

Prima del Big Bang: La Cosmologia Quantistica

Stefano Spagocci

GACB

stefanspag@gmail.com



Introduzione

- Fin dalla preistoria l'uomo si è posto in rapporto col cosmo, ponendosi domande sulle sue leggi e la sua origine. Le risposte erano però religiose e filosofiche, almeno fino ai primi decenni del secolo scorso.
- A partire dagli anni '20 del secolo scorso sono stati elaborati dei modelli matematici che hanno consentito di tracciare la storia dell'universo a partire dal Big Bang, circa 13.8 miliardi di anni fa.



Introduzione

- Tali modelli, che esamineremo nel seguito, hanno dato una sempre più precisa descrizione del come l'universo sia stato generato dalla “grande esplosione” ma non del perchè.
- Oggi, però, almeno dando al termine “perchè” il giusto significato (siamo ovviamente nell'ambito della scienza e non della filosofia o religione), anche le domande sul perchè cominciano ad avere una almeno provvisoria risposta.



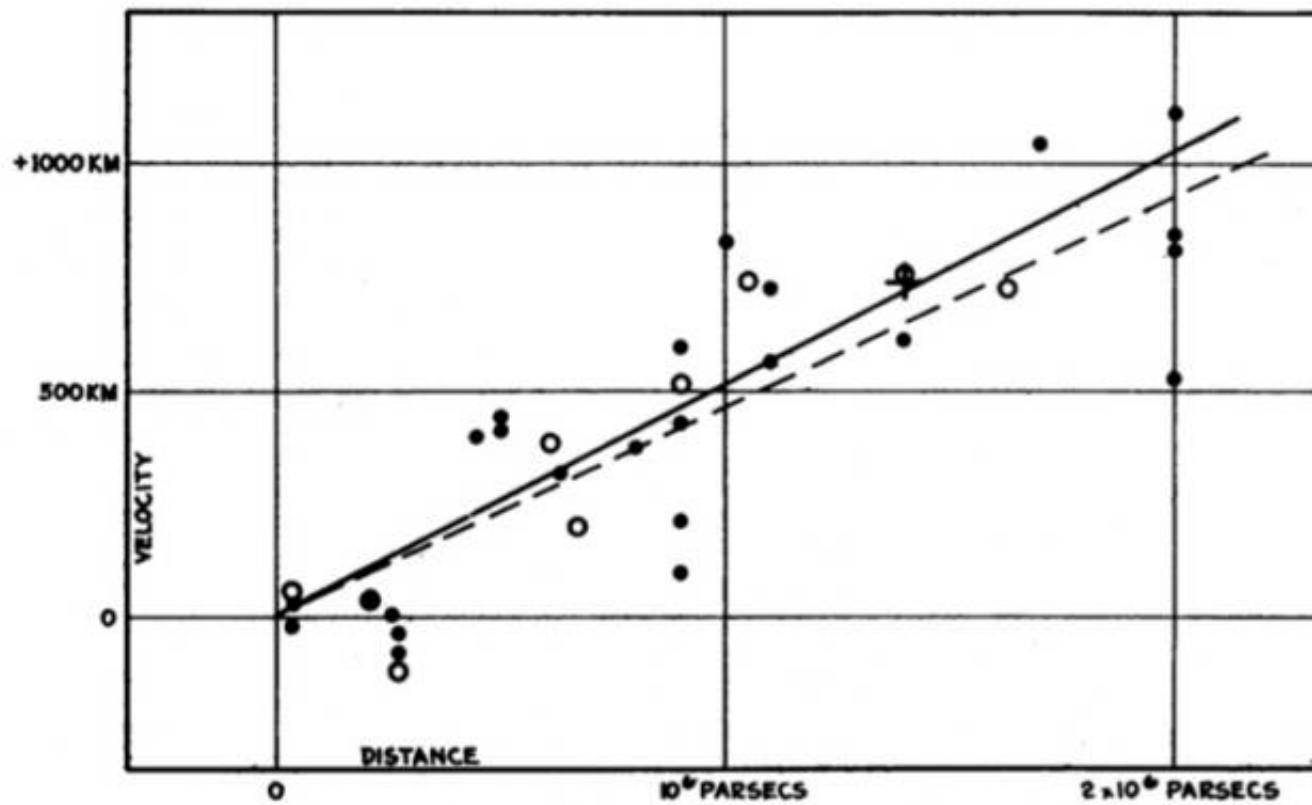


FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Cosmologia Classica

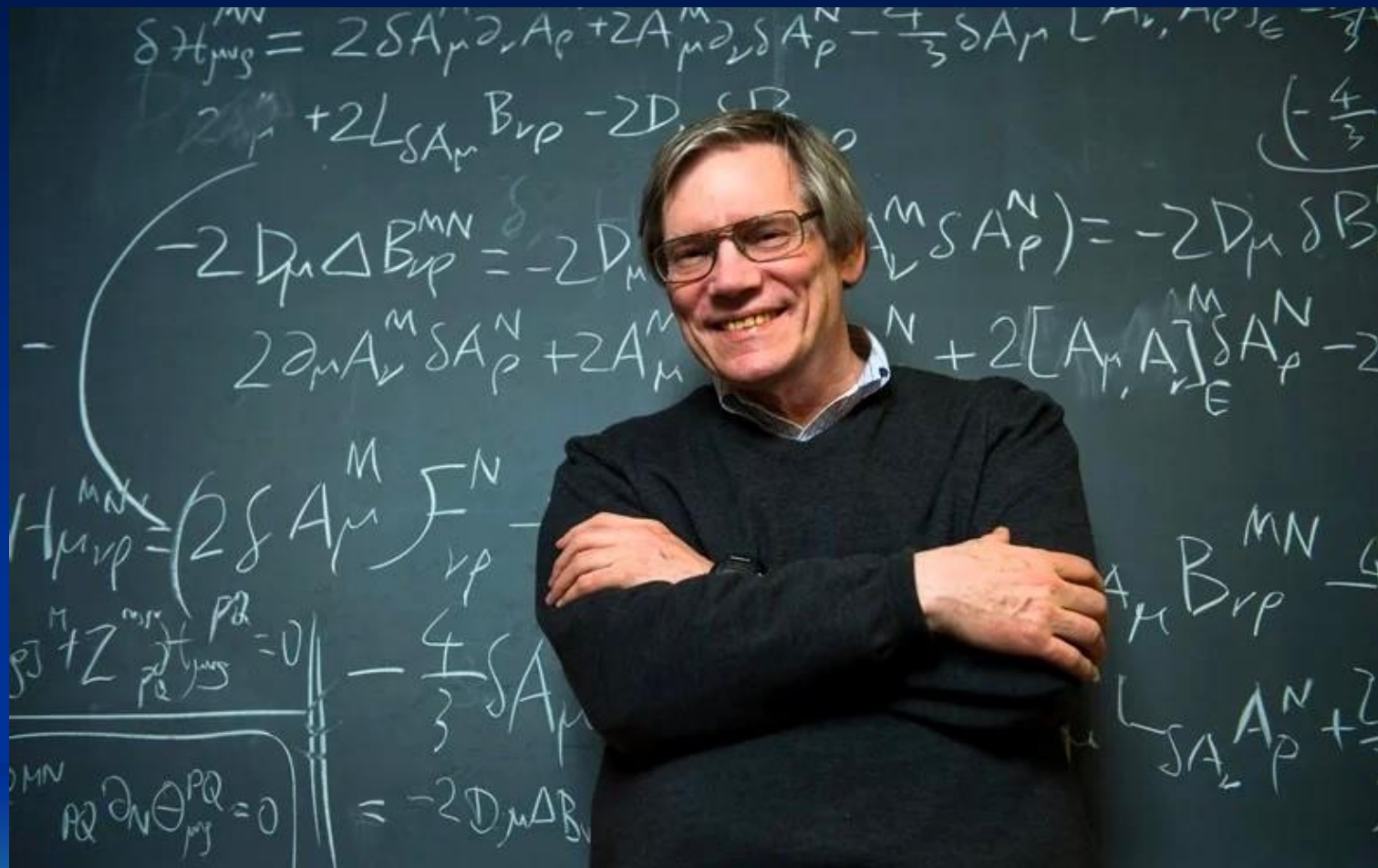
- Edwin Hubble, nel 1929, aveva scoperto che le galassie si allontanano da noi (e da ogni altra galassia) con velocità proporzionale alla distanza da noi (e da ogni altra galassia).
- Se ne deduceva che l'universo avesse avuto origine dal Big Bang, in un tempo compreso tra 10 e 20 miliardi di anni fa (presumibilmente 15).
- Non si sapeva se l'universo fosse aperto (quindi si sarebbe espanso per sempre) o chiuso (quindi si sarebbe ricontratto) ma si sospettava fosse aperto.



Problemi col Big Bang

- L'Universo, in media, ha la stessa densità in ogni punto e direzione.
- Perciò il gas primordiale doveva essere altrettanto omogeneo ma le particelle elementari che lo componevano non avevano il tempo di collidere e uniformare la densità, perchè l'espansione cosmica era troppo rapida.





Teoria dell'Inflazione

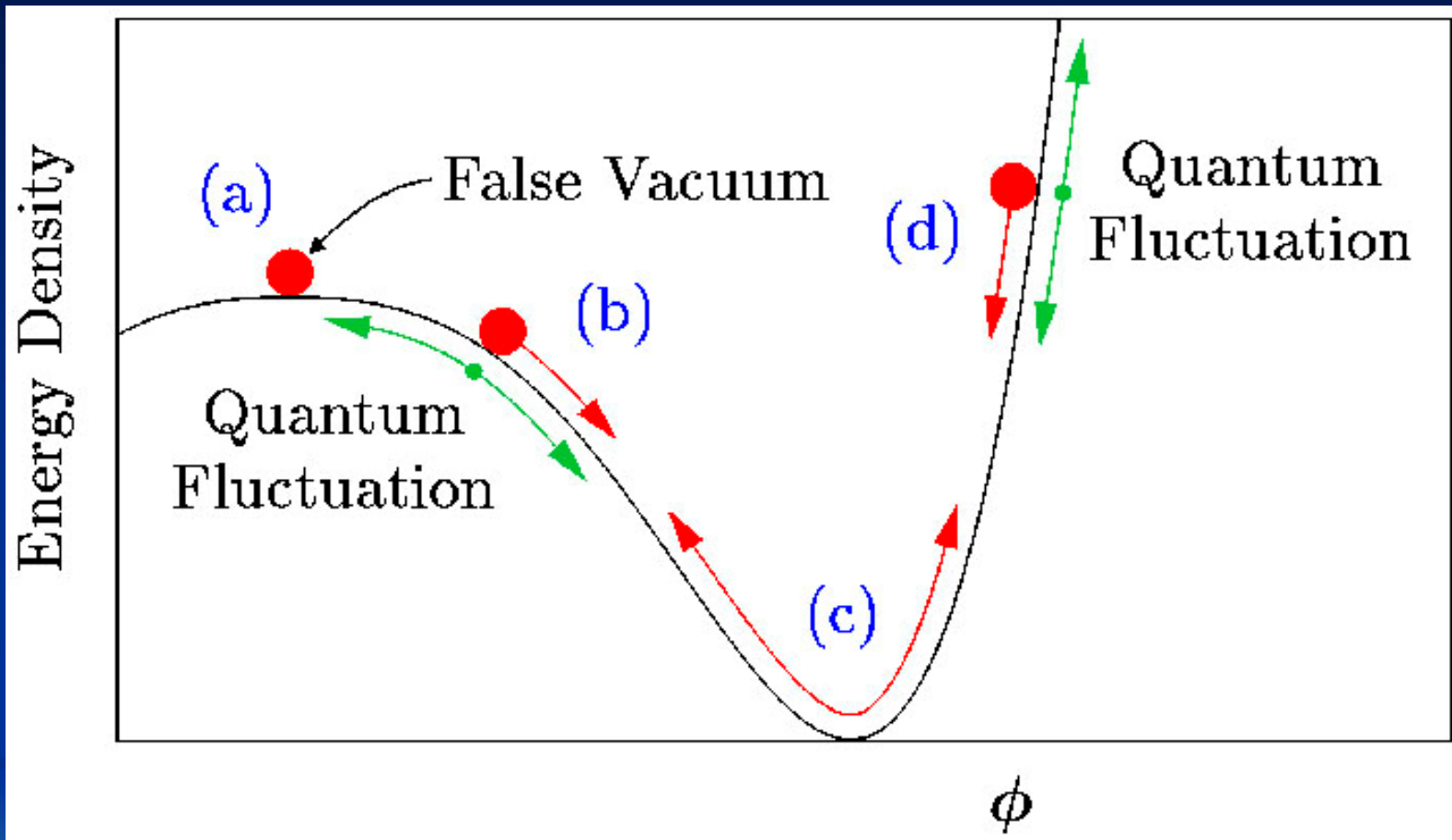
- Questi problemi furono risolti dalla teoria dell'inflazione, sviluppata nel 1981 dallo statunitense Alan Guth (indipendentemente, in forma diversa, dal russo Andrei Linde).
- Secondo la teoria dell'inflazione, l'universo (nei suoi primi istanti) passò da uno stato di vuoto quantistico a una certa energia a uno stato di vuoto quantistico a energia minore (a causa di fluttuazioni quantistiche).



Teoria dell'Inflazione

- L'universo prima del Big Bang si trovava in uno stato in cui un campo detto “inflatonico” aveva un certo valore costante e, se non ci fossero state le fluttuazioni quantistiche, lì sarebbe rimasto.
- La situazione è analoga a una palla sulla cima di una collina: senza perturbazioni, la palla ci rimarrebbe in eterno ma se le si dà una spinta anche piccola, essa rotola giù.





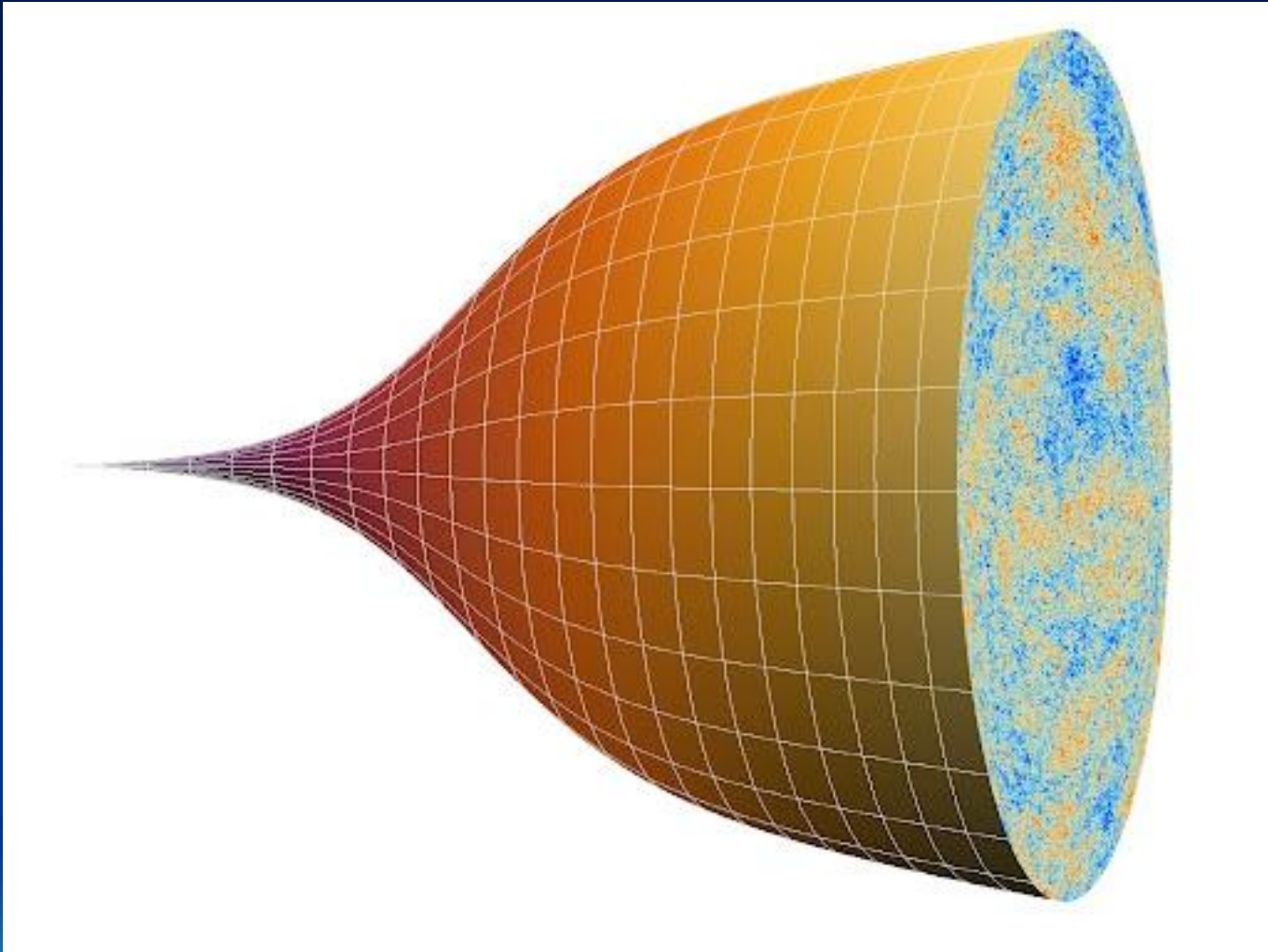
Teoria dell'Inflazione

- Stessa cosa fece l'Universo. Il campo inflatonico (corrispondente a particelle dette “inflatoni”) era inizialmente “in cima alla collina” e lì sarebbe rimasto, se non ci fossero state le fluttuazioni quantistiche, cioè delle “spintarelle” casuali, che lo portarono a “cadere giù dalla collina”.



- Mentre l'Universo si trovava “in cima alla collina”, il campo inflatonico agiva come una sorta di antigravità e le sue dimensioni si espansero esponenzialmente (più di 10^{30} volte!)
- Quando l'Universo “cadde giù dalla collina”, l'inflazione cessò e si ebbe il Big Bang, molto più lento dell'inflazione (durata dell'inflazione 10^{-35} s).





- L'universo, inizialmente, si espandeva a velocità tanto lenta da permettere l'uniformizzazione del gas primordiale. L'inflazione lo portò poi ad avere dimensioni compatibili con quelle attuali.
- Una piccola area di un palloncino, quando il palloncino è gonfiato, diventa praticamente piatta. Analogamente, l'inflazione rese l'universo piatto.



Un Pasto Gratis

- L'energia totale dell'universo in inflazione è zero ma lo zero deriva dalla somma dell'energia di massa delle particelle (positiva) e dell'energia di legame gravitazionale delle stesse (negativa).
- Mentre l'universo si espandeva si ebbe un incremento negativo di energia (dovuta all'energia gravitazionale). Tale incremento negativo fu compensato da un incremento positivo, quindi furono create dal “nulla” le particelle che avrebbero costituito l'universo.
- L'inflazione è un “pasto gratis” per l'universo!



Meccanica Quantistica

- Nella meccanica classica, date la posizione iniziale e la velocità iniziale di un corpo è possibile calcolarne la traiettoria futura.
- Nella meccanica quantistica, invece, date la posizione iniziale e la velocità iniziale di un corpo è solo possibile calcolare la probabilità che il corpo, dopo un certo tempo, si trovi in una certa posizione e abbia una certa velocità.



- Ciò che vale per la posizione e velocità di un corpo vale anche per ogni altra grandezza fisica: in meccanica quantistica si ragiona in termini di probabilità che una determinata grandezza fisica assuma un dato valore.
- La cosmologia quantistica applica i principi della meccanica quantistica alla cosmologia: l'universo, prima del Big Bang, era un “grumo di materia” di dimensioni subatomiche ed è proprio ai corpi di dimensione subatomica che si applica la meccanica quantistica (per i corpi più grandi è sufficiente la meccanica classica).





Cosmologia Quantistica

- La più ovvia domanda che la teoria del Big Bang pone è quale sia stata la causa del Big Bang stesso (si intende causa fisica, altra cosa è chiedersi chi abbia ispirato le leggi fisiche).
- Sorprendentemente, Edward Tryon (1973) dimostrò che l'universo può legittimamente scaturire dal nulla, secondo le leggi della meccanica quantistica!



Cosmologia Quantistica

- Il principio di indeterminazione di Heisenberg stabilisce infatti che una particella (o grumo di materia/energia) può apparire dal nulla, purchè esista per un tempo brevissimo (inversamente proporzionale alla sua massa/energia).
- Se la massa/energia del grumo fosse pari a zero, il grumo potrebbe esistere per un tempo infinito, quindi divenire reale!



- Un mini-universo sferico può avere energia complessiva nulla, quindi può essere creato dal “nulla” in maniera perfettamente legittima!
- L'universo è oggi piatto ma l'inflazione, a partire da uno stato sferico e ad energia zero, può renderlo piatto in una infinitesima frazione di secondo!





Teoria delle Stringhe

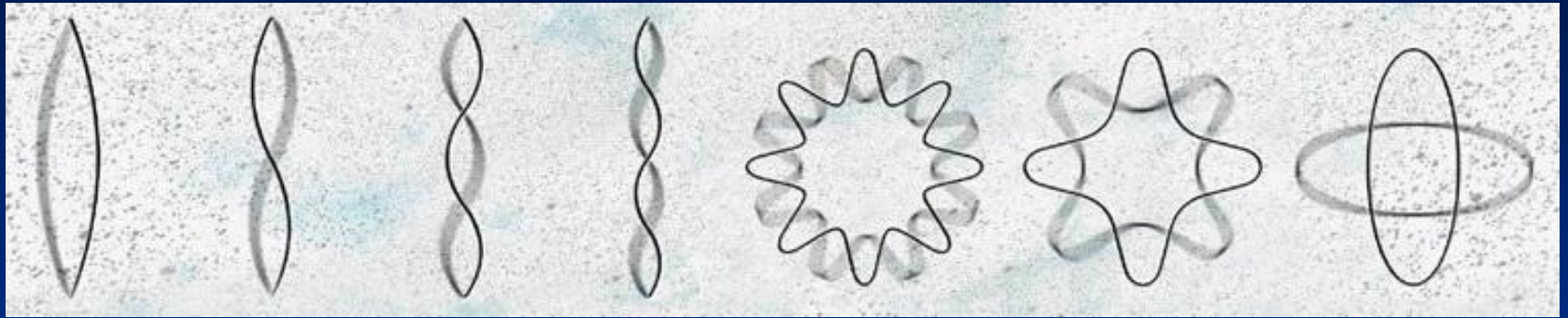
- Dagli anni '60 del secolo scorso i fisici sono in cerca della teoria del tutto, una teoria cioè che inglobi, come casi particolari, le teorie fisiche mediante le quali si descrive tutto ciò che si trova nell'universo.
- Nell'universo agiscono infatti 4 forze (elettromagnetica, nucleare debole, nucleare forte, gravità), descritte da altrettante teorie.



Teoria delle Stringhe

- La miglior candidata ad una teoria del tutto sembra essere la teoria delle stringhe.
- Secondo la teoria delle stringhe ogni particella elementare sarebbe in realtà costituita da un anellino o segmento di una sorta di corda elastica (la stringa), in grado di vibrare a diverse frequenze come vibra, ad esempio, una corda di violino.





- A seconda della frequenza con cui vibra una stringa, essa rappresenta una diversa particella elementare (elettrone, quark, fotone etc.)

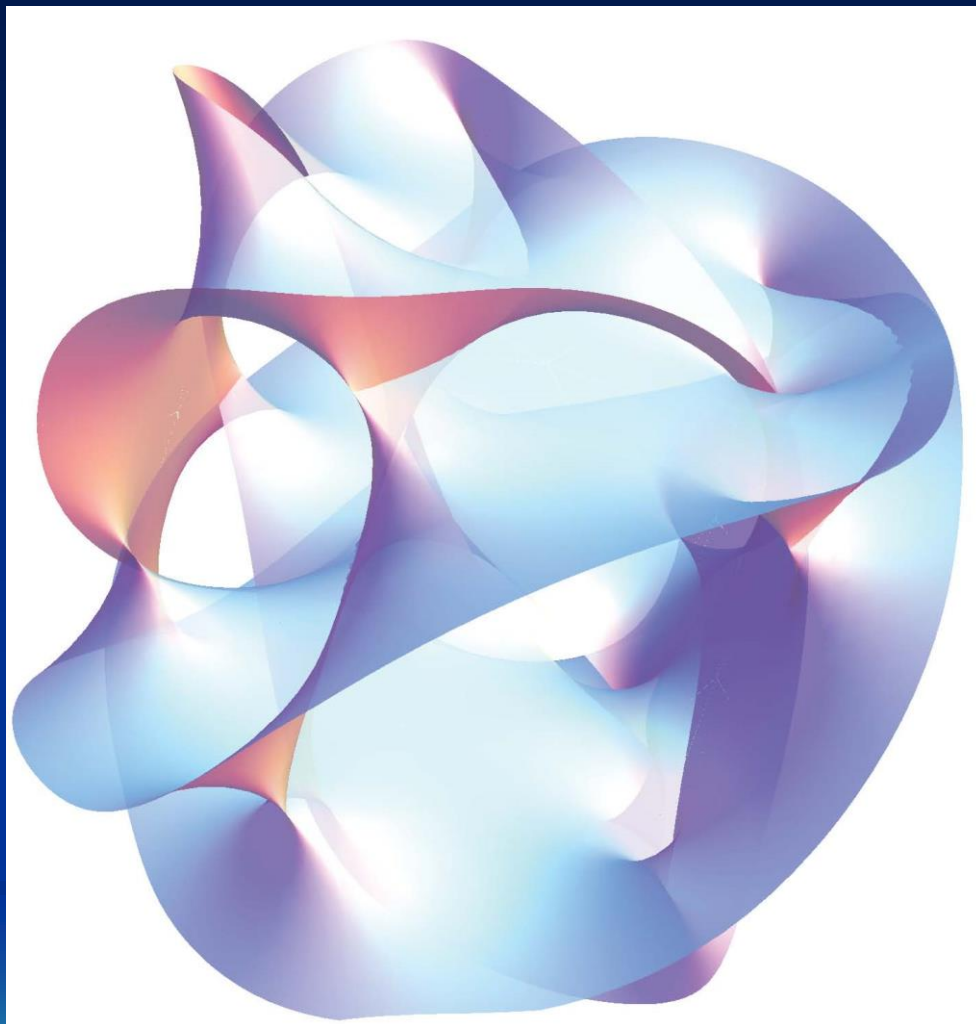
Teoria delle Stringhe

- Le stringhe avrebbero dimensioni ultramicroscopiche (tipicamente una lunghezza di Planck, 10^{-35} m).
- Per “accorgersi” della struttura a stringa di una particella elementare, sarebbe necessario produrre particelle con un acceleratore che dovrebbe avere le dimensioni della nostra galassia!



- Non si sa dunque come verificare sperimentalmente la validità della teoria delle stringhe.
- Senza verifica sperimentale una teoria fisica rimane una costruzione matematica della quale non si sa se descriva il mondo reale.





- La teoria delle stringhe ha senso solo se ambientata in uno spazio-tempo a 10/11 dimensioni.
- Se l'universo è veramente descritto dalla teoria delle stringhe, allora ingrandendo enormemente ogni punto dello spazio tridimensionale vedremmo che al posto del punto si trova una minuscola figura a sei dimensioni, detta “varietà di Calabi-Yau”.



Teoria delle Stringhe

- Le stringhe si “arrotolerebbero” attorno alle varietà di Calabi-Yau (di cui esiste una quantità sterminata di tipi diversi, circa 10^{500})!
- A seconda del tipo di varietà di Calabi-Yau dominante in un ipotetico universo, in tale universo vigerebbero diverse leggi fisiche o diversi valori delle costanti di natura!

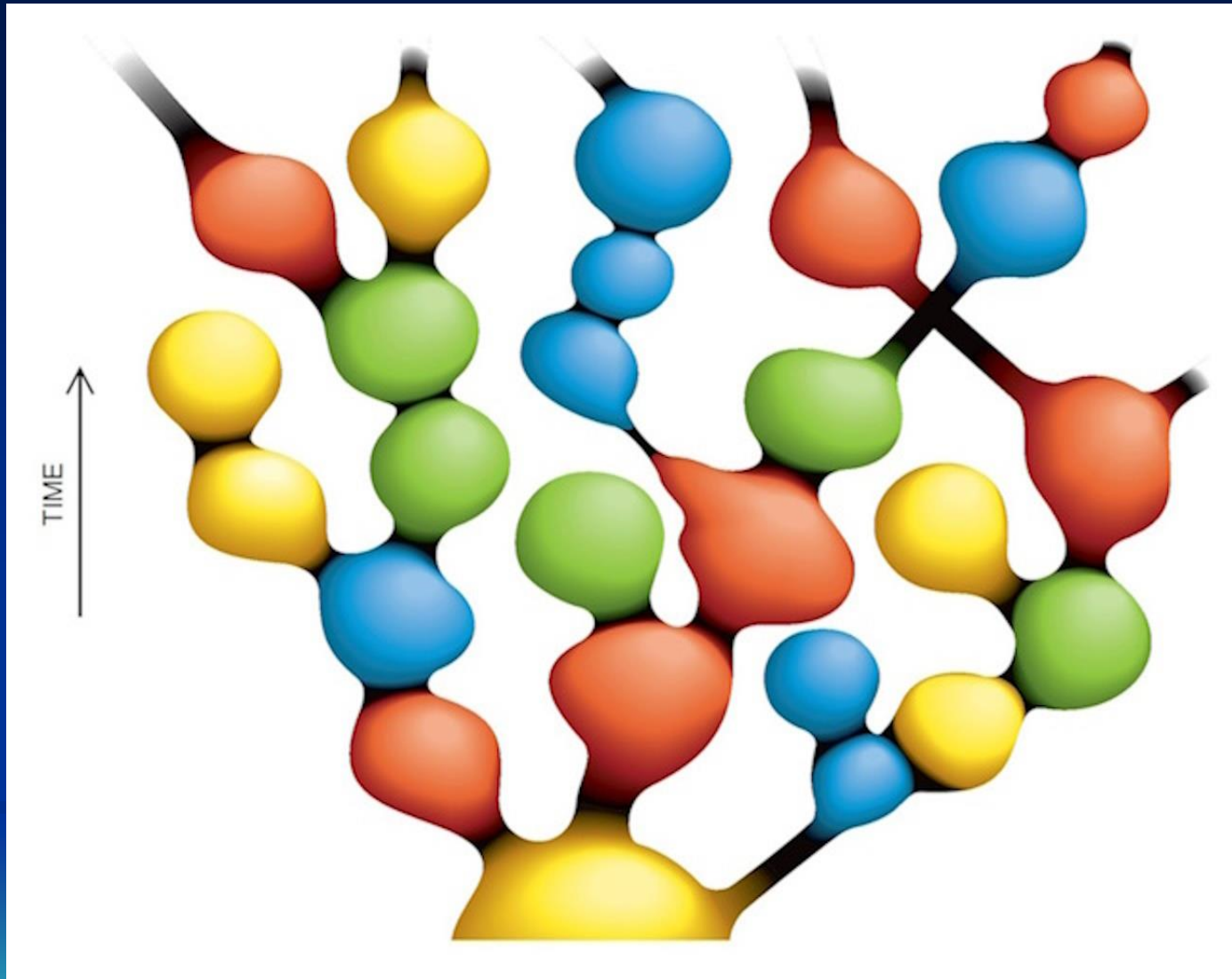




Il Multiverso

- Molti modelli basati sull'inflazione prevedono che l'inflazione generi universi figli, che a loro volta generano universi nipoti e così via all'infinito.
- Potrebbero quindi esistere infiniti universi, con diverse leggi fisiche o quantomeno diverse costanti fisiche (sempre che valga la teoria delle stringhe)!





Il Principio Antropico

- Sappiamo oggi che se molte costanti fisiche fossero di poco diverse da quelle attuali (a maggior ragione se fossero diverse le leggi fisiche) la vita e le strutture complesse non sarebbero possibili (principio antropico)!



Il Principio Antropico

- La maggior parte degli universi non sarà adatta alla vita (a maggior ragione quella intelligente) e, in genere, si diluiranno nel nulla o si ricontrarranno in tempi dell'ordine del tempo di Planck (10^{-43} s).
- In alcuni universi la vita sarà possibile e saranno quelli in cui esseri come noi si chiedono il perché di tutto questo!



Il Multiverso

- Se vale la teoria delle stringhe, automaticamente ogni componente del multiverso avrebbe diverse leggi fisiche o diversi valori delle costanti di natura!
- Alternativamente si può concepire un multiverso formato da componenti, in ognuna delle quali varrebbero diverse leggi fisiche o diversi valori delle costanti di natura, scelte dal caso!



Prima del Big Bang

- Cosa c'era dunque prima del Big Bang? C'era uno stato (difficile da immaginare) in cui non esistevano nè spazio nè tempo ma esistevano solo le leggi fisiche!
- Secondo tale visione, a partire da un tale “nulla” si creò un mini spazio-tempo che diede origine al Big Bang da cui si generò un multiverso comprendente il nostro universo con le sue leggi fisiche!



- Qual è l'origine delle leggi fisiche? Una domanda a cui non è facile dare risposta.
- C'è ovviamente l'ipotesi religiosa, per chi crede: le leggi fisiche sarebbero la maniera in cui l'Essere Supremo diede l'avvio al mondo.
- Se la teoria delle stringhe si rivelasse la sola teoria logicamente possibile (come forse a ragione riteneva Stephen Hawking), lo stato iniziale senza spazio o tempo sarebbe automaticamente costituito dalla teoria delle stringhe che genererebbe automaticamente il multiverso.



- Se quella delle stringhe non si rivelasse la sola teoria logicamente possibile, si può pensare (seguendo Max Tegmark) che l'universo sia fatto di pura matematica!
- Prima del Big Bang si avrebbe uno stato nel quale esistevano tutte le possibili leggi fisiche: solo una piccola minoranza (quelle che comprendono materia con energia positiva e gravità con energia negativa) darebbe origine al multiverso, le altre rimarrebbero sterili!



- Siamo oltre i confini della fantascienza ma questa è la visione che la cosmologia quantistica ci propone, almeno all'attuale stato delle conoscenze.
- Va detto che lo stato in cui esistesse solo la teoria delle stringhe o quello in cui coesisterebbero tutte le possibili leggi fisiche potrebbero essere o non essere stati creati da un Essere Supremo.
- Credere o meno in un Essere Supremo è una questione di fede. La fede è pienamente compatibile con la scienza, come attestano i grandi scienziati che furono e sono credenti (cristiani di varie denominazioni, ebrei, islamici) o addirittura ministri del culto.

