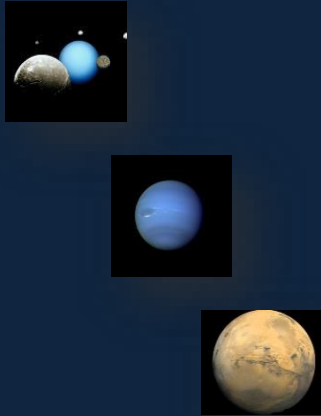


# XX sec.: dall'astronomia all'astrofisica

## L'ORDINE NEL COSMO

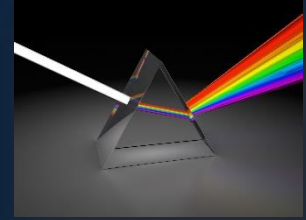
### I nuovi pianeti



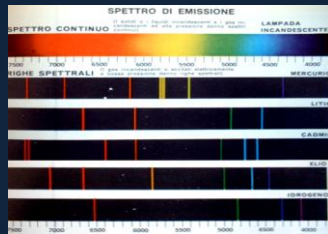
### Nasce la cosmologia



### Analizzare la luce



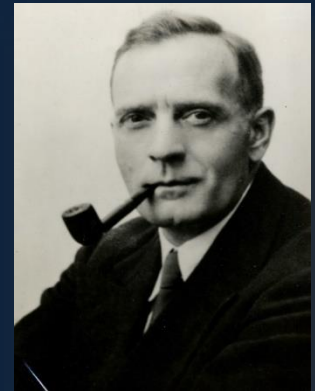
### Spettroscopia



### Cosmologia moderna



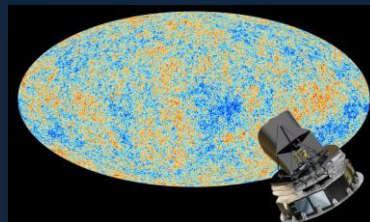
### La legge di Hubble



### Il big bang



### La radiazione cosmica



## Urano

Il 13 marzo 1781 Wilhelm Herschel, (1738-1822, nato 11 anni dopo la morte di Newton) organista di Hannover (Germania nord-occ.) e astronomo dilettante, scrutò il cielo con un telescopio che si era costruito in proprio.

Si imbattè in un oggetto sconosciuto, vicino alla costellazione dei Gemelli il 13 marzo 1781: gli parve plausibile l'ipotesi che fosse una cometa.

Ma diversi astronomi dopo aver effettuato molte osservazioni riguardanti l'orbita e l'assenza di una coda, finirono con il concordare che fosse un pianeta, Urano!

Herschel fu il primo uomo della storia a scoprire un pianeta e divenne famoso in tutto il mondo.



## Nettuno

Utilizzando la legge di gravitazione universale di Newton, risultava che Urano avrebbe dovuto seguire una certa orbita. Le osservazioni non confermavano e gli astronomi ipotizzarono che vi fosse, all'esterno, un pianeta sconosciuto che ne perturbava l'orbita.

Il 23 settembre 1846 fu avvistato il pianeta mancante: Nettuno.

La scoperta non avvenne attraverso l'utilizzo di regolari osservazioni celesti, ma fu frutto soprattutto di complicati calcoli matematici, basati sui precedenti studi di Urano. Le osservazioni con il telescopio che confermassero l'esistenza di un pianeta iniziarono la notte del 23 settembre e finirono al mattino del 24. Una scoperta condotta con un metodo innovativo e che venne considerata come la conferma della teoria gravitazionale di Newton. Era stato scoperto un pianeta “ con la punta della penna”.



## Plutone

All'inizio del XX secolo (13 marzo 1930) fu scoperto un altro pianeta, piccolo, Plutone, responsabile delle discrepanze tra i calcoli e le osservazioni sui moti di Nettuno e Urano. Nettuno era stato scoperto allo stesso modo.

Seguendo le previsioni teoriche e dopo lunghe ricerche, il 18 febbraio 1930, Tombaugh scoprì l'oggetto cercato, che già dai primi calcoli pareva orbitare al di là dell'orbita di Nettuno. Dopo varie osservazioni, la notizia della scoperta fu telegrafata il 13 marzo 1930, stesso giorno in cui era stato scoperto Urano da parte di Herschel.



Fino alla seconda metà dell'800 tutto l'interesse degli astronomi era concentrato sul sistema solare.

Le stelle erano considerate solo come riferimenti di fondo per stabilire le posizioni dei pianeti. Per nessuna di esse fu rilevato uno spostamento, rispetto alle posizioni catalogate nell'antichità.

Piano, piano l'interesse degli astronomi si spostò dal sistema solare all'universo stellare... e l'astronomia divenne COSMOLOGIA.

Nemmeno Newton, nei "Principia" mise in dubbio la fissità delle stelle.

Ma come si concilia ciò con la legge di gravitazione universale? Ogni corpo, in quanto dotato di massa esercita una forza e le forze causano movimento....

Nel 1838 Friedrich Wilhelm Bessel misurò la prima parallasse stellare di 61 Cygni, una debole stella rosso-arancio.

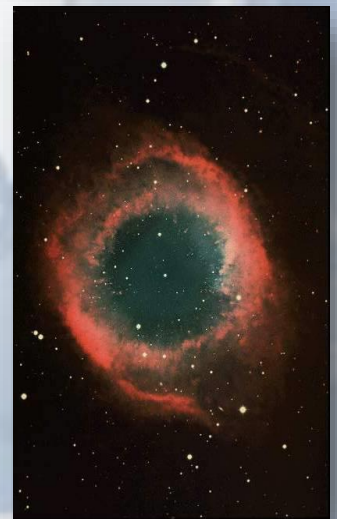
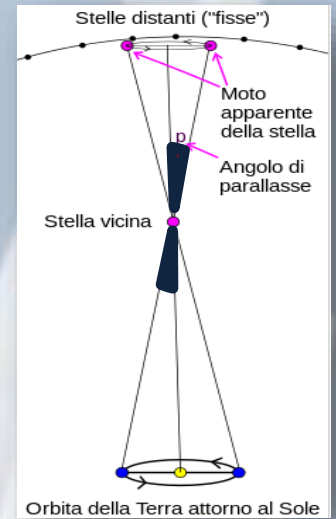
Si chiama parallasse annua di una stella l'angolo sotto il quale, dalla stella si vedrebbe il semiasse dell'orbita terrestre

Gli spostamenti angolari sono al più dell'ordine di alcuni secondo d'arco (circa  $1/3600$  gradi) ed è per questo che all'occhio nudo le stelle appaiono genericamente ferme o fisse.

### Unità di misura

Se il sole avesse un diametro di 1 cm, la distanza Terra-Sole sarebbe pari a 1,5 m; Plutone si troverebbe a circa 50 m. dal Sole; la stella più vicina - Proxima Centauri - si troverebbe a circa 400 km!

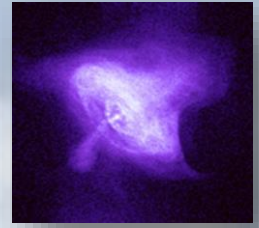
Per le distanze terrestri utilizziamo il Km; per le distanze planetarie si usa l'unità astronomica pari a 150 milioni di Km; per le distanze stellari si usa l'anno luce pari a diecimilamiliardi di Km.



Keplero aveva spiegato COME si muovono i pianeti;

Newton aveva spiegato PERCHE' si muovono gli astri;

Nessuno si era mai occupato delle CARATTERISTICHE FISICHE dei corpi celesti: di cosa sono fatti?



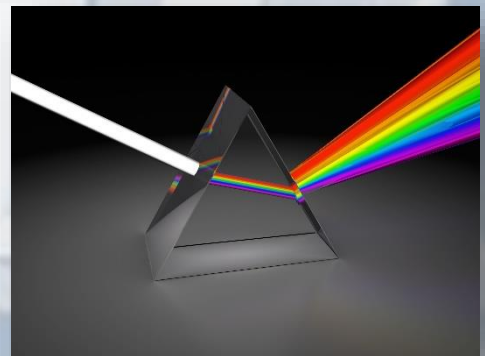
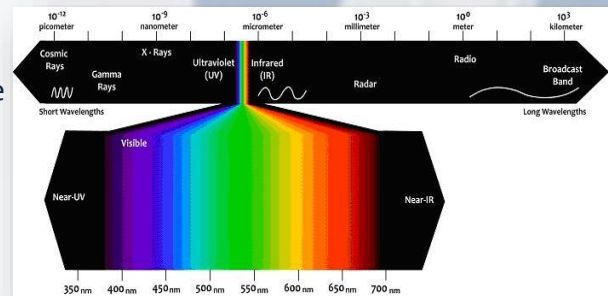
Da dove nasce questo nuovo interesse ?

Nella prima metà dell'800 ebbero notevole sviluppo nuovi filoni della fisica e della chimica, come gli studi sulla natura della luce.

La luce è un'onda elettromagnetica: ha una lunghezza d'onda, una frequenza e una velocità di propagazione (coincidente con la velocità della luce nel vuoto).

La lunghezza delle onde elettromagnetiche-luminose è compresa tra  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  metri ed entro queste lunghezze d'onda si distinguono i colori.

La luce bianca che attraversa un prisma di vetro, produce uno spettro luminoso in cui si sventagliano le diverse lunghezze d'onda che la compongono. Si riescono a distinguere 6 diversi colori: rosso, arancio, giallo, verde, azzurro e violetto.



## Effetto Doppler

Quando un'onda è emessa da una sorgente ferma, la percezione – visiva o uditiva - è costante e in particolare il nostro orecchio percepisce l'onda con la stessa frequenza e lunghezza d'onda.

Quando l'onda è emessa da una sorgente in movimento o da un osservatore in movimento, la percezione cambia :

- a) se la sorgente è in avvicinamento, il segnale percepito ha una frequenza apparente più elevata e di conseguenza uno percepisce un segnale più acuto (+ luminoso),
- b) se è in allontanamento il segnale percepito ha una frequenza apparente minore e di conseguenza uno percepisce un segnale meno acuto (-luminoso).

La spettroscopia è quella branca della fisica che studia gli spettri della radiazione elettromagnetica emessa o assorbita dalla materia in modo da individuare la composizione chimica del corpo che ha emesso tale radiazione.

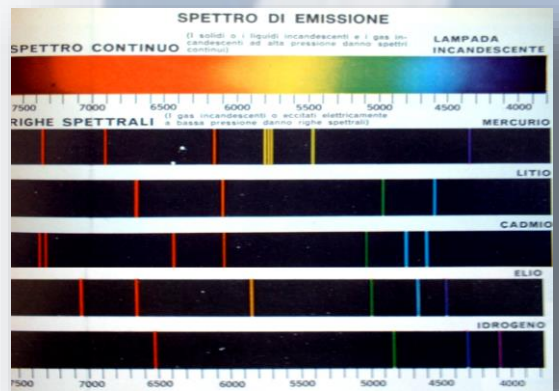
In particolare la spettroscopia, è il più potente mezzo di indagine delle proprietà chimiche e fisiche delle stelle.

I gas e i vapori emettono spettri discreti cioè io osservo una sequenza di righe più o meno brillanti, separate su un fondo scuro.



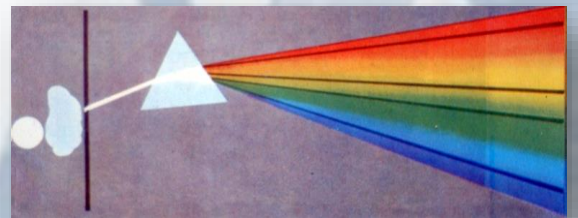
Osserviamo che ogni atomo di un qualsiasi elemento, portato allo stato aeriforme, emette uno spettro a righe che lo distingue dagli atomi degli altri elementi. L'idrogeno produce una serie di righe aventi sempre la stessa lunghezza d'onda, il sodio un'altra serie di righe, il magnesio ancora un'altra.

Quindi ogni spettro a righe è caratteristico dell'elemento che lo emette e posso quindi eseguire una analisi chimica di una certa sostanza.



### Spettro di assorbimento

Esistono anche gli spettri di assorbimento: si ottengono interponendo al cammino di una radiazione a spettro continuo, come quella proveniente al Sole, un gas o un vapore. Ogni atomo può assorbire solo certe lunghezze d'onda e di conseguenza sottrae allo spettro continuo alcune specifiche componenti.

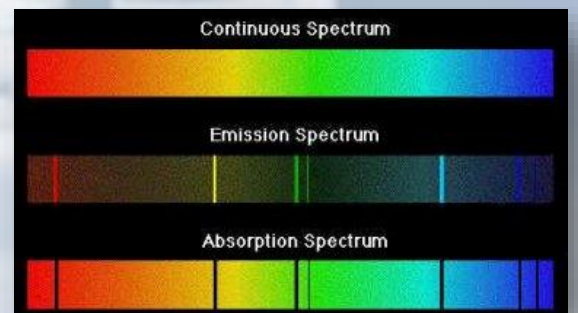


Lo spettro di assorbimento di una sostanza, appare, nella sua parte visibile, come un'iride di colori con una sequenza di righe scure localizzate nelle identiche posizioni in cui nello spettro di emissione della stessa sostanza si trovano le corrispondenti righe luminose.

### Spettro del Sole

La superficie del Sole emette una radiazione distribuita su tutte le lunghezze d'onda. Questa tuttavia, prima di giungere sulla Terra, attraversa i gas che circondano il Sole i quali assorbono numerose righe spettrali.

Perciò la luce proveniente dal Sole contiene uno spettro di assorbimento: sul fondo continuo si notano molte righe nere.



Tali righe hanno permesso di rivelare la natura dei gas che circondano il sole

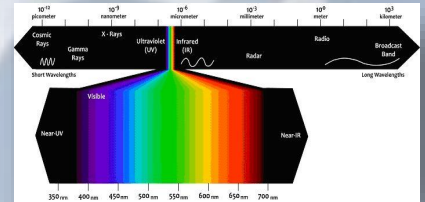
Osservando la luce delle stelle, è possibile stabilire sia la loro composizione chimica della parte superficiale che la temperatura degli strati più esterni. Ogni elemento chimico assorbe sempre le medesime radiazioni. Confrontando le righe presenti in uno spettro di una stella con spettri di assorbimento di atomi noti (idrogeno, elio, litio etc..), si può risalire alla composizione chimica degli strati più esterni: i componenti principali della materia stellare sono idrogeno e elio.

La temperatura può essere determinata considerando il colore delle stelle: le stelle meno calde sono rosse (circa 3000 K), le stelle più calde sono blu (circa 60000 K).

### Effetto Doppler nel cosmo

Quando una sorgente di luce si avvicina, il numero di oscillazioni per unità di tempo dell'onda elettromagnetica aumenta, così la lunghezza d'onda decresce e si dice che la luce si sposta verso il blu (blueshift).

Se invece la sorgente si allontana dall'osservatore, la lunghezza d'onda aumenta e si ha lo spostamento della luce verso il rosso (redshift).



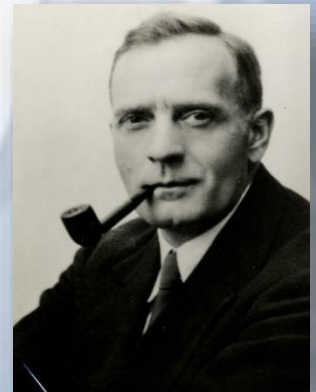
Lo spostamento è direttamente proporzionale alla velocità della sorgente luminosa. Nei primi decenni del 1900 Vesto Melvin Slipher basandosi sull'analisi degli spettri luminosi e sull'effetto Doppler fece due scoperte sensazionali:

- 1) La Nebulosa Andromeda si muoveva verso di noi (Sole) a non meno di 300 km/sec (più di 1 milione di km/h).
- 2) Numerose altre galassie si stavano invece allontanando da noi a velocità diverse.

### La Nebulosa Andromeda

Edwin Hubble, astronomo e astrofisico statunitense, nel 1919, arriva a Mount Wilson in California, proprio mentre si sta accendendo il più grande telescopio del mondo. Hubble si era sempre occupato di astronomia, tanto che all'osservatorio di Mount Wilson era arrivato grazie a un tesi di dottorato che non era passata inosservata.

Comincia a scrutare lo spazio e si concentra su Andromeda, un corpo celeste che divideva gli astronomi (galassia o non galassia?). Scopre che una stella presente in Andromeda è lontana da noi 860 milioni di anni luce. Necessariamente quel corpo non si trova nella Via Lattea (che si stima abbia un diametro di appena 150 mila anni luce) e Andromeda stessa è una galassia, piena di stelle, e non una nebulosa.



Il 30 dicembre 1924 Hubble annuncia al mondo che Andromeda non è una nebulosa ma un'altra galassia e l'Universo diventava improvvisamente molto più grande. Dopo Andromeda, Hubble scoprirà altre venti galassie prima di morire.

Ben presto ci si rese conto che nebulose e galassie non erano ferme rispetto alla via Lattea, ma in allontanamento in tutte le direzioni.

Nel 1925 erano state calcolate 45 velocità radiali di nebulose: le maggiori superavano i 1000 km/sec.

Una osservazione più approfondita mostrò che le velocità di allontanamento erano approssimativamente proporzionali alle distanze: nebulose più lontane fuggivano più velocemente.

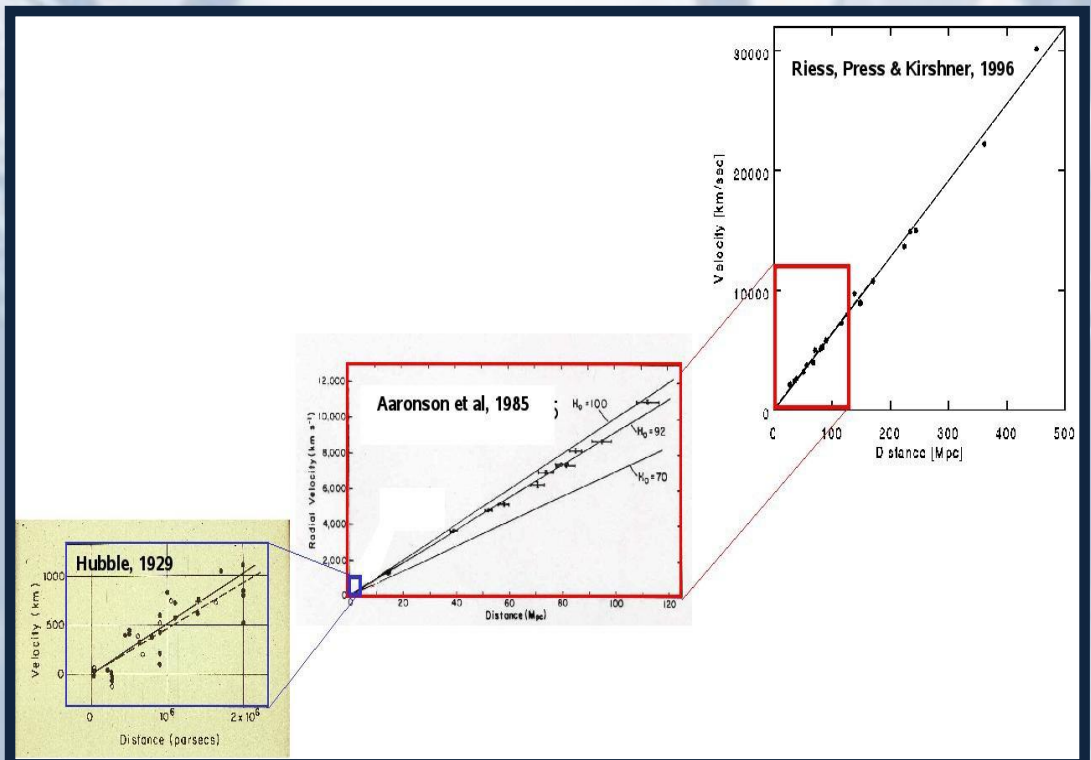
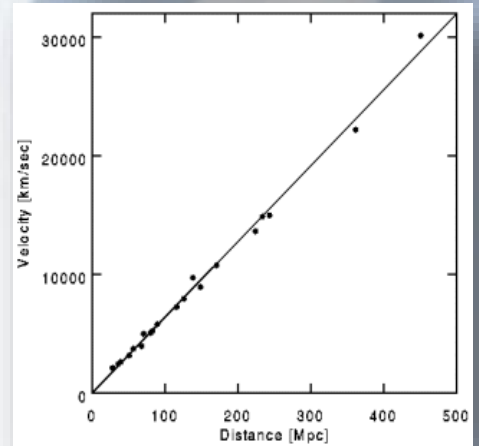


Nel 1929 Hubble pubblicò un grafico con le velocità radiali delle galassie in relazione alle loro distanze.

Come si nota dal grafico, velocità radiale di una galassia e relativa distanza sono grandezze direttamente proporzionali:

$$v = H \times d$$

dove H è la costante di Hubble e la distanza è misurata in Mpc= 3,26 anni luce



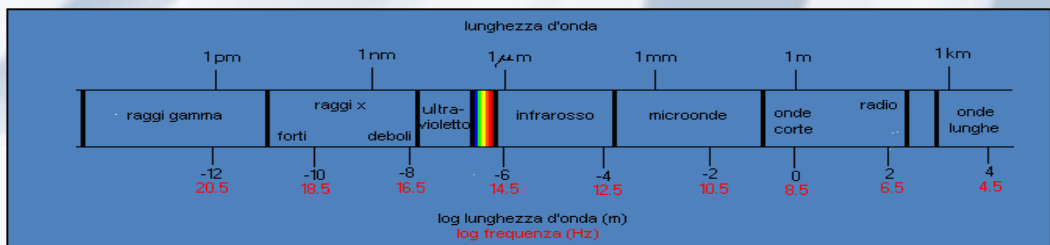
Se le galassie si stanno allontanando in direzioni radiali, l'universo è in espansione.

Ciò significa che tutto il movimento è iniziato in un punto ad un certo istante di tempo: le galassie prima erano vicine, unite in un unico ammasso densissimo e molto, molto caldo.

Questa considerazione ha condotto alla teoria del Big Bang, cioè un'enorme "esplosione" iniziale che ha dato origine all'Universo e all'espansione che ancora oggi noi osserviamo.



La luce visibile è solo una delle bande in cui i raggi provenienti dallo spazio riescono ad attraversare l'atmosfera.



Un'altra banda molto estesa è quella delle onde radio, con lunghezze d'onda comprese fra 1 mm e 30 m. I corpi celesti emettono anche questo genere di onde: lo si scoprì nel 1932.

Nel dopoguerra si sviluppò una nuova scienza: la radioastronomia.

Fu proprio la radioastronomia che fornì la prova definitiva del Big Bang.

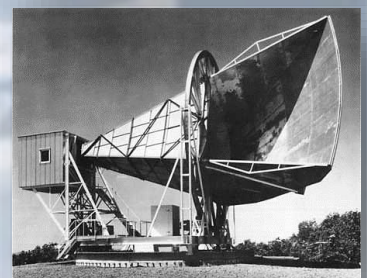
### Penzias e Wilson

Nel 1965 due ingegneri Arno Penzias e Robert Wilson stavano lavorando con un'antenna del Bell Laboratories per migliorare le trasmissioni via satellite; si diedero un gran da fare per rintracciare ed eliminare tutte le sorgenti di interferenze.



Ma trovarono che da tutte le direzioni del cielo proveniva una debole e inspiegabile radiazione (di circa 3° K).

Questa radiazione è il residuo di quella intensissima luce emessa circa 300.000 anni dopo il Big Bang. Da allora si è raffreddata passando da una temperatura di qualche migliaio di gradi ai circa 2,7° K di oggi. Questa scoperta valse a Penzias e Wilson il Premio Nobel per la Fisica.



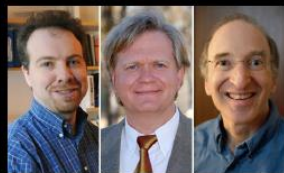
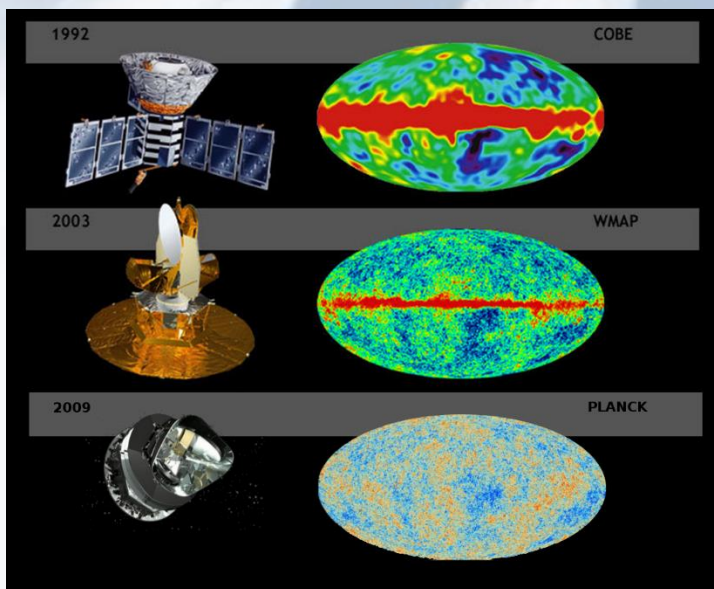


Come Penzias e Wilson avevano notato, l'intensità della radiazione cosmica di fondo è altamente isotropa, cioè indipendente dalla direzione. Ma ben presto i cosmologi teorici si convinsero che a qualche livello il fondo cosmico doveva presentare delle anisotropie, cioè variazioni di intensità in funzione della direzione di osservazione. Infatti, le strutture che oggi noi osserviamo quali le galassie e gli ammassi di galassie, devono essersi formati a partire da eccessi di densità che sono poi collassati gravitazionalmente. Le disomogenità dovevano essere già presenti nei primi istanti di vita dell' Universo.

La prima misura certa di anisotropia si ebbe all'inizio degli anni '90 con COBE - DMR, la prima missione spaziale dedicata allo studio della radiazione cosmica di fondo ( o CMB) che ha compiuto osservazioni per un periodo di quattro anni.

Il satellite WMAP è la seconda missione spaziale dedicata allo studio della CMB. E' stato lanciato dalla NASA il 30 giugno 2001 ed ha fornito la mappa dell'Universo primordiale con una migliore accuratezza.

Nel 2009 è stato lanciato il satellite PLANCK da parte dell'ESA avendo così a disposizione una immagine ancora più accurata dell' Universo primordiale.



Schmidt, Riess, Perlmutter

Nobel per la Fisica 2011

