

ZUM NACHDENKEN

Sonnenbahn und Masse der Galaxis



Anhand der Kinematik von 2400 Sternen mit Distanzen bis zu 60 Kiloparsec (kpc) in den Außenbezirken der Galaxis ließ sich ihre Masse zu $M_G = 1,0 \cdot 10^{12} M_\odot$ bestimmen. Der genaueste Wert des Abstands der Sonne zum galaktischen Zentrum stammt aus der Vermessung der Bahn des Sterns S2 im Umlauf um das zentrale extrem massereiche Schwarze Loch: $R_0 = 7,94$ kpc. Weiter gilt: $1 \text{ pc} = 1 \text{ AE}/\tan(1^\circ/3600)$, $1 \text{ AE} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

Aufgabe 1: Unter der Annahme, die gesamte Masse der Galaxis sei in ihrem Zentrum versammelt, bestimme man Umlaufdauer P_\odot und Umlaufgeschwindigkeit v_\odot der Sonne um das galaktische Zentrum. **Hilfe:** Durch Gleichsetzen von Gravitationskraft $F_G = G M_G M_\odot / R_0^2$ und Fliehkraft $F_F = M_\odot \omega_\odot^2 R_0$ der Sonne auf ihrer Bahn um das Zentrum der Galaxis lassen sich die gesuchten Werte ermitteln (Gravitationskonstante: $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$, Sonnenmasse: $M_\odot = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$). Dabei gilt für die Rotationsfrequenz: $\omega_\odot = 2\pi/P_\odot = v_\odot/R_0$.

Aufgabe 2: Die Eigenbewegung $\mu_{GZ} = 5,90 \text{ m}''/\text{a}$ (Millibogensekunden pro Jahr) des galaktischen Zentrums gegenüber fernen Quasaren spiegelt die Sonnenbewegung wider. Man leite daraus die Geschwindigkeit v_\odot der Sonne auf ihrer Bahn ab.

Aufgabe 3: Alle außerhalb der Sonnenbahn befindliche Materie übt auf sie keinen Einfluss aus. Mit der in Aufgabe 2 berechneten, deutlich geringeren Geschwindigkeit ermittle man den Masseanteil der Galaxis, der sich innerhalb der Sonnenbahn befindet.

Aufgabe 4: Welcher Schluss lässt sich daraus für die Dunkle Materie ziehen, wenn 70 Prozent der leuchtenden Materie der Galaxis innerhalb von R_0 stecken? AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. August 2010** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528246. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern **Preise** verlost: siehe S. 109

tischen Zentrum hin eine dazu nochmals überhöhte asymmetrische Drift aufweisen. Diese Überhöhung gegenüber der normalen asymmetrischen Drift bricht die Strömberg-Beziehung. Sterne folgen also keiner einheitlichen Strömberg-Beziehung mehr, denn ihr kinematisches Verhalten wird plötzlich abhängig von ihrer Herkunft.

Das lässt sich einfach verstehen: Betrachten wir beispielsweise eine metallarme Population der äußeren Scheibe, so halten sich ihre Mitglieder vor allem außerhalb des Radius der Sonnenbahn auf. Sie besuchen uns vor allem von außen kommend, rotieren also schnell. Umgekehrt besuchen metallreiche Sterne die Sonnenumgebung vor allem von innen kommend. Mit dem Einfluss der Metallizität auf die Farbe wird auch plötzlich der in den Hipparcos-Daten gefundene Knick hin zu höheren Driftwerten bei geringerer Geschwindigkeitsdispersion der jungen blauen Sterne verständlich (siehe Weblinks).

Der so genannte Abknickpunkt markiert im Farben-Helligkeitsdiagramm das Fehlen von Hauptreihensternen größerer Masse in einer gleichalten Population. Da massereiche Sterne schneller altern, bewegen sie sich früher von der Hauptreihe weg. Deshalb lässt sich anhand der Lage des Abknickpunkts einer Sterngruppe auf deren Alter schließen. Die Hauptreihe wird im Laufe der Zeit immer kürzer, weil immer mehr Sterne von ihr abwandern.

Die Hauptreihe in der Grafik auf S. 25 oben und die Abknickpunkte metallarmer Populationen – wegen der Altersverteilung ist das eine ganze Region rechts der Hauptreihe (siehe den umpunkteten Bereich) – sind zu kleineren ($B-V$)-Werten verschoben. Die gelblich kodierte Region rechts der Hauptreihe zieht sich bis zum Horizontalast hoch. Dort dominieren die Sterne der Abknickpunkte der metallreicheren Populationen. Dies überlagert den Alters-effekt, so dass bei blauen Sternfarben zu-

nächst Sterne der äußeren Scheibe des Milchstraßensystems dominieren und die asymmetrische Drift bei moderat wachsender Geschwindigkeitsdispersion klein halten. Zu rötlichen Sternfarben hin wächst der Einfluss der metallreichen Sterne der inneren Scheibe, die in diesem Übergang die asymmetrische Drift stark anheben. In der Grafik auf S. 25 oben sind dies die rötlich kodierte Bereiche auf der rechten Seite der Grafik.

Trifft die Modellrechnung zu, die den Knick der Strömberg-Beziehung beschreibt, dann gaukelt uns die Natur bei den roten Sternen eine viel zu steile lineare Relation vor, die zu einer Unterschätzung der solaren V -Komponente um rund sieben Kilometer pro Sekunde führt. Selbst in Abwesenheit des allgemein akzeptierten Metallizitätsgradienten würde eine Konzentration älterer Sterne in der inneren Scheibe einen ähnlichen Fehler erzeugen.

Glücklicherweise lässt sich alternativ ohne Benutzung der Strömberg-Beziehung eine robuste Schätzung der solaren Bewegung direkt aus der Geschwindigkeitsverteilung unserer Nachbarsterne gewinnen. Dazu bestimmten wir die Verschiebung zwischen der aus unserem Modell abgeleiteten Geschwindigkeitsverteilung und den Messdaten. Unser Modell und vereinfachte kinematische Modelle legen gleichermaßen eine Anhebung der solaren Pekuliargeschwindigkeit in Rotationsrichtung von rund fünf auf rund zwölf Kilometer pro Sekunde nahe. Wir favorisieren damit einen Wert der Geschwindigkeit der Sonne von $(U; V; W) = (11,1; 12,24; 7,25)$ Kilometern pro Sekunde bei einer Unsicherheit von rund $(1; 2; 0,5)$ Kilometern pro Sekunde. Damit erhöht sich die geschätzte Gesamtgeschwindigkeit in Richtung auf den Sonnenapex von 13 auf 18 Kilometer pro Sekunde und die Position des Apex verschiebt sich um mehr als 20 Grad am Himmel zur galaktischen Länge $\lambda = 47,8$ Grad, also deutlich stärker in Rotationsrichtung, und zur galaktischen Breite $\beta = 23,7$ Grad, etwas mehr in die Scheibenebene (siehe Grafik auf S. 25 unten). Einen guten Ausgang hat das Ganze: Die variable Steigung der Strömberg-Beziehung zwischen asymmetrischer Drift und Geschwindigkeitsdispersion bietet sich als ausgezeichnetes Unterscheidungsmerkmal für Sternpopulationen an. RALPH SCHÖNRICH

Weblinks zum Thema:

www.astronomie-heute.de/artikel/1038254