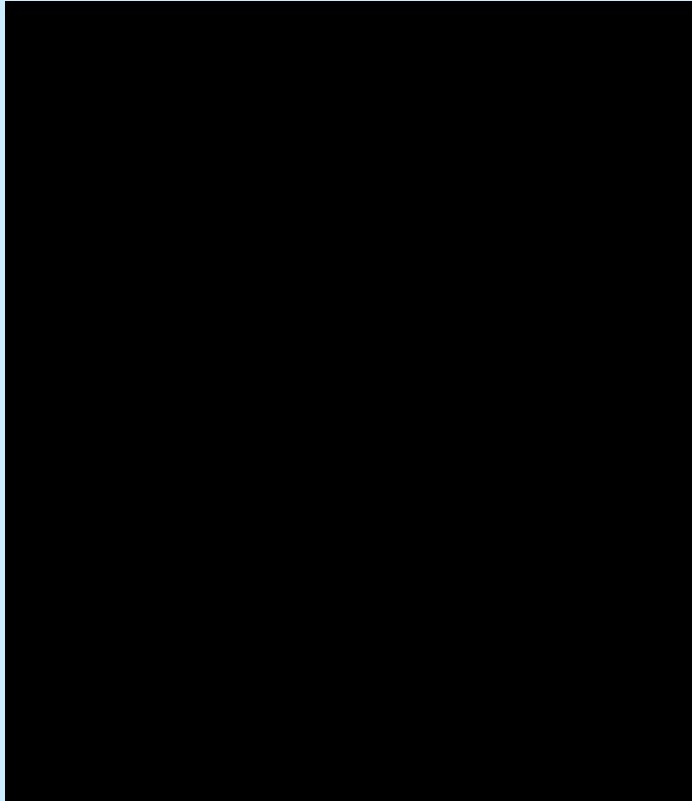


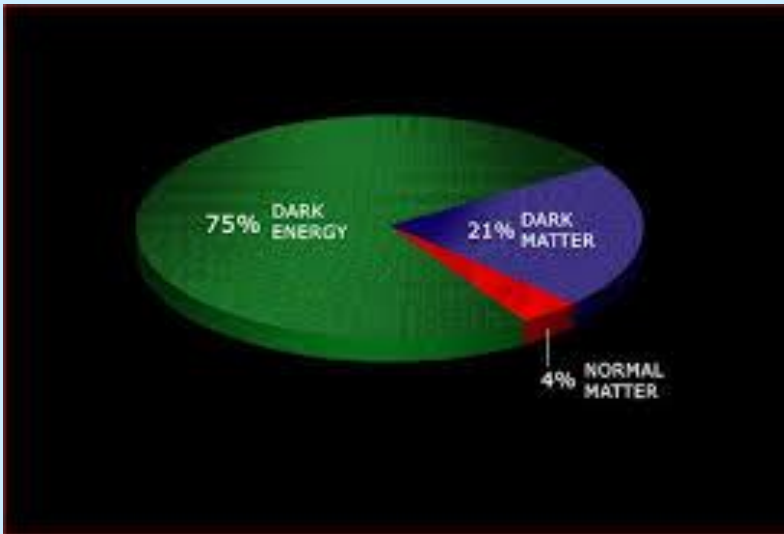
Dunkle Materie in der galaktischen Sonnenumgebung? Wie man die Materiedichte in der Milchstraßenebene bestimmt.





M22

Etwas zur Klarstellung...



- „Normal Matter“ – baryonisch, auch die dunklen Wasserstoffwolken, Planeten usw.



Dunkle Materie in der Sonnenumgebung?

Wie man die Materiedichte in der Milchstraßenscheibe bestimmt.

Gliederung

- Einführung

- Einführung – Warum man die Existenz dunkler Materie vermutet
- Modellvorstellungen – Wie man sich den Bau der und die Bewegung in der Galaxis denkt
- Analogien – Auf welche Weise man sich die galaktische Dichtemessung verdeutlichen kann
- Methoden – Wie man die Sternbewegung und die Sternverteilung erforscht
- Resultate
- Ausblick

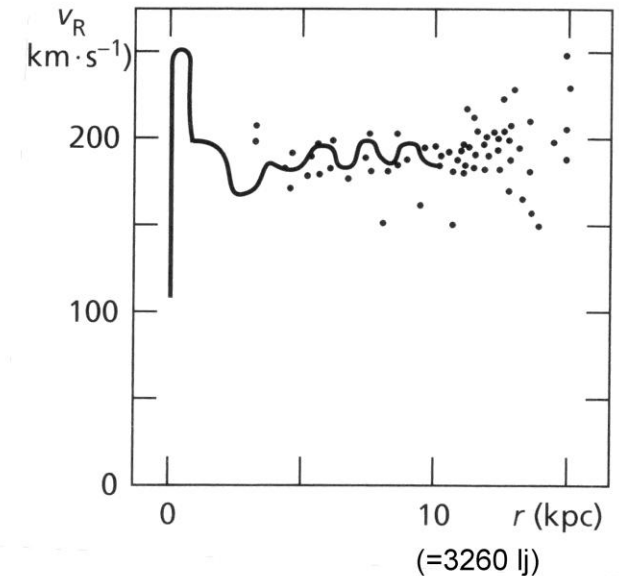
Φ

Systeme von Himmelskörpern zeigen ein ungewöhnliches dynamisches Verhalten, zum Beispiel:

rotieren Spiralgalaxien nicht so, wie man es nach dem 3. Keplerschen Gesetz erwarten würde...

Gliederung

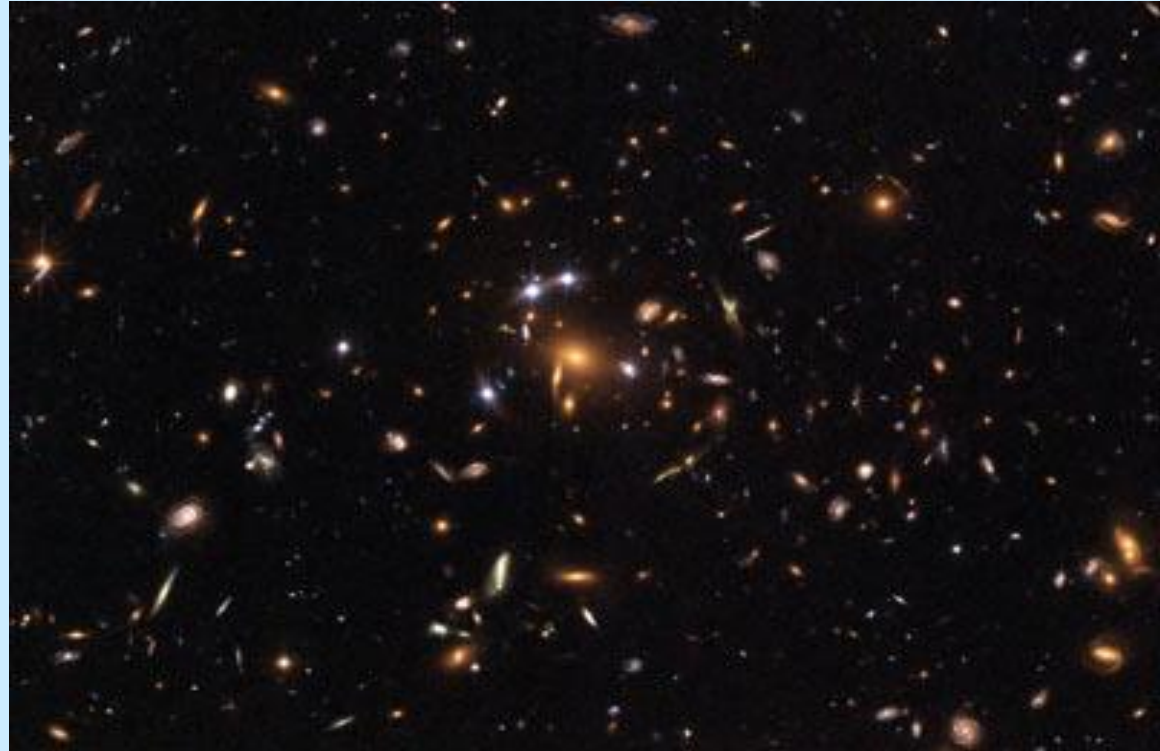
- Einführung



NGC 3079

Φ

Die in Galaxienhaufen sichtbare Masse ist zu gering, um die Einzelobjekte dauerhaft zu binden ...

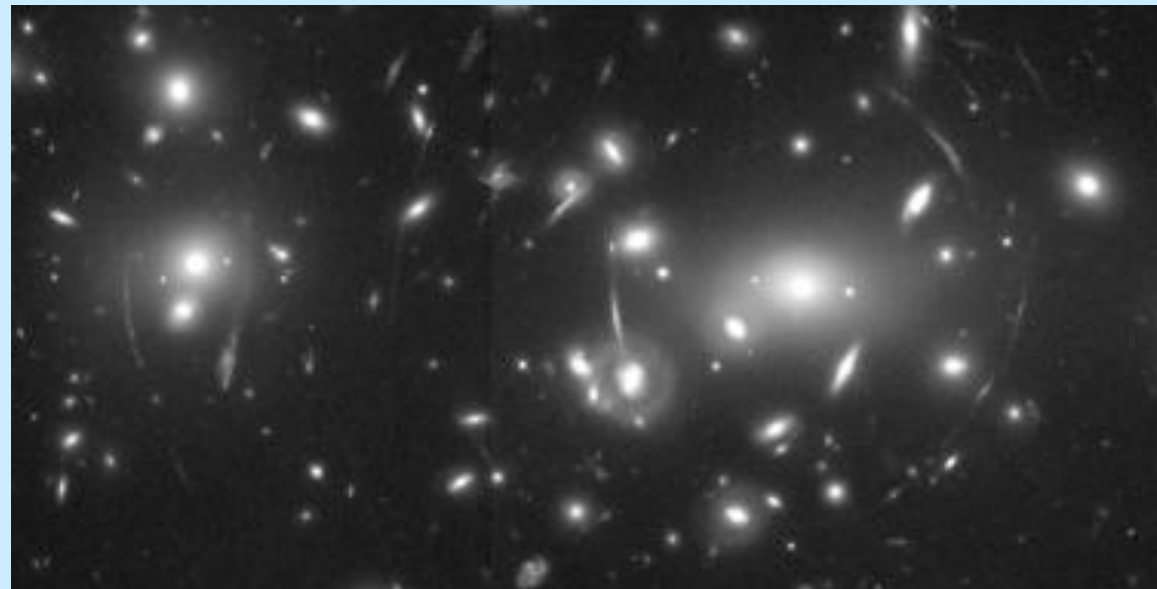
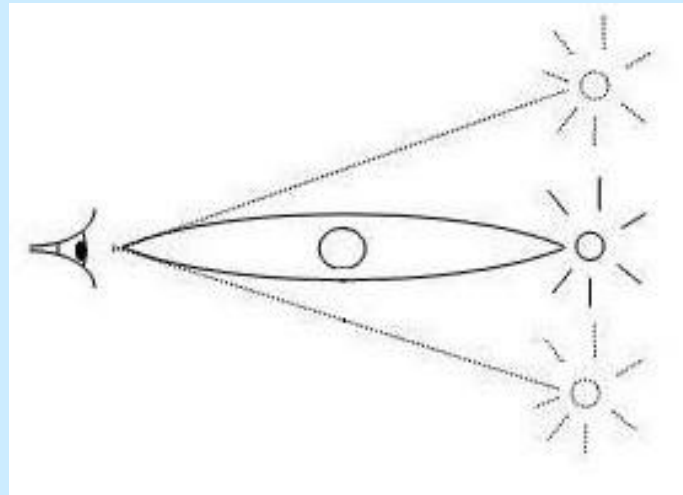


Gliederung

- Einführung

Φ

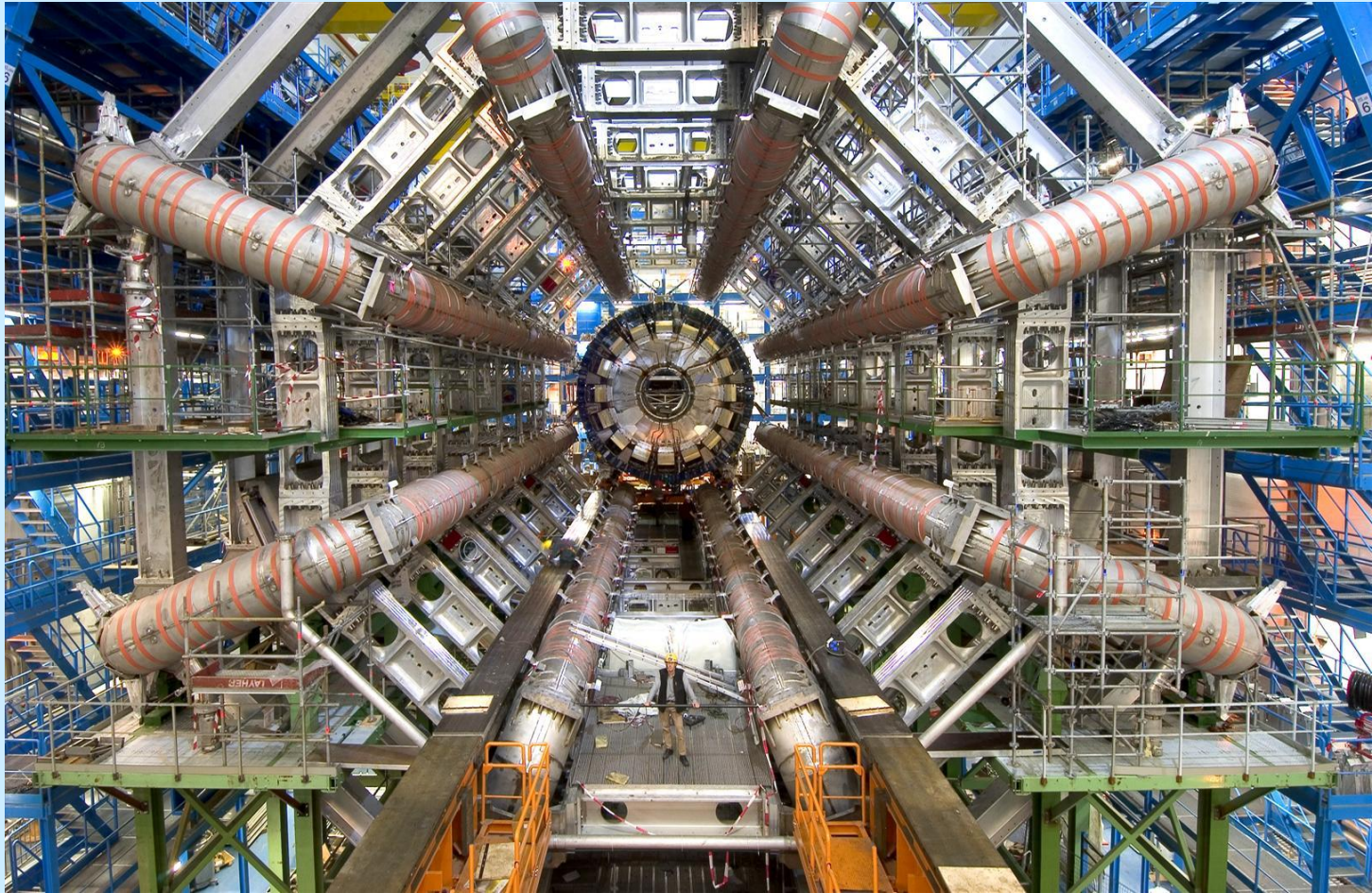
Die sichtbare Masse reicht nicht zur Erklärung der beobachteten Gravitationslinsen aus...



Gliederung

Einführung

Und am LHC? Das bleibt fraglich...



http://www.weltmaschine.de/sites/site_weltmaschine/content/e161/e163/e678/0511013_01-A4-at-144-dpi.jpg

Φ

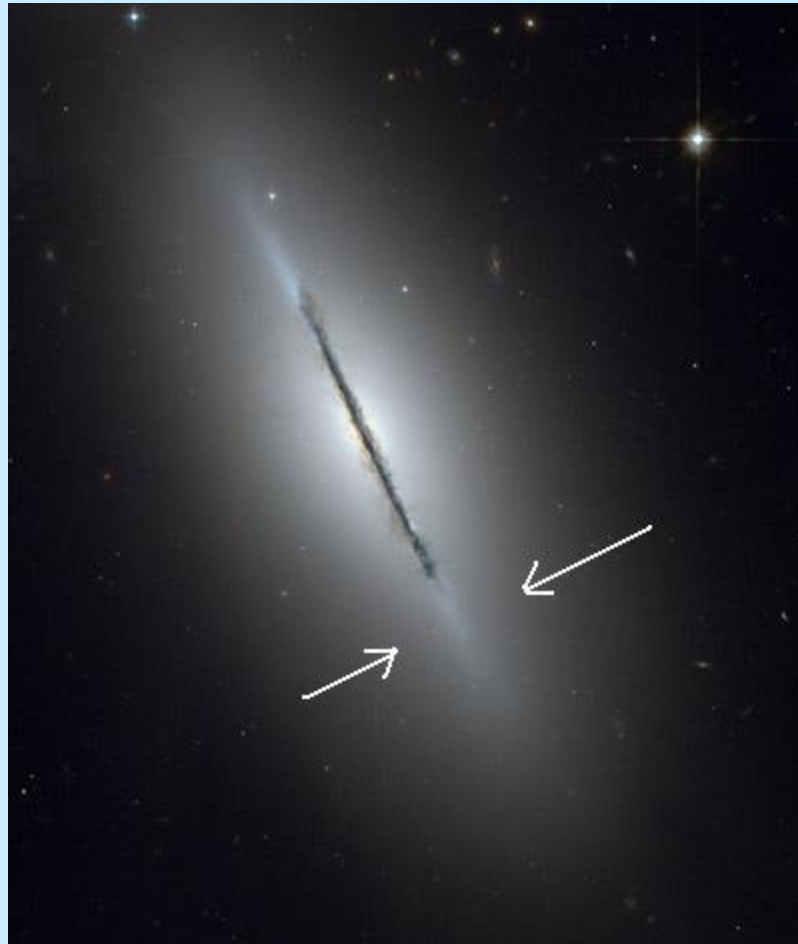
Gliederung
Modelle



\varnothing : 100000 lj

Sonne – galaktische Mitte: 30000 lj

Φ



NGC8866

Scheibendicke in Sonnenumgebung: 3000 lj

Die Sonne liegt fast in der Hauptscheibenebene.

Gliederung

Modelle

Φ



NGC4622

Gliederung

Modelle

$v=220 \text{ kms}^{-1}$

$T=250 \text{ Millionen Jahre}$

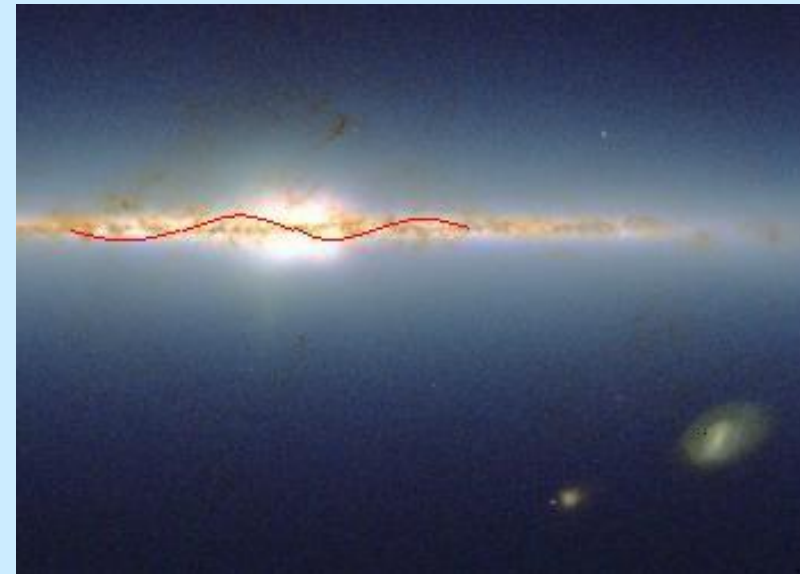
Φ



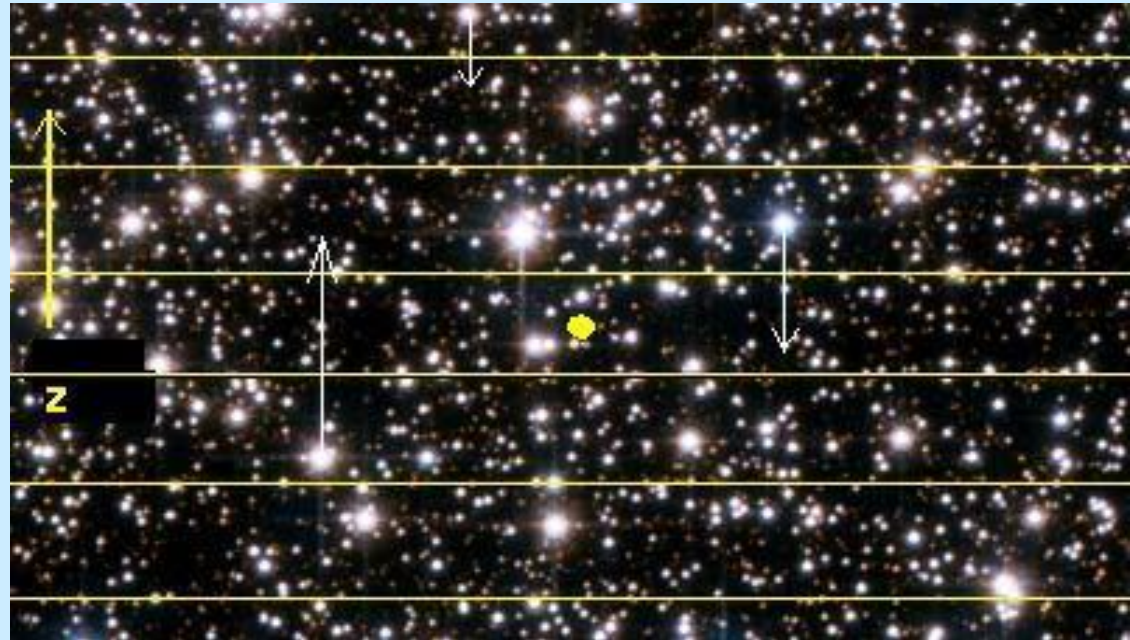
Neue Erkenntnisse zur Galaxienbildung verkomplizieren dieses Bild, stellen aber die prinzipielle Gültigkeit nicht infrage.

Gliederung

Modelle



Φ



Gliederung
Modelle

Φ

Das Problem:

Massenbestimmungen beruhen auf dem Gravitationsgesetz:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

Für die Gravitationsbeschleunigung gilt:

$$b = G \frac{M}{r^2}$$

Um M zu bestimmen, könnte man einfach r und b messen, aber

$$b = \frac{dv}{dt}$$

und nur in wenigen Fällen kann man in der Astronomie **Änderungen** von v feststellen.

Gliederung

Analogie-
betrachtungen

Φ

$$dM = \Phi \cdot 2\pi a \cdot da$$

$$a = z \cdot \tan \alpha$$

$$da = z \frac{1}{\cos^2 \alpha} d\alpha$$

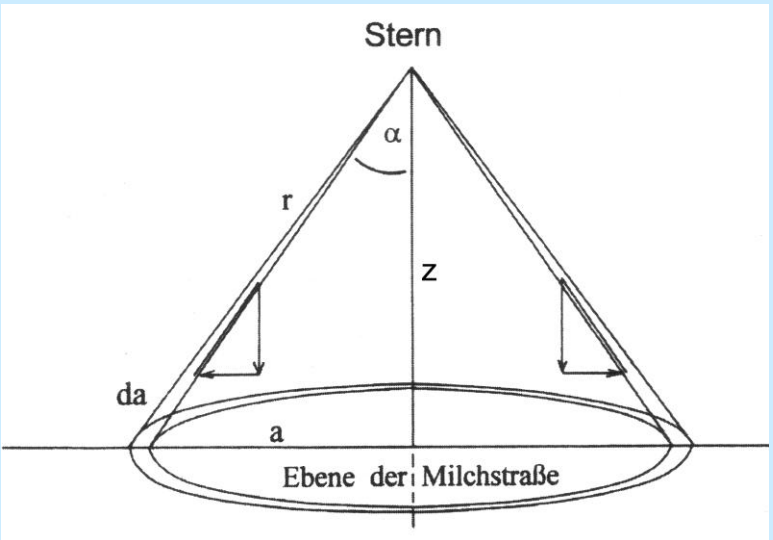
$$r = \frac{z}{\cos \alpha}$$

$$db = G \cdot dM \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \cos \alpha$$

$$db = G \cdot (2\pi\Phi z^2 \tan \alpha \cdot d\alpha \frac{1}{\cos^2 \alpha}) \cdot (\frac{\cos^2 \alpha}{z^2}) \cdot \cos \alpha$$

$$db = 2\pi G\Phi \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = c \sin \alpha \cdot d\alpha$$

$$b = \int_0^{90^\circ} c \sin \alpha d\alpha = 2\pi G\Phi$$



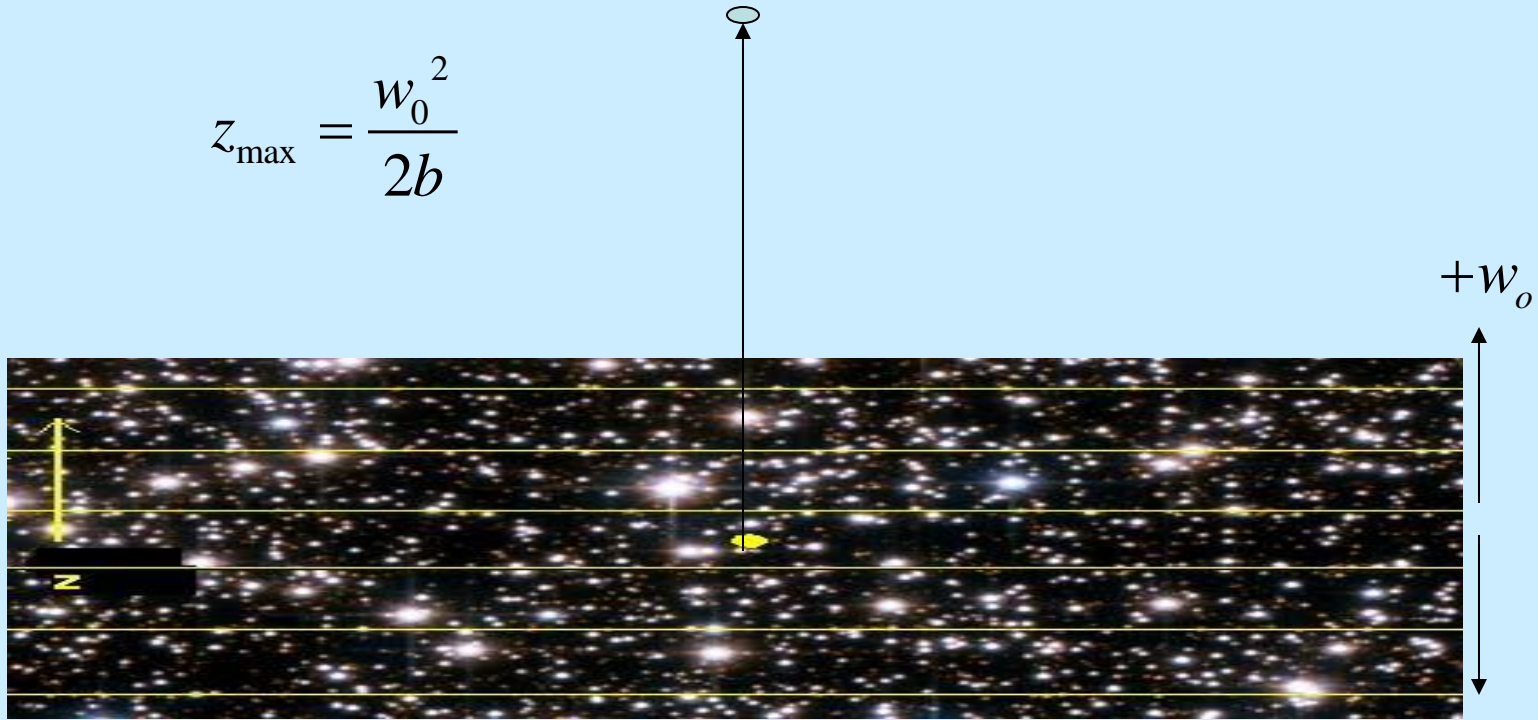
Der senkrechte Wurf nach oben!!!

Gliederung

Analogie-
betrachtungen

Φ

$$z_{\max} = \frac{w_0^2}{2b}$$



Beobachten wir sehr viele Sterne, dann ist ihre Geschwindigkeitsstreuung bei $z=0$:

$$\sigma(w_0) = w_0$$

und es gilt: $b = \frac{\sigma^2(w_0)}{2z_{\max}}$

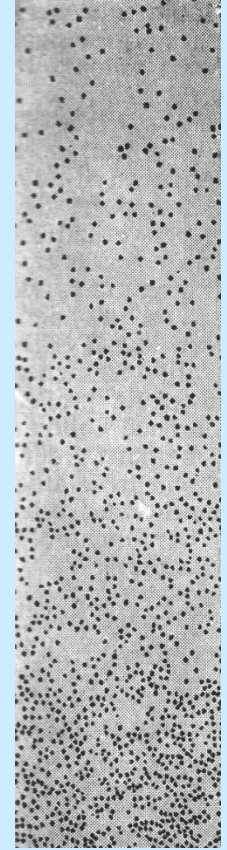
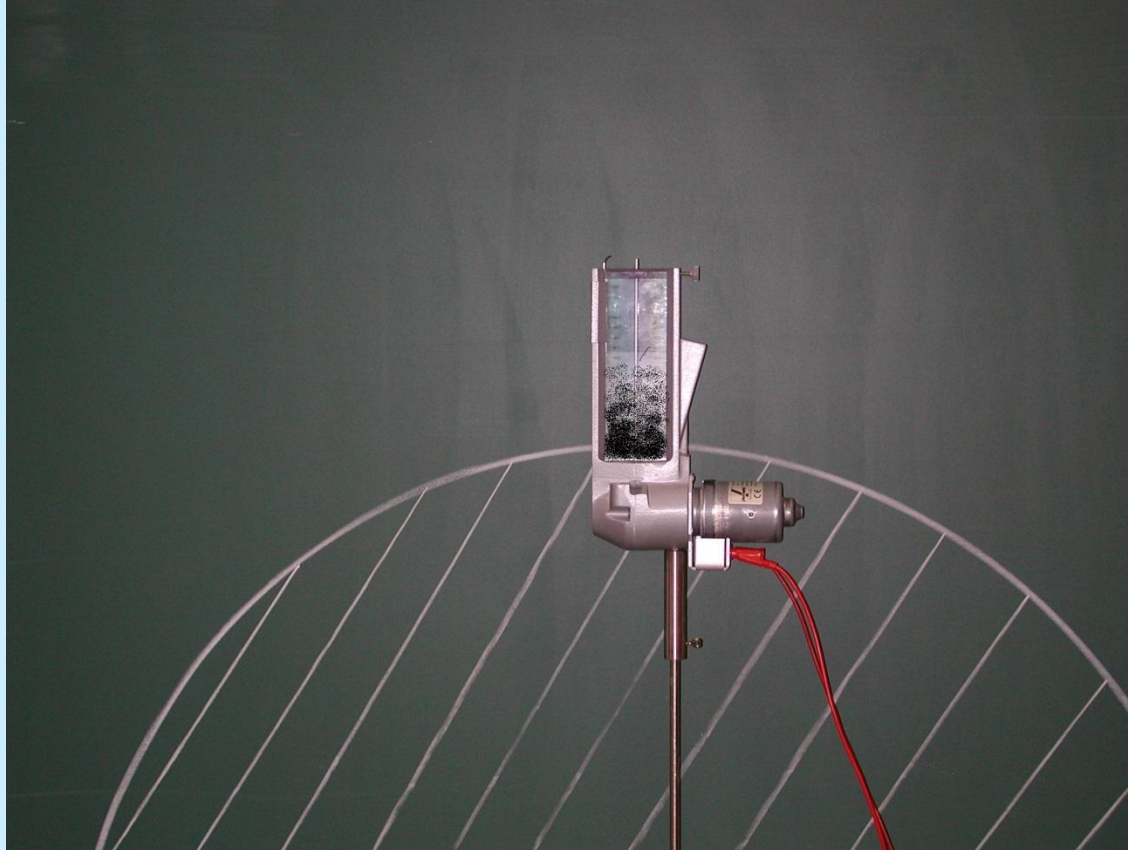
mit $b = 2\pi G\Phi$ folgt

$$\Phi = \frac{1}{4\pi G} \frac{\sigma^2(w_0)}{z_{\max}}$$

Φ

Barometrische Höhenformel und Boltzmann-Verteilung

$$\frac{n(z)}{n_0} = e^{-\frac{\mu gz}{kT}} = e^{-cgz}$$



Geht auch für eine bestimmte Teilchensorte!

Gliederung

Analogie-
betrachtungen

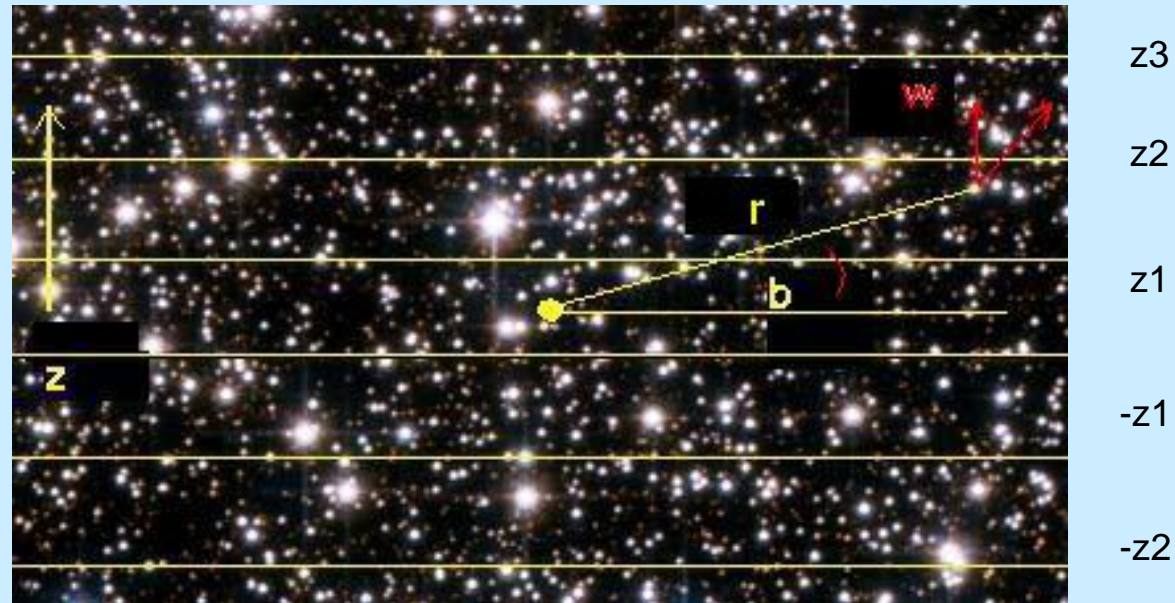
Φ

Die allgemeine Lösung für unser Problem fand J. H. Oort 1932:

$$\Phi(z) = -\frac{1}{2\pi G} \cdot \frac{1}{n(z_0)} \cdot \frac{d(n(z)\sigma^2(z))}{dz}$$

$$\rho(z) = \frac{1}{2} \frac{d\Phi}{dz}$$

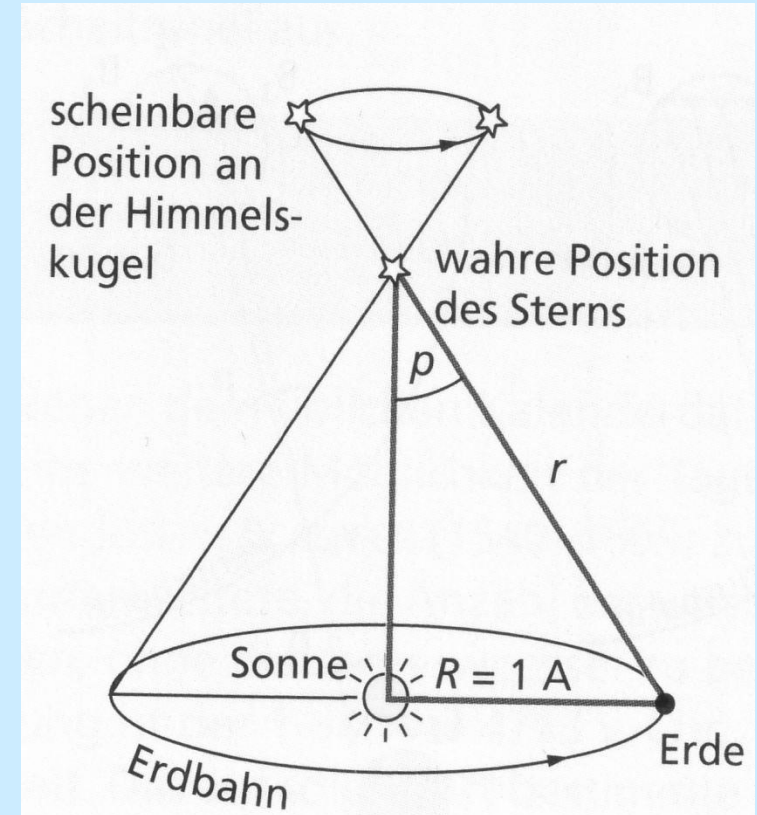
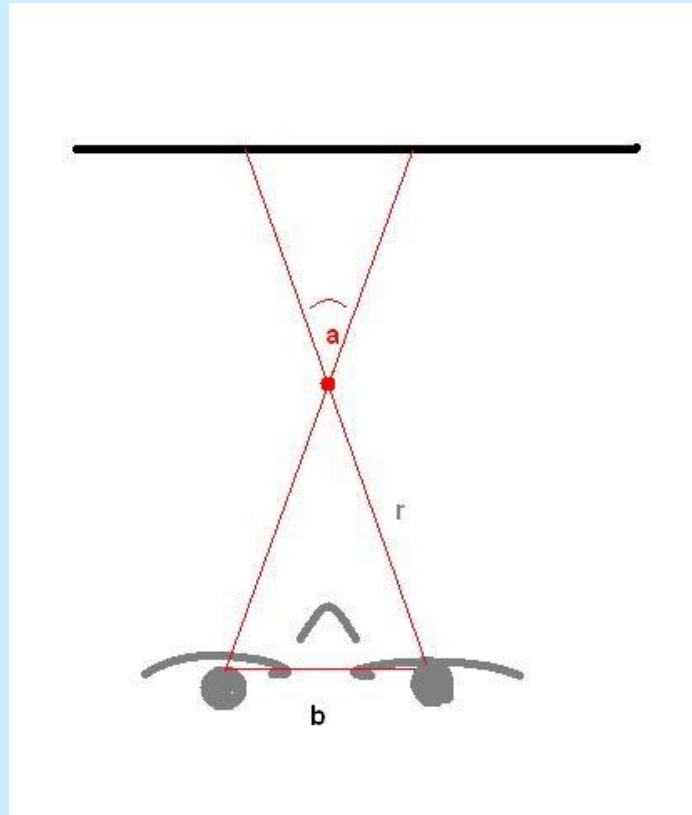
Also scheint die Lösung klar, bestimme $n(z)$ und $\sigma(z)$ für ein gut „durchgerührtes“ Sternsample und rechne aus!



Φ

Wir brauchen die **Entfernungen r**
und die **Raumgeschwindigkeiten v** der Sterne

Gliederung
Methoden



$$r = \frac{1}{p} \quad 1\text{pc} = 2,06 \times 10^5 \text{AE} = 3,26 \text{lj}, \text{ f\"ur alle Sterne gilt } p < 1''$$

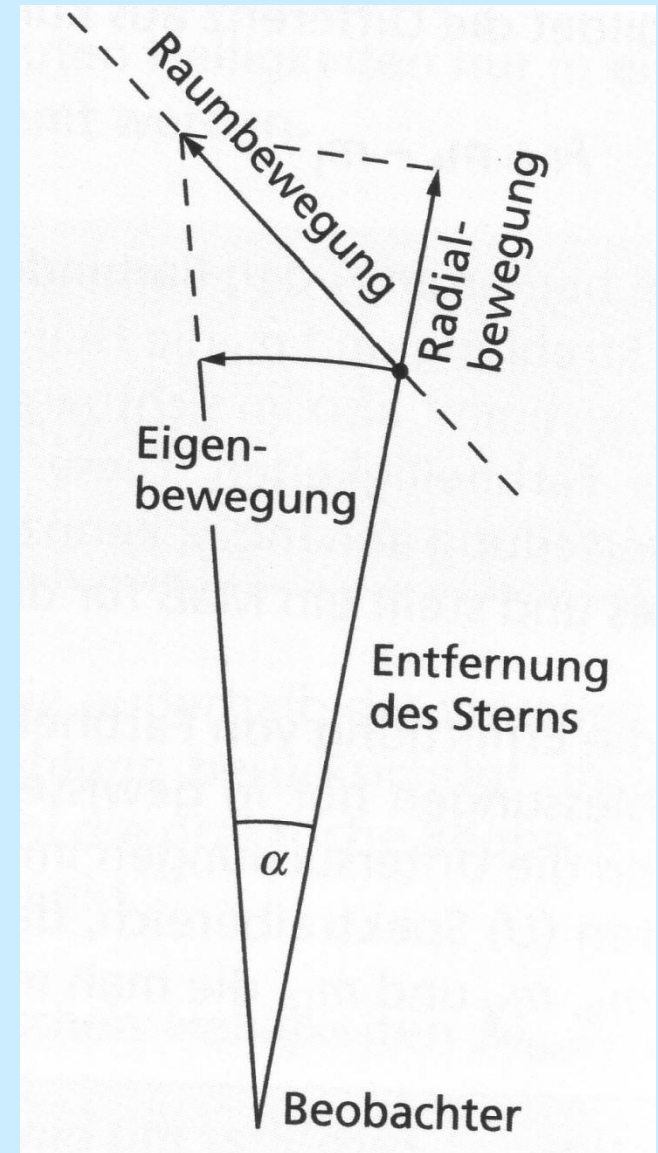
Φ

Die Eigenbewegung EB ist zunächst ein Winkel pro Zeit, den man mit Hilfe der Entfernung in eine Geschwindigkeit v umrechnen muss.

größte bekannte EB: $10,34''/a$

Die Radialbewegung folgt aus dem Doppler-Effekt durch spektroskopische Beobachtungen

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \pm \frac{v}{c}$$



Φ

Das Verfahren wird letztlich durch die Genauigkeit der Winkelmessung limitiert!

Derzeit $p_{\min} \approx 2 \text{ mas} = 0,002''$ (!) (HIPPARCOS-Satellit)

Also, maximale Reichweite 500pc oder rund 1600lj

Gliederung

Methoden



M100



Das Ergebnis dieser „Messbeschränkung“:

Reichweite für brauchbare Parallaxenmessungen ca. 350pc

Wir sehen noch keine Geschwindigkeitsabnahme (hier für K-Riesen):

Zentriert auf z (pc)	$\sigma(z)$ (km/s)
-170	18.4
-70	16.5
+30	17.6
+130	17.8

Literatur: O. Schwarz, P. Brosche, H. Schwan, The velocity dispersion of K giants as a function of the distance perpendicular to the galactic plane derived from Hipparcos data, AG Abstract Series 15, Göttingen 1999

Gliederung

Methoden

Wir haben auch noch kein symmetrisches Bild

Φ

n(z)	Zentriert auf z (pc)
1074	-270
1574	-170
1692	-70
1477	+30
915	+130
380	+230

Aber wir sehen n(z)!!!!

P. Brosche, H. Schwan, O. Schwarz, The galactic motion field of K0-5 giants from Hipparcos data, *Astronomische Nachrichten*, Bd. 322/1, 2001, S. 15-42

P. Brosche, O. Schwarz: The Galactic Surface Density Derives from K Giants, *Astronomische Nachrichten*, Bd. 328/2, 2007, S. 178-185

Gliederung

Methoden

Φ

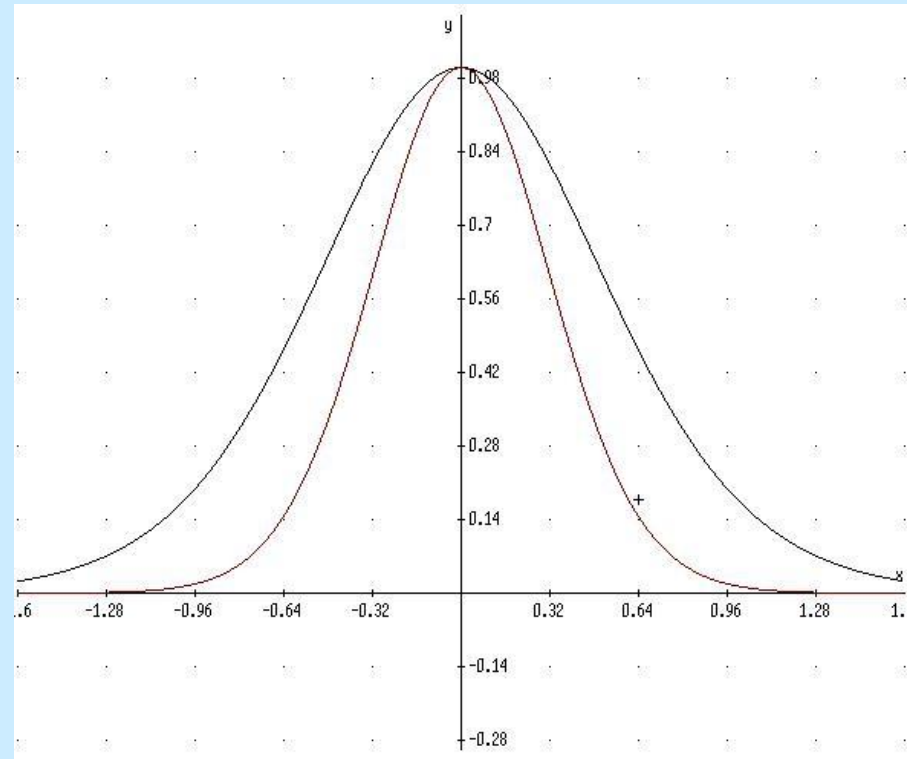
Wir können also eine Verteilungsfunktion an die Zählwerte anpassen:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\zeta}$$

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{1}{2}\zeta^2}$$

$$\frac{n}{n_0} = \operatorname{sech} h^\beta(\zeta)$$

$$\zeta = \frac{z}{h}$$



sech-Funktion für $\beta=3$ und 10

$$\operatorname{sech}(x) = \frac{2}{e^x + e^{-x}}$$

Gliederung

Methoden

Φ

ϕ $M_{\text{sonne}}\text{pc}^{-2}$	$\rho(z=0)$ $M_{\text{sonne}}\text{pc}^{-3}$	Autor
90 (700pc)	0,15	Oort (1965)
75 (350pc)	0,21	Bahcall (1984)
73	0,20	Lindblad et. al. (1997)
42 (350pc)	0,19	unser

In der Nachbarschaft der Sonne scheint es keine Konzentration an dunkler Materie zu geben.

Schlussfolgerung

- Die dunkle Materie ist vergleichsweise „heiß“ – jedenfalls zeigt sie keine merkliche Konzentration im 500 pc-Bereich zur galaktischen Hauptscheibenebene.



Φ

Das Hoffen auf bessere Winkelmessungen und
Radialgeschwindigkeitsmessungen

Gaia: Messgenauigkeit 50 mal größer, 1 Milliarde Sterne!

Sammeln von Radialgeschwindigkeiten!

Gestartet 19.12.2013

Literatur: <http://www.ari.uni-heidelberg.de/gaia>

Gliederung

Ausblick

