

De Oerknal en het Uitdijend Heelal

op zoek naar de oorsprong





Prof. Henny J.G.L.M. Lamers

Sterrenkundig Instituut, Universiteit Amsterdam

h.j.g.l.m.lamers@uu.nl en www.hennylamers.nl

Metius Alkmaar 25 okt 2024

1

1



2



3




4




5

26 April 1920 Washington: "The Great Debate : The scale of the Universe"



Harlow Shapley
1885 – 1972
Mount Palomar



Heber Curtis
1872-1942
Lick Observatory

De melkweg is 100 000 lj groot
Dat is het hele Heelal
De neveltjes zitten in onze melkweg

De melkweg is slechts 10 000 lj groot
De neveltjes zijn aparte melkwegstelsels
Het Heelal is dus veel groter

6

Edwin Hubble
1889 - 1953




100 inch telescoop op Mount Palomar

1923: De Andromeda-nevel ligt buiten onze melkweg!

Dus het heelal was veel groter dan alleen onze melkweg!

7

Edwin Hubble
1889 - 1953




100 inch telescoop op Mount Palomar

1929: Sterrenstelsels vluchten van elkaar weg

Dus het heelal dijt uit!

8

7

8



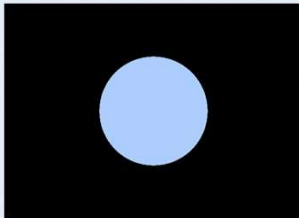
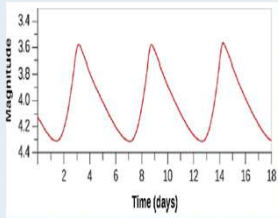
De 100 inch (2,5m) Hooker Telescope

De eerste telescoop waarmee afzonderlijke sterren in andere sterrenstelsels werden gezien.

en de afstand kon worden bepaald!

9

Cepheiden = pulserende reuzen-sterren

Pulsatie periode : 2 tot 50 dagen
Uitzet snelheid : ca 10 tot 40 km/s
Straal variaties : ca 10 a 25 %


10

9

10

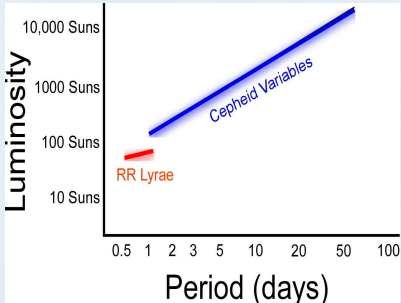
Periode – helderheids relatie van Cepheiden en RR Lyrae sterren

Harietta Leavitt
1868 - 1921



Ontdekte 2400 variabele sterren. In 1912 ontdekte ze dat er een relatie was tussen de periode en de hoeveelheid licht die ze uitstralen.

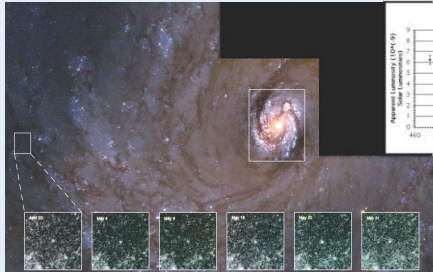
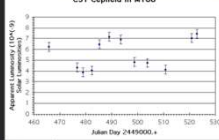
$L / L_{\text{zon}} = 300 \times P(\text{in dagen})^{1.5}$



Ideaal voor afstands bepaling!!

11

De afstand tot Melkwegstelsel M100 bepaald m.b.v. 12 Cepheiden

Afstand = 56 +/- 6 miljoen lichtjaar

Deze methode werkt nu voor sterren die 10⁻¹² maal zo zwak zijn als Sirius

Zie www.eso.org/public/products/education voor school-project !

12

11

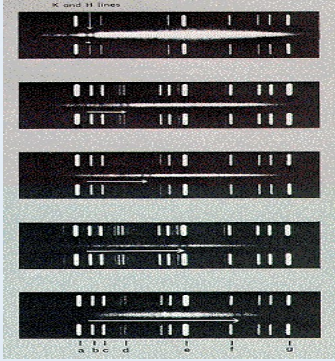
12

Hubble's ontdekking dat het heelal uitdijt


	78 000 000 lj	<p>1.</p> <p>Hoe zwakker: hoe verder weg</p>
	1 000 000 000 lj	
	1 400 000 000 lj	
	2 500 000 000 lj	
	4 000 000 000 lj	

13

Het spectrum = licht ontrafeld



Absorptielijnen zijn verschoven naar het rood = naar langere golflengte



Vesto Slipher
1875-1969
Lowell Observatory


14

13


14

Het Doppler effect

Absorptielijnen in het spectrum van de Zon



Absorptielijnen van een ster die van ons wegvliegt

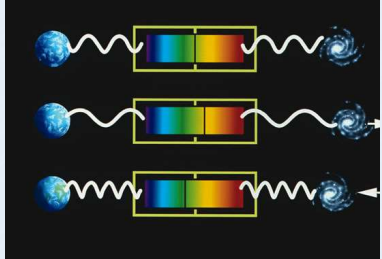
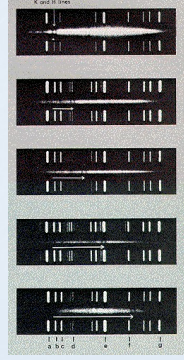


Korte golflengte λ Lange golflengte

15

15






Het Doppler effect

16

16

Hubble's ontdekking dat het heelal uitdijt

	<p>2. Hoe meer de absorptielijnen in het spectrum verschoven, zijn des te groter de snelheid (Doppler effect)</p> <p>3. Absorptielijnen zijn (bijna) altijd naar lange golflengte = naar het rood verschoven, dus alle stelsels vliegen weg van ons.</p>
	
	
	
	

17

17

Hubble's ontdekking dat het heelal uitdijt

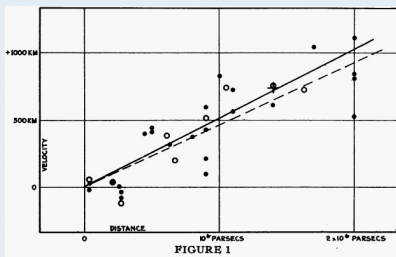
afstand	snelheid
78 000 000 lj	1200 km/s
1 000 000 000 lj	15 000 km/s
1 400 000 000 lj	22 000 km/s
2 500 000 000 lj	39 000 km/s
4 000 000 000 lj	61 000 km/s

(moderne waarden)

18

18

Hubble diagram (1929)

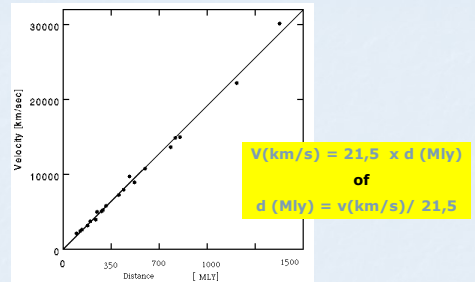


Hoe groter de afstand, des te groter de snelheid

19

Hubble diagram

Modernere versie

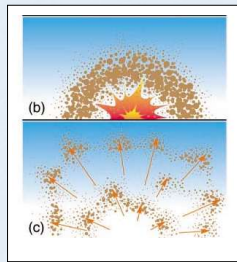


Hoe groter de afstand, des te groter de snelheid

20

Eerste uitleg

Uitdijing van het heelal:
net als na een ontploffing



Dus het heelal is ontstaan uit een ontploffing:
OERKNAL = BIG BANG !!

21

21

Als alles van ons wegvliegt zijn wij dan in het centrum?



Nederland



Nederland : 10% groter

Als alles groter wordt,
dan lijkt iedereen in het centrum te zitten !!

22

De leeftijd van het heelal

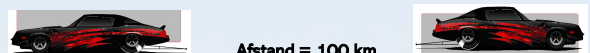
ofwel

Hoe lang geleden was de Oerknal?



23

23



Afstand = 100 km

200 km/uur

200 km/uur

Wanneer zijn ze gestart ?

Afstand van elkaar nu = 100 km

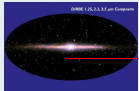
Snelheid waarmee ze zich van elkaar verwijderen = 400 km/uur

Vertrokken 100/400 uur = 15 min geleden !


24

24

ons melkwegstelsel



Sterrenstelsel in Corona Borealis



Afstand = 1,1 miljard lichtjaar

22000 km/sec

Uitdijing begon: 1,1 miljard lj / 22000 km/sec geleden

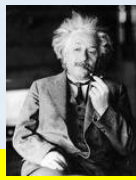
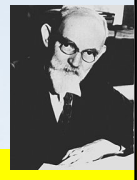
Oerknal was 13.8 miljard jaar geleden !

Niet precies, want ik heb wat gefoezeld

25

Einstein en de Sitter

Algemene relativiteits theorie

Het zijn niet de melkwegstelsels die van elkaar weg vliegen in de ruimte, maar de ruimte zelf zet uit (en de melkwegstelsels daarin staan bijna stil).

26

25

26

Uitdijing van de ruimte : als een rijzende krentenbol

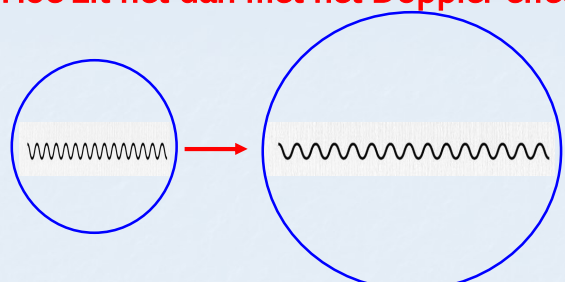


Krentenbol zet uit: alle krenten bewegen van elkaar weg zonder dat de krenten door het deeg bewegen.

27

27

Hoe zit het dan met het Doppler effect



Als de ruimte uitzet dan wordt ook de golflengte langer = roodverschuiving (net als door wegbewegen van object !)

28

28

Hubble-constante
beschrijft de uitdijing van het Heelal

$v(\text{km/s}) = 21,5 \times \text{afstand in Mljr}$

Dus in 1 sec wordt een afstand van 1 miljoen ljr 21,5 km groter

1 miljoen ljr = $9,46 \cdot 10^{12}$ km (=afstand!)

1 jaar = $3,16 \cdot 10^7$ sec (=tijd !)

Even rekenen:

In 1 miljard jaar wordt het heelal 7,2% groter

De Hubble constante is geen snelheid, maar de factor waarmee het heelal uitdijt.

29

29

Wat zet wel en wat zet niet uit ?

1. U zet niet uit, (tenminste niet door het Heelal) want U wordt door **moleculaire krachten** bijeen gehouden
2. Het zonnestelsel zet niet uit omdat het door de **aantrekking van de zwaartekracht** bijeen wordt gehouden
3. Idem voor het melkwegstelsel en clusters van MW stelsels
4. De grote schaal structuur (spons structuur) zet wel uit met de uitzetting van de ruimte. Dus clusters van MW stelsels verwijderen zich van elkaar.

30

30

Wat explodeerde in de Big Bang ?

Niet : iets ontplofte in de ruimte

Maar : de ruimte zelf ontplofte

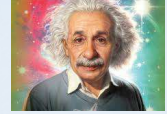
Tijd: begon bij de Big Bang

33

33

Hoe groot is het heelal ?

Einstein:



Objecten kunnen niet sneller door de ruimte bewegen dan met de lichtsnelheid

Maar de ruimte zelf kan wel veel sneller uitzetten

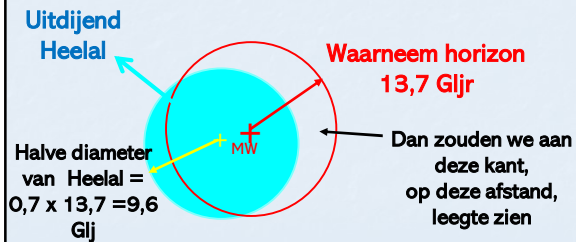
De ruimte is veel sneller uitgezet dan de lichtsnelheid

34

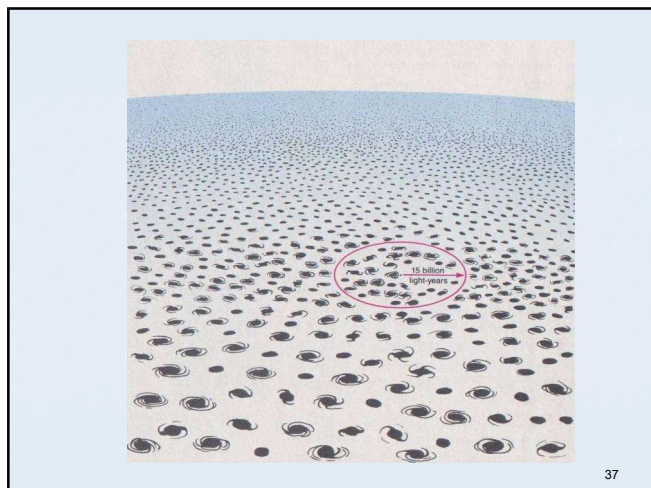
34

Hoe groot is het heelal ? (1)

Stel dat het Heelal uitdijt met 0,7 x lichtsnelheid dan is na 13,7 Gjr



35



37

37

Hoe groot is het heelal ? (2)

Stel dat het Heelal uitdijt met 10 x lichtsnelheid



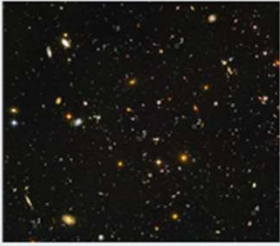
36



38

38

In twee verschillende richtingen



Hubble Ultra Deep Field
(zichtbaar licht)



ESO-VLT Deep Field
(infrarood)

Dezelfde verdeling en dichtheid van MW stelsels

We zien dus in geen enkele richting een grens!

40

40

Hoe groot is het heelal ?

Einstein:

Objecten kunnen niet sneller door de ruimte bewegen dan met de lichtsnelheid

Maar de ruimte zelf kan wel veel sneller uitzetten

De ruimte is veel sneller uitgezet dan de lichtsnelheid

Dus we kunnen maar een klein stukje van het heelal zien.
We weten dus niet hoe groot het heelal is

41

41

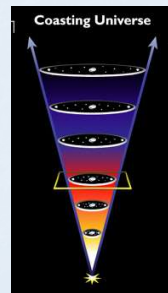
De toekomst van het heelal ?

42

42

Mogelijke modellen van een expanderend Heelal

Constante
expansiesnelheid



Als er geen materie zou zijn in het heelal dan zou de expansie niet remmen en gaat altijd door.

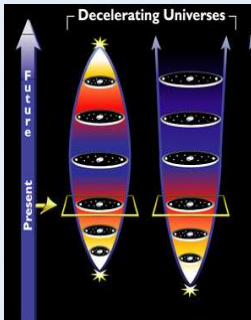
Het heelal wordt dan op den duur oneindig groot.

43

43

Mogelijke modellen van een expanderend Heelal

Vertragende expansie



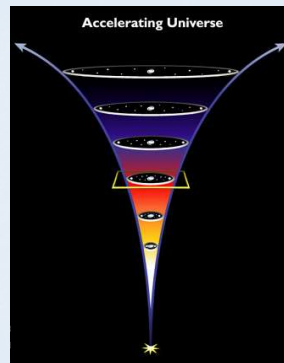
Expansie kan alleen geremd worden als er genoeg zwaartekracht is: dus genoeg materie in het heelal

44

44

Mogelijke modellen van een expanderend Heelal

Versnellende expansie



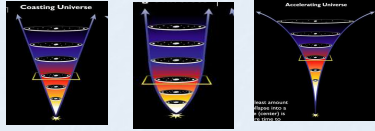
Dit kan alleen als er een onbekende(!) kracht bestaat die tegen de zwaartekracht in werkt

45

45

We kunnen niet in de toekomst kijken, maar wel in het verleden !!!

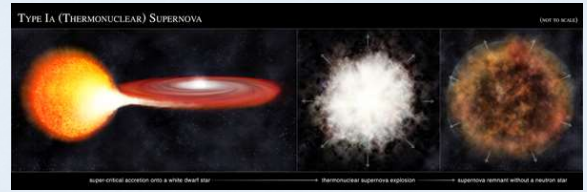
Vraag:
Ging de uitdijing van het Heelal vroeger
gelijk, sneller, langzamer



Antwoord:
Dan moet je afstand en snelheid van heel verre
Mw-stelsels meten = ver in het verleden

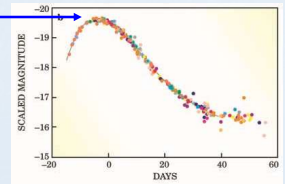
46

SN Ia = ineenstorting van Witte Dwerf
als die over zijn kritische massa gaat.



5 miljard x Zon

Type Ia Supernova
als standaard-kaars



47

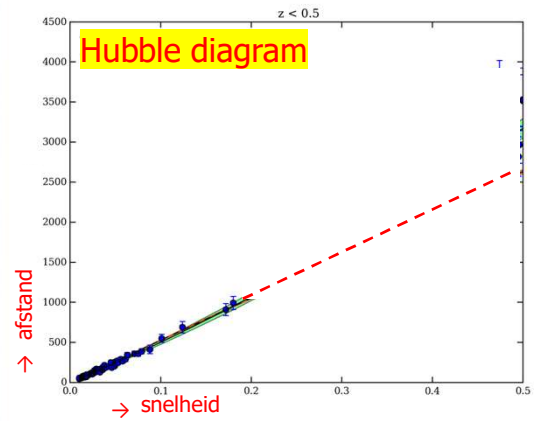
SN2012fr in NGC 1365 : afstand 56 Mlj



Supernova type Ia
Maximale helderheid : 5 miljard x Zon

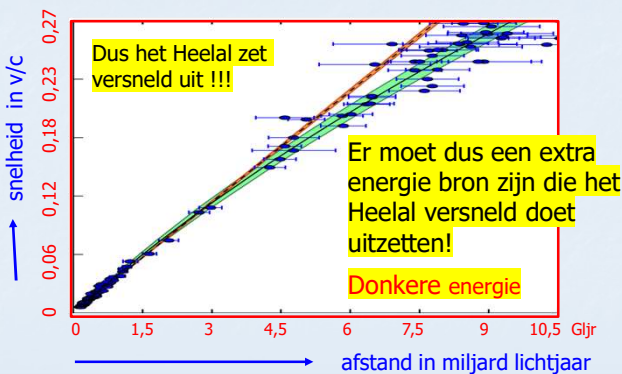
By ESO/IRAP-CNRS-UPS/A.Klotz -
<http://www.eso.org/public/images/potw1323a/>:

50



51

Nauwkeurige metingen van Ia supernovae:
De uitdijing was vroeger langzamer dan nu!



54

**Nobel prijs voor Natuurkunde
2011**

Saul Perlmutter

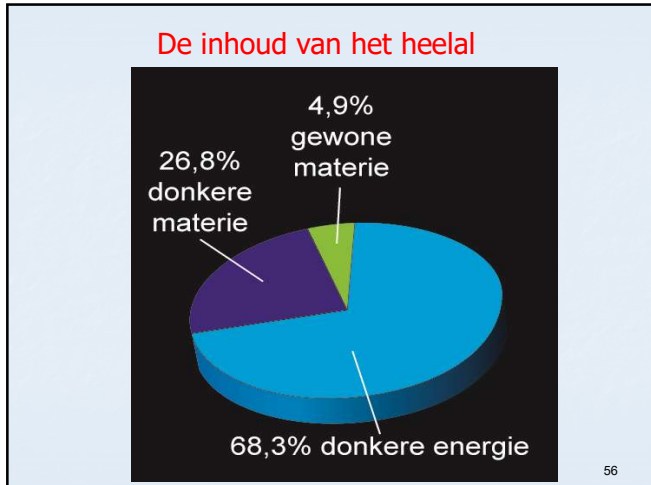
Brian Schmidt

Adam Riess



Ontdekking van de versnelde uitdijing
van het heelal

55



DE MENS TUSSEN DE STERREN
WELZIN-GENAERT VAN STERRENREISDE

Prof. Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam
AstroBoekjes: deel 1

HALLO IS DAAR IEMAND?
SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL

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

AstroBoekjes

1. **De mens tussen de sterren** (29^e druk)
2. **Hallo is daar iemand** (25^e druk)
3. **De oerknal en het uitdijend heelal** (25^e druk)

1. Het draait allemaal om de Zon (17^e druk)

te bestellen via
www.hennyiamers.nl
of
h.j.g.l.m.lamers@uu.nl

7.50 per stuk

Hier 5 Euro

DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL
OP ZOEK NAAR DE OORSPRONG

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

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

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

58

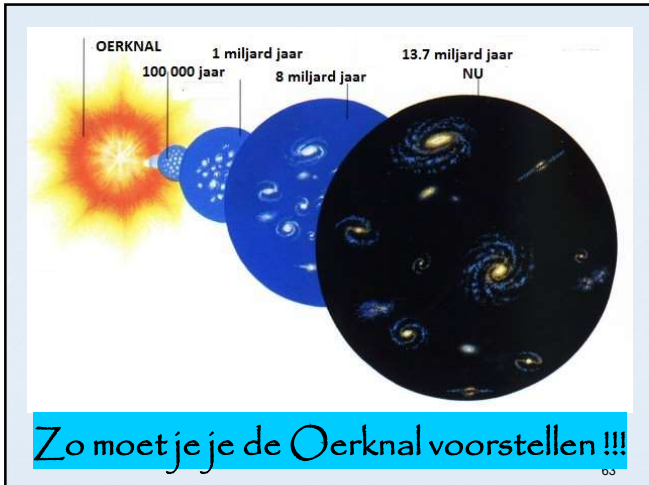


Wat explodeerde in de Big Bang ?

Niet : iets ontplofte in de ruimte

Maar : de ruimte begon plotseling uit te zetten met alles daarin (licht, materie, energie)

62



63

George Gamov
1904-1968

1948

“ Als er een oerknal was, dan moet het licht daarvan nog overal door het heelal reizen en dus ook bij ons zijn.
Dat moet straling zijn met een golflengte van ongeveer 2.5 mm ”

64

1965: Arno Penzias en Robert Wilson ontdekken bij toeval de straling van de oerknal

George Gamov

Robert Wilson
Arno Penzias

Nu een "National Monument" in Holmdel, New Jersey

Nobel prijs voor de natuurkunde : 1978

65

Waar komt de kosmische achtergrond straling vandaan?

de fotonen die zijn overgebleven van het moment dat Heelal doorzichtig werd

tot 380 000 jaar na oerknal
 $T > 3000$: elektronen bewegen vrij; fotonen worden sterk vertrooid; het Heelal is ondoorzichtig. : "dichte mist"

380 000 jaar na oerknal:
 $T \sim 3000$: Waterstof- en Heliumkernen vangen de losse elektronen; geen losse electronen meer het heelal wordt transparant.: "helder zicht"

66

Mist in de lucht

We zien alleen de onderrand van de wolk

67

Mist in de lucht

Oerknal

Toen was het heelal mistig

mist trekt op

afstand

verleden

Hier zie je het heelal op het moment dat de mist optrok

Nu
13,8 miljard jaar na de Oerknal

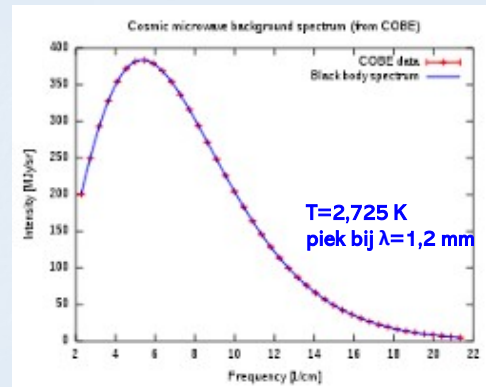
68

De straling van de Oerknal = kosmische achtergrond straling

1. Toen de mist optrok was de temperatuur van het gas ongeveer 3000 C
De straling was voornamelijk zichtbaar (rood) licht, met golflengte van ca 1 micron.
2. Het Heelal is sinds die tijd zeer sterk uitgedijd.
Daarbij werd ook de golflengte van de kosmische straling langer!
Het is nu millimeter straling.
De ruimte is dus sinds die tijd een factor 1000 uitgezet !

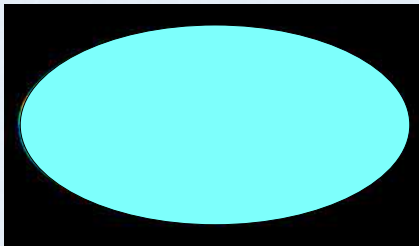
69

The spectrum of the Cosmic Microwave Background



70

De straling van het gas van de oerknal gemeten door de WMAP satelliet (2001)



Baby-foto van het heelal: 380 000 jaar na oerknal
Extreem homogeen: afwijkingen kleiner dan 0,001%

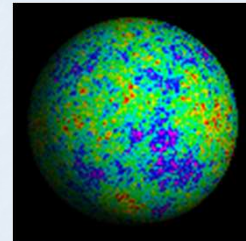
Overall even helder: stralings temp= $2,725\text{ K}$

71

De straling van het gas van de oerknal gemeten door de WMAP satelliet (2001)

Kleur geeft
helderheid
van de
radiostraling
weer.

Rood=
helderder
Blauw =
zwakker



"Kosmische
achtergrond
straling"

Baby-foto van het heelal: 380 000 jaar na oerknal
Afwijkingen zijn kleiner dan 0.001 % !

Mather en Smoot: Nobelprijs voor natuurkunde 2006

72

Het ontstaan van kosmische structuur uit de eerste kleine rimpelingen: door

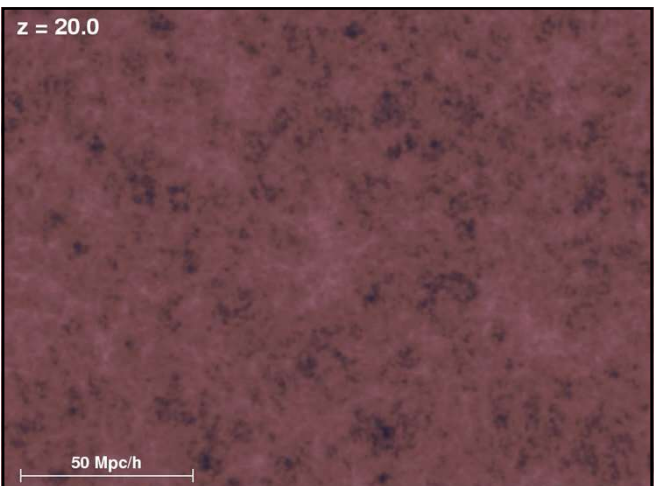
1. Samentrekken door zwaartekrachten
2. Uitdijing van de ruimte

Millenium computer simulatie

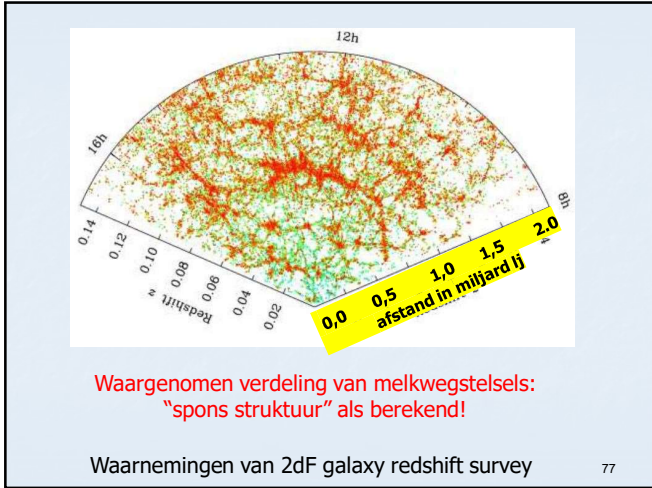
(Volker Springel en collega's)

75

75



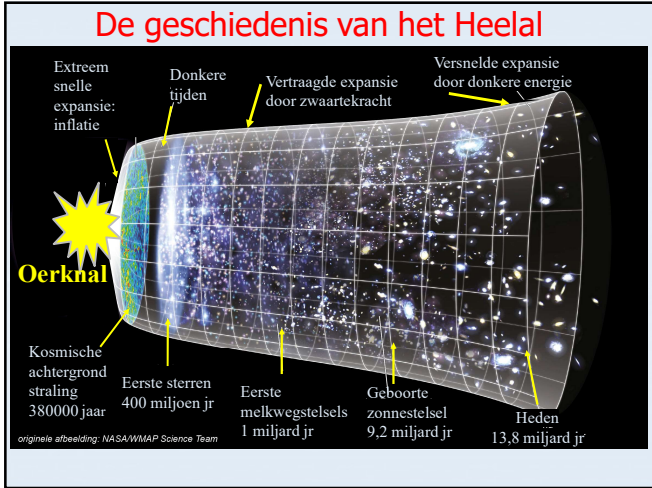
76



77



78



79



80

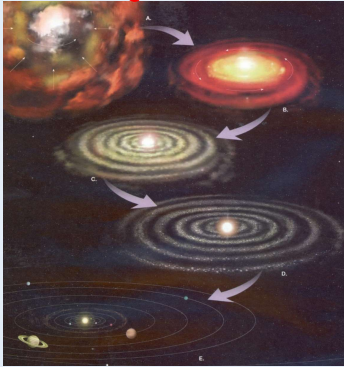


81



82

De vorming van de zon en planeten uit een gaswolk



83

83

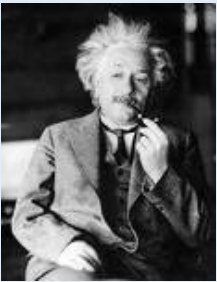
De planeet Aarde



Alkmaar

84

84



Albert Einstein

Het meest onbegrijpelijke van het heelal is dat wij, (als nietige wezens ergens op een klein planeetje) het heelal kunnen bestuderen en begrijpen !

85

85

DE MENS TUSSEN DE STERREN

WELZIN GEMAAKT VAN STERRENSTOF



Prof. Henny J.G.L.M. Lamers
Sterrenkundig Instituut
Universiteit van Amsterdam
Astroboekjes deel 1

HALLO IS DAAR IEMAND?

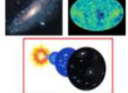
SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL



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

DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL

OF ZIEK NAAR DE OERCRISTING



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

Hier 5 Euro

AstroBoekjes

- 1. De mens tussen de sterren (21^e druk)**
- 2. Hallo is daar iemand (19^e druk)**
- 1. De oerknal en het uitdijende heelal (19^e druk)**
- 2. Het draait allemaal om de Zon (9^e druk)**

te bestellen via www.hennylamers.nl of h.j.g.l.m.lamers@uu.nl

7.50 per stuk

86