



*Ministero dell'Istruzione
dell'Università e Ricerca*

OLIMPIADI DI ASTRONOMIA 2012

COSMOLOGIE: MODELLI A CONFRONTO



*Liceo Scientifico "Galilei"
MACERATA, 25 ottobre 2011*

Manlio Bellesi

UNA FACCEA DELICATA!

“... In cosmologia è comune la tendenza ad affidarsi alle proprie convinzioni piuttosto che ai dati sperimentali.

La conseguenza è un uso SELETTIVO dei risultati delle osservazioni, peggiorato dalla distorsione operata da personaggi di second'ordine con una conoscenza limitata e di seconda mano delle problematiche della disciplina.”

“Le due teorie più importanti in fisica moderna (meccanica quantistica e relatività) attendono ancora un'armonizzazione soddisfacente. Se l'obiettivo verrà raggiunto, esso certamente cambierà il nostro attuale punto di vista sull'Universo in maniera RADICALE.”

[adattato da J. C. A. Boeyens, “Chemical Cosmology”, Springer 2010]

FATTI SPERIMENTALI ACCERTATI

(elenco ristretto, accettato più o meno da tutti)

- ***RADIAZIONE COSMICA DI FONDO A 2,7 K***
- ***SPOSTAMENTO VERSO LA PARTE ROSSA DELLO SPETTRO DELLA RADIAZIONE CHE CI GIUNGE DAGLI OGGETTI CELESTI (redshift)***
- ***ESISTENZA DI OGGETTI CELESTI VECCHI 10-13 MILIARDI DI ANNI (stelle molto antiche, ammassi globulari)***

LE MISURE NEGLI ULTIMI 20 ANNI: I SATELLITI

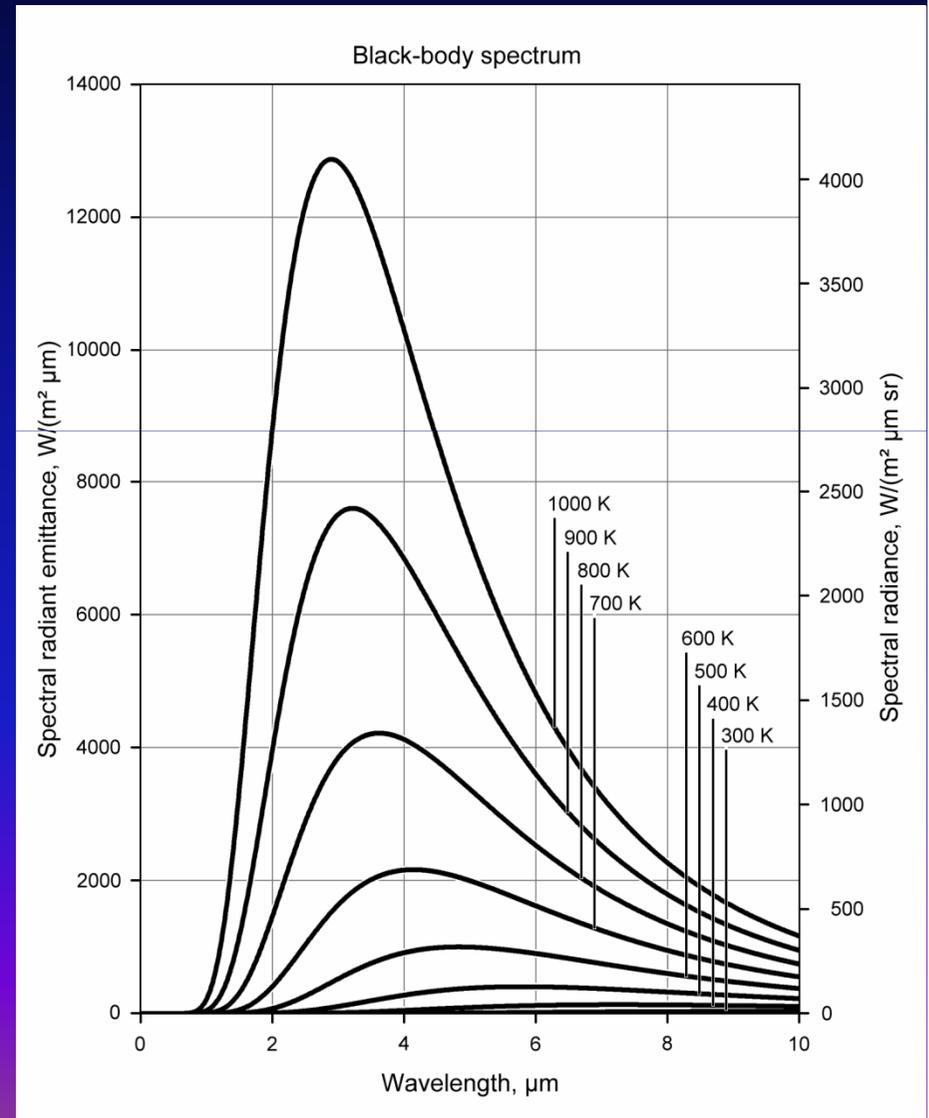
- ***COBE (1989)***
- ***BOOMERanG (1997)***
- ***WMAP (2001)***
- ***PLANCK (2009)***

IL FONDO DI RADIAZIONE COSMICA A 2,7 K

È costituito da uno spettro di radiazione uniforme, che permea ogni luogo dell'Universo e sembra provenire da tutte le direzioni. Esso corrisponde all'emissione di un corpo nero a una temperatura di 2,7 gradi sopra lo zero assoluto.

La radiazione osservata può provenire dalla ricombinazione degli elettroni con i protoni, 300000 anni dopo l'inizio del big bang....

...oppure può aver origine dall'interazione tra i fotoni dell'Universo e un mezzo interstellare diffuso, che si traduce in un equilibrio termico.



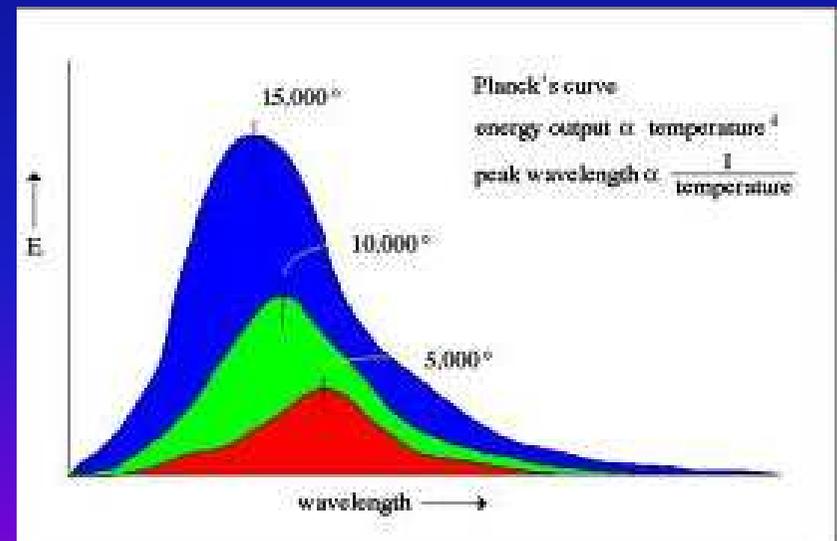
IL FONDO DI RADIAZIONE COSMICA A 2,7 K

L'energia emessa da un corpo alla temperatura T (espressa in kelvin) varia come T^4 .

Nel caso del fondo cosmico si tratta dunque di un'energia molto piccola, che però occupa tutto l'Universo osservabile.

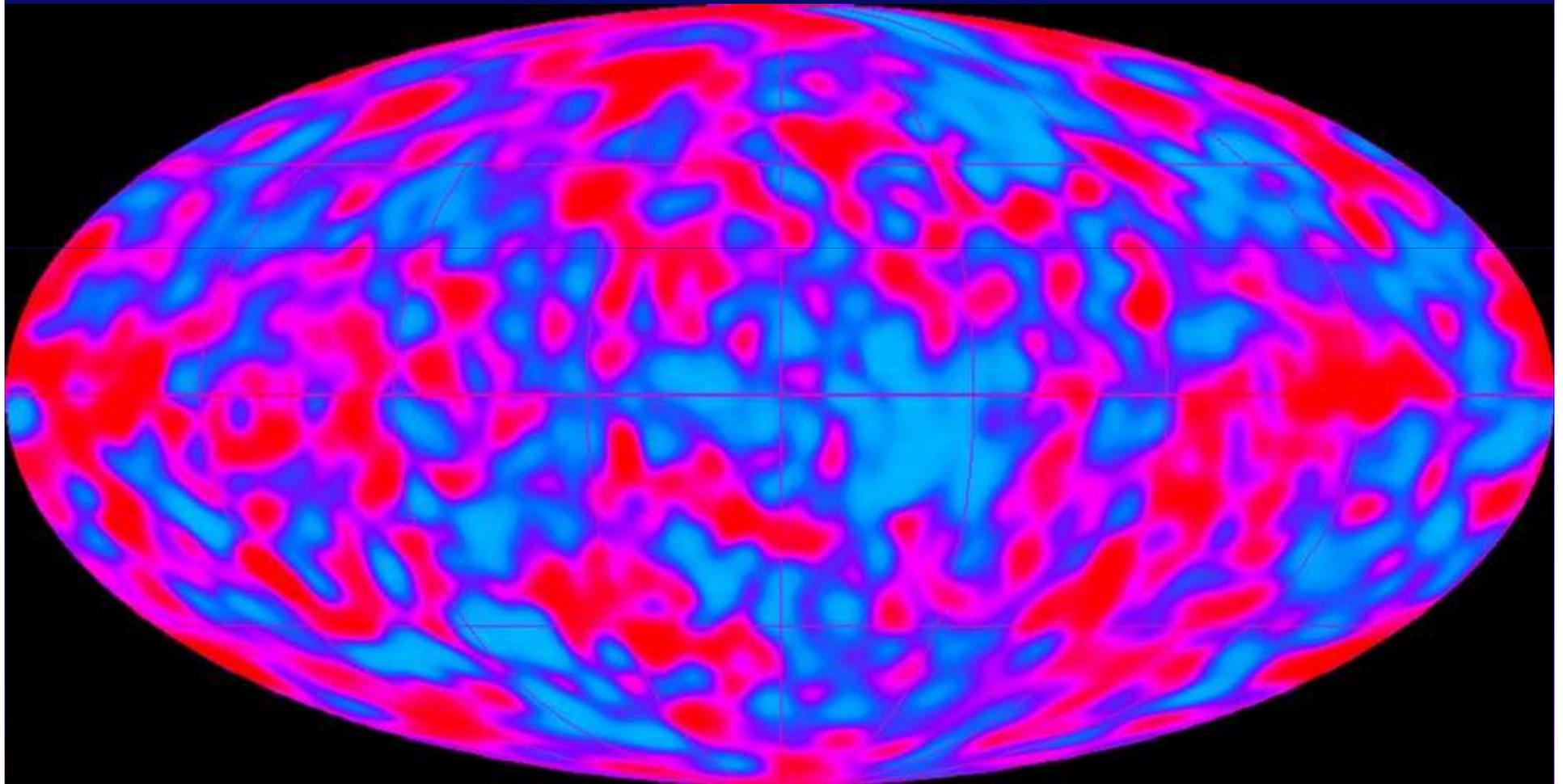
La distribuzione è in linea di principio uniforme, ma il modello teorico ha bisogno di piccole fluttuazioni che permettano la condensazione dei primi germi delle galassie.

Se infatti la radiazione fosse troppo uniforme non si potrebbe spiegare la formazione di agglomerati di materia.

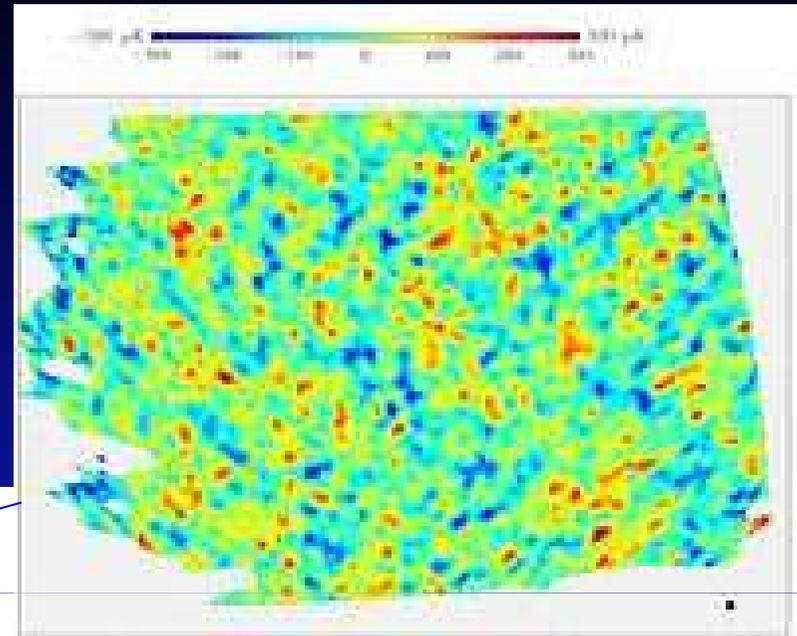


I RISULTATI DI COBE

La prima scoperta di fluttuazioni nella radiazione cosmica di fondo



I RISULTATI DI BOOMERANG



THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 599: 786–805, 2003 December 20
© 2003, The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

IMPROVED MEASUREMENT OF THE ANGULAR POWER SPECTRUM OF TEMPERATURE ANISOTROPY IN THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND FROM TWO NEW ANALYSES OF BOOMERANG OBSERVATIONS

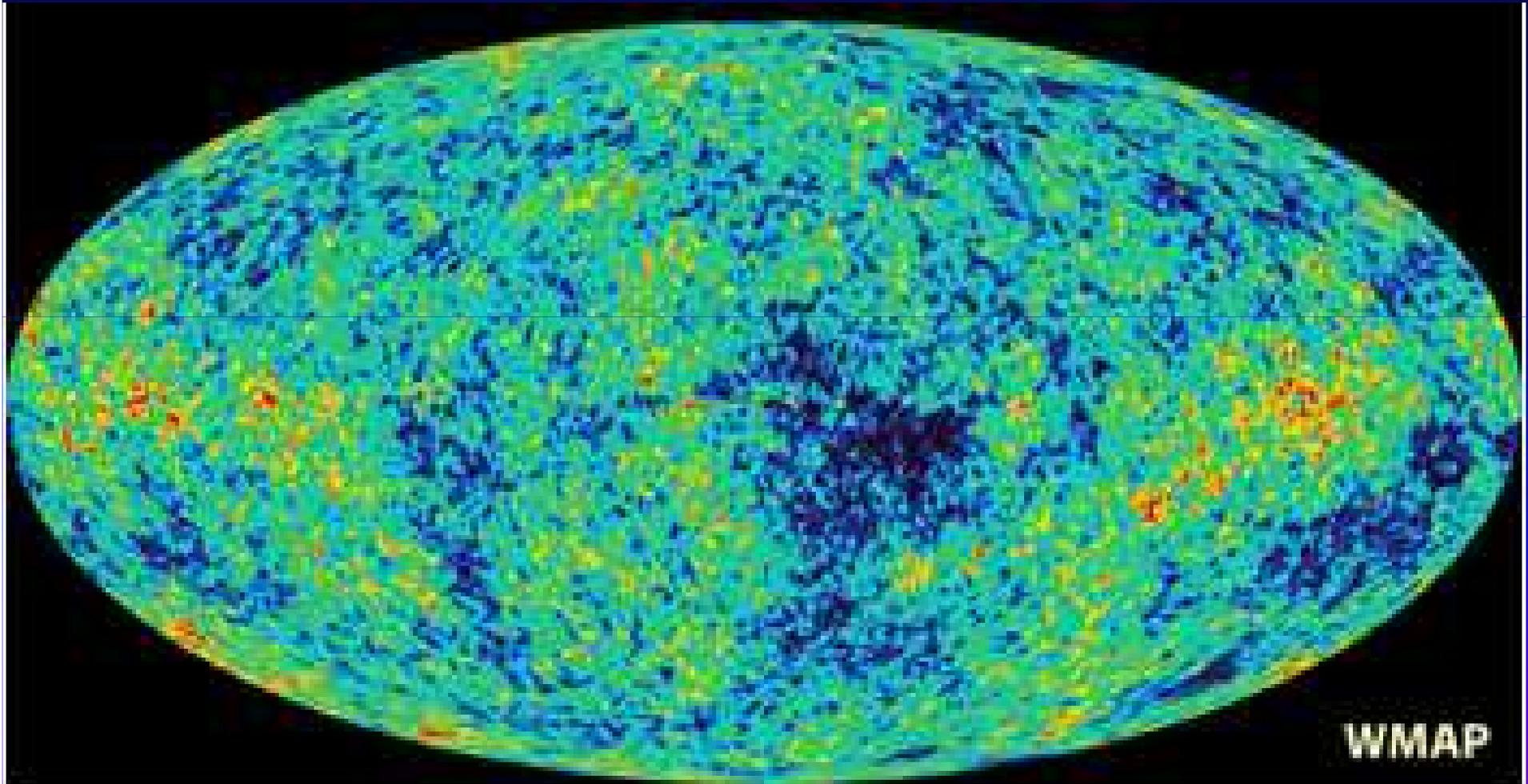
J. E. RUHL,¹ P. A. R. ADE,² J. J. BOCK,³ J. R. BOND,⁴ J. BORRILL,⁵ A. BOSCALERI,⁶ C. R. CONTALDI,⁴ B. P. CRILL,^{7,8} P. DE BERNARDIS,⁹ G. DE TROIA,⁹ K. GANGA,¹⁰ M. GIACOMETTI,⁹ E. HIVON,¹⁰ V. V. HRISTOV,⁷ A. IACOANGELI,⁹ A. H. JAFFE,¹¹ W. C. JONES,⁷ A. E. LANGE,⁷ S. MASI,⁹ P. MASON,⁷ P. D. MAUSKOPF,² A. MELCHIORRI,⁹ T. MONTROY,^{1,12} C. B. NETTERFIELD,¹³ E. PASCALE,⁶ F. PIACENTINI,⁹ D. POGOSYAN,^{4,14} G. POLENTA,⁹ S. PRUNET,^{4,15} AND G. ROMEO¹⁶

Received 2002 December 30; accepted 2003 August 6

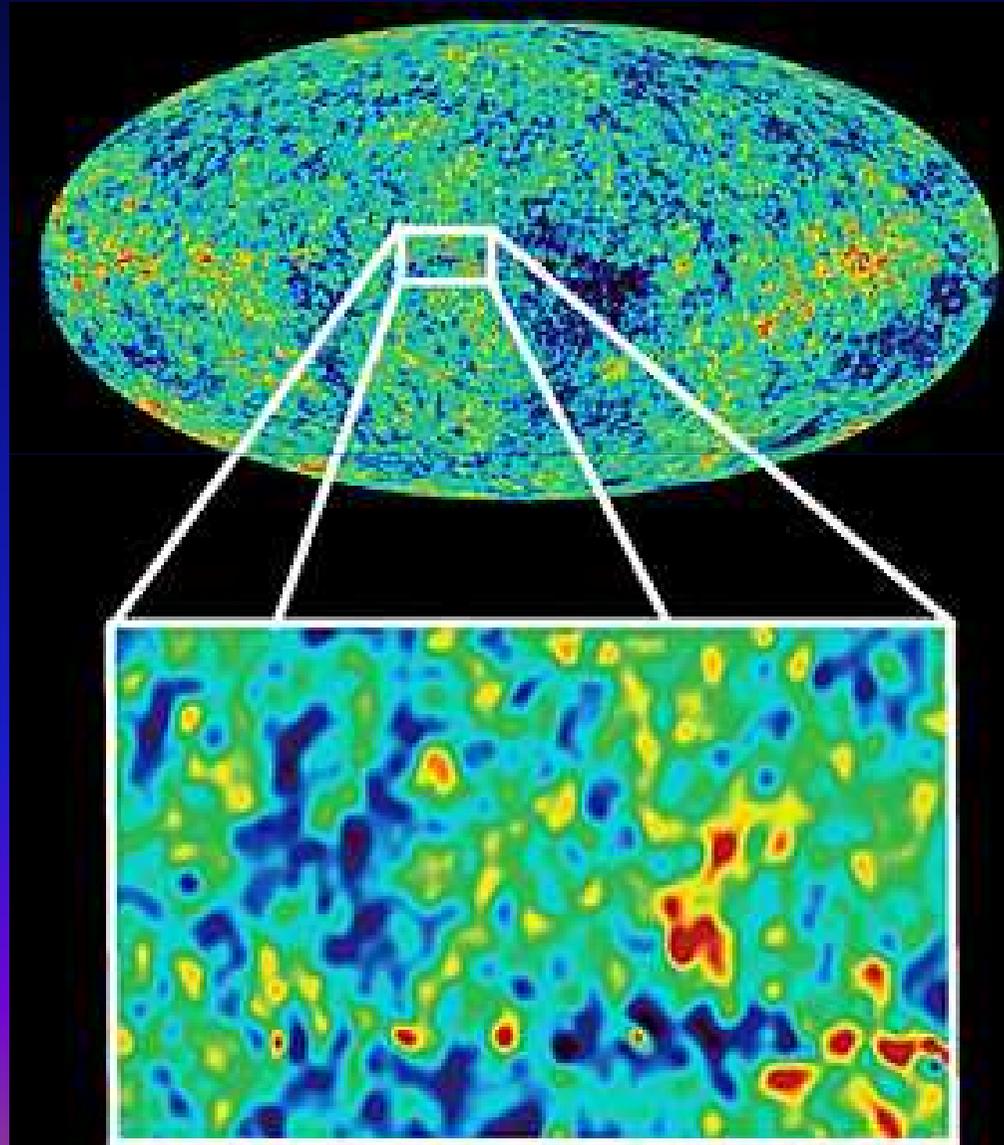
ABSTRACT

We report the most complete analysis to date of observations of the cosmic microwave background (CMB) obtained during the 1998 flight of BOOMERANG. We use two quite different methods to determine the angular power spectrum of the CMB in 20 bands centered at $l = 50$ –1000, applying them to $\sim 50\%$ more data than has previously been analyzed. The power spectra produced by the two methods are in good agreement with each other and constitute the most sensitive measurements to date over the range $300 < l < 1000$. The increased precision of the power spectrum yields more precise determinations of several cosmological parameters than previous analyses of BOOMERANG data. The results continue to support an inflationary paradigm for the origin of the universe, being well fitted by a ~ 13.5 Gyr old, flat universe composed of approximately 5% baryonic matter, 30% cold dark matter, and 65% dark energy, with a spectral index of initial density perturbations $n_s \sim 1$.

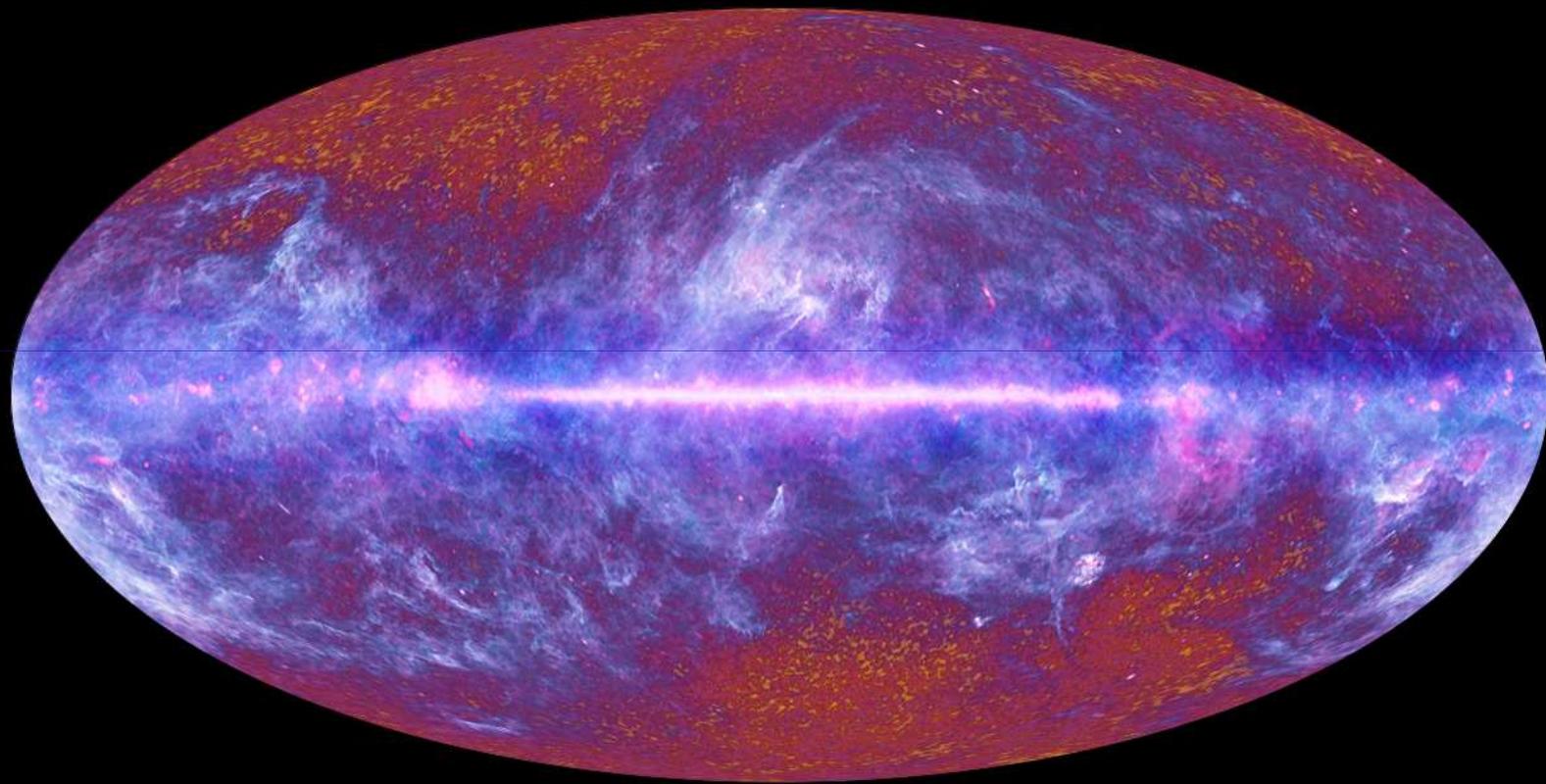
I RISULTATI DI WMAP



LE FLUTTUAZIONI SU SCALA COSMICA



I RISULTATI DI PLANCK!



The Planck one-year all-sky survey

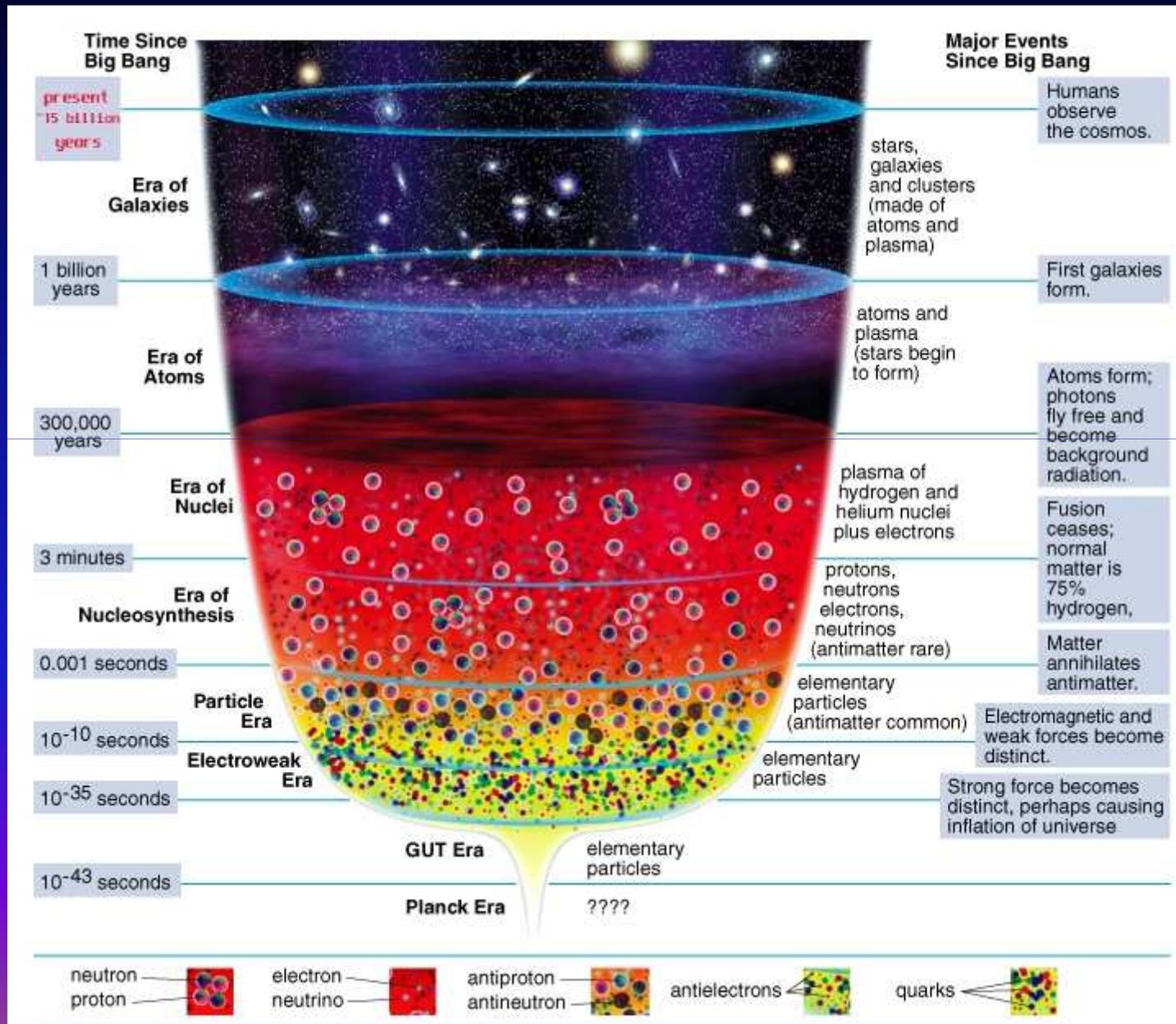


(c) ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

DEDUZIONI DELLA TEORIA STANDARD DEL BIG BANG

- *L'Universo si espande (interpretazione del redshift), e la velocità dell'espansione sta crescendo*
- *L'Universo è piatto e ha geometria euclidea (conseguenza dell'ipotesi inflazionaria di A. Guth, 1981)*
- *L'età dell'Universo è $(13,73 \pm 0,12)$ miliardi di anni e la costante di Hubble è $H = (70,1 \pm 1,3) \text{ Km}/(\text{s}\cdot\text{Mpc})$ (dati WMAP)*
- *L'Universo si espanderà per sempre*
- *L'Universo contiene materia ordinaria (barioni – 4,6%), materia oscura non barionica (23%) ed energia oscura (72%), più neutrini (0,4%)*

LA TEORIA DEL BIG BANG OGGI



IL BIG BANG COME MODELLO COSMOLOGICO STANDARD

I risultati delle ultime osservazioni sembrano tutti confermare la teoria del big bang.

Il modello inflazionario del 1981, con la sua espansione “superluminale”, riesce a render conto dell’omogeneità su larga scala della radiazione cosmica di fondo.

Anche le disomogeneità scoperte da COBE, e successivamente confermate e raffinate da Boomerang, Wmap e Planck (che è ancora al lavoro), sembrano proprio del giusto ordine di grandezza per costituire il germe di quelle che poi sarebbero diventate le future galassie.

TEORIE COSMOLOGICHE ALTERNATIVE

(in ordine decrescente di importanza...)

- ✓ *Stato stazionario (Bondi, Gold, Hoyle – 1948 e successive)*
- ✓ *Teoria scalare-tensoriale di Brans-Dicke (1961)*
- ✓ *Teoria cosmologica di Kaluza e Klein (1921)*
- ✓ *Modello cosmologico del plasma (Alfvén, 1970)*

LA TEORIA DELLO STATO STAZIONARIO

Nella formulazione originale prevedeva che l'Universo fosse sempre stato lo stesso, su grande scala, nello spazio e nel tempo (principio cosmologico perfetto).

Secondo tale principio, un osservatore posto in una regione dell'Universo a lui sconosciuta non potrebbe dedurre, sulla base di quanto vede, né il luogo né il tempo in cui si trova.

*Il fatto che però l'Universo sia in espansione impone che **NUOVA MATERIA** venga creata dal nulla per sostituire quella che progressivamente si allontana uscendo dal nostro orizzonte di osservazione.*

LA TEORIA DELLO STATO STAZIONARIO

(steady state theory)

Il processo fisico alla base della creazione di materia, benché non espresso in tutti i dettagli, non sembrava impossibile, specie considerando che il tasso di produzione richiesto sarebbe stato di

$$\frac{3H_0\rho_0}{m_p} \simeq 10^{-16} h^{-1} \text{ nucleoni/cm}^3 \cdot \text{anno}$$

dove H_0 è la costante di Hubble, ρ_0 la densità dell'Universo, m_p la massa del protone e $h = H_0/100$.

Il processo risulterebbe difficilmente osservabile.

Per circa vent'anni il modello dello stato stazionario fu un antagonista serio del big bang, anzi favorito per la sua maggiore eleganza formale e filosofica (tanto da attirarsi le critiche di qualche zelante esponente religioso)

***LA NASCITA DEL TERMINE
“BIG BANG”
(Fred Hoyle alla BBC, 1950)***



LA CRISI DEL MODELLO

Nel 1964 la scoperta della radiazione cosmica di fondo a 2,7 K, ad opera di Arno Penzias e Robert Wilson (pubblicata l'anno successivo) dette un colpo quasi mortale alla teoria dello stato stazionario.

Il fondo di radiazione sembra infatti una naturale conseguenza del modello del big bang. Si tratta di un residuo dell'epoca di ricombinazione, quando gli elettroni si legarono ai protoni per formare gli atomi di idrogeno, a una temperatura di circa 6000 K, e smisero praticamente di interagire con i fotoni della radiazione

Materia e radiazione, fino ad allora unite nei loro destini dalle interazioni fotone-elettrone e viceversa, si disaccoppiarono definitivamente (?)

Il commento di George Gamow alla scoperta della radiazione cosmica di fondo

I am glad to say
that it isn't necessary
any more to pour
Hoil on the troubled
waters of cosmogony.
G. Gamow

VERSIONI SUCCESSIVE DELLO STATO STAZIONARIO

La teoria classica dello stato stazionario non si riprese dal colpo, anche se i suoi autori (soprattutto Hoyle) immaginarono vari meccanismi per spiegare il fondo di radiazione, visto come effetto di termalizzazione dei fotoni su una popolazione di grani interstellari composti principalmente di aghi ferrosi (prodotti dalle supernovae di tipo II in procinto di esplodere)

Ma a partire dagli anni Settanta Hoyle, in collaborazione soprattutto con Jayant Narlikar, riformulò la teoria rinunciando al principio cosmologico perfetto e creando una nuova versione di Universo oscillante in tempi lunghissimi (800 miliardi di anni).

Più di uno studioso ha fatto notare come diversi aspetti matematici dell'inflazione di Guth ricalchino le idee di Hoyle.

VERSIONI SUCCESSIVE DELLO STATO STAZIONARIO

Inoltre la dilatazione dei tempi è utile per superare un'altra obiezione al modello iniziale: il tasso di creazione di materia, che dovrebbe dare origine alle nuove galassie, è troppo alto (di circa un fattore 50, come fece notare Baade) per non essere osservato dagli astronomi qui sulla Terra.

In questo scenario la via Lattea si troverebbe ad avere un'età più vicina a 300 che a 10 miliardi di anni, interpretando la "materia oscura" come il resto di stelle già spente ed evolute (ovviamente il Sole ha davvero 4,6 miliardi di anni: Hoyle è uno dei padri fondatori della teoria dell'evoluzione stellare).

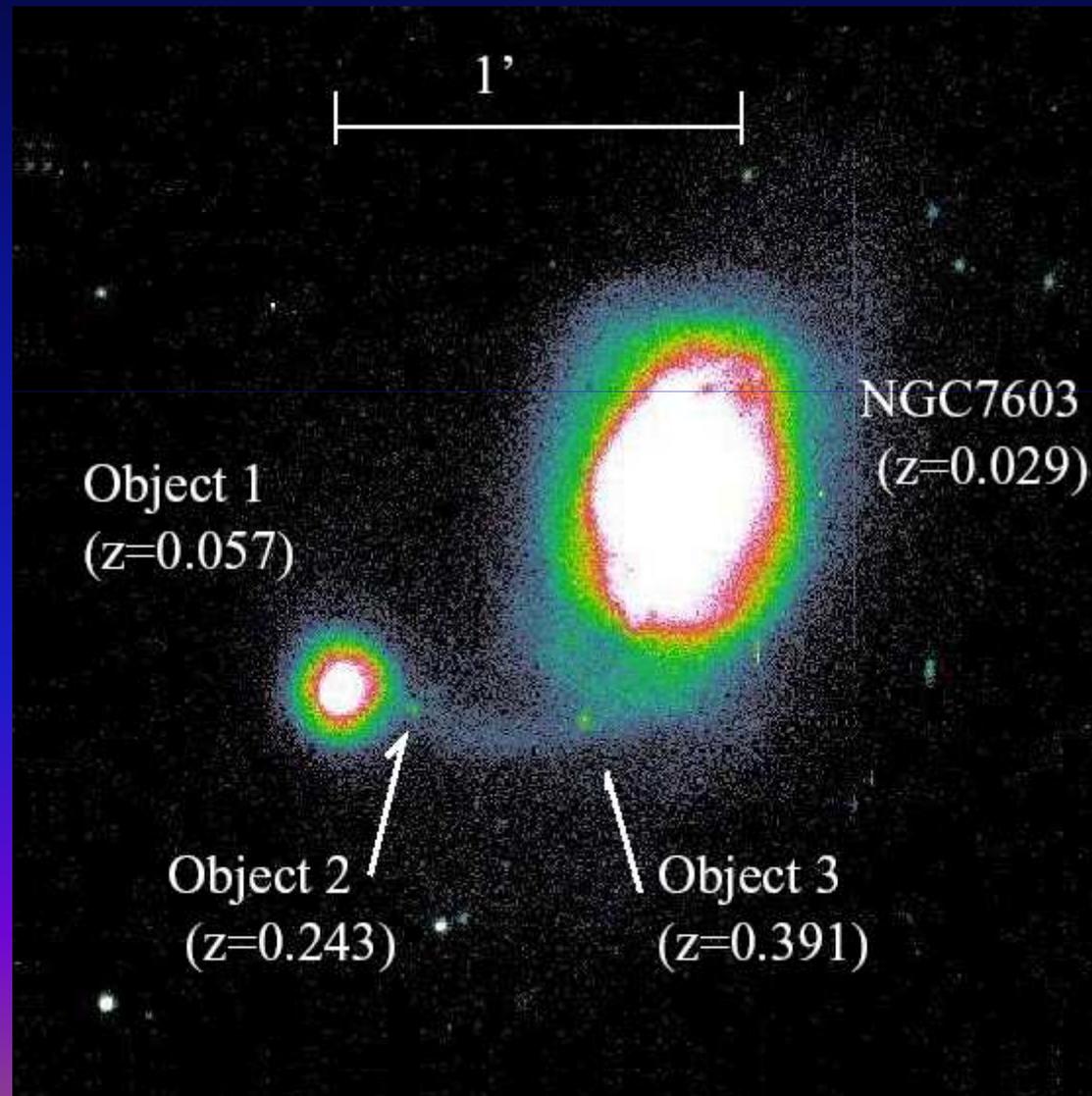
VERSIONI SUCCESSIVE DELLO STATO STAZIONARIO

*Nel quadro di questa nuova versione della teoria dello stato stazionario si inseriscono le osservazioni di quasar effettuate da
Halton J. Arp.*

In una serie di lavori Arp studio alcuni quasar e le galassie a loro più vicine nel cielo. Poiché i valori del redshift sono in alcuni casi anche molto diversi, l'interpretazione ortodossa (big bang) è che l'allineamento dei due oggetti "vicini" è solo prospettico.

Arp trovò però dei "ponti" stellari molto sottili che collegavano quasar e galassia. La sua idea è che i quasar vengano espulsi dai nuclei attivi delle galassie e che il redshift sia di natura gravitazionale (secondo la Relatività Generale), non un effetto legato alla grande distanza dei quasar.

I "PONTI" DI ARP: UN ESEMPIO



VERSIONI SUCCESSIVE DELLO STATO STAZIONARIO

L'ipotesi Arp, quindi, è che i nuclei galattici attivi siano la sede della creazione di materia ipotizzata da Hoyle e che la materia creata siano i quasar, che si trovano alla stessa distanza dalla galassia "madre".

I sostenitori del big bang ribattono che l'allineamento è prospettico perché il numero di tali casi è consistente con una distribuzione casuale di quasar e galassie. Ovviamente in tale contesto i "ponti" di Arp non avrebbero una realtà fisica.

All'inizio del nuovo millennio i fautori dei due modelli si sono riuniti a convegno, con Arp e John Bahcall (noto astronomo, un'autorità sui neutrini) a difendere le opposte opinioni.

Non è scorso sangue, ma ognuno è rimasto della sua idea...

LA TEORIA DI BRANS-DICKE

Nasce all'inizio degli anni Sessanta come generalizzazione dei modelli di Universo di Friedmann del 1917.

La genesi del modello è stata stimolata da alcune osservazioni di P. A. M. Dirac sui valori di alcune costanti fondamentali.

Assai complessa come alternativa alla Relatività Generale, la teoria presenta la notevole particolarità di supporre che la costante di gravitazione universale G sia variabile nel tempo.

Le prove pro o contro la teoria sono quindi da cercarsi nell'accertamento di variazioni della G .

LA TEORIA DI BRANS-DICKE

A tale scopo possono essere utili le osservazioni più disparate: i periodi orbitali dei pianeti più vicini al Sole (Mercurio, Venere), lo spostamento del loro perielio, dati storici su antiche eclissi, proprietà dei coralli fossili, evoluzione stellare e del Sole, deflessione della luce in un campo gravitazionale...

La teoria ha diversi parametri liberi (si tratta di una famiglia di modelli) e alcuni scenari sono ancora possibili, avendo superato tutte le evidenze sperimentali disponibili (G è nota con poche cifre decimali, dopotutto!)

In questi ultimi anni., però, l'interesse per questa teoria come alternativa alla Relatività Generale è assai diminuito, mentre si è dimostrato che alcune sue varianti possono riprodurre molto bene modelli di tipo inflazionario.

LA TEORIA DI KALUZA-KLEIN

Nasce nel 1921 come tentativo di Theodor Kaluza di unificare le interazioni elettromagnetica e gravitazionale. L'idea è quella di uno spazio a cinque dimensioni, una in più di quelle previste dalla Relatività Generale.

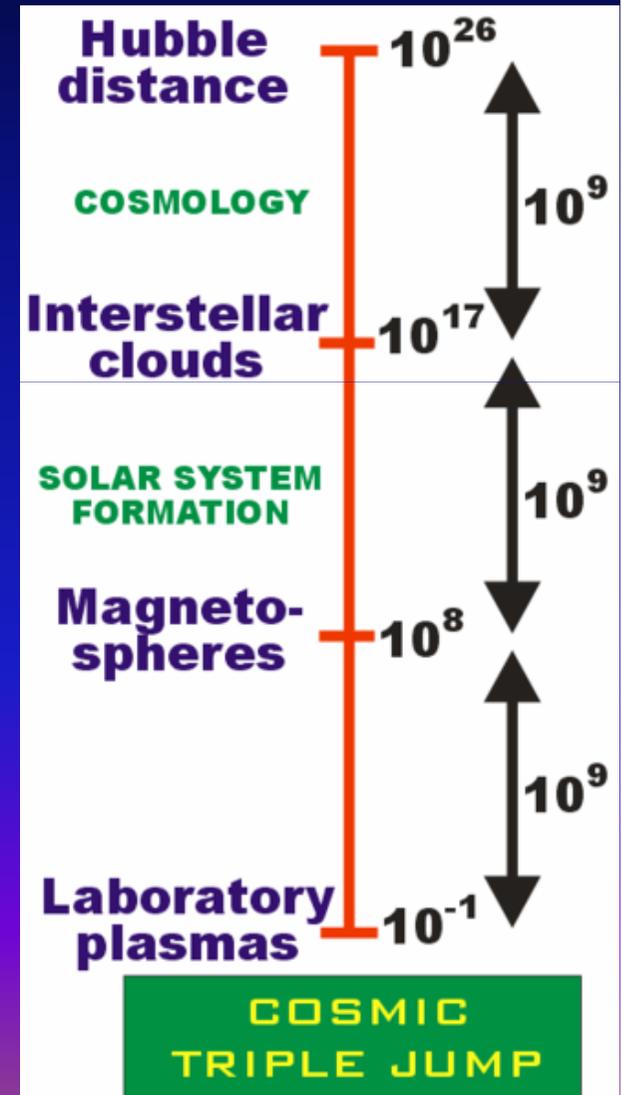
Oskar Klein suggerì nel 1926 che la quinta dimensione (spaziale) potesse “arrotolata” in un cerchio di piccolissimo raggio, rappresentando così un insieme compatto.

La teoria non è oggi interessante di per sé in cosmologia (per i matematici ancora sì!), ma perché costituisce la base per ipotesi più dettagliate su altri possibili modelli di Universo, che includano anche la supersimmetria

LA TEORIA DELLE OSCILLAZIONI DI PLASMA

Costituisce un'evoluzione delle teorie ottocentesche che attribuivano grande importanza all'elettricità nell'organizzazione dell'Universo.

*Attribuita al grande studioso svedese di plasmi Hannes Alfvén (1908-1995, premio Nobel 1970 per la Fisica), ha come idea base il concetto che dall'annichilazione di materia e antimateria si sviluppi energia sufficiente da generare una mistura (detta **ambiplasma**) in cui materia e antimateria possono coesistere perché tenute separate da intensi campi magnetici di segno contrario.*



LA TEORIA DELLE OSCILLAZIONI DI PLASMA

La teoria nega l'importanza della Relatività Generale per una descrizione corretta dell'Universo su grande scala e fa piuttosto affidamento sullo sviluppo delle teorie classiche dell'elettromagnetismo dei gas ionizzati (plasmi) e della gravitazione.

Il modello non spiega la legge di Hubble, né la nucleosintesi degli elementi nell'Universo primordiale, né il fondo di radiazione cosmica a 2,7 K.

Negli anni '80 la teoria è stata discussa in un certo dettaglio, ma oggi quasi tutti gli esperti sono molto scettici riguardo alla sua validità. Lo stesso Alfvén l'ha rinnegata in un momento successivo, ma rimangono alcuni irriducibili...

FINE

