

XX secolo: dall'astronomia all'astrofisica

Tappe e Scoperte	Anni	Protagonisti
3 nuovi pianeti: Urano, Nettuno e Plutone Astronomia di posizione	1781 1846 1930	Wilhelm Herschel John Couch Adams Clyde Tombaugh
Dal sistema solare alle stelle: inizia la cosmologia		
La natura delle stelle: inizia l'astrofisica		
La galassia di Andromeda e tante altre	1924	Edwin Hubble
Universo in espansione; legge di Hubble	1929	
Ipotesi del Big Bang	1930	vari
Emissioni radio e radioastronomia	1946	vari
La radiazione di fondo	1965	Penzias e Wilson
Fluttuazione della radiazione	1989	Missione COBE (NASA)
Mappa completa della radiazione	2003	Missione WMAP (NASA)
Caratteristiche radiazione	2009	Missione Planck (ESA)
Storia della radiazione	2011	Schmidt, Riess, Perlmutter

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.

Divenne famoso in tutto il mondo; da allora poté abbandonare completamente la sua carriera musicale per dedicarsi all'astronomia.

Mercurio

Venere

Terra

Marte

Giove

Saturno

Urano

Nettuno

Urano fu sottoposto a calcoli ed osservazioni sistematiche.

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 confermavano 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”.

... ma ancora le osservazioni non confermavano esattamente i calcoli...

Mercurio

Venere

Terra

Marte

Giove

Saturno

Urano (1781)

Nettuno

L'ultimo pianeta: 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.

Mercurio

Venere

Terra

Marte

Giove

Saturno

Urano (1781)

Nettuno (1846)

Plutone (1930)

Astronomia di posizione

Con Newton l'Astronomia cambiò volto.

Prima di lui l'interesse centrale era l'osservazione del cielo.

Dopo, l'interesse centrale divenne il calcolo delle posizioni e delle orbite degli astri, sulla base della legge di gravitazione universale che governava tutto.

La nuova astronomia prese il nome di

Meccanica Celeste o Astronomia di Posizione

L'universo stellare: inizia la cosmologia

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

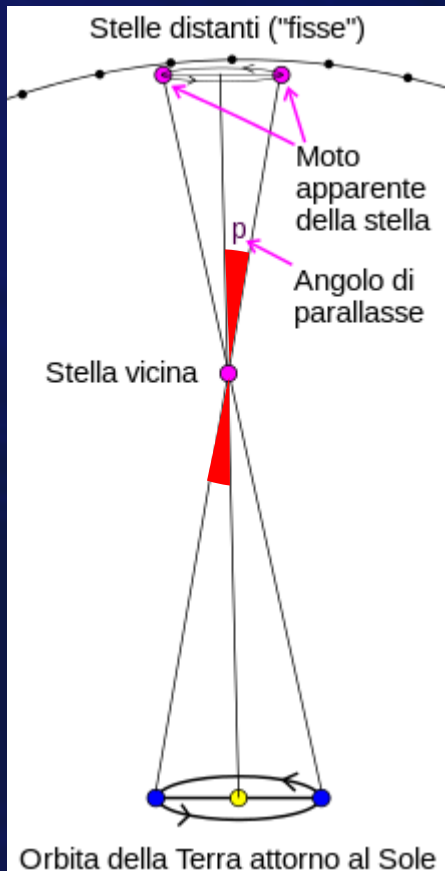
Anche le stelle si muovono

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. Gli spostamenti angolari sono al più dell'ordine di alcuni secondi d'arco ed è per questo che all'occhio nudo le stelle appaiono genericamente ferme o fisse.

La parallasse di una stella



Se la Terra si muove attorno al Sole, e io osservo una stella in un determinato giorno, 6 mesi dopo devo vedere la stessa stella in un'altra posizione. In tal caso la stella deve avere ai miei occhi un moto apparente.

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

(solo nel 1837 fu possibile determinare la parallasse annua della stella fissa più vicina alla Terra)

Il problema delle distanze

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 questo fu introdotta **una nuova unità di misura.**

Per distanze terrestri c'era il Km; per distanze planetarie si usava
unità astronomica = distanza Terra-Sole = 150 milioni di km

Per distanze stellari s'inventò l'anno luce = distanza percorsa dalla luce
(300.000 km/sec) in un anno 1 anno luce = 10^{13} km: diecimilamiliardi di km.

Con questa nuova unità di misura, le stelle più vicine si trovano a qualche
anno luce di distanza

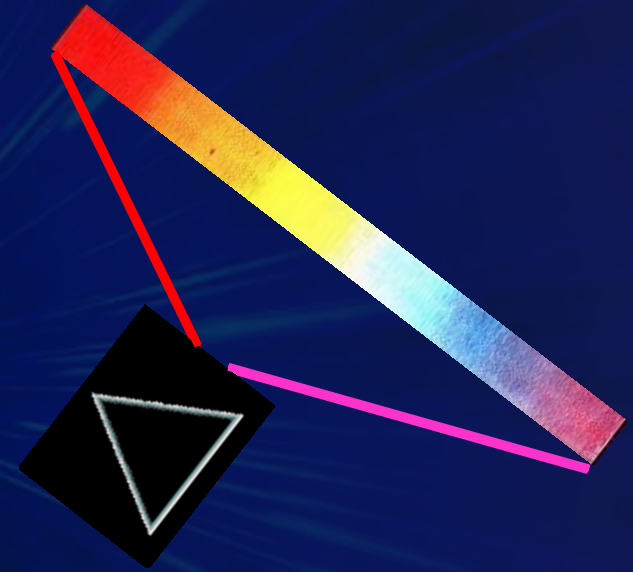
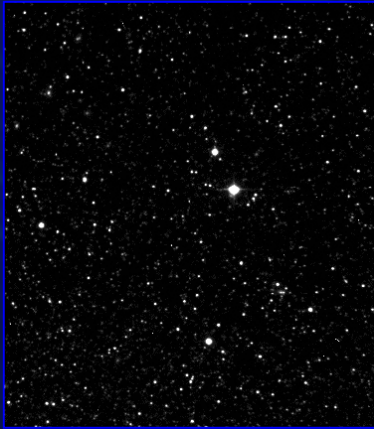
Nasce l'Astrofisica

- 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 stellare



L'unica informazione disponibile era la luce delle stelle.
Gli uomini si misero a studiare quella.

Un balzo si ebbe quando si applicarono dei prismi agli oculari dei telescopi
e si iniziò a studiare gli spettri visibili.

Apriamo una parentesi sulla natura della luce (

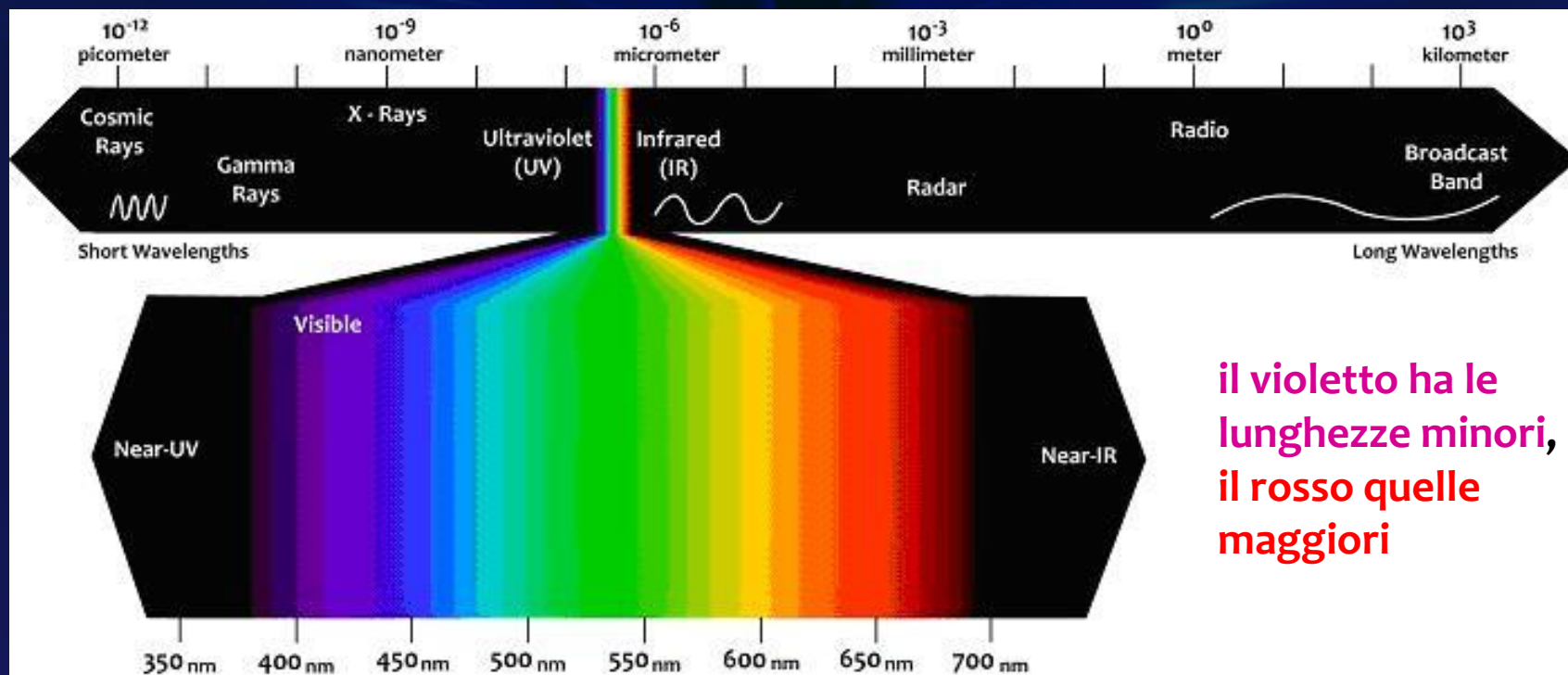
La natura della luce

La luce è un'onda elettromagnetica (tra le infinite)

Come tutte le onde ha una lunghezza l , una frequenza n e una velocità di propagazione v : $v = l n = 300.000 \text{ km/sec}$.

La lunghezza delle onde elettromagnetiche-luminose è compresa tra 10^{-6} e 10^{-7} metri, cioè tra 1/1000 e 1/10000 di mm.

Entro queste lunghezze d'onda, si distinguono i colori:



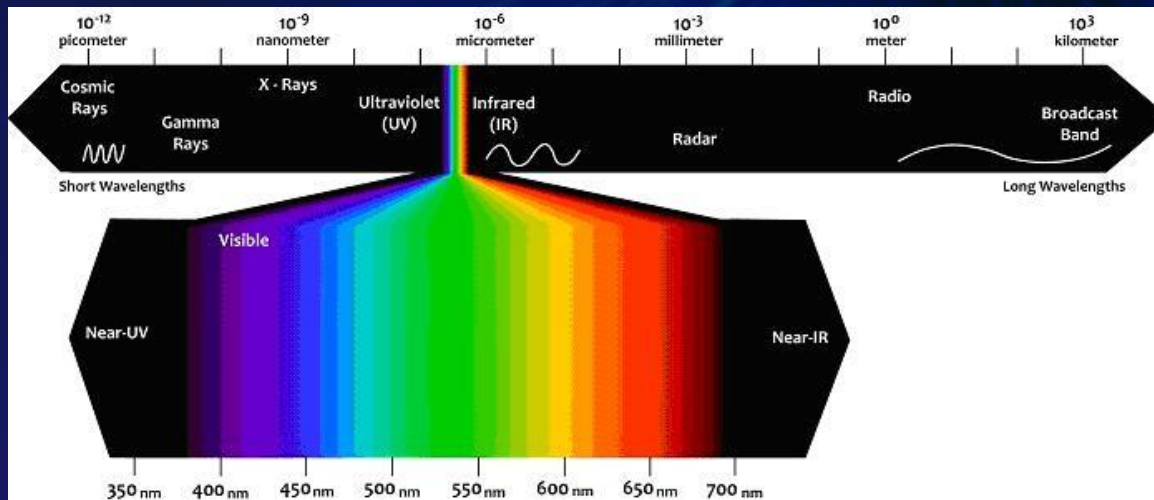
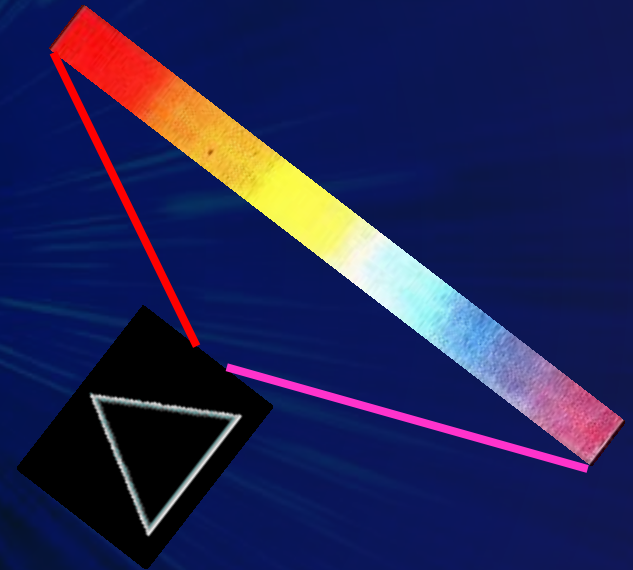
Spettro luminoso

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

Ogni colore passa gradualmente a quello adiacente con continuità

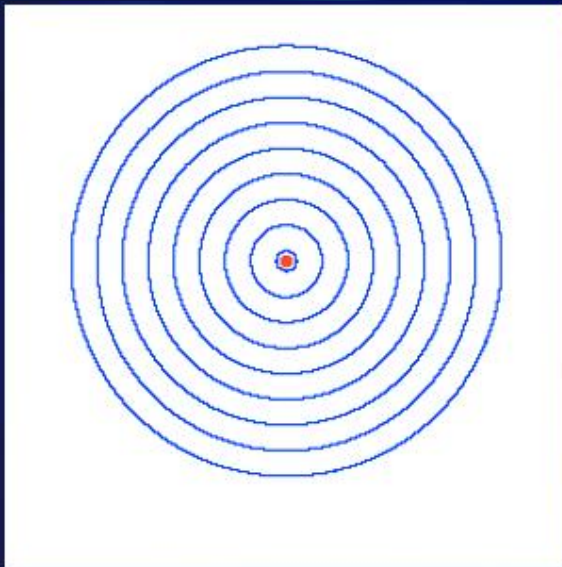


L'effetto Doppler

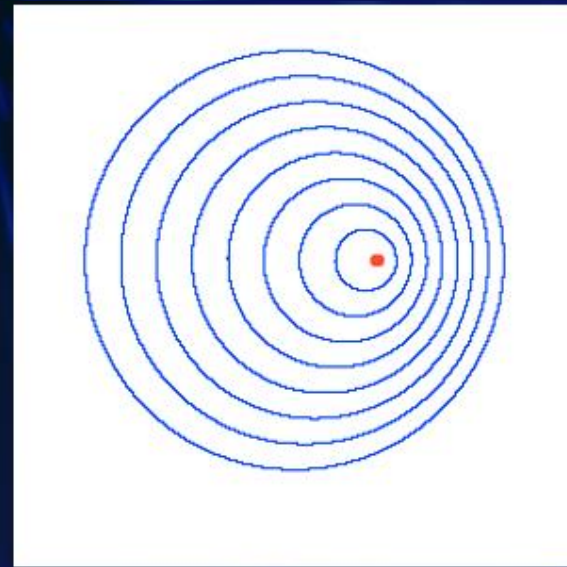
Quando un'onda è emessa da una sorgente ferma, la percezione – visiva o uditiva - è costante e in particolare il nostro orecchio percepisce l'onda con la stessa frequenza e lunghezza d'onda.

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

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), se è in allontanamento il segnale percepito ha una frequenza apparente minore e di conseguenza uno percepisce un segnale meno acuto (-luminoso).



Sorgente ferma



Sorgente in movimento

La spettroscopia

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.



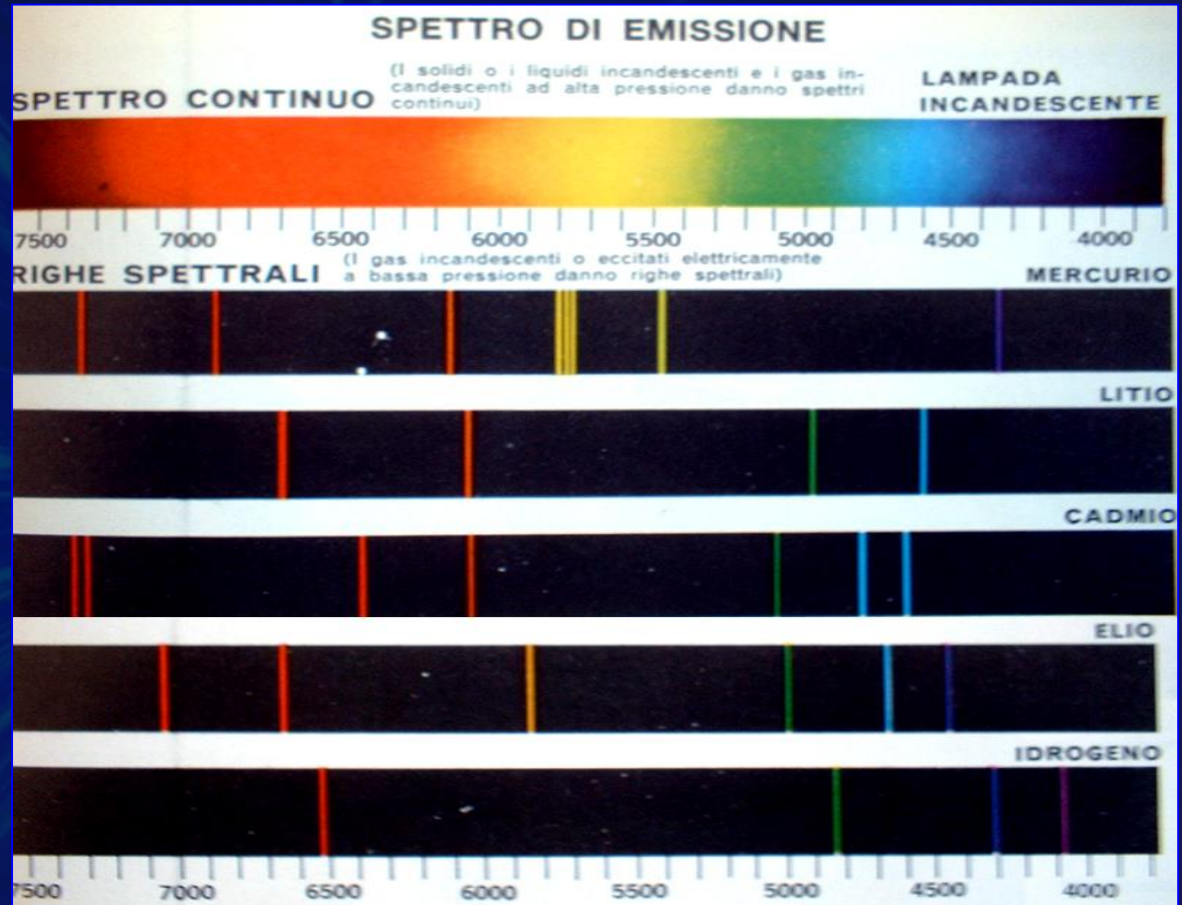
I gas e i vapori emettono spettri discreti cioè io osservo una sequenza di righe più o meno brillanti, separate su un fondo scuro.

La spettroscopia

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.

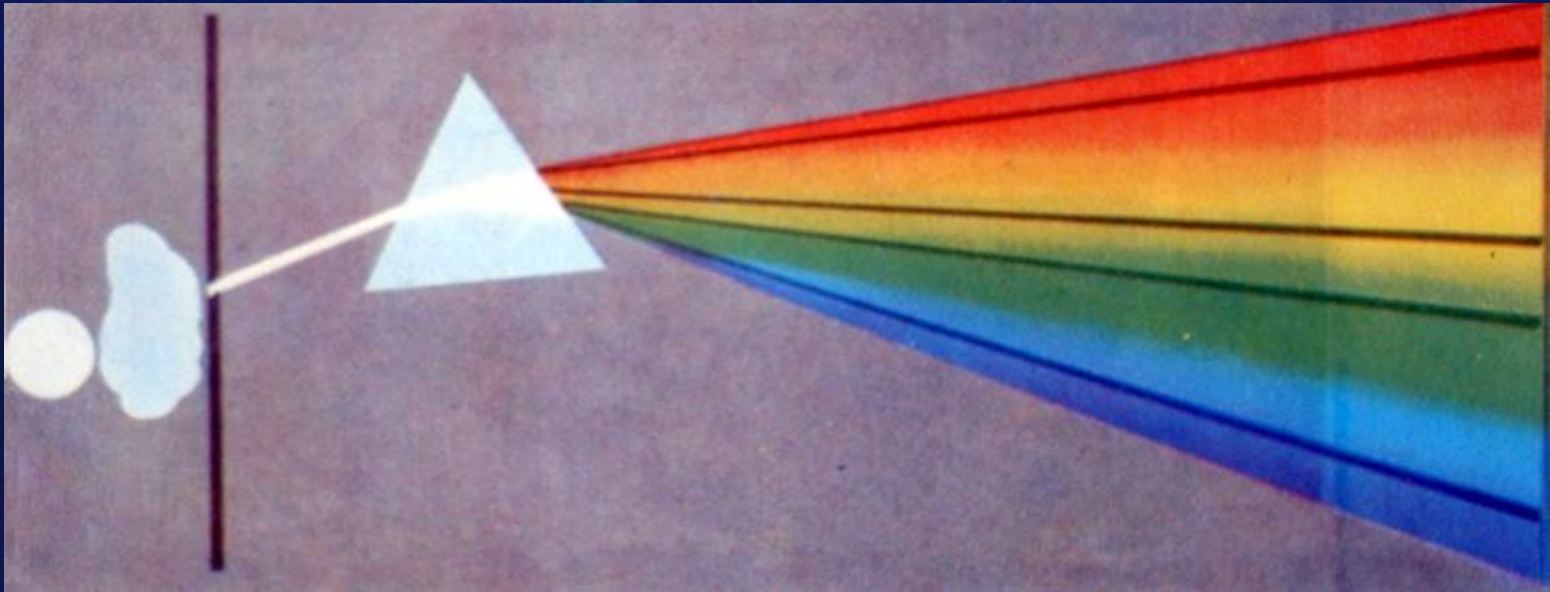
L'idrogeno produce una serie di righe aventi sempre la stessa lunghezza d'onda, il sodio un'altra serie di righe, il magnesio ancora un'altra.

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



La spettroscopia

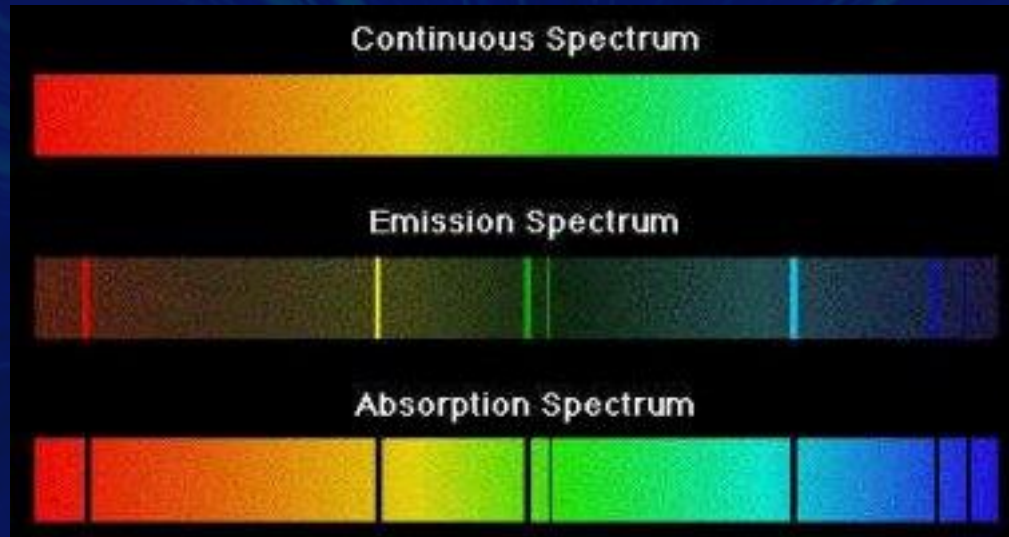
Esistono anche gli spettri di assorbimento: si ottengono interponendo al cammino di una radiazione a spettro continuo, come quella proveniente al Sole, un gas o un vapore. Ogni atomo può assorbire solo certe lunghezze d'onda e di conseguenza sottrae allo spettro continuo alcune specifiche componenti.



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, dette righe di Fraunhofer in memoria di colui che nel 1814 le scoprì e le classificò. Tali righe hanno permesso di rivelare la natura dei gas che circondano il sole.

Nel 1868 fu scoperto un elemento, a cui si assegnò il nome di elio, che più tardi fu individuato anche sulla Terra.

Gli spettri a righe delle stelle

Osservando la luce delle stelle, si evidenziarono spettri a righe, caratteristici per ogni stella. E la radiazione proveniente dalle stelle ha permesso di indagare la composizione chimica della materia extraterrestre.

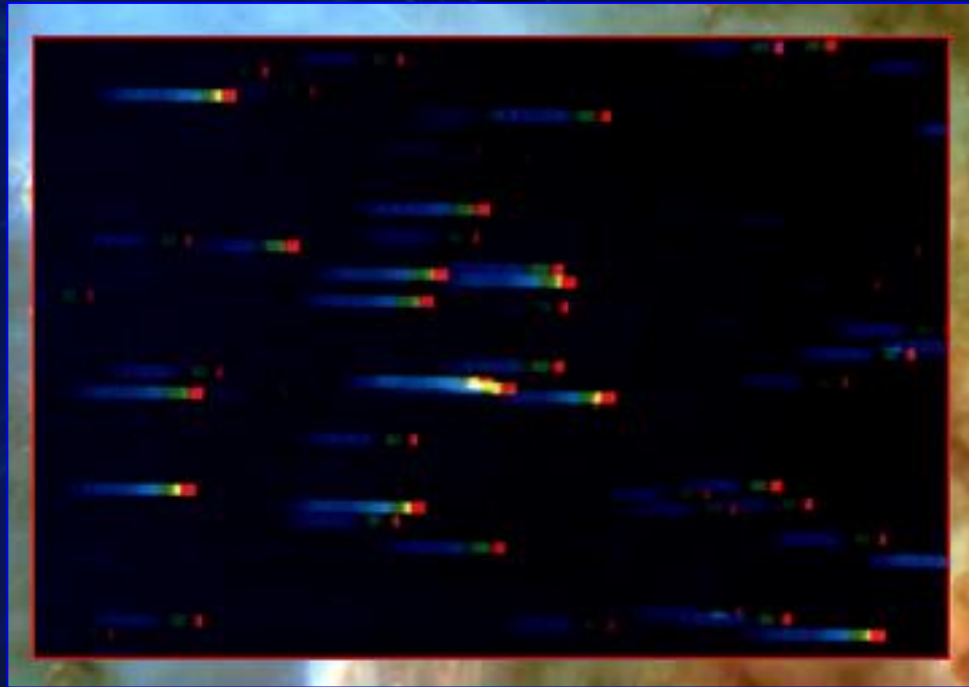
Si classificarono allora le stelle in base allo spettro a righe che emettevano. L'osservatorio di Harvard ne contò 350.000.

Il risultato più interessante fu che non ci sono stelle solo di elio, o idrogeno, o ferro; tutte hanno circa la stessa composizione chimica. Il diverso aspetto degli spettri a righe dipende esclusivamente dalla temperatura e densità delle atmosfere.

Nel 1868 il gesuita padre Angelo Secchi classificò 4 tipi di spettri per le stelle

Spettri stellari

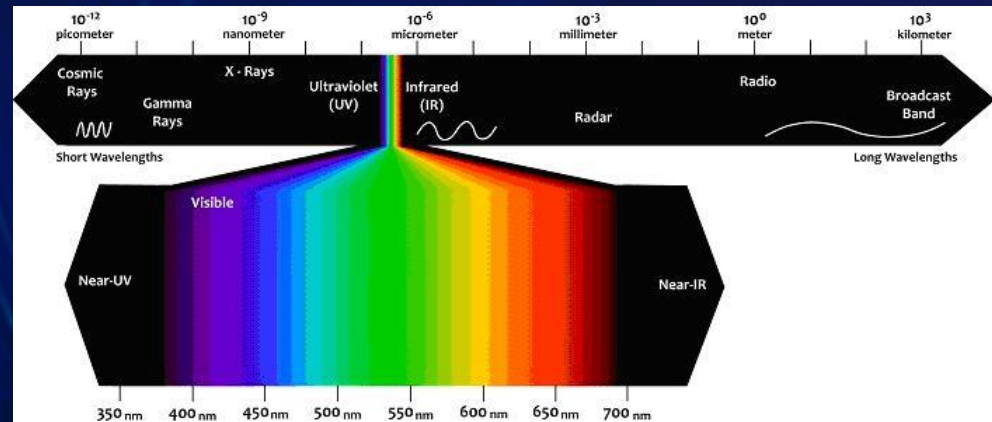
Il modo più semplice per ottenere lo spettro di una stella è raccogliere la sua luce con un telescopio e filtrarla con un prisma di vetro.



L'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 (in inglese **redshift**).



Effetto Doppler e velocità delle galassie

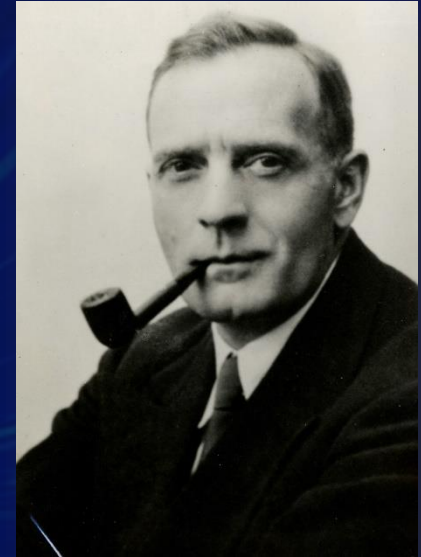
Dunque lo spostamento è direttamente proporzionale alla velocità della sorgente luminosa.

Nei primi decenni del 1900 Vesto Melvin Slipher basandosi sugli 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.

Edwin Hubble

Edwin Hubble, astronomo e astrofisico statunitense (1889 – 1953), nel 1919 arriva a Mount Wilson in California, proprio mentre si sta accendendo il più grande telescopio del mondo. Eccetto qualche parentesi come avvocato, insegnante di spagnolo, volontario nella Prima Guerra Mondiale, 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. Troppi perché faccia parte della nostra galassia. 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.

La cosmologia moderna

Fino al 1925 si pensava che tutte le stelle e le nebulose (agglomerato di polvere e gas da cui nascono le stelle) osservate facessero parte della nostra galassia, unica nel cosmo: la Via Lattea.

Poi Edwin Powell Hubble dimostrò che Andromeda è una galassia indipendente dalla nostra e che il cosmo è pieno di galassie indipendenti; Andromeda è quella a noi più vicina.

Si aprì così l'era dello spazio extragalattico: uno spazio sconfinato suddiviso in diversi "universi-isola", le galassie, ognuna delle quali composta da centinaia di miliardi di stelle ed altri oggetti celesti.

Nasceva così la moderna **cosmologia**, una scienza dedita allo studio delle origini e dell'evoluzione dell'universo.



Galassia Andromeda

Le velocità radiali delle galassie

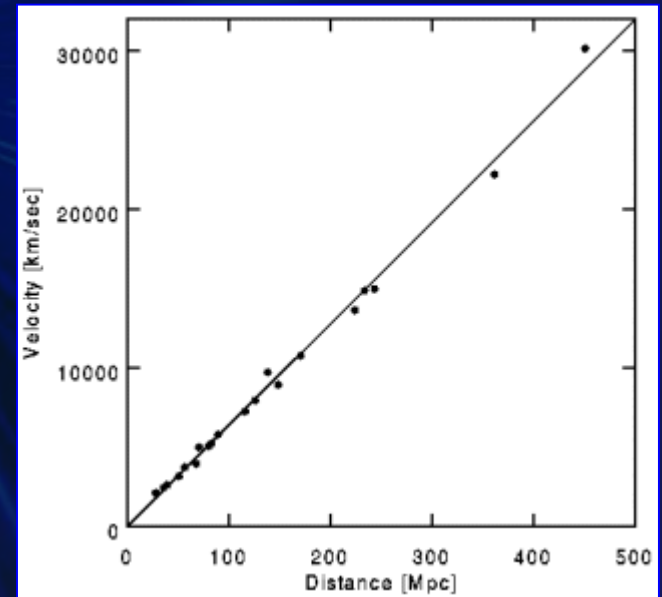
Ben presto ci si rese conto che nebulose e galassie non erano ferme rispetto alla via Lattea, ma in allontanamento in tutte le direzioni.

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.

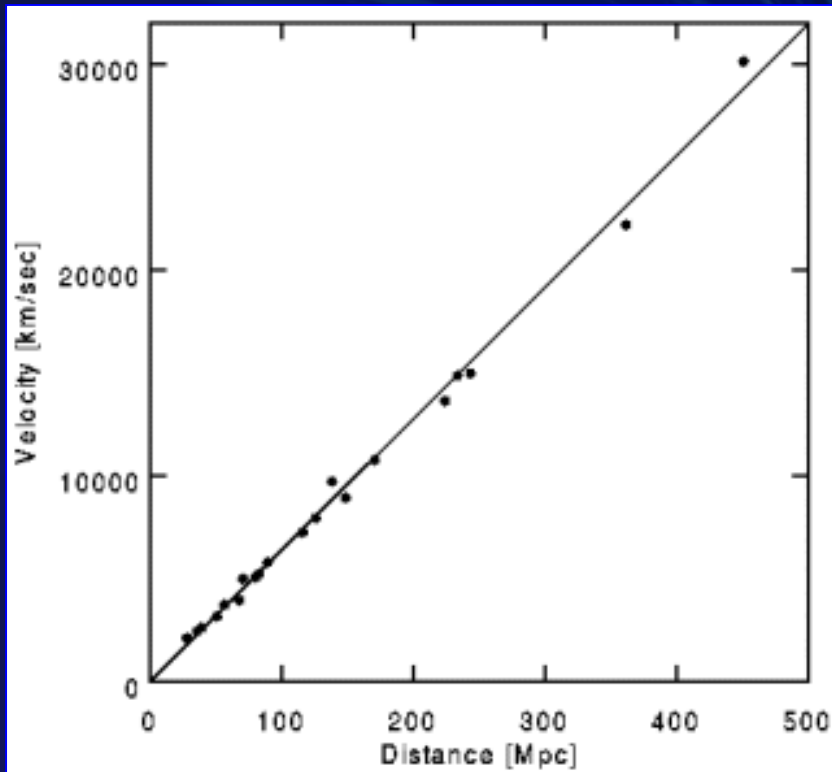


Nel 1929 E. Hubble pubblicò un grafico con le velocità radiali delle galassie in relazione alle loro distanze.



La legge di Hubble

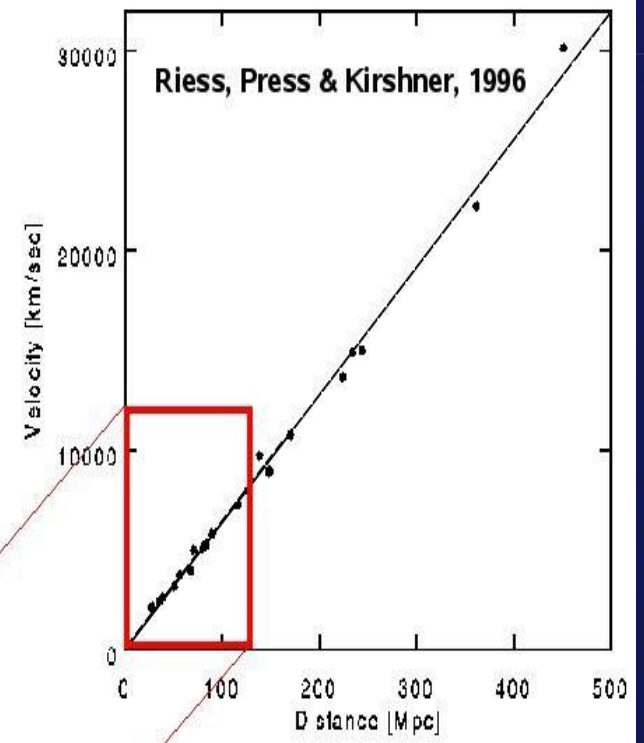
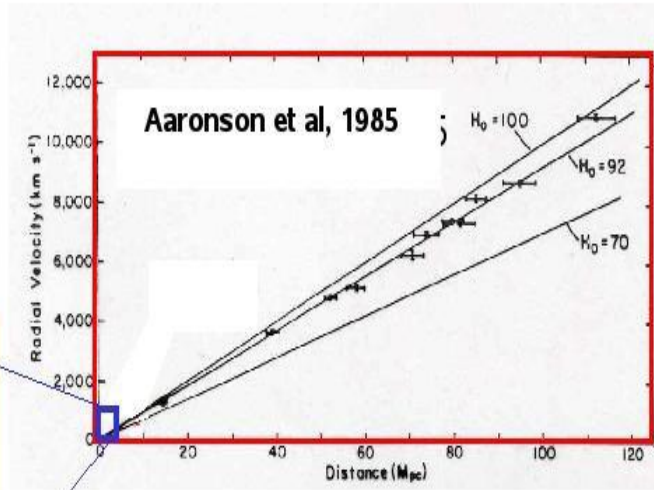
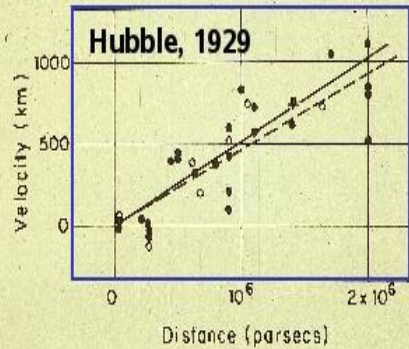
Il fatto che la velocità di recessione delle galassie sia proporzionale alla distanza è noto come “legge di Hubble” o “legge degli spostamenti verso il rosso.”



$$V = H \times D$$

V = velocità di allontanamento di una galassia in km/sec;
D = distanza misurata in megaparsec
H = costante di Hubble

1 parsec = 3,26 anni luce
(parallasse annua = 1 secondo d'arco);
1 Mparsec = 10⁶ parsec = 3,26 milioni di anni luce



L'ipotesi del Big Bang

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.

Cioè se le galassie si stanno allontanando l'una dall'altra, vuol dire che prima erano vicine, unite in un unico ammasso densissimo e molto, molto caldo.

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



La radioastronomia

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 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.

La radiazione cosmica di fondo

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).

Penzias e Wilson avevano scoperto la **Radiazione Cosmica di Fondo**.

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 $2,7^{\circ}$ K di oggi.

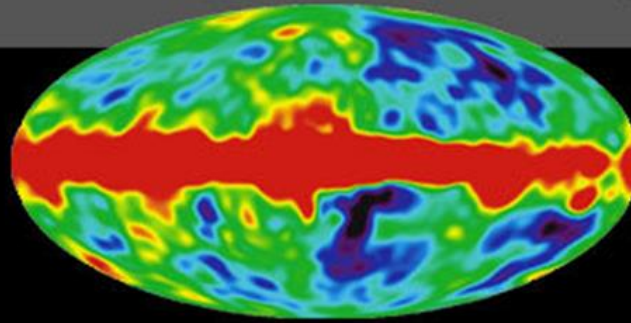
Questa scoperta valse a Penzias e Wilson il Premio Nobel per la Fisica.



Le indagini sulla radiazione cosmica di fondo

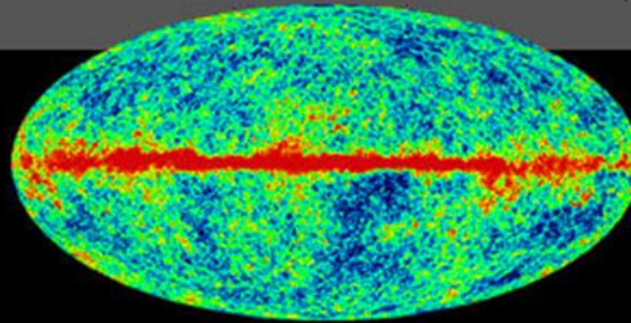
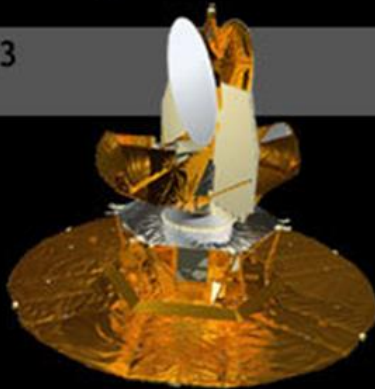
1992

COBE



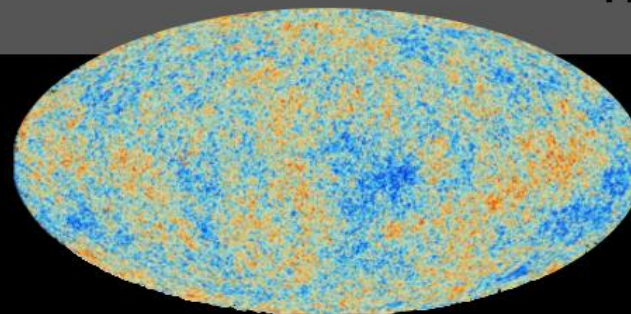
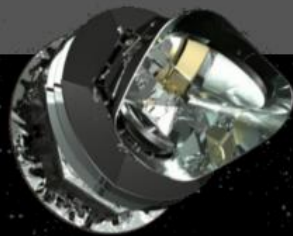
2003

WMAP



2009

PLANCK



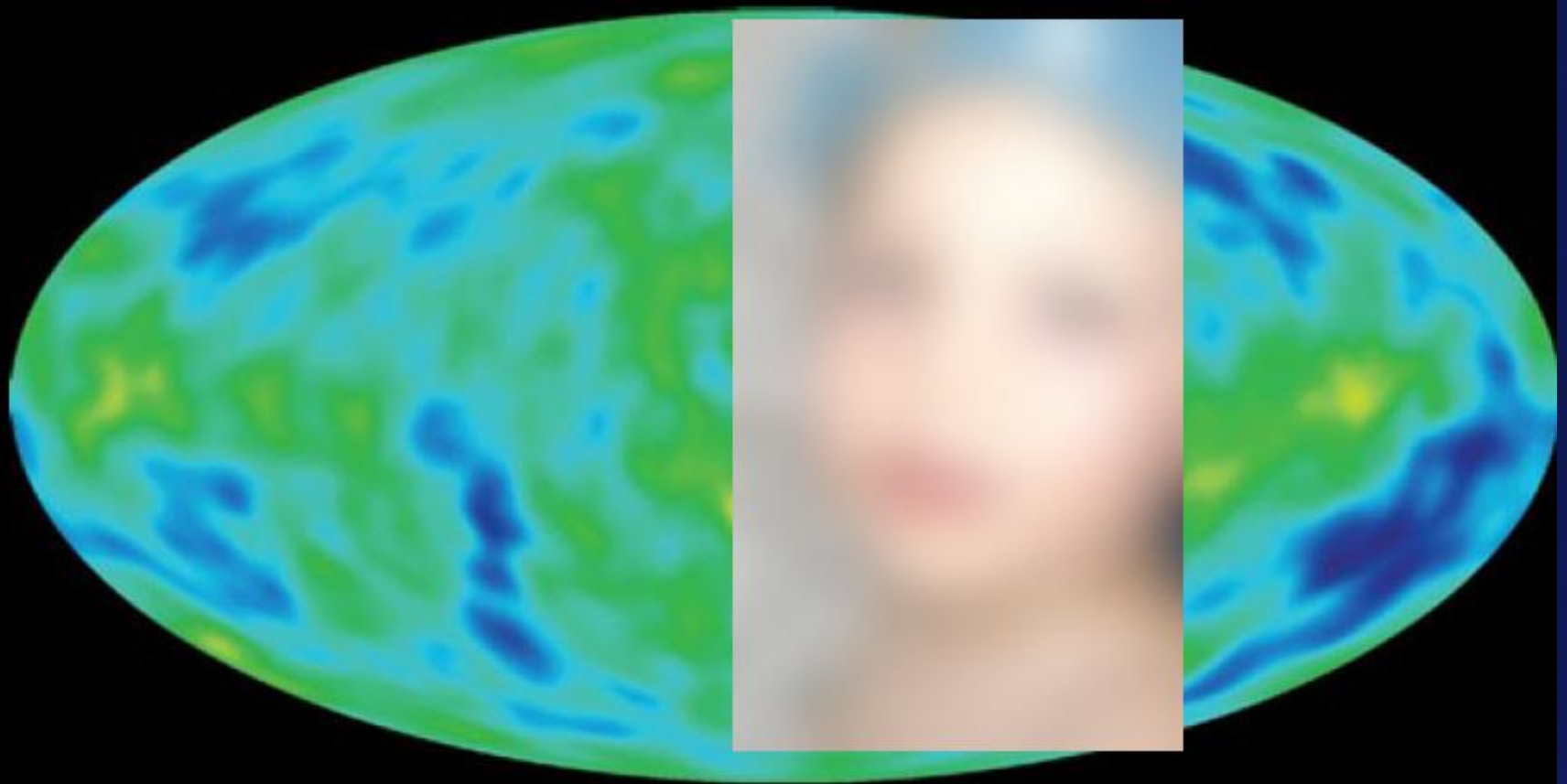
1989 – Missione spaziale COBE (NASA)

George Smoot e John Mather

Nobel per la Fisica 2006

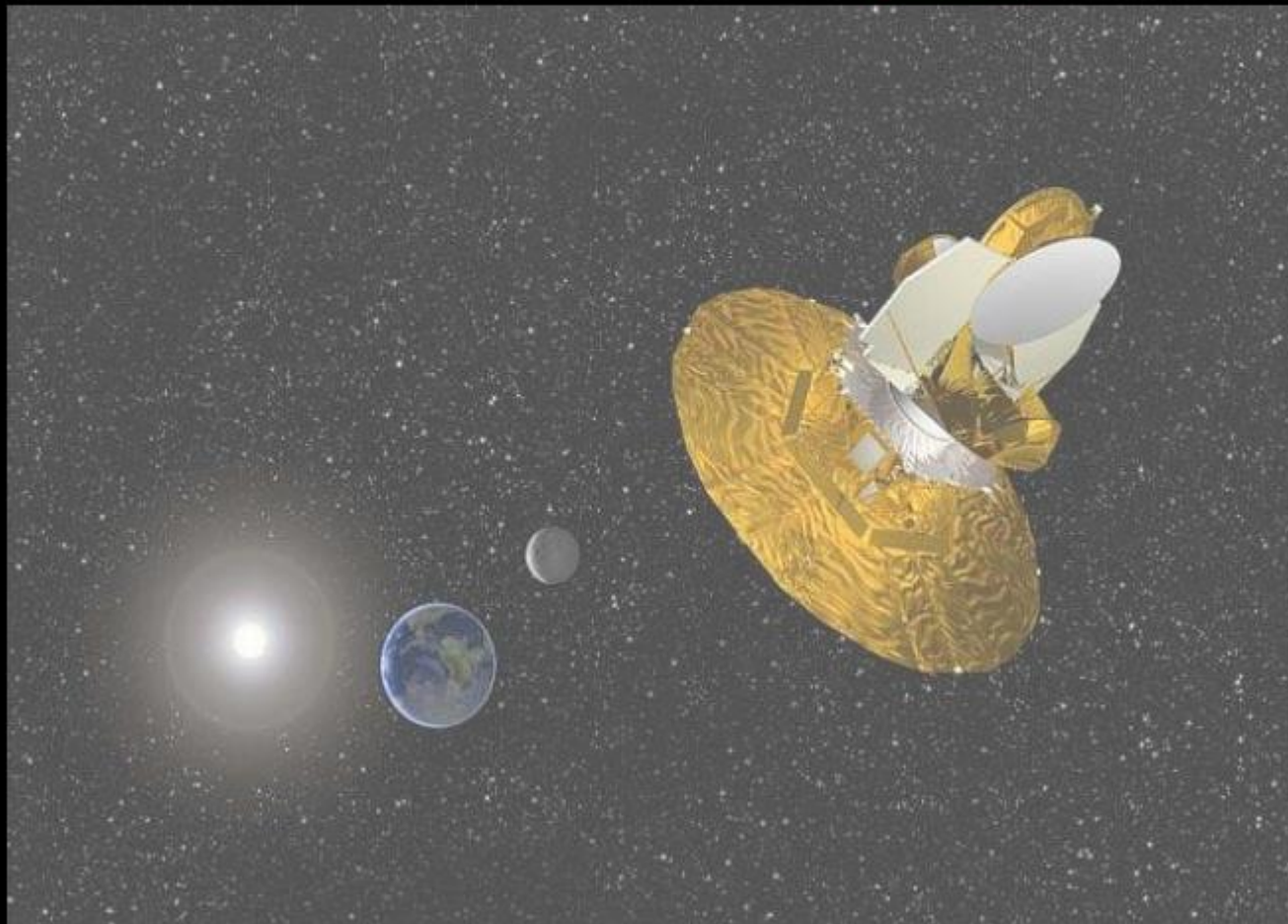


Album di famiglia: l'universo bambino

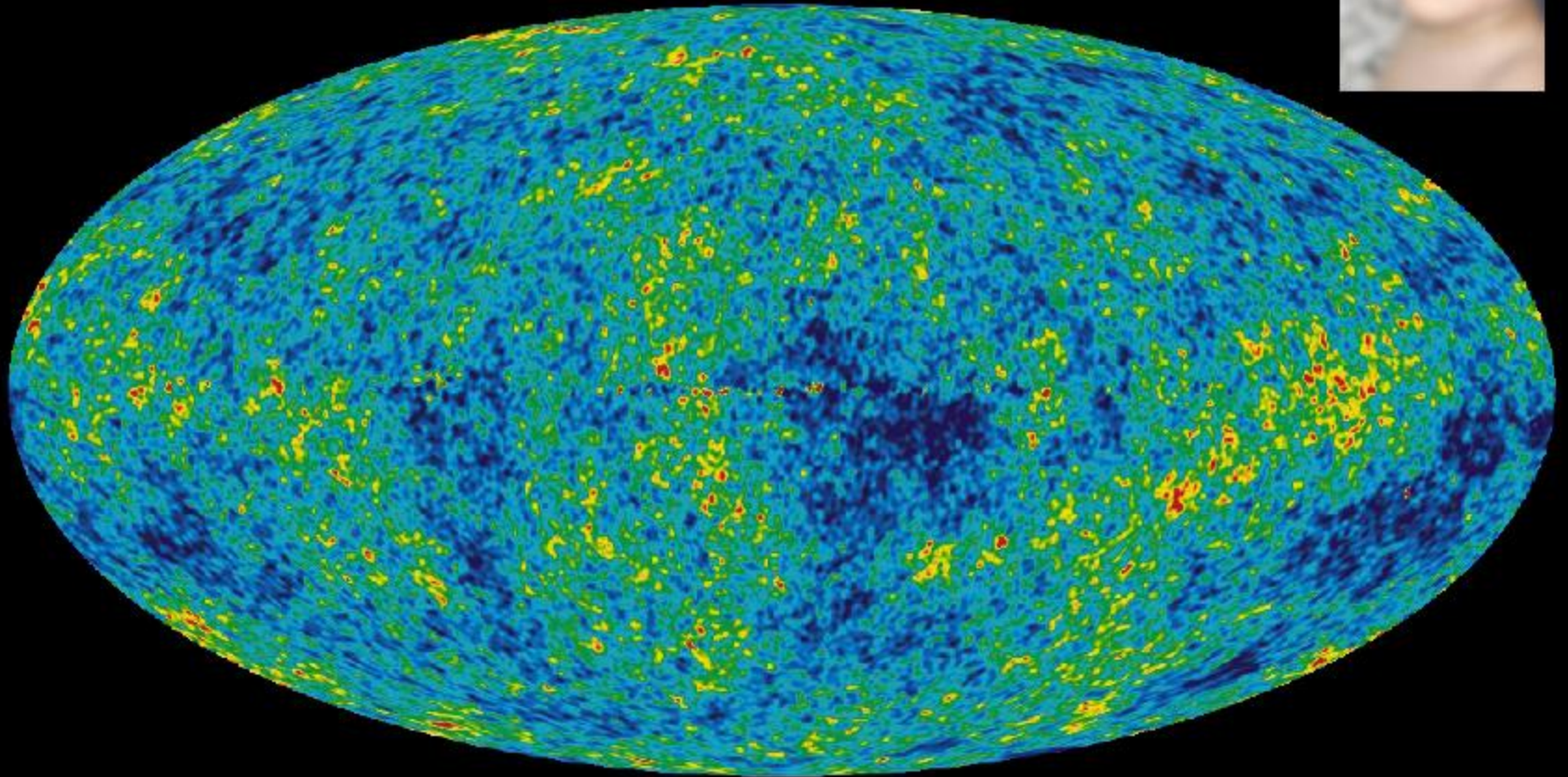


1989 – 2014: la caccia continua...

WMAP (NASA, lanciato nel
2001, terminato nel 2010)



... a WMAP ...



14 maggio 2009 – dalla Guyana Francese viene lanciato il satellite europeo Planck



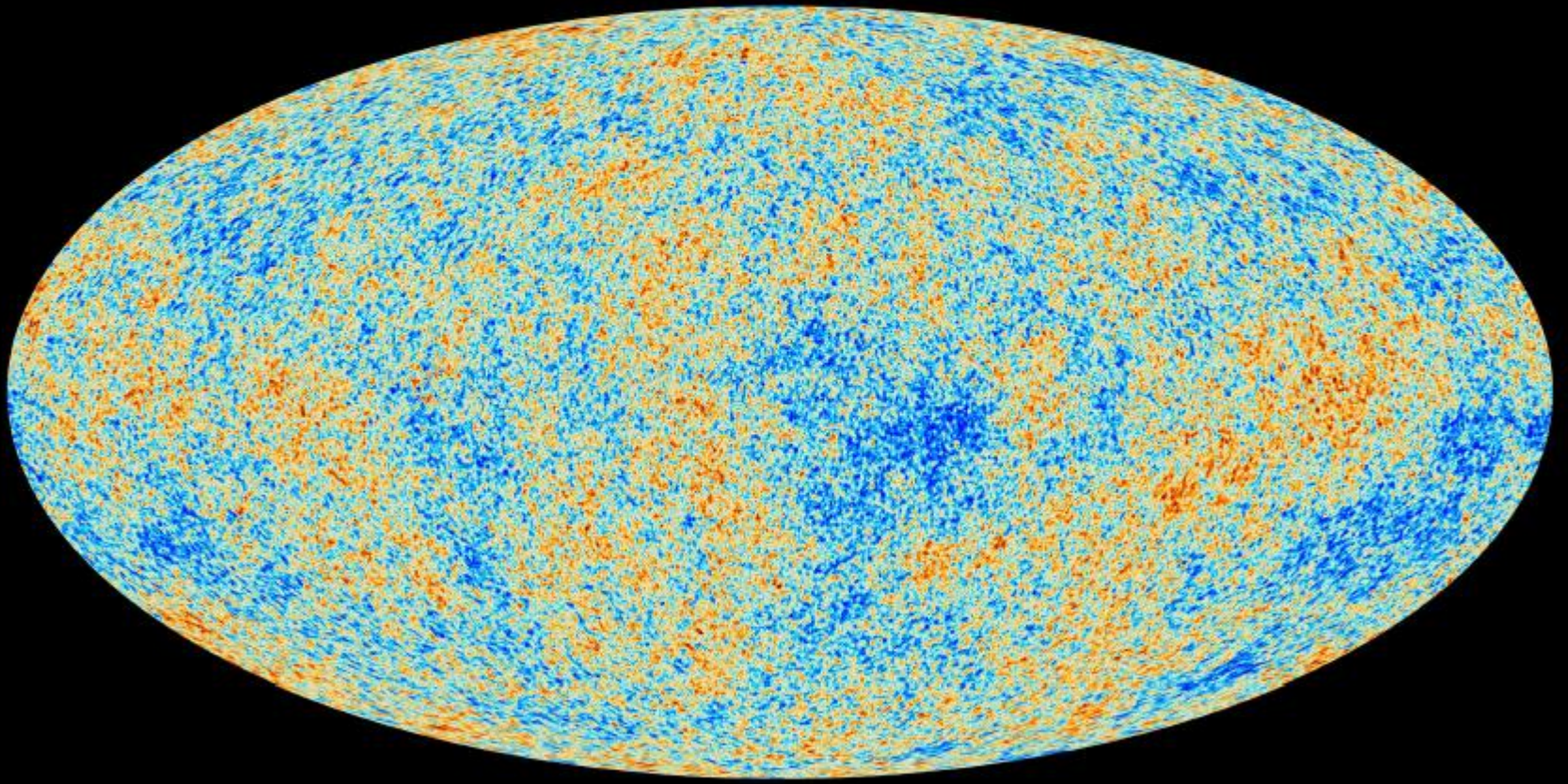
Space hubble telescope

Come già in epoche precedenti, i progressi scientifici furono molto condizionati dai limiti tecnologici.

Un grosso progresso avvenne nel 1990 con il telescopio spaziale Hubble, che orbita ad un'altitudine di 600 km. Ed ha uno specchio primario di 2,4 m di diametro.



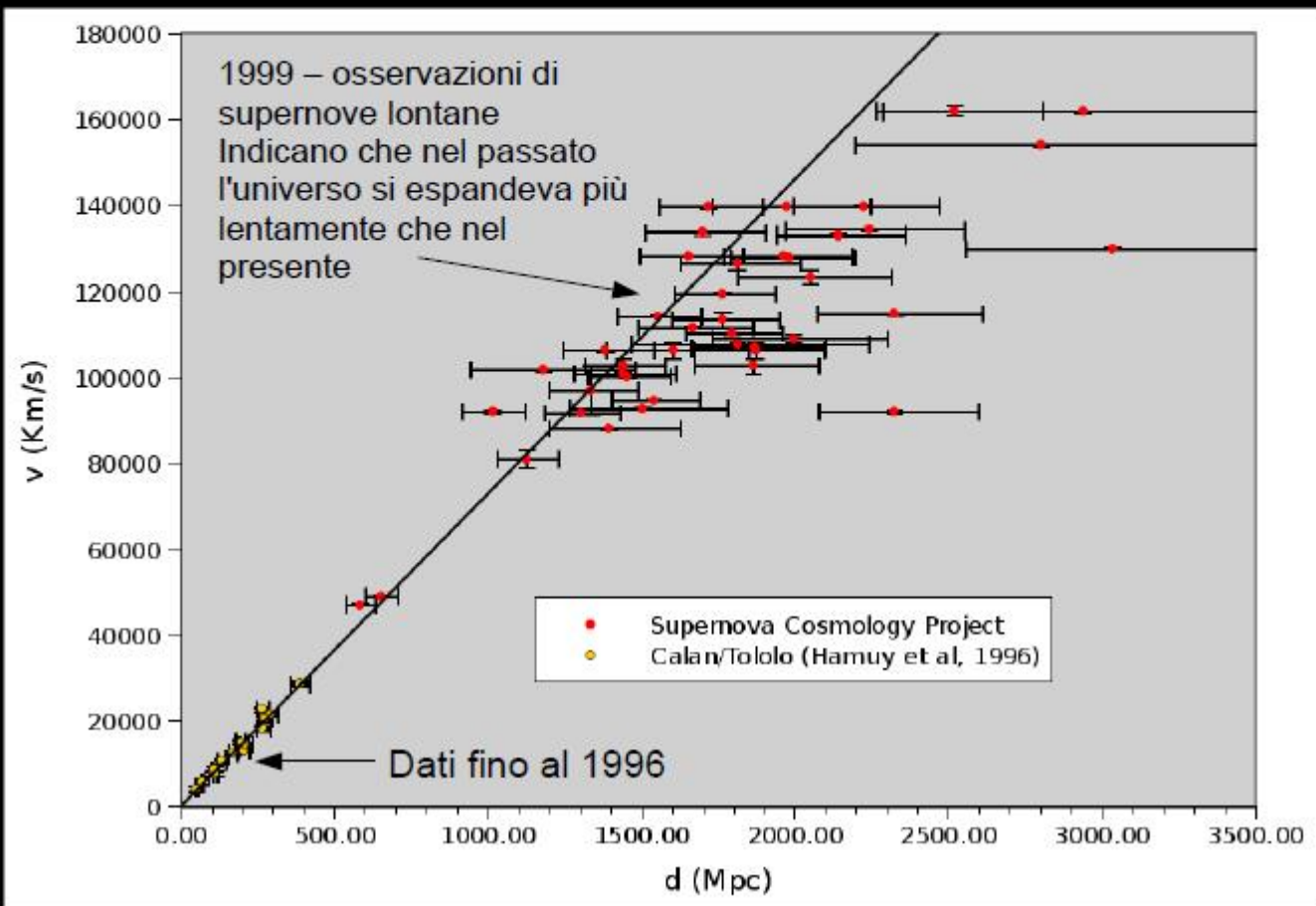
La più bella immagine dell'universo bambino





Schmidt, Riess, Perlmutter

Nobel per la Fisica 2011



- Molte osservazioni indicano che l'universo sta “accelerando” la sua espansione
- Non previsto dalla teoria di Einstein “pura”
- I futuri esperimenti, da Planck in poi, potranno gettare nuova luce su queste ed altri formidabili domande....
- ... e sicuramente far nascere nuovi quesiti