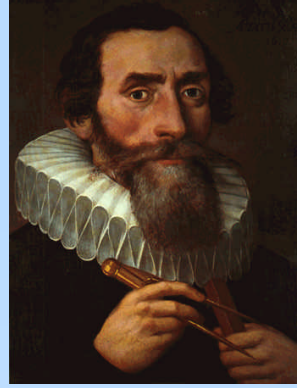
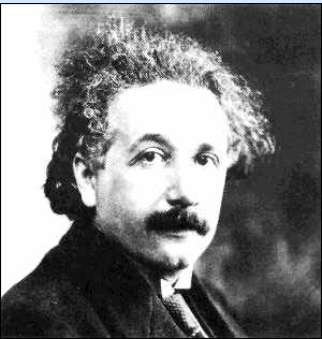




# Misteri nell'Universo

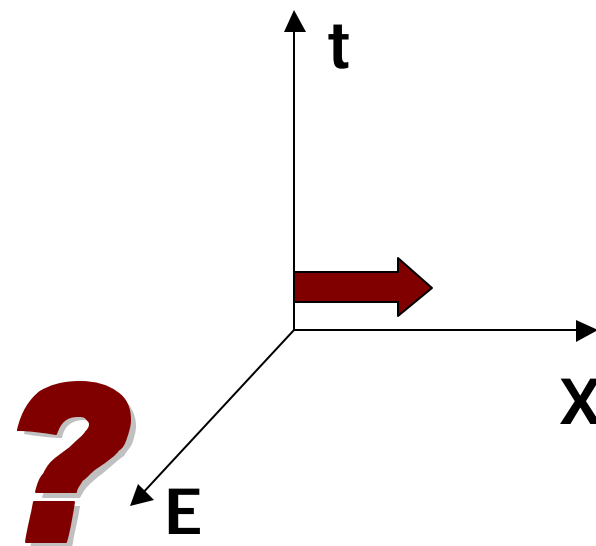
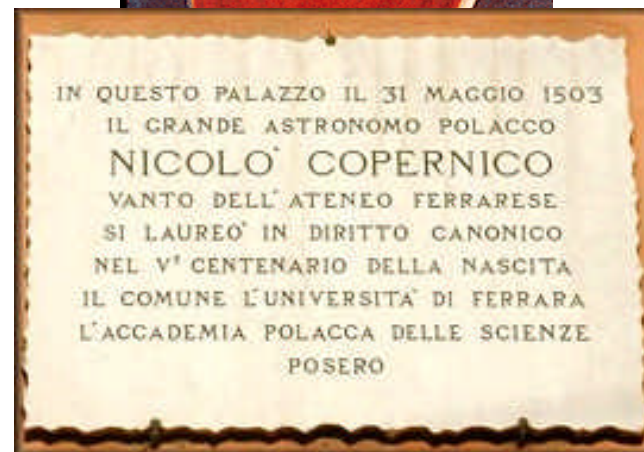


- Quali sono le forme di materia ed energia nell'universo osservabile?
- Quale e' la ricetta (ingredienti e proporzioni) del nostro universo?



# L'eredità di Copernico

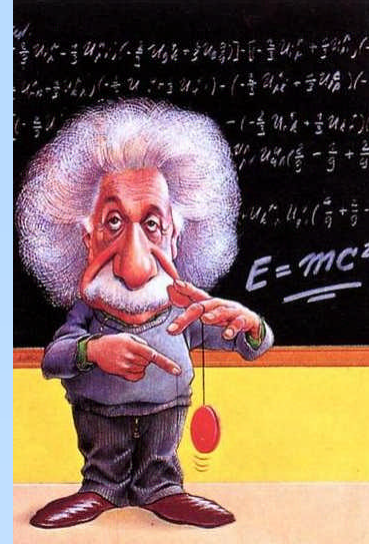
- Quale è la relazione fra l'uomo e l'universo per ciò che riguarda lo Spazio, il Tempo e l'Energia ?
- **x)** Copernico ci ha spostato dal centro dell'universo alla periferia del sistema solare. Oggi sappiamo di essere in uno di tanti sistemi solari, alla periferia della Galassia, una fra  $10^{11}$  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.

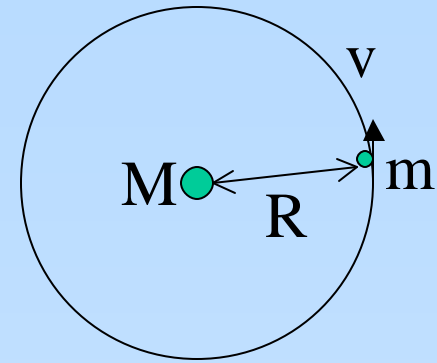
# Il contenuto energetico dell' Universo

Ingredienti	$U_i$ $10^{-10}[\text{J/m}^3]$	Osservazione
$\gamma$	0,00004	Osservata (CMB)
$\nu$	(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 ?

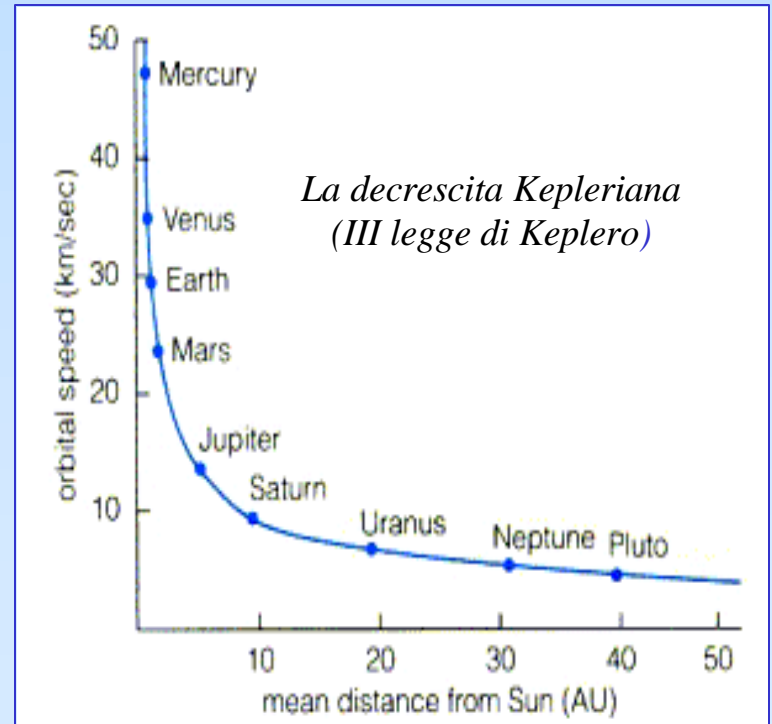


La terza legge di Keplero\* e' una diretta conseguenza delle leggi di Newton:

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

$$v^2 = GM/R$$

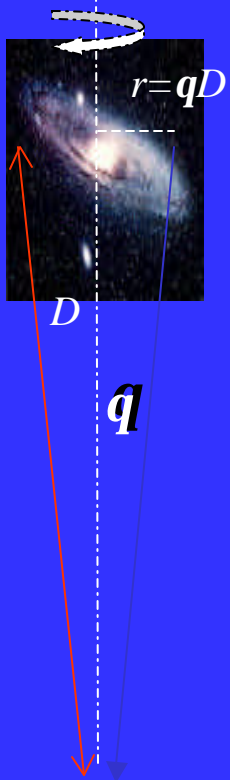
Se misuro le velocita e I raggi delle orbite dei pianeti posso ricavare la massa M del sole.



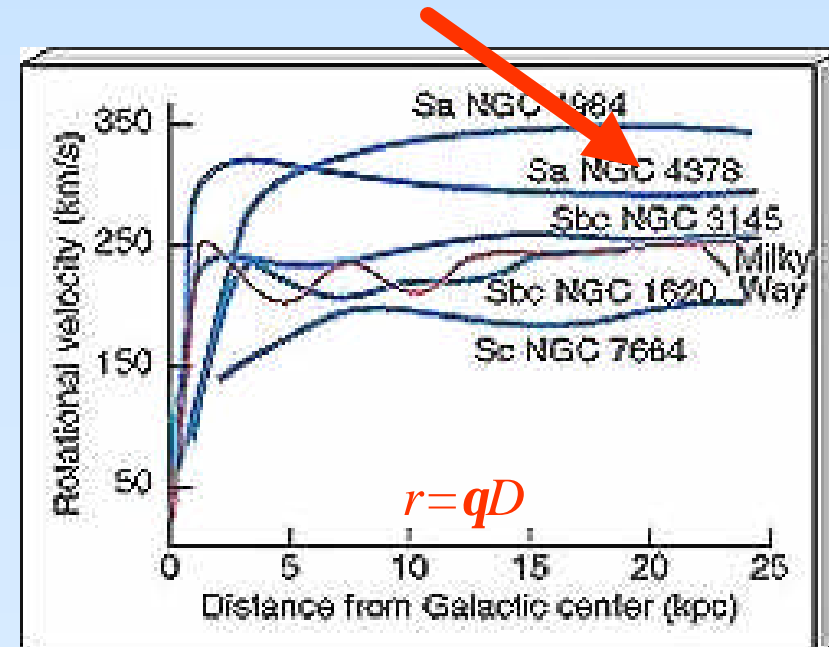
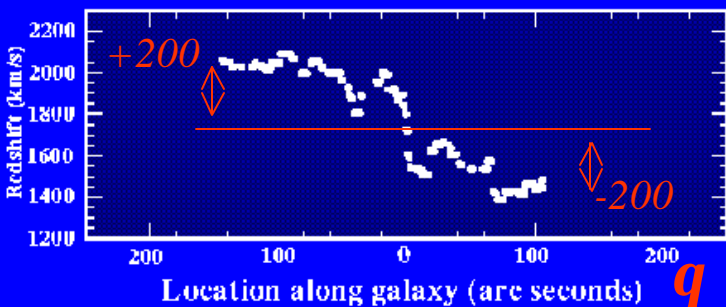
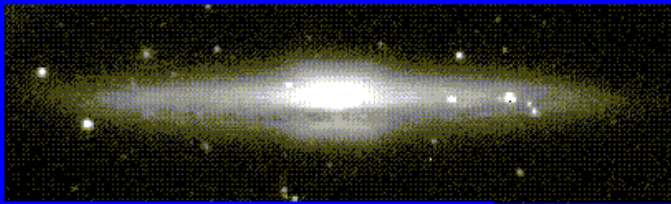
\*I quadrati dei periodi di rivoluzione sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori, ossia  $T^2/R^3 = \text{costante}$

# 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.

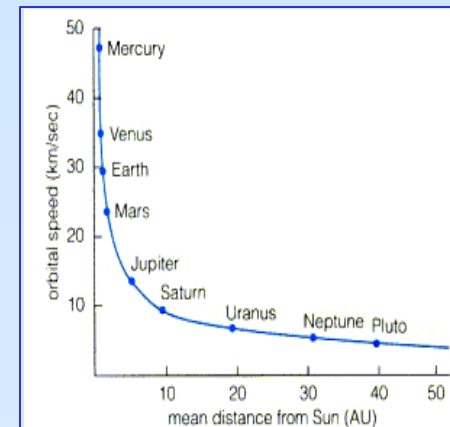
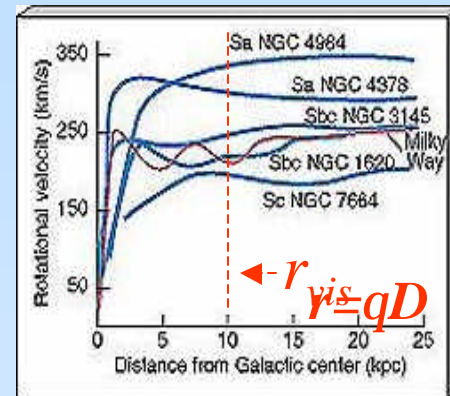
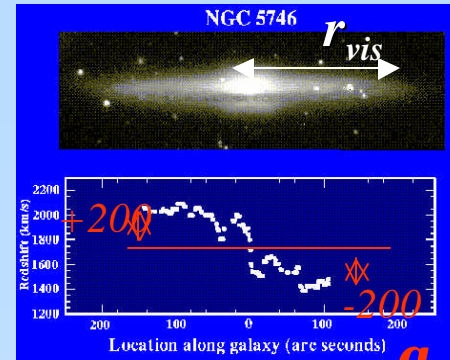


NGC 5746



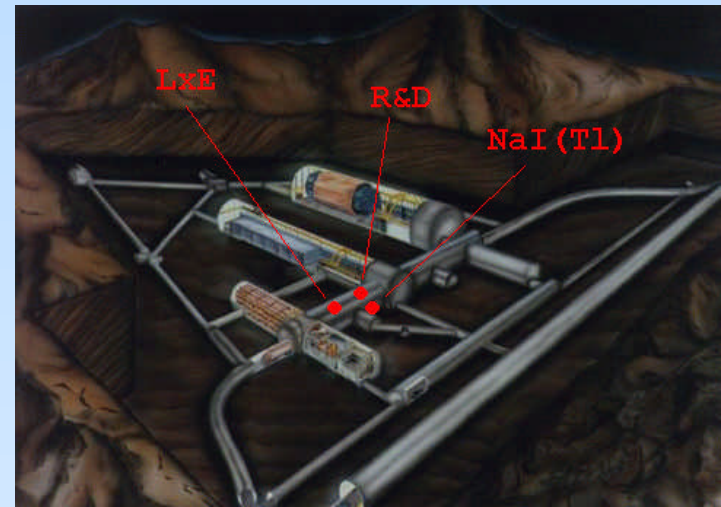
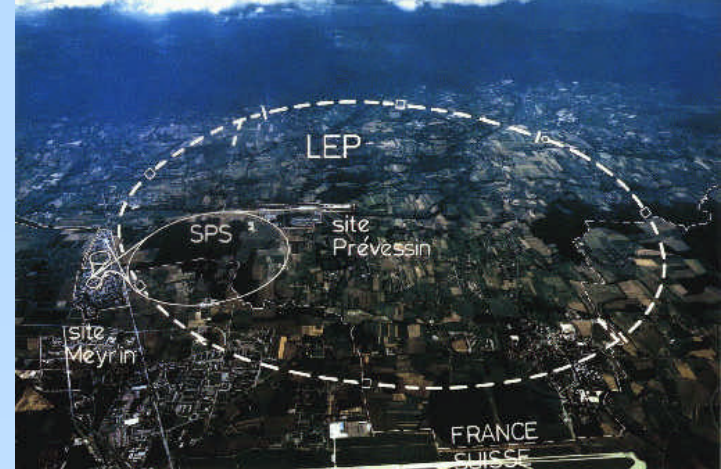
# La materia oscura

- 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 è 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.



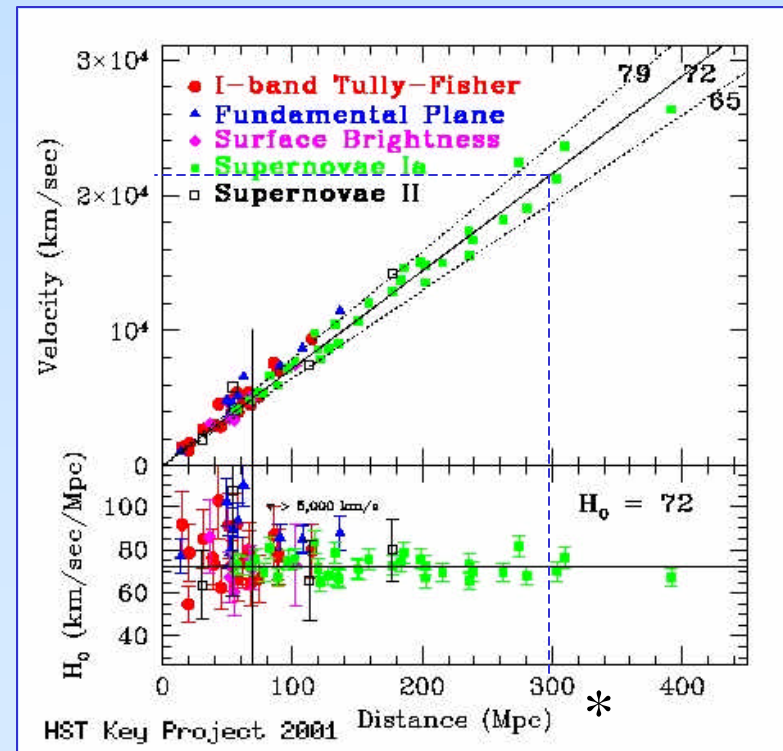
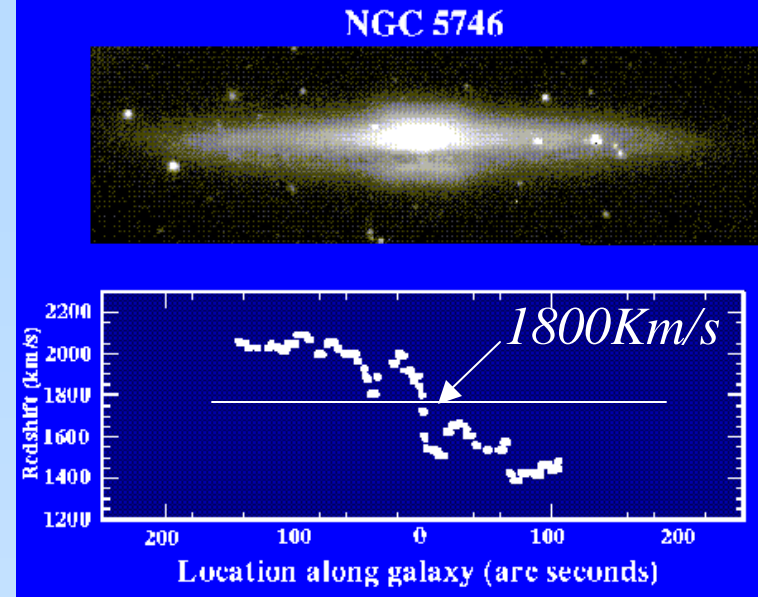
# La recessione delle Galassie

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

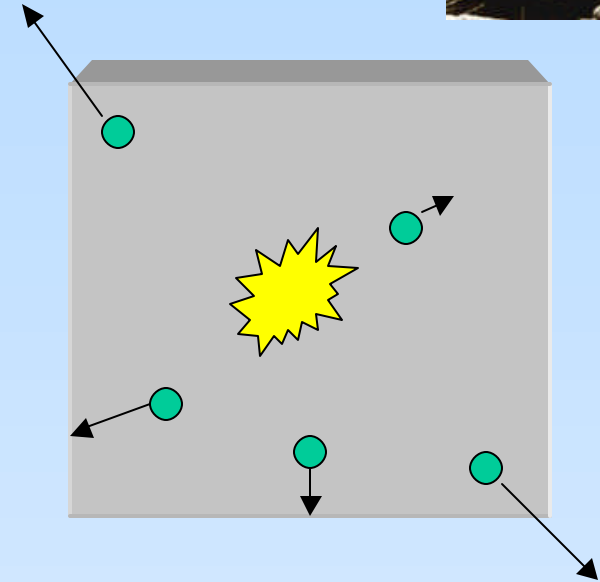
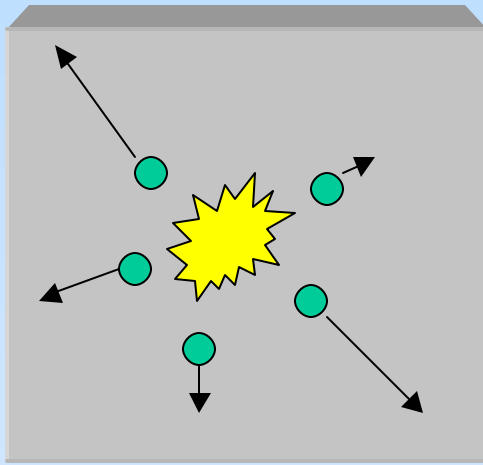
$$D = V t$$

- 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.



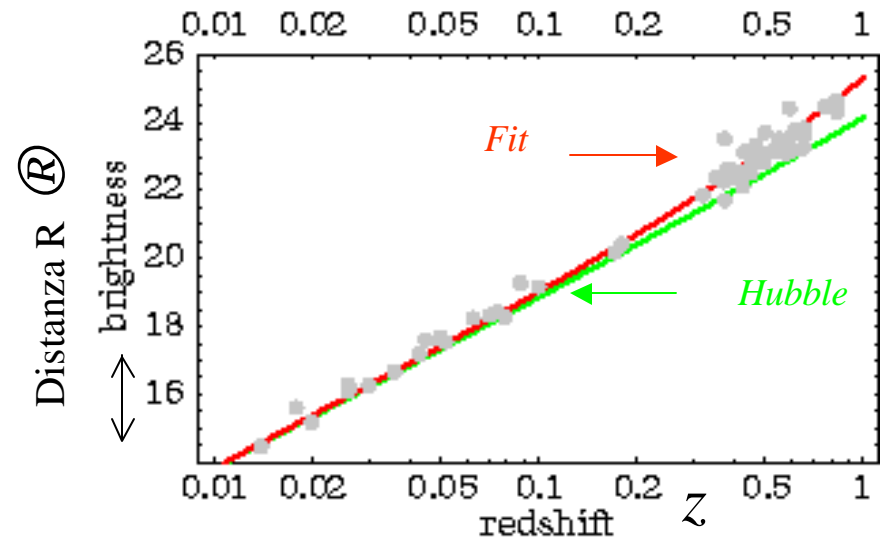
# L'esplosione (espansione) dell'universo



- 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



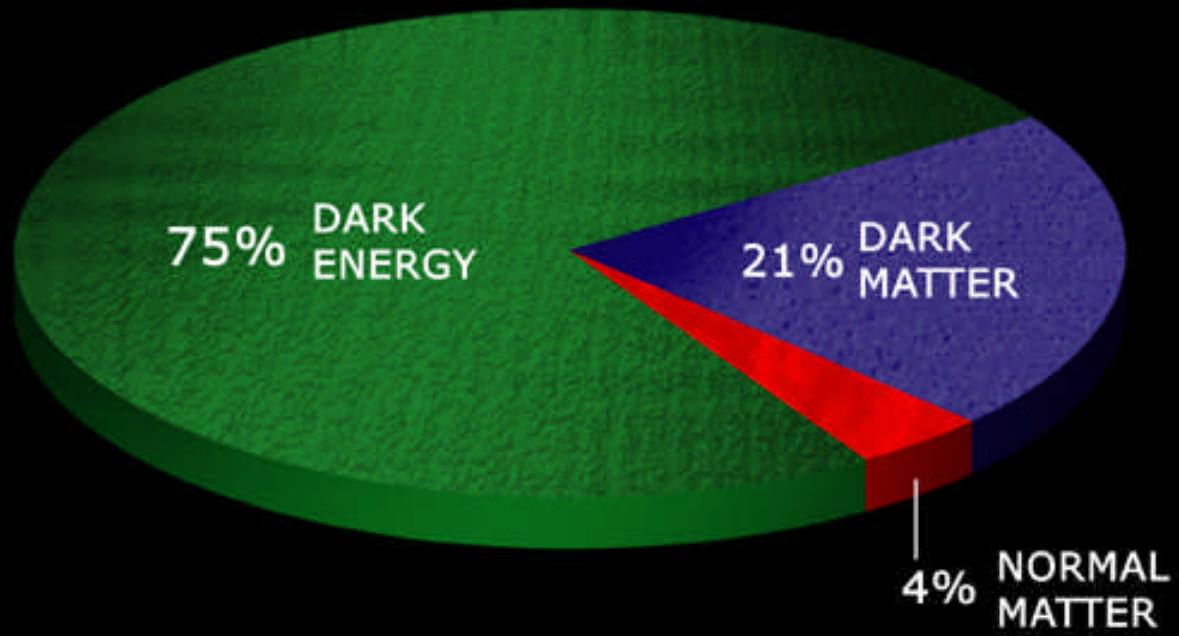
- Cioè per una determinata velocità le SNIa sono a distanza maggiore di quanto previsto dalla legge di Hubble.
- Ciò si interpreta come una **espansione accelerata** dell'universo.

# 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