

# L'Universo secondo la Fisica moderna

Cesare Bini

*Universita' "La Sapienza" Roma*

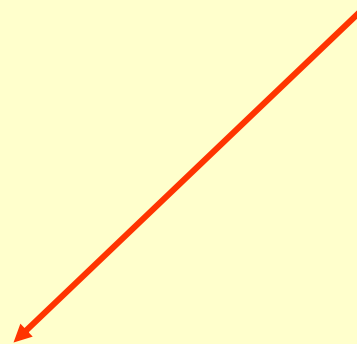
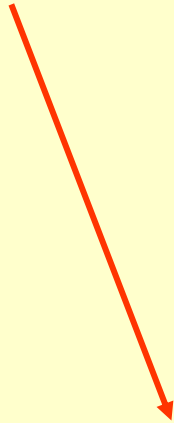
- Come la Fisica del XX secolo ha affrontato il problema dell'origine dell'Universo e
- quali sono i problemi aperti lasciati in eredita' al XXI secolo

## INFINITAMENTE GRANDE

Astronomia,  
Astrofisica,  
Cosmologia

## INFINITAMENTE PICCOLO

Fisica Atomica,  
Fisica Nucleare,  
Fisica delle Particelle Elementari



“Discorso sull’**Universo** nel suo insieme”  
→ Come e’ fatto e di cosa e’ fatto ?  
→ Quale e’ stata l’origine, quale il destino ?

Edwin Hubble (1889-1953)

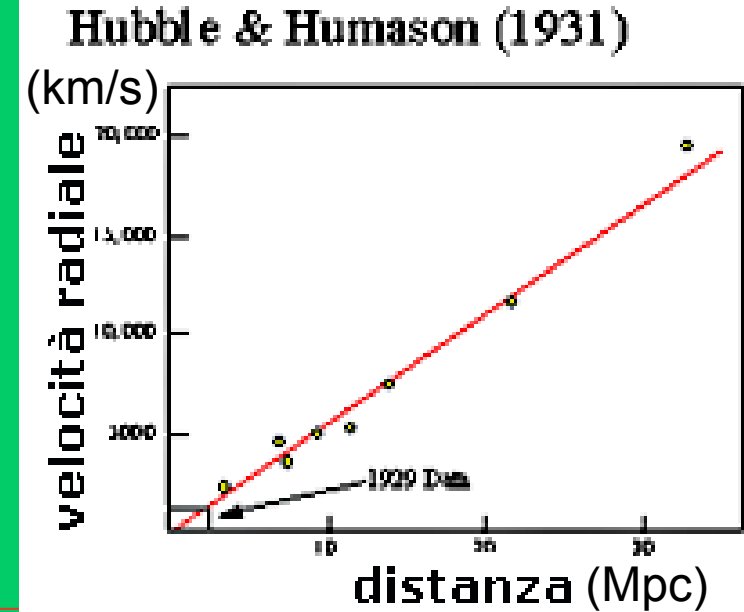
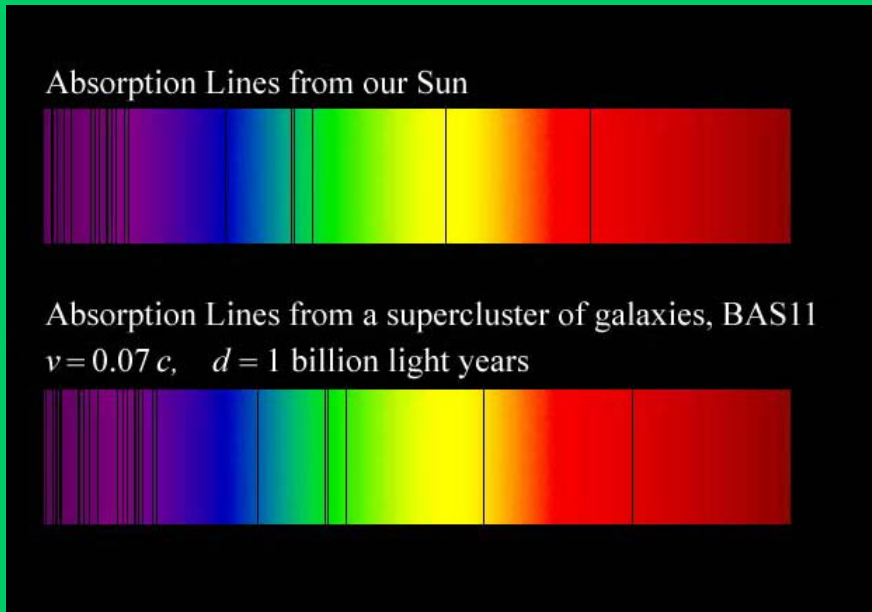


(1) L' Universo e' costituito da un insieme (forse infinito) di galassie.

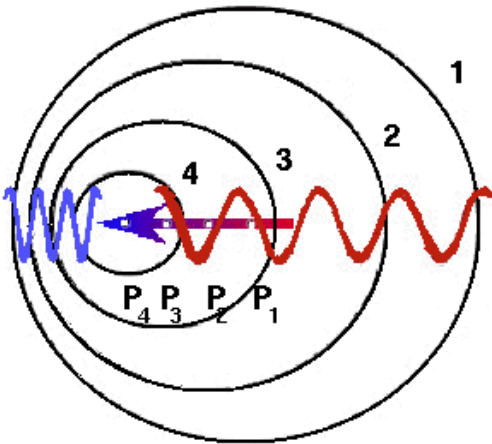


*Principio Cosmologico*: per qualunque osservatore in qualunque punto dell'Universo, l'Universo appare **omogeneo e isotropo**

# Osservazione degli spettri di galassie lontane



## Intepretazione del “red-shift”: effetto Doppler



(2) Le galassie si allontanano le une dalle altre tanto piu' velocemente quanto piu' sono lontane: la **legge di Hubble**

$$v = Hd$$

Cosa significa la legge di Hubble ?

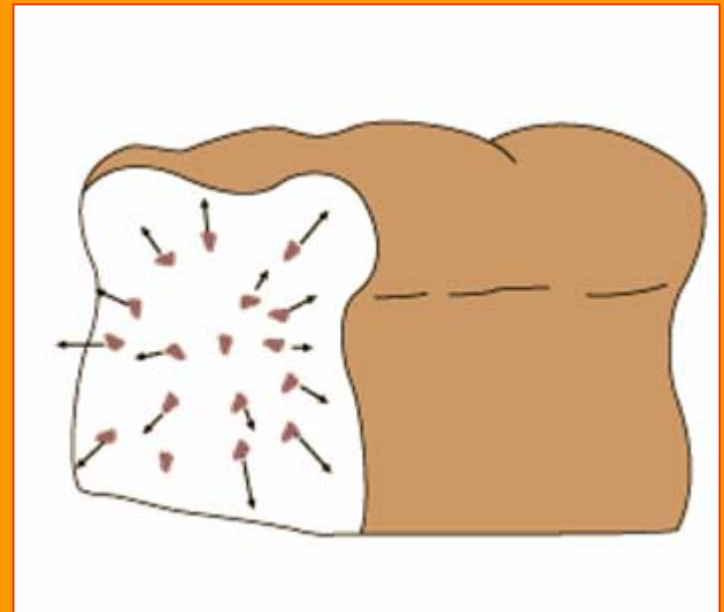
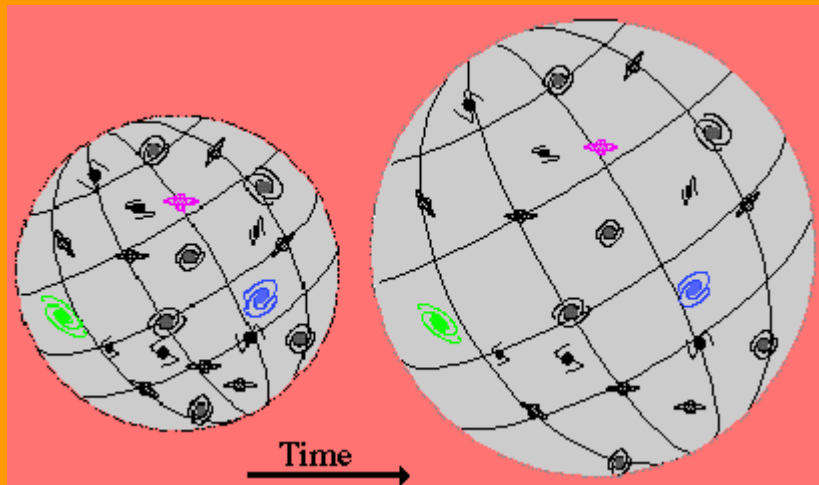
**Significa che l'Universo si sta espandendo !**

→ Dati 2 punti nello spazio, la loro distanza cresce

→ lunghezza d'onda della luce cresce → "red-shift"

→ Galassie lontane 1 miliardo di anni luce: la luce ha viaggiato per 1 miliardo di anni, ha avuto tempo per allungarsi !

Tutti si allontanano da tutti.



Inizio anni '30: nuova visione dell'Universo

“...sensate esperienze...certe dimostrazioni.”  
(G.Galilei)

1916: Teoria della **Relativita' Generale**

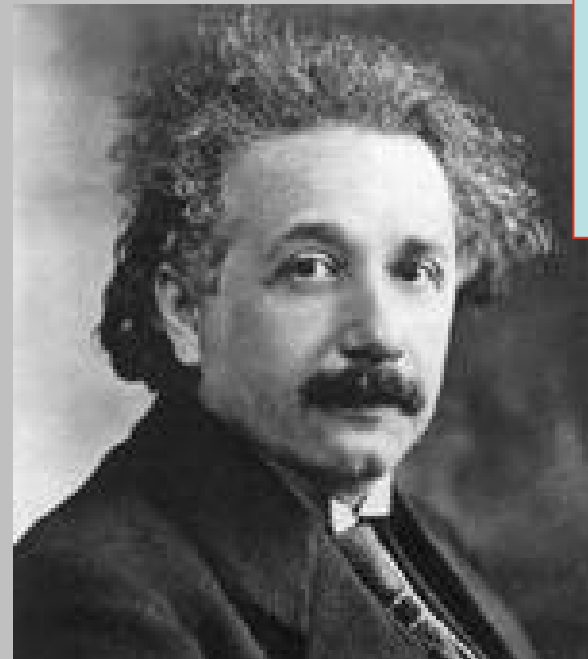
→ *Equazione dell'Universo*

(Universo = gas di galassie che si attraggono secondo la legge della gravita')



Con la sola forza di gravita'

Non si riesce ad ottenere un Universo statico  
“eterno ed immutabile”



Albert Einstein (1879-1955)

George Gamow (1904-1968)



- Se l'Universo si espande, tanto tempo fa tutte le cose dovevano essere vicine:  
→ quanti anni ha l'Universo ?  $T(\text{Univ.}) = 1 / H \sim 15$  miliardi di anni
- L'Universo era **caldo** e si e' raffreddato



## Modello del Big Bang (1948)

"Esplosione" iniziale  
seguita da una espansione frenata dalla gravita'  
in cui materia e radiazione si sono "raffreddate"

Tornando indietro nel tempo cresce la Temperatura:  
**Moto caotico di agitazione termica *contro* energia di legame tra particelle**

temperatura

(=energia)

Per poter scrivere questa "storia"  
occorre conoscere come nella materia  
le particelle sono legate

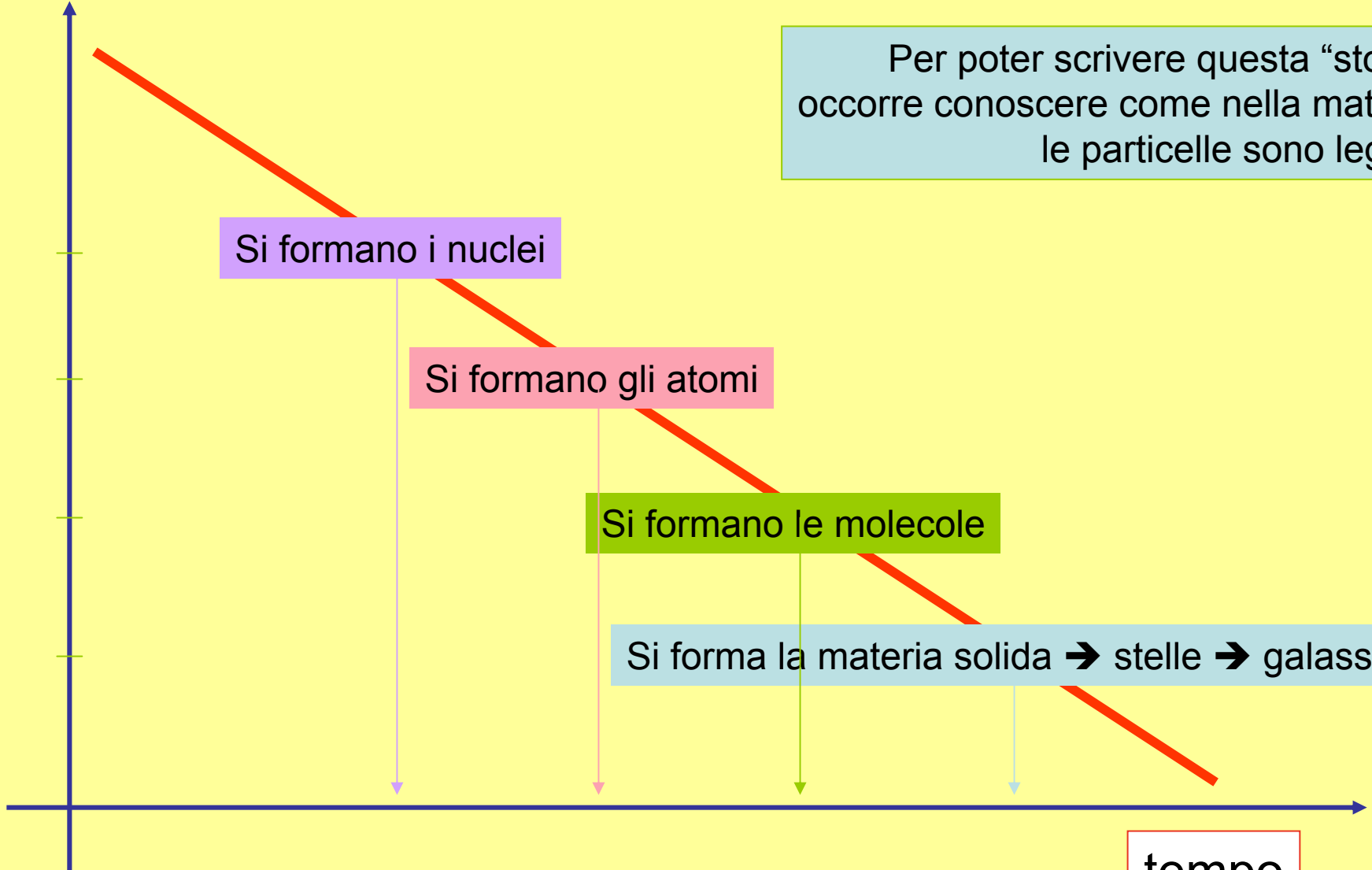
Si formano i nuclei

Si formano gli atomi

Si formano le molecole

Si forma la materia solida → stelle → galassie

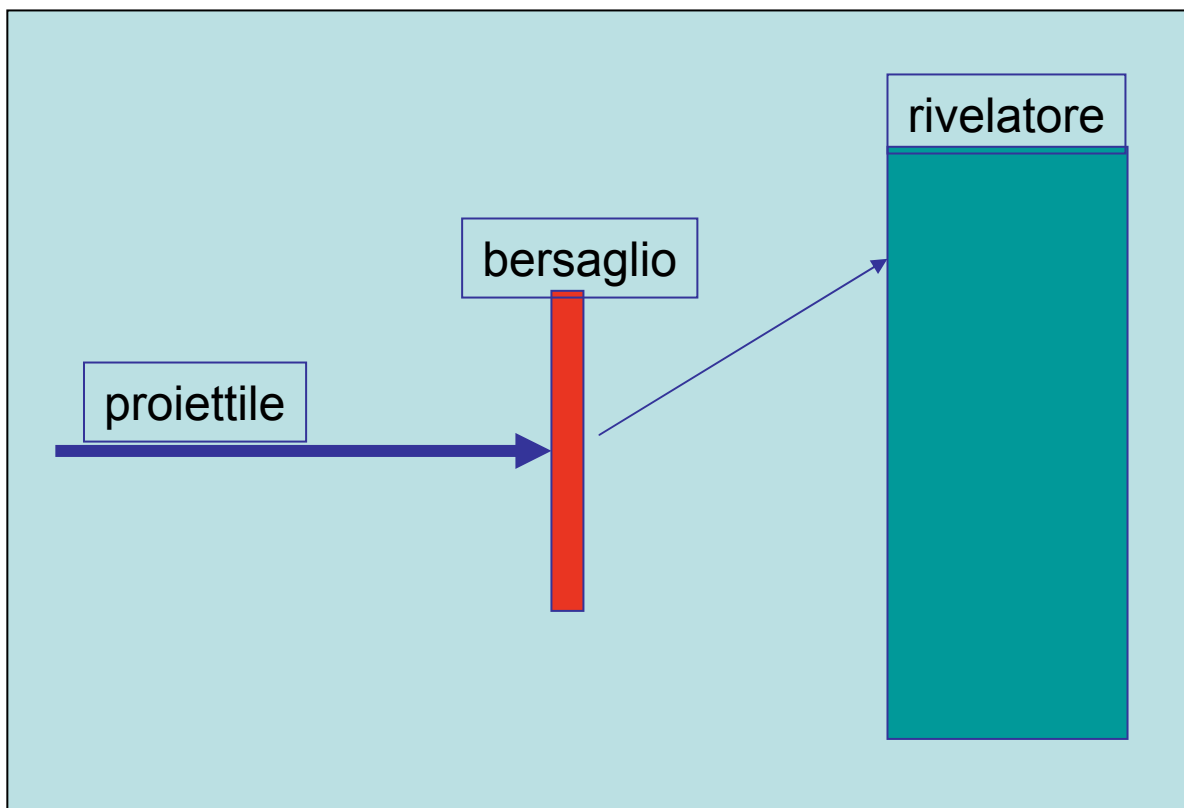
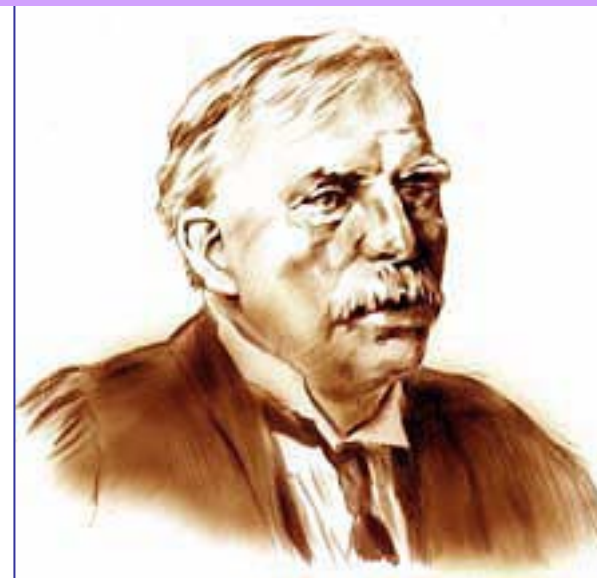
tempo





Tutto quello che noi sappiamo sulla struttura della materia proviene da esperimenti che sono la “ripetizione” della “madre di tutti gli esperimenti”: l’esperimento di Rutherford del 1911

Ernest Rutherford (1871-1937)



$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$\lambda$  = lunghezza d'onda  
 $p$  = quantita' di moto

# LHC – L'esperienza piu' grande del mondo



$$\frac{mv^2}{R} = evB$$



$$R = \frac{p}{eB}$$



Strutture "piccole":  
raggi "grandi"

Cosa abbiamo imparato ?

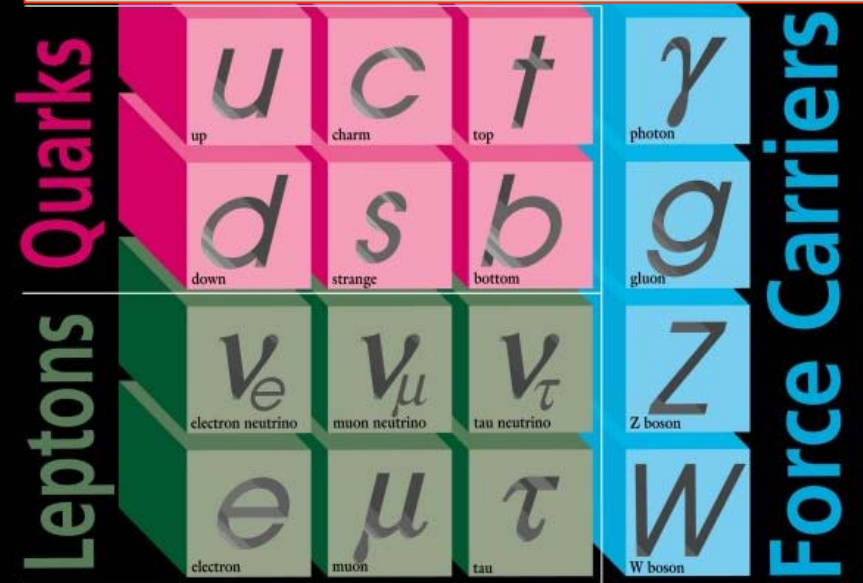
Dalla Tavola Periodica al Modello Standard

## Tavola Periodica degli elementi

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun								

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

3 “famiglie” di Quark e Leptoni;  
4 forze fondamentali



Sulla base delle conoscenze sulla struttura della materia degli anni '40 Gamow e collaboratori **prevedono**:

(1) Abbondanza relativa degli elementi

76% **idrogeno**, 24% **elio**,  $<10^{-4}$  altri elementi

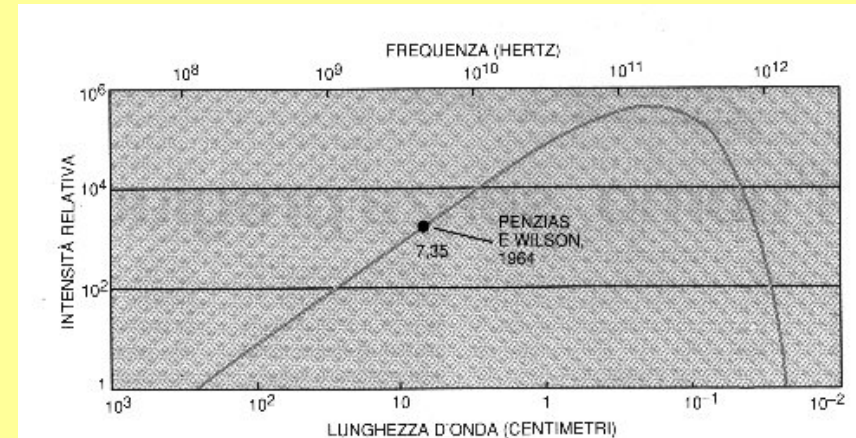
(2) Esistenza di una radiazione elettromagnetica nelle microonde che pervade uniformemente l'Universo

Previsione (1): in accordo con le misure di abbondanze relative

Previsione (2): 1965 “incredibile” scoperta:



A.Penzias (1933-)  
R.Wilson (1936-)

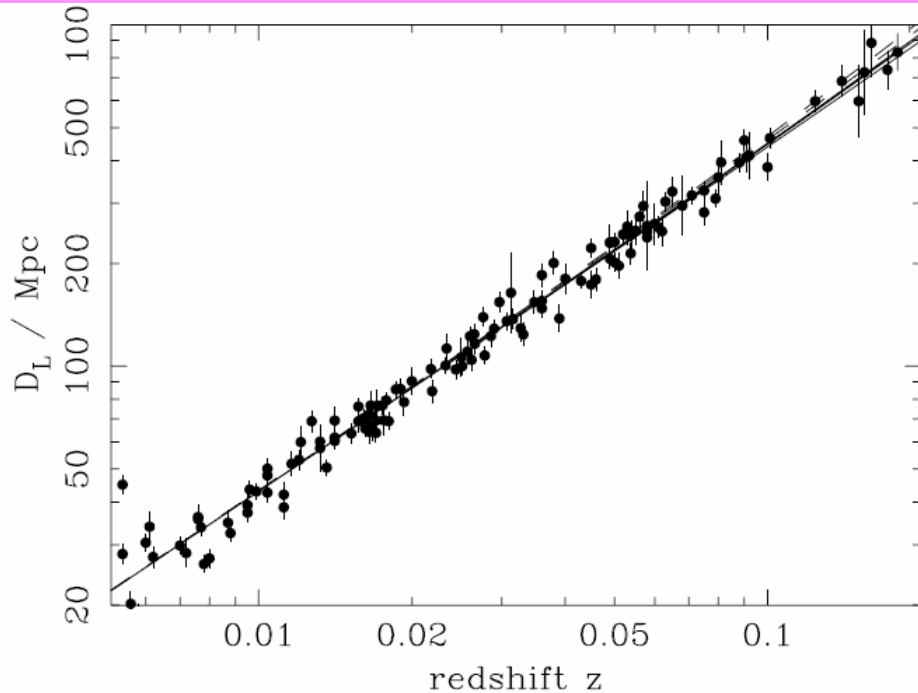


Radiazione cosmica nelle microonde,  
residuo “fossile” dei primi istanti dell'Universo

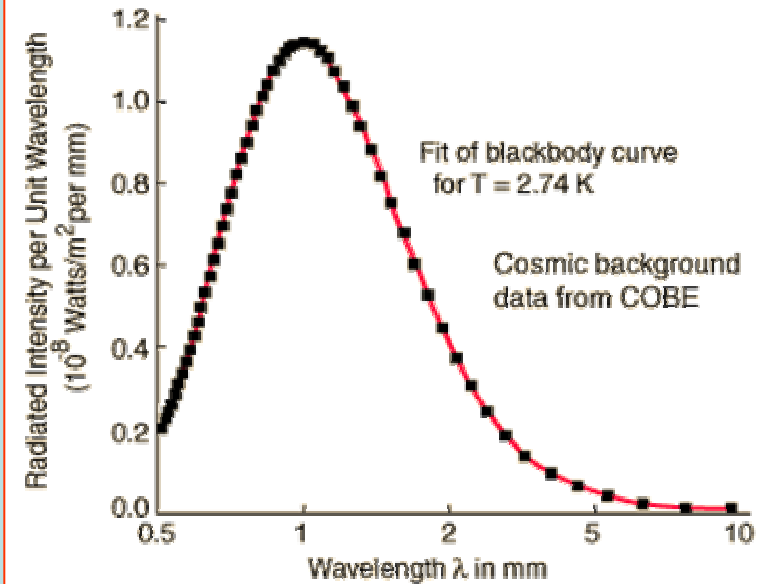


Dal 1965 ad oggi le cose sono andate molto avanti:

Misure di red-shift → fino a ~3 Mld a.l.



Misure di Radiazione di Fondo:  
→ “archeometria” dell’Universo



C'e' un modello che descrive l'origine e la struttura dell'Universo con una solida base osservativa in grado di fare previsioni e di sottoporsi a test sperimentali.

***Ma....molti problemi aperti !***

# Problema 1: **Materia e/o Energia “Oscura”**

Misure recenti di red-shift per galassie molto lontane  
+ analisi di isotropia della radiazione di fondo  
→ Stima di quanto deve essere la densità dell'Universo

“Censimento” della Materia e dell'Energia nell'Universo.

Quanto è denso l'Universo ?

Si scopre che l'Universo “visibile” NON è sufficientemente denso  
I risultati puntano in 2 direzioni:

- Esistenza di **Materia Oscura**
- Esistenza di **Energia Oscura** (una nuova forza:  
la **Costante Cosmologica** introdotta e poi  
“ripudiata” da Einstein)

Molti esperimenti in corso per studiare le 2 possibilità'

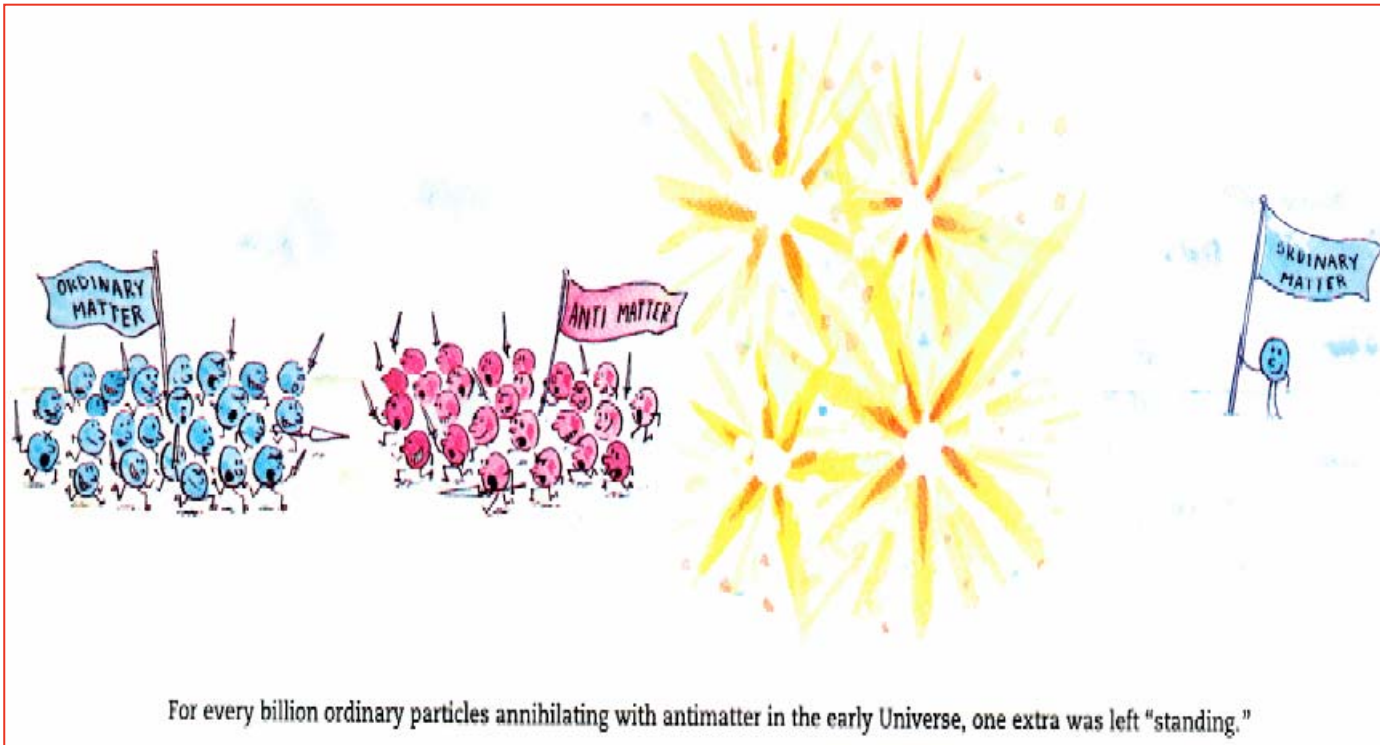
## Problema 2: **Materia - AntiMateria**

***Perche' l'Universo e' fatto solo di materia ?***

- Esistono anti-galassie in modo tale che Materia = Anti-Materia ?
- Vi e' in natura una piccola "asimmetria"  $\text{Materia} \neq \text{AntiMateria}$  ?

Un possibile meccanismo:

"asimmetria" + annichilazione → quel che rimane = nostro Universo



# Il Principio Antropico

ovvero: una osservazione molto interessante

Costanti della natura:  $e$ ,  $G$ ,  $\alpha_s$ ;  $m_e$ ,  $m_p$ ,  $m_n$ ;  $c$ ,  $h$ ,  $k$ , ...

Perche' hanno proprio questi valori ?

Sappiamo misurarle, ma non sappiamo perche' abbiano i valori che troviamo

Esempio: c'e' una "gerarchia" tra le forze dell'Universo.

Forza Gravitazionale

Forza Nucleare Debole

Forza Elettromagnetica

Forza Nucleare Forte

*Crescente intensita'*



L'evoluzione dell'Universo dipende dall'equilibrio tra queste forze.

Esempio 1: Gravita' piu' o meno intensa → Eta' dell'Universo

Esempio 2: equilibrio tra Forza nucleare forte ed e.m. → tavola periodica

## Principio Antropico:

Le Costanti di Natura hanno questi valori perche' sono gli unici compatibili con un Universo nel quale puo' svilupparsi una forma di vita intelligente.



**(1) Il XX secolo ha visto la “Scienza dell’Universo” muovere i suoi primi passi; attraverso esperimenti sempre più accurati e grazie ad alcune idee davvero molto brillanti è riuscita a guadagnarsi un suo spazio nella “Scienza ufficiale”.**

**(2) Molti sono i problemi aperti che richiedono una indagine sia sul fronte delle “sensate esperienze” che su quello delle “certe dimostrazioni”.**

**(3) C’è bisogno di giovani capaci di impegnarsi con passione in questa impresa.**