





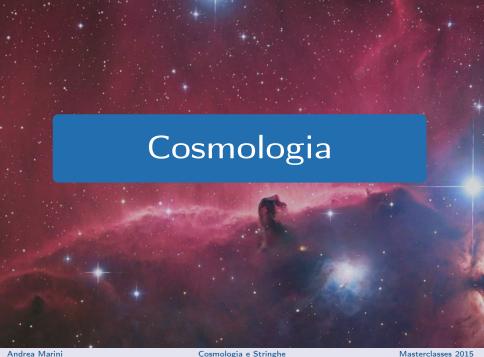
hands on particle physics

# Cosmologia e Stringhe

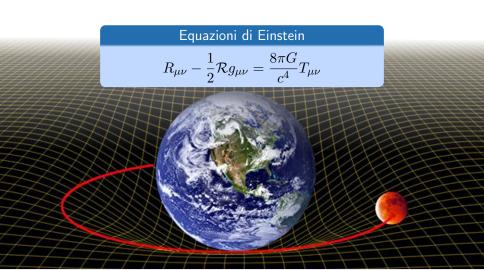
### Andrea Marini

INFN, Sezione di Perugia & Università degli Studi di Perugia





- spazio-tempo dinamico
- "nuova" descrizione per la gravità



## Relatività generale applicata all'Universo

- equazioni della RG non sono compatibili con un Universo statico
- spettri delle galassie distanti presentano red-shift
  - Vesto Slipher (1912)
  - Edwin Hubble (1929)





l'Universo si espande!

► Georges Lemaître (1927)



■ l'Universo si espande...

non esiste un centro dell'espansione

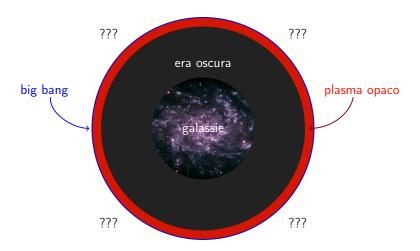
■ riavvolgendo il tempo  $\longrightarrow$  istante in cui ogni distanza  $\to 0$   $\longrightarrow$  catastrofe  $\longrightarrow$  Big Bang

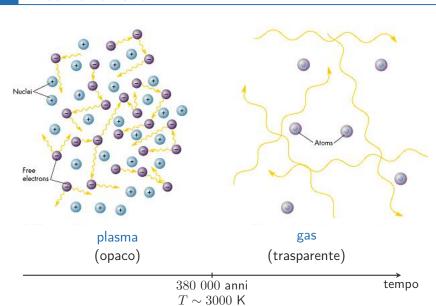
 segno che la nostra conoscenza è incompleta, non una teoria per l'origine dell'Universo

- luce viaggia con velocità finita,  $c \simeq 300~000~\text{km/s}$
- osservare regioni distanti dell'Universo = osservare l'Universo indietro nel tempo
- ... quindi possiamo "vedere" fino al Big Bang?





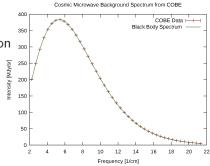




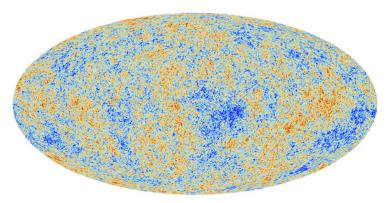
Andrea Marini Cosmologia e Stringhe Masterclasses 2015

F

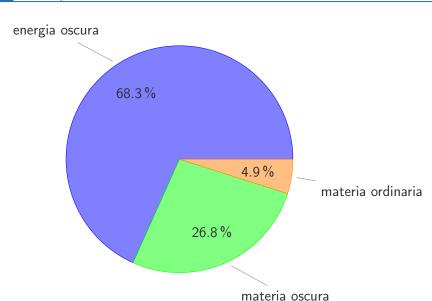
- radiazione emessa immediatamente dopo la transizione da plasma a gas
- radiazione più antica dell'Universo
- scoperta nel 1964 da Penzias e Wilson
- spettro di corpo nero a 2.7 K
- isotropa fino all'ordine di 1/100 000



### Mappa della CMB ottenuta dalla sonda Planck



- anisotropie in temperatura dell'ordine di 1/100 000 → sono il seme delle galassie
- età dell'Universo ~ 13.7 miliardi di anni



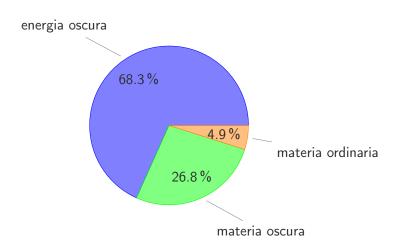
- materia che non interagisce con la luce
- gli unici effetti della sua presenza sono gravitazionali
- evidenze
  - rotazione delle galassie
  - spettro di potenza della CMB
  - gravitational lensing

- meccanismo fisico in grado di spiegare l'accelerazione dell'espansione dell'universo
- meccanismo più accreditato → modifica della gravità di Einstein

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\mathcal{R}g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

- ightharpoonup introduzione della costante cosmologica ( $\Lambda$ ) nelle eq. di Einstein
- vuoto con densità di energia positiva
- ▶ espansione genera "più vuoto" → più energia

• non sappiamo quasi nulla della composizione dell'Universo



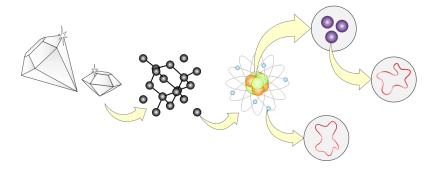






## Una nuova prospettiva...

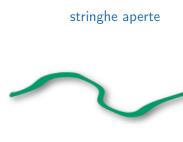
Teoria del tutto: i fenomeni fisici ad ogni scala, dalle più grandi (cosmologia) alle più piccole (fisica subnucleare) sono governati dalle stesse leggi fondamentali



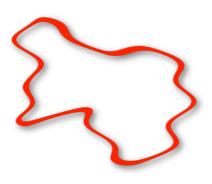
i costituenti fondamentali non sono puntiformi ma unidimesionali

Teroia delle Stringhe

Andrea Marini Cosmologia e Stringhe Masterclasses 2015



stringhe chiuse



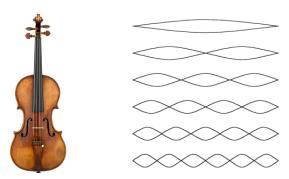
#### Tre costanti fondamentali in natura

- costante di Planck ħ
- lacktriangledown costante gravitazionale di Newton G
- lacktriangle velocità della luce c



$$\ell_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \simeq 1.62 \times 10^{-35} \mathrm{m}$$

come una corda vibrante ogni stringa ha diversi modi di vibrazione



ogni modo corrisponde a un tipo di particella

particelle che osserviamo in natura (materia e interazioni) — differenti armoniche di una corda vibrante!

... tra le varie "note" emesse dalle stringhe ci sono:

- particelle del modello standard
- gravitone



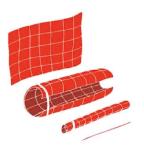
la Teoria delle Stringhe permette di controllare le fluttuazioni gravitazionali su piccola scala e riconciliare la Relatività Generale di Einstein con la Meccanica Quantistica

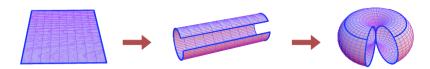
- la Teoria delle Stringhe prevede 10 dimensioni spazio-temporali

ma l'Universo ha "solo" 4 dimensioni!

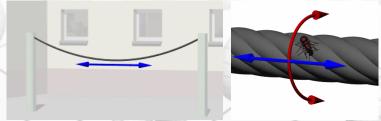
... un'idea antica (Kaluza-Klein)

compattificazione delle extra-dimensioni





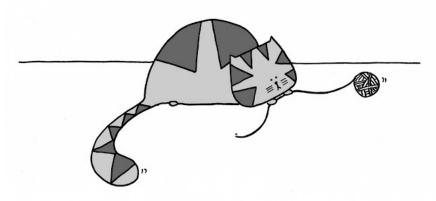
■ 6 dimensioni spaziali sono compatte → piccole e arrotolate



 la geometria delle dimensioni compatte determina le proprietà delle particelle elementari

- teoria quantistica della gravità
  - buchi neri e loro termodinamica
  - problemi cosmologici
- prevede esistenza della supersimmetria per consistenza interna
- permette di spiegare la materia oscura e l'energia oscura
- a basse energie si riproduce la fisica delle interazioni fondamentali nota
- riesce a descrivere il comportamento del plasma di quark e gluoni

WHATEVER THE THEORY, STRING IS FUN.



@DIANA PARKHOUSE 2011