

INLEIDING STERRENKUNDE

College 9. Melkwegstelsels.

Afstandsschaal.

Afstanden worden in eerste instantie gemeten met **Cepheiden**.

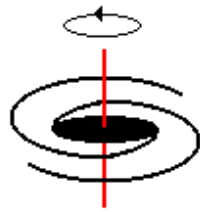
Met de **Hubble Space Telescope** kan dit nu tot afstanden van **20 – 30 Mpc**.

Op ongeveer **20 Mpc** ligt de **Virgo Cluster**, een grote verzameling van melkwegstelsels.

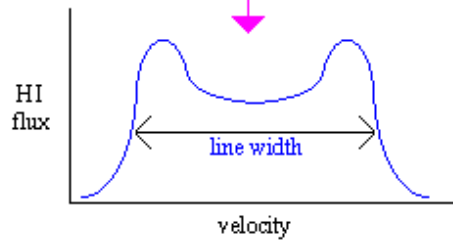
Voor grotere afstanden kan het dan met de **Tully-Fisher relatie** tussen de absolute magnitude en de rotatiesnelheid. Deze relatie zegt, dat als er meer sterren zijn het stelsel ook meer massa bevat.

Het is observationeel geverifieerd en gecalibreerd in de **Virgo Cluster**.

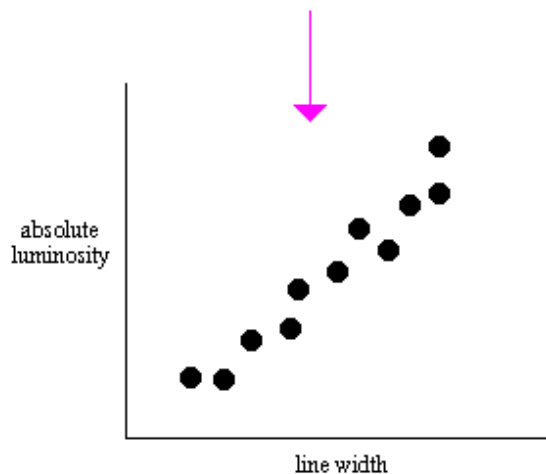
Tully–Fisher relation



spiral galaxies rotate, and the rotation speed is proportional to the mass of the galaxy



measurements of neutral hydrogen (HI) display a ‘double-horned’ profile, where the width of the line indicates the mass



a plot of line width versus absolute luminosity of a galaxy is called the Tully–Fisher relation. When calibrated using galaxies with Cepheid distances, the TF relation is used to determine Hubble’s constant.

Men vindt de **expansie-wet van Hubble**:

$$V_{\text{rad}} = H \times D$$

De **Hubble constante** H is $70 \pm 5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

Classificatie.

Hubble heeft het meest gebruikte classificatie schema voorgesteld in de jaren 1920.

Er zijn drie fundamentele typen:

- Elliptische stelsels E.

Deze bevatten geen stof, gas of emissie-nevels (HII-gebieden).

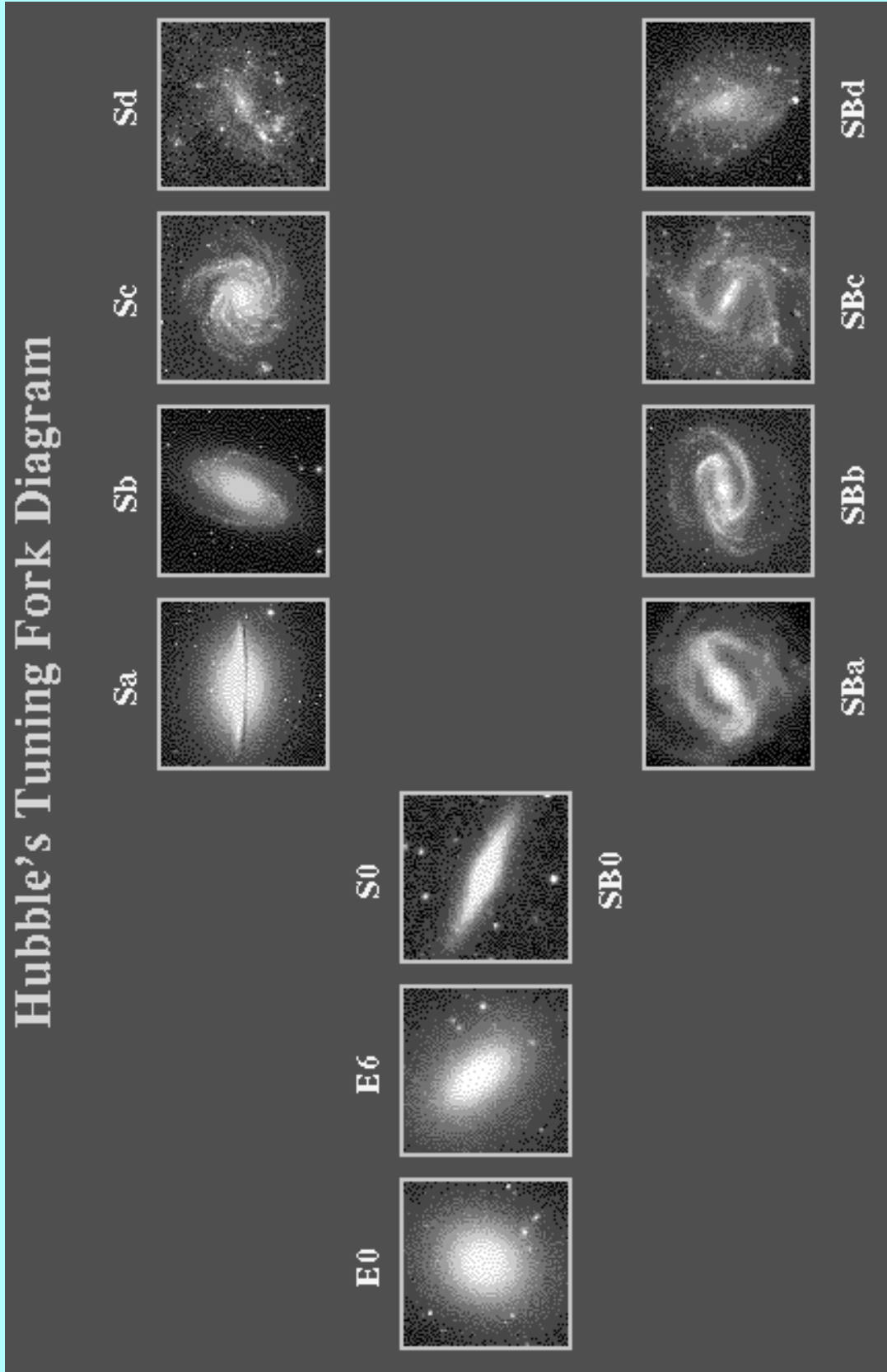
Naar de afplatting geeft men nog een getal van 0 (rond) tot 7 (zeer afgeplat), gebaseerd op de schijnbare grote as a en kleine as b volgens $10(a - b)/a$.

- Spiraalnevels.

Deze bevatten stof, gas, jonge sterren en hebben een schijf met spiraalstructuur.

Men onderscheidt nog normale spiralen (S) en balk-spiralen (SB).

De “Stemvork” van Hubble



Er is nog een onderverdeling **Sa/SBa**, **Sb/SBb**, **S/SBc**, **S/SBd** volgens de criteria:

1. Verhouding bulge en schijf (groot voor Sa).
2. Opwinding van de spiraalarmen (sterk voor Sa).
3. Details in de spiraalarmen (kleine HII-gebieden voor Sa).

- **S0-stelsels.**

Deze zijn door Hubble later ingevoerd (ook wel “**lenticulars**” genoemd).

Deze hebben wel een schijf, maar geen gas, stof en emissie-nevels

Het is een overgangstype tussen elliptische en spiraalstelsels.

- **Onregelmatige nevels.**

Hierin komen de nevels, die niet in het schema passen (slechts een paar procent).

Omdat men vroeger dacht, dat het een evolutiereeks was, noemt men **E**, **S0**, etc. **vroeger** typen.

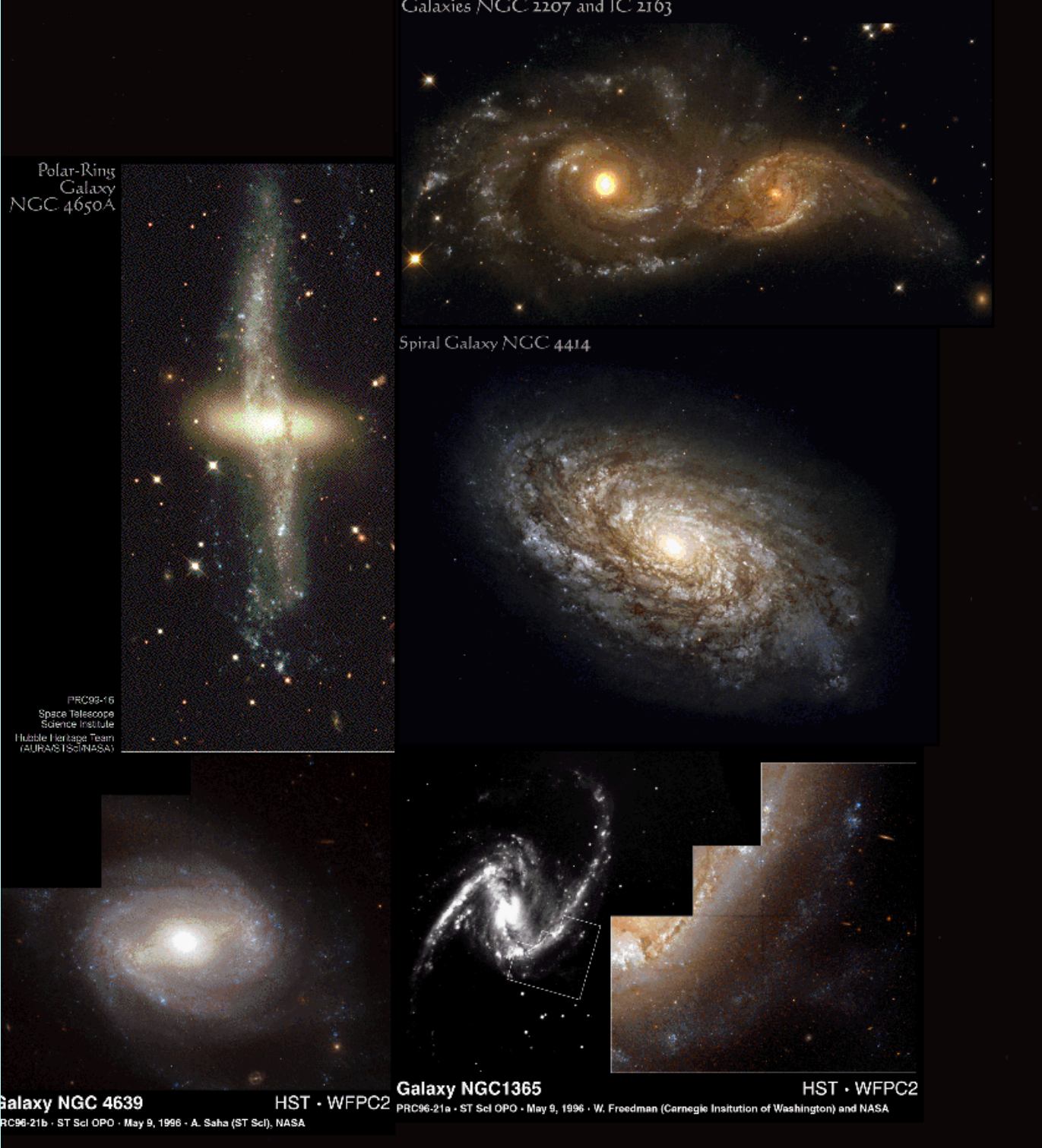
Diverse spiraalstelsels



Diverse stelsels op de kant gezien



Diverse stelsels met de Hubble Space Telescope



Diverse stelsels met de Very Large Telescope



Meer stelsels met de Very Large Telescope



Populaties

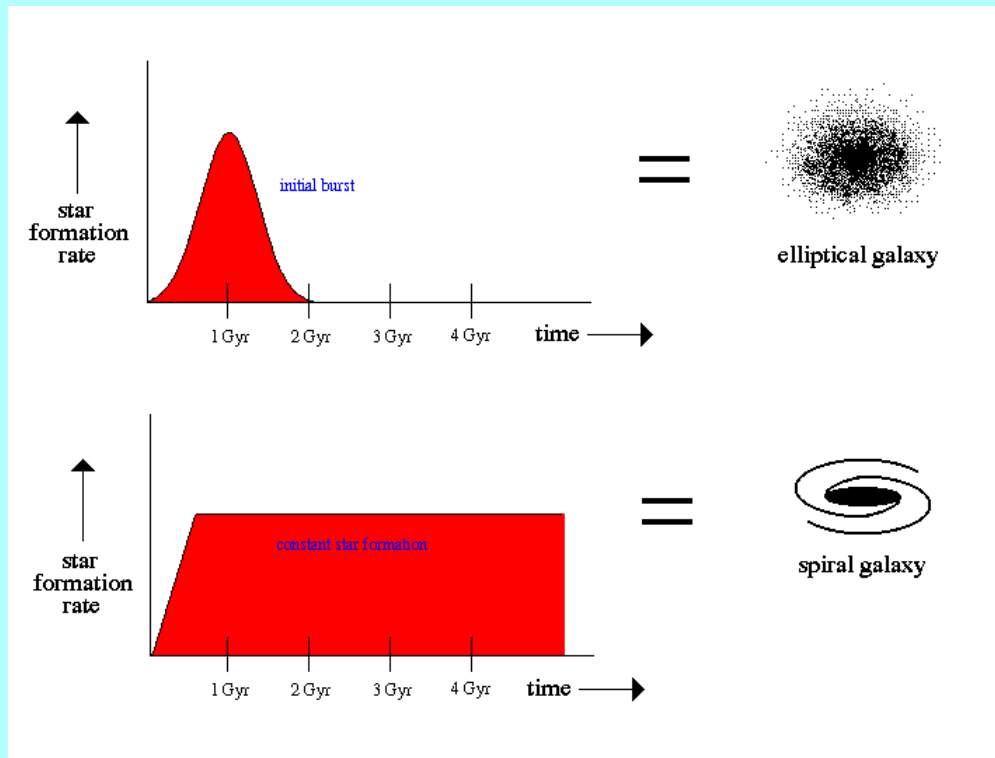
De Hubble-classificaties (van **E** naar **Irr**) blijken een reeks te zijn van toenemende verhouding van de **Ster Populaties I** t.o.v. **II**.

D.w.z. van **puur halo** voor de elliptische stelsels tot **puur schijf** voor de late spiralen en onregelmatige nevels.

Naast het ontbreken van gas, stof, jonge sterren en de ruimtelijke verdeling volgt dit ook uit de **geïntegreerde kleuren**.

Het licht van **Elliptische stelsels** wordt gedomineerd door rode reuzen; van **Spiraalstelsels** wordt het gedomineerd door hete hoofdreekssterren.

Men kan dit modelleren in een **geschiedenis van stervorming**.



Uit zulke modellen blijkt ook, dat de kleuren niet verklaard kunnen worden met verschillende leeftijden. Alle stelsels zijn 10^{10} jaar oud.

Spiraalstructuur

Men beschouwt nu de spiraalstructuur als een **Verdichtingsgolf**, die door de schijf loopt.

Dat spiraalvormige golfpatroon draait als een vast wiel (dus zonder differentiële rotatie) en gaat langzamer dan sterren en gas.

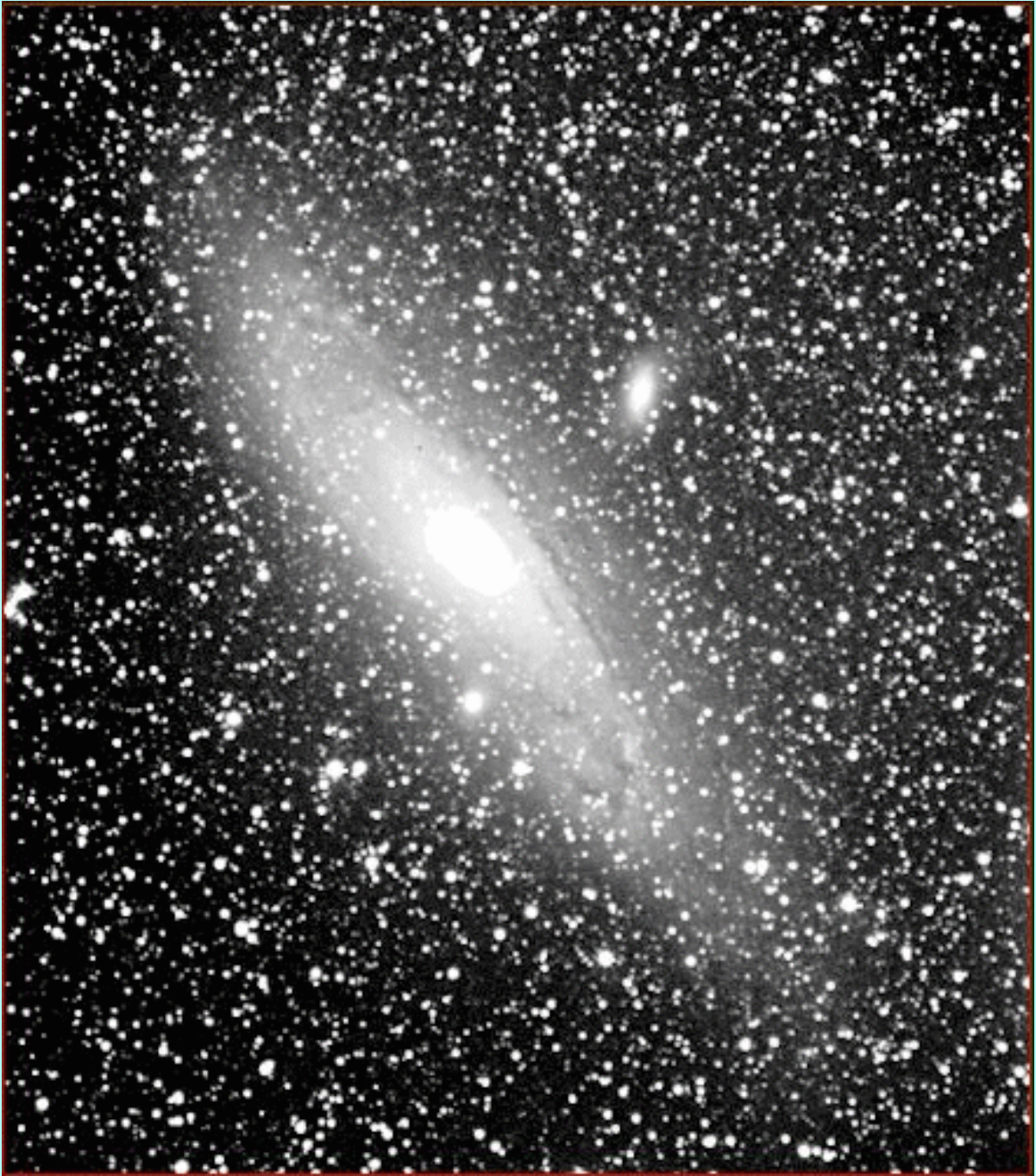
Als sterren de golftop (de spiraalarmen, waar de dichtheid iets groter is) naderen worden ze iets versneld en als ze erdoorheen zijn vertraagd. Dus ze hopen zich bij de golftop op en zo **houdt** de golf zich tot op zekere hoogte **in stand**.

Voor het gas gebeurt dit ook, maar daarin ontstaan dan **schokgolven**. Die zien we als de **stofbanen** aan de binnenkant van de spiraal armen.

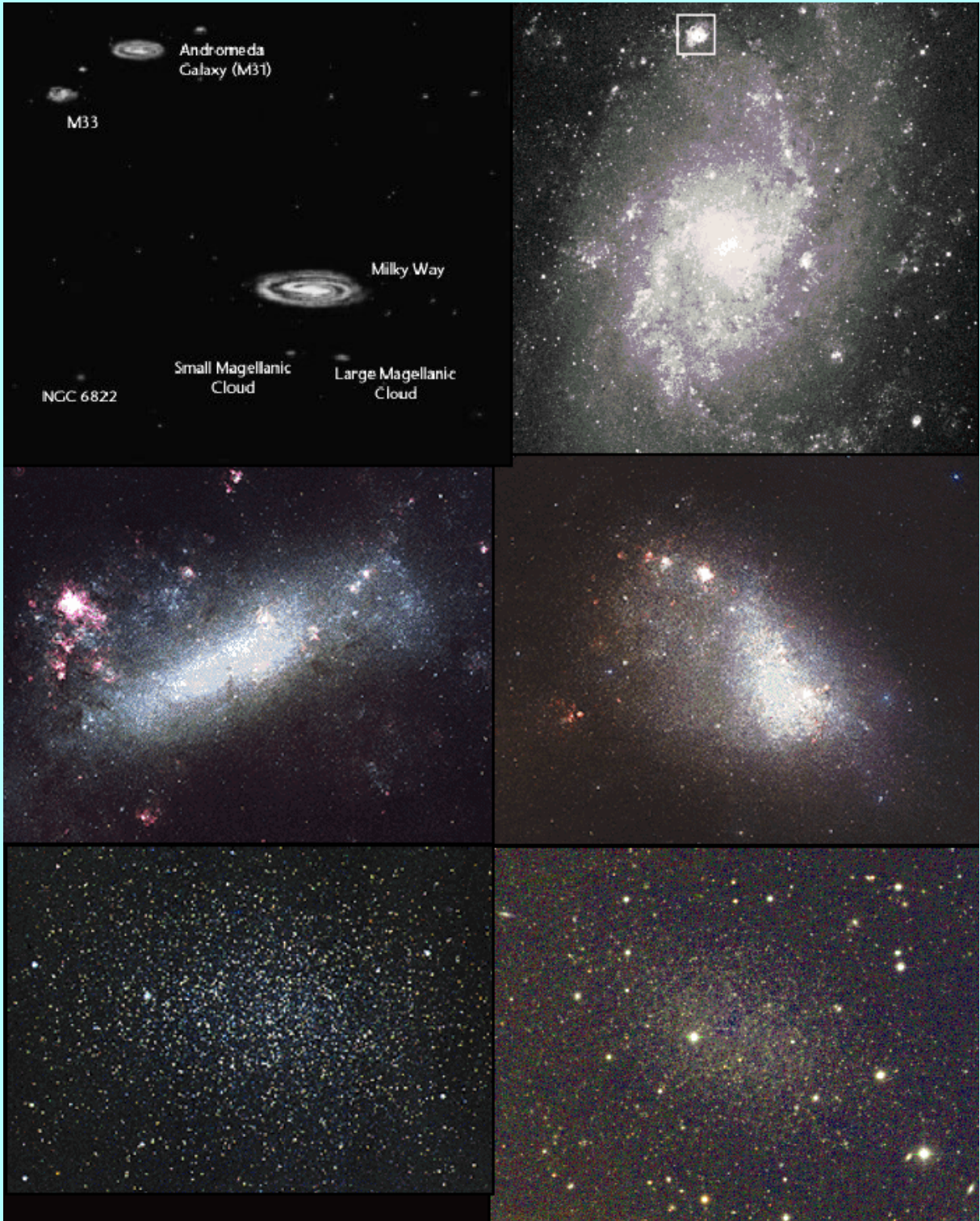
Het geeft ook aanleiding tot **stervorming**; daarom zijn de HII-gebieden en jonge sterren geconcentreerd naar de spiraalarmen.

Interacties

Sterren komen in soms kleine groepen voor (zoals de **Lokal Groep**, waartoe ons **Melkwegstelsel** en de **Andromeda nevel** behoren).



Daarnaast bevat de Lokale Groep nog een aantal kleinere stelsels.



De meeste komen voor in grote **clusters**, zoals de **Coma Cluster**.



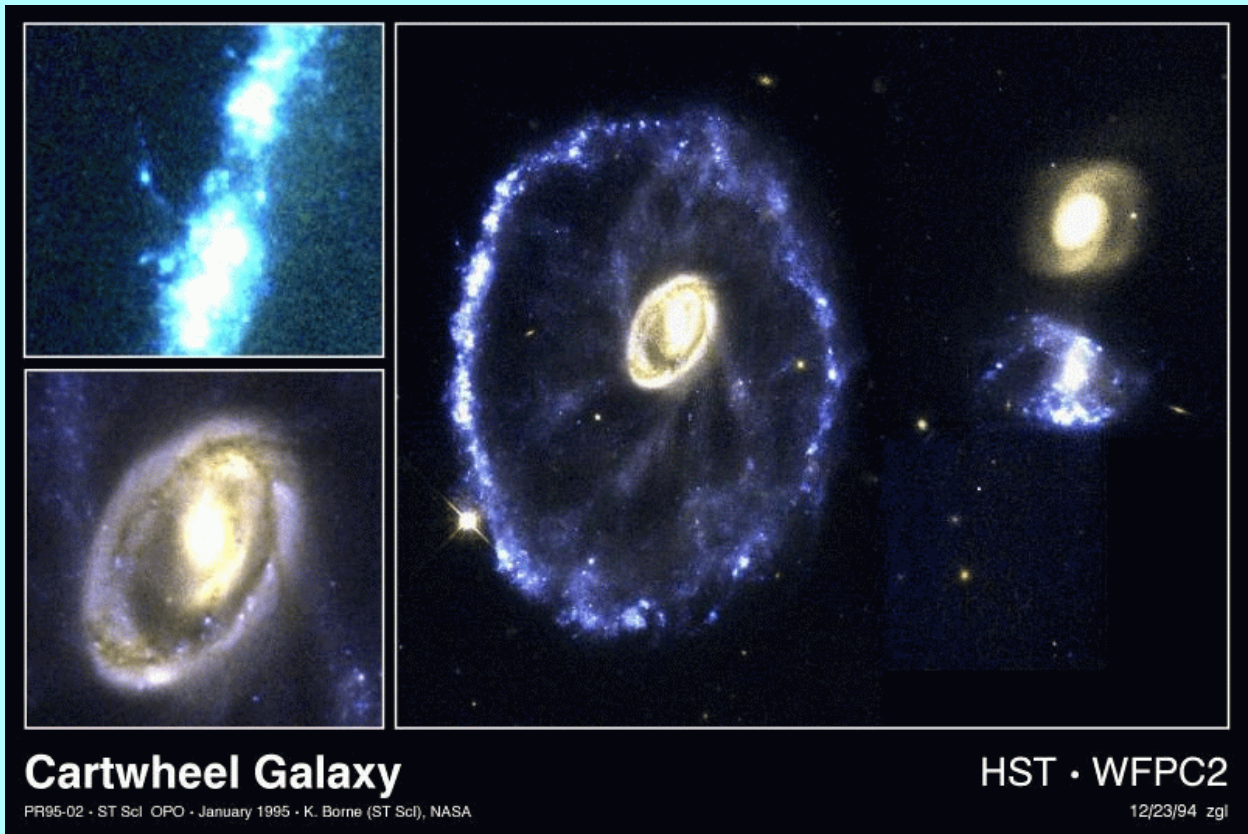
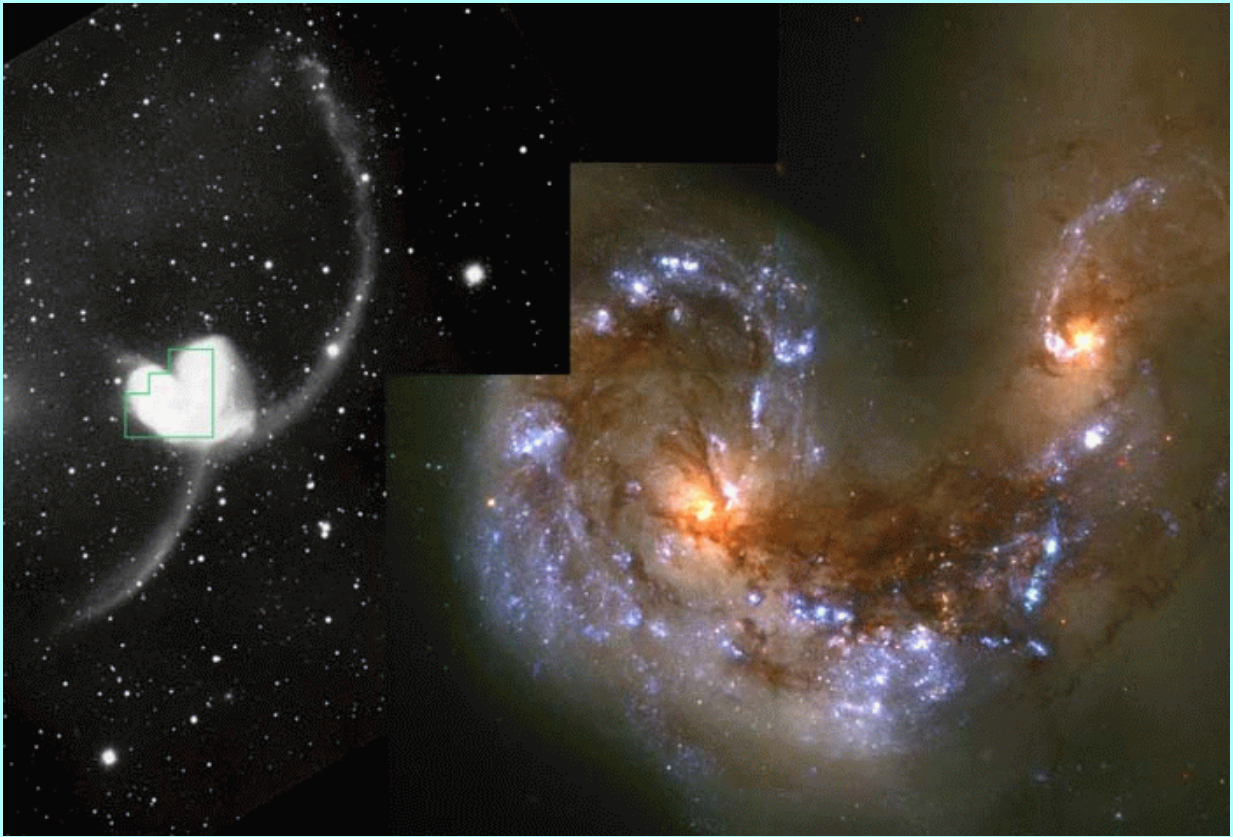
**NGC 4881
Coma Cluster
HST · WFPC2**



PF95-07 · ST ScI OPO · January 1995 · W. Baum (U.WA), NASA

1/27/95 zgl

Stelsels kunnen ook zo dicht elkaar passeren,
dat ze **interactie** vertonen.



In de “Antenne’s” (denk aan een insect) worden staarten van sterren en gas uitgetrokken.

Dit gaat gepaard met veel stervorming.

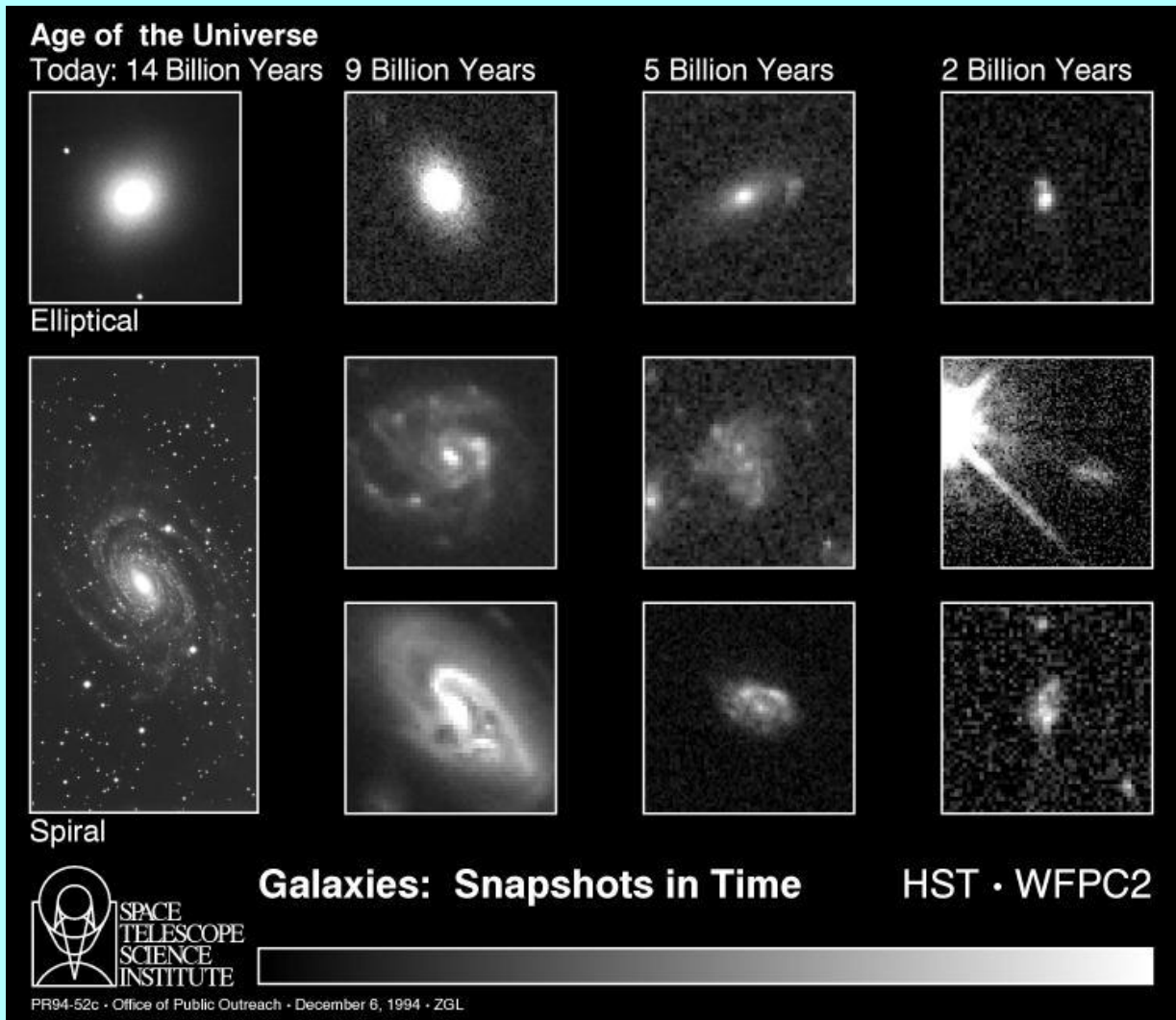
In het “Wagenwiel” is een kleiner stelsel bijna loodrecht door het midden van de schijf gegaan.

Evolutie

Met nieuwe telescopen als de Hubble Space Telescope kan men stelsels tot op grote roodverschuiving (dus ver terug in de tijd) bestuderen.

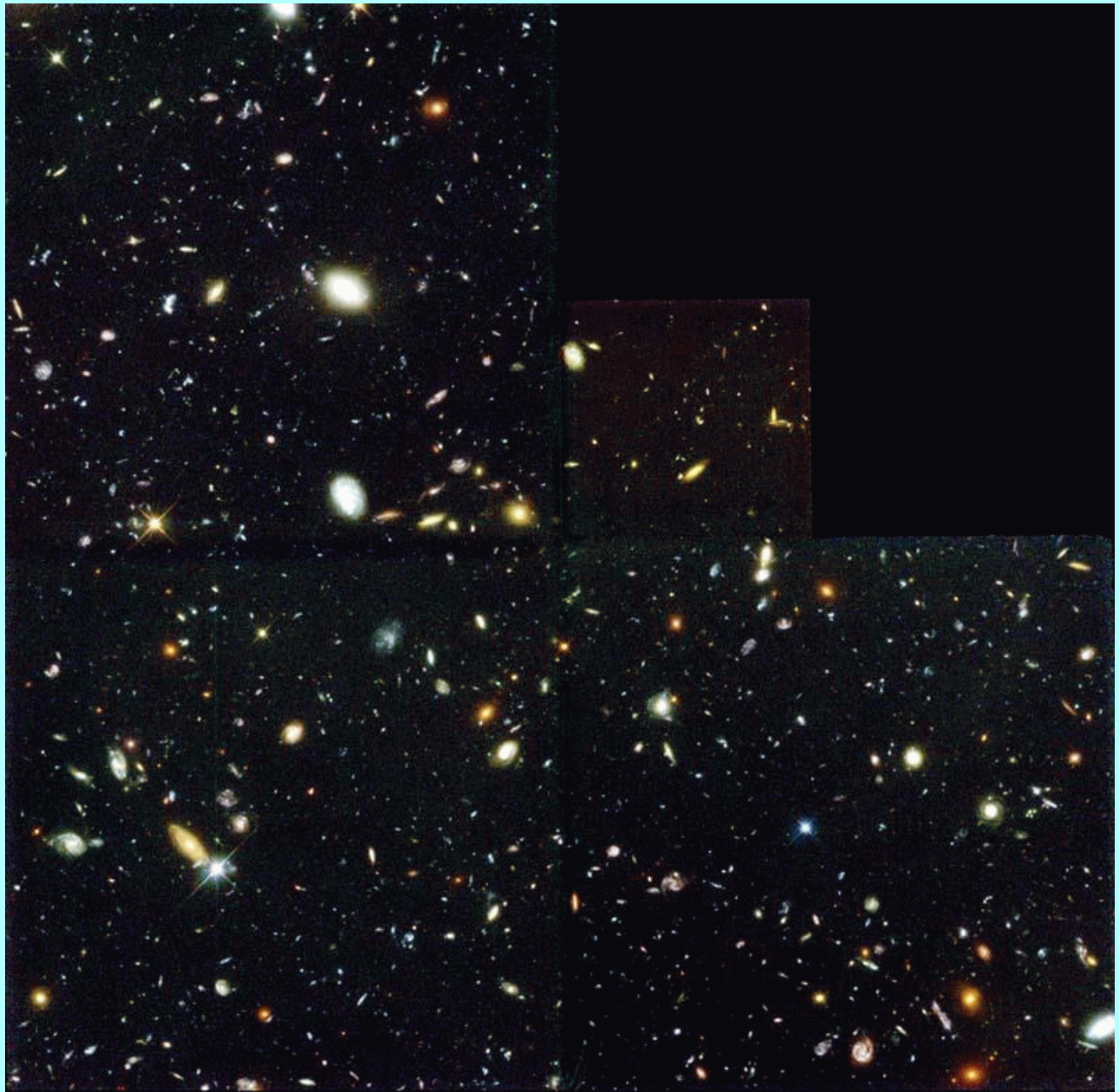
We zien dan, dat stelsels vroeger veel onregelmatiger waren.

Er zijn ook veel meer interacties en samenklontering (“merging”).



Veel informatie is gekomen uit de **Hubble Deep Field**. Hiervoor heeft de **Hubble Space Telescope** twee weken waarnemtijd gebruikt.

Er is nu ook zo'n veld in het zuiden.



Hubble Deep Field

HST WFPC2

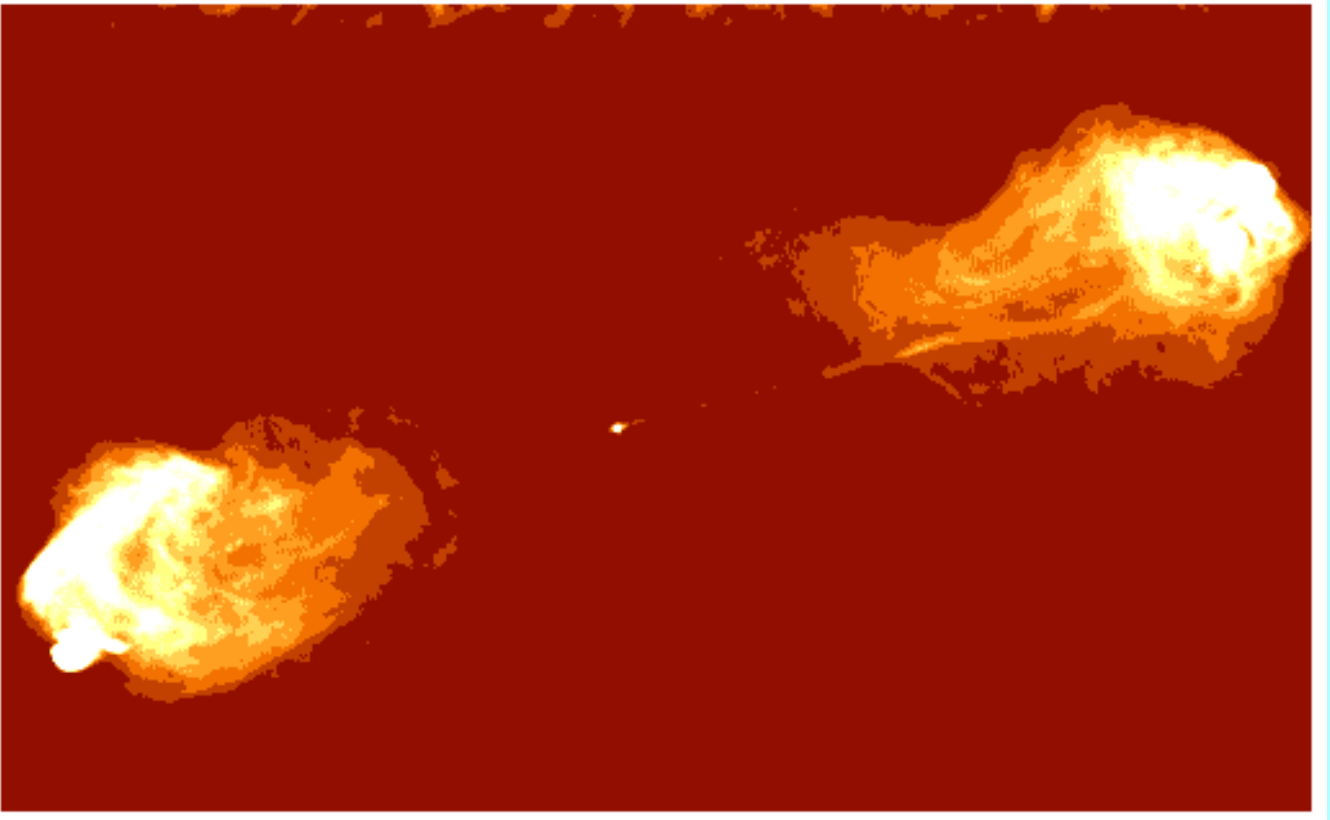
ST ScI OPO January 15, 1996 R. Williams and the HDF Team (ST ScI) and NASA

Actieve stelsels en quasars.

Melkwegstelsels tonen vaak activiteit in hun kernen. Men vat dit samen onder de term **Active Galactic Nuclei (AGN)**.

De meest dramatische vorm is die van de **radio-stelsels**, die vooral geassocieerd zijn met grote **elliptische stelsels**, zoals die voorkomen in grote **clusters**.

Een bekend voorbeeld is **Cygnus A**, geassocieerd met een stelsel op een afstand van zo'n 200 Mpc. Karakteristiek is de **“double lobe”** structuur.



De totale afmeting van de radiobron is meer dan 100 Mpc.

De energieproductie in radiostraling alleen al is van de orde 10^{38} Watt.

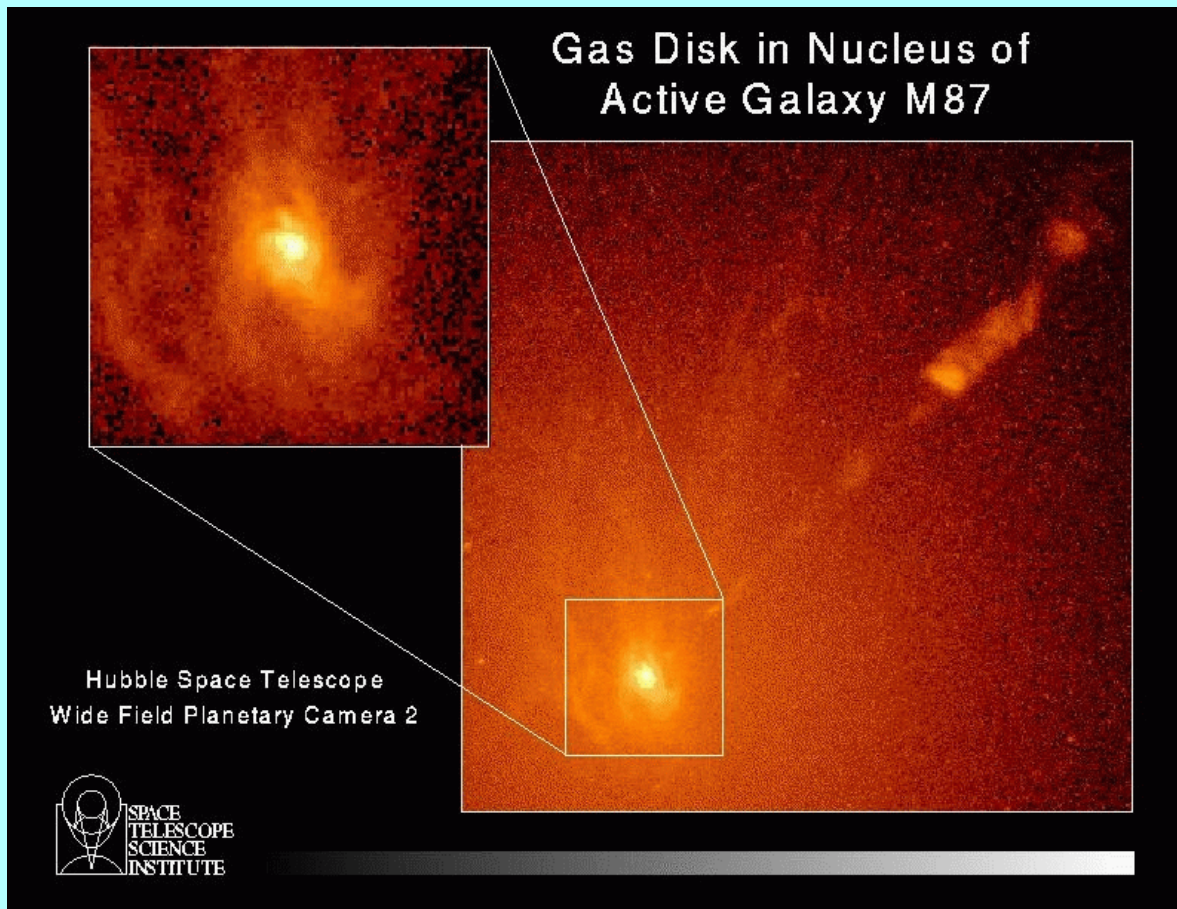
Oorspronkelijk dacht men aan een botsing als de oorzaak.

Het stelsel zelf heeft een veel zwakkere radiobron en er komen "radio-jets" uit, die kennelijk de lobben van energie voorzien.

Een ander voorbeeld is het reuzen-elliptische stelsels **M87** in het centrum van de **Virgo Cluster** op ongeveer 20 Mpc.

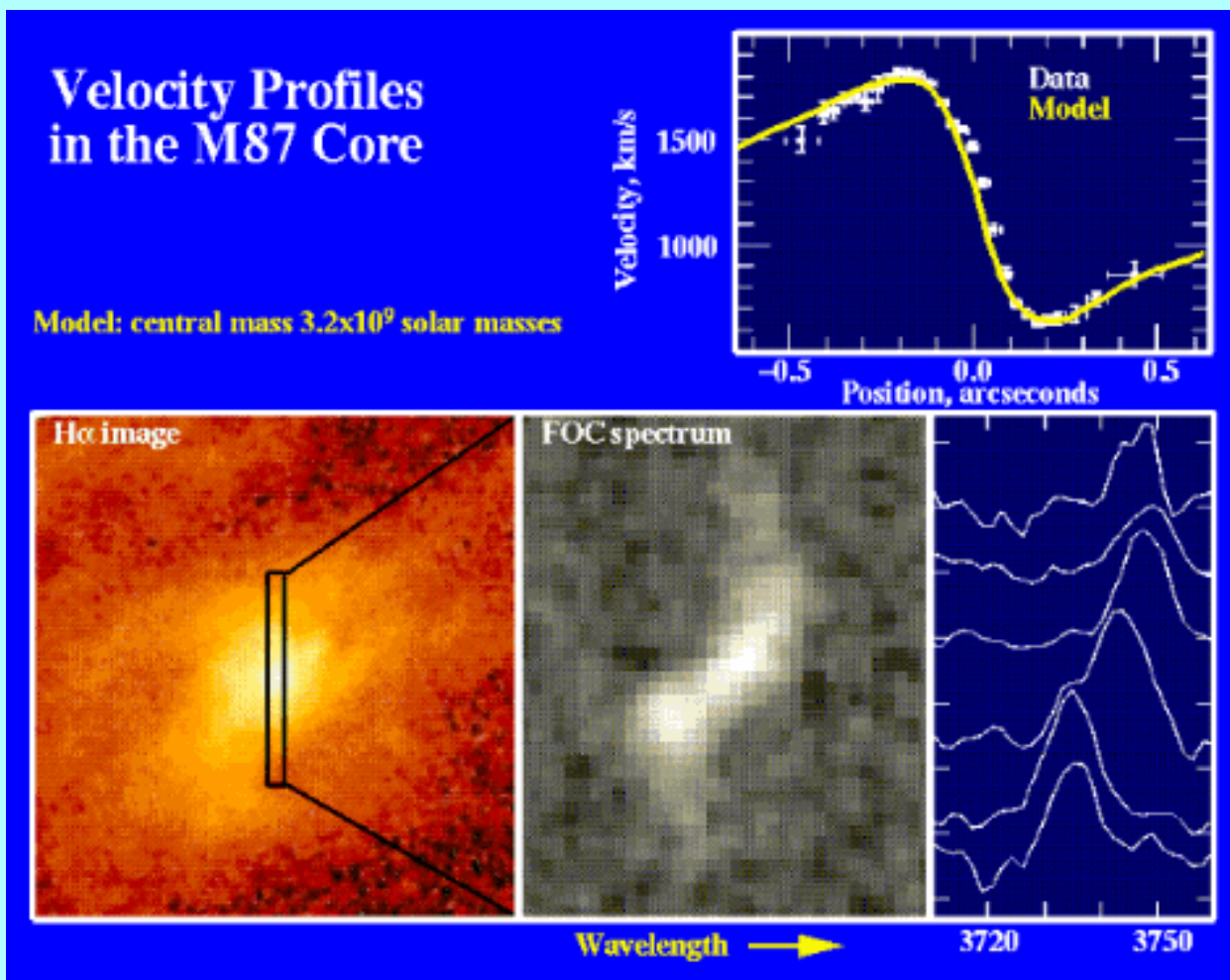


Het stelsel is een sterke radiobron (**Virgo A**) en heeft een **optische (en radio) "jet"**, die uit de kern komt.



Het licht heeft een sterke **piek** bij het centrum, waarschijnlijk omdat een compact object er de sterren naartoe trekt. Ze draaien er met **grote snelheden** omheen.

Metingen van de snelheden van gas en sterren vlak bij het centrum geven aanwijzingen voor de aanwezigheid van een **compact object** (waarschijnlijk zwart gat) van enige malen $10^9 M_{\odot}$.



Nog energierijker zijn de **quasars** (*afkorting van quasi-stellar radio source*). Ze heten zo, omdat ze oorspronkelijk gezien zijn als sterachtige objecten waar veel radiostraling vandaan komt.

Ze hebben een grote **roodverschuiving** en staan dus ver weg.

De **roodverschuiving** is de verplaatsing van de spectraallijnen naar het rood door de **expansie van het heelal**.

Roodverschuiving z is aangeduid als

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

Voor kleine z kun je dit opvatten als een Dopplerverschuiving.

$$z = \frac{V_{\text{rad}}}{c}$$

Maar z kan groter dan 1 worden. Dan geldt de relativistische formule

$$z = \sqrt{\frac{1 + V_{\text{rad}}/c}{1 - V_{\text{rad}}/c}} - 1$$

De eerste quasar was de radiobron 3C273, die geïdentificeerd was met een “ster” van magnitude 13. Maarten Schmidt vond een roodverschuiving van 0.158.

Men vindt nu quasars tot z groter dan 4.

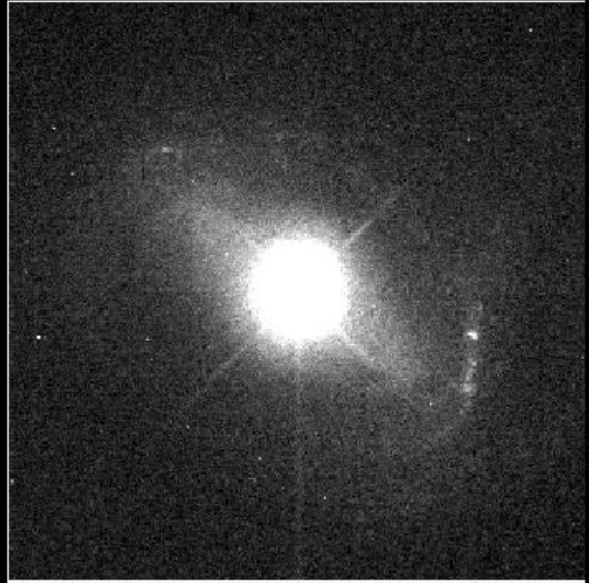
We kunnen nu zien, dat ze geassocieerd zijn met melkwegstelsels.

QSO 1229+204



Ground Based

Canada-France-Hawaii Telescope



Hubble Space Telescope

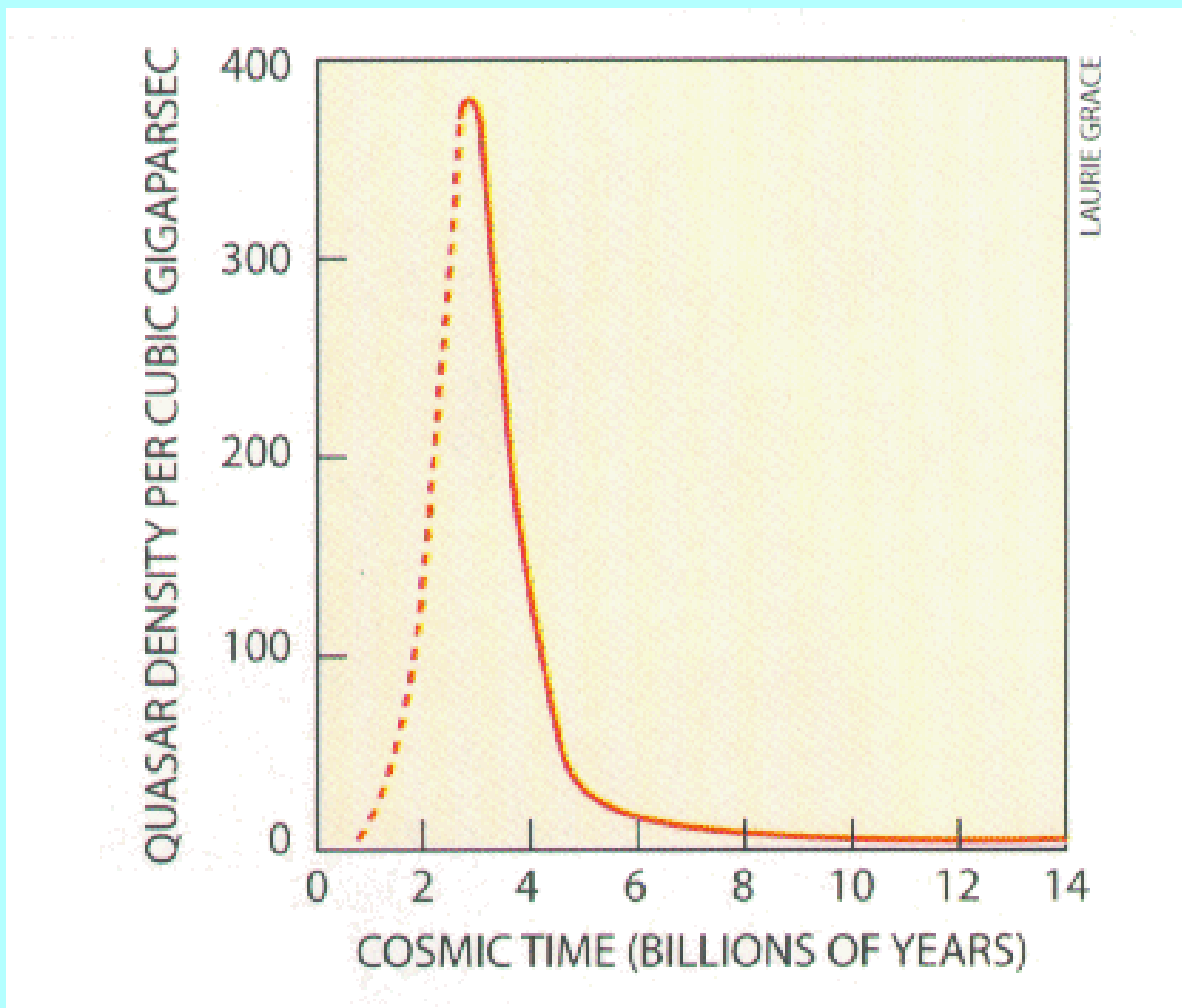
Wide Field Planetary Camera



Voorbij z ongeveer 4 neemt het aantal quasars sterk af.

Hun voorkomen heeft een sterke piek bij het moment, dat het heelal een leeftijd van ongeveer 10% van de huidige had.

Men associeert het met het moment van de geboorte van de melkwegstelsels.



Dit komt overeen met wat we zien aan melkwegstelsels.

Bedenk, dat er vroeg veel sterren ontstaan en op den duur minder (in late types langzamer).

Men kan dan met behulp van b.v. het **Hubble Deep Field** en nabije stelsels een **kosmische geschiedenis van de stervorming** in het heelal construeren.

Ook dit piekt bij een vergelijkbare tijd.

