

Melkwegstelsels

Bouwstenen van het Heelal

Henny J.G.L.M. Lamers

Universiteit van Amsterdam

h.j.g.l.m.lamers@uu.nl

www.hennylamers.nl

Walrecht cursus, 13 april 2022



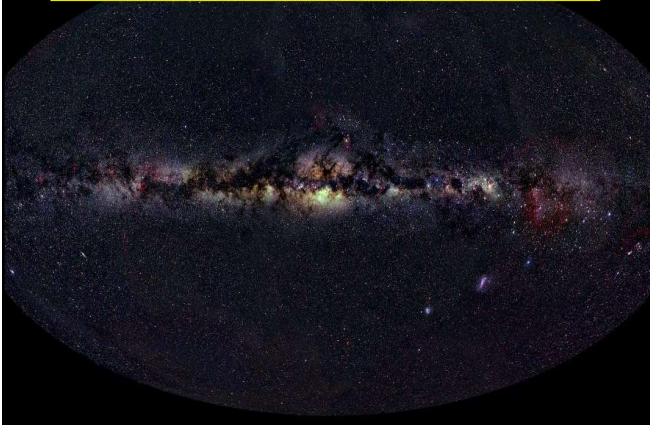
1

De Melkweg aan de hemel



2

All-sky map in visual light (all around)



3

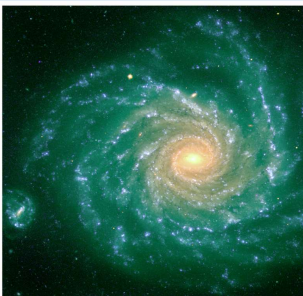
Het Andromeda sterrenstelsel lijkt veel op onze Melkweg



Afstand 2 miljoen lichtjaar, diameter 100 000 lichtjaar

4

Spiraal stelsels



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



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

5

Een melkwegstelsel op zijn kant



Afstand :
30 miljoen
lichtjaar

Diameter :
100 000
lichtjaar

Dikte :
3000
lichtjaar

NGC 4565

6

5

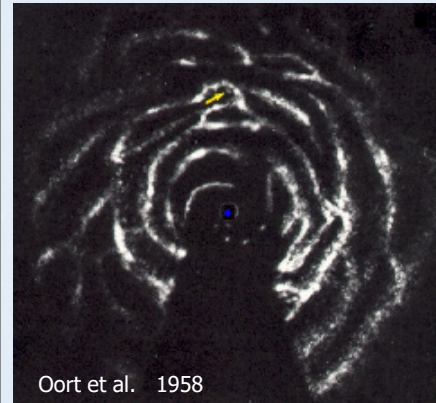
6

Onze Melkweg

7

7

De spiraal structuur van onze Melkweg



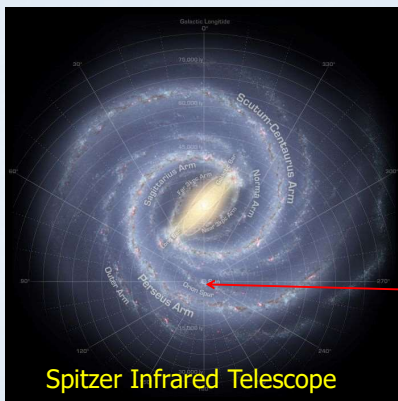
Oort et al. 1958

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



8

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



Churchwell et al. 2005

Zon

Spitzer Infrared Telescope

9

9

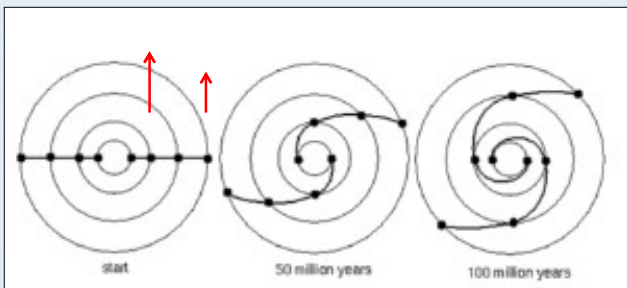
Spiraal structuur van melkwegstelsels

10

10

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

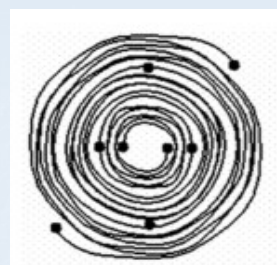
$$P \sim r^{3/2} \text{ of } v \sim r^{-1/2}$$



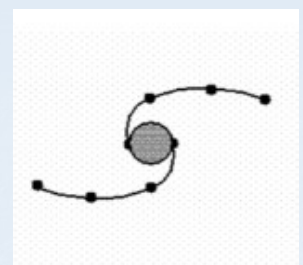
Zo zouden spiraalarmen kunnen ontstaan, maar...

11

11



Na een miljard jaar zou de spiraal heel sterk zijn opgewonden !!



Maar na 12 miljard jaar zien we zo iets!

Dus spiraalarmen zijn geen opgewonden slierten !!

12

Spiraal armen zijn golfpatroon



Golfpatroon in
stilstaand water



Golfpatroon in
bewegend water

13

13

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

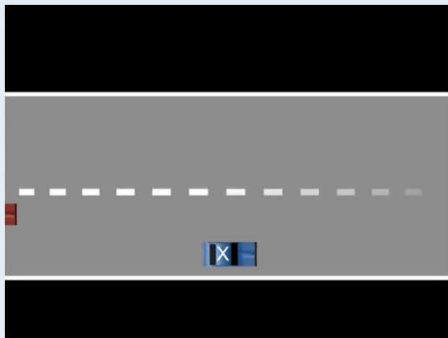
De spiraal armen van melkwegstelsels zijn
dichtheidsgolven.

(ongeveer als geluidsgolven in de lucht)

14

14

Ontstaan van dichtheidsgolf bij politie auto

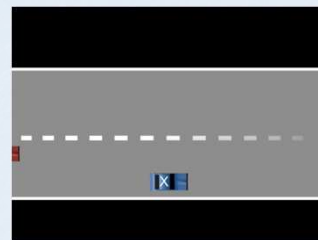


Filmpje uit: In quest of the Universe

15

15

Ontstaan van dichtheidsgolf bij politie auto

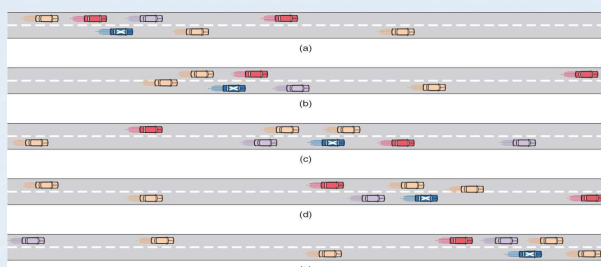


De verdichting is altijd bij de politie auto, maar het zijn
steeds andere auto's !!
Iedere auto remt alleen maar even tijdelijk en gaat dan
weer met de oorspronkelijke snelheid verder.

Filmpje uit: In quest of the Universe

16

16

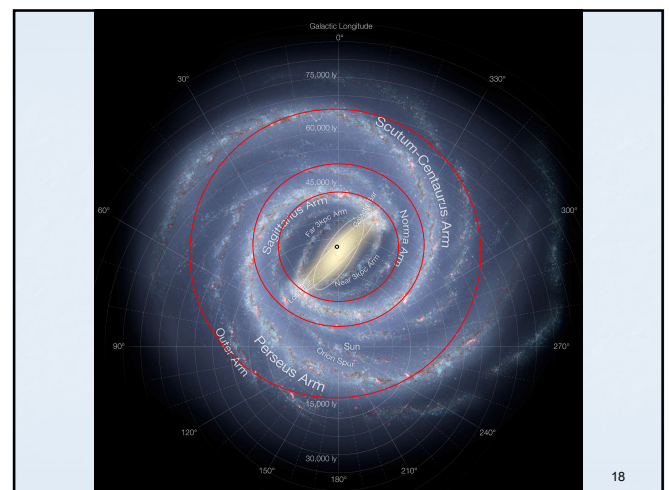


De auto's blijven niet in de verdichting:
ze remmen even af en gaan dan weer verder.
Dus in de dichtheidspiek zitten steeds andere auto's !

Dit zou ook gelden als de politiewagen stil staat,
of als hij langzaam rijdt, of achteruit rijdt !

17

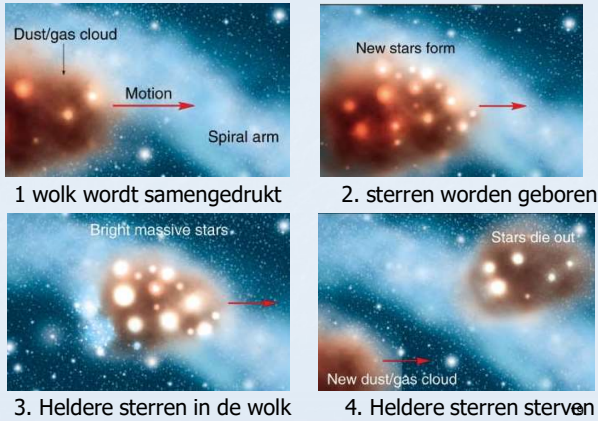
17



18

18

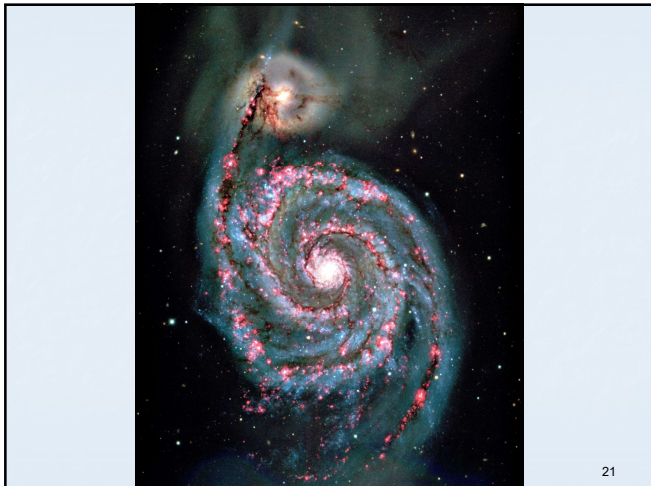
Een gaswolk gaat door een dichtheidsgolf



19



20



21

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

Twee opnamen door verschillende filters

Filter voor hete gaswolken: stervorming!

Filter voor ster-licht



voornamelijk wolken

voornamelijk sterren

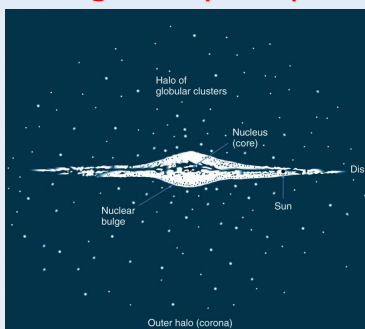
Spiraal stelsel M81, afstand 12Mlj

NASA/HST

22

Onze melkweg: een plat spiraal stelsel

Diameter
100 000 lj



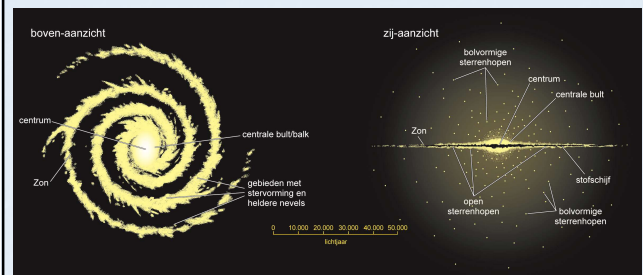
Afstand
zon-
centrum
25 000 lj

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)

23

23

Struktuur van onze Melkweg



24

24

Ontstaan van schijf en halo

Oud idee:

monolitisch = uit een grote instortende gaswolk

Nieuw idee:

Opbouw door samengaan van veel kleine stelsels
(dit wordt later besproken)

25

25



26

26

Donkere materie in ons melkwegstelsel

27

27

De rotatie kromme van de Melkweg

Wet van Newton voor cirkel beweging om een massa punt

$$V(r) = \sqrt{G \frac{M(r)}{r}}$$

or

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

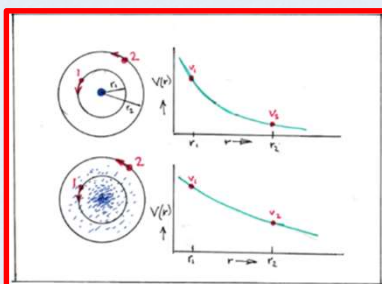
Dus uit snelheid $v(r)$ op afstand r kun je afleiden
hoeveel massa $M(r)$ is in een bol binnen straal r

28

28

De vorm van de rotatiekromme hangt af van de
ruimtelijke verdeling van de massa

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



Alle massa in het centrum

Massa verdeeld
rondom het
centrum

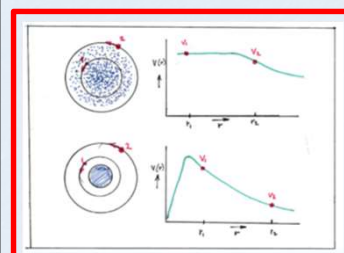
$M(r)$ is massa binnen bol met straal r

29

29

De vorm van de rotatiekromme hangt af van
de ruimtelijke verdeling van de massa

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



Massa ruim verdeeld

Massa in een bol van
gelijke dichtheid

Voor de liefhebbers:

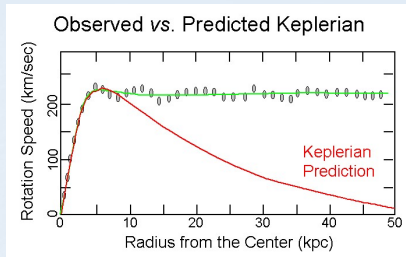
Bol met constante dichtheid: $v(r) \sim r$

Bol met $\rho \sim r^{-1/3}$: $v(r) = \text{constant}$

30

30

De rotatie kromme van de Melkweg

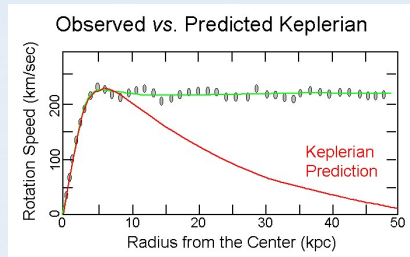


Wet van Newton : $v(r) = \sqrt{G M(r)/r}$

Dus uit snelheid $v(r)$ op afstand r kun je afleiden hoeveel massa $M(r)$ is in een bol binnen straal r

31

De rotatie kromme van de Melkweg

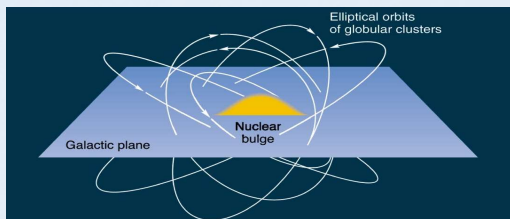


Wet van Newton : $v(r) = \sqrt{G M(r)/r}$

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

32

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

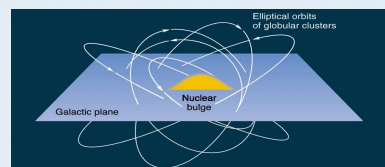


Dat blijkt 10^{12} (biljoen) $M_{\odot}$ te zijn.
Dat is ~ 5 keer meer dan alle sterren en gaswolken samen. !
We zien en kennen dus maar $\sim 20\%$ van de materie waaruit onze MW is opgebouwd.

De onbekende rest noemen we "donkere materie"

33

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

34

Hoe meet de je "rotatiekromme" van een MW stelsel
= relatie tussen rotatie snelheid en afstand vanuit centrum

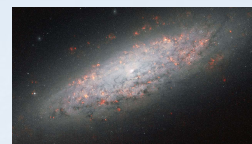


Meet het spectrum van gebieden op verschillende afstanden van het centrum

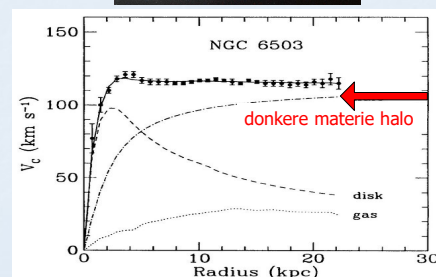
Uit verschuiving van de spectraal lijnen (Doppler effect) meet je de snelheid waarmee dat gebied naar je toekomt of van je weg gaat

35

Rotatie kromme van dwerg spiral stelsel NGC6503



Afstand: 17 Mlj
Diameter: 30 000 lj



De donkere materie zit in een bol door en om het melkwegstelsel

36

Faint fuzzies



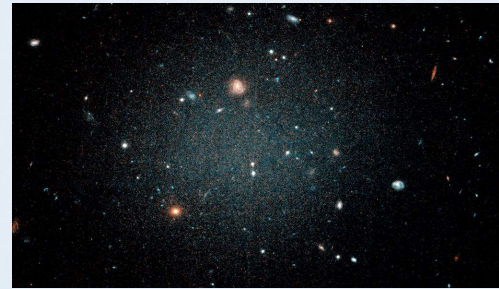
Leda 677373 d= 14 Mlj

37

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 !

38

DE MENS TUSSEN DE STERREN



Prof. Henry J.G.L.M. Lammes
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam

Astroboekjes: deel 1

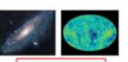
HALLO IS DAAR IEMAND?



Prof. Henry J.G.L.M. Lammes
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam

Astroboekjes: deel 2

DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL



Prof. Henry J.G.L.M. Lammes
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam

Astroboekjes: deel 3

HET DRAAIT ALLEMAAL OM DE ZON



Prof. Henry J.G.L.M. Lammes
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam

Astroboekjes: deel 4

AstroBoekjes

1. De mens tussen de sterren (18^e druk)
2. Hallo is daar iemand (16^e druk)
3. De oerknal en het uitdijend heelal (15^e druk)
4. Het draait allemaal om de Zon (7^e druk)

nu
euro 5.00 per stuk

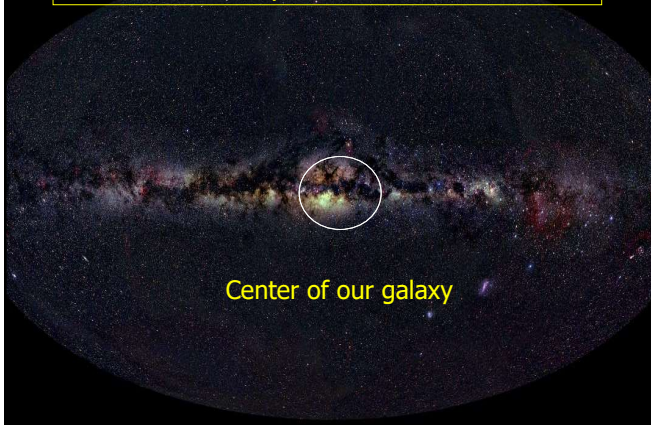
Ik signeer op
verzoek

39

Het centrum van ons melkwegstelsel

40

Groothoek opname van de hemel



Center of our galaxy

41

centrum van melkweg

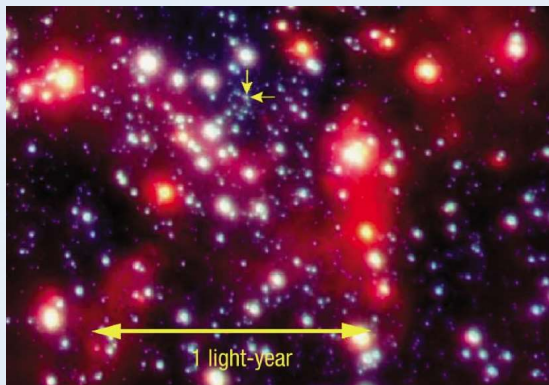


1000 x 500 lichtjaar

Spitzer infrared satellite

42

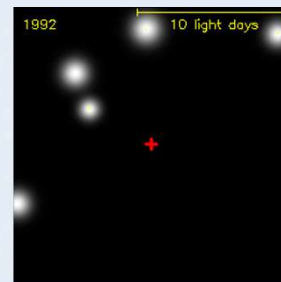
Sterren in het centrum van onze MW



43

43

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} !

44

44

Nobelprijs natuurkunde 2020



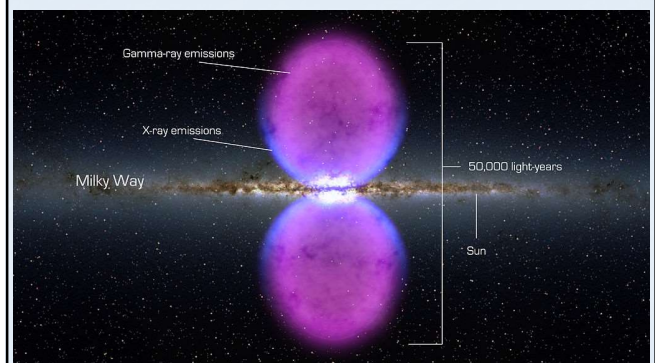
Roger Penrose Reinhard Genzel Andrea Ghez

Voor onderzoek naar Black Holes: theoretisch (Penrose) en observationeel (Genzel en Ghez)

45

45

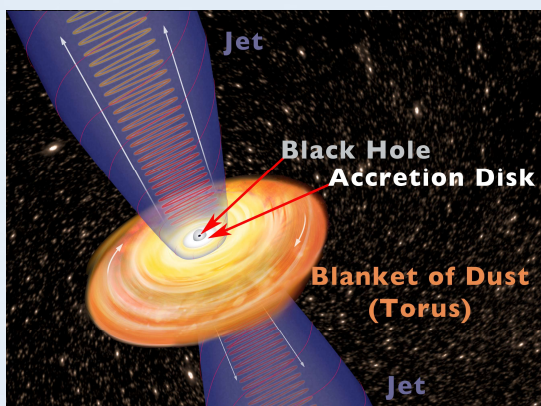
De hete gas bel vanuit het Melkweg centrum



46

46

Waarom bundels van straling?



47

47

Soorten melkwegstelsels

48

48

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.

49

49

Elliptische stelsels (E)



Vorm als rugby bal

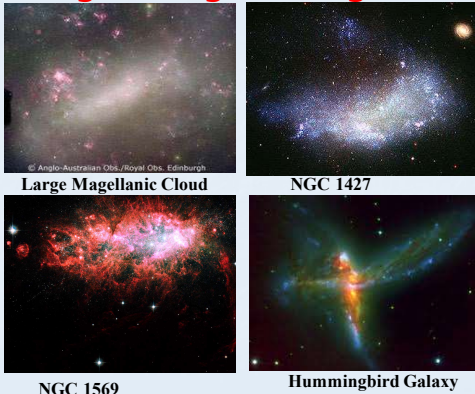
Weinig structuur

Voornamelijk oude sterren: geen recente stervorming

50

50

Onregelmatige dwerg stelsels



Large Magellanic Cloud

NGC 1427

NGC 1569

Hummingbird Galaxy

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

51

51

Elliptisch reuzen stelsels



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

Meestal in centrum
van clusters van
MW stelsels

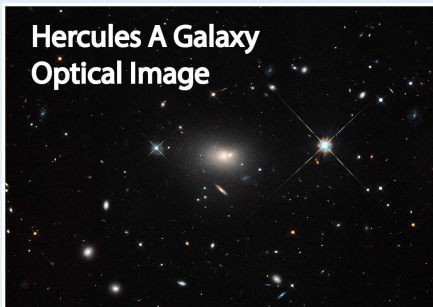
M87
d= 53 Mlj

52

52

Hercules A

Hercules A Galaxy Optical Image



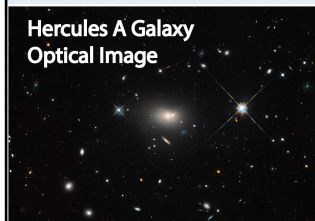
Reuzen elliptisch stelsel
Afstand 2,1 miljard lichtjaar
Massa: 1000 x onze melkweg

53

53

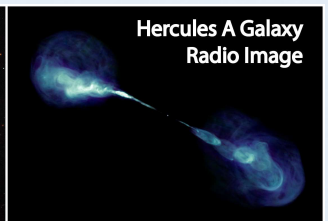
Hercules A

Hercules A Galaxy Optical Image



Optische straling:
Reuzen stelsel
1000 x onze melkweg

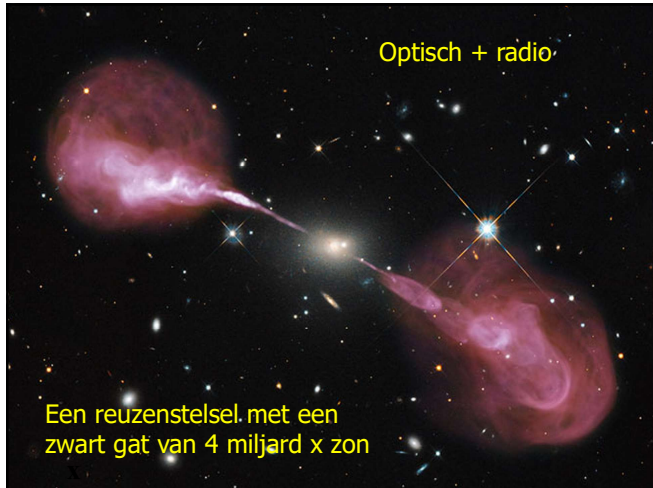
Hercules A Galaxy Radio Image



Radio straling:
Bundels van uitgestoten gas
miljoen lichtjaar lang

54

54



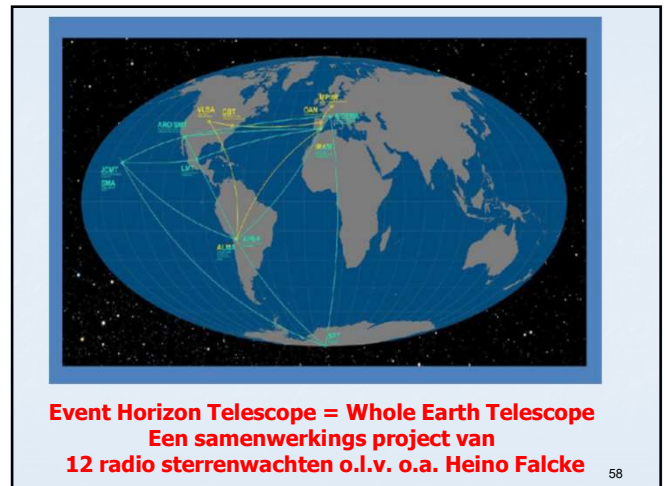
55



56



57



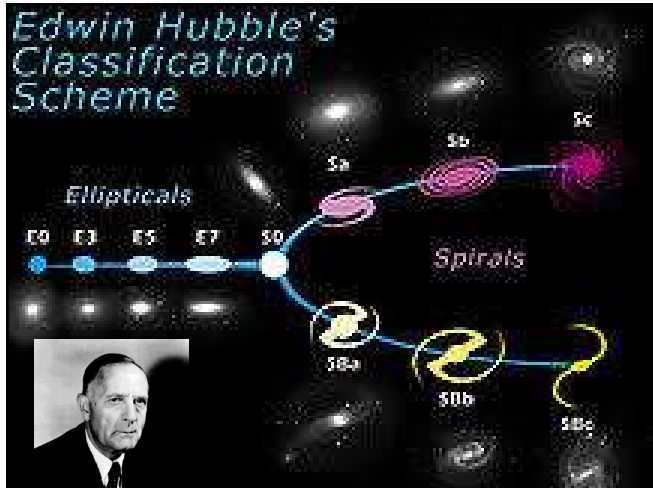
58



59

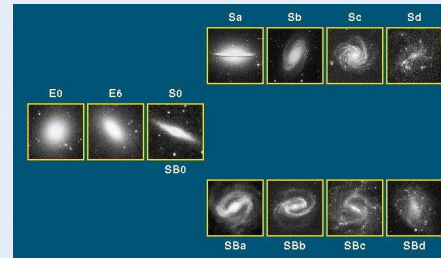


60



61

Hubble sequence in foto's



E = elliptisch
S = spiraal
B = balk

62

Een quasar in een cluster van MW stelsels



Quasar = Quasi Stellar Radio Source

Heel sterke radiobron die er optisch uitziet als een ster

63

63

Quasars ! quasi-stellar radio source

melkwegstelsels
met
extreem heldere kern

Optische
Kern

Radiostraling
van
gasbundels



Quasar PDS456

1. Ontdekt in 1960 door Maarten Schmidt (NL)
2. Zien eruit aan hemel als sterren, maar dan op extreem grote afstand (miljarden lichtjaar)
3. Extreem helder: 1000 x helderder dan ons hele MW stelsel , $L = 10^{14}$ Lzon !!!

64

64

Model van een Quasar

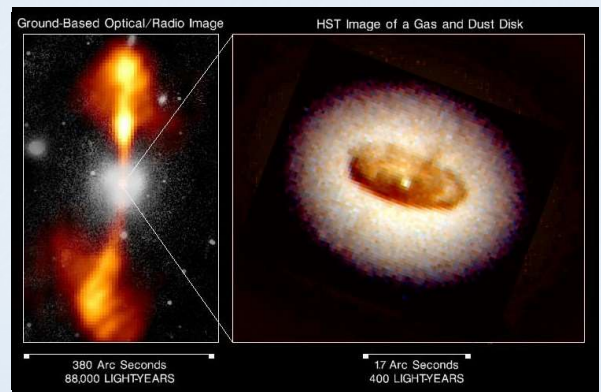


1. Een superzwaar zwart gat in centrum (miljard zonsmassa?)
2. Materie in de buurt valt erin = spiraleert langzaam naar binnen
3. Door wrijving komt veel energie vrij in vorm van hitte; dit produceert heel veel straling.
4. Dit wordt uitgestraald in twee bundels van ca 100 000 lj lang.
5. De ingevangen materie: gaswolken, sterren, planeten

65

65

Quasar PDS 456 d=24 Mlj



66

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)

67

Magelhaense Wolken

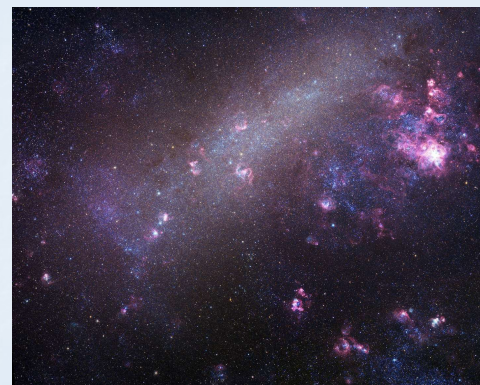
68

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



69

De grote Magelhaense Wolk



Afstand:
163 000 lj

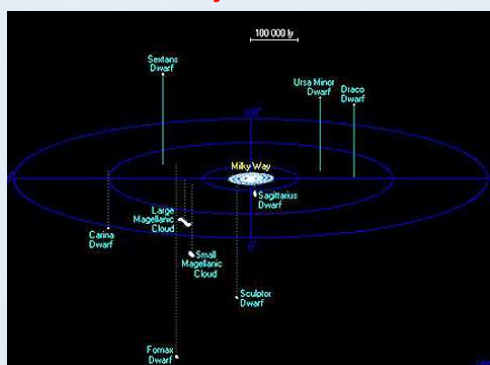
Diameter:
14000 lj

Massa
 10^{10} Mzon

70

De lokale groep:

Melkweg omgeven door ongeveer 10 dwerg stelsels
Diameter ca 600 000 lj = 6 x diameter van MW



71

Clusters van melkwegstelsels

72

A deep-field astronomical image showing a vast field of galaxies. The image is filled with numerous galaxies of various shapes and sizes, including spiral, elliptical, and irregular forms. The galaxies are primarily blue and white, set against a dark, starry background. The distribution is dense, with many galaxies appearing as bright points of light or small, detailed structures.

73

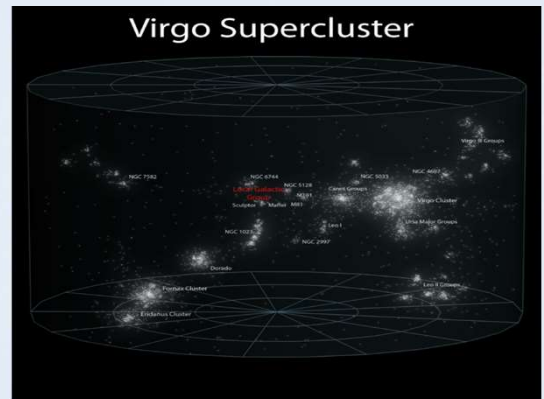
Een cluster van melkwegstelsels

Gravitational Lens in Galaxy Cluster Abell 1689 HUBBLESITE.org

74

75

Virgo Supercluster



76

Galaxy Building Blocks in the Hubble Ultra Deep Field *HST-ACS/WFC*

1 2 3 4 5

1 2 3 4 5

4.00 4.88 4.90 5.42 5.36

NASA, ESA, and N. Pirrali (STScI/ESA) STScI/PRC07-31

d=10.9 11.3 11.3 11.5 11.6 GJr (Big bang= 13.7Gjr)

77

Vorming van een melkwegstelsel

13

Botsende Melkwegstelsels

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

79

79

Sterren in botsende melkwegstelsels



80

80

Sterren in botsende melkwegstelsels



81

81

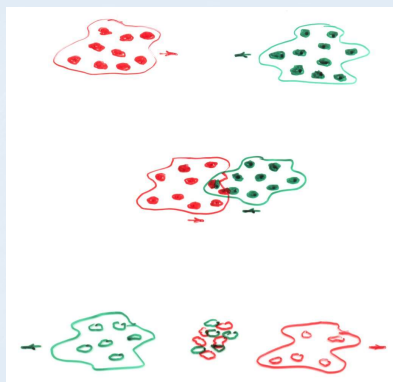
Gas wolken in botsende melkwegstelsels



82

82

Gas wolken in botsende melkwegstelsels

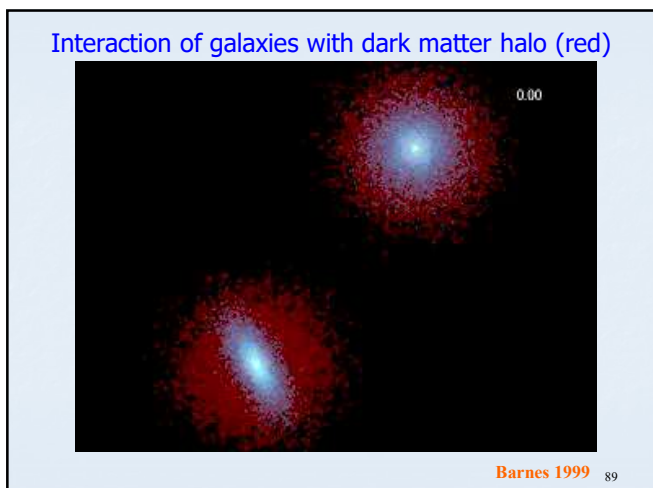
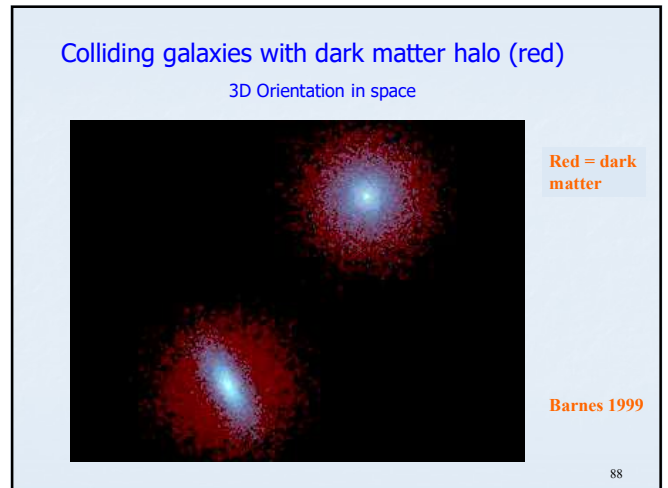
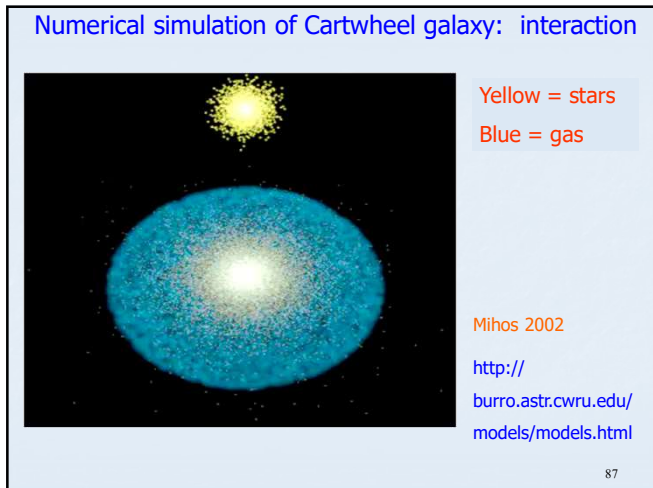
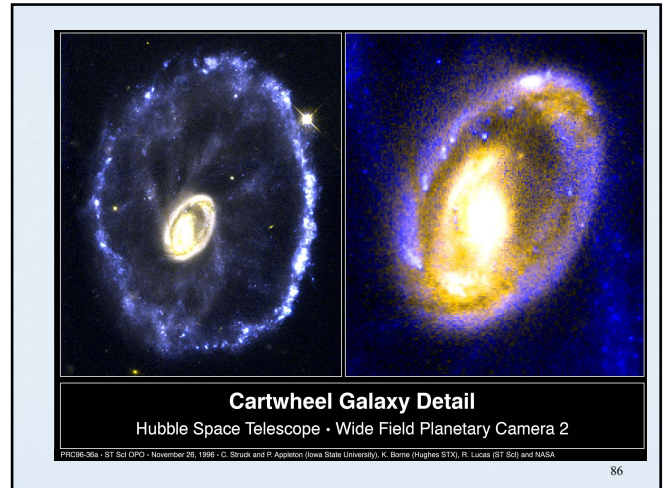


83

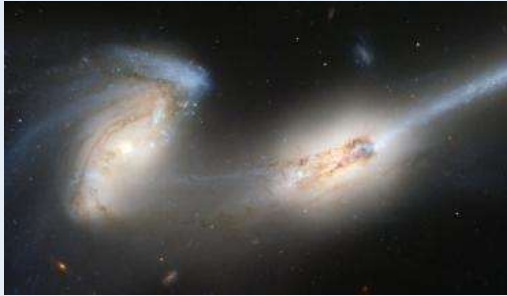
83



84



Two galaxies in the process of merging



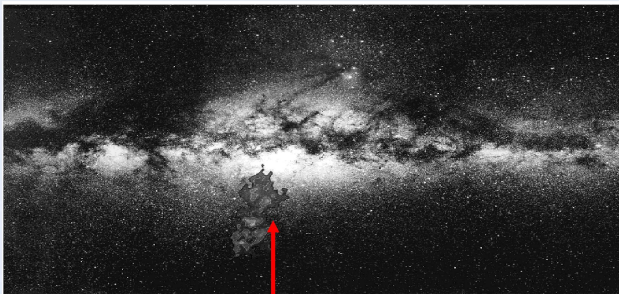
91

91

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

92

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

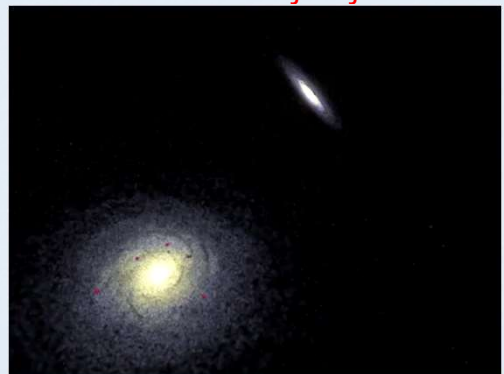


Sagittarius dwarf galaxy:
discovered on infrared
images

93

93

Samensmelten van Melkweg met Andromeda
stelsel over 6 miljard jaar.



John Dubřtski

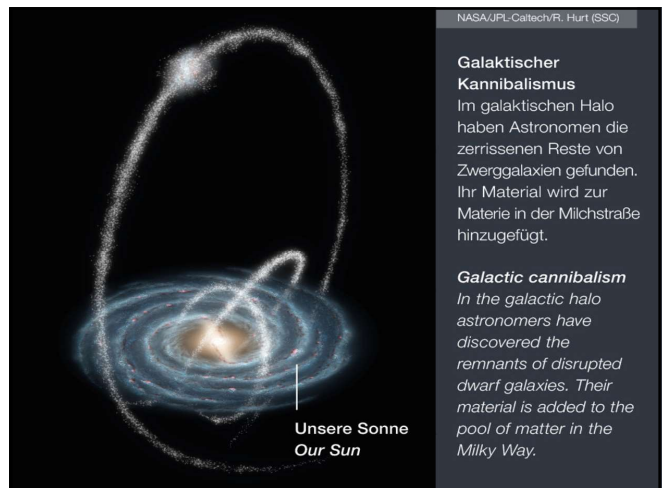
94

GAIA satelliet



95

95



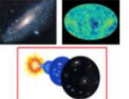
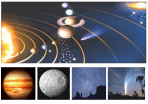
96

THE END

Dank U voor Uw
aandacht!

97

97

DE MENS TUSSEN DE STERREN WELZIJNENMAAKT VAN VERBODENIS  Prof. Henk J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes deel 1	HALLO IS DAAR IEMAND? SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL  Prof. Henk J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes deel 2	AstroBoekjes 1. De mens tussen de sterren (18^e druk) 2. Halo is daar iemand (16^e druk) 3. De oerknal en het uitdijend heelal (15^e druk) 4. Het draait allemaal om de Zon (7^e druk) nu euro 5.00 per stuk Ik signeer op verzoek
DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL OP ZOEK NAAR DE OERSPRONG  Prof. Henk J.G.L.M. Lamers 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. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes deel 4	

98

98

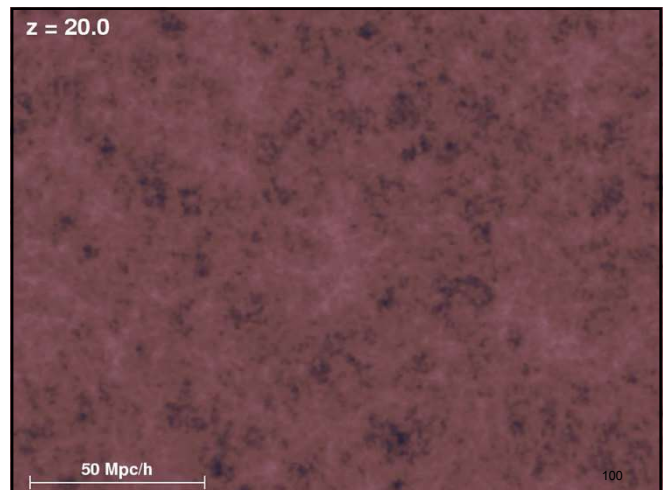
Star collisions ~ 300 Myrs ago

U kunt de agenda van mijn lezingen en de korte omschrijving ervan vinden op mijn website:

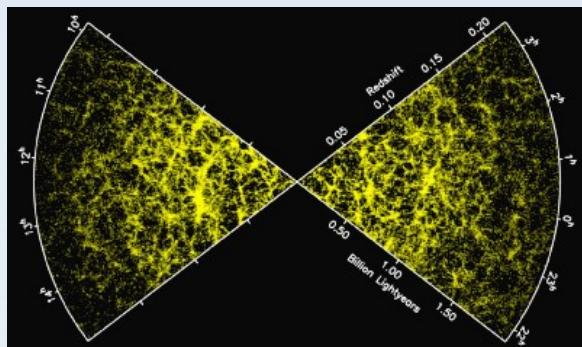
www.hennylamers.nl

99

99



100



De gemeten verdeling van melkwegstelsels
in de ruimte.
Precies als in de computer simulaties !!

101

101