



Frage 1: Massenbestimmung des Coma Galaxienhaufens

Die Einzelgalaxien im Coma Galaxienhaufen haben eine mittlere Radialgeschwindigkeit von 6750 km/s mit einer Geschwindigkeitsdispersion von 900 km/s. Der Haufen erscheint am Himmel unter einem Winkel von ungefähr 2 Grad.

- a) Bestimmen Sie die Entfernung des Coma Haufens.

Lösung: Aus der Radialgeschwindigkeit folgt mithilfe der Hubble Beziehung die Entfernung ($H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$):

$$D_{\text{Coma}} = v/H_0 = \frac{6750 \text{ km s}^{-1}}{75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}} = 90 \text{ Mpc} \quad (\text{s1.1})$$

- b) Der Coma-Haufen hat ungefähr kreisförmige Gestalt. Was ist sein Radius?

Lösung:

$$R = 90 \text{ Mpc} \cdot \tan 2^\circ \sim 90 \text{ Mpc} \cdot 2 \cdot \pi / 180 \sim 3 \text{ Mpc} \quad (\text{s1.2})$$

- c) Bewegen sich im Gravitationspotential des Haufens. Schätzen Sie ab, wie lange es für eine Galaxie dauert, den Haufen einmal zu durchqueren. Vergleichen Sie diese Zeit mit dem Alter des Universums. Warum folgt hieraus, dass der Coma-Haufen gravitativ gebunden sein muss?

Lösung: Bei einer Geschwindigkeit von 900 km/s und einem Durchmesser von 3 Mpc beträgt die Durchlaufzeit

$$T = \frac{3 \text{ Mpc}}{900 \text{ km/s}} = \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 3.08 \cdot 10^{13}}{900} \text{ s} \sim 10^{17} \text{ s} \sim 3 \cdot 10^9 \text{ Jahre} \quad (\text{s1.3})$$

Dies ist nur ca. 1/5 des Alters des Universums. Ein nicht-stabiles System wäre inzwischen auseinandergefallen, d.h. der Coma-Haufen muss gravitativ gebunden sein.

- d) Bestimmen Sie mit dem Virialsatz die Masse des Coma-Haufens.

Lösung: Aus dem Virialsatz $Mv^2 = GM^2/R$ folgt für die Virialmasse

$$M = \frac{v^2 R}{G} = \frac{900^2 \text{ km}^2 \text{ s}^{-2} \cdot 3 \text{ Mpc}}{6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}} \quad (\text{s1.4})$$

$$= 5.6 \cdot 10^{14} M_\odot \quad (\text{s1.5})$$

- e) Die Leuchtkraft des Coma Haufens ist $L_{\text{Coma}} \sim 5 \cdot 10^{12} L_{\odot}$. Bestimmen Sie das Masse-Leuchtkraft Verhältnis in Einheiten von Sonnenmassen und Sonnenleuchtkräften.

Lösung:

$$\frac{M}{L} = \frac{5.6 \cdot 10^{14} M_{\odot}}{5.0 \cdot 10^{12} L_{\odot}} = 112 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}} \quad (\text{s1.6})$$

- f) Diese Berechnung wurde erstmals im Jahr 1933 von Fritz Zwicky durchgeführt. Diskutieren Sie, welche Interpretationsmöglichkeiten ihm dieses Ergebnis erlaubte.

Lösung: Wenn der Virialsatz gilt, folgt unmittelbar die Einsicht, dass der Coma Haufen von einer Form nicht-leuchtender Materie dominiert wird, die ca. 100-fach mehr zur Gesamtmasse beiträgt als die leuchtende Materie.

Dies würde nur dann nicht gelten, wenn der Virialsatz verletzt ist, wenn also der Haufen nicht im thermodynamischen Gleichgewicht ist. Damit wäre er nicht stabil, was der Grossen Anzahl beobachteter Galaxienhaufen widerspricht.

Frage 2: Olber's Paradox

Es wurde lange davon ausgegangen, dass das Universum unendlich ausgedehnt und statisch ist (sich also nicht entwickelt). Ein solches Universum können wir z.B. dadurch beschreiben, dass sich in diesem Universum die Dichte einer bestimmten Art von Standardkerzen überall konstant ist.

- a) Zeigen Sie, dass daraus folgt, dass der Himmel unendlich hell sein sollte.

Lösung: Die Himmelselligkeit ergibt sich durch Addition der von den einzelnen Quellen emittierten Strahlung:

$$I = \int_0^{\infty} n_0 \frac{L}{4\pi r^2} 4\pi r^2 dr \propto \int_0^{\infty} dr \rightarrow \infty \quad (\text{s2.1})$$

- b) Wie kann Olber's Paradox gelöst werden?

Lösung: Hier gibt es zwei Möglichkeiten. 1. Das Universum hat ein endliches Alter. 2. Standardkerzen könnten sich entwickeln, d.h. sie könnten früher dunkler gewesen sein.

Frage 3: Vorlesungsnachbearbeitung

- a) Mit welchen Methoden wird die großräumige Struktur des Universums vermessen? Was ist die wesentliche Messung, die hierbei durchgeführt werden muss?

Lösung: Die Vermessung wird mit Hilfe großer Rotverschiebungssurveys gemacht, d.h. von sehr vielen Galaxien wird die Position (einfach) und die Rotverschiebung (schwieriger) ermittelt.

b) Beschreiben Sie die großräumige Struktur des Universums.

Lösung: Wichtige Stichworte sind hier: Homogenität und Isotropie auf Skalen von 100 Mpc, “Schaumstruktur” auf kleineren Skalen.