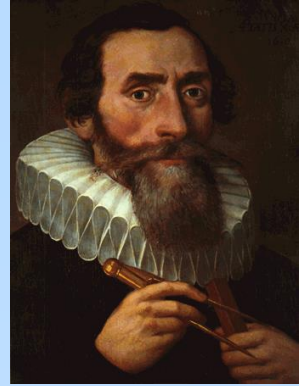
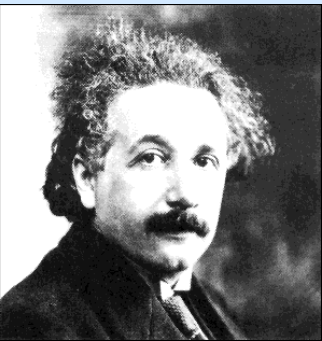


Misteri nell'Universo

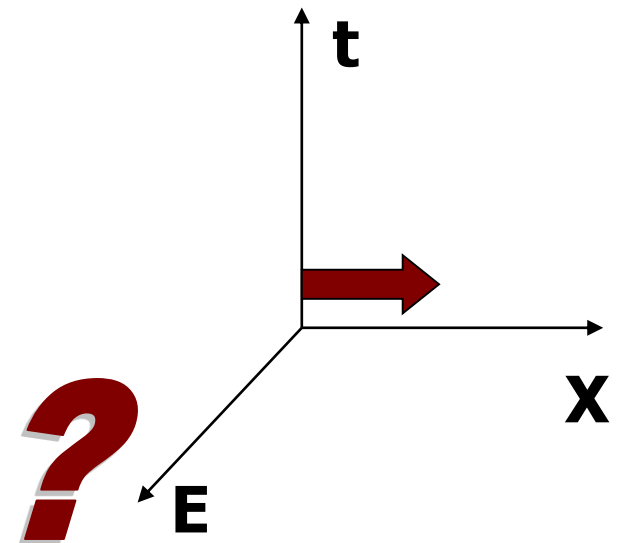


- Quali sono le forme di materia ed energia nell'universo osservabile?
- Quale e' la ricetta (ingredienti e proporzioni) del nostro universo?



L'eredità di Copernico

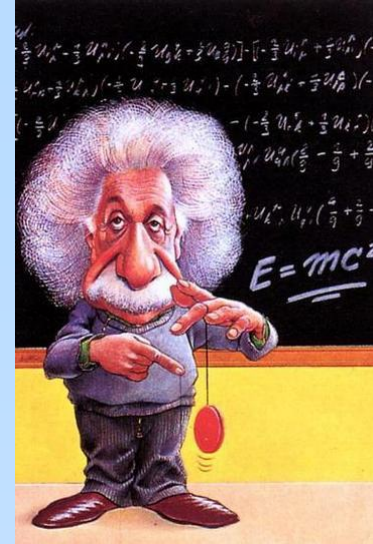
- Quale è la relazione fra l'uomo e l'universo per ciò che riguarda lo Spazio, il Tempo e l'Energia ?
- **x)** Copernico ci ha spostato dal centro dell'universo alla periferia del sistema solare. Oggi sappiamo di essere in uno di tanti sistemi solari, alla periferia della Galassia, una fra 10^{11} Galassie nell'universo visibile.
- **t)** Oggi sappiamo che siamo collocati a circa 13 Miliardi di anni da un evento particolare, il Big-Bang.
- **E)** Siamo fatti di un costituente particolare e raro della materia-energia dell'universo.



Materia ed energia

- L'equazione centenaria $E=mc^2$ significa che ad ogni forma di materia e' associata un'energia*.
- L'equazione piu' generale $E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$ si riduce a quella precedente se l'impulso $p=0$
- Dice che si puo' avere energia anche senza massa, pur di avere impulso p non nullo.
- Ad esempio per la radiazione elettromagnetica $m=0$ ed $E=cp$.
- La domanda che ci poniamo e' **quanta energia ci sia nell'universo****
- Il parametro fisico importante e' la densita' di energia, ossia l'energia per unita' di volume:

$$u = E/V$$



*A una massa di 1kg corrisponde un'energia di $0.9 \cdot 10^{17}$ Joule.

**Piu' generale che chiedersi quanta materia ci sia.

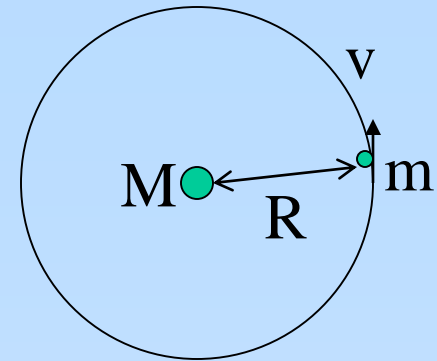
Il contenuto energetico dell' Universo

Ingredienti	U_i $10^{-10}[\text{J/m}^3]$	Osservazione
γ	0,00004	Osservata (CMB)
ν	(0,001–0,1)	Predetta dal Big Bang
Materia barionica	0,2	osservata
Materia oscura	2,4	Indiretta: dedotta da effetti gravitazionali
Energia oscura	4,8	Indiretta: dedotta dall' espansione accelerata

- La radiazione in fotoni e neutrini prodotta nel Big Bang supera di gran lunga quella prodotta dalle stelle durante la vita dell' universo.
- Un contributo minoritario al totale è costituito dalla materia detta barionica cioè quella per noi ordinaria, costituita da protoni, nuclei atomici ed elettroni.
- Il contributo dominante all'energia dell'universo viene dalla **materia oscura** e dall' **energia oscura**: misteri dell'universo !



Come si misura la massa di un oggetto in cielo ?

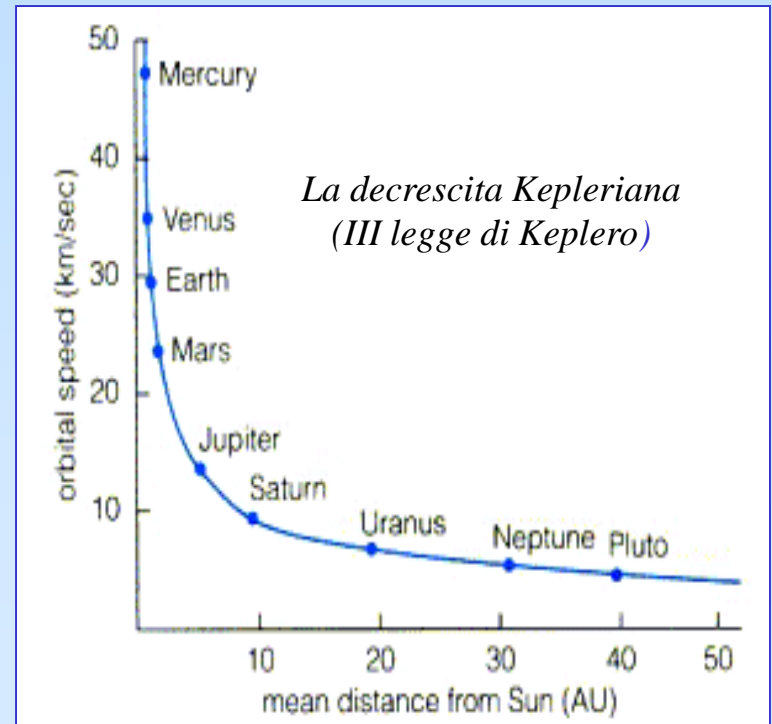


La terza legge di Keplero* e' una diretta conseguenza delle leggi di Newton:

$$ma = F = GMm/R^2 \quad ma \quad a = v^2/R \quad \text{da cui:}$$

$$v^2 = GM/R$$

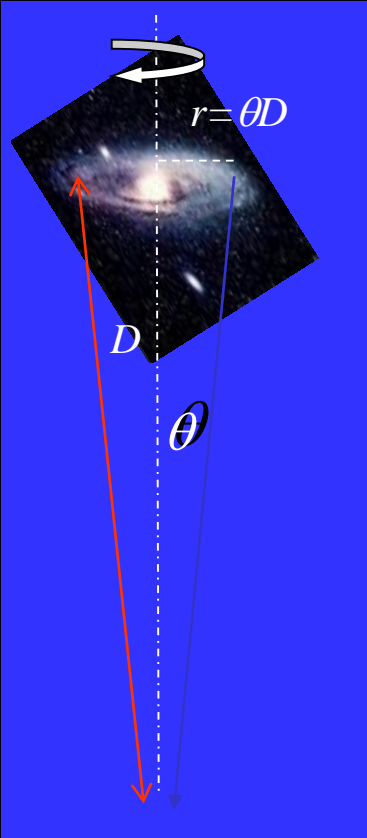
Se misuro le velocita e I raggi delle orbite dei pianeti posso ricavare la massa M del sole.



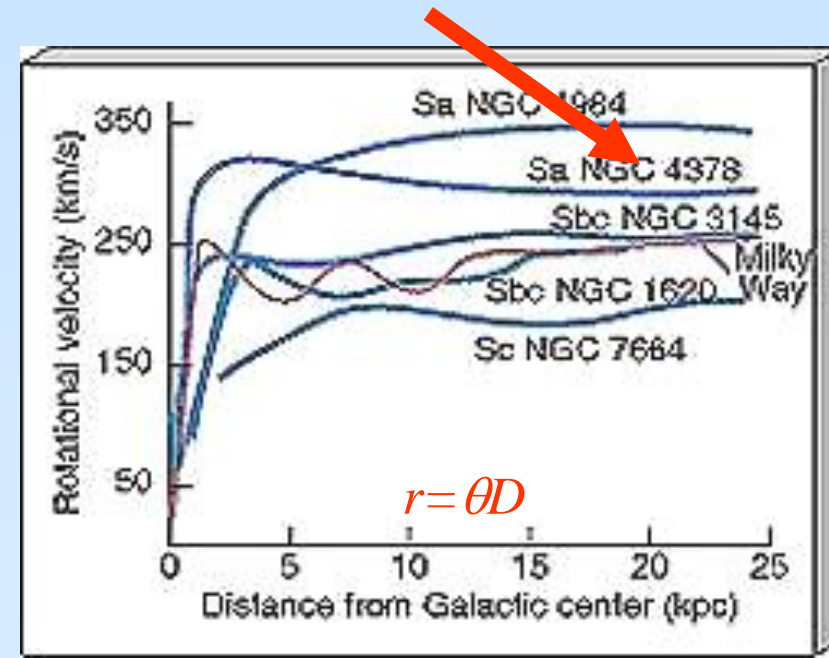
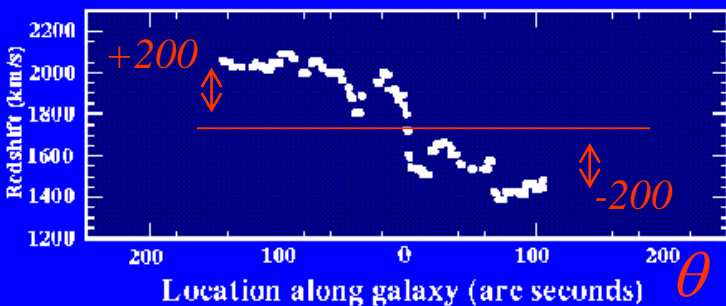
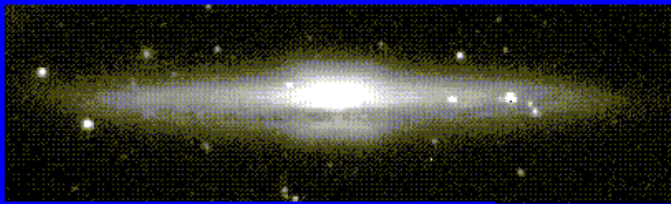
*I quadrati dei periodi di rivoluzione sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori, ossia $T^2/R^3 = costante$

Le curve di rotazione delle Galassie

- Le stelle (e tutta la materia) all' interno di una galassia ruotano attorno al centro.
- La radiazione che arriva da regioni diverse porta con sé informazioni sulla velocità della sua sorgente.
- Mediante l'effetto Doppler, si può ricostruire il profilo della velocità di rotazione.
- Ogni galassia ha la sua curva di velocità di rotazione, tutte però hanno una caratteristica comune: diventano **piatte** andando verso l' esterno.

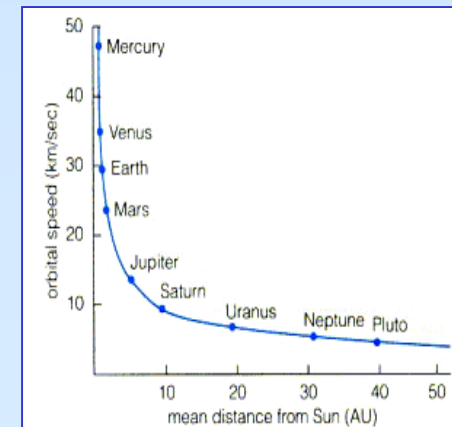
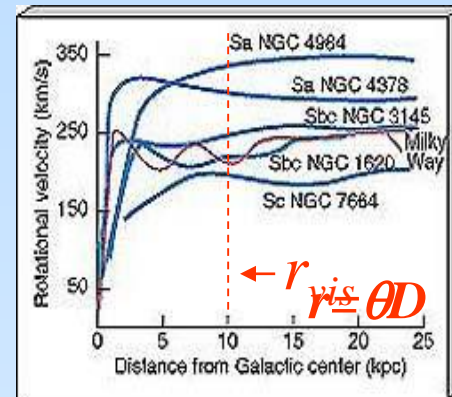
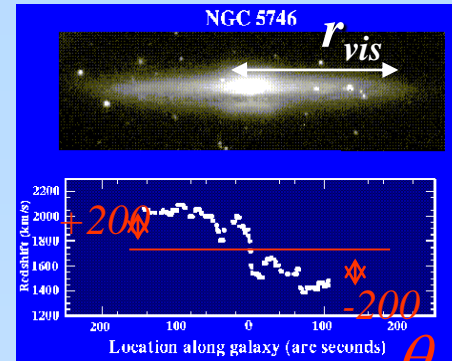


NGC 5746



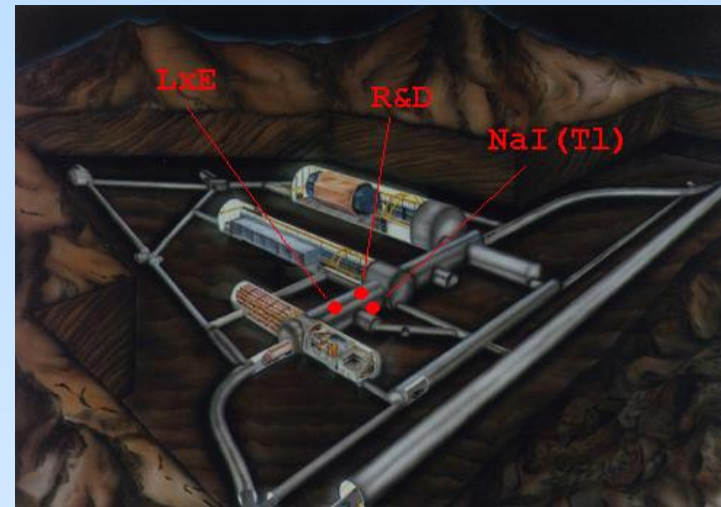
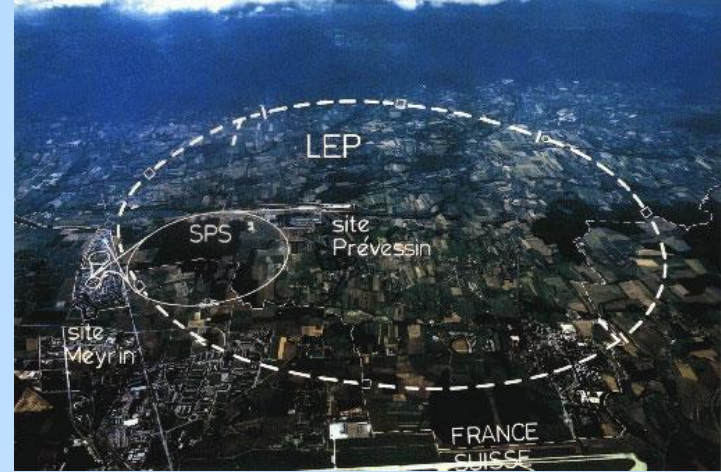
La materia oscura

- Se non ci fosse più materia oltre r_{vis} , dovrei aspettarmi che una decrescita (kepleriana) della velocità come succede nel sistema solare.
- Il fatto che V rimanga costante per $r > r_{vis}$, *significa che M cresce proporzionalmente con r .
- **C'è dunque della materia anche ben oltre il raggio visibile. Questa materia è oscura, nel senso che non emette luce.**
- La sua presenza è dedotta dagli effetti gravitazionali.
- Si valuta che la materia oscura nell' universo sia dieci volte più abbondante della materia ordinaria (cosiddetta barionica).
- **Oltre alla velocità delle stelle si misurano anche le velocità del gas (tipicamente la riga a 21 cm dell'H) anche nella zona dove non ci sono più stelle, $r > r_{vis}$.*



La natura della materia oscura

- La natura della materia oscura è al momento ignota.
- La sua comprensione e' uno dei problemi più interessanti della fisica di questo momento.
- L'ipotesi più accreditata è che si tratti di un gas di particelle circa cento volte più pesanti del protone e con interazioni debolissime, i neutralini, finora mai osservate in laboratorio.



La recessione delle Galassie

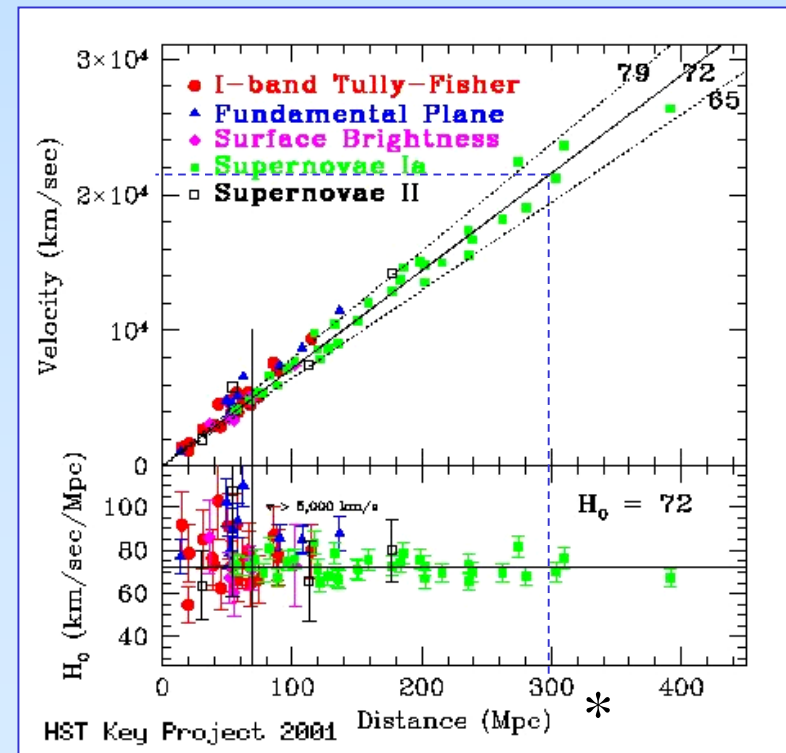
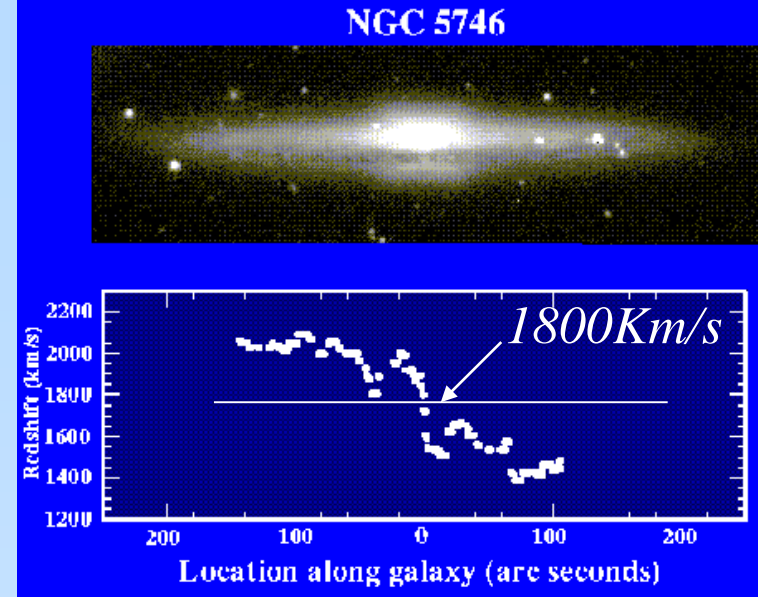
• Osserviamo che le galassie si allontanano da noi, e che la distanza **D** di ciascuna è proporzionale alla sua velocità **V** (legge di Hubble):

$$D = V t$$

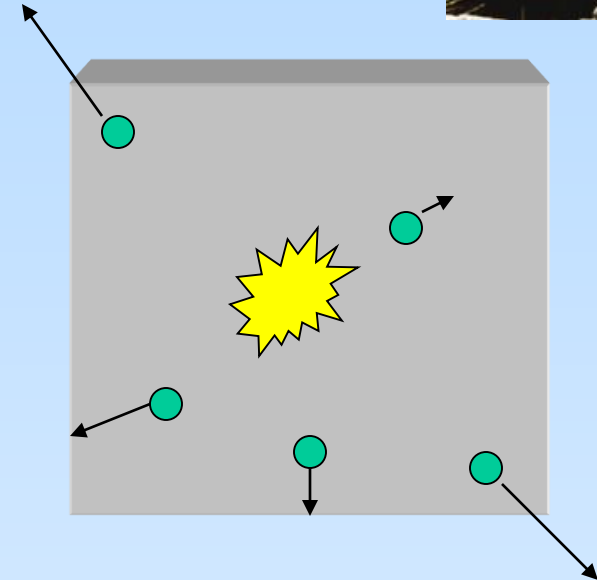
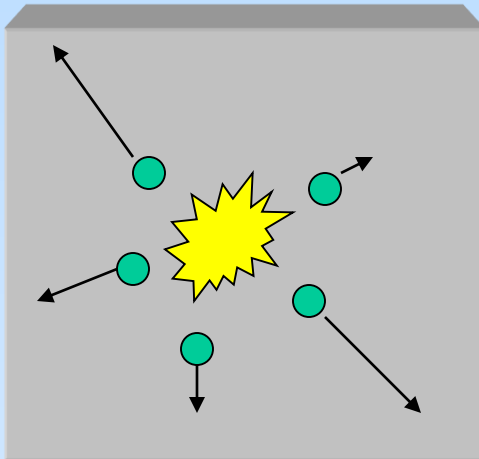
• Se questa legge valeva anche nel passato, le distanze tendono a zero

quando $t = 0$, cioè l'universo si riduce a un punto.

• Il valore odierno circa $t = D/v = 14$ Miliardi di anni, ci dice quanto tempo è trascorso dal big bang.



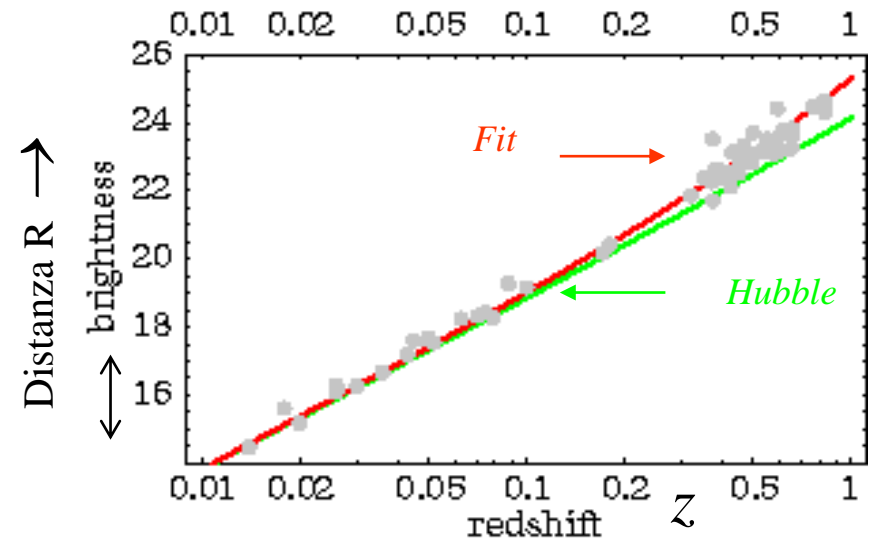
L'esplosione (espansione) dell'universo



- Come in ogni esplosione, vanno più lontano gli oggetti che hanno velocità maggiore.
- Se non ci sono interazioni, il loro moto è rettilineo e uniforme

L'espansione e' accelerata:

- La legge di Hubble $V = \text{const } R$ corrisponde a un'espansione uniforme dello spazio.
- E' naturale chiedersi se, a grande distanza, non ci siano accelerazioni o decelerazioni in questo processo.
- Negli ultimi anni da una serie di osservazioni a grandissima distanza e' emerso che la luminosità delle "candele campione" (SNIa) decresce con *la velocità* più di quanto previsto dalla legge di Hubble



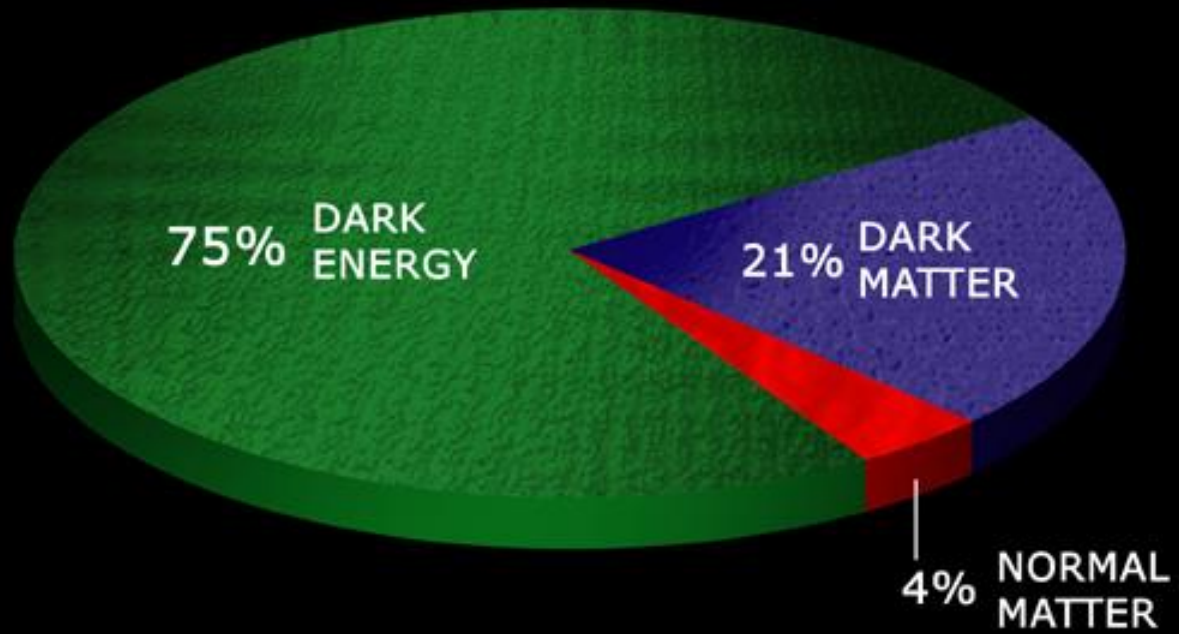
- Cioè per una determinata velocità le SNIa sono a distanza maggiore di quanto previsto dalla legge di Hubble.
- Ciò si interpreta come una **espansione accelerata** dell'universo.

Energia oscura: la sorgente dell' accelerazione

- L'accelerazione non può essere spiegata dalle interazioni gravitazionali di materia (inclusa la materia oscura) e radiazione, che darebbero semmai un effetto di decelerazione.
- L'espansione accelerata richiede una nuova forma di energia, che permea tutto l'universo e che ha un'equazione di stato inusuale:
- Mentre materia e radiazione hanno equazioni di stato del tipo $\Delta P = k \Delta U$ con $k > 0$, per questa forma di energia la costante è negativa.



- Questa **energia oscura**, di cui si sa pochissimo, è il costituente principale dell'energia dell'universo.





Ci son più cose in cielo
e in terra, Orazio, che
non ne sogni la tua
filosofia