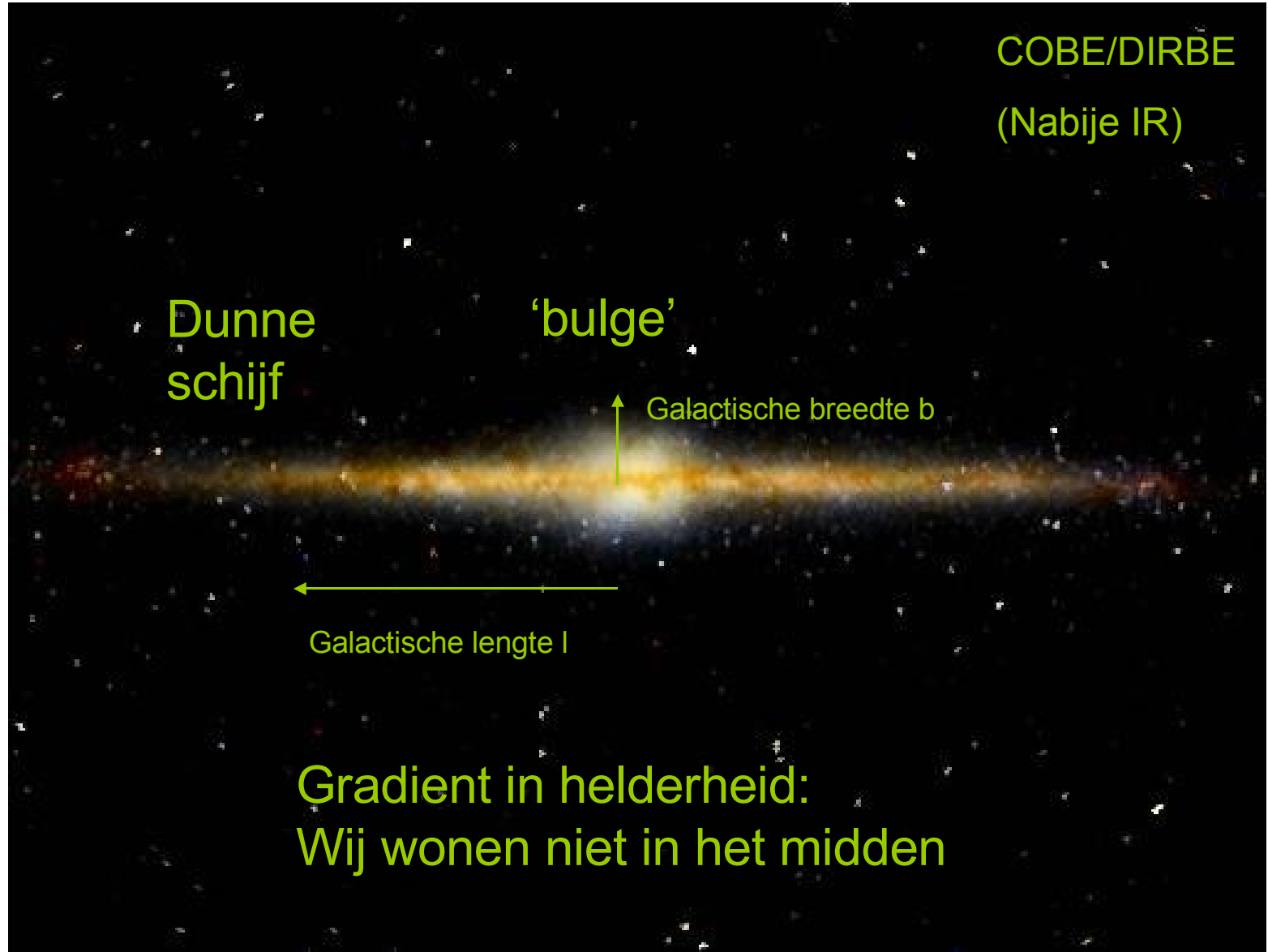


De Melkweg

- Schijfvormig stelsel van sterren en gas
- Wij zitten in die schijf en *zien* daardoor een band aan de hemel
- De hemelbol geeft een 2-D beeld: hoe de 3-D structuur te bepalen?
- Nodig: (relatieve) **AFSTANDEN!**

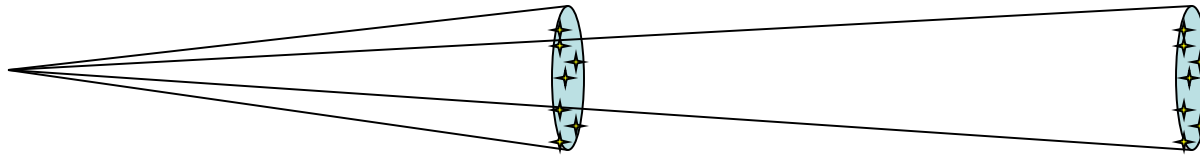
De melkweg zonder stofabsorptie



Oppervlaktehelderheid

- Flux per eenheid bolhoek $W/m^2 / sr$ of: $magnitude^{-2}$

- Oppervlaktehelderheid is onafhankelijk van afstand:



- Gemeten flux van gebiedje is $F \propto D^{-2}$
 - Oppervlak ruimtehoek $\propto D^{-2}$
 - Bron wordt wel kleiner met D , maar niet donkerder per $''^2$
- } Verhouding const.

- Oppervlakteverdeling van helderheid is

$$\int \epsilon(x, y, z) dz \quad (\text{integraal langs gezichtslijn } z)$$

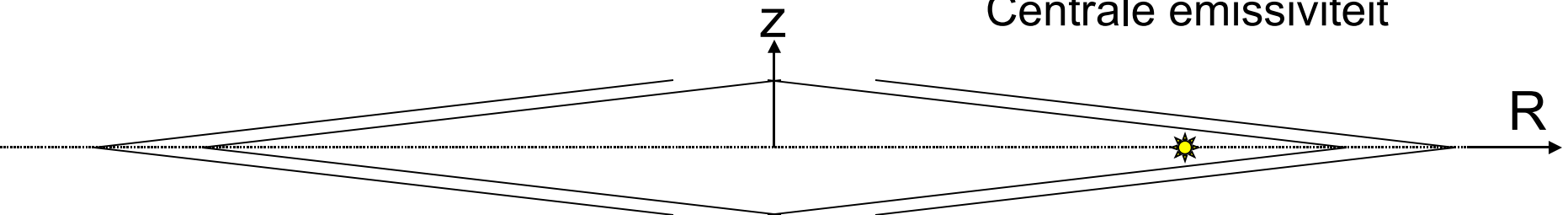
Emissiviteit: W/m^3

Model voor sterverdeling in Melkweg

- Meet de oppervlaktehelderheid als functie van de galactische coördinaten l en b
- Inverteer naar model $\epsilon(R,z)$ in cilindercoördinaten R,z
- Redelijke beschrijving: schijf is \sim exponentieel in R en z , met de Zon op $R = R_0$, $z=0$
 - Radiale schaallengte $H \sim 0.3 R_0$
 - Lokale dikte $h \sim H/8$
- Extra centrale component 'hulze'

$$\epsilon_{\text{schijf}} = \epsilon_0 e^{-R/H} e^{-|z|/h}$$

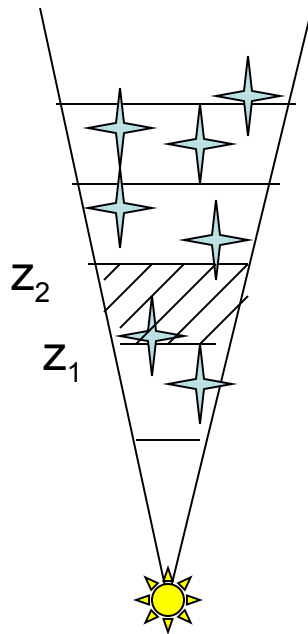
Centrale emissiviteit



R_0 : Afstand tot het centrum

- Afstand tot de sterren in de bulge $\sim 8\text{kpc}$
 - Fotometrische parallax, Cepheiden, RR Lyrae sterren, OH=IR sterren, centrum bolhopenverdeling ...

- Lokale schaalhoogte door stertellingen



Kies ster met welbepaalde helderheid

(bv hoofdreeksster met $B-V=0.6$)

Tel aantal in een stuk hemel (Ω str) richting galactische pool ($b \sim 90$) als functie van magnitude

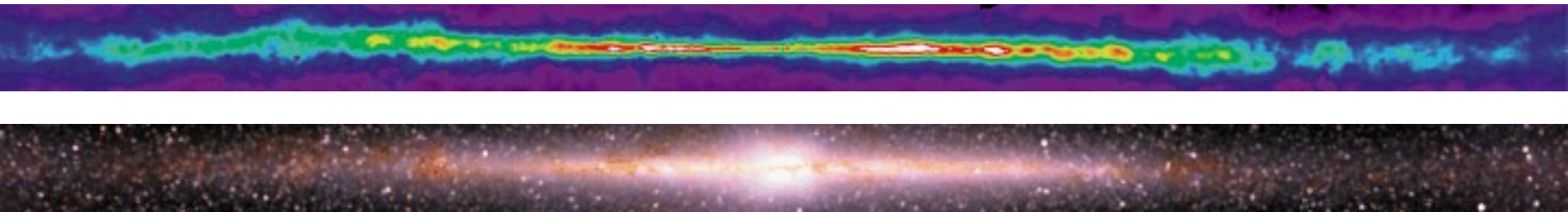
Bepaal afstanden (afstandsmodulus)

Bepaal sterdichtheid / pc^3 in cellen (aantal sterren / $\Omega (z_2^3 - z_1^3)$)

Bepaal schaalhoogte

De gasschijf

- 21cm HI waarnemingen van de hemel tonen een schijf waterstofatomen in het vlak van de Melkweg



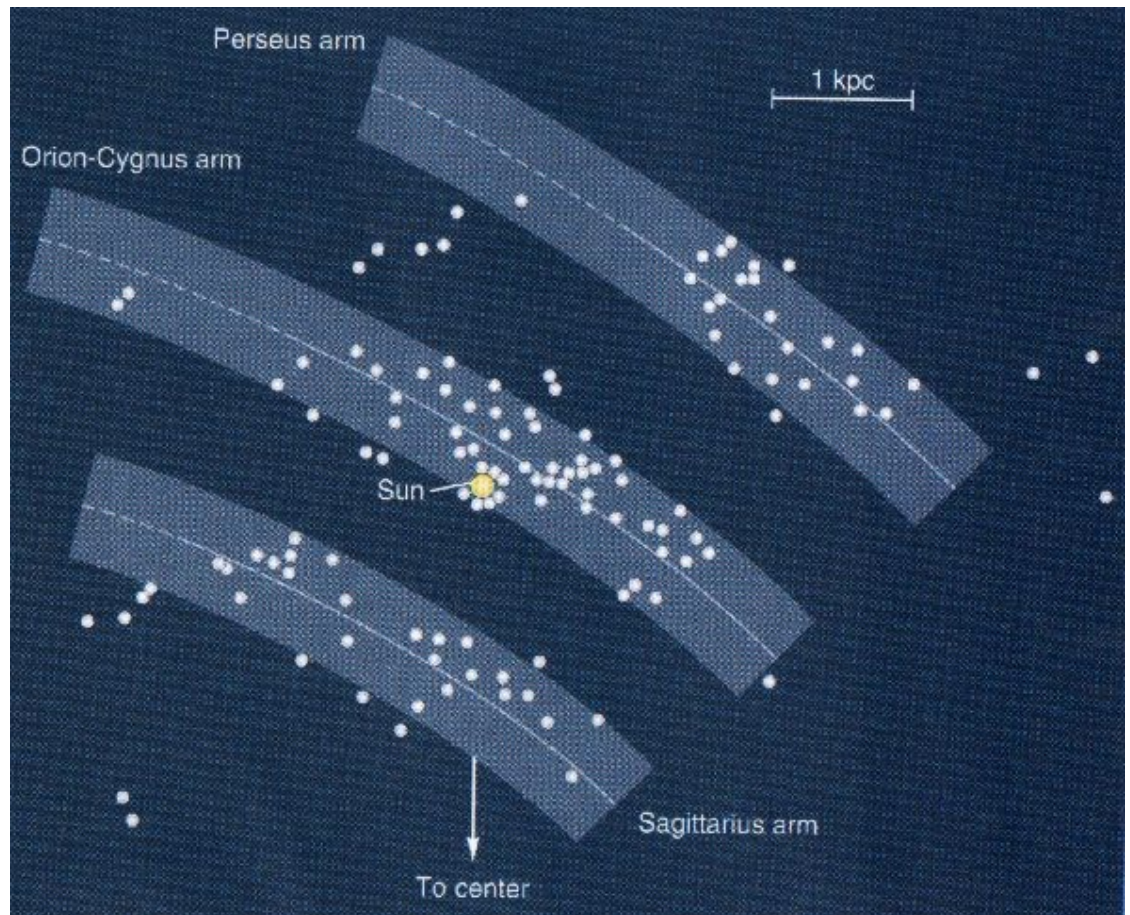
- We zien meer HI in de buitendelen:
waterstofschijf is groter (maar dunner) dan de sterschijf
 - Buitendelen niet helemaal vlak

Spiraalarmen

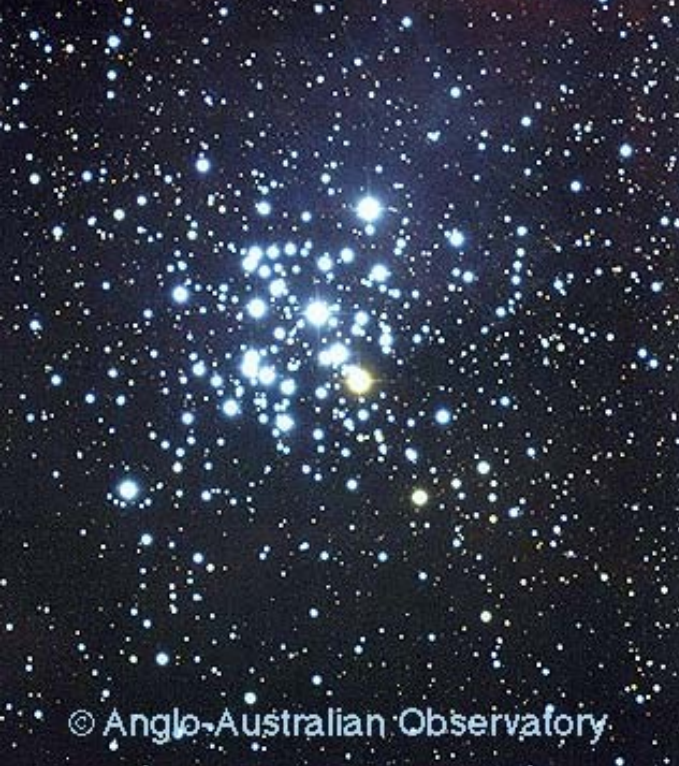
- Kaart van jonge sterren in de buurt van de zon (betrouwbare afstanden nodig!)

Ook in HI (later)

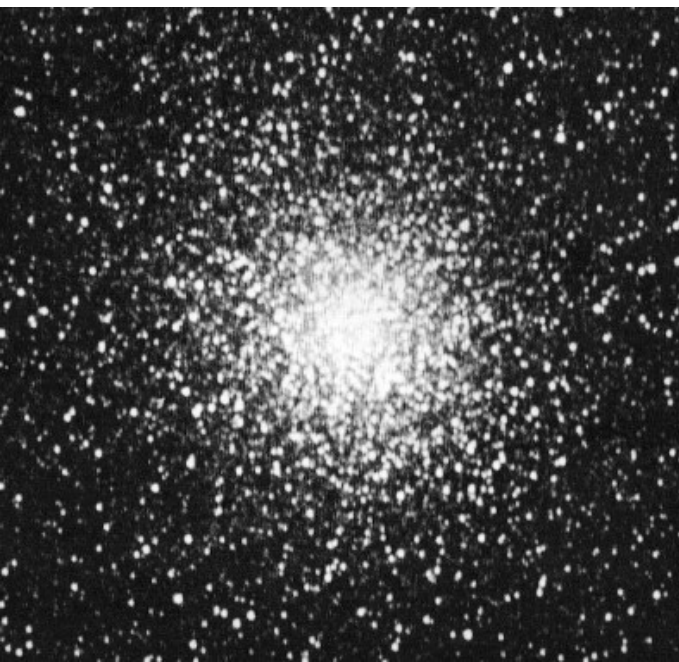
Oudere sterren
vertonen minder
sterke
spiraalarmen
(uniformere
verdeling)



Sterrenhopen

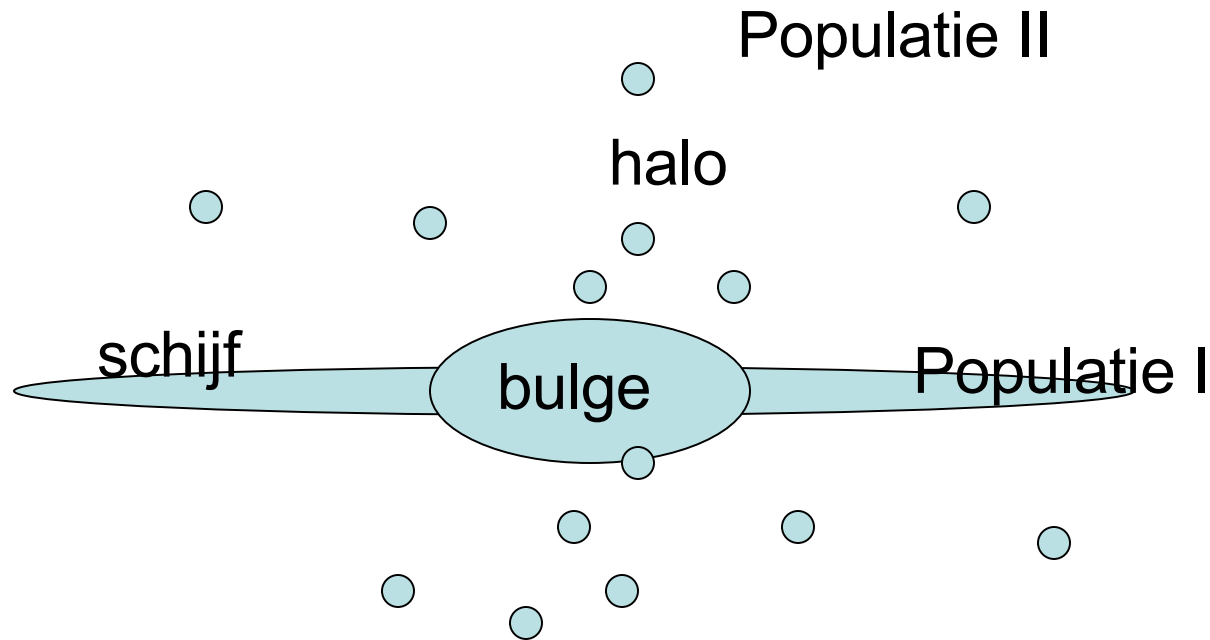


- Open sterrenhopen:
voornamelijk in de schijf
 - Massa $1000-10000 M_{\text{zon}}$
 - Alle sterren even oud
 - Jong: leeftijden 10^6-10^9 jr
 - \sim even metaalrijk als de Zon



- Bolvormige sterrenhopen:
 - Zwaarder: $1,000,000 M_{\text{zon}}$
 - Oud: $10-14 \times 10^9$ jr (isochronen)
 - Metaalarm (dus ontstaan uit onvervuild gas)

3-D structuur: schijf + bulge + halosterren



Schijf: open sterrenhopen, jonge + oude sterren, gas

Halo: bolhopen, zeer oude, metaalarme sterren

Bulge: oude, metaalrijke sterren

Rotatie van de gasschijf

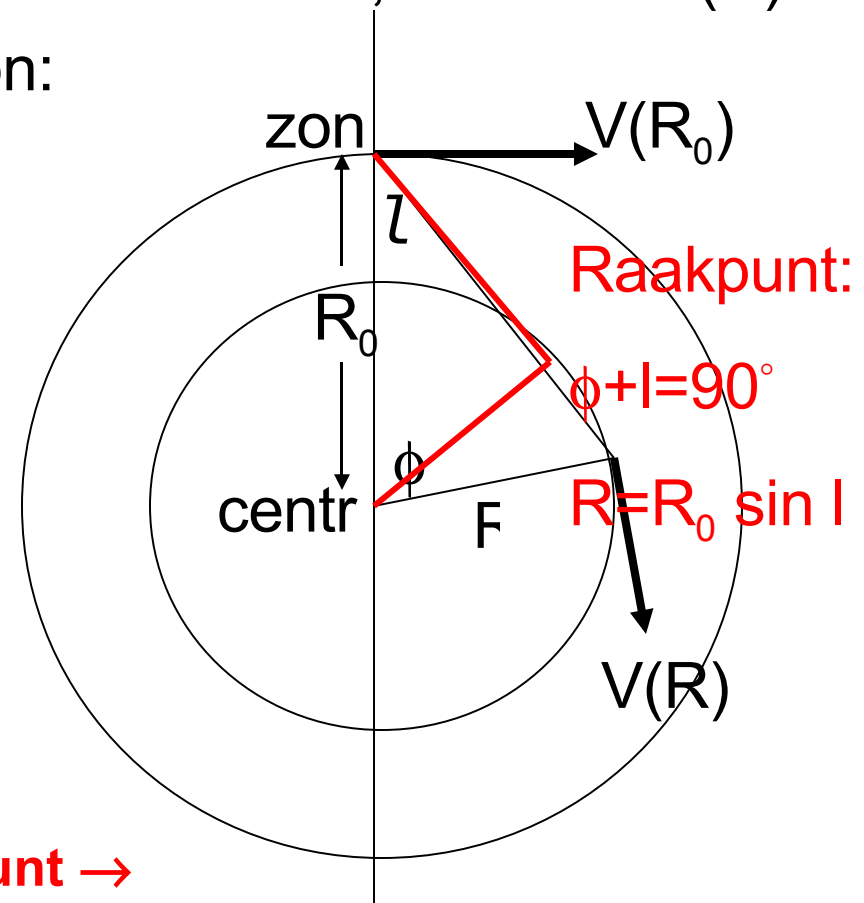
- 21cm lijn : doppler effect geeft radiele snelheid
 - Interpreteer snelheden als cirkelbanen, snelheid $V(R)$
 - Radiele snelheid t.o.v. zon:

$$V_{rad} = V(R) \sin(l + \phi) - V_{zon} \sin l$$

$$\frac{R}{\sin l} = \frac{R_0}{\sin(l + \phi)}$$

$$V_{rad} = \left(V(R) \frac{R_0}{R} - V_{zon} \right) \sin l$$

Langs elke gezichtslijn zie je HI gas op verschillende afstanden, dus met verschillende radiele snelheden

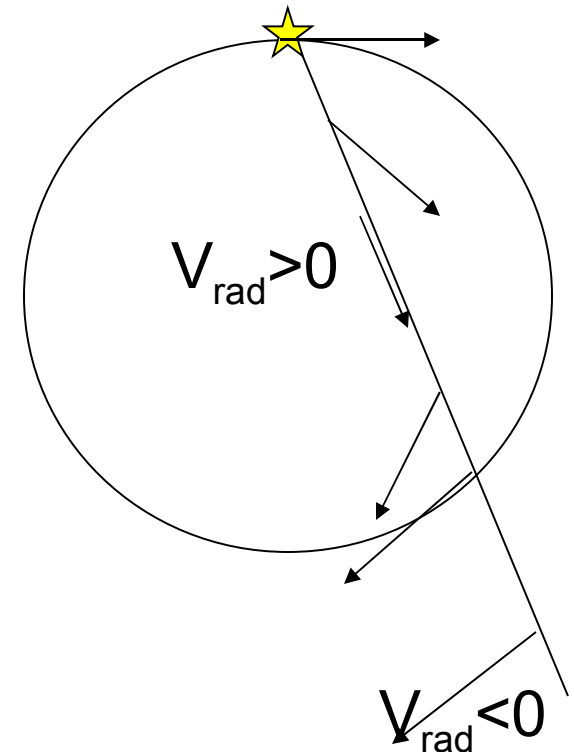


**Maximum $|V_{rad}|$ op raakpunt \rightarrow
 $V(R \sin l) - V_{zon} \sin l$**

Rotatie van de gasschijf

$$V_{rad} = \left(V(R) \frac{R_0}{R} - V_{zon} \right) \sin l$$

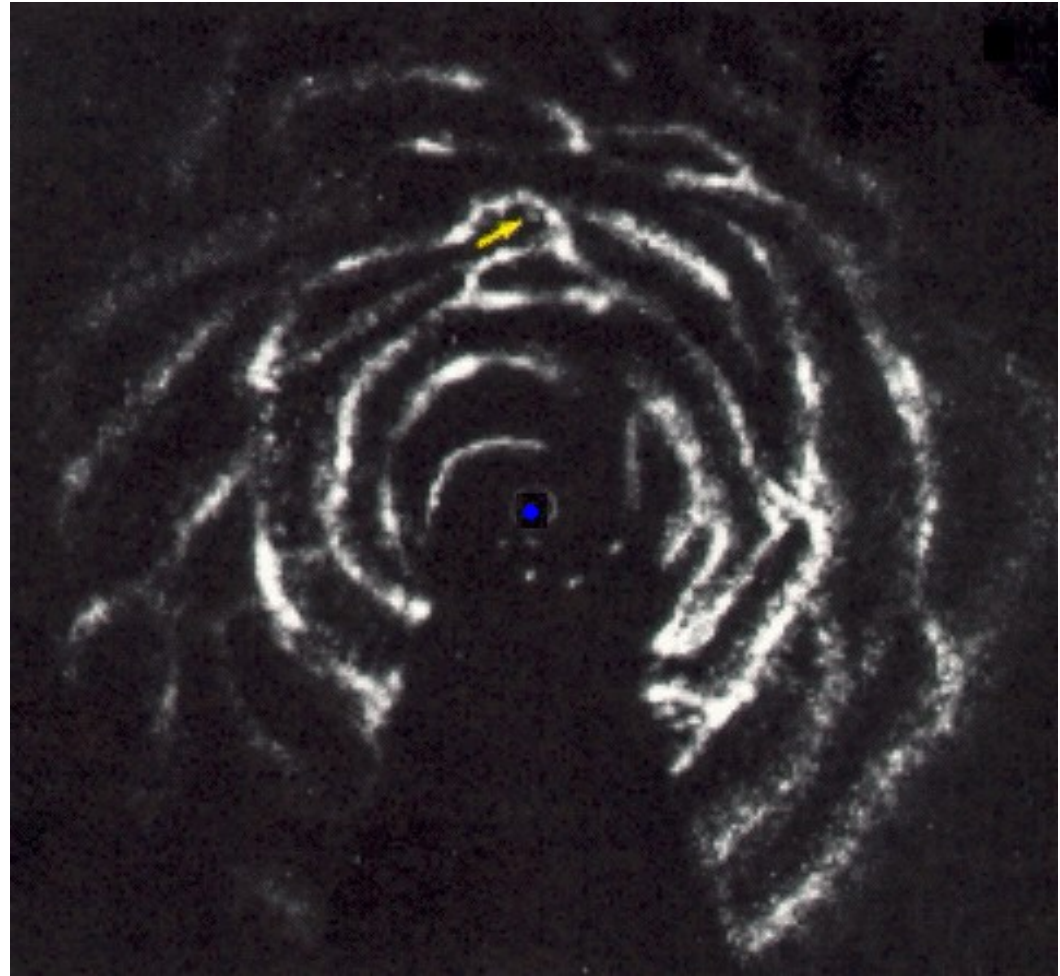
- Als $R = R_0$, dan *altijd* $V_{rad} = 0$, ongeacht de galactische lengte l
- V_{zon} niet af te leiden uit radiale snelheden
 - We meten geen absolute rotatie (2 mieren op een grammofoonplaat: onderlinge afstand blijft hetzelfde, dus onderlinge $V_{rad} = 0$)



Reconstructie van gasverdeling

- Eerst $V(R)$ uit de raakpunten
- Dan R afleiden uit $V_{\text{rad}}(l)$
- Kaart van de waterstofverdeling in de schijf!

- Gas zit vooral in de spiraalarmen



De Oort constanten A en B

- Bewegingen t.o.v zon:
 - Radieel:
$$V_{rad} = \left(V(R) \frac{R_0}{R} - V_0 \right) \sin l$$
 - Tangentieel:
$$V_t = \left(V(R) \frac{R_0}{R} - V_0 \right) \cos l - \frac{V}{R} D$$

- Benadering voor sterren op afstand $D \ll R_0$ (dichtbij zon):

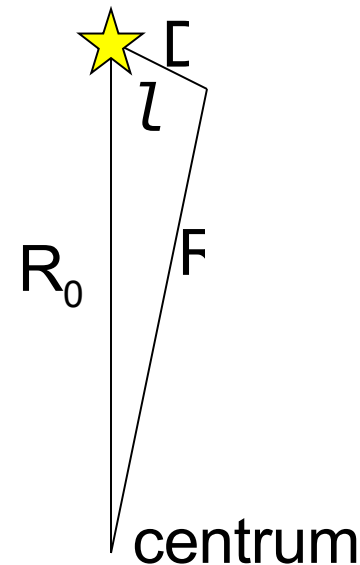
$$R = R_0 - D \cos l$$

$$V_{rad} = \mathbf{A} D \sin 2l$$

$$V_t = (\mathbf{A} \cos 2l + \mathbf{B}) D$$

$$\text{met } 2A = (V_0/R_0) - (dV/dR)_0$$

$$\text{en } 2B = - (V_0/R_0) - (dV/dR)_0$$



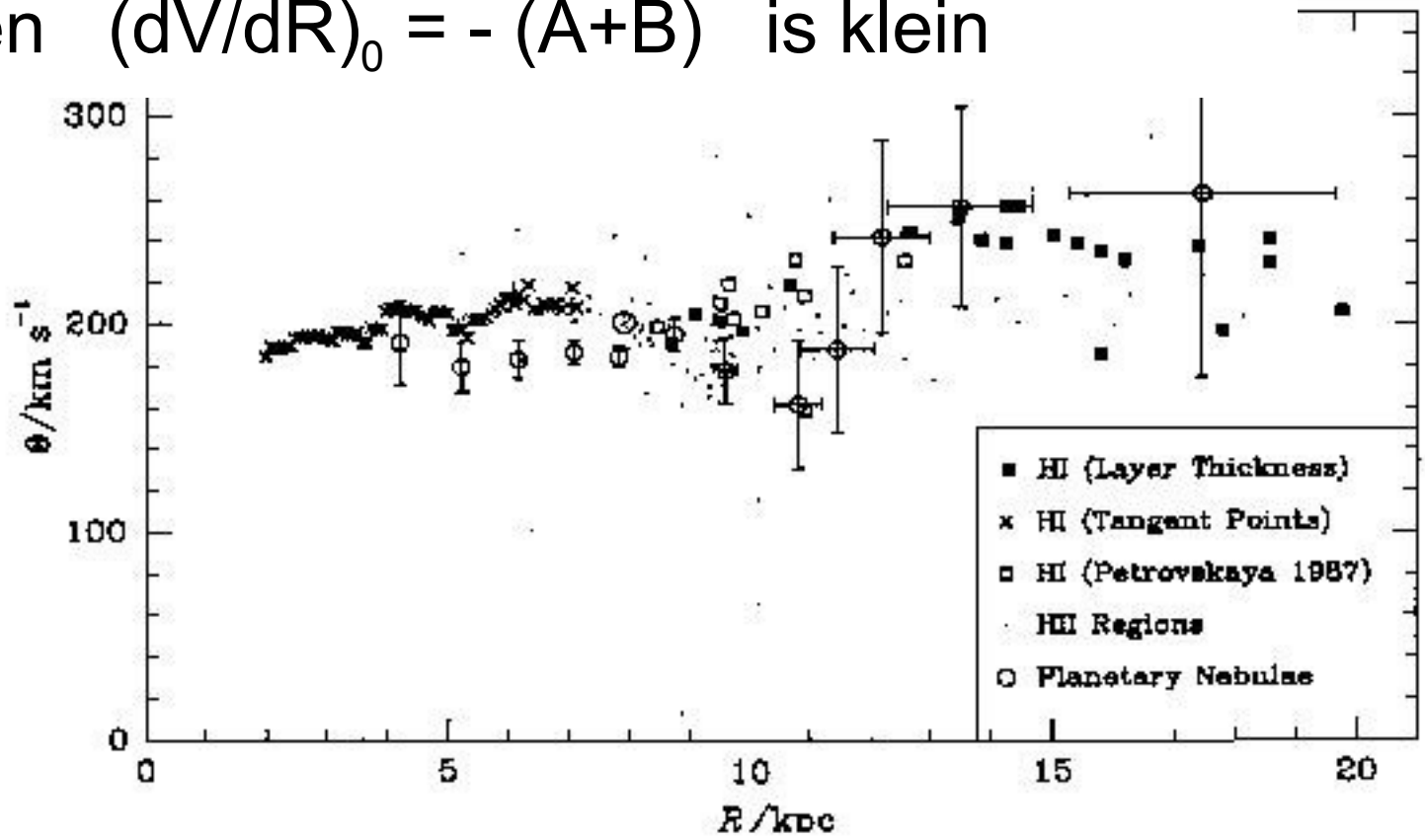
Lokale hoeksnelheid en gradient !

Oort constanten

- Metingen:

- $A = 14 \text{ km/s / kpc}$; $B = -12 \text{ km/s / kpc}$
- Dus $V_0 = R_0(A-B) = 210 \text{ km/s}$ (± 20)

en $(dV/dR)_0 = -(A+B)$ is klein

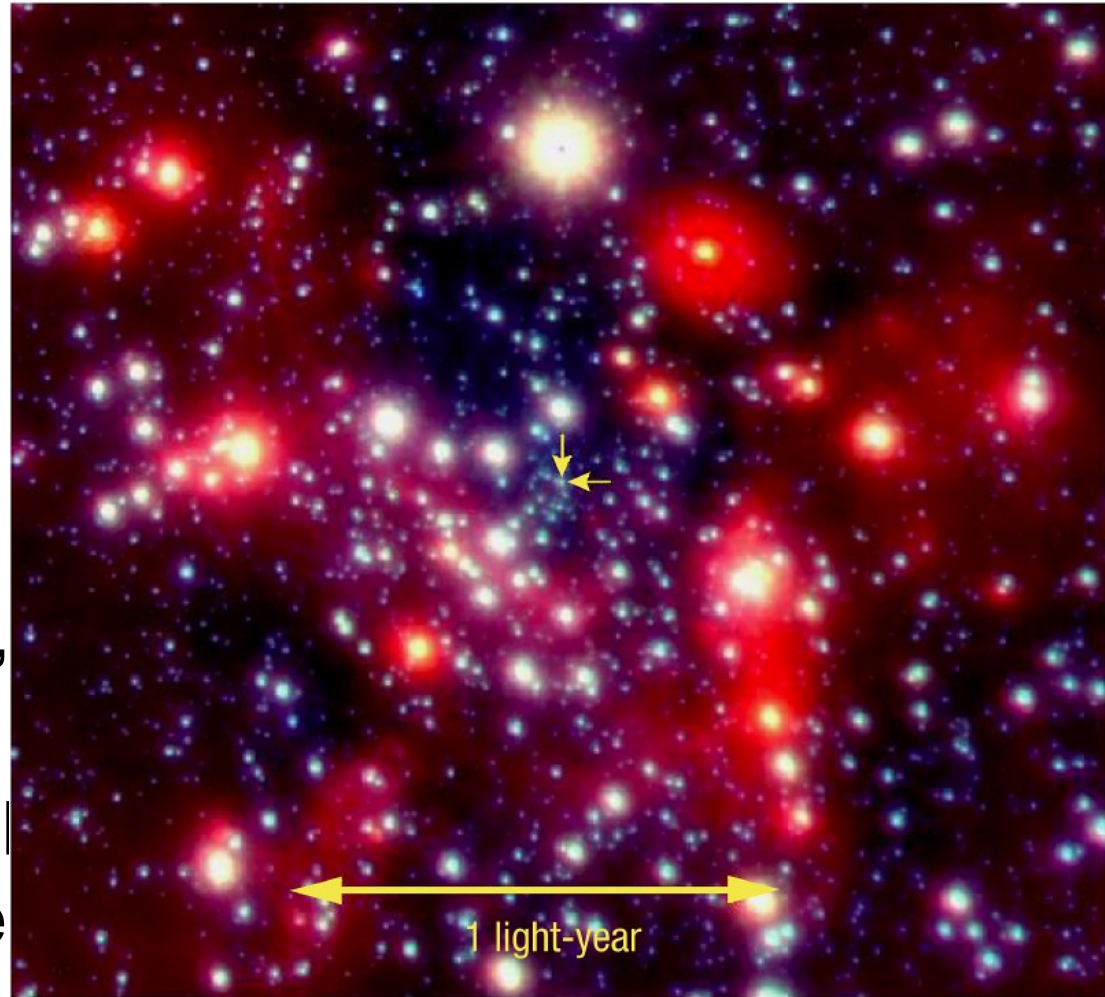


Verticale beweging van sterren

- In de buurt van de zon:
 - Schijf ca. 300pc dik ($\rho \propto e^{-|z|/300\text{pc}}$)
 - Sterren worden aangetrokken tot het middenvlak van de schijf ($z=0$)
 - De snelheid waarmee ze het vlak kruisen geeft aan hoeveel potentiële energie ze verliezen tussen $z \sim 300\text{pc}$ en $z=0$...
 - ...en dat vertelt hoe sterk het zwaartekrachtsveld van de schijf is...
 - ...en dat vertelt hoe zwaar de schijf is
- Ongeveer $50 M_{\text{zon}}/\text{pc}^2$; lokaal $0.05 M_{\text{zon}}/\text{pc}^3$
(oppervlakedichtheid vergelijkbaar met een blad papier)

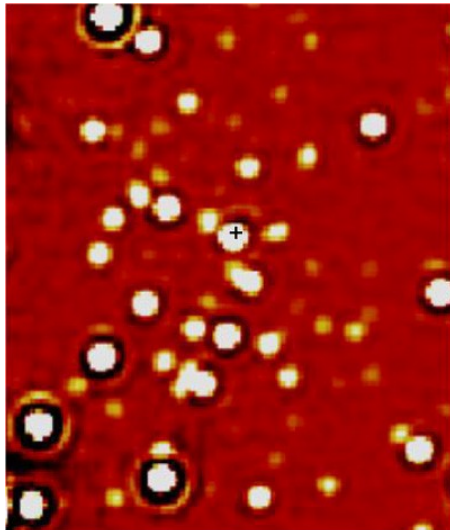
De kern van de melkweg

- Optisch geheel verduisterd ($A_V=25^m$)
- Slechts in IR of radio waarneembaar
- Sterke radiobron, Sgr A*
- Cluster van massieve, jonge sterren
- Bewegingen zijn in nauwelijks IR te volgen met hoge resolutie



The Centre of the Milky Way
(VLT YEPUN + NACO)

Dynamica van de centrale sterhoop



20 light-days

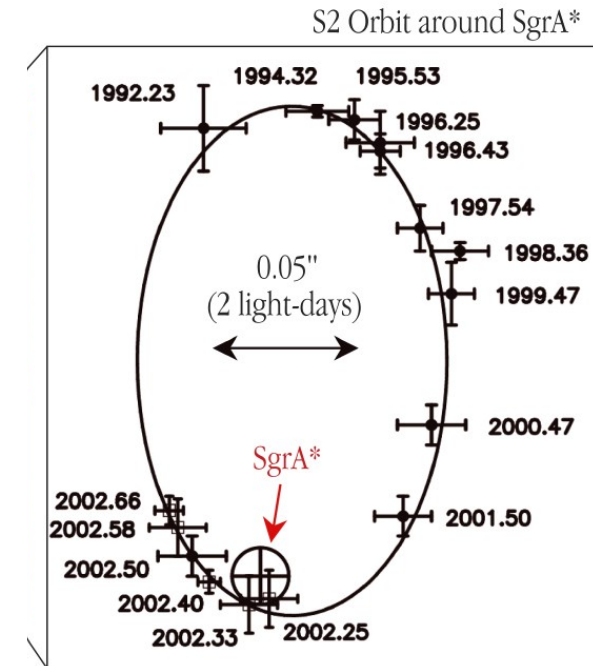
The Centre of the Milky Way (detail)
(VLT YEPUN + NACO)

ESO PR Photo 23b/02 (9 October 2002)

© European Southern Observatory



QuickTime and a YUV420 codec decompressor are needed to see this picture.



- Baan met periode 16 jaar, gemiddelde straal 600 AU:
Massa van centrale object is ...?

$$a^3/P^2 \sim 10^6 M_{\text{zon}} !!$$

- Superzwaar zwart gat van 3 miljoen zonsmassa's

Massa van de melkweg

- Rotatiesnelheid $V(R) \sim 200\text{km/s}$, constant met straal
- Niet wat je verwacht als al de massa in het centrum zit!

$$\frac{GM}{R^2} = \frac{V^2}{R} \Rightarrow V = \sqrt{GM/R}$$

- Omgekeerd:

$$M(<R) \sim V(R)^2 R / G$$

dus als $V=\text{const}$, is $M \propto R$!

($\sim 10^{10} M_{\text{zon}}/\text{kpc}$ als $V=200\text{km/s}$)

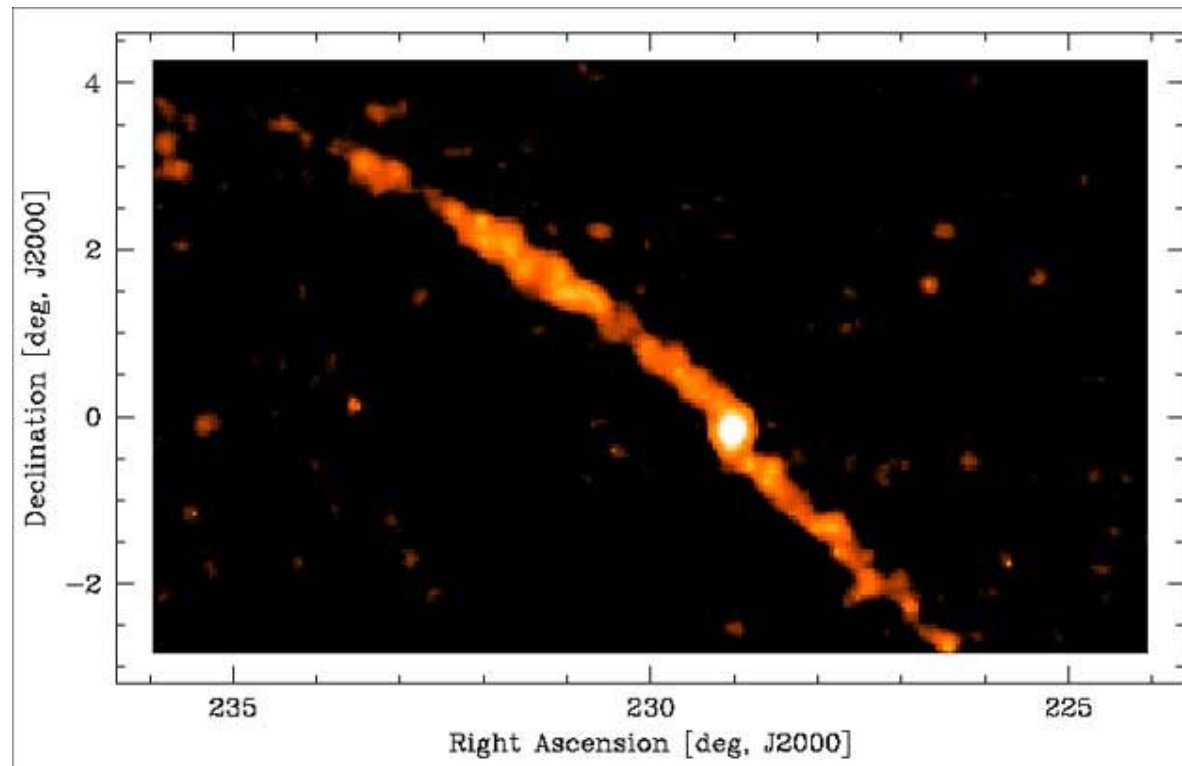
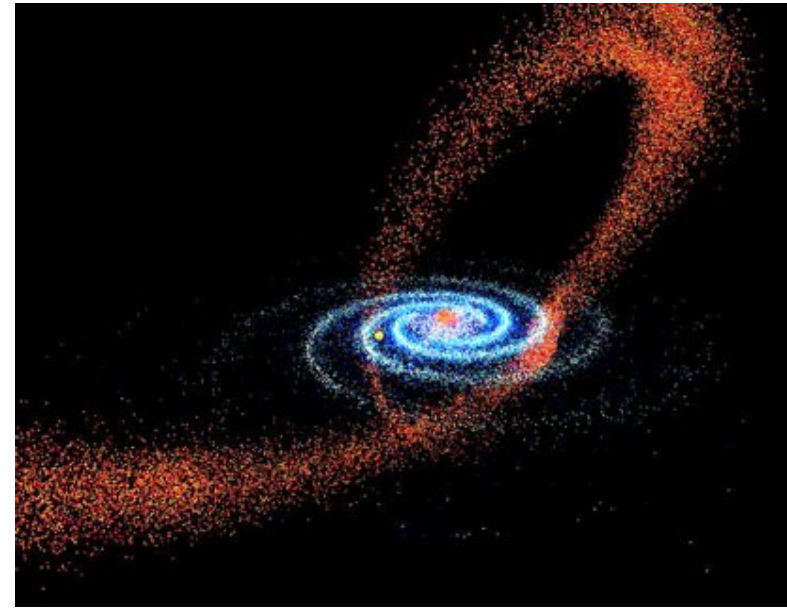
- Massa groeit met straal R ; aantal sterren niet
- Dus: ***donkere materie***

Satellieten van de Melkweg

- De schijf van de melkweg is omringd door bolhopen, maar ook door
 - ~12 dwergstelsels ($\sim 10^8 M_{\text{zon}}$)
 - Grote verscheidenheid aan sterpopulaties
 - Zijn al hun gas kwijt, spheroidaal
 - Tot op 200kpc van de schijf te vinden
 - Magellaense Wolken
 - ~ 1/10 van de massa van de melkweg
 - Actieve stervorming, schijf, veel gas
 - 50kpc van centrum van de Melkweg

Getijdewerking

- Gasbrug tussen Grote en Kleine Magellaanse Wolk
- Gassstaart: Magellaanse Stroom
- Uiteengerukt Sagittarius dwergstelsel



De Lokale Groep

- Andromedanevel (M31) is grotere buur van MW. - -
 - ook schijfstelsel (Sb)
 - ook eigen satellietstelsels
 - ook getijdestroom
 - is 700 kpc ver.
- MW en M31 grootste stelsels in systeem van ~ 50 stelsels: *de Lokale Groep*
- Bewegen naar elkaar toe met 100 km/s