

Geboorte van sterren

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



Rob Walrecht cursus, 2 maart 2022
"Verdiep je verder in het Heelal"

1

Sterren beeld Orion



Afstand
1400 lj

2

Een sterrenbeeld is niet fysisch

de sterren horen niet bij elkaar



Sterrenbeeld Grote Beer

Sterren op verschillende afstanden van 75 tot 140 lj

3

De Pleiaden sterrenhoop
honderden sterren



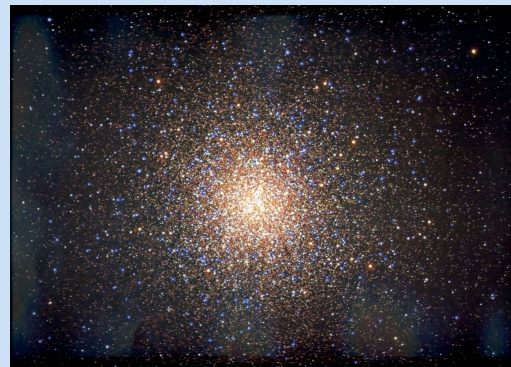
4

De Pleiaden sterrenhoop
honderden sterren



5

Sterrenhoop
honderdduizenden sterren op een kluit



6



7

spectra

Continuum Spectrum

Cold Gas

Absorption Line Spectrum

Hot Gas

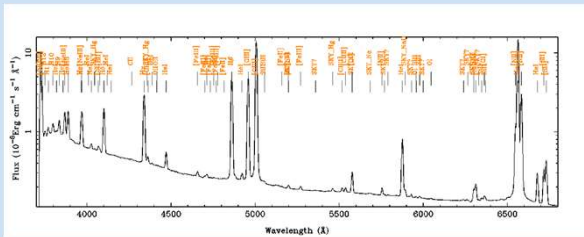
Emission Line Spectrum

Sterren: spectrum met absorptielijnen
 Nevels: spectrum met emissielijnen (geen achtergrond)

math-science-resources.com

8

Emissielijn spectrum van Orion nevel



Emissielijnen van ionen: o.a. H^+ , He^+ , He^{++} , O^{++}

De spectra daarvan zijn HII, HeII, HeIII, OII enz.

9

Een hete gas wolk : 10000 C



waterstof gas
70%

helium gas
28%

rest 2%

vooral
koolstof,
stikstof
zuurstof

10

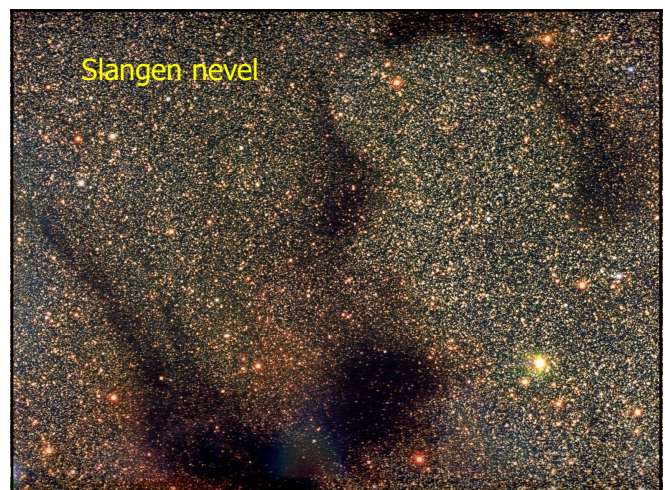
10

Een koude gaswolk -250 C



Page 11

11



12

Interstellaire gas wolken

Hete gaswolk, 10 000 C
= stralend gas

Verhit door hete jonge sterren



Koude gaswolk, -250 C
= donkere stofkorrels

Stof absorbeert het licht



Deze wolken hebben dezelfde chemische samenstelling !

70% H, 28% He, 2% rest (voornamelijk C, N, O, Si)

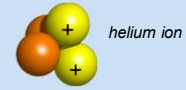
In hete wolken: stralende atomen

In koude wolken: moleculen en kleine korrels: roet + zand + ijs

19

Interstellaire materie

- Ionen



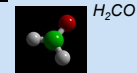
- Electronen



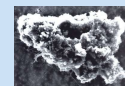
- Atomen



- Moleculen



- Stof



10 micrometer

20

de Trifid nevel in zichtbaar licht en infrarood

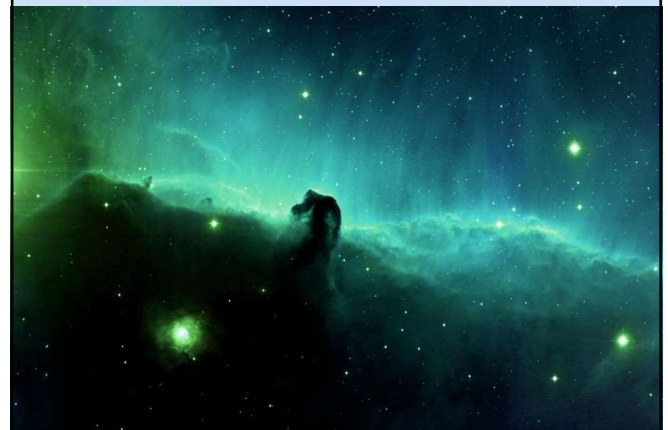


afstand: 7600 lj

diameter 30 lj

21

Paardenkop nevel afstand 1500 lj, afmeting ca 3 lj



22

“Paardenkop nevel”: koude stoffige gaswolk



23

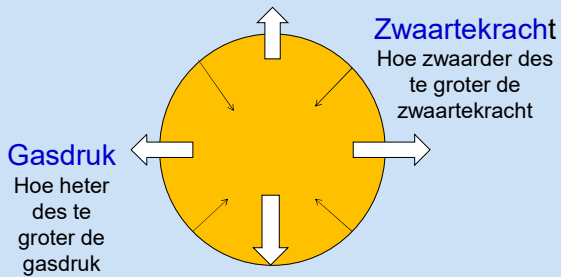
23



24

24

Ontstaan van sterren uit gaswolken



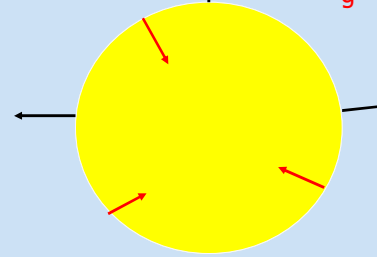
Sterren ontstaan uit gaswolken als de zwaartekracht het wint van de gasdruk.

25

25

Gasdruk:
doet wolk uitzetten
 $P_{\text{gas}} \sim \rho T$

Zwaartekracht
doet wolk krimpen
 $g \sim M / R^2$



Sir James Jeans
1877-1946

Wolk trekt samen als zwaartekracht wint van gasdruk
Dat is als de massa > Jeans massa (M_J)

Bij $T = 30 \text{ K}$ en dichtheid = $10 \text{ atomen/cm}^3 \rightarrow M_J = 10^4 M_{\text{sun}}$

26

Jeans criterium voor stervorming uit wolk



Sir James Jeans
1877-1946

1. Thermische energie, E_{th} , van de wolk is maat voor totale gasdruk
2. Potentiele energie, E_{pot} , van de wolk is maat voor de totale zwaartekracht
3. Als een wolk in evenwicht is, tussen zwaartekracht en gasdruk, dan geldt:
Viriaal theorema: $E_{\text{th}} = -0.5 E_{\text{pot}}$
let op, E_{pot} is altijd negatief, dus $-0.5 E_{\text{pot}}$ is positief
4. Een wolk zal instorten als: gasdruk verliest van zwaartekracht, dus als

$$E_{\text{th}} < -0.5 E_{\text{pot}} \quad \text{Jeans criterium}$$

27

27

The Jeans mass of a cloud in equilibrium

Pot Energy : $E_{\text{pot}} \sim -M \times (GM/R) \sim -3/5 GM^2/R$
(3/5 for a homogeneous cloud)

Kinetic Energy : $E_{\text{kin}} \sim 3/2 N k T \sim 3/2 (M/m) k T$
(m = mean mass per atom $\sim 1 m_H$)

It can be shown that a cloud (or star) is in hydrostatic equilibrium if

$$E_{\text{kin}} = -1/2 E_{\text{pot}} !!$$

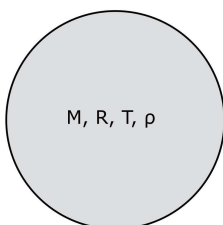
If $E_{\text{kin}} > -1/2 E_{\text{pot}}$ then gaspressure wins over gravity and the cloud expands

If $E_{\text{kin}} < -1/2 E_{\text{pot}}$ then gravity wins and cloud contracts.

28

28

Consider a spherical homogenous cloud:



$$M > M_J \equiv \frac{5kT}{\mu m_H} \cdot \frac{R}{G} \quad \text{Jeans mass}$$

With $T \sim 10 \text{ K}$
And mean particle mass is μm_H
with $\mu = 1$

If $M > M_J$ then cloud contracts and starts to form stars.
This shows that only massive clouds of $M > 10^3 \text{ a } 10^4 M_{\text{sun}}$ will contract and form stars ! -> star clusters !

29

29

Het ontstaan van een sterrenhoop uit een grote gasnevel



1. kontraktie van een gaswolk door eigen zwaartekracht

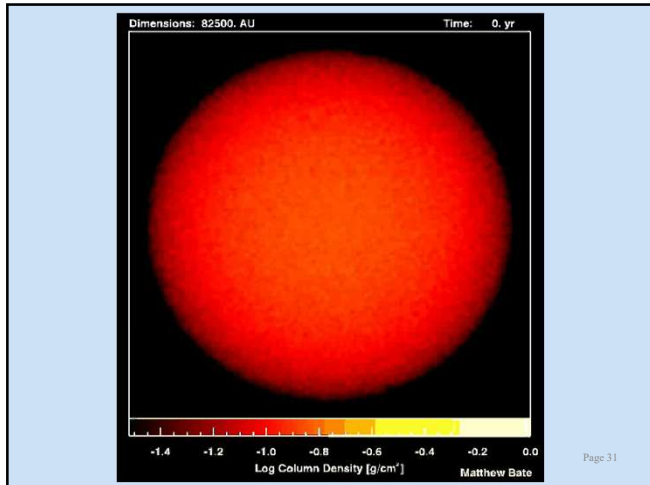
2. kontraherende gaswolk gaat klonteren

3. klonters trekken samen tot sterren

4. sterrenhoop !

Page 30

30



31

Bellen blazen in een wolk

De eerste sterren ontstaan in het centrum van de wolk. Die eerste sterren gaan gas in hun directe omgeving verhitten en ionizeren →

expanderende hete gasbel

32



33

De Adelaar nevel : stervormings nevel

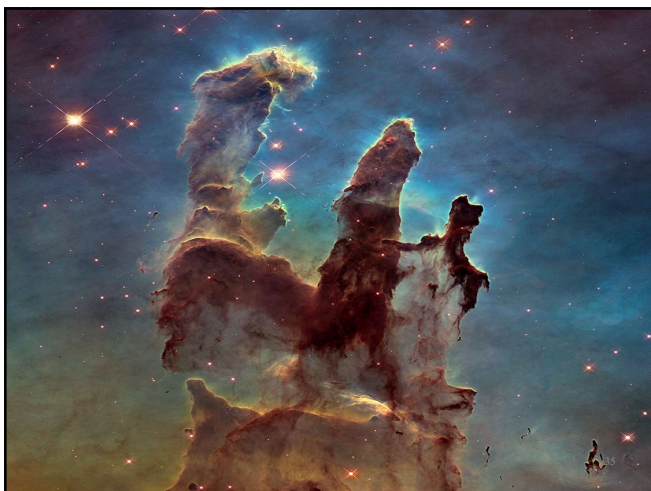
Afstand: 7000 lj

Diameter:
totaal : 50 lj
binnendeel: 15 lj

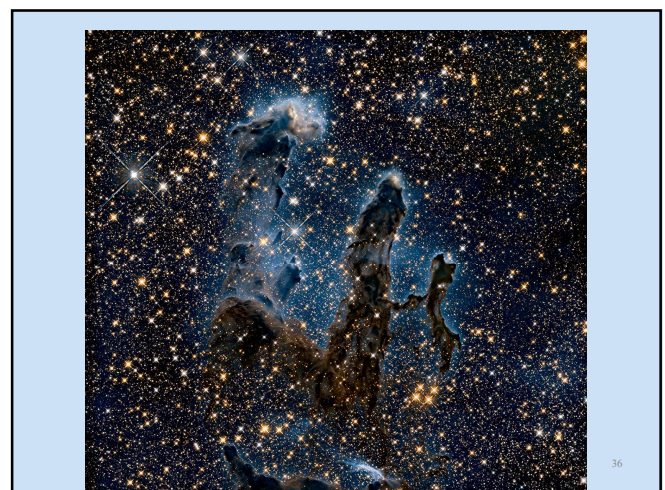
Totale massa:
>12000 Mzon

Page 34

34

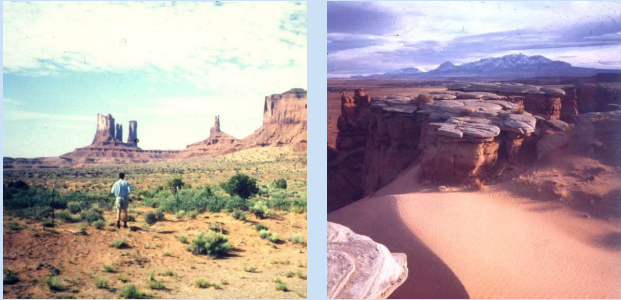


35



36

Pilaren ontstaan door "erosie"



37

37



38

Sterren beeld Orion



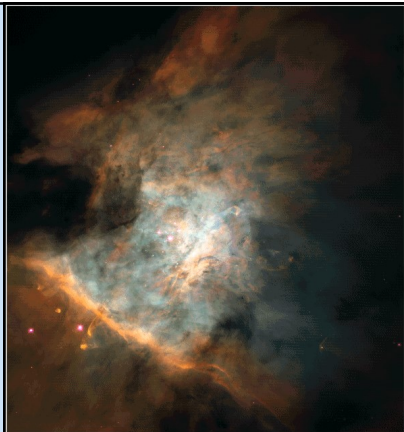
Afstand
1400 lj

39

39



40



Orion Nebula Mosaic HST · WFPC2
PRC95-45a · ST ScI OPO · November 20, 1995
C. R. O'Dell and S. K. Wong (Rice University), NASA

41

41



42



43

Proplyds = proto planetary disks
heel jonge kleine ster met daarom heen een stofschijf



44

44

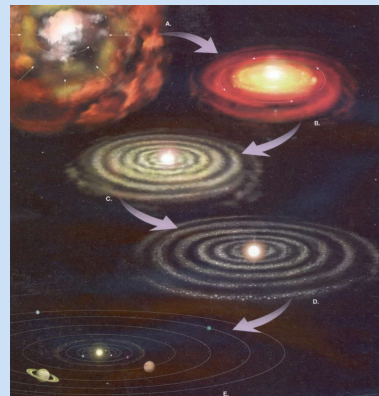
Hoe
zijn de planeten ontstaan?



Page 45

45

Ontstaan van planeten?



46

46

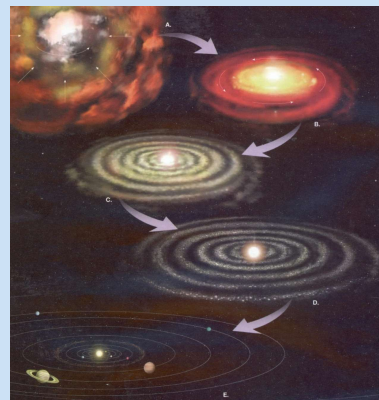
Pirouette effect



47

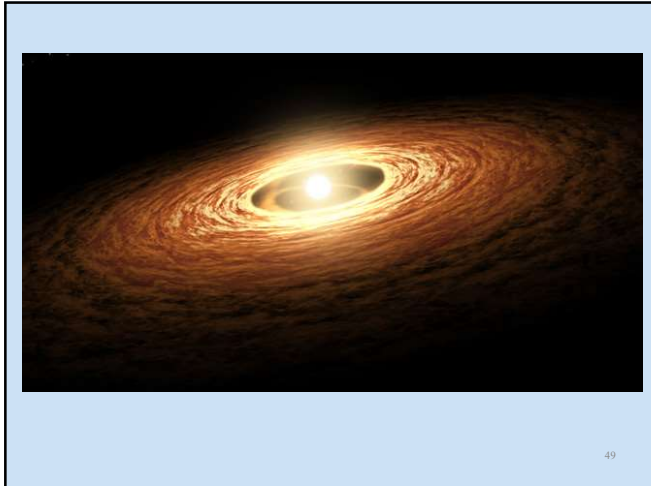
47

Ontstaan van aarde en planeten?

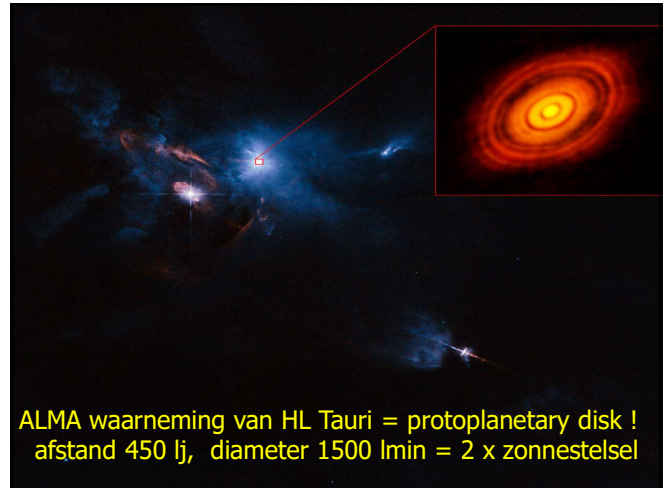


48

48

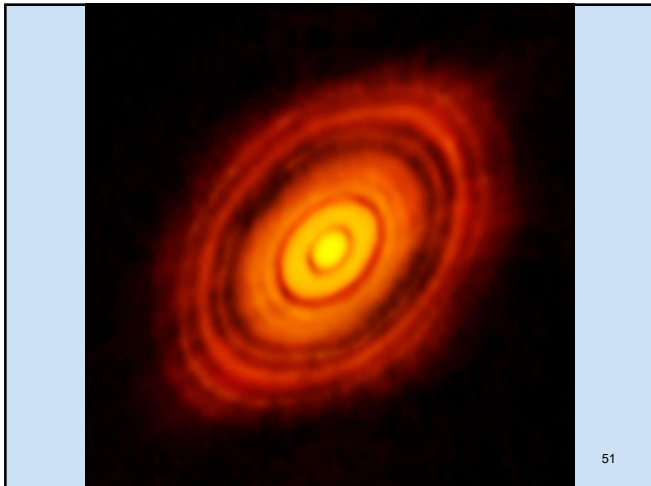


49



ALMA waarneming van HL Tauri = protoplanetary disk !
afstand 450 lj, diameter 1500 lmin = 2 x zonnestelsel

50



51



52



53



54

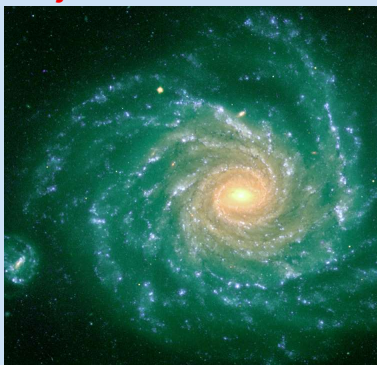


55



56

Melkweg stelsels : miljarden sterren in een schijf



Afstand :
61 miljoen
lichtjaar

Diameter :
100 000
lichtjaar

100 miljard
sterren !
+ gasnevels

57

Stervorming treedt voornamelijk op in spiraal armen van melkweg



Spiraalarmen zijn dichtheidsgolven!

58

Stervorming treedt voornamelijk op in spiraal armen van melkweg



Gaswolk loopt door **dichtheidsgolf**
van spiraal arm

Wolk wordt (tijdelijk) samengedrukt

Straal wordt kleiner dan Jeans straal

Zwaartekracht wint van gasdruk

Wolk begint in te krimpen

Zwaartekracht wint steeds meer:
proces is niet te stoppen:

stervorming

59

Dit en volgende 4 figuren komen uit
Koupelis: In quest of the Universe

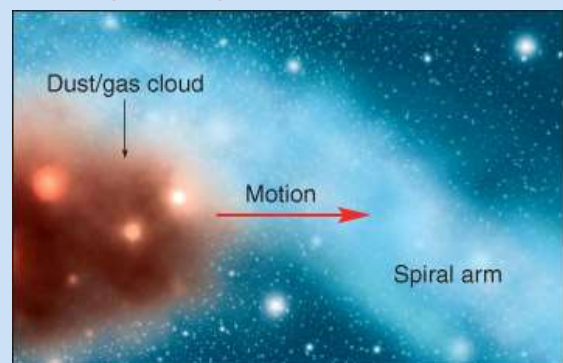


Figure 16.20B: (b) A cloud of dust and gas is about to enter a spiral arm.

60

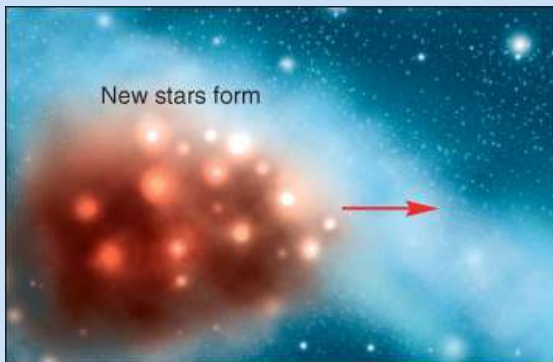


Figure 16.20C: (c) The higher density of gas in the arm causes the cloud to compress, resulting in star formation.

61

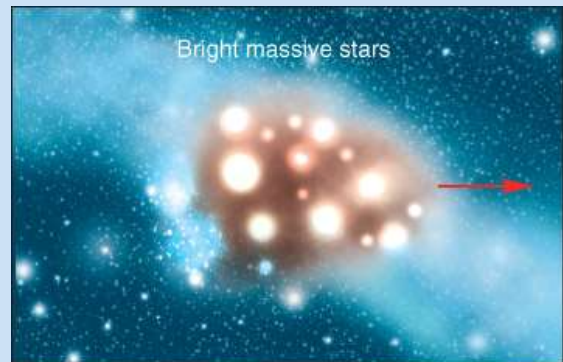


Figure 16.20D: (d) As the cloud passes through the spiral arm, bright, massive stars make the arm itself appear brighter than the rest of the galaxy.

62



Figure 16.20E: (e) The bright stars burn out before they exit the spiral arm, as another cloud of dust and gas begins to enter the arm.

63



64

64

The End

65

65

DE MENS TUSSEN DE STERREN WELZIJNIGMAAKT VAN STERRENSTOF Prof. Henny F.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam AstroBoekjes: deel 1	HALLO IS DAAR IEMAND? SPEUREN NAAR LEVEN IN HET HEELAL Prof. Henny F.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam AstroBoekjes: deel 2	AstroBoekjes 1. De Mens tussen de Sterren: wij zijn gemaakt van sterrenstof 21e druk 2. Halo is daar iemand? speuren naar leven in het heelal 19e druk 3. De Oerknal en het uitdijend heelal : op zoek naar de oorsprong 18e druk 4. Het draait allemaal om de Zon : ontstaan, bouw en evolutie van ons planetenstelsel 9e druk
DE OERKNAL EN HET UITDIJEND HEELAL OP ZOEK NAAR DE OORSPRONG Prof. Henny F.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 F.G.L.M. Lamers Sterrenkundig Instituut Universiteit van Amsterdam AstroBoekjes: deel 4	Euro 5,00 per stuk of Bestellen via www.hennylamers.nl Euro 7,50 per stuk.

66