

Cosmologia con le Quattro Operazioni

Stefano Spagocci

GACB



Introduzione

- L'umanità si è posta il problema cosmologico fin dai suoi albori.
- Le risposte erano però religiose e filosofiche, fino ai primi decenni del secolo scorso.



Il Big Bang

- Sappiamo che tutte le galassie sembrano allontanarsi da un centro comune.
- Quindi 13.7 miliardi di anni fa tutta la materia si trovava concentrata in un punto a temperatura e densità “infinite” e tutto era scisso in particelle elementari.



Il Big Bang

- I calcoli in cosmologia sono piuttosto semplici e riguardano sia il moto dell'universo, sia il destino delle particelle elementari.
- Qui ci concentreremo per semplicità sul secondo aspetto.



L'Approccio

- L'Universo, espandendosi, si raffredda.
- Ad ogni temperatura corrisponde un'energia media delle particelle in movimento.
- L'energia può trasformarsi in massa e viceversa.



L'Approccio

- Quando due particelle si scontrano possono trasformare la loro energia nella massa di altre particelle, a seconda della loro temperatura.
- E' possibile quindi ricostruire la storia termica dell'Universo.



Gli ingredienti

- L'energia (in eV) di una particella è legata alla sua temperatura (in K) da:

$$E(\text{eV}) = T(\text{K}) / 10000 ; T(\text{K}) = 10000 E(\text{eV})$$

(1 eV = energia acquisita da un elettrone accelerato da una pila da 1V).



Gli ingredienti

- La temperatura (in K) dopo un tempo t (in s) dal Big Bang è:

$$T(K) = 10^{10} / \sqrt{t(s)} ; t(s) = 10^{20} / T(K)^2$$

(10^{10} = 1 seguito da 10 zeri = 10 miliardi ecc.).



Gli Ingredienti

- $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1 \text{ miliardo di eV} =$
energia di un elettrone spinto da 1 miliardo
di pile da 1 eV.
- $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1 \text{ milione di eV} =$
energia di un elettrone spinto da 1 milione
di pile da 1 V.
- $1 \text{ KeV} = 10^3 \text{ eV} = 1000 \text{ eV} =$ energia di
un elettrone spinto da mille pile da 1V.



Teoria del Tutto

- Una Teoria del Tutto dovrebbe unificare gravità, forze nucleari ed elettromagnetismo.
- Tale teoria si farebbe sentire quando la gravità diventa predominante sulle altre forze.
- Se calcoliamo la massa (energia) per cui la forza gravitazionale tra due particelle domina su quella elettromagnetica, troviamo la Massa di Planck, cioè 10^{19} GeV.



Teoria del Tutto

- Le particelle avevano energia media di 10^{19} GeV = 10^{28} eV alla temperatura:
 $T = 10^4 \cdot 10^{28} \text{ K} = 10^{32} \text{ K}.$
- Quindi le particelle avevano energia superiore alla massa di Planck (e vigeva la Teoria del Tutto) prima del tempo:
 $t = 10^{20} / (10^{32})^2 \text{ s} = 10^{20} / 10^{64} \text{ s} =$
 $= 10^{-44} \text{ s}$ (in realtà $10^{-43} \text{ s} =$ Tempo di Planck).



Grande Unificazione

- Alla Grande Unificazione le forze nucleari sono unificate con quelle elettromagnetiche.
- Le misure agli acceleratori di particelle ci dicono che ciò avverrebbe ad un'energia di 10^{15} GeV.
- Una tale energia non è raggiungibile con gli acceleratori di particelle costruibili anche nel futuro, ma fu raggiunta e superata nel Big Bang.



Grande Unificazione

- Le particelle avevano energia media di 10^{15} GeV = 10^{24} eV alla temperatura:
 $T = 10^4 \cdot 10^{24} \text{ K} = 10^{28} \text{ K}.$
- Quindi le particelle avevano energie superiori a quelle di Grande Unificazione (e vigeva la Grande Unificazione) prima del tempo:
 $t = 10^{20} / (10^{28})^2 = 10^{20} / 10^{56} =$
 $= 10^{-36} \text{ s (in realtà } 10^{-35} \text{ s)}.$



Teoria Elettrodebole

- La Teoria Elettrodebole (Weinberg, Glashow, Salam) unifica le forze elettromagnetiche con le forze nucleari deboli (responsabili di parte della radioattività).
- Se vale la teoria elettrodebole devono esistere delle particelle dette W^+ , W^- e Z^0 (scoperte da Rubbia e collaboratori). Tali particelle hanno massa di circa 100 GeV.



Teoria Elettrodebole

- Le particelle avevano energia media di $10^2 \text{ GeV} = 10^{11} \text{ eV}$ alla temperatura:
 $T = 10^4 \cdot 10^{11} \text{ K} = 10^{15} \text{ K}.$
- Quindi le particelle avevano energie superiori a quelle di produzione di W e Z (e vigeva l'Unificazione Elettrodebole) prima del tempo:
 $t = 10^{20} / (10^{15})^2 = 10^{20} / 10^{30} = 10^{-10} \text{ s}.$



Esistenza dei Nuclei

- I nuclei atomici sono legati dalla forza nucleare forte.
- Le energie di legame dei nuclei sono dell'ordine di 100 KeV, al minimo.
- Se le particelle urtanti hanno energie superiori a circa 100 KeV, i nuclei si disintegrano e non possono esistere; ad energie inferiori, invece, possono esistere.



Esistenza dei Nuclei

- Le particelle avevano energia media di $100 \text{ KeV} = 10^5 \text{ eV}$ alla temperatura:
 $T = 10^4 \text{ } 10^5 \text{ K} = 10^9 \text{ K}.$
- Quindi le particelle avevano energie superiori a quelle necessarie per disintegrare i nuclei prima del tempo:
 $t = 10^{20} / (10^9)^2 = 10^{20} / 10^{18} =$
 $= 100 \text{ s}$ (in realtà 3 min, vd. “I Primi 3 Minuti” di Weinberg).



Esistenza degli Atomi

- Gli atomi sono legati dalla forza elettromagnetica; le energie di legame degli elettroni atomici sono dell'ordine di 1 eV, al minimo.
- Se le particelle urtanti hanno energie superiori a circa 1 eV, gli atomi si ionizzano (perdono elettroni) e non possono esistere; ad energie inferiori, invece, possono esistere.
- Dopo che gli elettroni si legano ai nuclei, essi non possono più generare fotoni e la radiazione si disaccoppia dalla materia (radiazione a 3 K).



Esistenza degli Atomi

- Le particelle avevano energia media di 1 eV alla temperatura:
 $T = 10^4 \text{ K} = 10000 \text{ K}.$
- Quindi le particelle avevano energie superiori a quelle necessarie per ionizzare gli atomi prima del tempo:
 $t = 10^{20} / (10^4)^2 = 10^{20} / 10^8 =$
 $= 10^{12} \text{ s} = 100000 \text{ anni (1 anno} = 10^7 \text{ s circa)}.$



Cronistoria del Big Bang

- Fino a 10^{-43} s tutte le forze sono unificate e forse regna la teoria delle stringhe.
- Dai 10^{-43} s ai 10^{-35} s le forze nucleari ed elettromagnetiche rimangono unificate.
- Dai 10^{-35} s ai 10^{-10} s le forze deboli ed elettromagnetiche rimangono unificate.
- Dopo 3 min possono esistere i nuclei atomici.
- Dopo 100000 anni possono esistere gli atomi, la radiazione si disaccoppia dalla materia ed ha origine la radiazione fossile a 3 K.

