

Melkwegstelsels

Bouwstenen van het Heelal

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

Walrecht basiscursus, 4 dec 2024



1



De melkweg in Frankrijk

2



De melkweg
boven de
Atacama
woestijn in
Chilli

Op het zuidelijk
halfmond is de
melkweg veel
duidelijker en
mooier dan hier

3

3



All-sky map in visual light (all around)

4

4

Het Andromeda sterrenstelsel lijkt veel op
onze Melkweg

You are
here

Afstand 2 miljoen lichtjaar, diameter 100 000 lichtjaar

5

Spiraal stelsels



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

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

6

6

Een melkwegstelsel op zijn kant



NGC 4565

Afstand :
30 miljoen
lichtjaar

Diameter :
100 000
lichtjaar

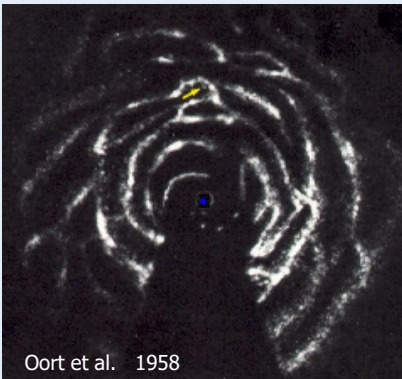
Dikte :
3000
lichtjaar

7

Onze Melkweg

8

De spiraal-structuur van onze Melkweg



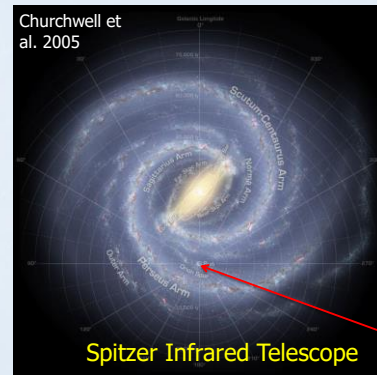
Oort et al. 1958

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



9

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



Diameter:
100 000 ljr

Dikte:
ca 30 000 ljr

Aantal sterren:
200 miljard

Massa:
400 miljard Mzon

Zon

10

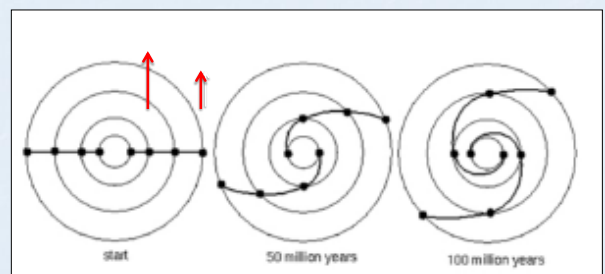
Spiraal structuur van melkwegstelsels

11

11

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

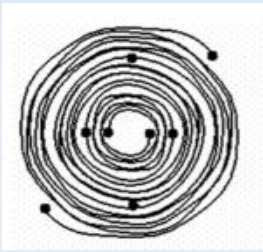
$$P \sim r^{3/2} \quad \text{of} \quad v \sim r^{-1/2}$$



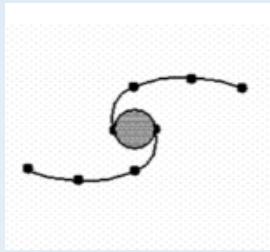
Zo zouden spiraalarmen kunnen ontstaan, maar...

12

12



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 !!

13

Spiraal armen zijn golfpatroon



Golfpatroon in stilstand water



Golfpatroon in bewegend water

14

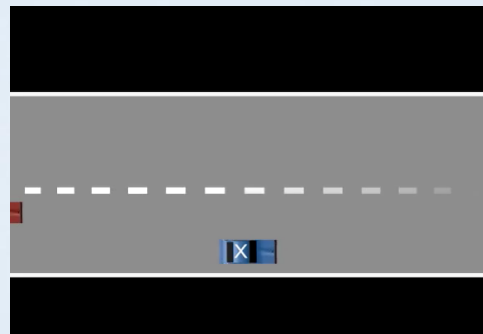
Het golfpatroon in een roterende gasschijf waar de binnendelen sneller draaien dan de buitendelen is spiraal-vormig.

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

(ongeveer als geluidsgolven in de lucht)

15

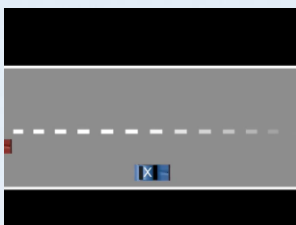
Ontstaan van dichtheidsgolf bij politie auto



Filmpje uit: In quest of the Universe

16

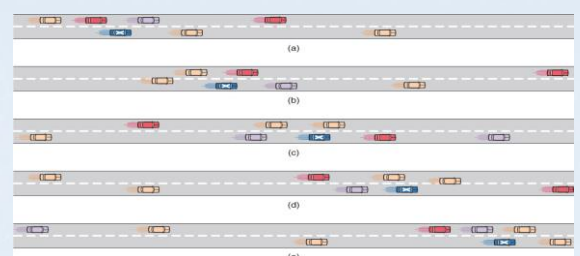
Ontstaan van dichtheidsgolf bij politie auto



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

17

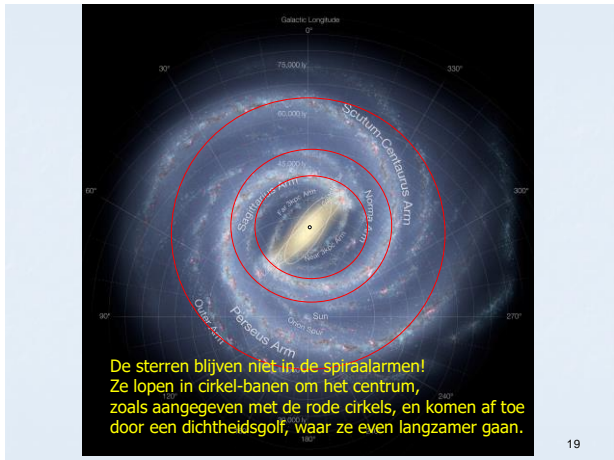


De auto's blijven niet in de verdichting: ze remmen even af en gaan dan weer verder. Dus in de dichtheidspiek zitten steeds andere auto's !
Dit zou ook gelden als de politiewagen stil staat, of als hij langzaam rijdt, of achteruit rijdt !

18

17

18



19



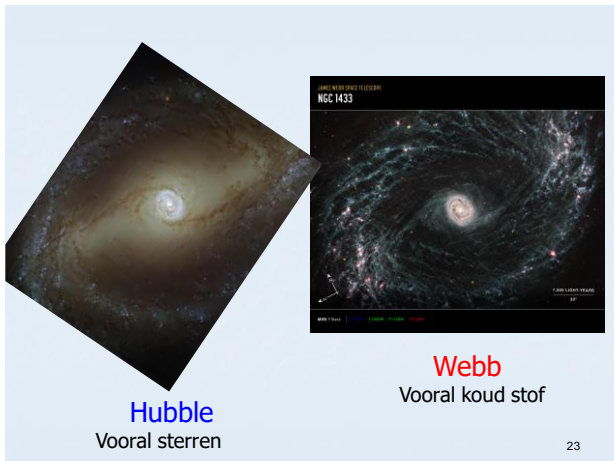
20



21



22



23



24

Het centrum van ons melkwegstelsel

25

25

Groothoek opname van de hemel



26

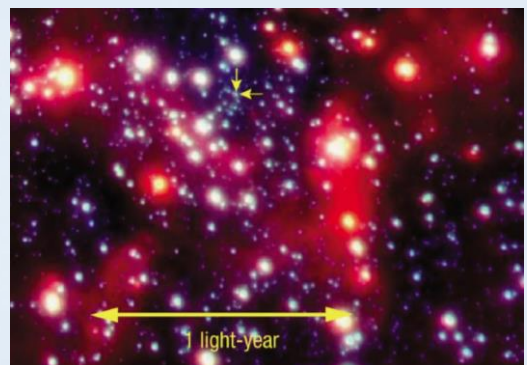
26

centrum van melkweg



27

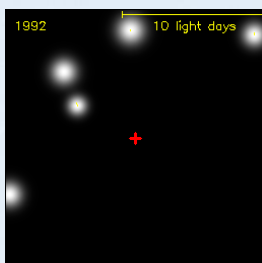
Sterren in het centrum van onze MW



28

28

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} !**

29

29

Nobelprijs natuurkunde 2020



Roger Penrose

Reinhard Genzel

Andrea Ghez

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

30

Soorten melkwegstelsels

31

Spiraal stelsel (S)

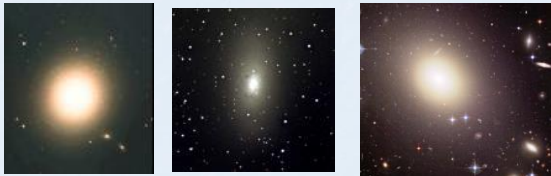


1. Sterk afgeplat
2. Jonge sterren in spiraalarmen: Stervorming gaat door.
3. Bulge alleen oude sterren
4. Zwaar: 10^{10} a 10^{12} Mzon
5. Groot: 100 000 lj.



32

Elliptische stelsels (E)



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

33

Onregelmatige dwerg stelsels



Large Magellanic Cloud

NGC 1427



NGC 1569

Hummingbird Galaxy

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

34

De kleine en de grote Magelhaense Wolk
afstand 163 000 lj
begeleiders van onze melkweg



35

De grote Magelhaense Wolk



Afstand:
163 000 lj

Diameter:
14000 lj

Massa
 10^{10} Mzon

36

35

36

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

37

37

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, $L = 10^{44}$ W !!!

38

38

Model van een Quasar

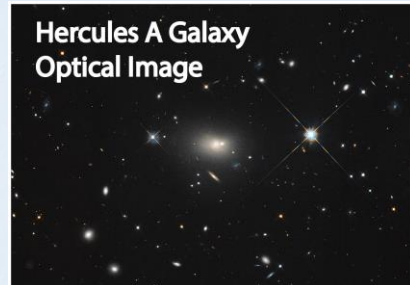


1. Een superzwaar zwart gat in centrum (miljard zonsmassa?)
2. Materie in de buurt valt erin = spiraleert langzaam naar binnen
3. Door wrijving komt veel energie vrij in vorm van hitte; dit produceert heel veel straling.
4. Dit wordt uitgestraald in twee bundels van ca 100 000 lj lang.
5. De ingevangen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

39

39

Hercules A



Hercules A Galaxy
 Optical Image

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

40

40

Quasars quasi stellar radio source



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

41

41



Optisch + radio

Een reuzenstelsel met een zwart gat van 4 miljard x zon

42

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

43

43

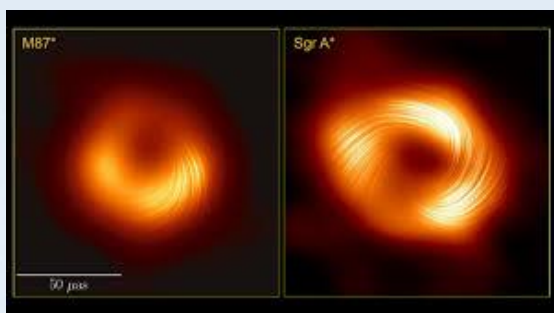
2019: beroemde foto van het zwarte gat in M87



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

44

44



Nieuwe verbeterde beelden van zwarte gaten in M87 en het MW centrum.

Dit wijst op een magneet veld in het gas rondom de zwarte gaten.

45

45



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

46

46

De millimeter telescopen van ALMA in Chili



47

47

2021 NAS Draper Medal to
Heino Falcke and Shep Doeleman



Hoogste sterrenkunde onderscheiding van de National Academy of Science voor de eerste foto van een zwart gat

48

48

Donkere Materie in sterrenstelsels

49

49



Coma cluster: een groep van > 1000 sterrenstelsels, op een afstand van 300 miljoen lj



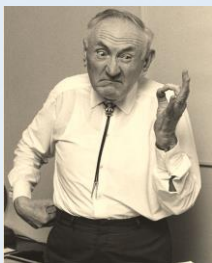
Fritz Zwicky 1898-1974
(Zwitsers/Amerikaan)

Zwicky suggereerde in 1933 het bestaan van onzichtbare materie in een cluster van melkwegstelsels en introduceerde term:

Donkere Materie

50

50



“ 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.
Slechts 8 van de duizend stelsels gemeten.

51

51

1939: Ontdekking van donkere materie spiraalstelsels

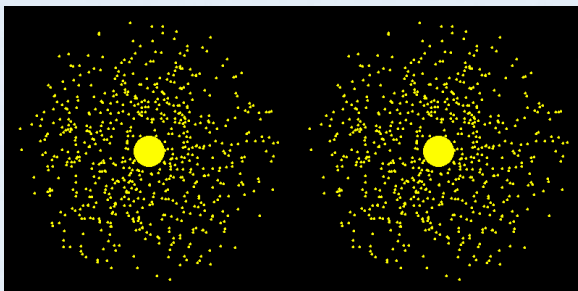


Met Doppler effect in spectra zijn snelheden van sterren gemeten.

Sterren in de buitendelen van platte sterrenstelsels draaien zo snel dat ze weg zouden kunnen vliegen, maar dat doen ze niet!

52

Draaiing van sterren in het vlak van een MW stelsel



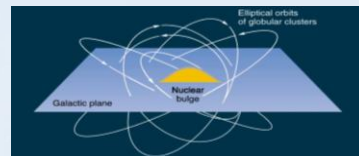
Zonder donkere materie

Met donkere materie

53

53

Ook uit de bewegingen van sterhopen om het stelsel 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

54

54

DE MENS TUSSEN DE STERREN
WIE ZIJN OORSPRONG VAN STERREN TOEF



Prof. Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam
Astroboekjes deel 2

HALLO IS DAAR IEMAND?
SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL



Prof. Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam
Astroboekjes deel 3

AstroBoekjes

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

euro 7,50 per stuk

Ik signeer op verzoek

DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL
DE ZOEK NAAR DE OORSPRONG



Prof. Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam
Astroboekjes deel 2

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



Prof. Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam
Astroboekjes deel 4

55

MYSTERIES IN HET HEELAL

DONKERE MATERIE
EN
DONKERE ENERGIE




Prof. Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam

Astroboekjes: deel 5

Nieuw
AstroBoekje 5
November 2024

56

Clusters van melkwegstelsels

57

Cluster van melkweg stelsels



Cluster Abell 1056 , afstand 160 Mlj

58

Een cluster van melkwegstelsels



Gravitational Core in Galaxy Cluster Abell 1689 © HUBBLEST.E.org

59

Einstein ringen: afbuiging van licht van verre stelsels door heel zware voorgrond objecten



Einsteinringen verraden aanwezigheid van donkere materie 60

60

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.

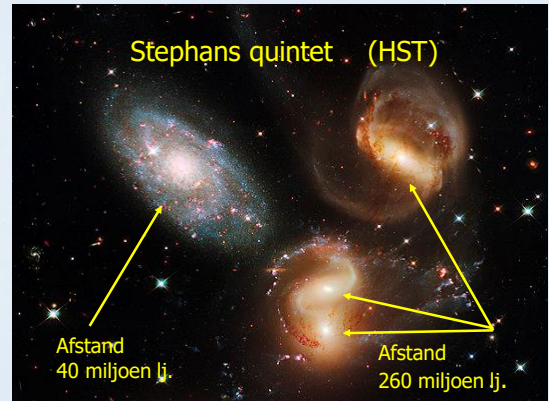
Bouwstenen van zware melkwegstelsels

d=10.9 11.3 11.3 11.5 11.6 Gjr (Big bang= 13.8 Gjr)

61

61

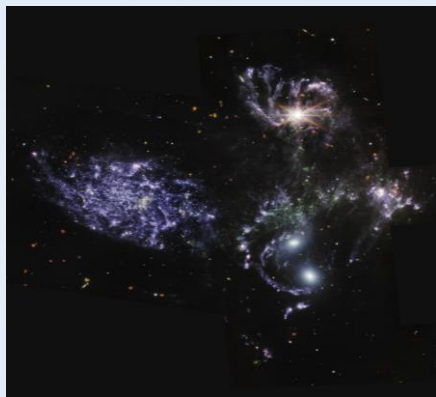
Botsen en samensmelten van melkwegstelsels



62

62

Stephans quintet in IR licht



Webb

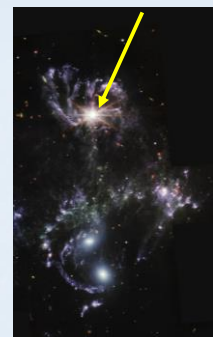
63

63

Een superzwaar zwart gat



Hubble
vooral sterren



Webb
vooral stof en stervorming

64

64

Botsende Melkwegstelsels

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

65

65

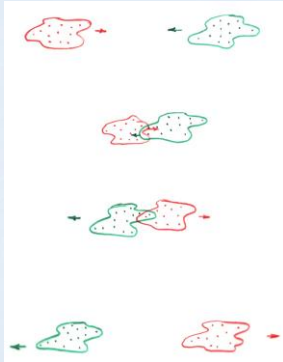
Sterren in botsende melkwegstelsels



66

66

Sterren in botsende melkwegstelsels



67

67

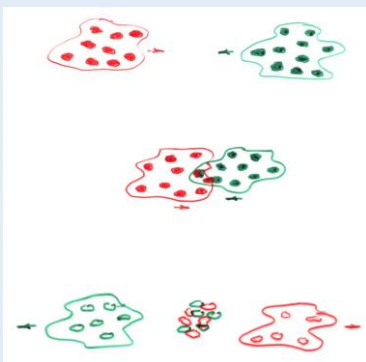
Gas wolken in botsende melkwegstelsels



68

68

Gas wolken in botsende melkwegstelsels

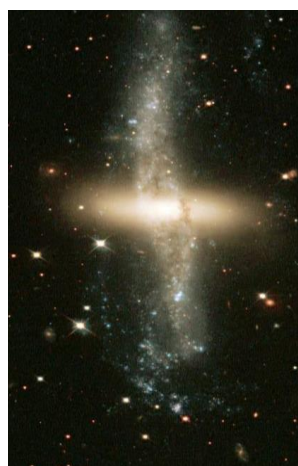


69

69



70

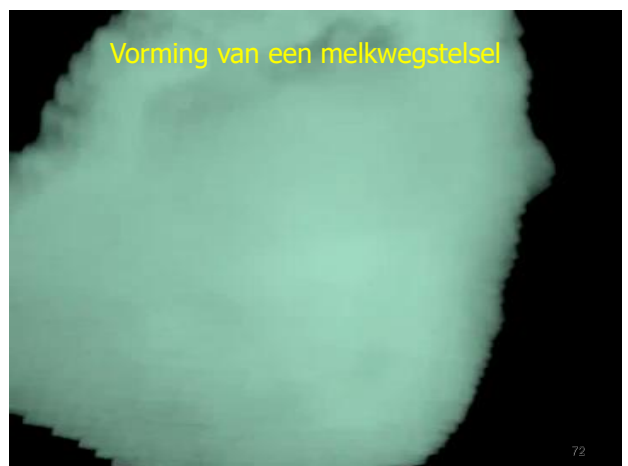


Polair Ring stelsel
=
ingevangen en
kapotgetrokken
stelsel

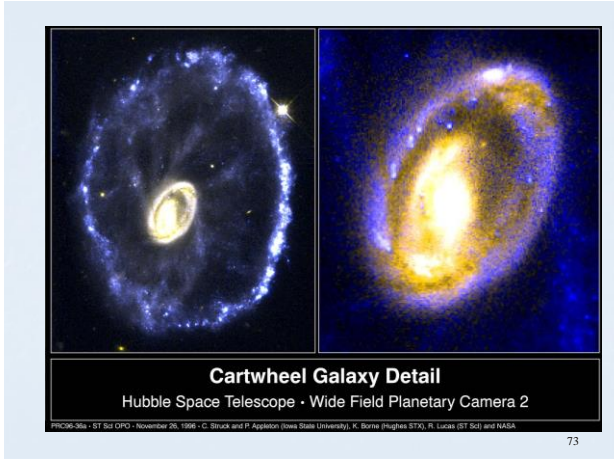
afstand = 130 Mljr
invang = 1 miljard
jaar geleden

71

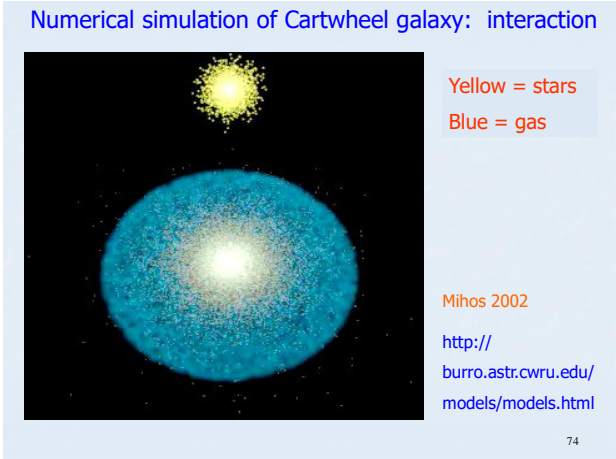
71



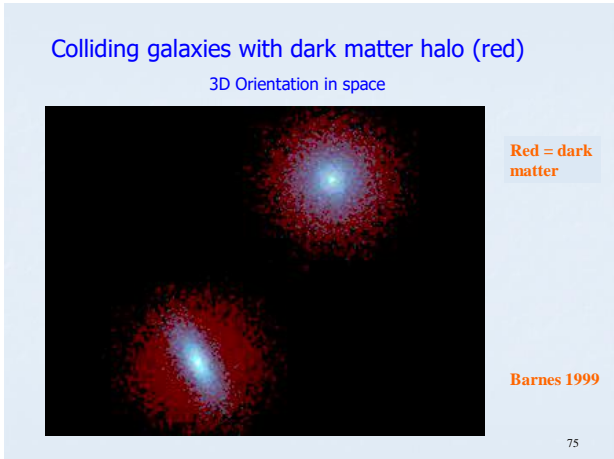
72



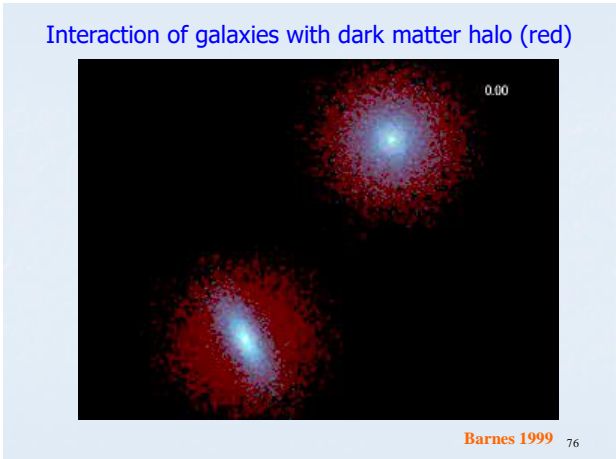
73



74



75



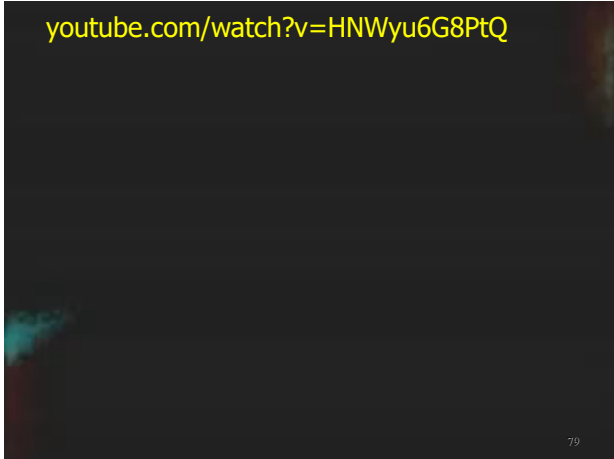
76



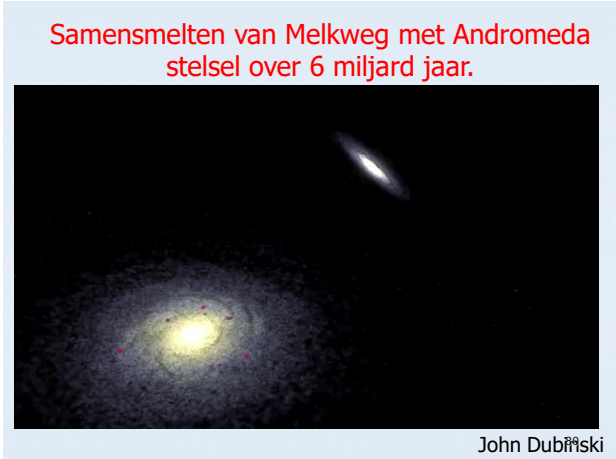
77



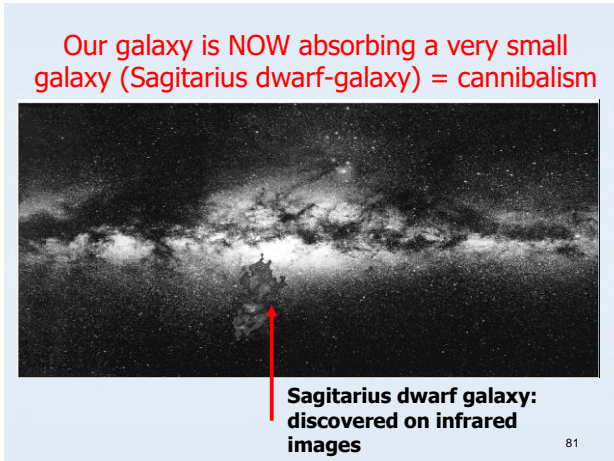
78



79



80



81



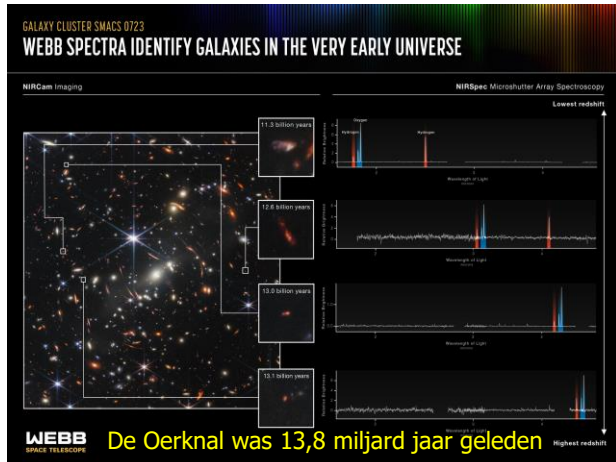
82



83



84



85

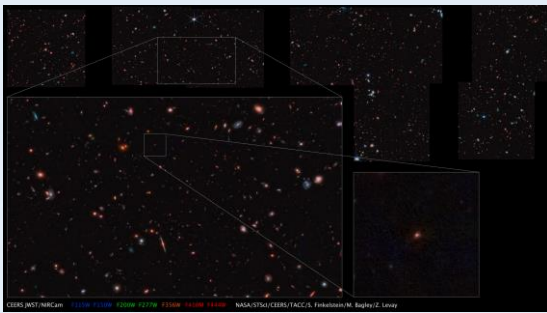
CEERS = Cosmic Evolution Early Release Science
 o.l.v. Steven Finkelstein (Austin, Texas)



Zoeken naar de verste = oudste = eerste melkwegstelsels

86

Maisie's galaxy : afstand 13.37 miljard lichtjaar



Oerknal was 13.8 miljard jaar geleden
 We zien Maisie's stelsel zoals het was 400 miljoen jaar na oerknal

88

88

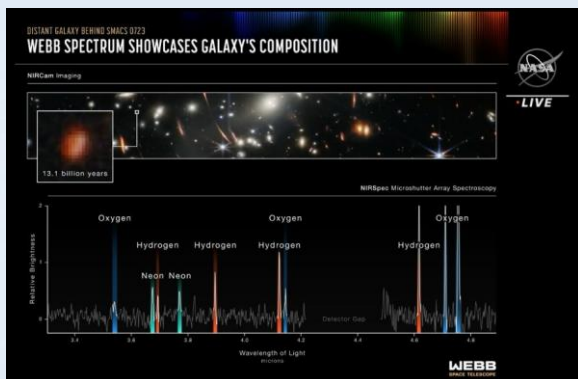
CEERS 1019 = Maisie's galaxy
 400 miljoen jaar na de oerknal
 Het oudste melkwegstelsel (tot nu toe)



Ontdekt op de 9e verjaardag van de Maisie Finkelstein

89

89



De chemische samenstelling van oudste stelsels

90

90

THE END
 Dank U voor Uw
 aandacht!

91

91

<p>DE MENS TUSSEN DE STERREN WETENSCHAAP VAN STERRENTOEF</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 2</p>	<p>AstroBoekjes</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. De mens tussen de sterren (26^e druk) 2. Hallo is daar iemand (25^e druk) 3. De oerknal en het uitdijend heelal (19^e druk) 4. Het draait allemaal om de Zon (10^e druk) <p>nu euro 5.00 per stuk</p> <p>Ik signeer op verzoek</p> <p style="text-align: right;">92</p>
<p>DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL DE ZOEK NAAR DE OERSPRUNG</p>  <p>Prof. Henny J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes deel 3</p>	<p>HET DRAAIT ALLEMAAL OM DE ZON ONTSTAAN, BOUW EN EVOLUTIE VAN ONN PLANETENSTELSEL</p>  <p>Prof. Henny J.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam Astroboekjes deel 4</p>	

92

<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</p> <p>Astroboekjes: deel 5</p>	<p>Nieuw AstroBoekje 5 November 2024</p>
--	--

93

Nieuw uit de AstroBoekjes serie

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

www.hennylamers.nl

Prof. Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam

AstroBoekjes: deel 5

94

94