

1. Einfluss von Neutrinos auf die Strukturbildung

Bestimmen Sie die Fluchtgeschwindigkeit in einer typischen Galaxie

($R = 15 \text{ kpc}$, $M = 10^{11} \cdot M_{\text{sol}}$) und in einem typischen Galaxienhaufen

($R = 5 \text{ Mpc}$, $M = 10^{14} \cdot M_{\text{sol}}$). Vergleichen Sie diese mit der mittleren Geschwindigkeit von Neutrinos des kosmischen Neutrino­hintergrunds (CvB) mit angenommenen Massen von 0.1 , 1 und $10 \text{ eV}/c^2$. Nehmen Sie an, dass die Neutrinos Maxwell-verteilt und nicht-relativistisch sind.

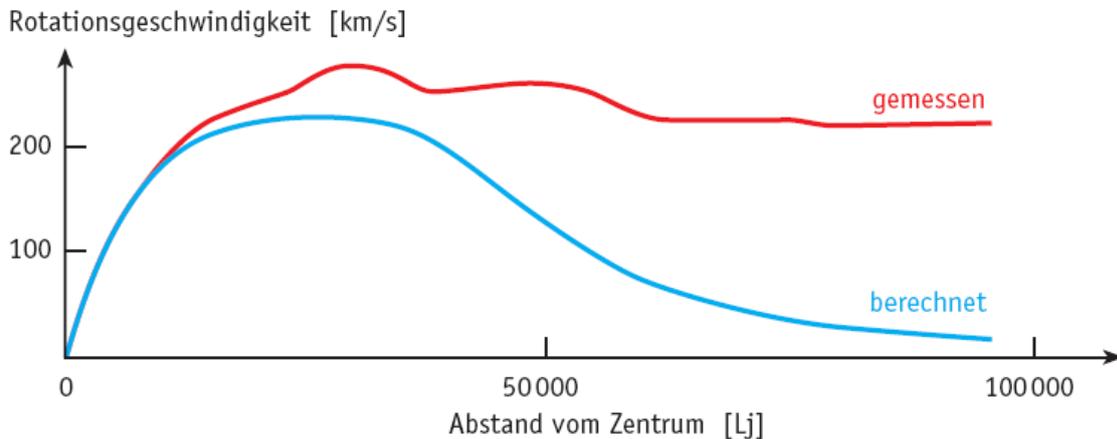
- Mit welcher der angegebenen Massen kann das Neutrino im Gravitationspotential gefangen werden?
- Welche Masse müsste ein Superhaufen ($R = 50 \text{ Mpc}$) haben, um ein CvB-Neutrino zu halten? Vergleichen Sie dies mit der typischen Masse eines Superhaufens.
- Diskutieren Sie die Wirkung der CvB-Neutrinos auf die Strukturbildung im Universum.

2. Dunkle Materie im Labor:

Eine Reihe von Experimenten (z.B. CDMS, Edelweiss, Zeplin, CRESST, DAMA,...) versuchen Dunkle Materie im (Untergrund-) Labor durch die Kollision mit baryonischer Materie nachzuweisen.

- Leiten Sie einen Ausdruck für die kinetische Energie E_R eines Kerns der Masse M_R ab, der eine elastische Kollision mit einem „Dark Matter“ Teilchen der Masse M_D und der kinetischen Einfallsenergie E_D durchführt, in Bezug auf die Emissionsrichtung relativ zur Einfallsrichtung. Finden Sie den Grenzwert der Rückstoßenergie bezüglich M_R und M_D .
- Berechnen Sie die maximale Rückstoßenergie für einen Kern der Masse $M_R = 100 \cdot m_p$, der mit einem „Dark Matter“ Teilchen der Masse $M_D = 1000 \cdot m_p$ kollidiert, das sich mit einer typischen galaktischen Geschwindigkeit von $v = 220 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ bewegt.

3. Dunkle Materie in Galaxien:



Seit vielen Jahren ist bekannt, dass sich die gemessenen Rotationskurven der Galaxien nur dann verstehen lassen, wenn man annimmt, dass sie gerade auch in ihren äußeren Bereichen mehr Masse (in Form von Dunkler Materie) enthalten als sich durch das von ihnen stammende Licht verrät. Zeigen Sie auf, welche Größenordnung die im Halo einer typischen Galaxie steckende Masse besitzen kann:

- Das Newtonsche Gravitationsgesetz gestattet es allein aus der Umlaufgeschwindigkeit eines Objektes die Masse zu bestimmen, die sich innerhalb dessen Umlaufbahn befindet. Somit zeigt die Bahngeschwindigkeit eines Sterns um das Zentrum seiner Galaxie dessen Masse an. Je weiter entfernt der Stern die Galaxie umrundet, desto besser lässt sich die Gesamtmasse der Galaxie bestimmen. Erstellen Sie eine Gleichung für die eingeschlossene Masse M .
- Die gemessene Rotationskurve (in der Abbildung rot dargestellt) verläuft entgegen der Erwartungen für große Abstände größer als etwa 30000 ly nahezu horizontal. Zeigen Sie, wie in diesem Falle, also bei konstanter Rotationsgeschwindigkeit v , die Masse M mit zunehmendem Abstand r anwächst.
- Bei $r = 10^5$ ly liest man ab: $v_b = 15 \text{ km/s}$ und $v_g = 225 \text{ km/s}$. Bestimmen Sie die Galaxienmasse einmal aus der berechneten und einmal aus der gemessenen Rotationskurve. Wie hoch ist dann der Anteil der Dunklen Materie in der Galaxie?