

Materia oscura - DARK MATTER

Nel caso + semplice di un punto materiale di massa m in moto circolare uniforme a causa della forza gravitazionale (che fa da forza centripeta) esercitata da un punto di massa M , possiamo scrivere:

$$F = ma \quad GMm/r^2 = mv^2/r \quad v = \sqrt{GM/r}, \quad (1)$$

cioe' la velocita' cala con la radice della distanza (dalla III Legge di Keplero).

SISTEMA SOLARE. La FIG.1 mostra che le velocita' dei pianeti solari in moto attorno al sole ben ubbidiscono alla relazione qui sopra.

Consideriamo ora una sfera piena di raggio a e di massa M . La forza gravitazionale che sente un punto di massa m a distanza r da centro e' $F(r) = GM(r)m/r^2$, dove la massa $M(r)$ e' la massa entro r e, se assumiamo che la densita' sia costante, $M(r) = Mr^3/a^2$. Il moto kepleriano sara' valido per le zone esterne ad a , ma per le zone interne dobbiamo considerare che $M(r)$ varia. Quindi:

$$v(r) \propto r \quad (r \leq a) \quad (2)$$

$$v(r) \propto 1/r \quad (r \geq a). \quad (3)$$

CURVE DI ROTAZIONE DELLE GALASSIE. Consideriamo ora una galassia a spirale in cui gran parte della massa "visibile" e' concentrata nella parte centrale, ci aspettiamo che la velocita' $v(r)$ aumenti col raggio internamente e poi cali col raggio nelle zone esterne. La FIG.2 mostra che nelle zone esterne non e' vero! La velocita' e' quasi costante. Questo implica che la massa non sta (quasi) tutta nella zona centrale, ma esiste molta massa nell zone piu' esterne, che pero' e' massa non visibile (DARK MATTER).

CINEMATICA DELLA POPOLAZIONE DI GALASSIE IN AMMASSO. In FIG.3 si vede la distribuzione delle velocita' delle galassie in un ammasso di galassie. La misura delle velocita' e' fatta con la misura del "redshift" cioe' lo spostamento delle righe spettrali. Si puo' misurare solo la velocita' lungo la linea di vista, quindi in 1D (ma possiamo assumere che $v_{3D} = \sqrt{3}v_{1D}$ (vedi parte sui VETTORI)). La distribuzione delle v_{1D} e' circa una gaussiana (vedi parte di STATISTICA) attorno al valore medio (che in cosmologia e' circa proporzionale alla distanza da noi...in realta' non e' che l'ammasso va veloce, ma e' l'Universo che si espande...).

Nel caso degli ammassi, il moto delle galassie all'interno non e' di rotazione, ma piuttosto un moto disordinato (come in una sfera di gas). Comunque sia, vale il teorema del viriale $2T + U = 0$ che e' essenzialmente una relazione tra la dispersione di velocita' della popolazione di galassie e la massa totale dell'ammasso M_{tot} . Gia' Zwicky (1933) fece questo calcolo per l'ammasso di Coma e trovo' che $M_{tot} \sim 10M_{lum}$, dove M_{lum} e' la massa associata alla componente stellare: ne dedusse che il 90% della massa di Coma deve essere massa oscura.

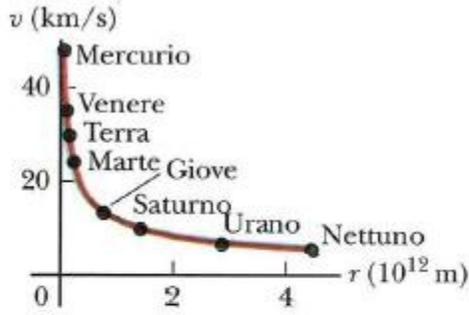


Figura 13.16 Il modulo v della velocità orbitale in funzione della distanza r dal Sole per gli otto pianeti del sistema solare. La curva teorica è disegnata in marrone mentre i punti neri rappresentano i dati sperimentali.

FIG.1

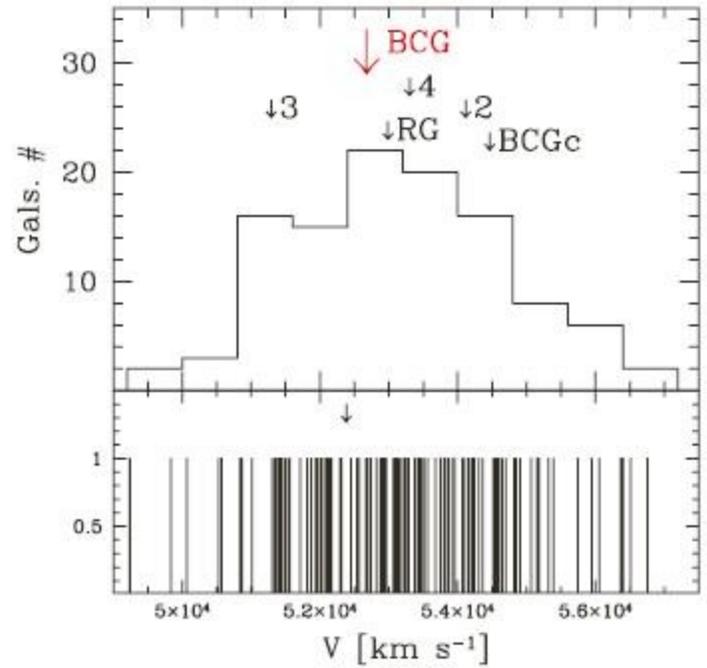


FIG.3

Velocita' delle galassie dell'ammasso di galassie (Abell 2254). Da Girardi et al. 2011, Astronomy & Astrophysics, 536, A89

Fig. 7. The 110 galaxies assigned to the cluster. *Upper panel:* velocity distribution. The arrows indicate the velocities of the BCG, other brightest galaxies, and RG. *Lower panel:* stripe density plot where the arrow indicates the position of the significant gap.

FIG.2 Curve di rotazione delle galassie.

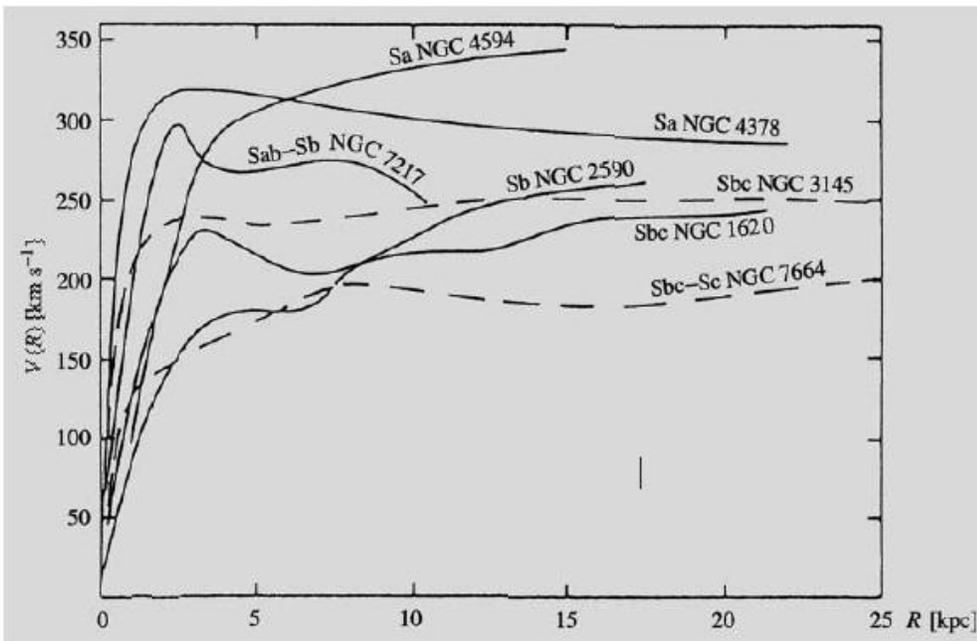


Fig. 18.9. Rotation curves for seven spiral galaxies. (Rubin, V.C., Ford, W.K., Thonnard, N. (1978): Astrophys. J. (Lett.) 225, L107)