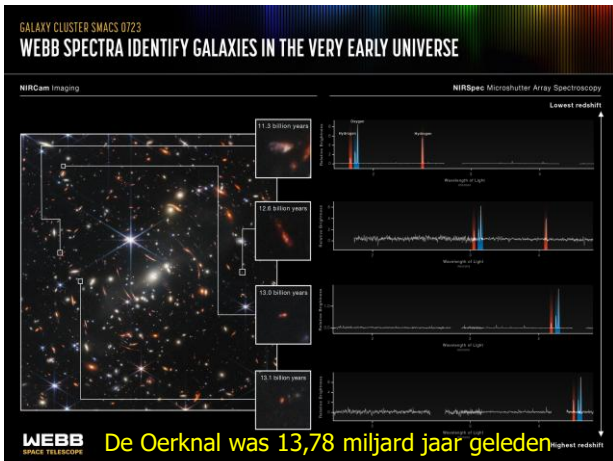
93



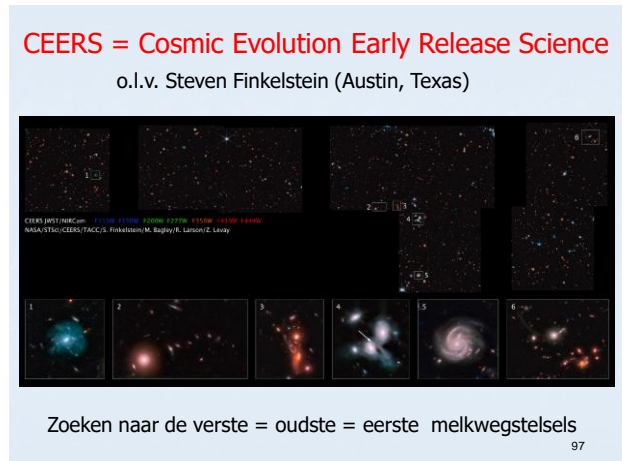
94



95

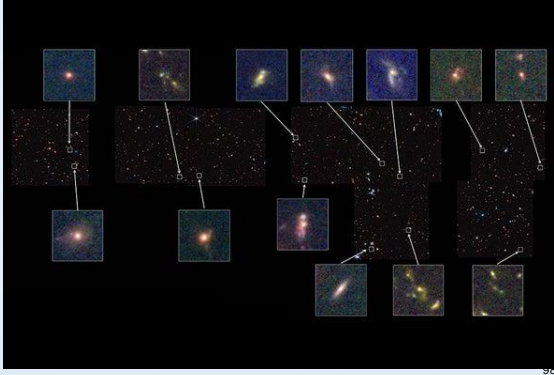


96



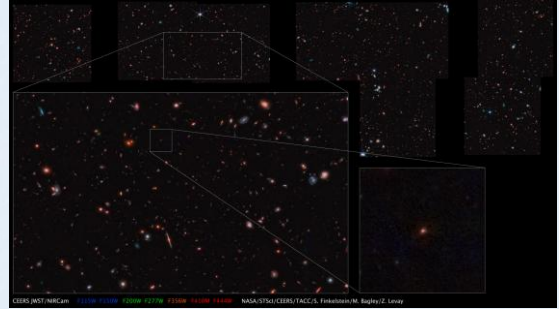
97

Oudste melkwegstelsels



98

Maisie's galaxy : afstand 13.37 miljard lichtjaar



Oerknal was 13.78 miljard jaar geleden
We zien Maisie's stelsel zoals het was 400 miljoen jaar na oerknal

99

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

100

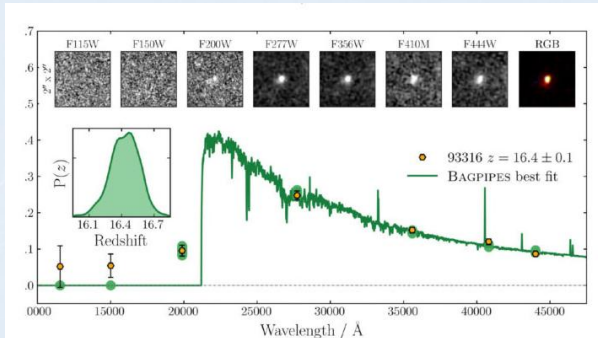
100

Probleem van re-ionisatie

101

101

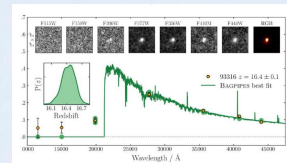
Op heel grote afstanden is heel ondoorzichtig voor UV straling



102

102

Op heel grote afstanden is heel ondoorzichtig voor UV straling



Dat komt door neutraal waterstof (H):
absorbeert straling met golflengte < 912 nm!

Dichtbij (?) wel doorzichtig voor UV straling !

Re-ionisatie

103

103

Re-ionisation

Stars form and galaxies assemble Galaxies begin to change the gas around them Areas of transformed gas expand Clear universe, end of reionization

104

104

JWST finds "green pea" galaxies in early universe

Groen-achtige nevels 700 Mjr na oerknal
 Kleine stelsels lekken UV-licht -> geioniseerde nevels.
Belangrijk voor de re-ionisatie !

105

105

Chemische samenstelling in het vroege heelal

106

106

20 maart 2025

Samenwerking JWST en ALMA

JWST ATACAMA Large Millimeter Array ALMA

107

107

Verst ontdekt sterrenstelsel JADES-GS-z14-0.

Afstand: 13,4 miljard lichtjaar, gemeten door ALMA !!

stelsel minder dan 300 miljoen jaar oud

108

108

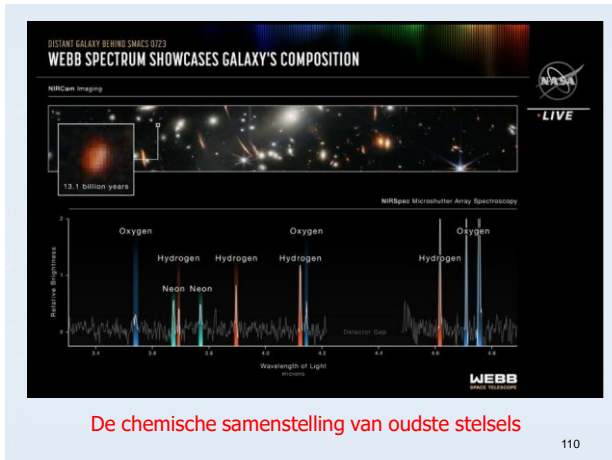
Verst ontdekt sterrenstelsel JADES-GS-z14-0.

Afstand: 13,4 miljard lichtjaar

Richard Bouwens (Leiden) :
spectrum toont aanwezigheid van zuurstof gas
Hoe kan dat?

109

109



110

De belangrijkste fusiereacties in sterren.

Achtereenvolgens

grondstof	produkt	Temperatuur(C)
Waterstof	→ Helium	10 miljoen
Helium	→ Koolstof	100 miljoen
Koolstof + He	→ Zuurstof	600 miljoen
Zuurstof	→ Silicium	1 miljard
Silicium	→ IJzer	3 miljard

Elke volgende fusiefase vereist een hogere temperatuur

Alleen in zware sterren $M > 8 M_{\text{zon}}$!!

111

Ontstaan van sterren uit gaswolken

Gasdruk
Hoe heter des te groter de gasdruk

Zwaartekracht
Hoe zwaarder des te groter de zwaartekracht

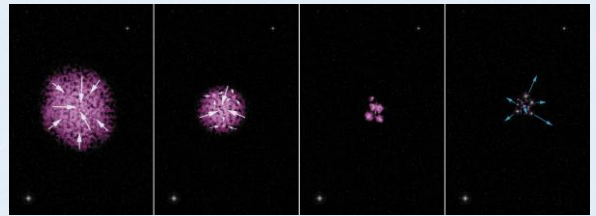
Sterren ontstaan uit gaswolken als de zwaartekracht het wint van de gas-druk.

Hiervoor moet het samengedrukte gas koelen! door straling van moleculen of ongeïoniseerde atomen.

Er zijn geen moleculen in eerste generatie gas. Dus kunnen daaruit geen lichte sterren ontstaan!

112

De geboorte van sterren uit een "klonterige" gaswolk



Samentrekking van een zware wolk

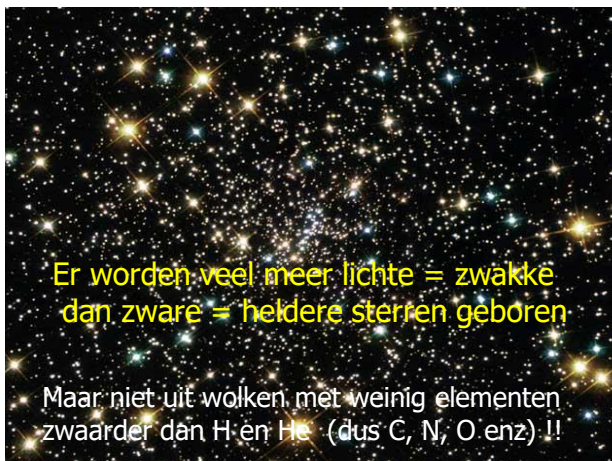
Fragmenteren van samentrekkende wolk

Fragmenten trekken samen: →

Sterren in jonge sterrenhoop

113

113



114

De levensduur van sterren

Maximale levensduur H-fusie = energie voorraad/verbruik

Massa (in M_{zon})	Helderheid (in L_{zon})	Levensduur (jr)	
		geschat	berekend
1	1	9 miljard	9
3	70	380 miljoen	380
5	450	100 miljoen	80
20	40 000	4.5 miljoen	9.0
60	500 000	1.1 miljoen	4.0
0.8	0.5	18 miljard	

Hoe zwaarder een ster, des te korter zij leeft !! (grote helderheid)

De zware sterren ($M > 50 M_{\text{zon}}$) die we zien zijn "pas" gevormd !!

Heelal = 13,78 miljard jaar.

Dus alle ooit gevormde sterren lichter dan 0.8x Zon leven nog !!

115

Zware sterren (>10 x zon) ontploffen aan eind van hun leven

Supernova 1987A : 23 febr 1987, afstand 150 000 lj



opname 1976



25 febr 1987

200 miljoen maal zo helder als de zon

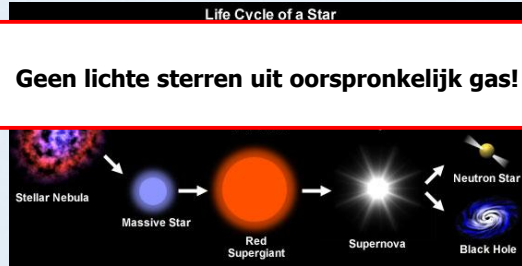
Na paar maanden steeds zwakker

116

116

Levens cyclus van sterren

Lichte sterren < 10 zonsmassa



Geen lichte sterren uit oorspronkelijk gas!

Zware sterren > 10 zonsmassa

Page 117

117

Probleem van hoog gehalte aan zware elementen in heel jonge heelal

Uit oorspronkelijk gas kunnen alleen zware sterren worden gevormd. (geen lichte)

Dus uit een grote gaswolk maak je veel !! meer zware sterren dan nu.

Misschien sterren tot duizend zonsmassa?

Die leven heel kort en produceren veel zuurstof e.d. Dit komt vrij in supernova explosies en verrijkt het gas in jonge stelsels.

118

118

THE END

Dank U voor Uw aandacht!

119

119

<p>DE MENS TUSSEN DE STERREN WIE OVERLEEFDE VAN STERRENSTOF?</p> <p>Prof. Henny J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes: deel 1</p>	<p>HALLO IS DAAR IEMAND? SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL</p> <p>Prof. Henny J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes: deel 1</p>
<p>DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL OF ZOEK NAAR DE OORSPRONG</p> <p>Prof. Henny J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes: deel 1</p>	<p>HET DRAAIT ALLEMAAL OM DE ZON ONTSTAAN, BOUW EN EVOLUTIE VAN ONS PLANETENSTELSEL</p> <p>Prof. Henny J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes: deel 1</p>

Hier: 5,00 per stuk

AstroBoekjes

1. De mens tussen de sterren (30^e druk)
2. Hallo is daar iemand (29^e druk)
3. De oerknal en het uitdijend heelal (26^e druk)
4. Het draait allemaal om de Zon (19^e druk)

euro 7,50 per stuk bestellen via website:

120

<p>MYSTERIES IN HET HEELAL</p> <p>DONKERE MATERIE EN DONKERE ENERGIE</p> <p>Prof. Henny J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes: deel 5</p>	<p>AstroBoekje 5</p> <p>Mysteries in het heelal</p> <p>(3^e druk)</p> <p>(euro 7,50 per stuk)</p> <p>Hier: euro 5,00</p> <p>Ik signeer op verzoek</p>
--	---

121