

Melkwegstelsels

Ruimtelijke verdeling
en afstandsbepaling

Afstands-ladder:

- verschillende technieken nodig voor verschillend afstandsbereik
- naarmate de afstand groter wordt zijn objecten met of grotere afmeting of grotere helderheid nodig als “standard rod” of “standard candle”

Voorbeeld: de helderste Cepheïden hebben $M_V \sim -6$. De zwakste sterren die we met HST kunnen zien hebben een schijnbare magnitude $m_V \sim 26$. We kunnen dus een afstandsmodulus van $m - M \sim 32$ overbruggen, d.w.z. een afstand van 25 Mpc

Recapitulatie afstandsbepaling in de Melkweg:

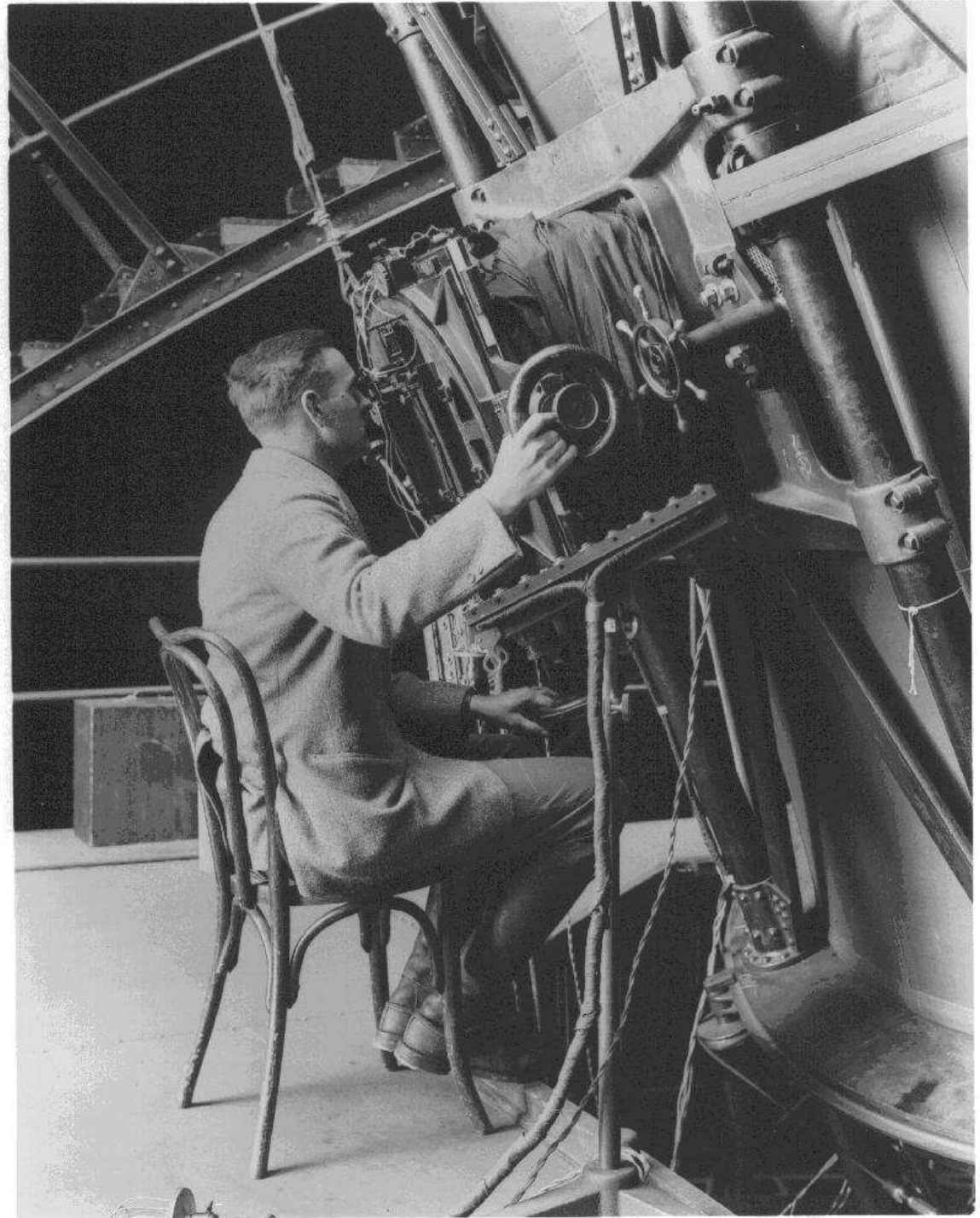
- Cepheiden en RR Lyrae (gebruik van periode – lichtkracht relatie)
- Fotometrische parallax of hoofdreeks fitting
- Stroomparallax (bewegingen van sterren in open clusters)
- Radiale snelheden binnen de zonscirkel (HI wolken)

Alleen methode 1 (variabele sterren) kan makkelijk gebruikt worden voor andere melkwegstelsels.

Andere methodes gebruiken ook de helderste sterren en supernovae, die minder vaak zichtbaar zijn, maar wel veel helderder en dus op grotere afstand kunnen worden gezien.

Edwin Hubble

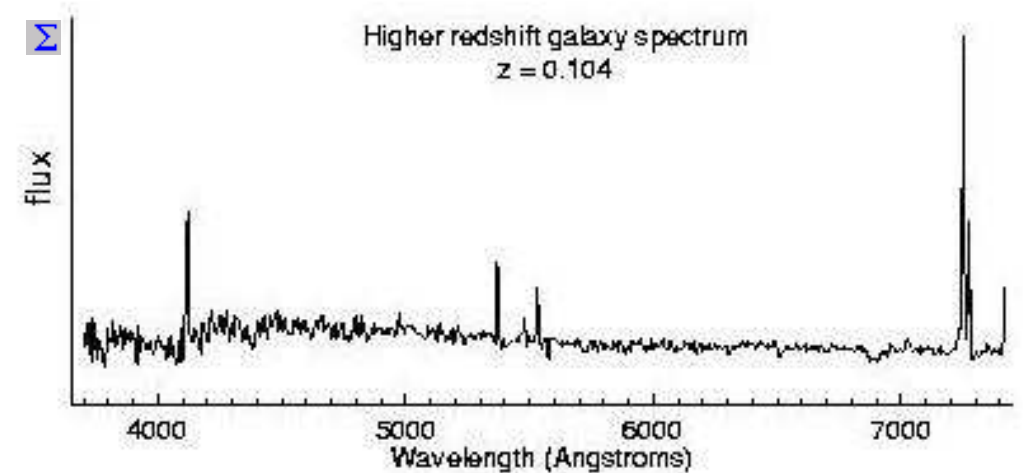
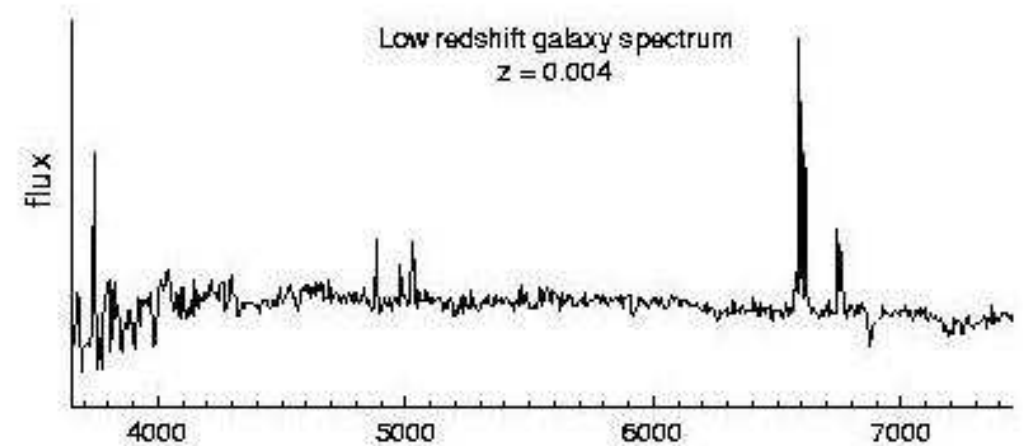
aan het waarnemen op de
telescoop van Mount Wilson



Spectra van melkwegstelsels

Geven informatie over:

- de stellaire populatie (spectraal type en stellaire absorptielijnen)
- de stervormingsactiviteit (emissie lijnen van HII gebieden)
- de roodverschuiving (alle spectraallijnen)



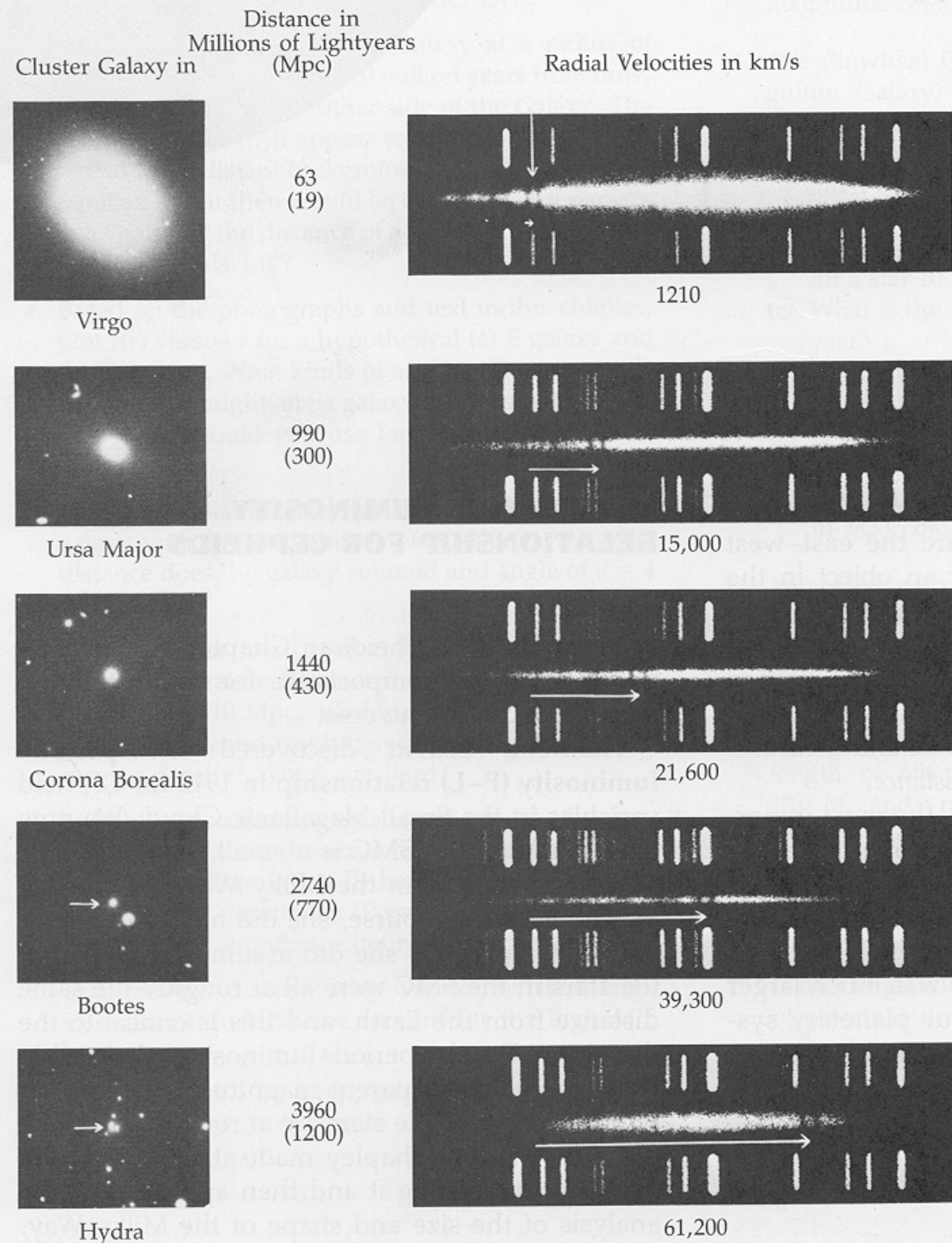
redshift $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \rightarrow V_{rad} = c \cdot z$

Hubble bepaalde de *redshift* van de helderste stelsels in clusters van melkwegstelsels.

Aannemende dat deze steeds even groot zijn geeft dit een verband tussen redshift en grootte en dus tussen *redshift* z en *afstand* d .

Dit verband is lineair en is een weerspiegeling van de expansie van het heelal.

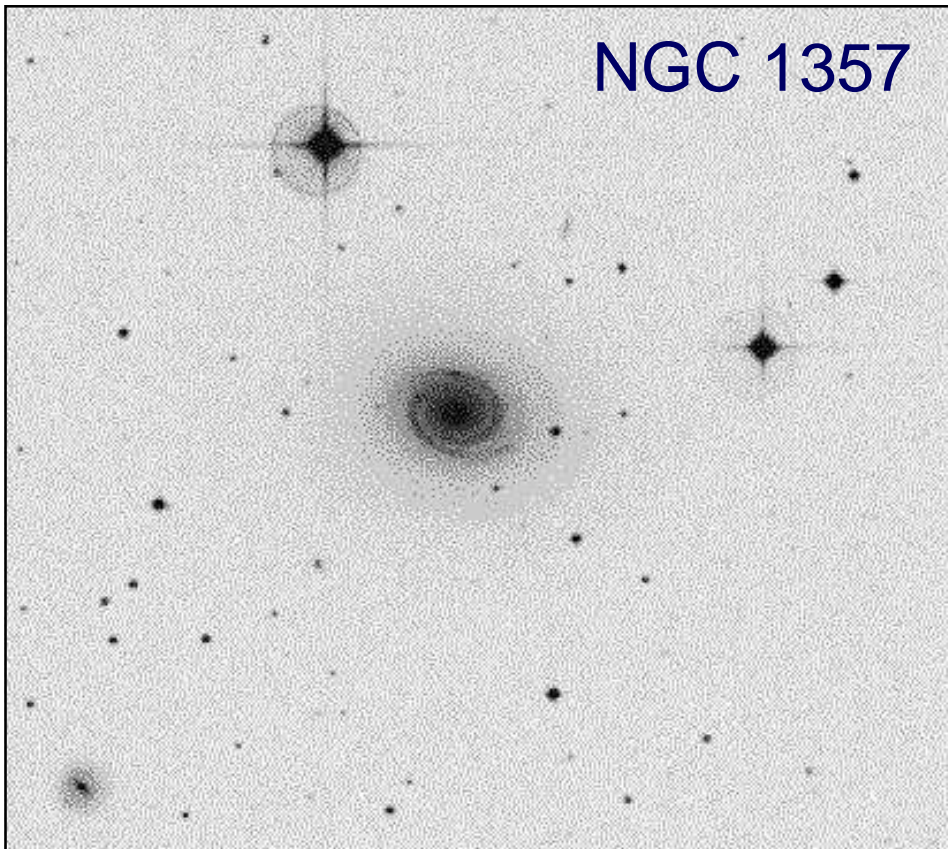
$z \rightarrow$ afstand



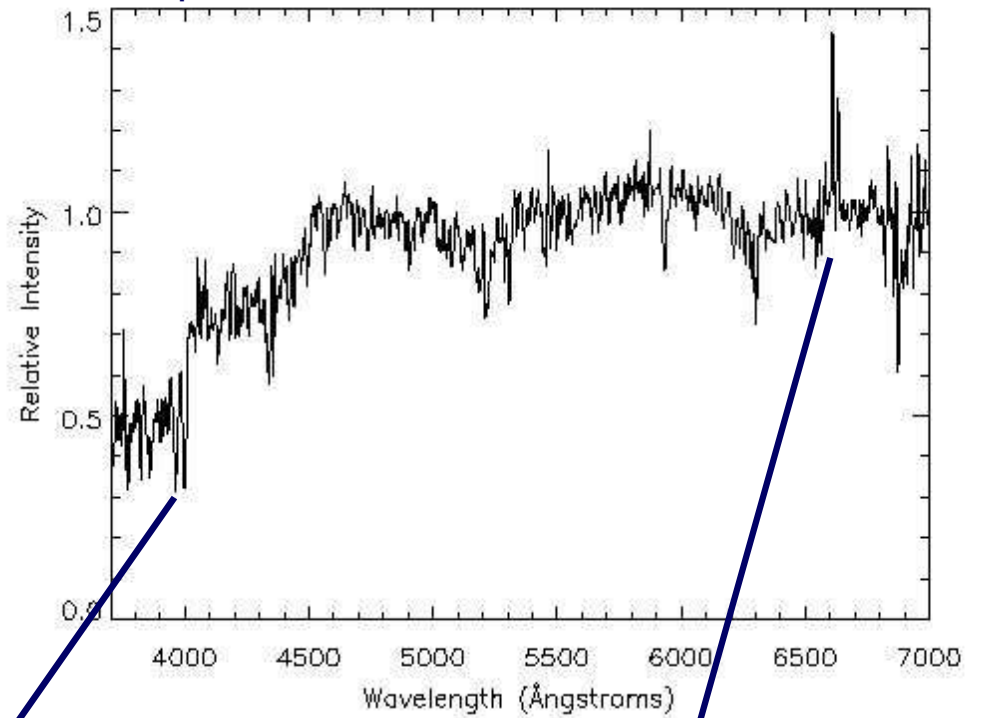
De publicatie van E. Hubble

FIGURE 22-1 Redshifts and distances for galaxies. White arrows in the spectra on the right represent the redshift for calcium H and K lines. Distances are based on a Hubble constant of $50 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$. (Palomar Observatory, California Institute of Technology)

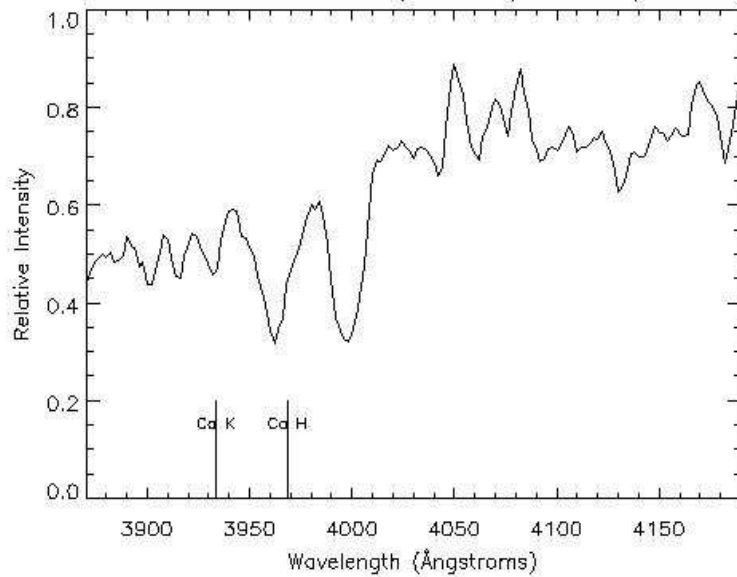
NGC 1357



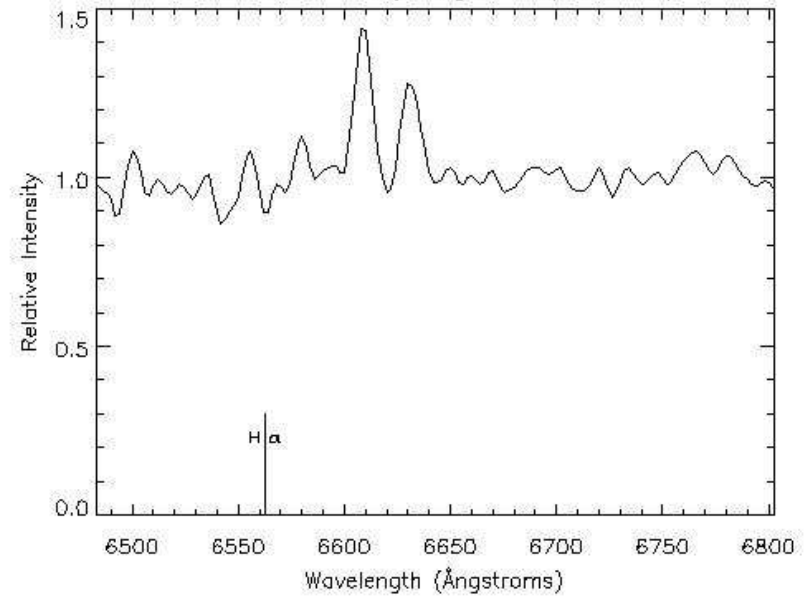
spectrum van NGC 1357

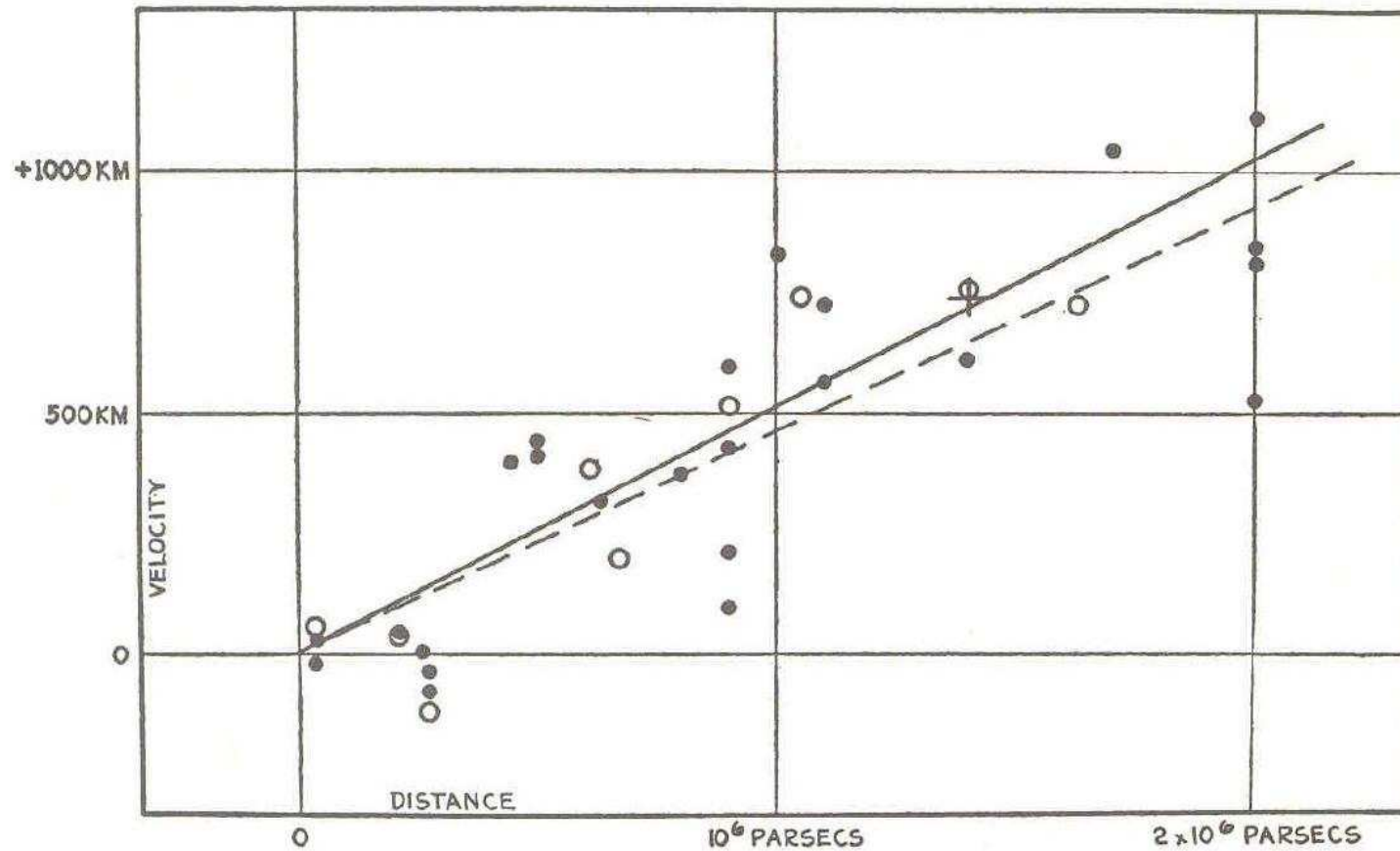


NGC 1357 – Calcium K (3933.7Å) and H (3968.5Å)



NGC 1357 – Hydrogen α (6562.8Å)





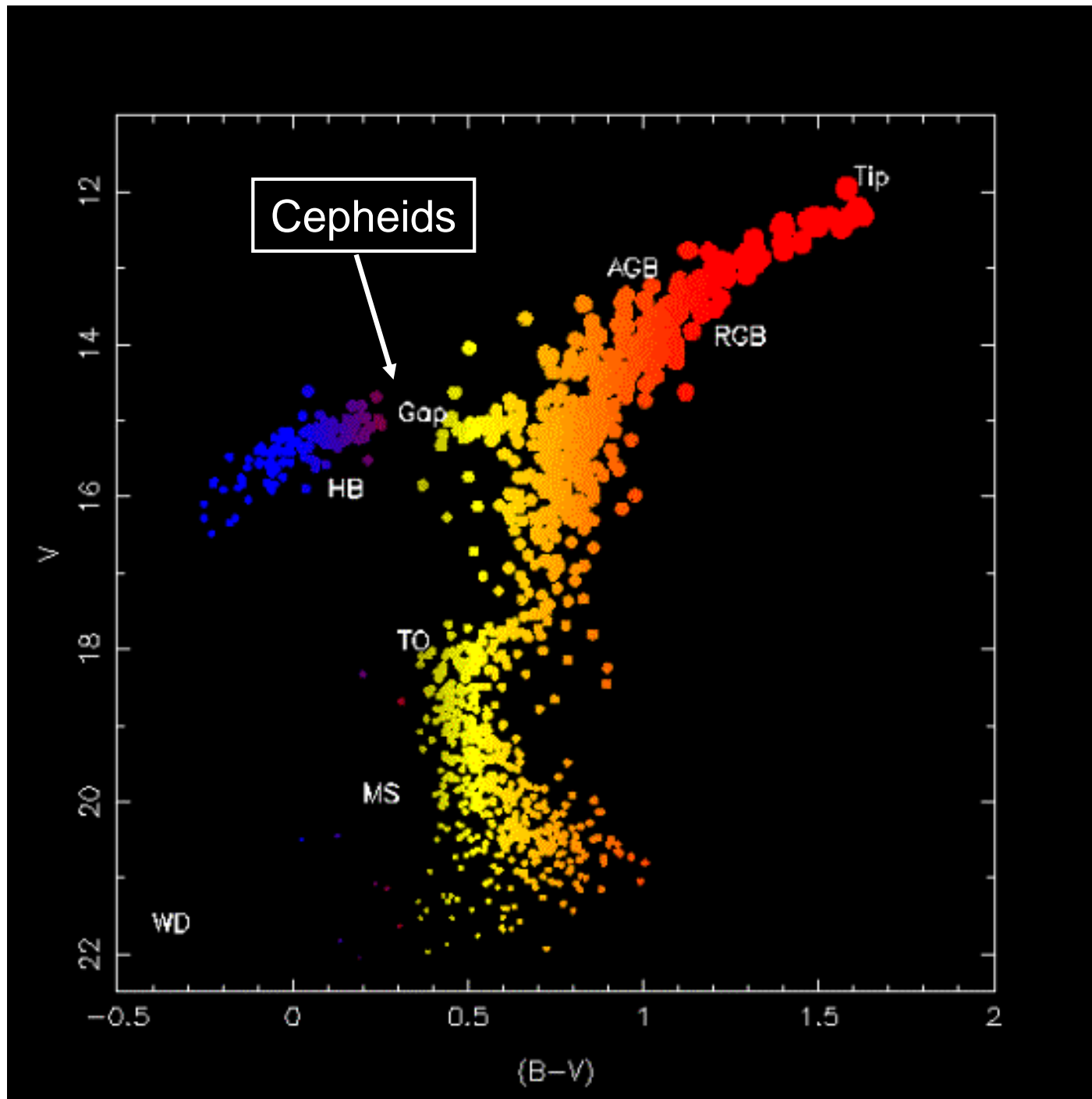
De oorspronkelijke Hubble wet: radiële snelheid versus afstand:
lineaire expansie van de ruimte

De Hubble wet heeft twee consequenties:

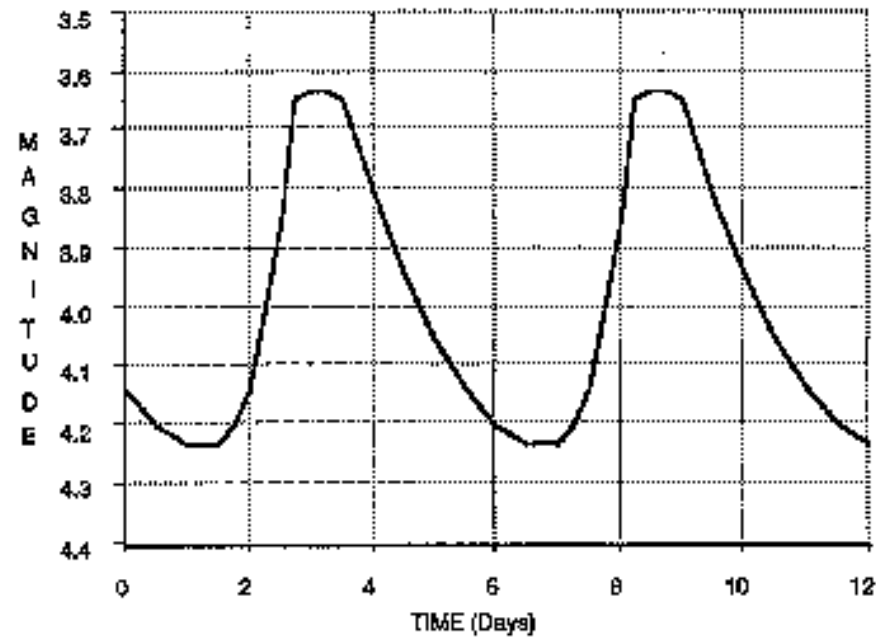
- het heelal expandeert
- afstanden kunnen worden bepaald uit de roodverschuiving

De Hubble constante H_0 (de helling van de lijn in de grafiek) moet bepaald worden aan de hand van de redshifts van melkwegstelsels waarvan op een *onafhankelijke* manier de afstand is bepaald:

- Cepheïden
- Tully-Fisher methode
- Supernovae



δ - CEPHEI LIGHT CURVES



De pulsatie en variabiliteit ontstaan doordat in de buitenlagen van zulke sterren de He^+ nogmaals wordt geïoniseerd tot He^{++} waardoor de opaciteit van de buitenlaag toeneemt.

Gevolg: de stralingsdruk neemt toe en de ster zet uit.

Door de uitzetting kan het grotere oppervlak meer straling kwijt en koelt de ster af totdat de He^{++} recombineert tot He^+ . De opaciteit neemt dan af en de ster krimpt terwijl de temperatuur weer toeneemt.

Dit proces begint dan weer van voor af aan: \rightarrow *regelmatige variatie*

Instability strip:

Positie in het HR diagram waar pulserende (instabiele) rode reuzen zich bevinden

Pulseren is een gevolg van niet in hydrostatisch evenwicht zijn

Beschouw een radiële Kepler baan (van de rand van de ster naar het centrum)

voor de periode geldt dan (3e wet van Kepler): $\frac{P^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$

$$\rightarrow P^2 \propto \frac{R^3}{M} \propto \frac{R^3}{\rho R^3} \propto \frac{1}{\rho}$$

$$\rightarrow P\rho^{1/2} = \text{constant}$$

met $\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$ en $L = 4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4$

volgt $\rho \propto T_{eff}^6 L^{-3/2} M$

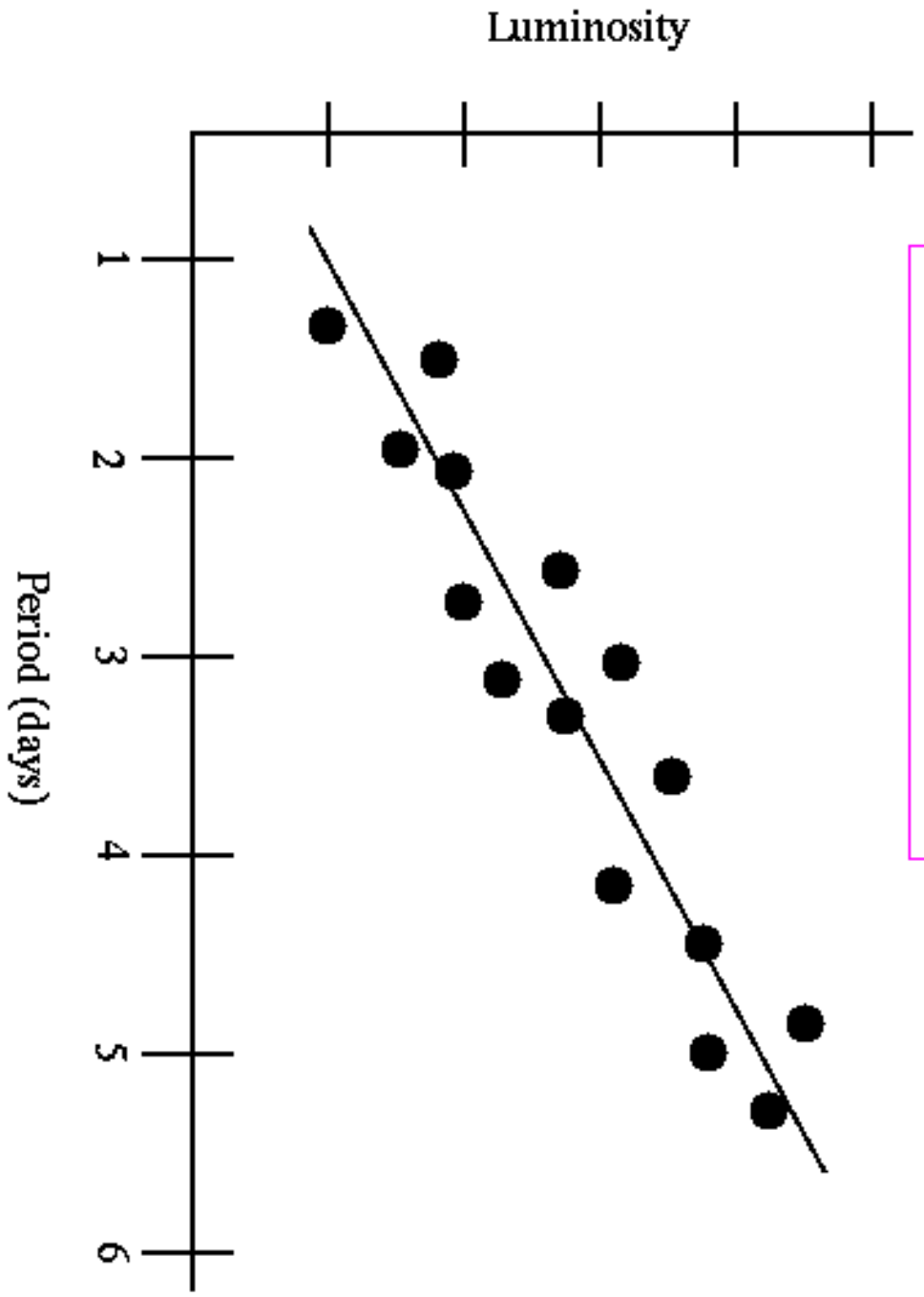
omdat: $M_{bol} = -2.5 \log(L) + \text{constante}$ en $L \propto M^3$ volgt:

$$\log(P) + 0.23 M_{bol} + 3.0 \log(T_{eff}) = \text{constant}$$

Dit is de periode – lichtkracht (– kleur) relatie voor pulserende sterren

De kleur afhankelijkheid is gering omdat de *instability strip* een kleine range in T_{eff} bestrijkt in het HR diagram

Period – Luminosity Relationship



Omdat er een *periode – lichtkracht* relatie bestaat kunnen Cepheiden gebruikt worden om afstanden te bepalen.

Deze methode is gebruikt met de Hubble Space Telescope om de afstanden naar nabije melkwegstelsels te bepalen.

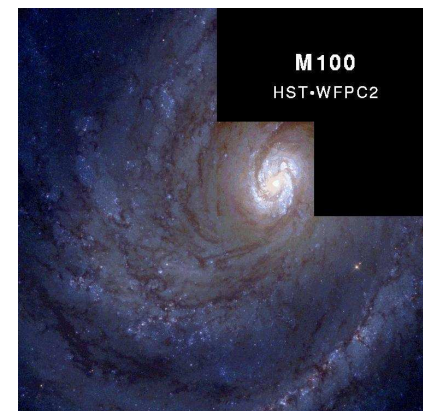
De absolute magnitude van een Cepheide is in de range $M \sim -4$ tot -6 .

HST meet tot schijnbare magnitude $m \sim 26$

Dat geeft afstandsmoduli tot $m - M = 5 \log d - 5 = 30 \rightarrow 32$

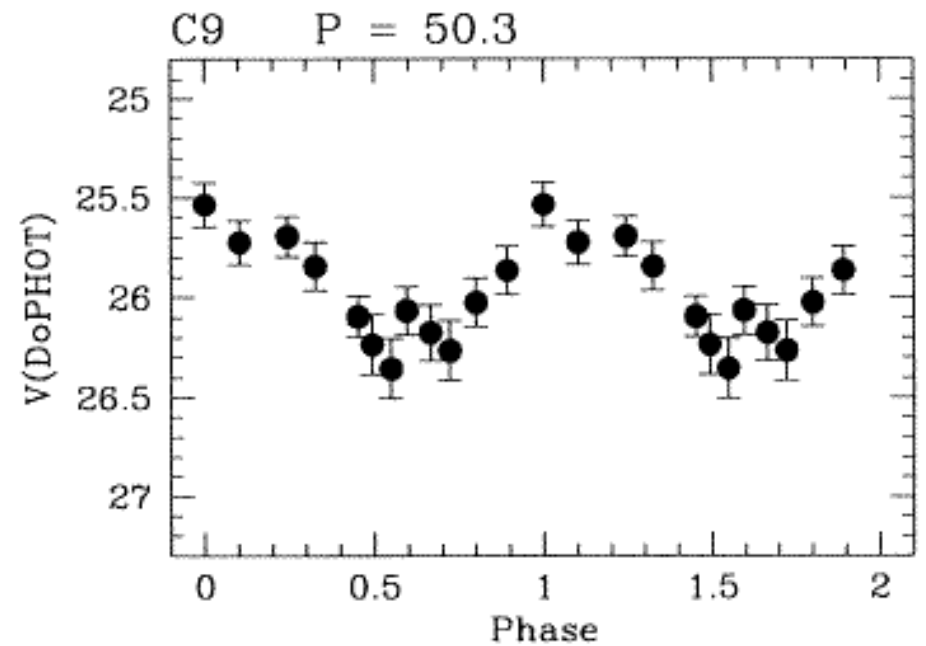
ofwel: afstanden tot $10 \rightarrow 25$ Mpc

Voorbeeld is het melkwegstelsel Messier 100



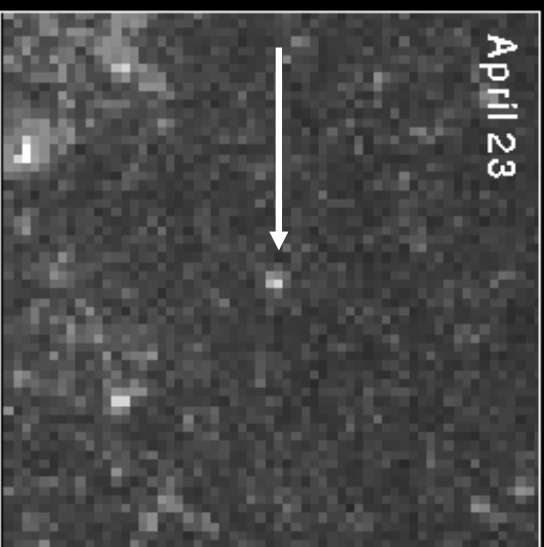
M100
HST-WFPC2

Cepheide in Messier 100

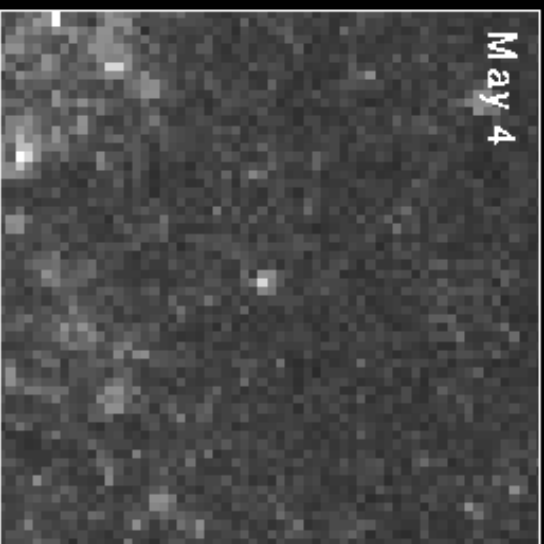


Cepheid Variable Star in Galaxy M100 HST-WFPC2

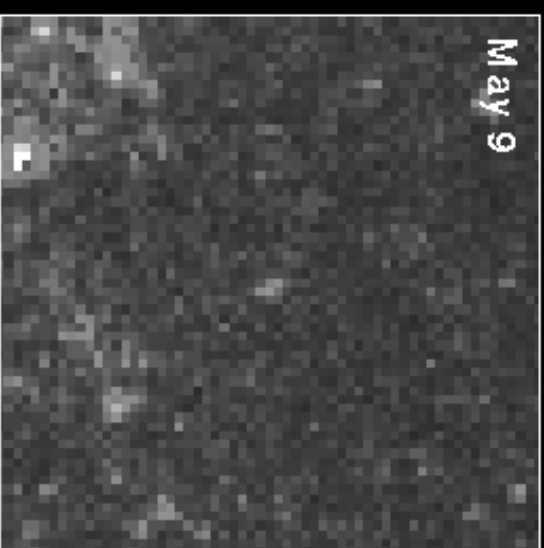
April 23



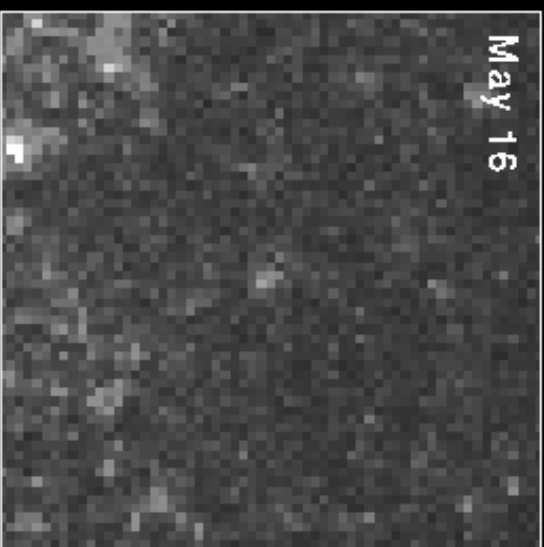
May 4



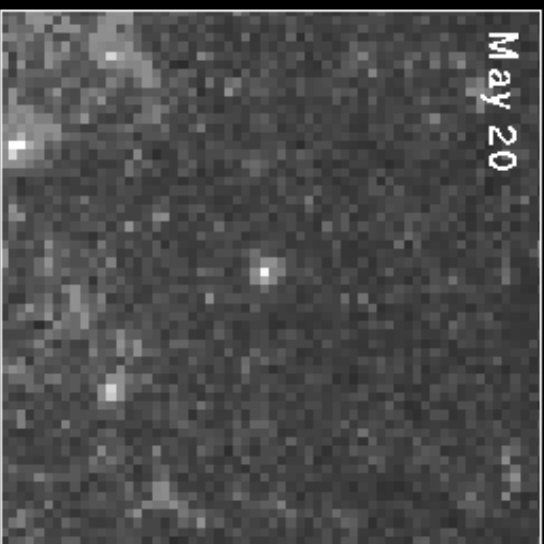
May 9



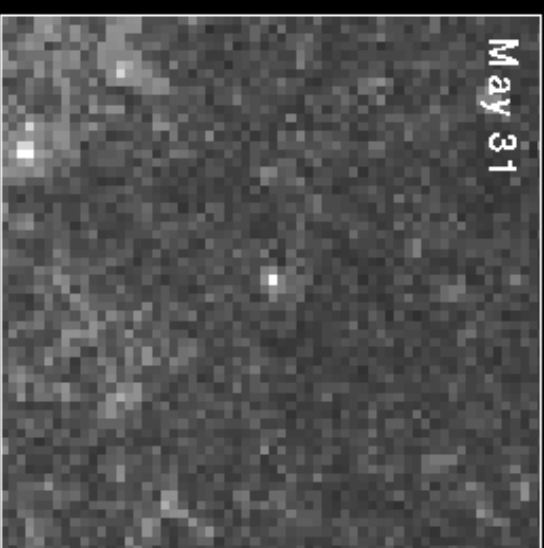
May 16



May 20

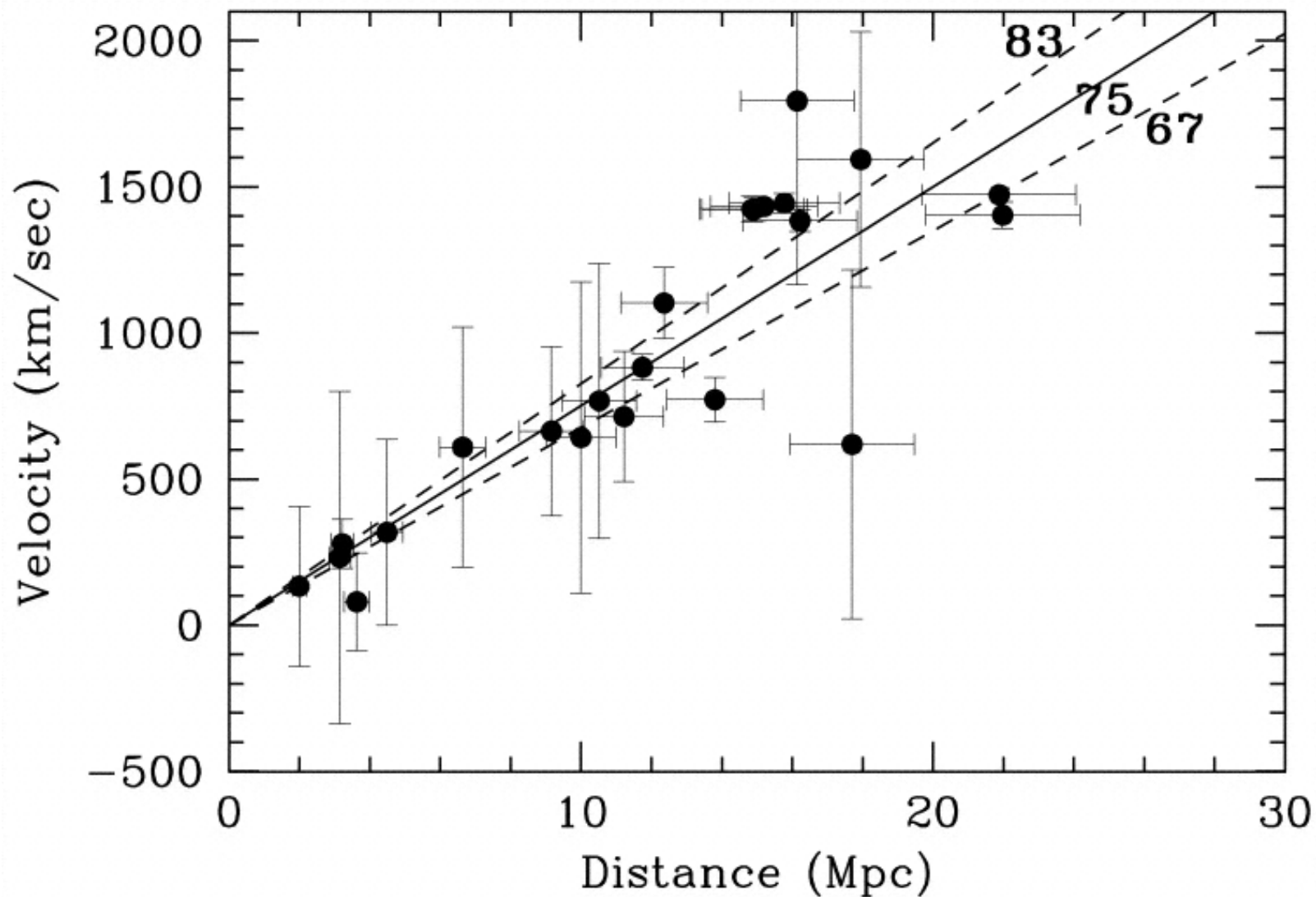


May 31

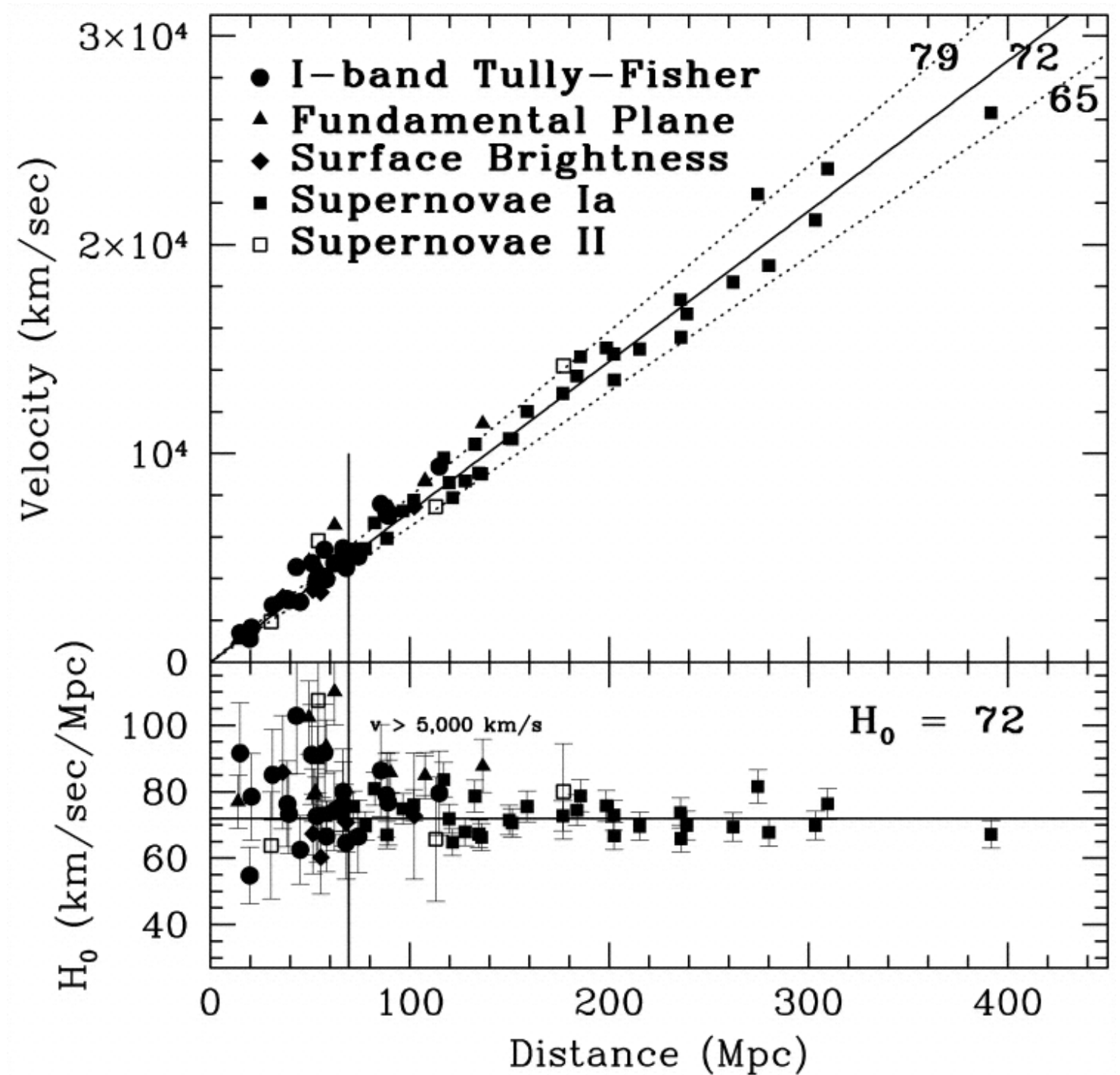


Afstandsplot voor melkwegstelsels met afstanden bepaald m.b.v Cepheïden

Uit het HST Key project voor de bepaling van de Hubble constante (Ap.J. 553,)

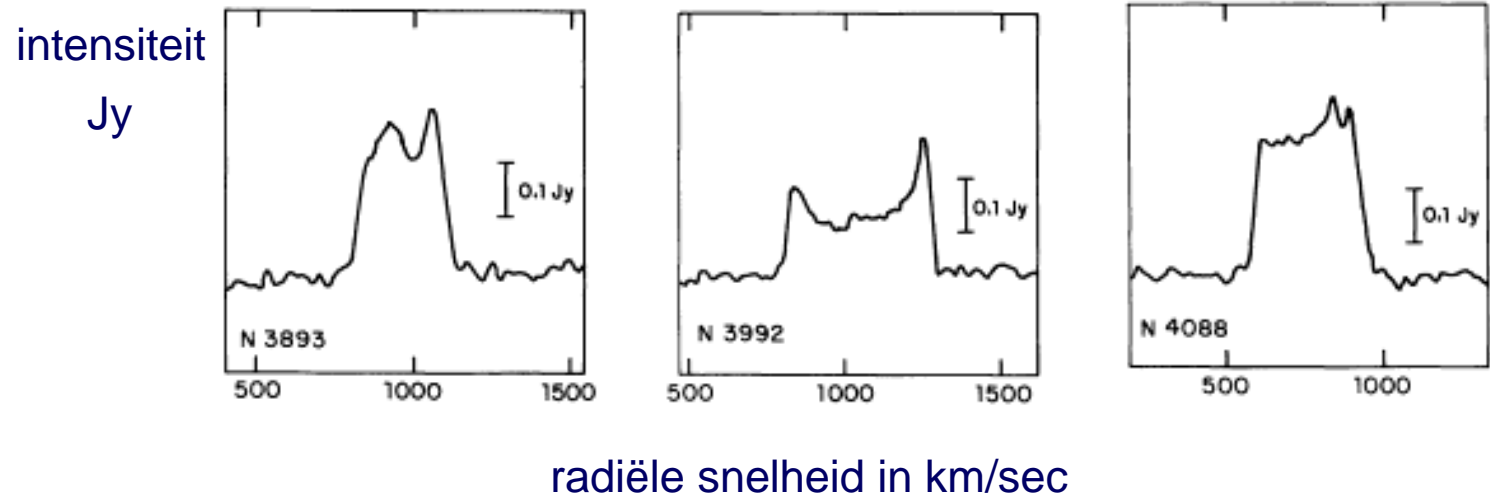


Hubble plot met diverse afstands indicatoren



Tully – Fisher relatie: verband tussen snelheidsbreedte HI profiel en helderheid van spiraalstelsels (1977)

HI profielen



Integraal over het profiel is een maat voor de totale hoeveelheid waterstof:

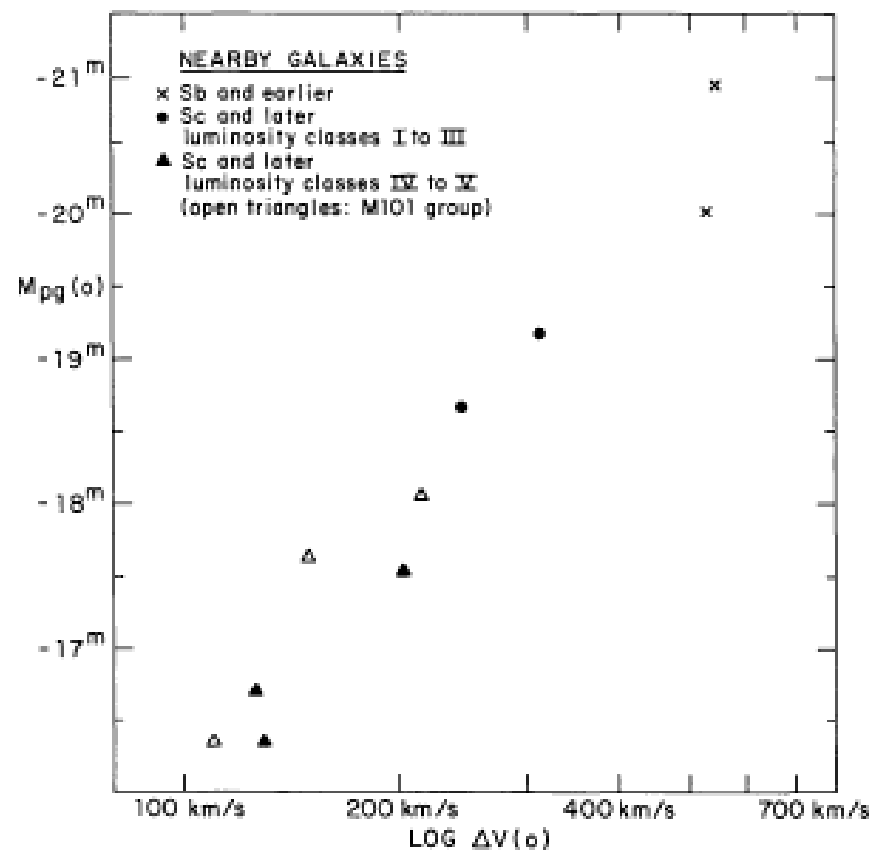
$$M_{HI}(M_{sun}) = 2.36 \times 10^5 D^2 (Mpc) \int S(Jy) dV (km/sec)$$

Snelheidsbreedte is een maat voor de maximum rotatiesnelheid van de Waterstof in de schijf, mits gecorrigeerd voor inclinatie: $\Delta V = \Delta V_{obs} / \sin i$

De snelheidsbreedte is een maat voor de massa van melkwegstelsels

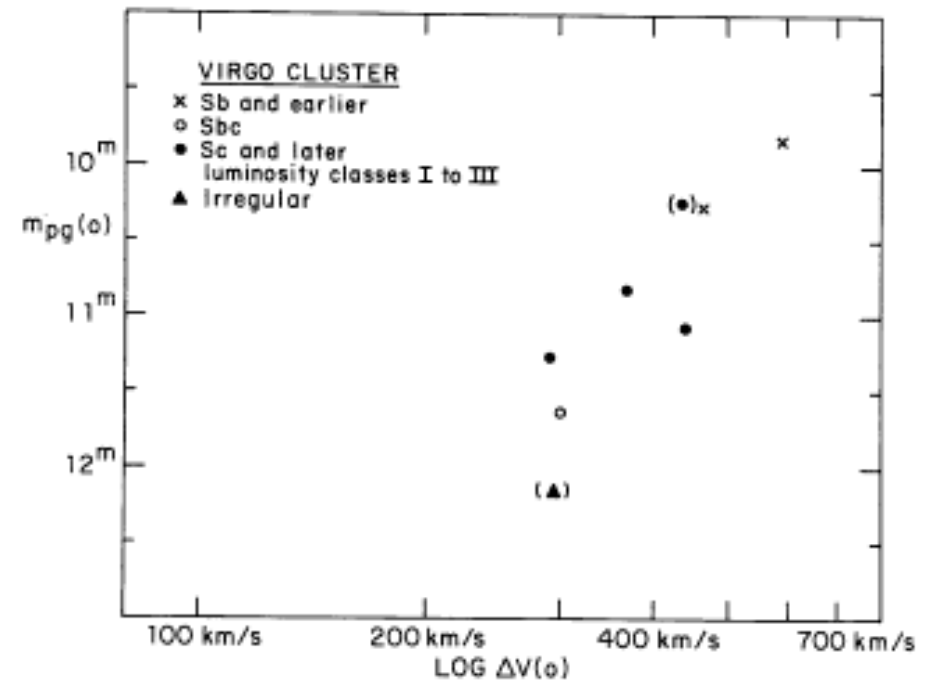
Tully – Fisher relatie: verband tussen snelheidsbreedte HI profiel en helderheid van spiraalstelsels (1977)

Locale calibratoren



absolute magnitude vs linewidth

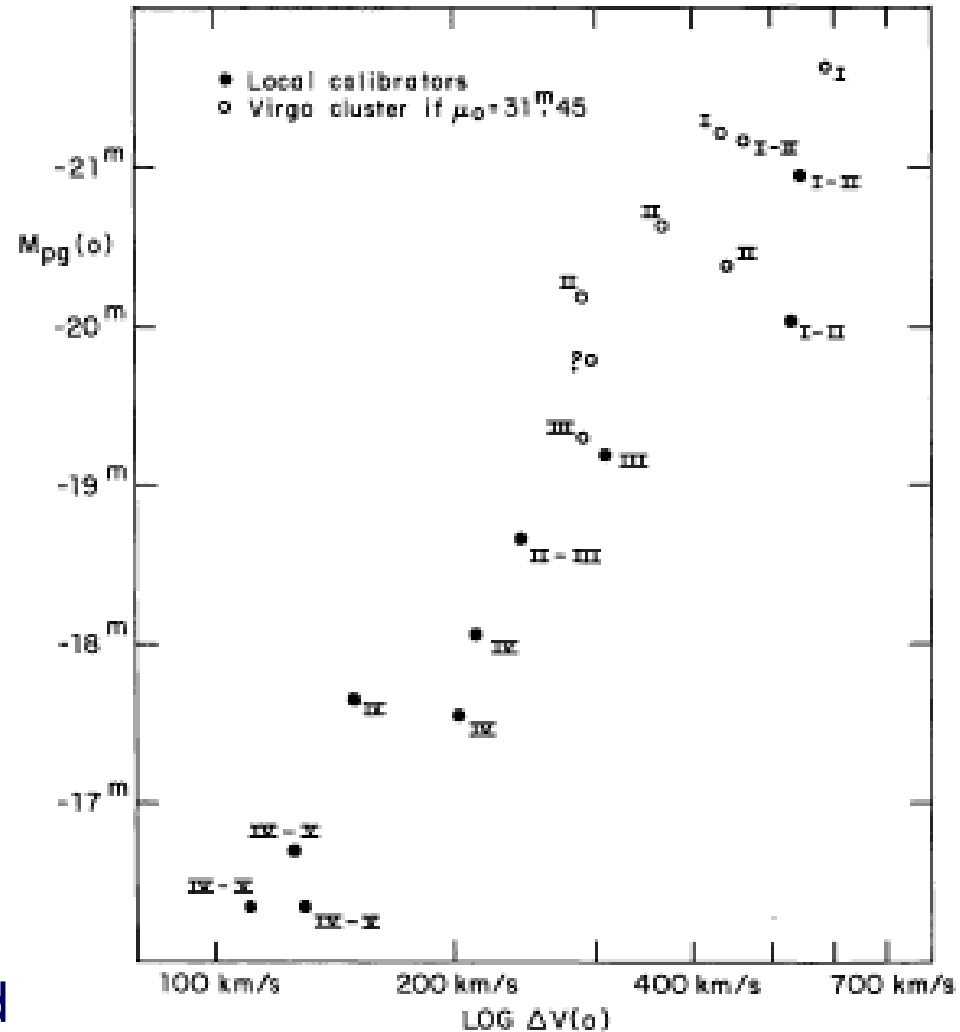
Melkwegstelsels in Virgo



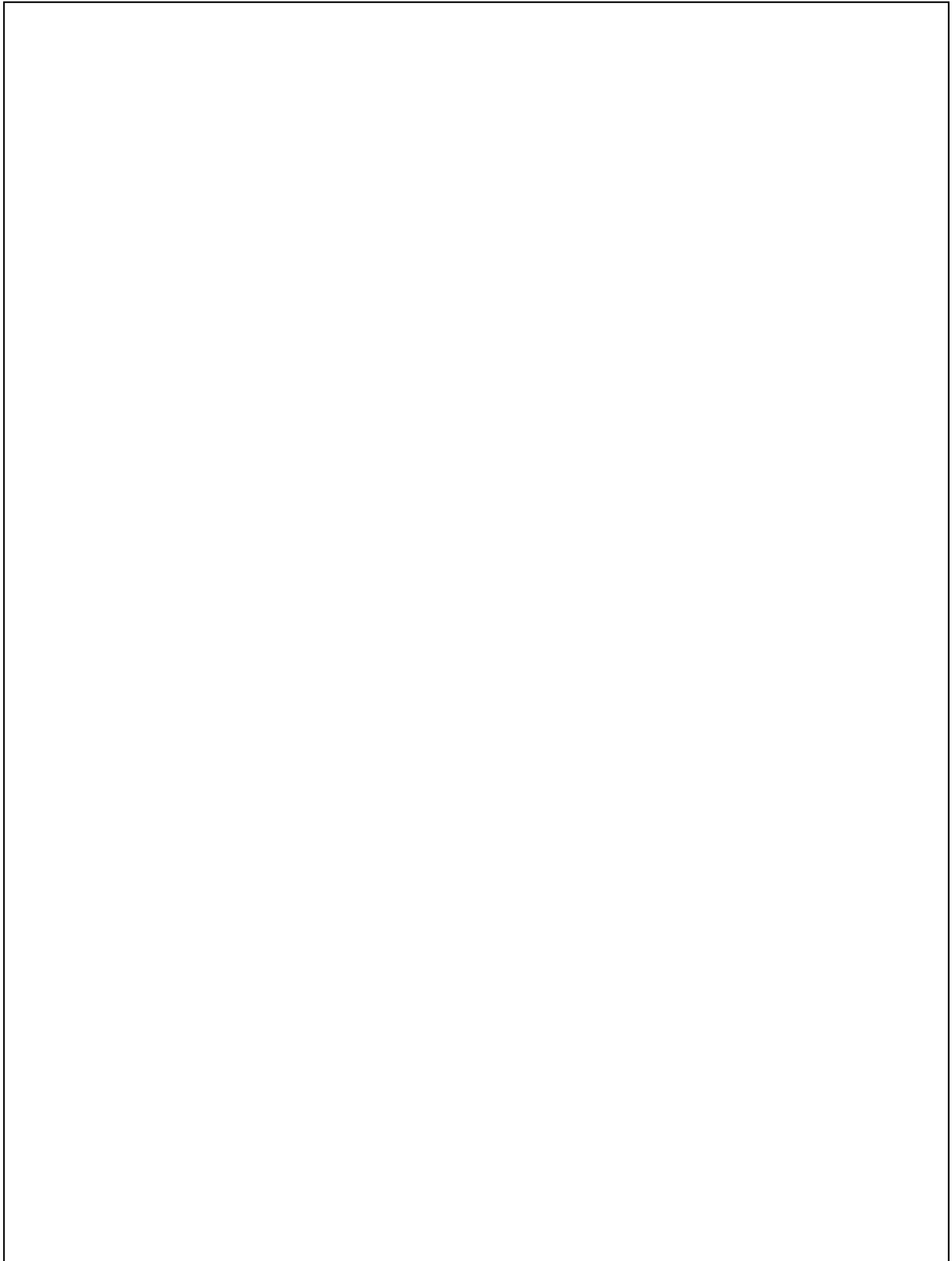
schijnbare magnitude vs linewidth

Tully – Fisher relatie: verband tussen snelheidsbreedte HI profiel en helderheid van spiraalstelsels (1977)

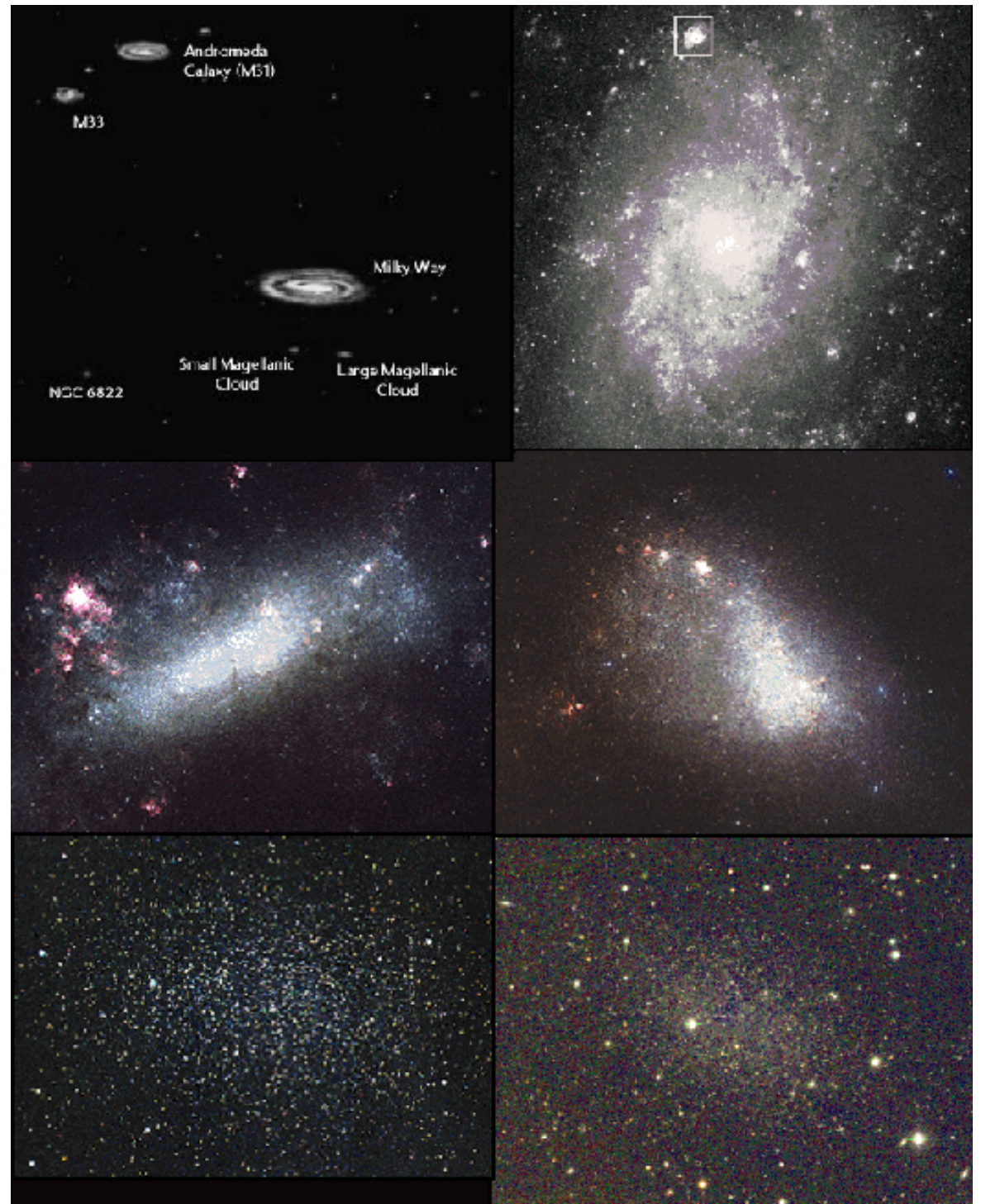
Locale calibratoren en Virgo melkwegstelsels in 1 figuur gebracht door Virgo op een afstandsmodulus van $m - M = 31.45$ te zetten



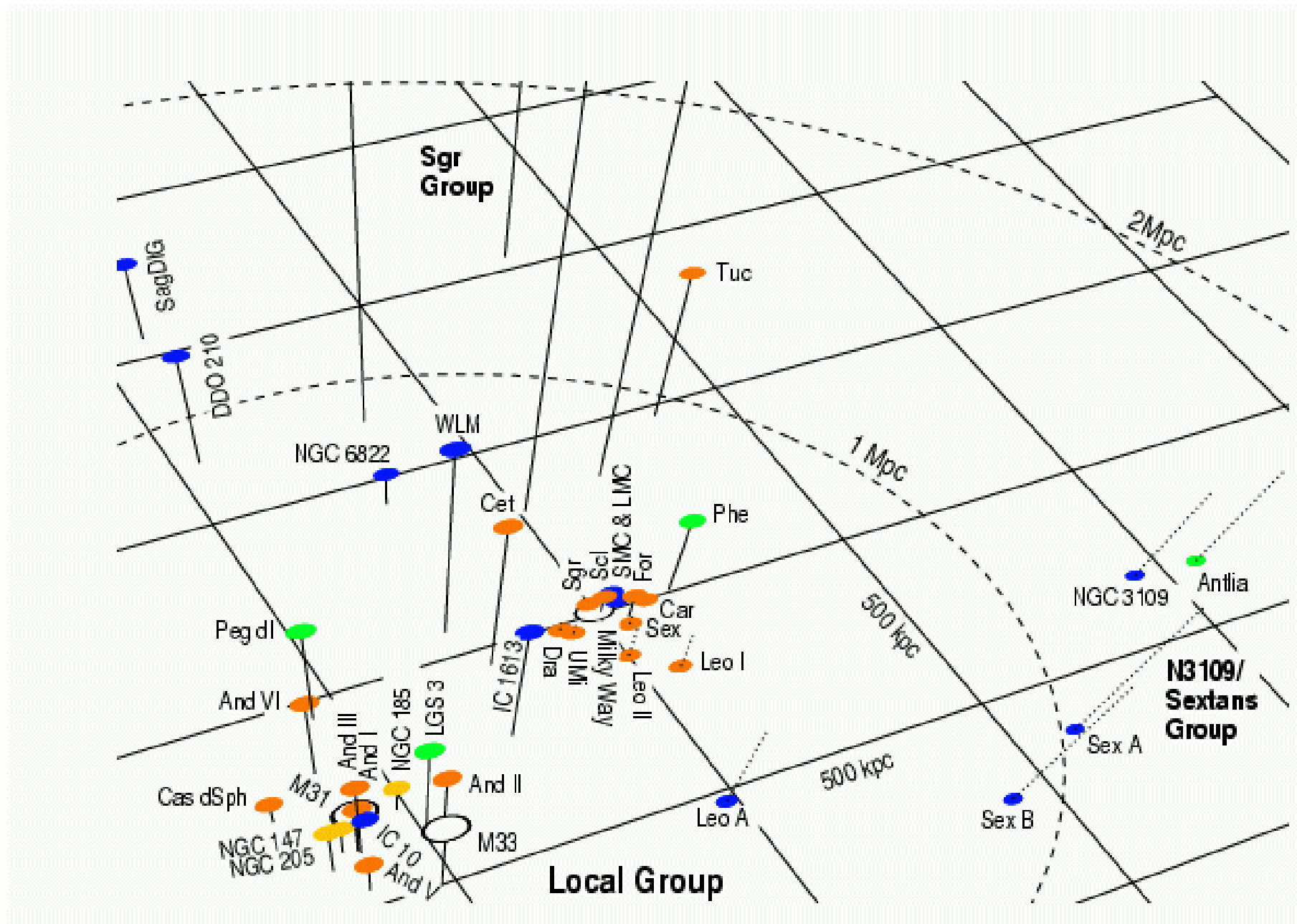
→ metingen van ΔV en schijnbare magnitude geven een mogelijkheid afstanden te bepalen via de lokale calibrator stelsels

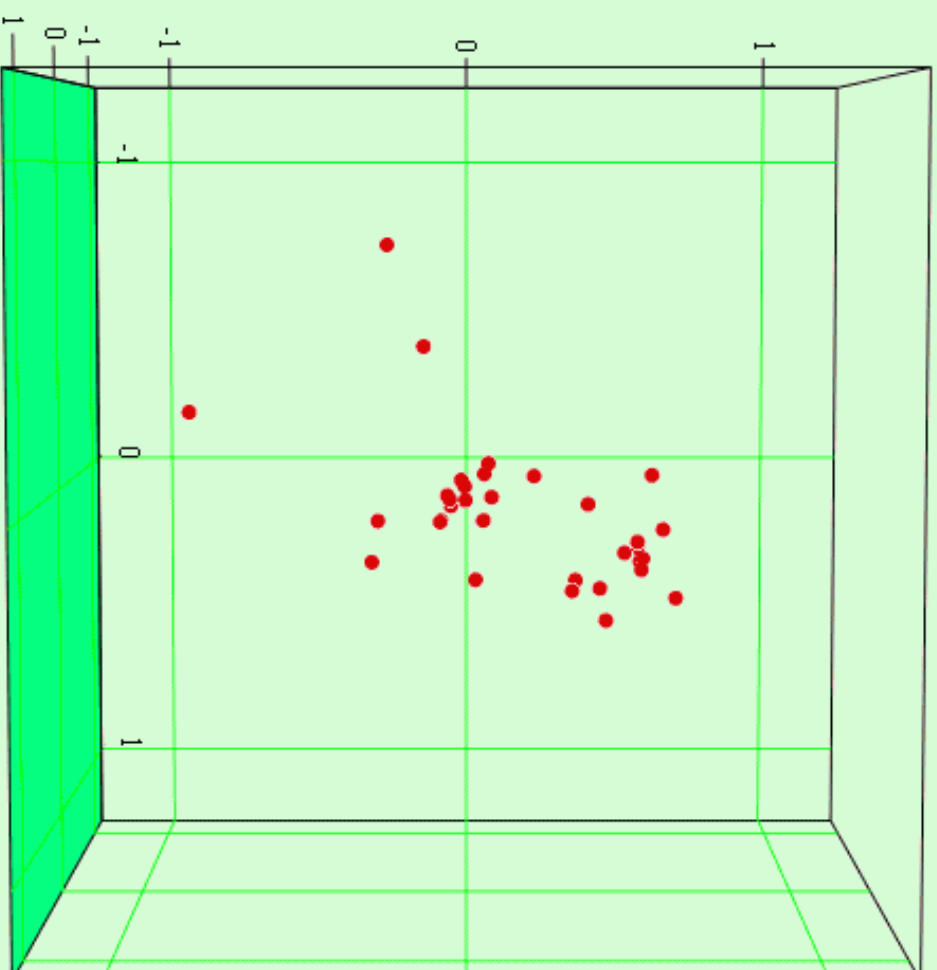


Melkwegstelsels in de Locale Groep



3D overzicht van de melkwegstelsels in de Locale Groep





Local Galaxy Group Positions (X-Y = Earth equatorial plane, Z=polar axis)

Scale units = Megaparsecs Location 0,0 = Earth

(X2, Y2, Z2)