

# The Galaxy Song

Whenever life gets you down, Mrs. Brown,  
*Wann immer Sie das Leben betrübt, Frau Braun*

And things seem hard or tough,  
*und die Dinge schwer und mühsam scheinen*

And people are stupid, obnoxious or daft,  
*die Leute dumm, unausstehlich oder bescheuert sind*

And you feel that you've had quite eno-o-o-o-ugh...  
*Und sie fühlen, dass Sie eigentlich genug haben...*

Den gesamten Text finden Sie unter <http://www.stefan-haslinger.at/index.php/Astronomie/TheGalaxySong>  
den Song finden Sie unter <http://www.gecdsb.on.ca/d&g/astro/music/galaxy.mp3>

Just remember that you're standing on a planet that's evolving  
*Erinnern Sie Sich, dass Sie auf einem Planeten befinden, der sich bewegt*

and revolving at 900 miles an hour,  
*und dreht mit 1400km/h,*

It's orbiting at 19 miles a second, so it's reckoned,  
*Er dreht sich mit 30 km/s - das wurde ausgerechnet -*

the sun that is the source of all our power.  
*um die Sonne, die Quelle aller unserer Kraft ist.*

The Sun and you and me, and all the stars that we can see,  
*Die Sonne und Sie und ich und all die Sterne, die wir sehen können*

are moving at a million miles a day,  
*bewegen sich mit 1,6 Millionen Kilometer pro Tag*

In the outer spiral arm, at 40,000 miles an hour,  
*im äußeren Spiralarm, mit 64 000 Kilometern pro Stunde*

of the Galaxy we call the Milky Way.  
*der Galaxie, die wir die Milchstraße nennen.*

Our Galaxy itself contains 100 billion stars,  
*Unsere Galaxie beinhaltet selbst 100 Milliarden Sterne,*

it's 100,000 light-years side-to-side,  
*sie misst von einem Rand zum anderen 100 000 Lichtjahre,*

It bulges in the middle, 16 000 light-years thick,  
*sie wölbt sich in der Mitte, 16 000 Lichtjahre dick,*

but out by us it's just 3 000 light-years wide.  
*bei uns hier draußen, ist sie nur 3 000 Lichtjahre breit.*

We're 30,000 light-years from galactic central point,  
*Wir sind 30 000 Lichtjahre vom galaktischen Zentrum,*

we go round every 200 million years,  
*das wir in 200 Millionen Jahren umrunden.*

And our galaxy is only one of millions of billions  
*Und unsere Galaxie ist nur eine von Millionen Milliarden*

in this amazing and expanding universe.  
*in diesem wunderbaren und sich ausdehnenden Universum.*

The universe itself keeps on expanding and expanding,  
*Das Universum selbst dehnt sich immer weiter aus,*

in all of the directions it can whizz,  
*in alle Richtungen, in die es nur sausen kann.*

As fast as it can go, at the speed of light you know,  
*So schnell wie es nur kann, mit Lichtgeschwindigkeit wie Sie wissen,*

twelve million miles a minute, and that's the fastest speed there is.  
*19 Millionen Kilometer pro Minute, und das ist das Schnellstmögliche.*

So remember, when you're feeling very small and insecure,  
*So erinnern Sie sich daran, wenn Sie sich sehr klein und unsicher fühlen,*

how amazingly unlikely is your birth,  
*wie unglaublich unwahrscheinlich Ihre Geburt ist.*

Pray that there's intelligent life somewhere up in space,  
*Beten Sie, dass es da oben im Raum irgendwo intelligentes Leben gibt,*

because there's bugger all down here on Earth.  
*denn hier auf der Erde gibt es rein gar keines.*

# Willkommen zum Kurs ‚Die Milchstraße‘

## Termine

14.3., 4.4., 11.4., 18.4., 25.4., 2.5., 9.5.

jeweils von 19.30 bis 21.30 an der Kuffner Sternwarte

davon 1 Beobachtungstermin, wird ab 11.4. je nach Witterung versucht

einmal EDV-Workshop, geplant am letzten Termin

8. Termin : am Planetarium Wien, Oswald Thomas Platz 1 (neben dem Riesenrad)

# einige Infos ...

## Bus

146B Richtung Ottakring: 21.38 22.08

51A Richtung Hietzing / Kennedybrücke: 21.37 21.51 22.06

## Ihr Kursleiter

Stefan Haslinger, [stefan.haslinger@kuffner.ac.at](mailto:stefan.haslinger@kuffner.ac.at)

## Die Webseite zum Kurs

<http://astronomie.stefan-haslinger.at>

## Schriftliche Unterlagen

parallel zum Kurs, Datenträger ist in Arbeit



# Form des Kurses

Unterbrechen Sie! - Stellen Sie Fragen!

Was bringt Sie in diesen Kurs?

Was sind Ihre Vorbildung, Erwartungen, Vorstellungen. Der Kurs soll an die Kenntnisse der Teilnehmer angepasst werden. Vielleicht erzählen Sie mir in der Pause etwas...

Wünsche, Anregungen, Beschwerden...

Je früher sie ausgesprochen werden, desto eher können sie erfüllt werden.

Sonstiges

Größenangaben sind naturwissenschaftlich aufzufassen, d.h. der reale Wert unterscheidet sich vom angegebenen um höchstens 0,5 in der letzten signifikanten Stelle.

Viele Angaben sind geschätzt und werden sich in der Zukunft ändern. Die Astronomie ist eine noch sehr dynamische Wissenschaft!

# Quellen

Angewiesenheit auf die Quellen

Plausibilitätsüberprüfung durch Einbau in das eigene Wissen

sehr eingeschränkter Beobachtungsort

Vergleich: Sie stehen mit einem Ball im Wienerwald...

Literatur und Internet als günstige Quellen

umfangreiche Literaturliste

<http://www.stefan-haslinger.at/index.php/Astronomie/LiteraturListe>  
und im Anhang

ein paar Bücher zur Ansicht

physikalisch

Elektromagnetismus und Gravitation als interessante  
Wechselwirkungen



# Modellcharakter

Naturwissenschaftler beschreiben die Wirklichkeit mit Hilfe von Modellen und Theorien

Modell

(etwa der Bewegung Milchstraße) baut auf Theorien (etwa der Gravitation) auf

Experimente (eingeschränkt) und Beobachtungen werden durchgeführt und mit den Modellen verglichen

Zusammenhang Modell  $\leftarrow$   $\rightarrow$  Wirklichkeit

wird oft vernachlässigt

Philosophische und wissenschaftstheoretische Fragestellungen

Bsp.: Hohlwelttheorie

# Modell der Milchstraße steigender Komplexizität

- 100 Milliarden Sterne
- Frisbee
- Spiegelei
- wird fortgesetzt ...

# Fehler

Schreibfehler und Rechenfehler

Fehler in Zitierungen

systematische Fehler in Modellen

asymptotische Richtigkeit möglich - Relativitätstheorie

Messfehler bei Beobachtungen

etwa durch Statistik / Apparat / Physik

Astronomie ist eine Wissenschaft, bei der durchaus wesentliche Änderungen im Weltbild noch möglich sind → es bleibt spannend.

Werfen Sie doch einen Blick zum 'Astronomy Picture of the day':

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

# Zahlen, Daten und Fakten

Galaxien-Typ nach Hubble: Sb (-Sb+) I-II

Helligkeit:  $-20,5^m$

B-V: 0,84



Quelle: Astronomy Picture of the day - zwei kollidierende Gallaxien:

[http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0503/ngc1532\\_gemini\\_big.jpg](http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0503/ngc1532_gemini_big.jpg)

# Helligkeit

Von Ptolemäus eingeführt, steht die Bestimmung der Helligkeit heute auf einem soliden mathematischen Fundament.

Ursprünglich war definiert, dass eine Helligkeitsdifferenz von 1 noch gut optisch wahrgenommen werden sollte, ein Stern der 6. Größenklasse gerade noch sichtbar sein sollte.

Die wahrgenommene Helligkeitsdifferenz ist physiologisch bedingt proportional dem Logarithmus des Quotienten der Intensität der Quellen.

$$m_2 - m_1 \sim \log (I_1 / I_2 )$$

Das bedeutet, dass ein Stern, der um eine Größenklasse heller ist, eine um etwa einen Faktor 1,5 größere Helligkeit aufweist.

Untersuchungen des Almagest haben gezeigt, dass Sterne der 6. Größenklasse um einen Faktor 100 dunkler sind als jene der ersten.

$$m_2 - m_1 = 2,5 \cdot \log (I_1 / I_2 )$$

# nochmals: und verständlicher

Die Helligkeit eines Objektes hängt von der Entfernung des Beobachters ab. Um Objekte in ihrer absoluten Helligkeit zu vergleichen, normiert man daher auf eine Entfernung von 10 pc.

## Zum Vergleich

Die Helligkeit der Sonne beträgt  $-26^m,73$ , die des Mondes  $-12^m,7$ . Die Sonne hätte in einer Entfernung von 10 pc eine Helligkeit von  $4^m,6$ .

Ein guter Eindruck der Anzahl der Sterne ergibt sich durch die Einblendung der Sterne bis zu einer Grenzhelligkeit in einem Planetariumsprogramm wie Helo Northern Sky.

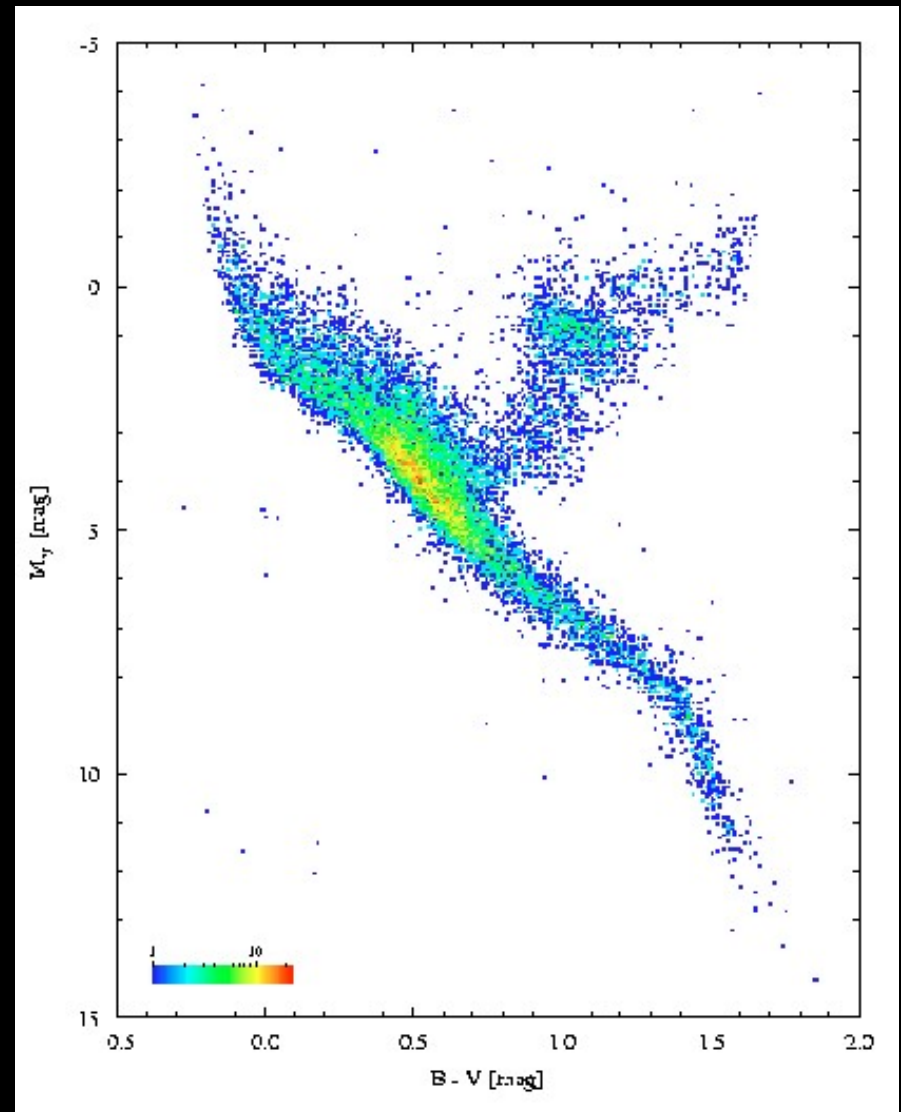
# Der Farbindex

Der Farbindex wird üblicherweise für Sterne angegeben, er misst das Verhältnis zwischen blauem (b) und sichtbarem (visual - v) Licht.

Er ist ein Maß für die Temperatur eines Sterns, heiße Sterne haben Indices um 2, kalte um 0 oder negativ.

Im gezeigten Hertzsprung-Russel Diagramm ist die Farbe ein Maß für die Dichte der Sterne.

Quelle: <http://www.astro.uni-bonn.de/~deboer/sterne/hrdtx.html>



# Ort der Sonne & dynamische Parameter /Teil 1

Entfernung galaktisches Zentrum -  
Sonne: 8,6 kpc (IAU: 8,5 kpc)

Abstand Ebene - Sonne: 14 pc (<20 pc)

auf Bildern oft zu weit außen dargestellt,

Rotationsgeschwindigkeit Sonne:  
222 km/s

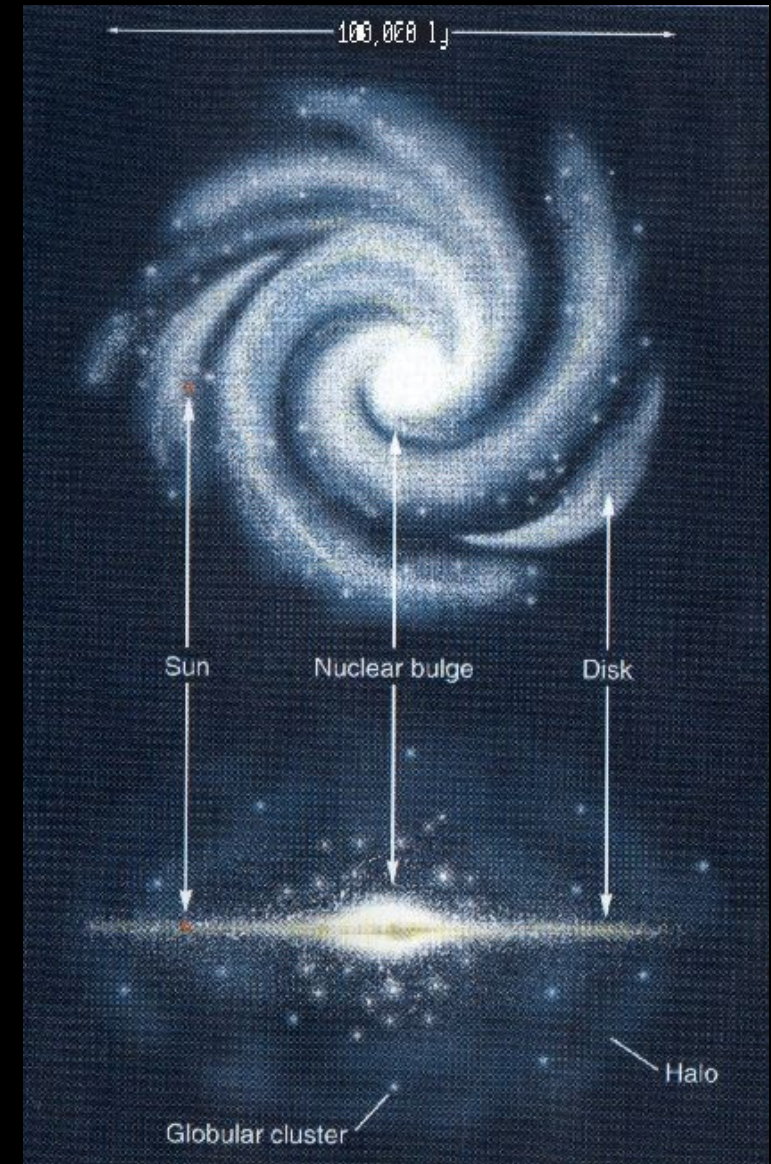
Rotationsdauer Sonne:  $235 \cdot 10^6$  Jahre

z-Geschwindigkeit der Sonne: 7,7 km/s

maximaler Abstand der Sonne von der  
galaktischen Ebene (z): 70 pc

Peridendauer für eine Schwingung in der  
z-Ebene:  $60 \cdot 10^6$  Jahre

Quelle:<http://geophysics.stfx.ca/>





# Das Lichtjahr

Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt.

$$c = 300\,000 \text{ km/s}$$

$$c = 300\,000 * 86400 * 365 \text{ km/Jahr}$$

$$c = 9\,460\,800\,000\,000 \text{ km/Jahr}$$

$$c = 9,4 * 10^{12} \text{ km/Jahr}$$

$$c = 9 \text{ Billionen km/Jahr}$$



Buzz Lightyear

# Fermirechnungen

- Vorstellung solcher gigantischer Zahlen schwierig  
→ sinnvolle Abschätzungen
- Wolkenkratzer: Schätzungen zwischen 10 m und 1 km
- Erdradius: 6 370 km
- Abstand Erde - Mond: 300 000 km  $\sim$  1 s
- Abstand Erde - Sonne: 150 000 000 km = 1 AU  $\sim$  500 s  $\sim$  8 min
- Abstand Erde - Neptun: 5 913 520 000 km  $\sim$  39 AU  $\sim$  19 500 s  $\sim$  325 min  $\sim$  5h



Bildquelle: Enrico Fermi:  
<http://www.rhic.bnl.gov/~nxu/picture/fermi.JPG>

# Das Parsec

1 pc = 1 Parallaxensekunde

Der Radius der Erdbahn wird vom Stern aus unter einem Winkel von 1 Bogensekunde gesehen.

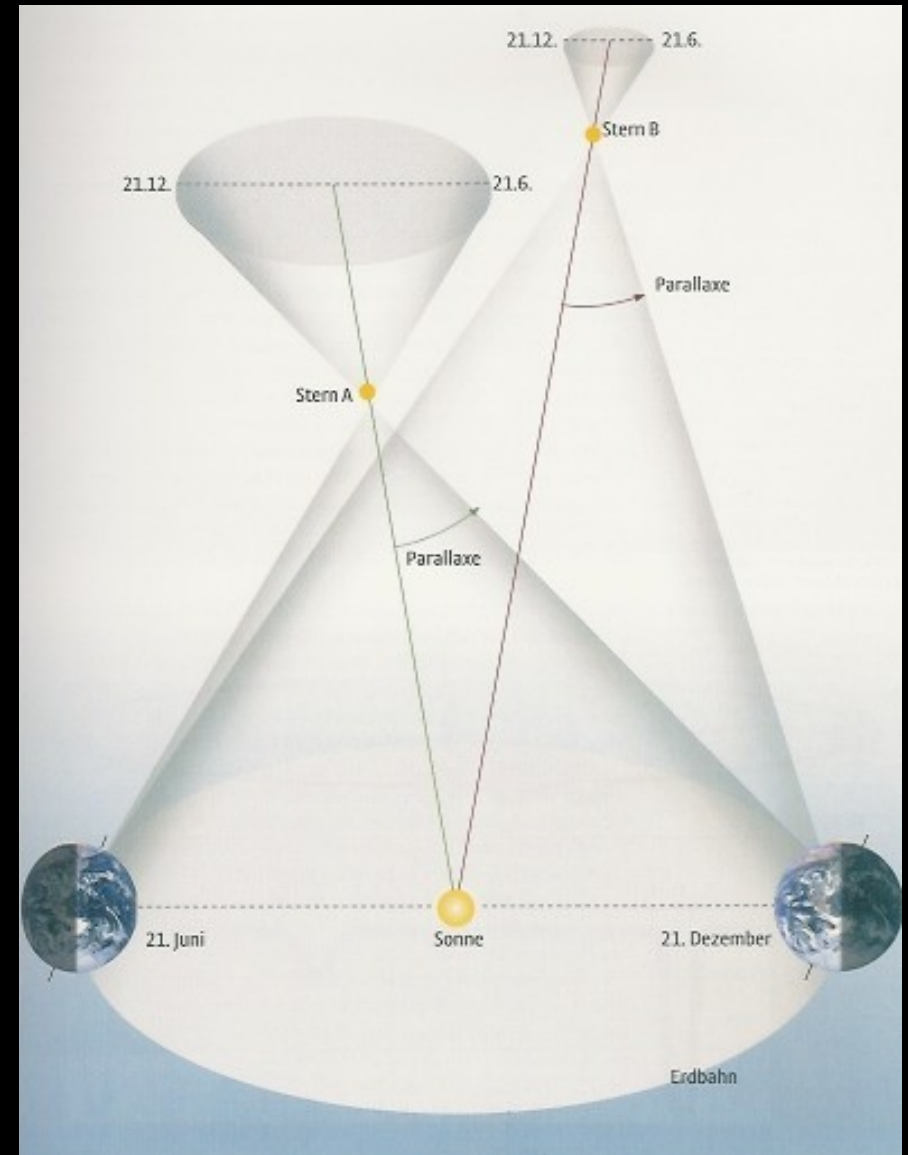
$1^\circ = 60' = 3600''$

Die scheinbare Bewegung des Sterns erfolgt von der Erde aus im gleichen Winkel.

etwas Trigonometrie: 1 parsec = 3,24 Lichtjahre

Ist Ihnen ein prinzipieller Fehler aufgefallen?

Bildquelle:Herrmann/Die Milchstraße



# Ein genaueres Modell

Erweiterung des Spiegeleis:

Scheibe: 5000 ly Dicke = 1500 pc  
100 000 ly Durchmesser = 30 kpc

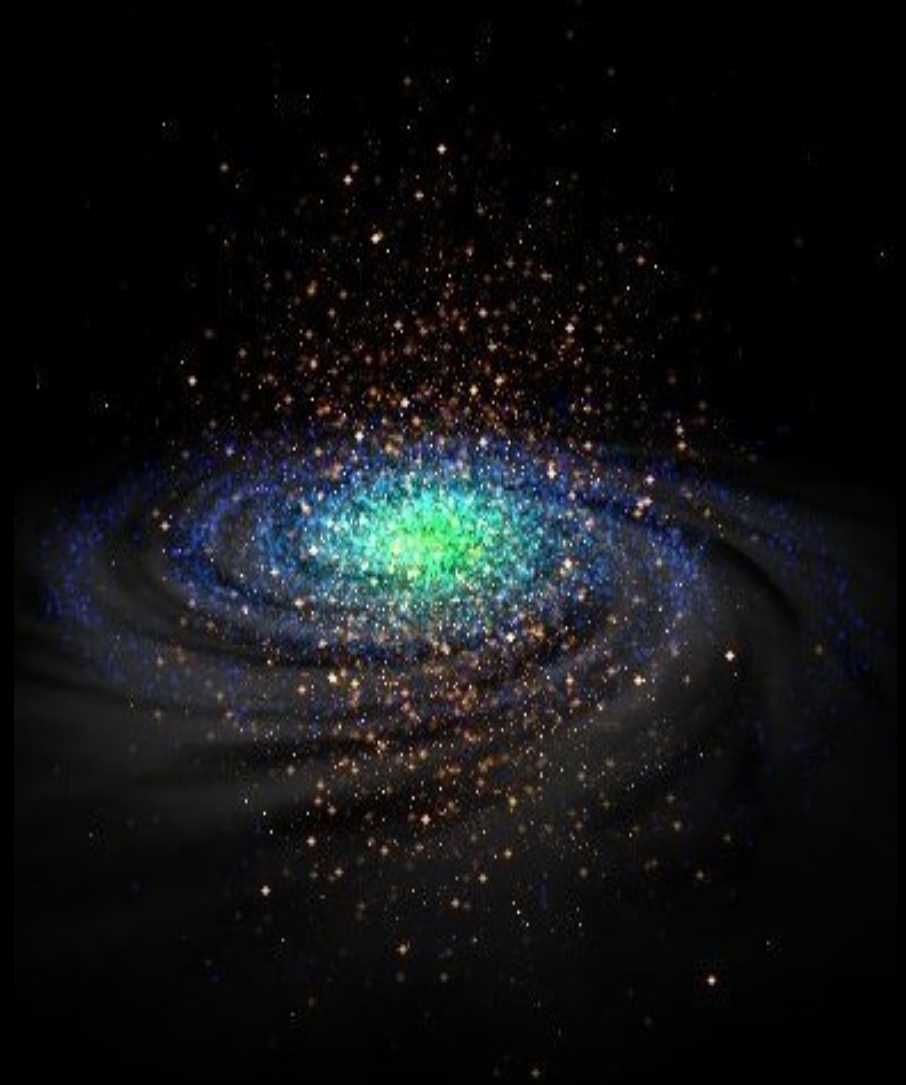
junge Sterne,  
interstellare Materie (blau)

Verdickung im Zentrum:  
20 000 ly Dicke (grün)

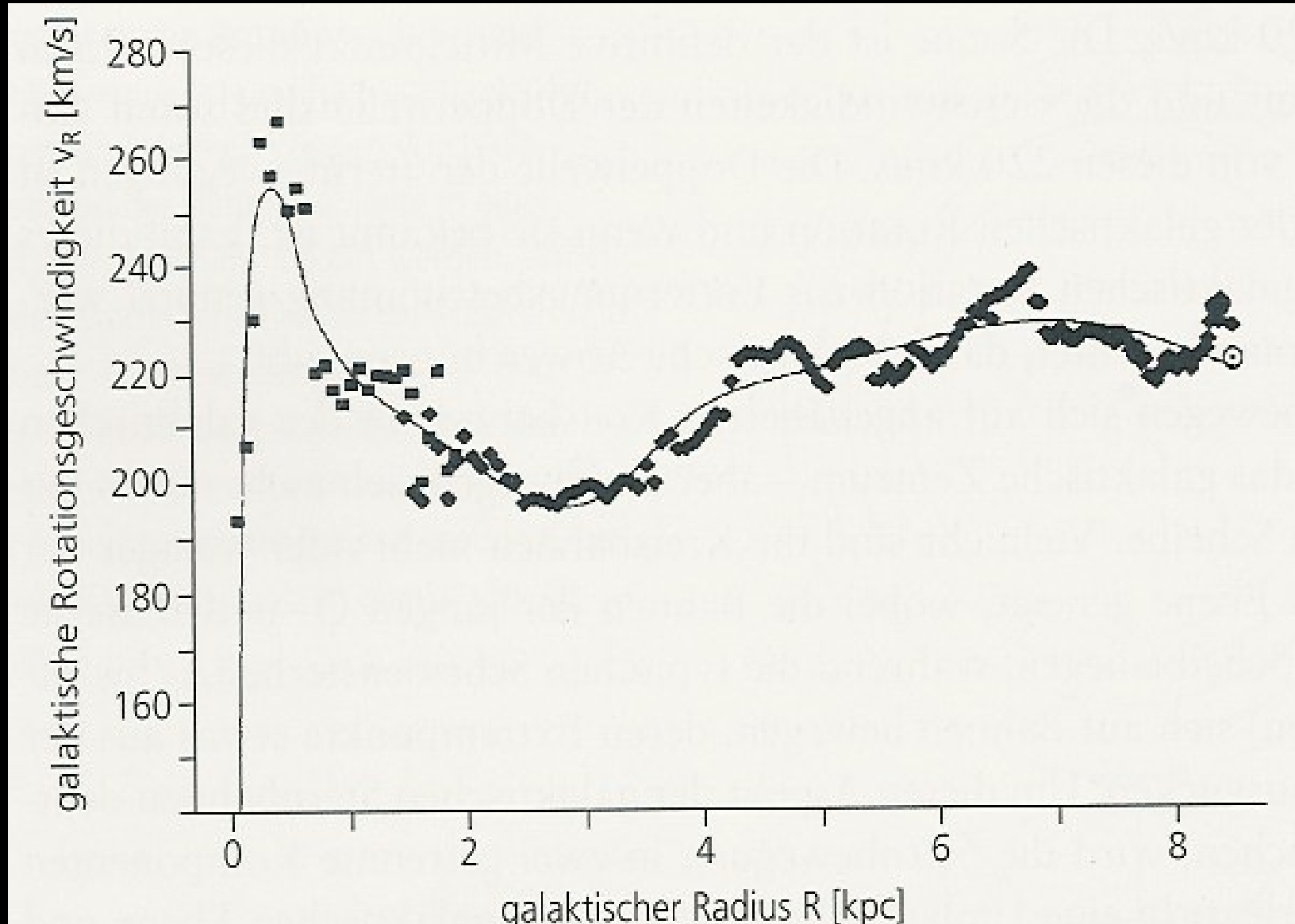
Schwarzes Loch im Zentrum

Spiralstruktur der Scheibe von einer  
Aufwölbung (Bulge) ausgehend

kugelförmiger galaktischer Halo  
umfasst die Scheibe (orange),  
größtenteils Kugelsternhaufen



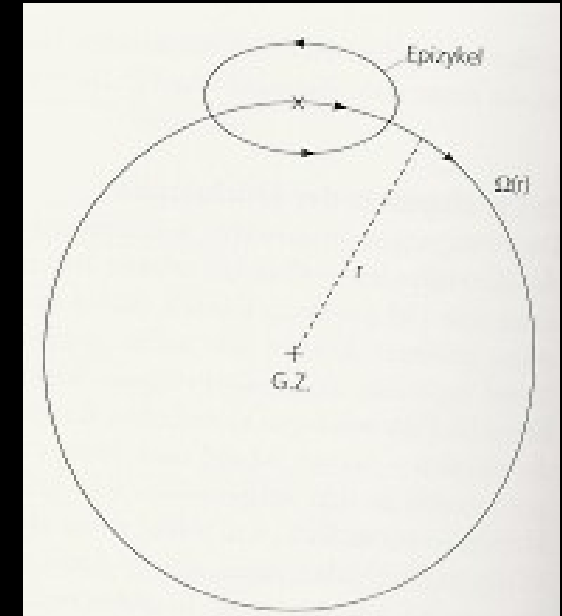
# Rotationsverhalten



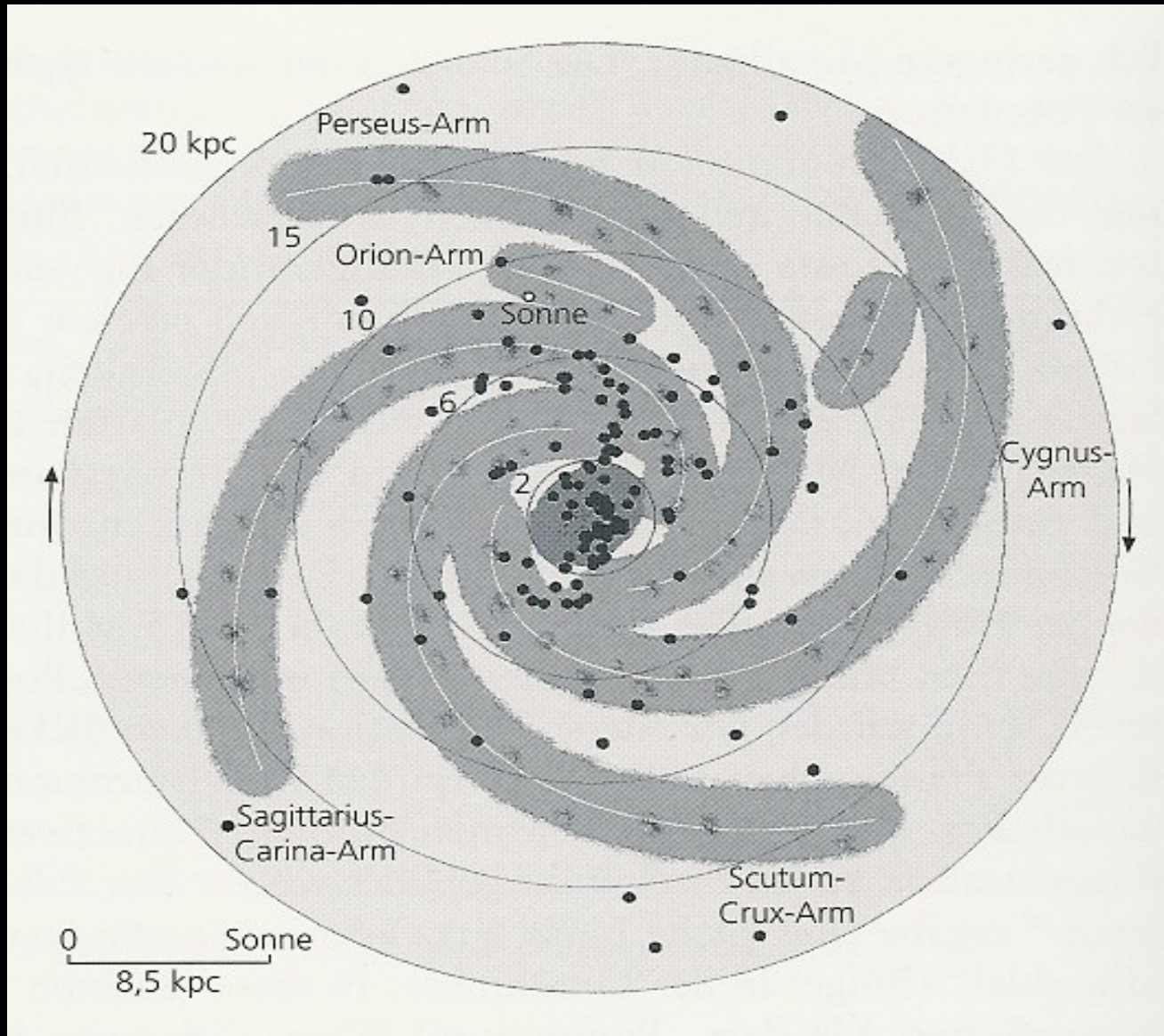
# Die Epizykel

Durch die Inhomogenität des Schwerefeldes bewegen sich Sterne nicht auf Kreisbahnen um das Galaktische Zentrum, sondern auf einer Rosettenbahn, die sich aus der Überlagerung eines Kreises und einer kleineren Ellipse (=Epizykel) erklären lässt.

Diese Bewegung ist also prinzipiell von anderer Ursache als die Epizykelbewegung der Planeten aufgrund der differentiellen Rotation.



# Die Spiralarme



# Zentrum der Milchstraße / stellare Komponente

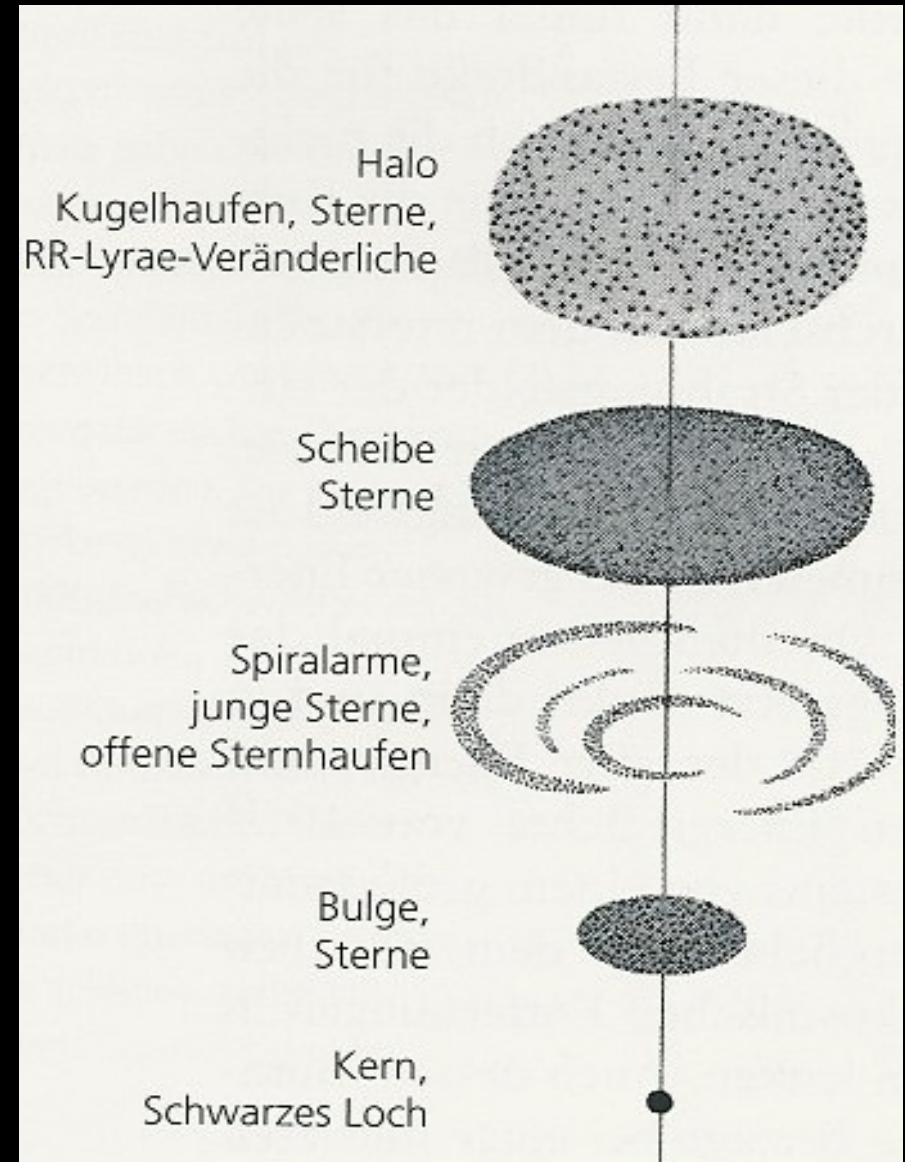
Bulge:  $R < 2,7 \text{ kpc}$   
 $m < 40 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

Zentralgebiet:  $R < 1000 \text{ pc}$   
 $m = 16 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

Kernbereich:  $R < 300 \text{ pc}$   
 $m = 1 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

Nukleus:  $R < 0,1 \text{ pc}$   
 $m = 8 \cdot 10^6 M_{\text{Sonne}}$

Schwarzes Loch:  $R < 0,000 \text{ } 000$   
 $7 \text{ pc } (2 \cdot 10^6 \text{ km})$   
 $m = 2,6 \cdot 10^6 M_{\text{Sonne}}$





# Zentrum der Milchstraße / interstellare Komponente

3-kpc-Arm (HI):

$$R = 3 \text{ kpc}, m = 10^7 M_{\text{Sonne}}$$

135 km/s-Arm (HI):

$$R = 2,4 \text{ kpc}, m = 10^7 M_{\text{Sonne}}$$

Kernscheibe (HI):

$$R < 0,8 \text{ kpc}, m = 1,4 \cdot 10^7 M_{\text{Sonne}}$$

Molekülwolkenring (z.B. Sgr B2):

$$R = 0,3 \text{ kpc}, m = 10^8 M_{\text{Sonne}}$$

HII-Region im Zentrum (Sgr A):

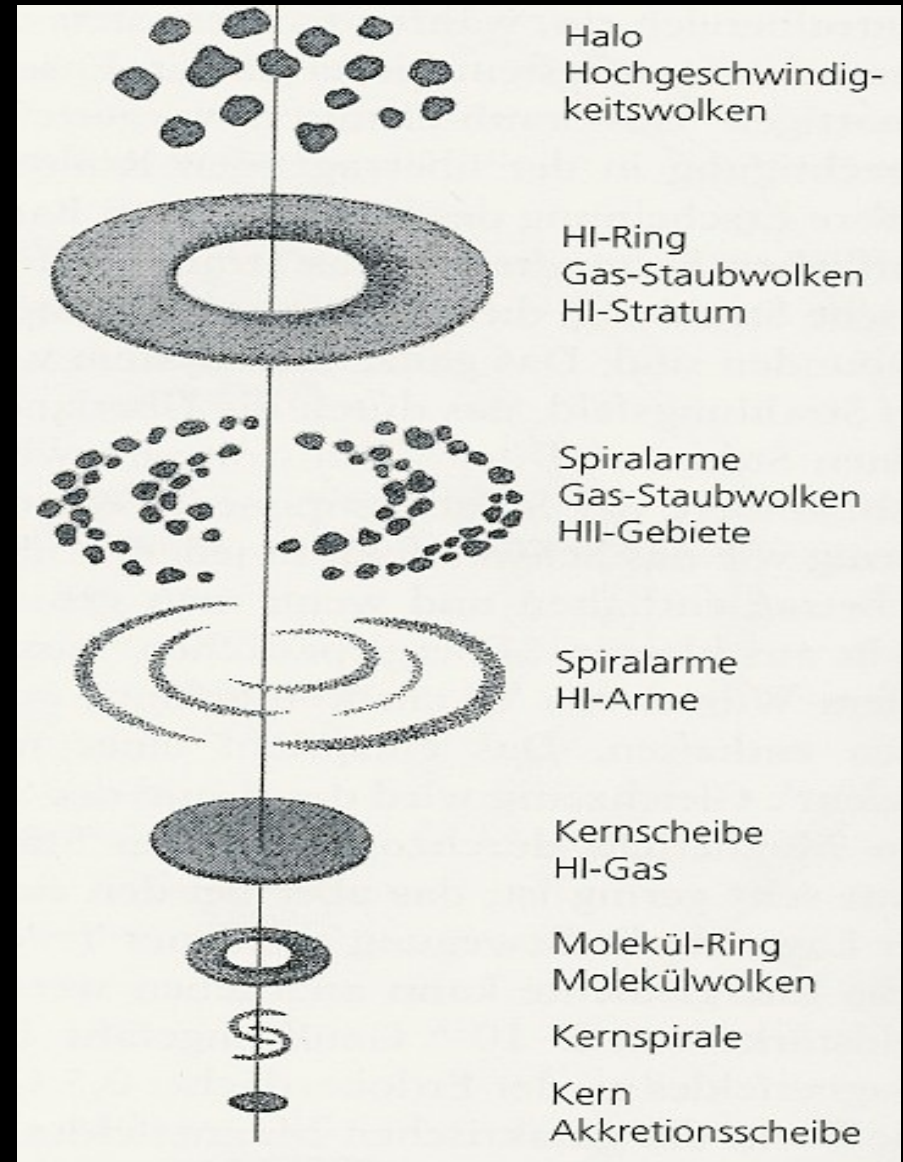
$$R < 0,2 \text{ kpc}, m = 10^6 M_{\text{Sonne}}$$

Kernspirale, dreiarmig:

$$R < 150 \text{ pc}$$

Akkretionsscheibe (Sgr A\*):

$$R < 0,000\,001\,3 \text{ pc}$$



# nur für Statistiker / Teil 1

## Aus Kühn/Das Milchstraßensystem

### Systemparameter

Galaxien Typ nach Hubble: Sb (-Sb+) I-II  
Nach de Vaucouleur: SAB (rs) bcII

### Mittlere Energiedichten

Sternlicht (alle Spektralbereiche):  $0,7 \cdot 10^{-13} \text{ J/m}^3$

Kosmische Strahlung:  $2 \cdot 10^{-13} \text{ J/m}^3$

Magnetfeld:  $2 \cdot 10^{-13} \text{ J/m}^3$

turbulente Gaskinetik:  $0,5 \cdot 10^{-13} \text{ J/m}^3$

Helligkeit:  $-20,5^m$

B-V: 0,84

Gesamtmasse (dynamisch):  $1,8 \cdot 10^{11} M_{\text{Sonne}}$

Stellare (leuchtende) Masse:  $5-12 \cdot 10^{10} M_{\text{Sonne}}$

Masse des Interstellaren Gases:  $8 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

Gravitative Masse:  $22 \cdot 10^{10} M_{\text{Sonne}}$

Gasmasse / Staubmasse: 0,01

### Integrale Parameter

Magnetfeld:  $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Gauß}$

Erdmagnetfeld:  $3-6 \cdot 10^{-5} \text{ Gauß}$

Masse-Leuchtkraft-Verhältnis:  $\sim 10$

nach anderer Quelle:  $70 \pm 20$

andere Galaxien: 10-80

Holmberg Durchmesser (Isofote = Fläche gleicher Flächenhelligkeit bei 26,5):

34 kpc

Innerhalb des Holmberg-Radius wird der überwiegende Teil der Helligkeit abgestrahlt.

### Ort Der Sonne

Oort'sche Rotationskonstante A:

16,9 km/s/kpc

Oort'sche Rotationskonstante B:

-9,0 km/s/kpc

Sonnenapex:  $l = 56,2^\circ$ ;  $b = 23,9^\circ$

$\alpha = 17^h 48^m$ ;  $\delta = +28^\circ 06'$

Der Apex ist der Punkt am Sternenhimmel, auf den sich unsere Sonne mit ihren Planeten mit 20 km/s relativ zu den Nachbarsternen bewegt. Er liegt in der Nähe des Sterns Vega.

# Statistik / Teil 2

## Ort der Sonne & dynamische Parameter

local standard of rest (Standard, alle benachbarten Sterne): 20 km/s

basic solar motion (maximale Geschwindigkeit naher Sterne): 15,4 km/s

u, v, w - Geschwindigkeit: -9 km/s, 12 km/s, 7 km/s

lokale Entweichgeschwindigkeit: 573,5 km/s

pekuliäre Sonnenbewegung (asymmetrische Drift): 16,6 km/s

Sterndichte in der Sonnenumgebung:  
 $0,06-0,1 M_{\text{Sonne}}/\text{pc}^3$  ( $\sim 0,15$  Sterne/ $\text{pc}^3$ )

Massendichte in der Sonnenumgebung:  
 $0,15 M_{\text{Sonne}}/\text{pc}^3$

## Spiralstruktur

Epizykelfrequenz der Sonne:  $1,94 \cdot 10^6$  Jahre

Epizykelradius 0,6 kpc

Rotation des Spiralusters: 125 km/s

Spiralarmdurchmesser 1 kpc

Anstellwinkel der Spiralarme zweiarmig:  $13,7^\circ$

innere Lindblad-Resonanz: 3,2 kpc

Korotationskreis: 15,8 kpc

äußere Lindblad-Resonanz: 21 kpc

## Galaktische Scheibe

Durchmesser fotometrisch - Isofote  $M_b = 25^m$ : 23 kpc

Durchmesser, neutraler Wasserstoff HI: 35 kpc

Dicke der dünnen Scheibe (Gasschicht): 250 pc

Dicke der dicken Scheibe: 4,5 kpc

Masse der Sterne innerhalb der Sonnenbahn:  $7 \cdot 10^{10} M_{\text{Sonne}}$

Zahl der Sterne innerhalb der Sonnenbahn:  $> 10 \cdot 10^{10}$

Masse der interstellaren Materie:  $5 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

Masse des neutralen Wasserstoffes HI:  $4 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

Masse  $H_2$ -Wolken:  $1 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

# Statistik / Teil 3

## Zahl Der Objekte

alle Angaben für die galaktischen Scheibe

Zahl der Molekülwolken:  $> 2\ 000$

Zahl der offenen Sternhaufen (geschätzt / beobachtet):  $15\ 000 / 1\ 039$

geschätzte Zahl O-Sterne:  $55\ 000$

Riesensterne:  $1,2 \cdot 10^9$

Weißer Zwerge:  $15 \cdot 10^9$

Neutronensterne:  $40 \cdot 10^6$

Schwarze Löcher:  $50 \cdot 10^6$

Planetarische Nebel:  $50\ 000$

beobachtete Supernova-Reste:  $155$

historische Supernovae:  $7$

Pulsare (geschätzt / beobachtet):  
 $500\ 000 / 1\ 000$

## Galaktischer Bulge

Ausdehnung:  $r < 2,7\ \text{kpc}$

Masse:  $10\text{--}40 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

Zahl der Sterne:  $> 50 \cdot 10^9$

Masse der interstellaren Materie:  $10^9 M_{\text{Sonne}}$

Abplattung  $\sqrt{1-e^2} = 0,7$

Breite zu Länge aus Infrarot Messungen:  $0,3$

## Galaktischer Halo

größter Durchmesser:  $70\ \text{kpc}$

Zahl der Kugelhaufen (geschätzt / beobachtet):  
 $300\text{--}2000 / 154$

Zahl der RR-Lyrae-Sterne:  $130\ 000$

Masse (stellar + Interstellar):  $4 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$

Alter:  $13 \cdot 10^9$  Jahre

Metallizität  $\log(\text{Fe} / \text{H}) < -1$

Abplattung  $b = 0,7$

# Statistik / Teil 4

## Koma

gravitative Masse:  $40 \cdot 10^{11} M_{\text{Sonne}}$

Durchmesser: 160 kpc

Mitglieder: Magellan'sche Wolken,  
Magellan'scher Strom, andere Zwerg-Galaxien

## Verschiedenes

Sternentstehungsrate: 5–6 Sterne/Jahr =  
 $2\text{--}4 M_{\text{Sonne}}/\text{Jahr}$

Anteil Doppelsterne: 57%

Chemie der Sonne nach dem Standardmodell:  
 $X = 0,705$ ;  $Y = 0,2752$ ;  $Z = 0,020$

Supernova-Rate: 0,02 /Jahr

Absorbtion Sonne - galaktisches Zentrum:  $23^m$



Bilquelle: Supernova Überrest M1:  
<http://www.allthesky.com/nebulae/big/m1-b.jpg>