

Indizi sull'esistenza della Materia Oscura

Raffaele Pontrandolfi

Corso di Astrosica e Particelle Elementari

Motivazione e Introduzione

Dalla nucleosintesi primordiale sappiamo che la densità di materia barionica è

$$\Omega_{bary}^0 = 0.04 \pm 0.01$$

Affinchè sia valido il modello di benchmark per cui $\Omega_{matter} \approx 0.3$ deve esserci della materia non barionica. Diamo dunque delle ulteriori prove dell'esistenza di materia oscura.

Sommario

- 1 Materia Visibile
 - Materia Visibile
- 2 Materia Oscura nelle Galassie
 - Velocità di rotazione delle Galassie
 - Stima della Massa
- 3 Materia Oscura nei Cluster
 - Materia oscura nei cluster
- 4 Conclusioni

1 Materia Visibile

- Materia Visibile

2 Materia Oscura nelle Galassie

- Velocità di rotazione delle Galassie
- Stima della Massa

3 Materia Oscura nei Cluster

- Materia oscura nei cluster

4 Conclusioni

Densità di Materia Visibile

Si può dare un limite inferiore della densità di materia visibile conoscendo le masse delle stelle. La massa di una stella può essere stimata dalla sua luminosità. Ogni tipo di stella ha un rapporto Massa/Luminosità diverso:

- $M/L \approx 10^{-3} M_{\odot}/L_{\odot}$ per le stelle più massicce
- $M/L \approx 10^3 M_{\odot}/L_{\odot}$ per le meno massive.

Dalla luminosità si può quindi dare un ordine di grandezza alla densità di materia visibile nell'universo che risulta essere circa

$$\rho_{\star}^0 \approx 5 \times 10^8 M_{\odot} Mpc^{-3}$$

che implicherebbe un parametro di densità pari a

$$\Omega_{\star}^0 = \rho_{\star}^0 / \rho_c^0 \approx 0.004$$

Densità di Materia Visibile

Questo risultato, oltre ad essere una stima molto rozza è un limite inferiore: non tiene conto della materia visibile che è troppo poco luminosa per essere rilevata (come le nane brune, le stelle troppo lontane o coperte ecc..) e in oltre non si tiene conto della materia che emette, ma non nel visibile.

Necessità di materia oscura

Ad ogni modo questo valore è troppo piccolo per garantire la formazione delle strutture

- 1 Materia Visibile
 - Materia Visibile

- 2 Materia Oscura nelle Galassie
 - Velocità di rotazione delle Galassie
 - Stima della Massa

- 3 Materia Oscura nei Cluster
 - Materia oscura nei cluster

- 4 Conclusioni

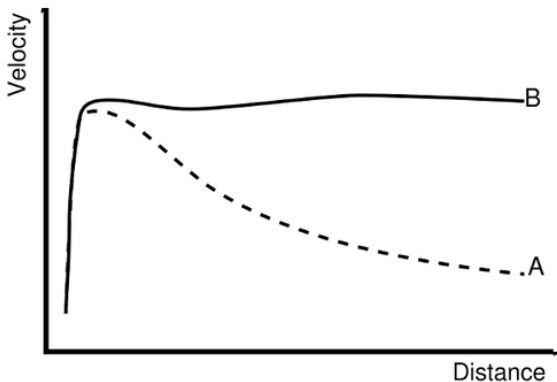
Velocità di rotazione delle Galassie

Come è stato visto a lezione dal teorema del viriale possiamo ricavare la velocità di rotazione di una galassia in funzione della distanza dal centro e della massa:

$$v = \sqrt{\frac{GM(R)}{R}}$$

Velocità di rotazione delle Galassie

Siccome l'intensità luminosa diminuisce con la distanza dal centro della Galassia in modo esponenziale, $I = I_0 \exp(-\frac{R}{R_s})$, si può stimare l'andamento della massa (luminosa) in funzione del raggio e quindi della velocità.



Teorie MOND

Per spiegare queste discrepanze oltre al *dark halo* sono state formulate le teorie MOND (Modified Newtonian Dynamics)

Stima della Massa

$$M(R) = \frac{v^2(R)R}{G} \Rightarrow$$

$$M_{Tot} = \int_0^R \frac{v^2(r)dr}{G}$$

Considerando, ad esempio, la nostra Galassia, dove il dark halo è circa 10 – 40 volte la massa delle stelle otteniamo che

$$\Omega_{Galaxy}^0 = (10 \rightarrow 40)\Omega_{\star}^0 \approx 0.04 \rightarrow 0.14$$

valore un pò maggiore del valore della densità barionica ricavata dalla nucleosintesi primordiale, quindi parte di questa massa deve essere non di natura barionica.

- 1 Materia Visibile
 - Materia Visibile

- 2 Materia Oscura nelle Galassie
 - Velocità di rotazione delle Galassie
 - Stima della Massa

- 3 Materia Oscura nei Cluster
 - Materia oscura nei cluster

- 4 Conclusioni

Introduzione

Nel 1930 Zwicky, studiando il coma cluster, notò che la dispersione delle velocità delle galassie era troppo alta affinché le galassie fossero tenute insieme dalla sola gravità dovuta alla loro massa e a quella del gas intergalattico

Schematizzando un cluster

Consideriamo il cluster composto da N Galassie, ciascuna di massa m_i ($i = 1, 2, \dots, N$) con posizione descritta da $\vec{x}_i$ e velocità descritta da $\dot{\vec{x}}_i$. Siccome le dispersioni di velocità sono $\sigma_{coma} \approx 1000 \text{ km s}^{-1} \approx 0.003c$ siamo nel limite non relativistico.

Energia Potenziale del cluster

L'accelerazione dell' i – esima galassia sarà:

$$\ddot{\vec{x}}_i = G \sum_{i \neq j} m_j \frac{\vec{x}_i - \vec{x}_j}{|\vec{x}_i - \vec{x}_j|^3}$$

L'Energia Potenziale invece sarà:

$$W = \frac{-G}{2} \sum_{i,j} \frac{m_i m_j}{|\vec{x}_i - \vec{x}_j|} \quad \text{con } i \neq j$$

Che può anche essere scritta come:

$$W = -\alpha \frac{GM^2}{r_h}$$

dove $M = \sum m_i$ è la massa totale dell'ammasso, α è un fattore numerico che dipende dal profilo del cluster e r_h è il raggio di una sfera centrata nel centro del cluster e avente massa $M/2$.

Energia Cinetica del Cluster

L'energia cinetica sarà

$$K = \frac{1}{2} \sum_i m_i |\dot{\vec{x}}_i|^2$$

che può anche essere scritta come

$$K = \frac{1}{2} M \langle v \rangle^2$$

dove

$$\langle v \rangle^2 = \frac{1}{M} \sum_i m_i |\dot{\vec{x}}_i|^2$$

Massa del Cluster

Per un sistema virializzato $K = -W/2$ dunque otteniamo

$$\frac{1}{2} M \langle v \rangle^2 = \frac{\alpha}{2} \frac{GM^2}{r_h}$$

quindi si può ricavare la massa dalla dispersione delle velocità ottenuta dal redshift delle galassie

$$M = \frac{\langle v \rangle^2 r_h}{\alpha G}$$

In questo modo otteniamo, ad esempio, per il coma cluster

$$M_{coma} \approx 2 \times 10^{15} M_{\odot}$$

Massa del Cluster

Un'altra prova dell'esistenza di materia oscura è data dal fatto che altrimenti non ci sarebbe abbastanza massa da tenere insieme il gas caldo intergalattico. Un altro modo, dunque, per stimare la massa di un cluster è dall'equazione dell'equilibrio idrostatico:

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM(r)\rho(r)}{r^2}$$

Con la pressione ricavata dalla legge dei gas perfetti

$$P = \frac{\rho k T}{\mu m_p}$$

La massa sarà dunque

$$M(r) = \frac{rkT(r)}{G\mu m_p} \left[-\frac{d(\ln \rho)}{d(\ln r)} - \frac{d(\ln T)}{d(\ln r)} \right]$$

Che per coma è $M_{coma} \approx 1 \div 2 \times 10^5 M_\odot$

- 1 Materia Visibile
 - Materia Visibile

- 2 Materia Oscura nelle Galassie
 - Velocità di rotazione delle Galassie
 - Stima della Massa

- 3 Materia Oscura nei Cluster
 - Materia oscura nei cluster

- 4 Conclusioni

Conclusioni

Sommando la masse di tutti i cluster otteniamo dunque

$$\Omega_{cluster}^0 \approx 0.2$$

Ancora non viene raggiunto il valore di 0.3 che ci chiede il modello di benchmark, forse perchè non si è tenuto conto della materia distribuita nel vuoto tra gli ammassi.

Conclusioni

Conoscere la densità di materia nell'universo è necessario perchè:

- è necessario per determinare la curvatura e il tasso di espansione dell'universo.
- Il contenuto di materia nell'universo non è trascurabile oggi.
- Capire di che cosa è formato l'universo (es. quale contributo è dovuto alle stelle, quale alla materia oscura e di cosa essa è composta ecc..)

Inoltre si possono ricavare importanti informazioni anche in altri campi come in fisica delle particelle.



Grazie per l'attenzione