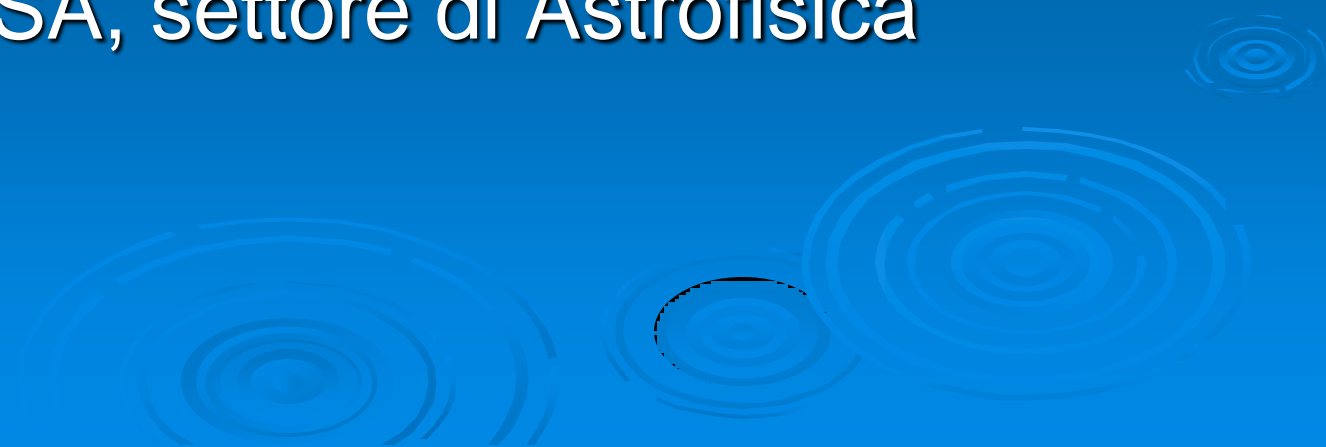



Planck scruta il Big Bang

Carlo Baccigalupi

SISSA, settore di Astrofisica



Contenuti

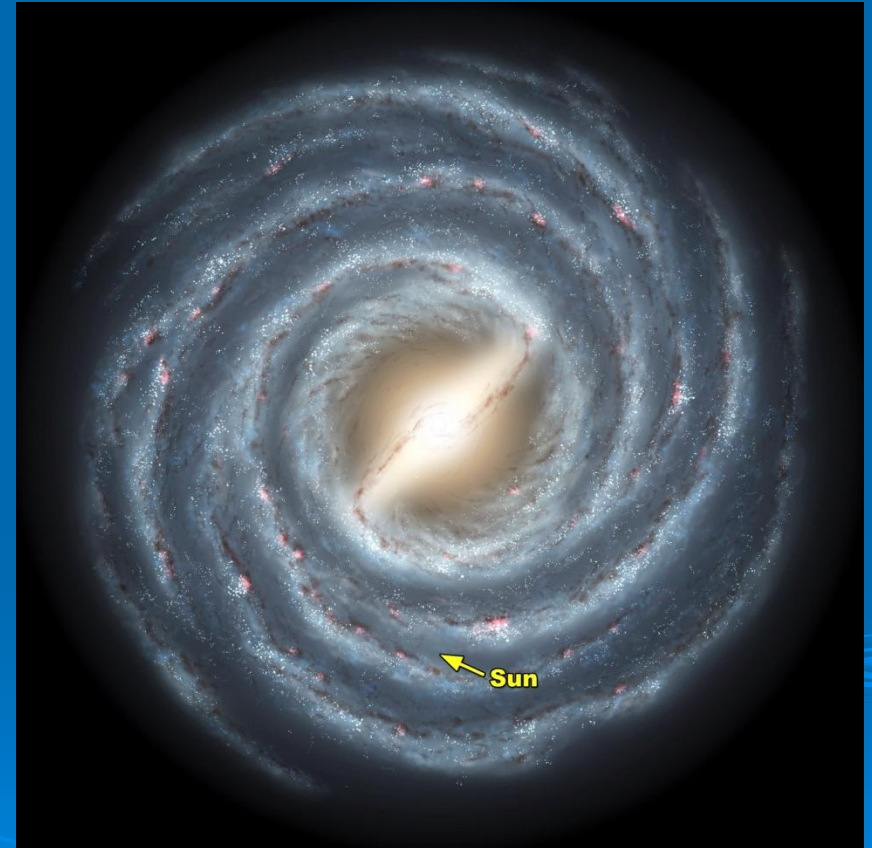
- Breve storia dell'universo
 - L'eco del Big Bang
 - Nuove conoscenze, nuovi enigmi
 - Il lancio di Planck e l'analisi dati a Trieste
 - Una rivoluzione in atto: Planck invia le prime immagini dell'Universo neonato
 - Conclusioni
- 

Breve storia dell'universo



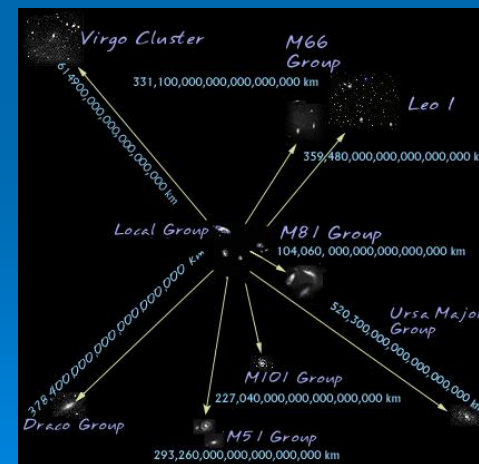
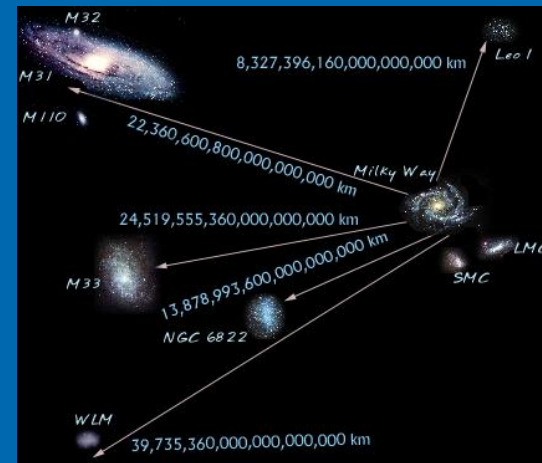
La Via Lattea

- Il sistema solare è situato nella periferia di una normale galassia spirale, la Via Lattea
- Essa contiene circa 400 miliardi di stelle
- In lunghezza, essa è circa 100 milioni di volte il sistema solare
- La luce impiega circa 30000 anni per attraversarla



Il gruppo "locale" di galassie

- Le galassie più vicine si trovano a milioni di anni luce, ovvero le vediamo come erano milioni di anni fa
- Il gruppo locale di galassie sta cadendo sul grande attrattore, l'ammasso Virgo, che si trova ad alcune decine di milioni di anni luce di distanza

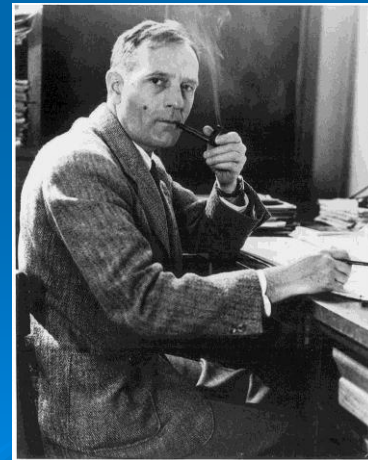
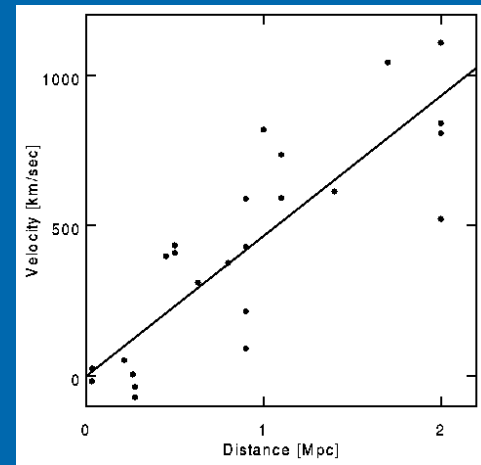


Le Galassie sono Ferrari?



L'effetto Doppler cosmico

- Edwin P. Hubble, nel 1929, nota che le Galassie hanno un "suono" più debole quanto più sono lontane
- L'interpretazione più semplice è che esse si allontanano, in tutte le direzioni intorno a noi



La palla di fuoco primordiale

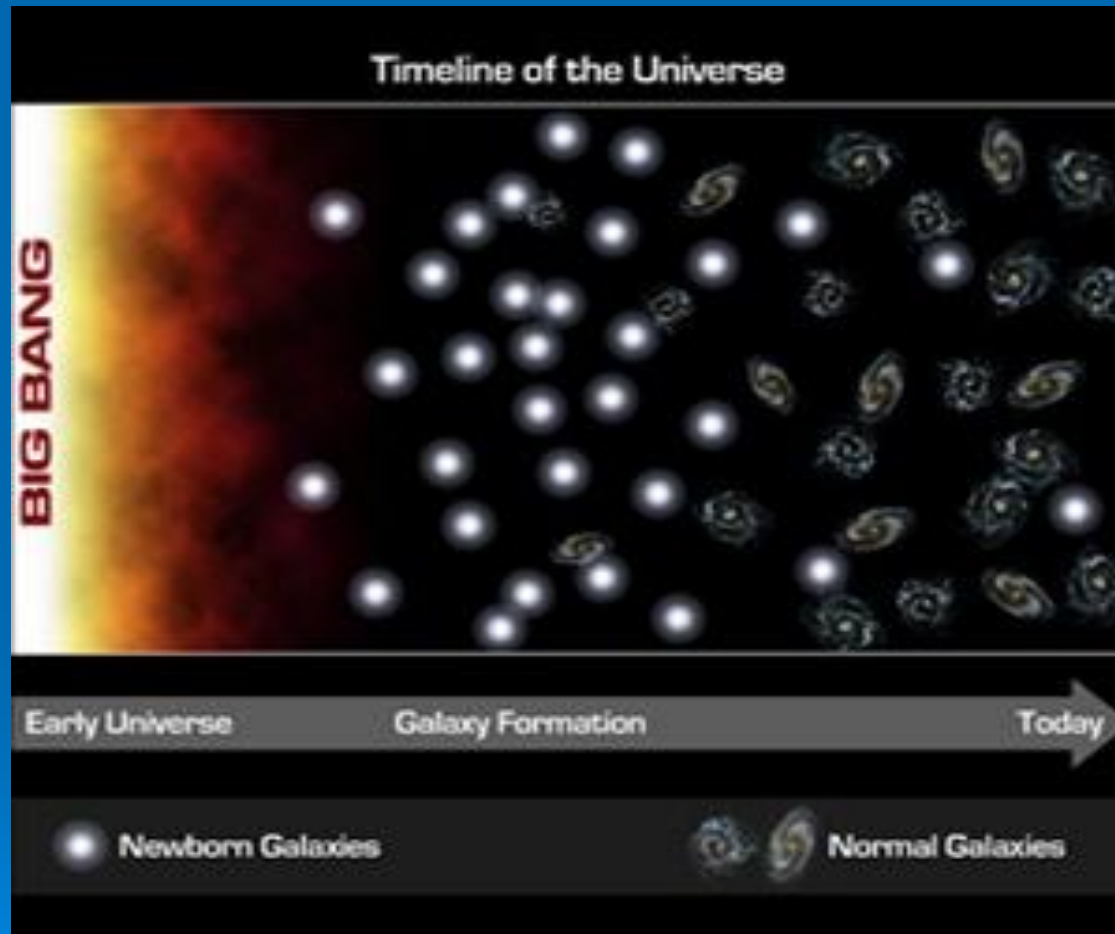
- Alcuni scienziati ipotizzano che l'Universo sia dunque in espansione, ovvero che le distanze fra gli oggetti, aumentino nel tempo
- Quindi, se si pensa indietro nel tempo, in un'epoca remota, tutto l'Universo si trovava in uno stato di altissima concentrazione e temperatura
- L'ipotesi viene chiamata "palla di fuoco primordiale", o "Big Bang" da coloro che schernivano questa stravagante ipotesi

Hubble nello spazio oggi...milioni di galassie...miliardi di anni luce

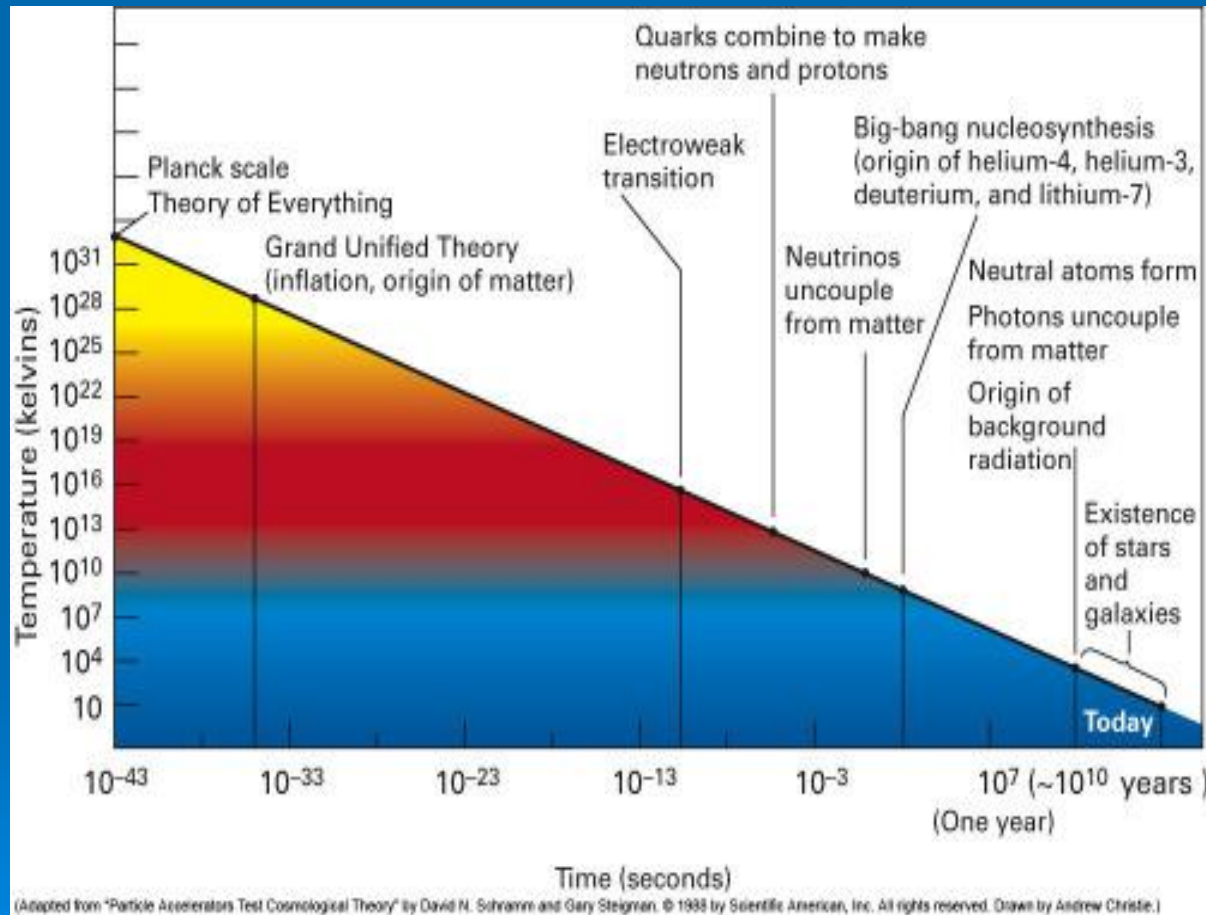
- Grazie ai telescopi piu' moderni, come l'Hubble Space Telescope, conosciamo oggi miliardi di galassie, ognuna contenente mezzo trilione di stelle
- Le piu' lontane distano miliardi di anni luce
- Esse si allontanano, la legge di Hubble vale fino alle piu' grandi distanze conosciute
- E oltre...? Riceviamo qualcosa da piu' lontano?



Breve storia dell'universo



Breve storia dell'universo



L'eco del Big Bang



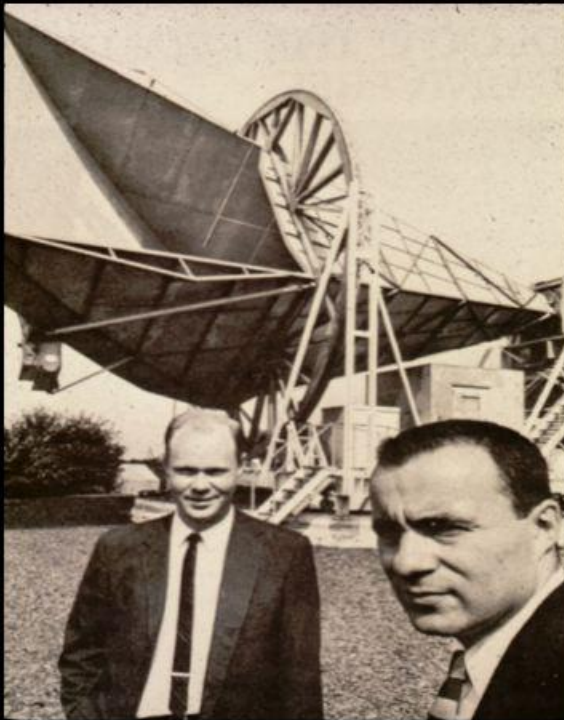
Riceviamo segnali dalle regioni oltre le galassie piú lontane?

- L'Universo si espande, e nel passato era compresso, e quindi caldo, tanto da innescare esplosioni termonucleari
- Ralf Alpher, Hans Bethe, George Gamow, nel 1948, predissero che la radiazione derivante da tali esplosioni dovrebbe essere rilevabile oggi, molto rarefatta e quindi fredda, caratterizzata da una temperatura di pochi gradi sopra lo zero assoluto
- Tale radiazione e' nota come Cosmic Microwave Background, la radiazione cosmica di fondo, paragonabile ad un "rombo elettromagnetico" dell'esplosione che diede origine all'universo, circa 14 miliardi di anni fa



La scoperta della radiazione di fondo

Arno Penzias and Robert Wilson

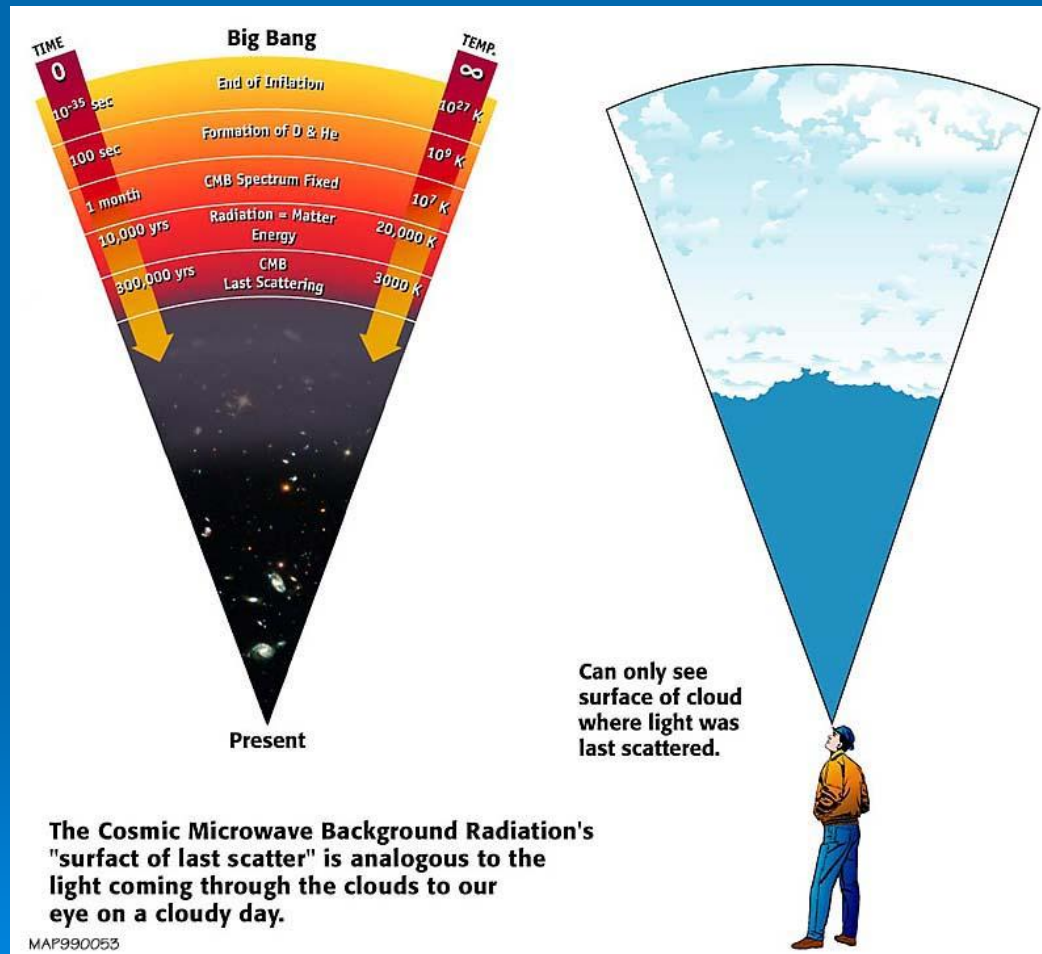


Early 1960s - Penzias and Wilson are hired by Bell Labs to evaluate the performance of the new radio telescope to be used in trans-Atlantic telephone communications.

They find a small, unexplained signal regardless of the direction the telescope is pointed. It is not enough to be a problem, but they are curious.

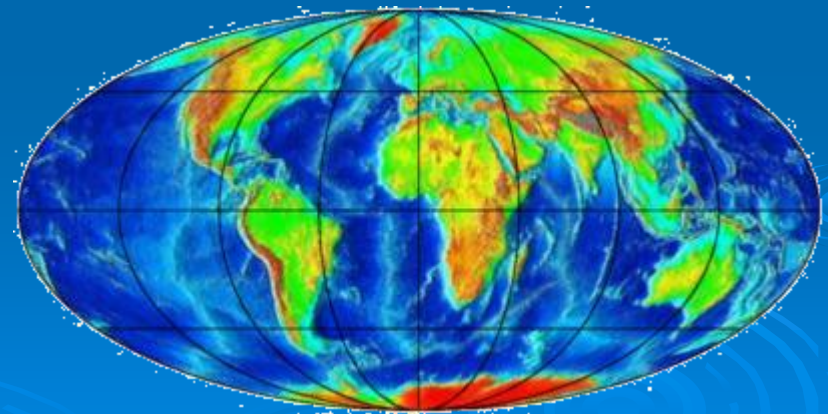
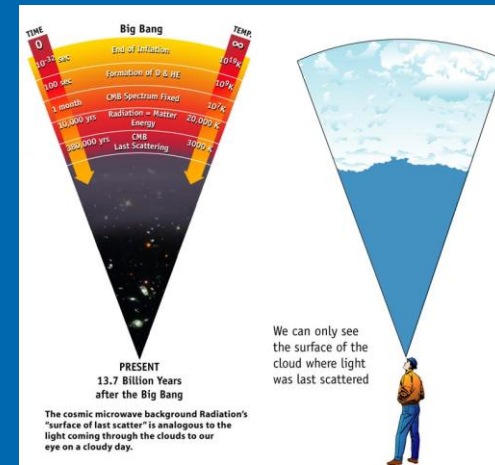
1964 - They become aware that the noise in their telescope is the cosmic background radiation predicted by the Big Bang theory.

Universo in espansione, dal piccolo al grande, dal caldo al freddo

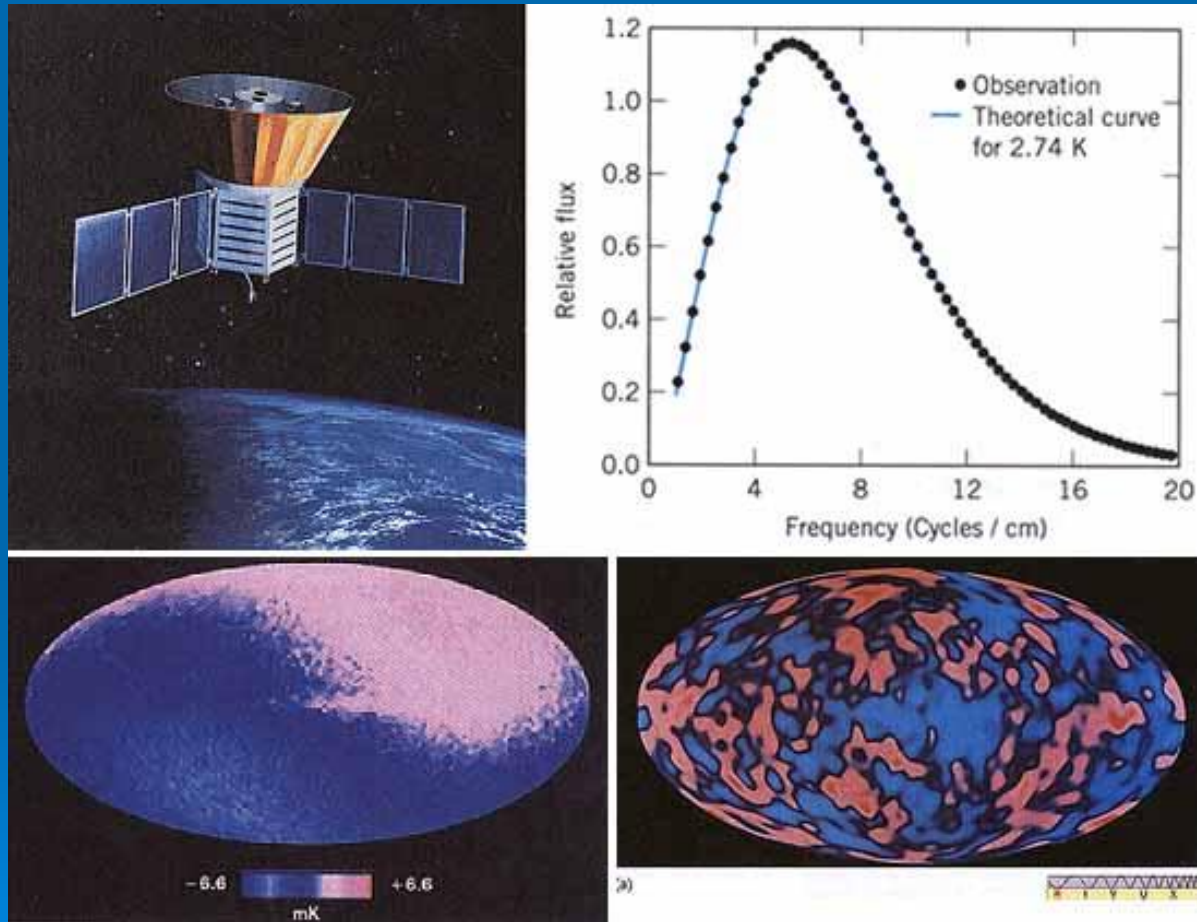


Le singole note nell'eco del Big Bang

- Semplici leggi fisiche predicono che le regioni più o meno dense emettono radiazione più o meno calda...
- Dunque, l'immagine della radiazione di fondo è una fotografia delle strutture create dal Big Bang! Proprio l'immagine della Terra ci fa vedere le sue strutture!
- Subito dopo la scoperta, parte la ricerca delle disomogeneità nella radiazione di fondo, la ricostruzione dell'immagine del cosmo in fasce, appena 300,000 anni dopo il Big Bang

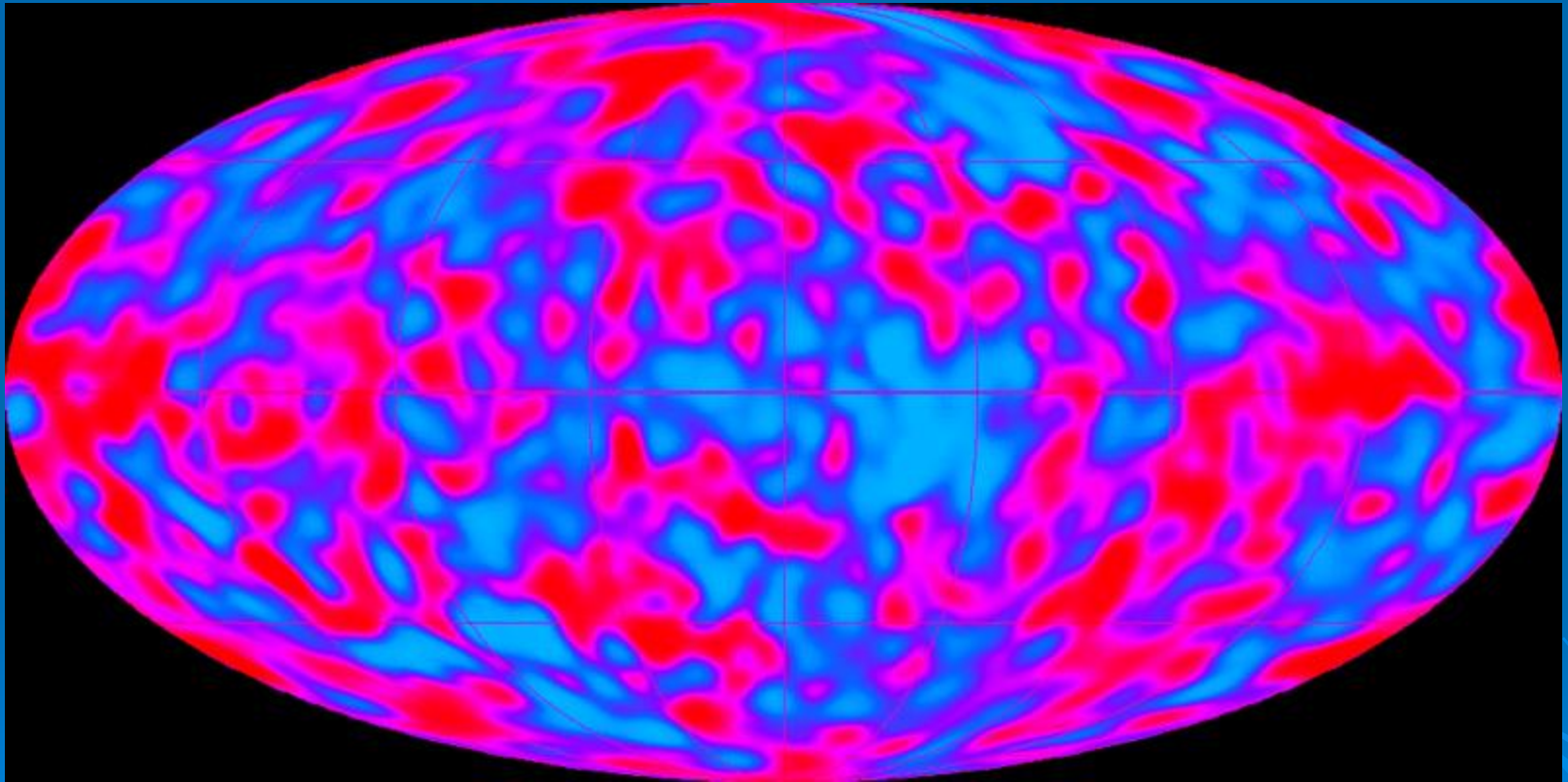


COsmic Background Explorer (COBE)

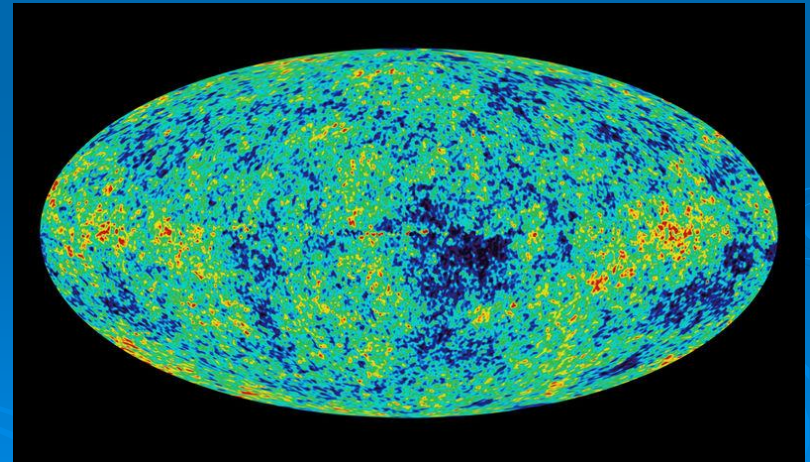
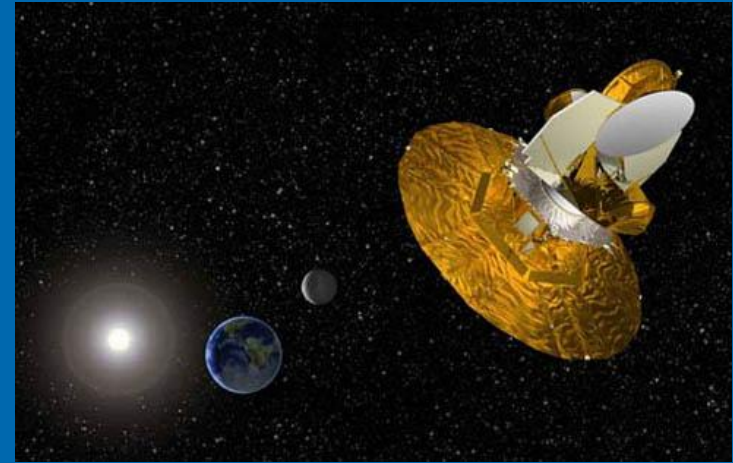
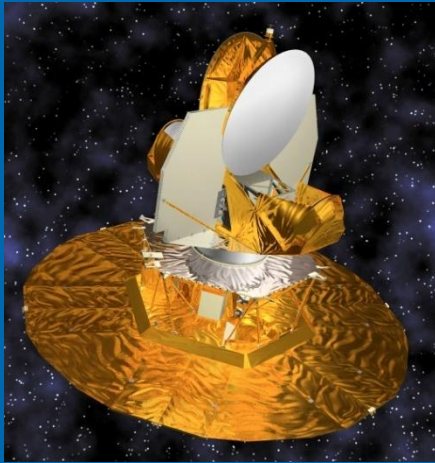


Premio nobel per la fisica a John Mather e George Smoot, 2006

L'Universo neonato



Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP, lancio nel 2001, in funzione)

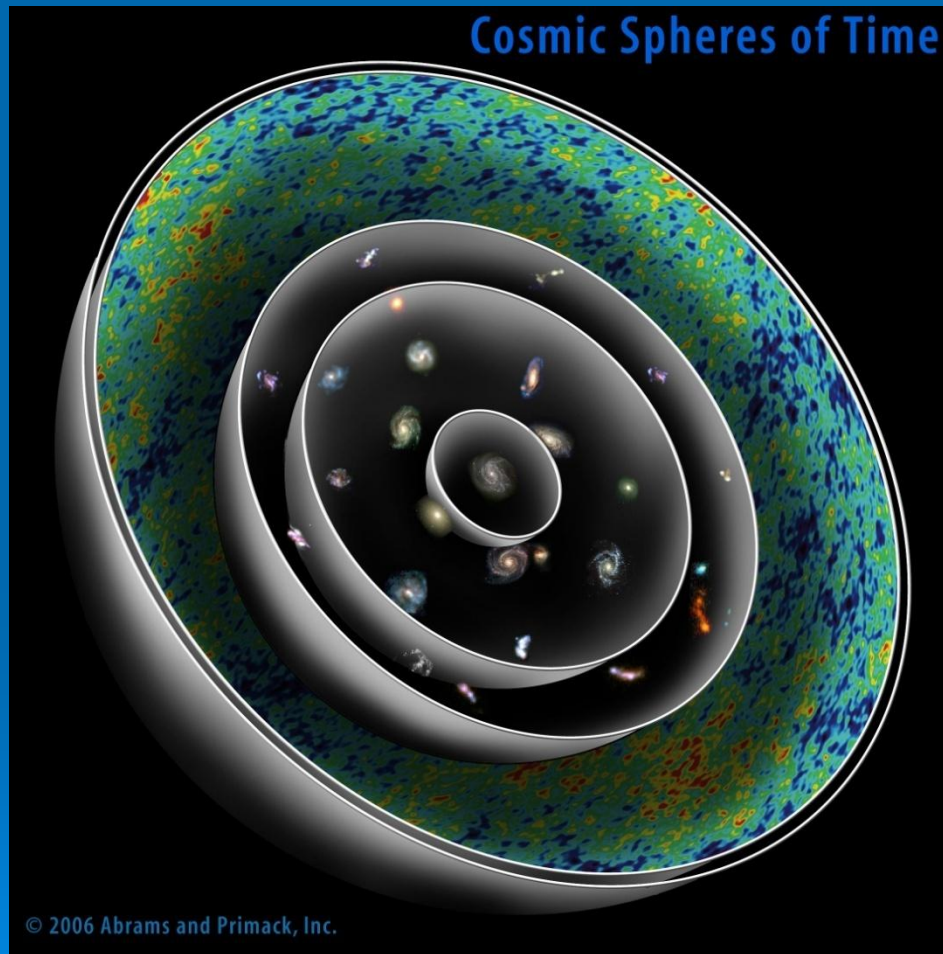


Courtesy of the NASA WMAP team

Planck



L'Universo, Dicembre 2009

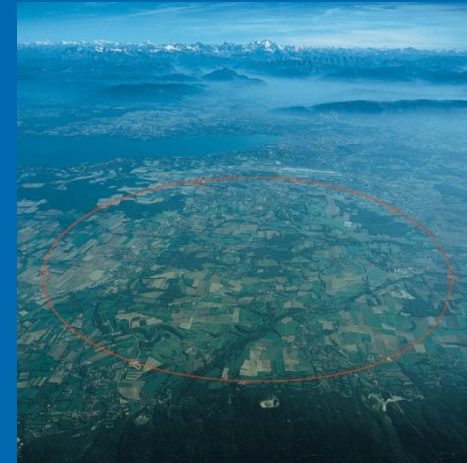


Nuove conoscenze,
nuovi enigmi



FONDAMENTALE Astrofisica

- I limiti tecnologici ed economici ci impediscono di realizzare esperimenti di altissima energia qui sulla Terra
- Un esempio: il Large Hadron Collider al CERN insegue particelle che sono milioni di miliardi di volte meno energetiche di quelle che ipotizziamo al Big Bang
- Per produrre le particelle del Big Bang, occorrerebbe un acceleratore grande quanto il sistema solare!
- L'universo rappresenta un laboratorio ideale, anche se solo osservabile, che contiene tutti i fenomeni interessanti, dal Big Bang



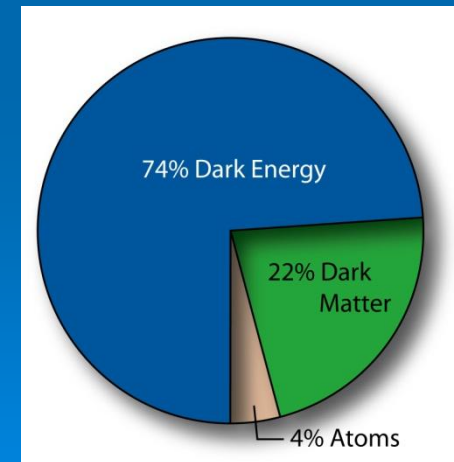
Nuove conoscenze: Big Bang ed Inflazione cosmica

- La gravita' e' attrattiva, ma le distanze cosmiche sono enormi, perche'?
- La teoria dell'Inflazione cosmica ipotizza una fase di espansione accelerata subito dopo il Big Bang (10^{-35} secondi dopo), guidata dall'energia delle particelle prima della loro formazione
- I dati sulla radiazione di fondo sono consistenti con questa ipotesi, ed indicano che in questa fase l'universo di sarebbe espanso di circa 10^{30} volte



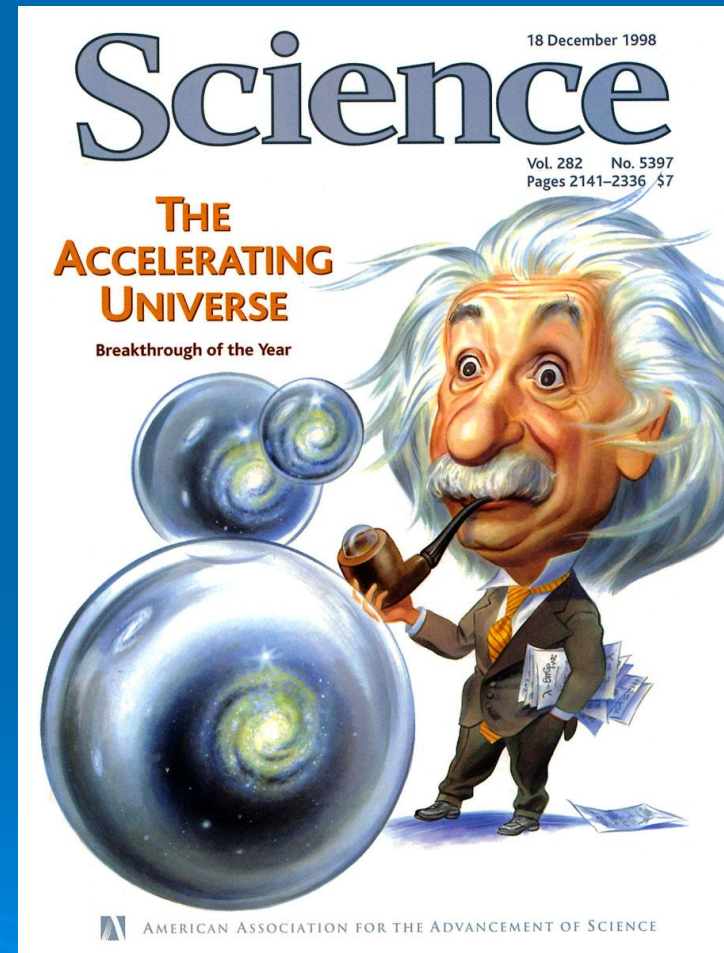
Nuove conoscenze: la composizione del cosmo

- Le strutture visibili, pianeti, stelle, rappresentano una minima parte della materia cosmica
- 7 volte tanto e' in forma di materia oscura, ovvero non interagente con la materia ordinaria, che costituisce aloni attorno alle galassie
- La materia totale, oscura e non, costituisce solo il 25% dell'intera energia cosmica...



Nuove conoscenze: l'espansione accelera!

- Le osservazioni indicano che l'Universo sta accelerando la sua espansione
- L'accelerazione sarebbe iniziata alcuni miliardi di anni fa
- Questo processo può essere ricondotto ad una forma di energia nello spazio vuoto simile a quella che generò l'Inflazione cosmica, dibattuta da Einstein ed i maggiori fisici teorici nel corso dell'intero ultimo secolo



Enigmi in cosmologia

FISICA FONDAMENTALE

- Non sappiamo...
- quali processi hanno preceduto l'Inflazione, e se essi sono descritti da una trattazione unificata della gravità e le altre tre forze conosciute
- che cosa ha generato l'Inflazione cosmica
- che cosa è la materia oscura
- cosa sta facendo accelerare l'espansione cosmica oggi
- ...

Osservare per sapere

- L'investigazione e la curiosità umana procedono incessanti, e nei prossimi anni, alcuni enigmi potrebbero essere svelati dai prossimi esperimenti, grazie al progresso tecnologico negli ultimi decenni
- Planck: osservazione della radiazione di fondo ad altissima risoluzione, il tentativo di vedervi l'impronta di oscillazioni spaziotemporali impresse al Big Bang
- Large Hadron Collider (LHC, CERN): ``Cugini'' della materia oscura nel Large Hadron Collider
- Esplosioni di supernove e raggi gamma per ricostruire la storia dell'espansione cosmica
- NASA ed ESA (programmi Beyond Einstein e Cosmic Vision) pianificano satelliti che saranno realizzati nei prossimi decenni, per costruire mappe 3D di miliardi di galassie intorno a noi (Euclid), e per rivelare direttamente le onde gravitazionali (LISA)

Il lancio di Planck e l'analisi dati a Trieste

Dal programma scientifico di Planck:

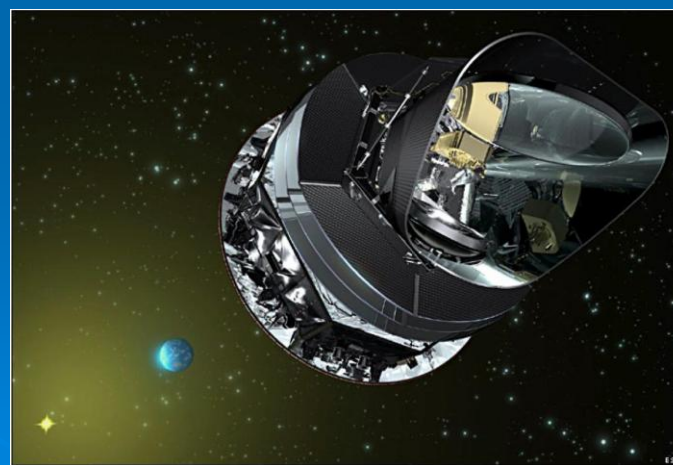
www.rssd.esa.int/Planck

Facts and material:

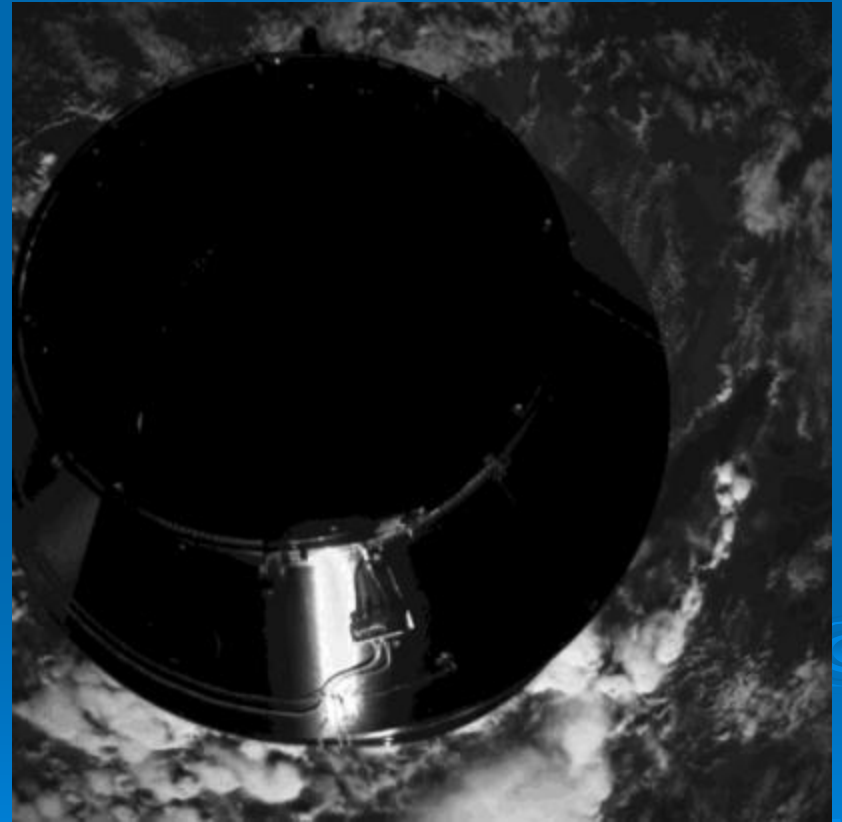
ESA Science & Technology: Planck

Planck

- Missione di osservazione del fondo cosmico di terza generazione, ESA con partecipazione NASA
- 400 scienziati in Europa e Stati Uniti
- La prima idea subito dopo la scoperta di COBE
- 17 anni per design, costruzione, e lancio
- Due centri di analisi dati: Parigi + Cambridge (IaP + IoA), Trieste (OAT + SISSA)



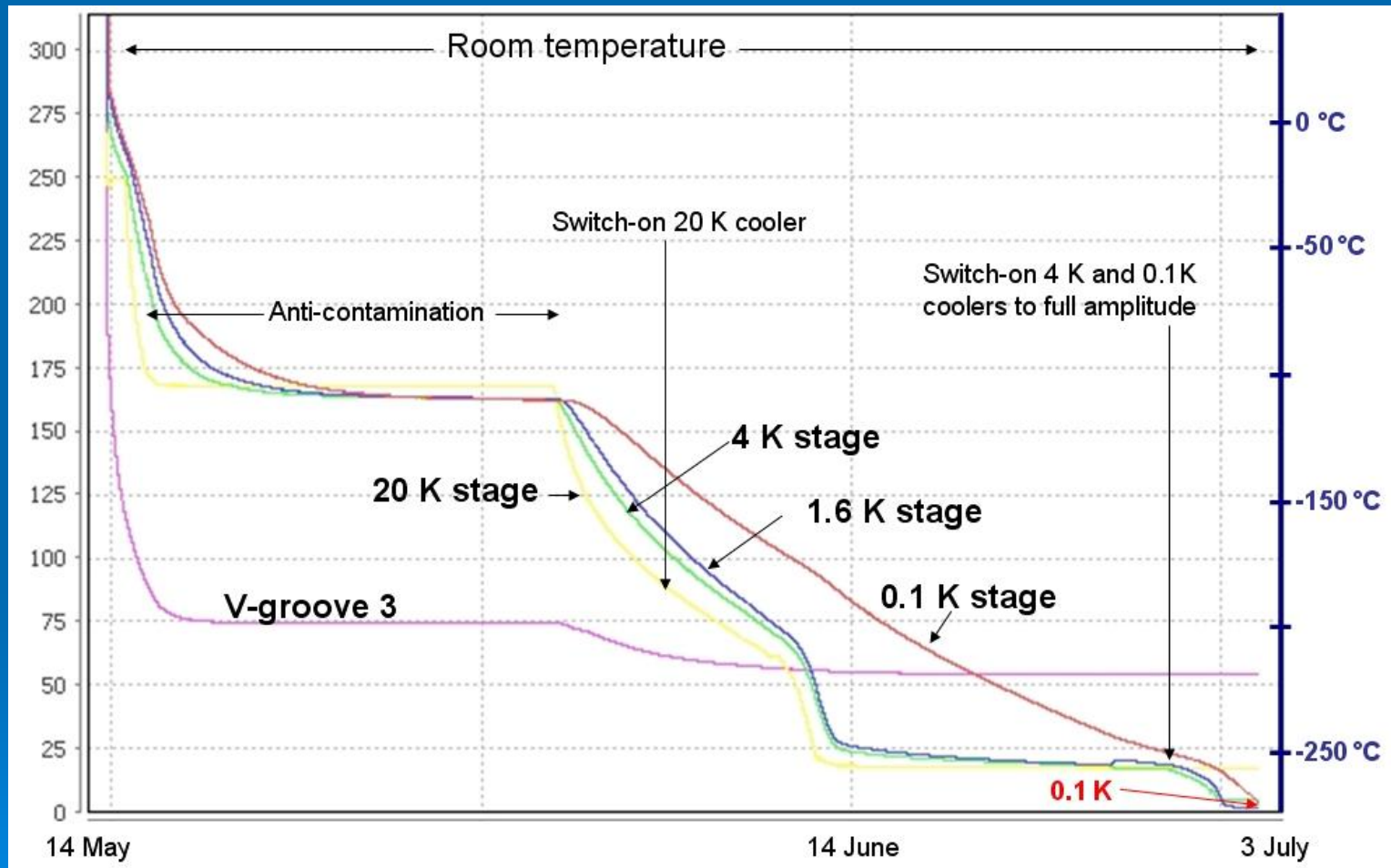
Il lancio di Planck, Maggio 14, 2009



Il lancio di Planck, Maggio 14, 2009



Il piu' freddo strumento nel cosmo





Davies

Berkeley

Pasadena

Minneapolis

Cambridge

Toulouse

Santander

Oviedo

Brighton

Paris

Milan

Bologna

Oxford

Bucarest

Trieste

Padua

Rome

Helsinki

Copenhagen

Munich

Heidelberg

La collaborazione Planck



Cambridge

Paris

Trieste

Centri di analisi dati di Planck

Trieste Planck Analysis Center

- Il mission operation center (MOC) a Darmstadt (Germania) riceve ed invia i dati a Parigi e Trieste
- A Trieste, due super-computers, ent all'OATs (operazioni ufficiali), HG1 alla SISSA (supporto per l'analisi scientifica), centinaia di microprocessori, decine di terabytes di disco, rendono possibile l'analisi dati
- 12 scienziati in entrambi gli istituti si dedicano ogni giorno a tempo pieno all'analisi, assieme al resto della collaborazione internazionale



Trieste Planck Analysis Center

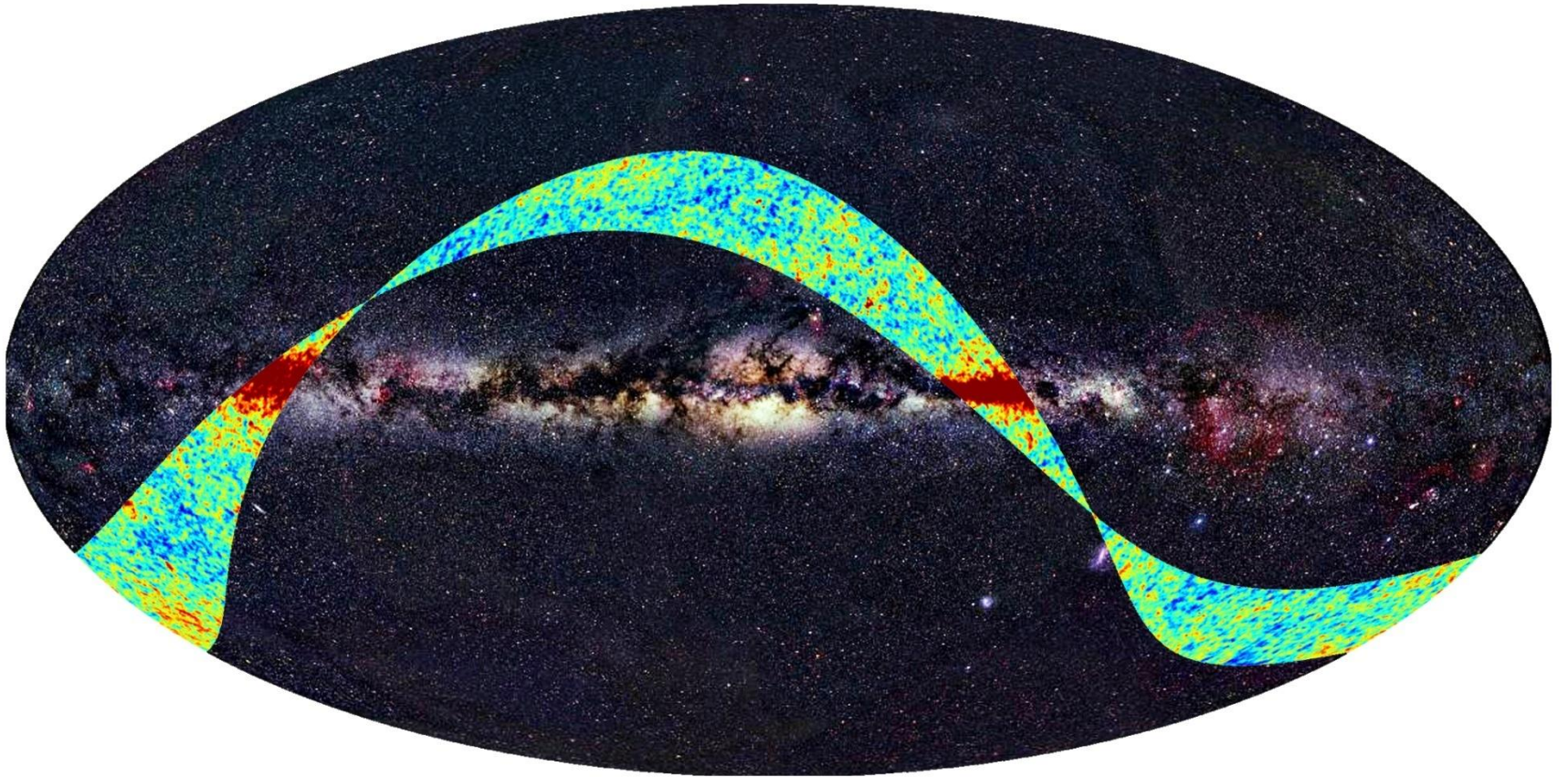
- Maggio 14, 2009: lancio
- Agosto 2009: inizio delle osservazioni scientifiche
- Agosto 2010: osservazioni scientifiche completate, inizio dell'analisi scientifica
- Fine 2010: estensione delle osservazioni per un altro anno discussa e decisa dall'ESA
- Meta' 2012: produzione di decine di articoli scientifici contenenti risultati riguardandi la fisica delle particelle, cosmologia ed astrofisica



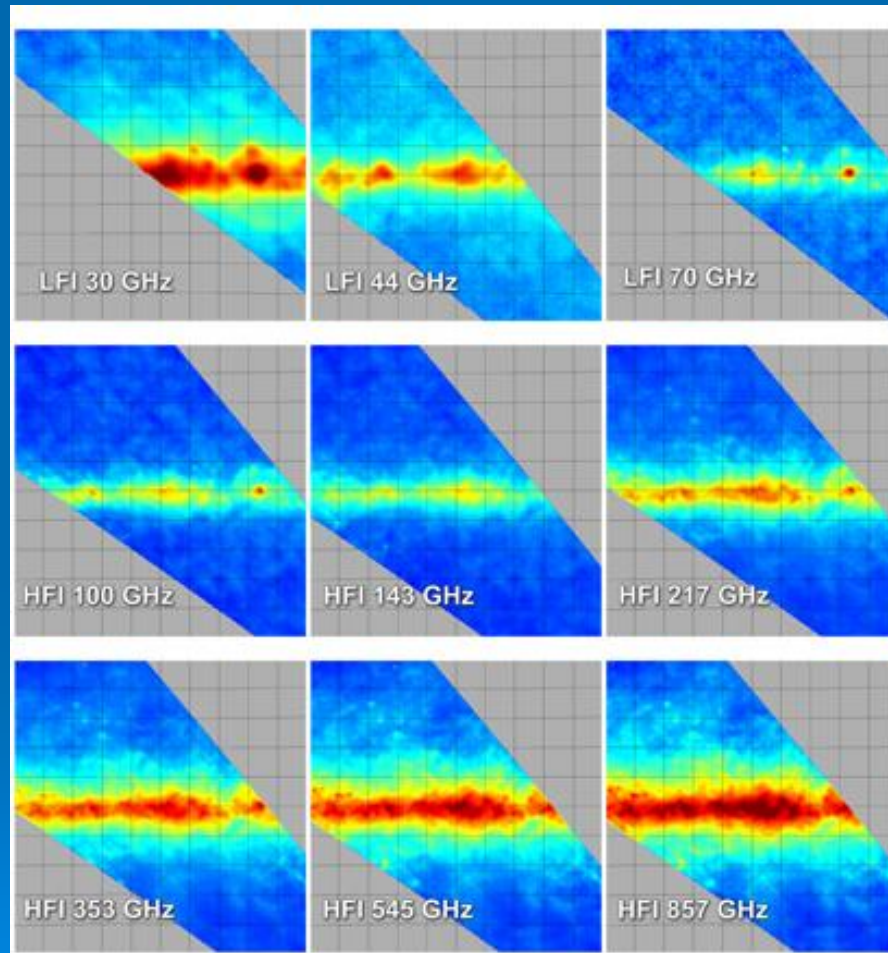
Una rivoluzione in atto: Planck invia le prime immagini dell'Universo neonato



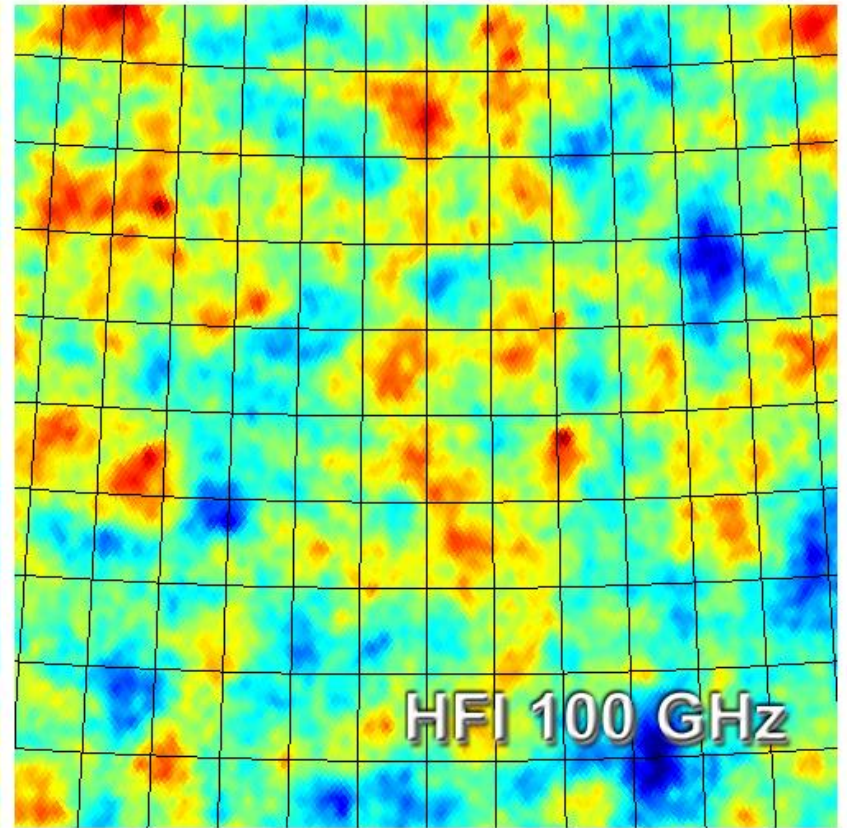
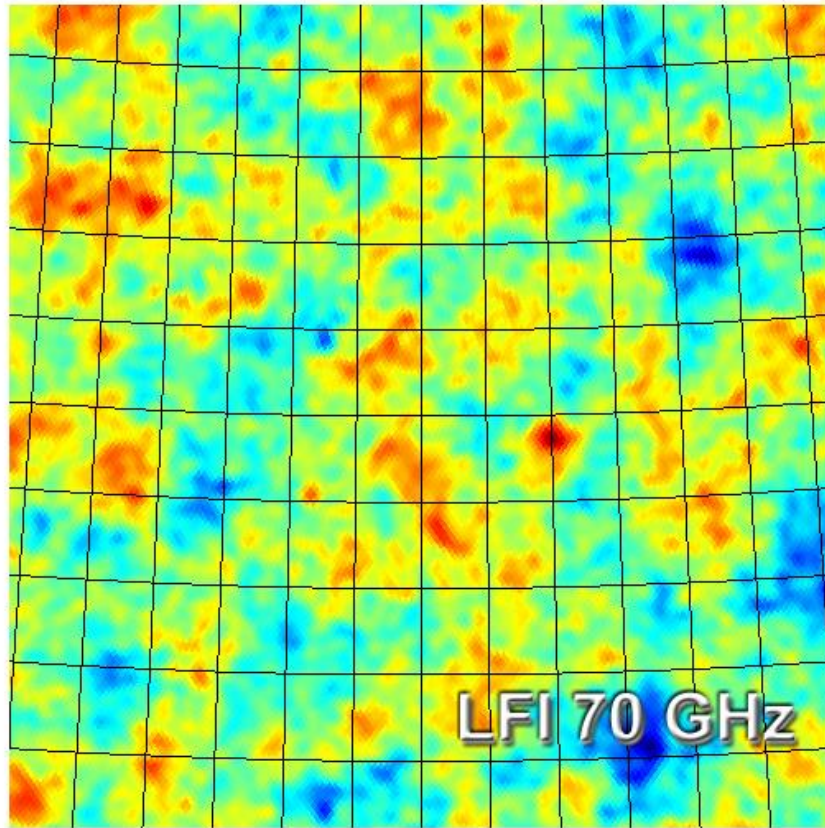
First light survey: un frammento di Cosmo



First light survey: la Via Lattea

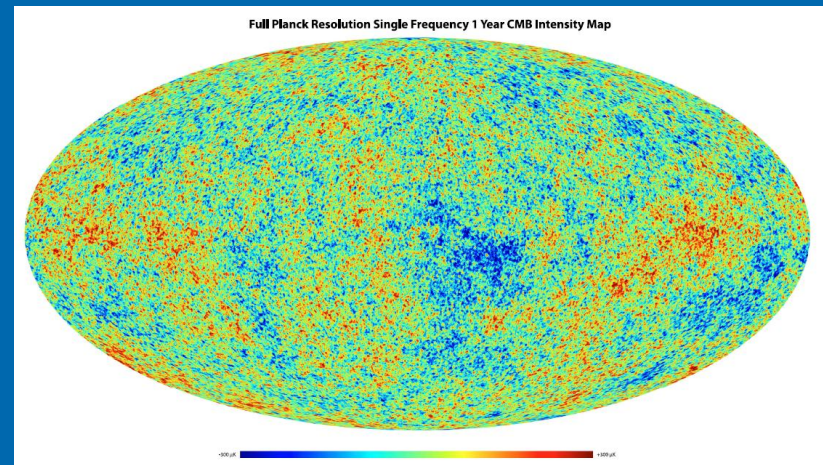


First light survey: l'eco del Big Bang

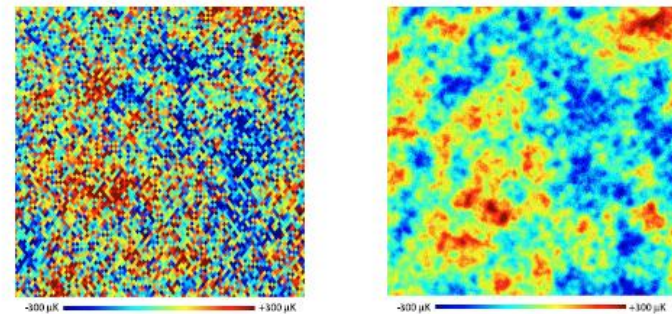


Le promesse di Planck: la radiazione di fondo

- L'immagine "definitiva" della radiazione di fondo in intensità totale: una mappa senza precedenti dell'eco del Big Bang
- La scomposizione delle note dell'eco nelle armoniche più elementari, in particolare quelle attivate dalle onde gravitazionali indotte dallo stesso Big Bang, previste dalla teoria della Relatività di Einstein e mai rivelate
- Radiazione di fondo ed accelerazione dell'espansione cosmica: l'immagine è distorta dalla recente accelerazione in modo predicibile?

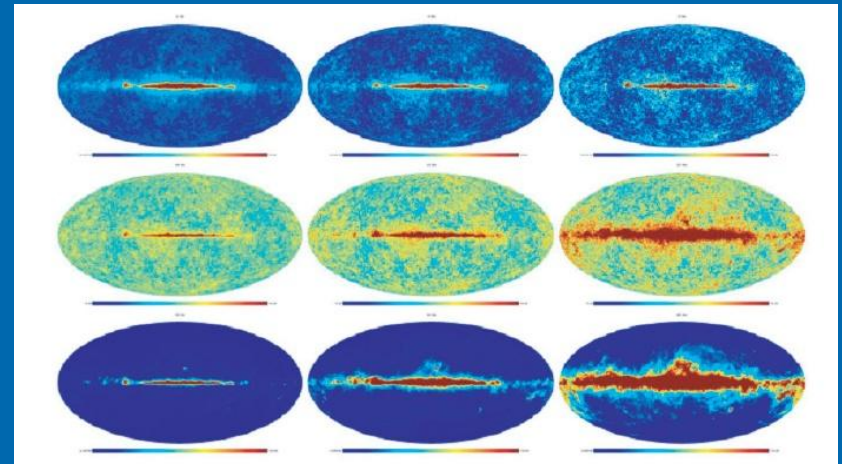


The Same 100 Square Degree Patch Cut From Each Full-Sky Map
- WMAP -
- Planck -



Le promesse di Planck: astrofisica

- La copertura in frequenza, 9 canali da 30 ad 857 GHz, permetterà di riscrivere le nostre conoscenze sulla parte luminosa della materia cosmica,
- decine di migliaia di nuove galassie,
- migliaia di nuovi ammassi di galassie,
- mappe del gas diffuso nella Via Lattea



	FREQUENCY [GHz]				
	143	217	353	550	850
Confusion limit [mJy, 3σ]	6.3	14.1	44.7	112	251
Planck All Sky Survey sensitivity [mJy, 3σ]	26	37	75	180	300
Planck Deep Survey sensitivity [mJy, 3σ]	10	18.4	49	170	280
Number of galaxies [all sky]	570	860	1700	4400	35000

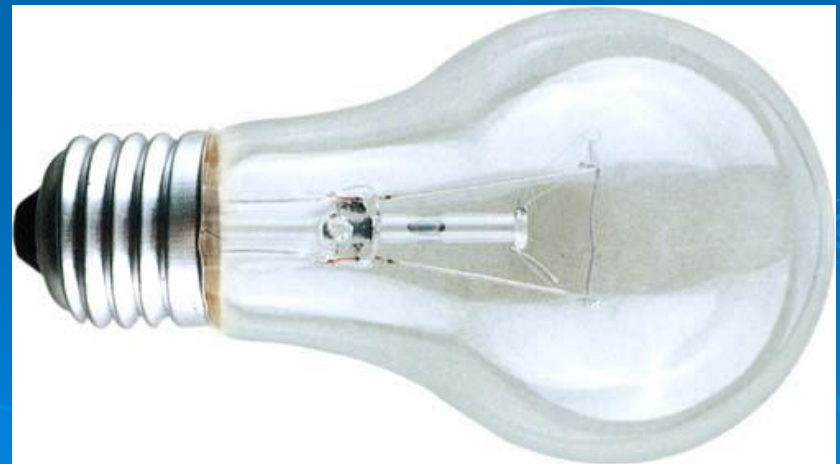
Conclusioni

- L'universo e' permeato dall'eco elettromagnetico del Big Bang
- 3 satelliti, e numerosi esperimenti sub-orbitali, stanno cercando di estrarre da esso ogni informazione scientifica riguardante I primi istanti di vita dell'universo
- Il piu' ambizioso e potente dei satelliti, Planck, e' stato lanciato il 14 Maggio 2009, e sta osservando il cosmo ora
- Le prime immagini dell'univeso neonato rivelano una complessa struttura di valli e montagne nella materia cosmica, generate subito dopo il Big Bang
- Il mondo attende gli sviluppi, l'analisi dati viene realizzata in due centri al mondo, Trieste e Parigi

Ma che c'importa?

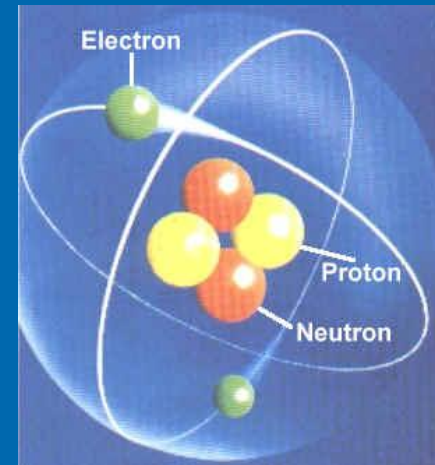
- Spendere la vita ed il denaro per pensare a questi misteri cosmici, costruire macchine complicatissime e costosissime per studiare fisica in condizioni estreme...
- Perché? Solo per la conoscenza? Piacere di pochi? C'è qualcosa per la comunità?
- Risposta buona: accendete la luce a casa stasera

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= 4\pi\rho && \text{(Gauss)} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 && \text{(No Monopoles)} \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} && \text{(Faraday)} \\ \nabla \times \vec{B} &= \frac{4\pi}{c} \vec{J} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} && \text{(Ampere)} \\ &&& \text{displacement current}\end{aligned}$$



Ma che ci importa?

- Spendere la nostra vita e soldi per pensare a queste cose, costruire strane e costose macchine per investigare la fisica in condizioni estreme...
- Perché? Solo per la conoscenza? Piacere per pochi? C'è qualcosa per il resto della comunità?
- Risposta cattiva: è nella più micidiale arma realizzata, finora



Il Sistema Solare

- La luce viaggia a 300000 km al secondo
- La luna dista circa 400,000 km, la sua immagine impiega più' di un secondo per giungere a noi
- Il sole si trova a 8 minuti luce, ovvero la luce solare impiega 8 minuti per arrivare a noi, circa 150 milioni di km
- Nettuno orbita attorno al sole ad una distanza circa 30 volte superiore

