

Sterne, Galaxien und das Universum

Teil 6: Die Milchstraße

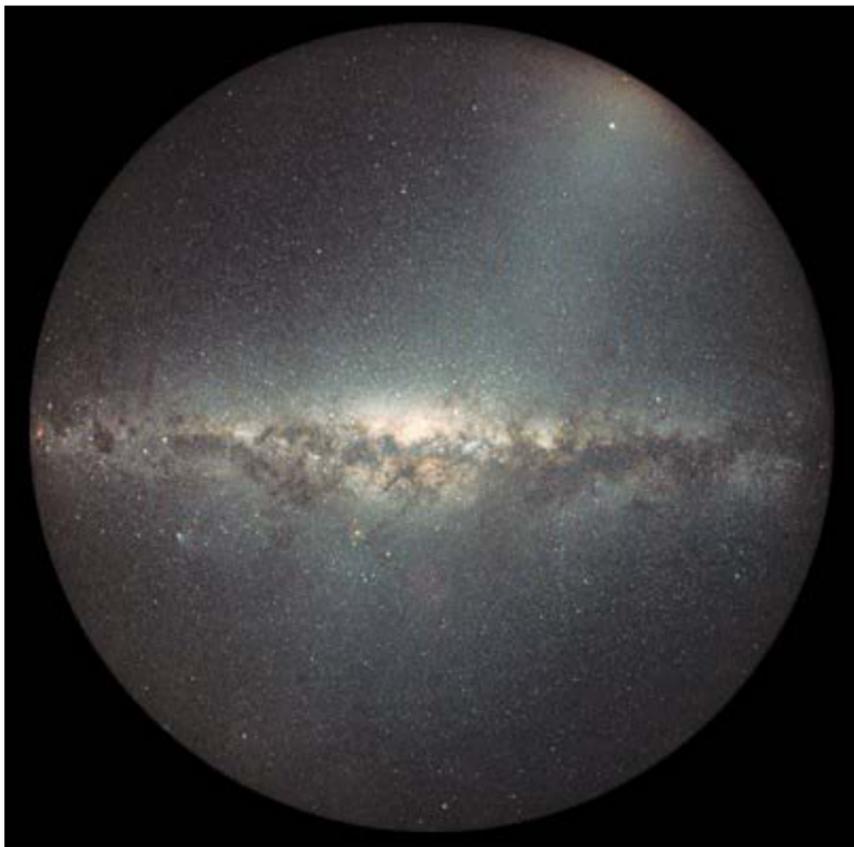
Peter Hauschildt

yeti@hs.uni-hamburg.de

Hamburger Sternwarte
Gojenbergsweg 112
21029 Hamburg

5. Juli 2019

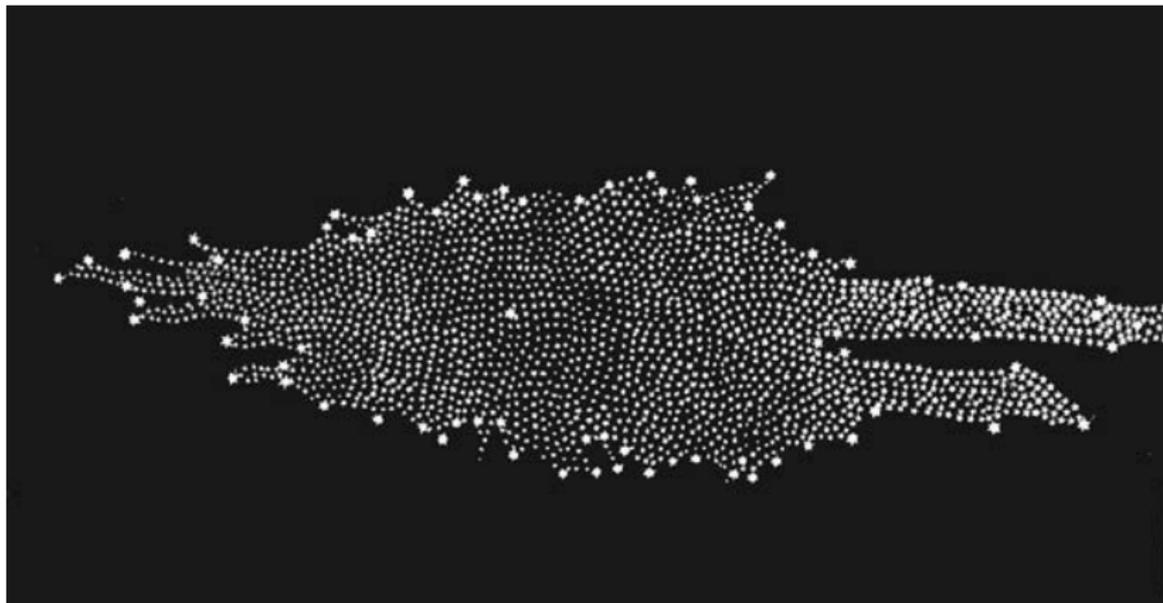
Die Milchstraße



Übersicht

- ▶ Was ist die Milchstraße?
- ▶ Form und Größe
- ▶ Aufbau
- ▶ Spiralarme
- ▶ Zentrum

Herschel's Milchstraße



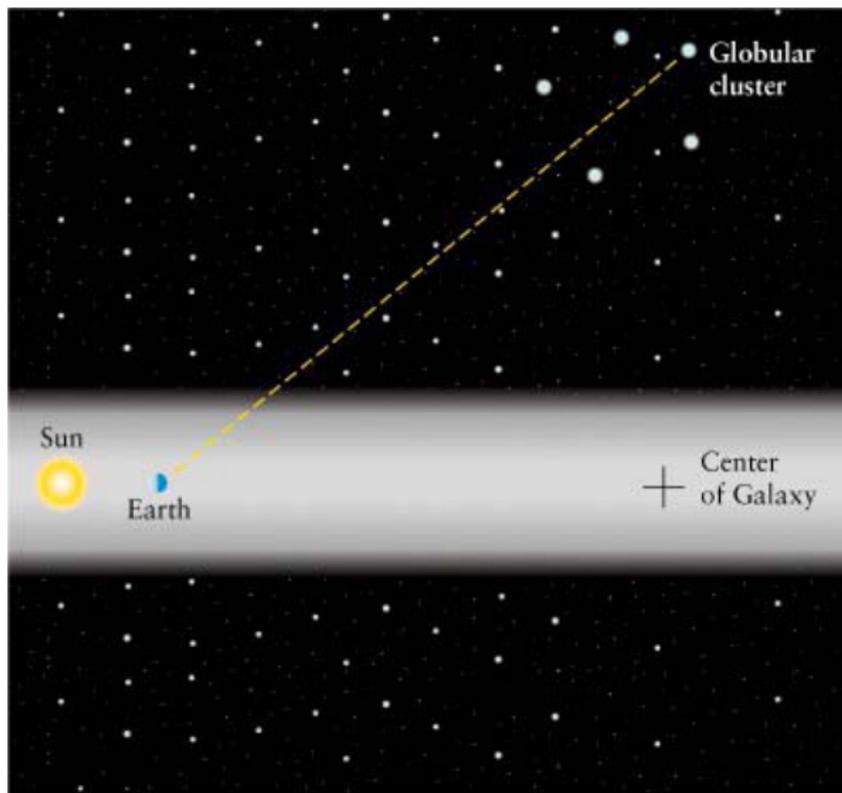
Aufbau der Milchstraße

- ▶ Vermutung 18. Jahrhundert →
- ▶ Milchstraße ist eine Scheibe aus Sternen
- ▶ Sonne sitzt innerhalb der Scheibe
- ▶ Wo? Sternzählungen (Herschel) →
- ▶ Zentrum (siehe Bild oben)
- ▶ → dieses Ergebnis war falsch!
- ▶ Sternhaufen Analyse
- ▶ → Entdeckung des interstellären Staubs!
- ▶ Staub verdeckt die allermeisten Sterne!
- ▶ → können nur die Nahe Sonnenumgebung sehen!

Aufbau der Milchstraße

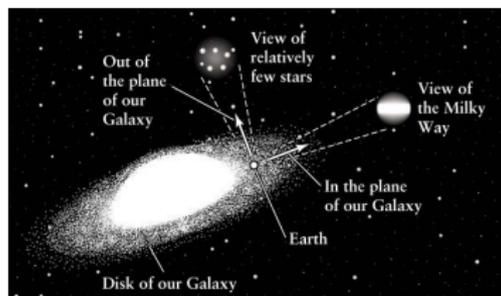
- ▶ Verteilung der Kugelsternhaufen (Shapley)
- ▶ liegen *nicht* in der Scheibe
- ▶ Entfernung durch Cepheiden
- ▶ → Räumliche Verteilung um die Milchstraße

Kugelsternhaufen



b

Aufbau der Milchstraße

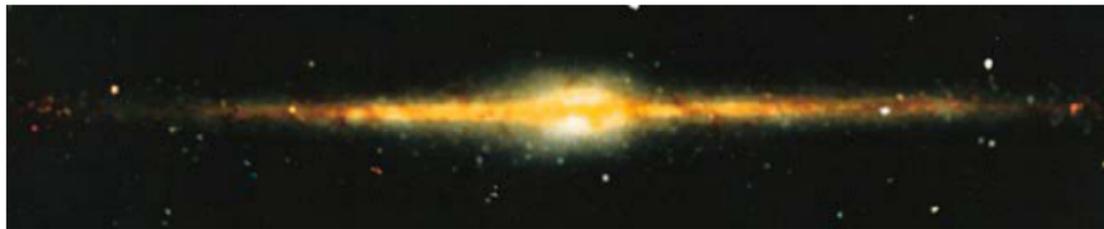


- ▶ Kugelsternhaufen: sphärisch verteilt
- ▶ Sonne ca. 8 kpc vom Zentrum
- ▶ liegt in der Scheibe

Aufbau der Milchstraße

- ▶ im sichtbaren Licht können wir den Kern der Milchstraße nicht sehen
- ▶ → Staub ist durchsichtiger für IR!
- ▶ strahlt auch selber im IR ab

Staub im IR



- ▶ COBE Satellit
- ▶ 1.2, 2.2, 3.4 μm

Staub im IR

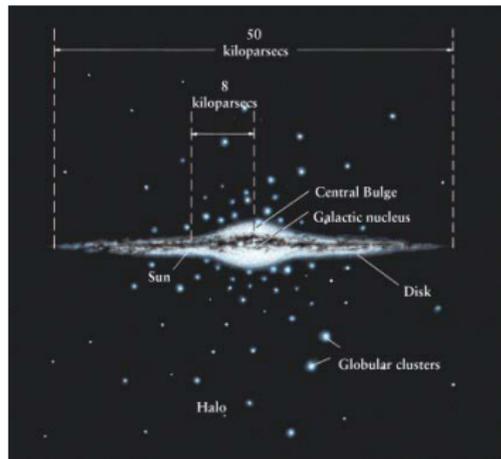


- ▶ IRAS Satellit
- ▶ 25, 60, 100 μm

Aufbau der Milchstraße

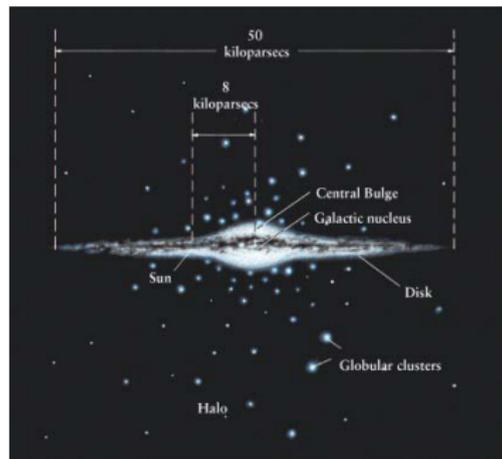
- ▶ Staub ist durchsichtig in Radio!
- ▶ → können das Zentrum sehen (s.u.)
- ▶ zusammen lassen sich Aufbau und Größe feststellen:

Aufbau der Milchstraße



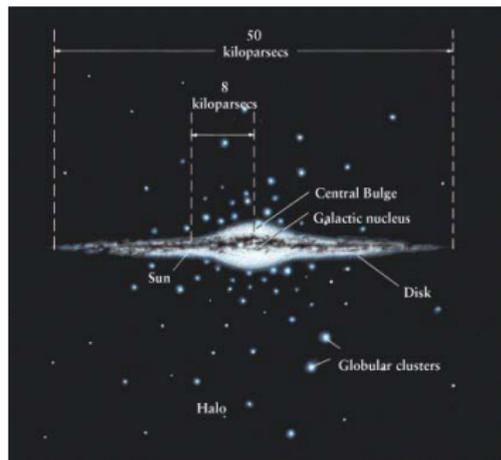
- ▶ Scheibe:
- ▶ Durchmesser: 50 kpc
- ▶ Dicke: 0.6 kpc

Aufbau der Milchstraße



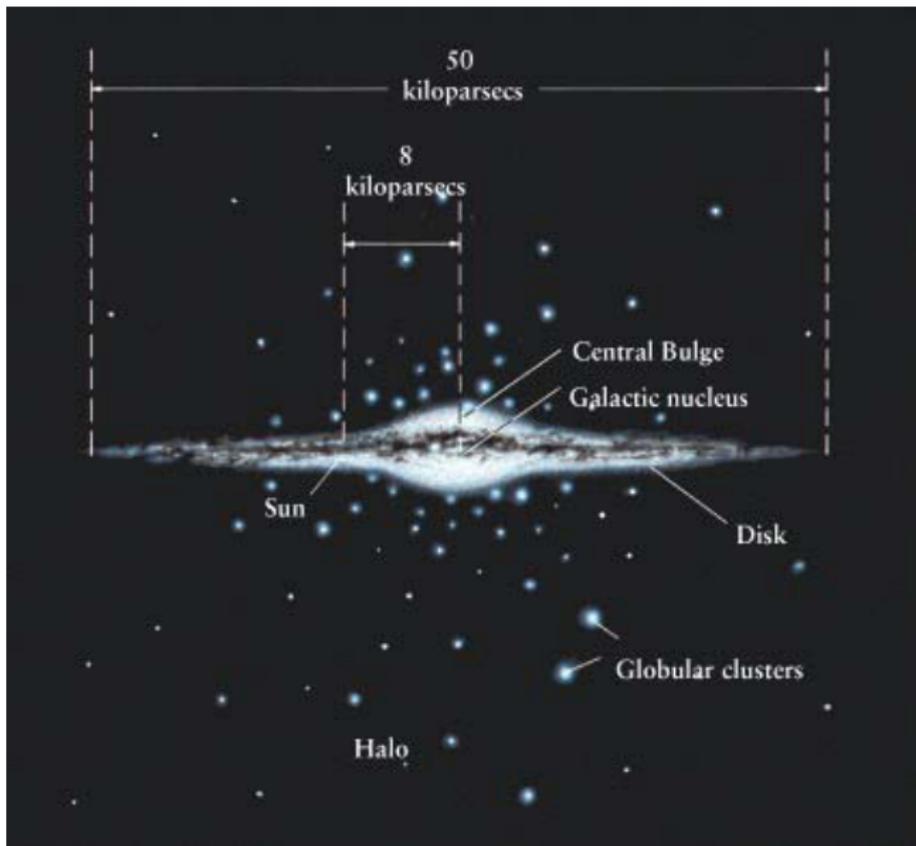
- ▶ 'central bulge'
- ▶ aus Sternen!
- ▶ Durchmesser: 2 kpc
- ▶ nicht rund ...
- ▶ Erdnuss-förmig

Aufbau der Milchstraße



- ▶ Halo
- ▶ Kugelsternhaufen!
- ▶ Durchmesser: 50 kpc
- ▶ enthält auch Sterne
- ▶ fast sphärisch

Milchstraße



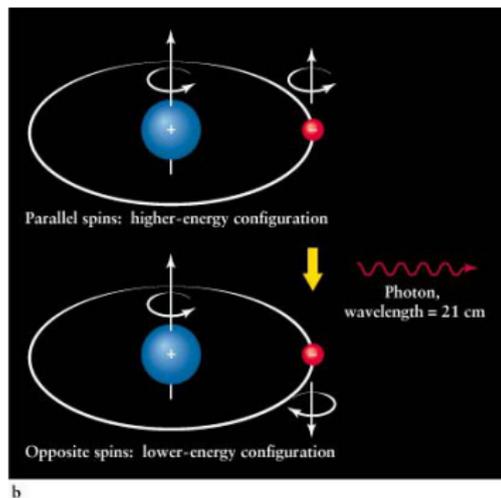
Milchstraße von 'Außen'



Aufbau der Milchstraße

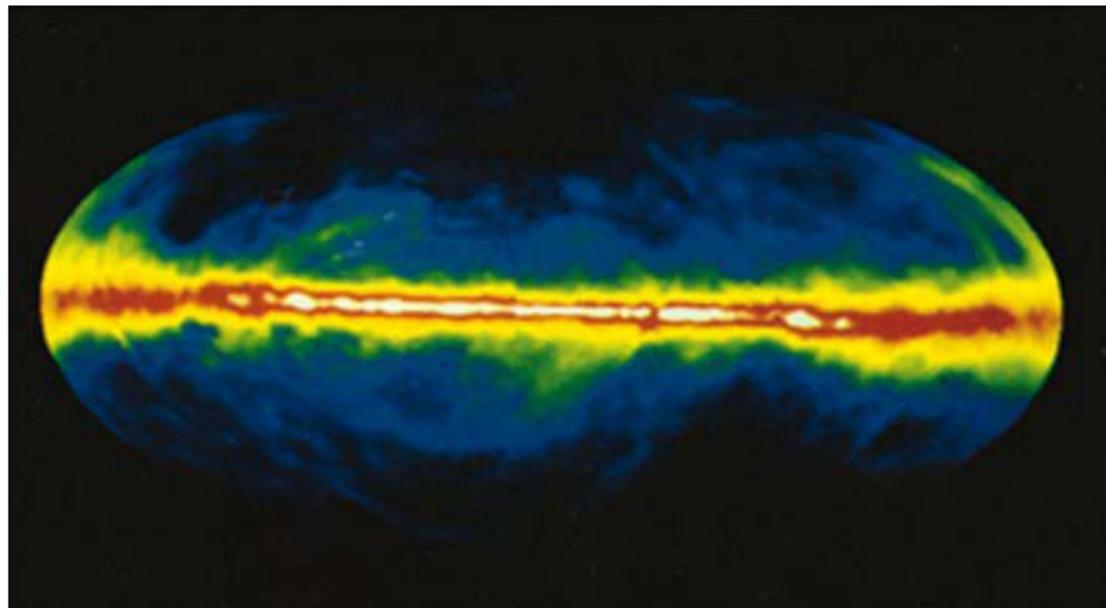
- ▶ Details des Aufbaus unbekannt bis zur Entwicklung der Radioastronomie
- ▶ häufigstes Element: Wasserstoff
- ▶ → suche nach IntStell Wasserstoff
- ▶ aber: Linien liegen im UV oder Sichtbaren
- ▶ glücklicherweise kann H auch im Radiobereich emittieren:

21 cm Linie



- ▶ Spin → Proton, Elektron wie kleine Stabmagneten
- ▶ → Energiegehalte von H I hängt von Ausrichtung ab
- ▶ spin-flip von 'oben' nach 'unten'
- ▶ Photon mit 21 cm Wellenlänge
- ▶ Gas muss sehr verdünnt sein damit das funktioniert

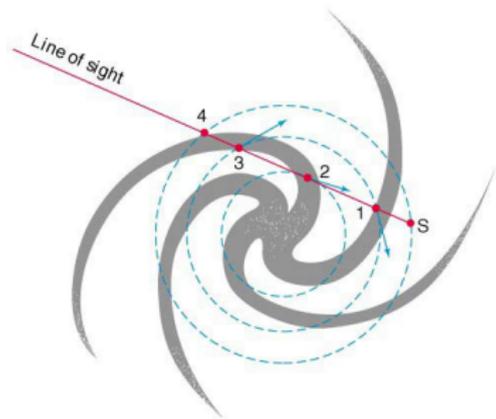
Milchstraße in 21 cm Radio



Aufbau der Milchstraße

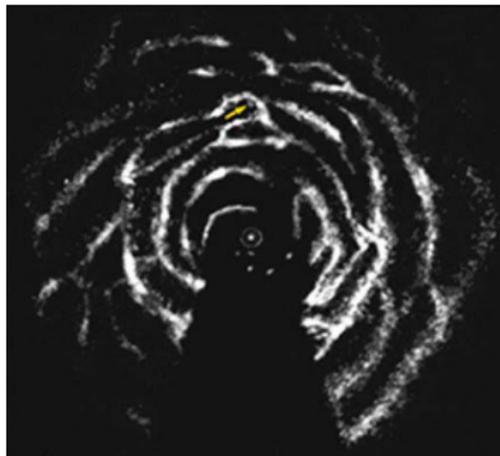
- ▶ 21 cm Linie zeigt nur neutralen Wasserstoff
- ▶ keinen ionisierten Wasserstoff
- ▶ keinen molekularen Wasserstoff
- ▶ Verteilung ist nicht homogen
- ▶ erlaubt die Scheibe der Milchstraße zu untersuchen

Spiralarme



- ▶ H I Wolken laufen um das Zentrum
- ▶ → Dopplerverschiebungen!
- ▶ nur projizierte Geschwindigkeiten
- ▶ einige Bereiche lassen sich so nicht untersuchen

Spiralarme



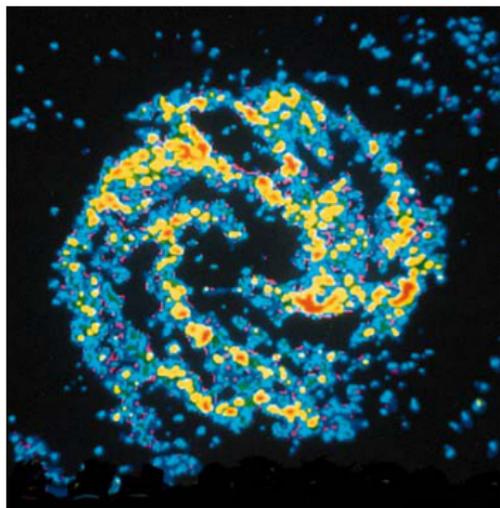
- ▶ → Karte der H I Verteilung
- ▶ Gelber Pfeil: Sonne
- ▶ Struktur
- ▶ → Milchstraße hat Spiralarme

Spiralarme



- ▶ H I Verteilung in anderen Galaxien
- ▶ Beispiel: M83
- ▶ 4 Mpc Entfernung
- ▶ sichtbares Licht:
- ▶ junge, blaue Sterne in den Armen

Spiralarme



b

- ▶ Beispiel: M83
- ▶ in 21 cm Radio
- ▶ → H I Wolken in den Spiralarmen

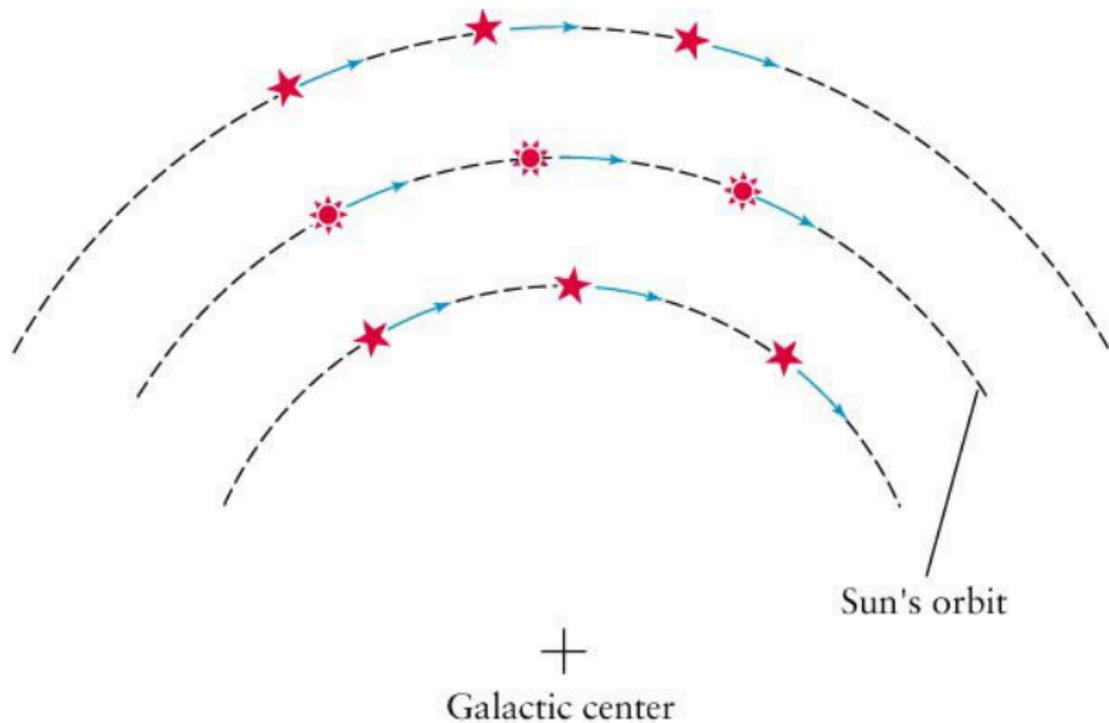
Skizze der Milchstraße



Rotation der Milchstraße

- ▶ Spiralarme → Milchstraße rotiert?
- ▶ genaue Bestimmung ist schwierig!
- ▶ 21 cm Linie → Rotation der H I Wolken
- ▶ Sterne, Gas etc laufen um das Zentrum
- ▶ innerhalb der Scheibe mit fast konstanter Geschwindigkeit relativ zur Sonne

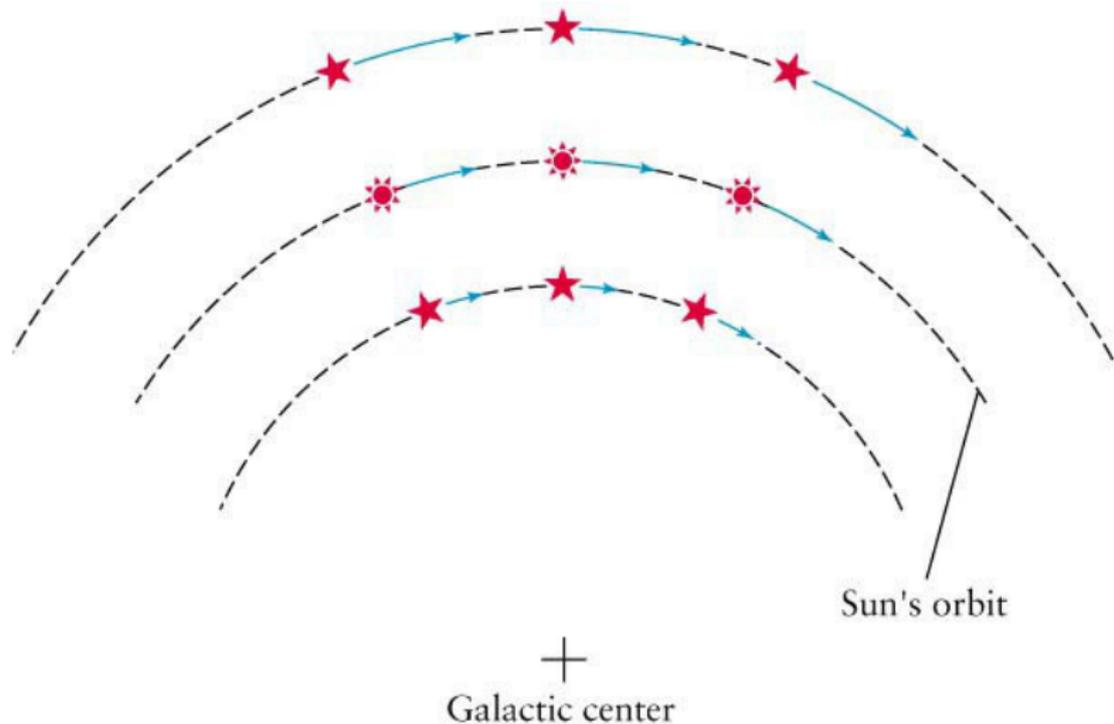
Rotation der Milchstraße



a Actual rotation of our Galaxy

Rotation der Milchstraße

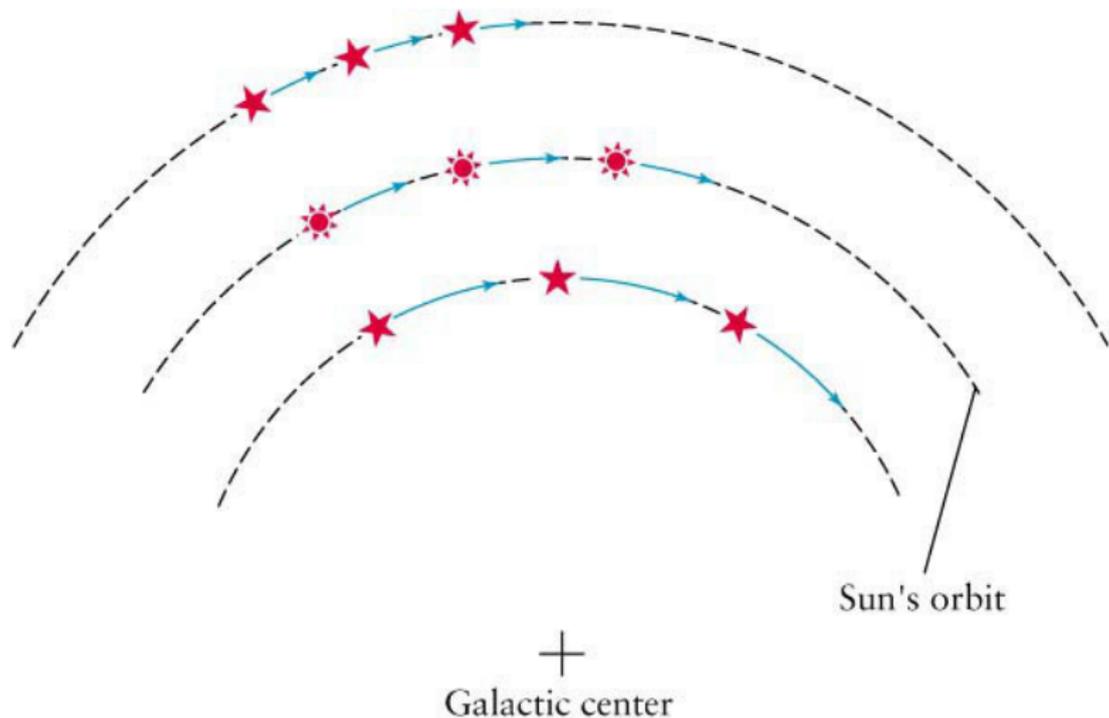
- ▶ sehr unterschiedlich zu starrer Rotation



b If our Galaxy rotated like a solid disk

Rotation der Milchstraße

- ▶ auch sehr unterschiedlich zu Kepler Rotation



c If the Sun and the stars obeyed Kepler's third law

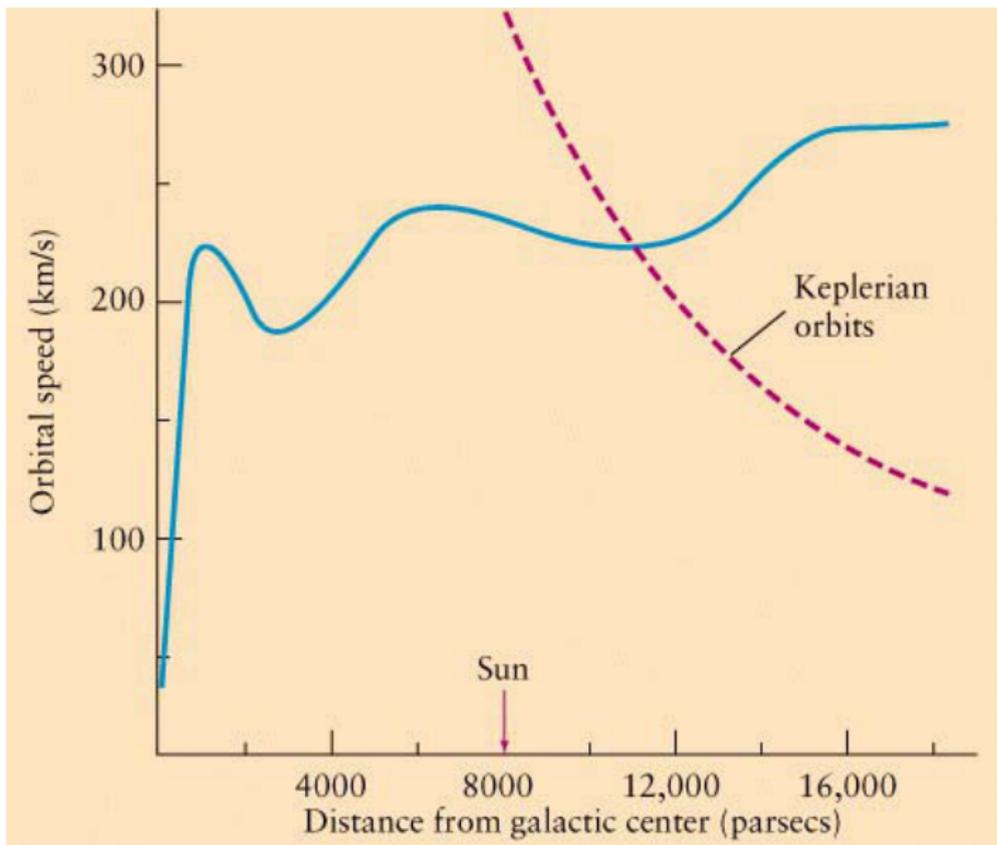
Rotation der Milchstraße

- ▶ müssen auch wissen wie schnell die Sonne sich bewegt
- ▶ das lässt sich am besten mit andere Galaxien oder Kugelsternhaufen messen
- ▶ → Sonne bewegt sich mit 220 km/s
- ▶ → Umlaufperiode: 220 Myr

Rotation der Milchstraße

- ▶ damit lässt sich die Masse innerhalb der Sonnenbahn bestimmen (Kepler 3)
- ▶ → etwa $9 \times 10^{10} M_{\odot}$
- ▶ → Masse der Milchstraße muss größer sein
- ▶ Daten für H I Wolken etc.
- ▶ Bestimmung der *Rotationskurve* der Milchstraße

Rotationkurve



Rotation der Milchstraße

- ▶ Zentralgebiet → starre Rotation
- ▶ Geschwindigkeit nimmt nach außen *nicht* ab!
- ▶ → Gesamtmasse mehr als $6 \times 10^{11} M_{\odot}$
- ▶ → es muss viel Masse außerhalb des sichtbaren Bereiches der Milchstraße geben
- ▶ die kann man aber nicht sehen!

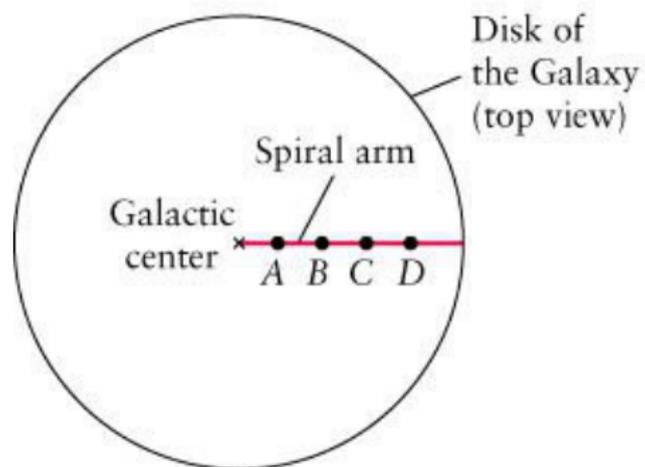
Rotation der Milchstraße

- ▶ → *Dunkle Materie*
- ▶ Was ist Dunkle Materie?
- ▶ 2 Kandidaten:
- ▶ MACHOs
 - ▶ *massive compact halo objects*
 - ▶ Schwarze Löcher, Sterne, Braune/Weiße Zwerge
 - ▶ Massen zwischen $0.01 M_{\odot}$ bis $1 M_{\odot}$
- ▶ Wimps
 - ▶ *weakly interacting massive particles*
 - ▶ sub-atomare Teilchen
 - ▶ Neutrinos etc.

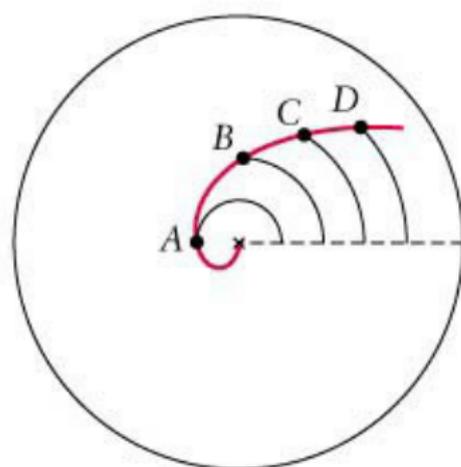
Spiralarme

- ▶ Woher kommen die Spiralarme?
- ▶ die Arme können mit der beobachteten Rotation nicht stabil sein
- ▶ sie würden sich innerhalb weniger Umdrehungen aufwickeln:

Aufwickeln der Arme

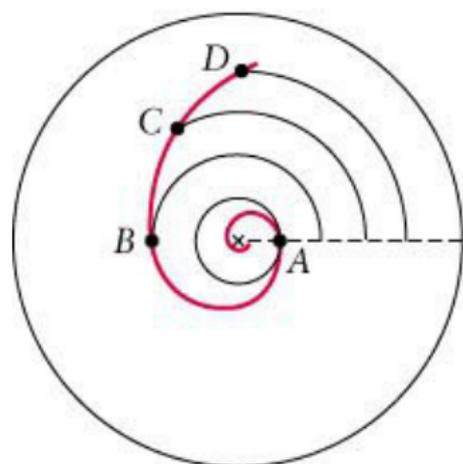


a

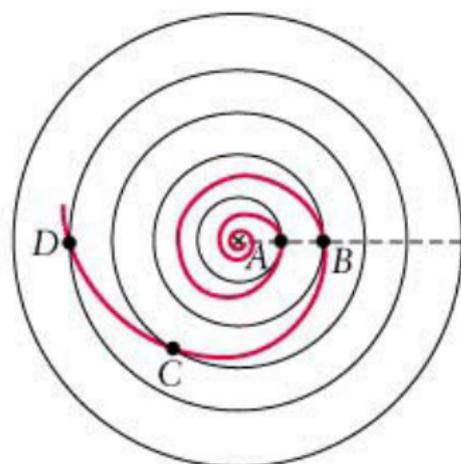


b After $\frac{1}{2}$ orbit of star A

Aufwickeln der Arme



c After one orbit of star A

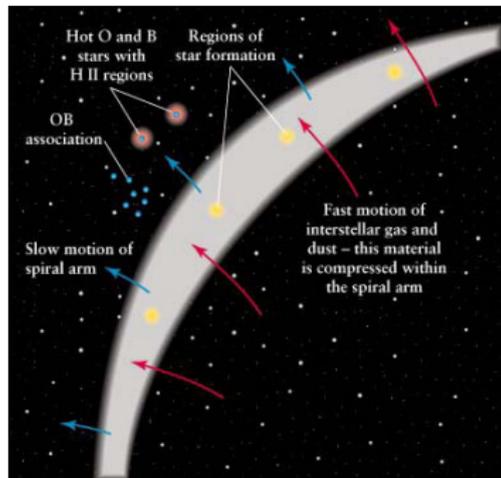


d After two orbits of star A

Spiralarme

- ▶ → Spiralarme können nicht aus immer denselben Sternen bestehen
- ▶ Lindblad (1940):
- ▶ Spiralarme sind eine Art Dichtewelle die durch die Milchstraße läuft
- ▶ in den Maxima ist die Stern/Teilchendichte höher
- ▶ Dichtewelle ist langsamer als Sterne etc
- ▶ wird angetrieben durch Gravitationskräfte der Sterne

Dichtewellen



- ▶ in den Zonen hoher Dichte bilden sich Sterne
- ▶ → junge (blaue) Sterne in den Spiralarmen

Spiralarme

- ▶ Dichtewellen brauchen Energie
- ▶ geliefert durch Bulge (nicht sphärisch)
- ▶ oder durch Wechselwirkung mit anderen Galaxien

Dichtewellen



a Grand-design spiral galaxy

- ▶ produzieren
- ▶ *grand-design spirals*

Spiralarme



b Flocculent spiral galaxy

- ▶ es gibt auch
- ▶ *flocculent spirals*
- ▶ produziert durch selbst-verbreitende Sternbildung
- ▶ meistens beide Prozesse aktiv?

Das Zentrum



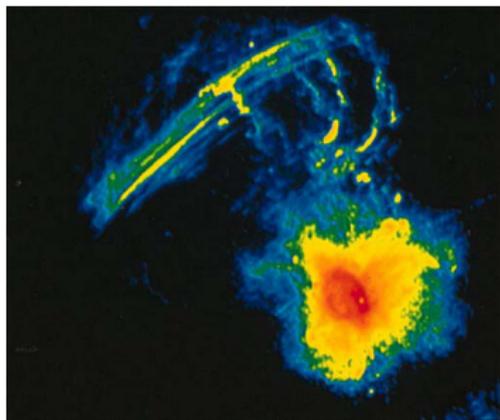
- ▶ Sterndichte sehr hoch:
- ▶ vom Zentrum aus →
- ▶ 1M Sterne so hell wie Sirius
- ▶ Nachthimmel 200 mal so hell wie Vollmond!

Das Zentrum



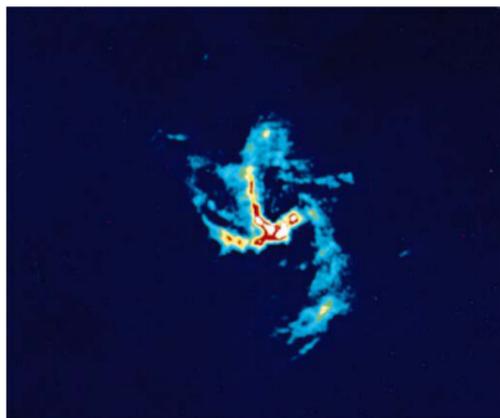
- ▶ IR Bild
- ▶ zeigt das Zentralgebiet
- ▶ viele Staubwolken
- ▶ geheizt durch junge OB Sterne
- ▶ Sgr A: starke IR Emission

Sgr A



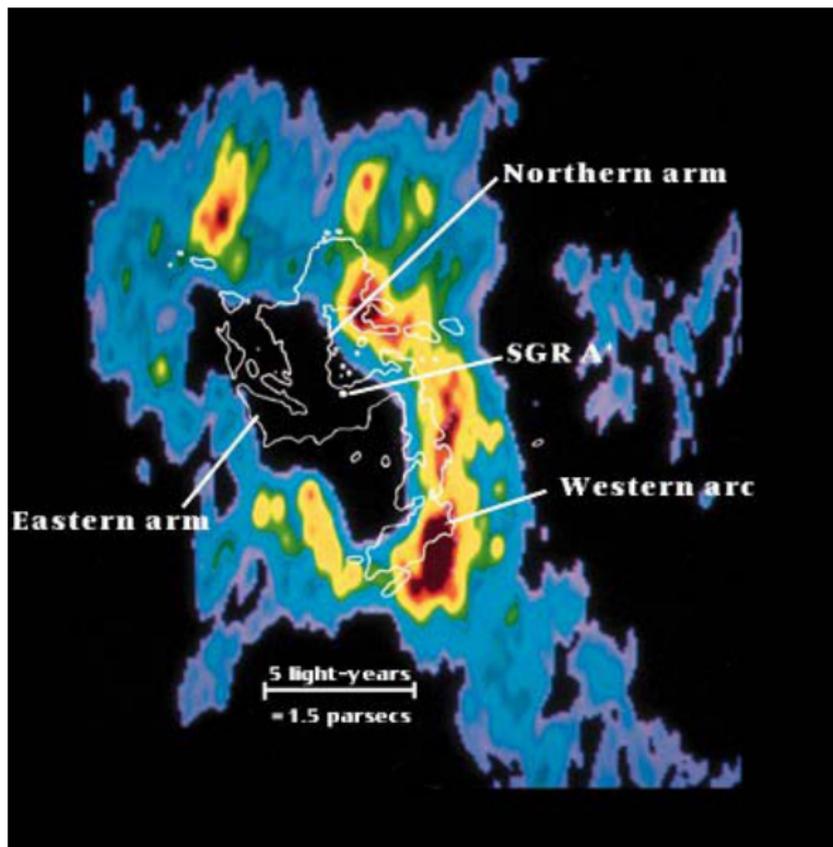
- ▶ ist auch stärkste Radioquelle
- ▶ ca. Vollmond (60 pc Durchmesser)
- ▶ Filamente →
- ▶ Magnetisches Feld

Sgr A



- ▶ innerster Bereich (7 pc)
- ▶ mini-spirale
- ▶ Sgr A*
- ▶ → Zentrum der Milchstraße
- ▶ umgeben von Ring aus Molekülwolken

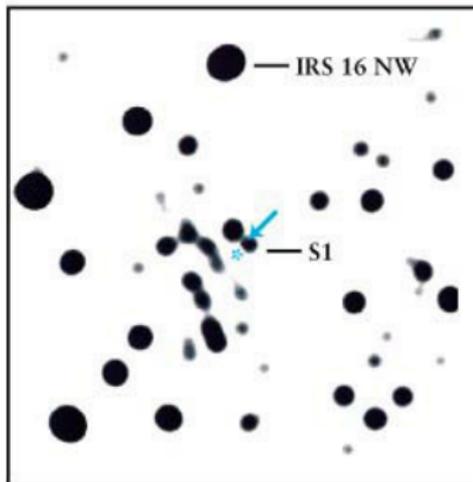
Zentralgebiet



Sgr A*

- ▶ Was ist Sgr A*?
- ▶ beobachte Sterne nahe Zentrum
- ▶ hohe Umlaufgeschwindigkeiten
- ▶ Kepler 3 → Masse des Zentrums
- ▶ → $2.6 \times 10^6 M_{\odot}$
- ▶ → supermassives Schwarzes Loch
- ▶ was anderes passt nicht rein!

Sgr A*



April 1994



April 1996