

Handout – Dunkle Materie: Beobachtungen und Kandidaten

Ausgangspunkt

- Dunkle Materie durch Beobachtungen entdeckt, nicht theoretisch vorhergesagt.
- Berechnete Gesamtmasse > sichtbare Masse.
- Schlussfolgerung: zusätzliche unsichtbare Materie.

Historische Entwicklung

- Lord Kelvin: erste Hinweise auf fehlende Masse in der Milchstraße.
- Fritz Zwicky (1933): Coma-Galaxienhaufen untersucht.
- Virialtheorem angewendet; Gesamtmasse $\approx 10\times$ sichtbare Masse.
- Begriff „Dunkle Materie“ eingeführt.

Virialtheorem

- Bestimmung der Masse gravitativ gebundener Systeme.
- $2\langle T \rangle + \langle U \rangle = 0$
- $M = R \cdot v^2 / G$

Weitere Beobachtungen

- Rotationskurven: Geschwindigkeit bleibt nahezu konstant $\rightarrow$ Dunkle-Materie-Halo.
- Bullet Cluster: Masse folgt den Galaxien statt dem heißen Gas.

Bedeutung der Dunklen Materie

- macht ca. 84% der Masse im Universum aus
- zentraler Bestandteil der Friedman Gleichung

Beobachtungsbefunde

- Spiralgalaxien
 - > Milchstraße:
 - Rotationskurve stimmt nicht mit Erwartung überein
 - > andere Galaxien:
 - selbe Beobachtung wie in Milchstraße
- Galaxienhaufen
 - 3 Messmethoden:
 - 1.) Geschwindigkeitsmessung um Zentrum des Haufens
 - 2.) Untersuchung der Röntgenemission des heißen Gases zwischen den Galaxien der Haufen
 - 3.) Messung der Lichtbeugung
- Gravitationslinsen:
 - Übereinstimmung aller Messmethoden: Der Großteil der Masse im Universum ist dunkel

Anforderungen an Dunkle-Materie-Teilchen

- Gravitativ wechselwirkend
- Elektromagnetisch unsichtbar
- Stabil/extrem langlebig sein
- Reliktdichte: Die theoretische Häufigkeit muss der beobachteten Menge entsprechen.

Hypothetische Teilchen-Kandidaten

- **Axionen:** Sehr leichte, neutrale Teilchen; ursprünglich zur Lösung des Strong-CP Problems vorgeschlagen. Nachweisversuche nutzen den Primakoff-Effekt (Umwandlung in Photonen in Magnetfeldern).
- **WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles):** Schwere, neutrale Teilchen. Das „WIMP-Miracle“ besagt, dass ihre berechnete Menge im frühen Universum exakt zur heute beobachteten Menge passt.
- **Sterile Neutrinos:** Leichte Teilchen, die nicht über die normale schwache Wechselwirkung wirken.

Primordiale Schwarze Löcher

- Entstehung: Kurz nach dem Urknall durch Dichteschwankungen.
- Eigenschaften: Sie wirken ausschließlich gravitativ und sind ansonsten unsichtbar.

Alternative: MOND (Modified Newtonian Dynamics)

- Prinzip: Die Newtonsche Gravitation wird bei sehr kleinen Beschleunigungen modifiziert.
- Ziel: Die beobachteten Rotationskurven von Galaxien allein durch sichtbare (baryonische) Materie zu erklären.
- Status: MOND funktioniert bei einzelnen Galaxien sehr präzise, gilt aber auf kosmischer Ebene als nahezu ausgeschlossen und wird als umfassende Erklärung heute weitgehend verworfen.
Hinweis:

→ Trotz intensiver Suche konnten bisher weder die Teilchen-Kandidaten noch primordiale Schwarze Löcher zweifelsfrei nachgewiesen werden

Forschungsansätze zum Finden dunkler Materie

- CRESST: → Untergroundlabor
 - soll leichte WIMPs messen
 - hochsensible Detektoren aus Kalziumwolframat Kristallen in denen eine Temperaturänderung durch eintreffende Dunkle Materie detektiert werden soll
- XENON: - soll schwere WIMPs messen
 - Detektor enthält Xenon welches bei Kollision mit Dunkler Materie einen Lichtblitz aussenden soll
 - der anschließend detektiert wird