

6. TEORIE DI GRANDE UNIFICAZIONE E TEORIA DELLE STRINGHE

1
Diverse teorie di unificazione, teorie di
supersimmetria e teoria delle stringhe

TEORIE DI SUPERSIMMETRIA

- Abbiamo visto che laddove esiste una legge fisico-matematica esiste una simmetria.
- Nel modello standard della meccanica quantistica esiste il problema di come connettere in una teoria unificata **bosoni** (=particelle virtuali di scambio delle forze fondamentali) e **fermioni** (=particelle reali (quark e leptoni) di cui è fatta la materia di cui siamo costituiti), visto che seguono due tipi di leggi statistiche (simmetrie) diverse (**Bose-Einstein** e **Fermi-Dirac**).
- L'ipotesi più ovvia fatta dai fisici è quella di ipotizzare delle **supersimmetrie** cui riportare le due simmetrie di partenza
- → Ipotesi dell'esistenza di un **partner supersimmetrico bosonico** per ogni fermione (p.es. lo *s-elettrone* per l'elettrone o lo *s-quark* per il quark) e di un **partner supersimmetrico fermionico** per ogni bosone (p.es. il *photino* per il fotone o il *gluino* per il gluone).
- **In particolare**, poiché tutti i bosoni hanno spin intero e i fermioni semintero se una particella ha spin s il suo partner supersimmetrico ha spin $s - \frac{1}{2}$.

TAVOLA DI PARTNERSHIP SUPERSIMMETRICA

Alcune coppie supersimmetriche			
Particella	Spin	Partner	Spin
<u>Elettrone</u>	1/2	<u>Selettrone</u>	0
<u>Quark</u>	1/2	<u>Squark</u>	0
<u>Neutrino</u>	1/2	<u>Sneutrino</u>	0
<u>Gluone</u>	1	<u>Gluino</u>	1/2
<u>Fotone</u>	1	<u>Fotino</u>	1/2
<u>Bosone W</u>	0	<u>Wino</u>	1/2
<u>Bosone Z</u>	0	<u>Zino</u>	1/2
<u>Gravitone</u>	2	<u>Gravitino</u>	3/2

INTEGRAZIONE DELLA GRAVITAZIONE IN UNA GUT

- Problema della integrazione della teoria della gravità in una GUT supersimmetrica che unifichi forza elettrodebole e forte è che la gravità a differenza delle altre tre forze **non è quantistica** → non vale in essa il principio di indeterminazione.
- → Una conseguenza di tale principio che anche nello spazio vuoto (dove il valore di un campo (elettromagnetico, gravitazionale...) e quello della sua velocità di variazione dovrebbero essere pari a 0 violando così il principio di indeterminazione) devono essere presenti **fluttuazioni** riconducibili alla presenza di **particelle virtuali** come i bosoni del modello standard.
- Grazie all'ipotesi delle particelle virtuali è possibile eliminare anche **gli infiniti** che si presentano continuamente nelle teorie della quantistica (p.es., nella famosa funzione Delta dell'equazione di Dirac) attraverso il metodo matematico dei cosiddetti **gruppi di rinormalizzazione**.
- Di qui l'interesse per una teoria della **gravità quantistica** e della sua integrazione in una teoria completa di unificazione **supersimmetrica**.

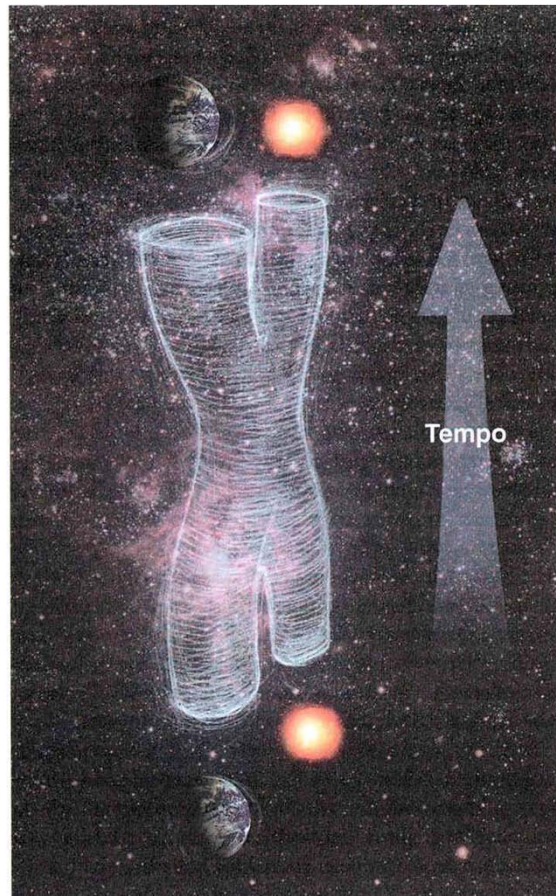
DALLE SUPERSIMMETRIE ALLE SUPERSTRINGHE

- Scoraggiamento dei fisici teorici per le incredibili difficoltà di calcolo che una teoria di supersimmetria estesa alla gravitazione implica per la sua verifica almeno matematica → superabili in una **teoria di superstringa**.
- La nuova teoria prese l'avvio nel **1968** da un'osservazione del fisico italiano Gabriele Veneziano, a quel tempo ricercatore presso il Cern di Ginevra.
- Egli stava analizzando una serie di dati sperimentali riguardanti **la forza nucleare forte** quando notò che una formula utilizzata per descrivere una classe di curve geometriche, la cosiddetta “**funzione beta**”, inventata 200 anni prima dal matematico svizzero **Leonhard Euler** (meglio noto con il nome latinizzato di Eulero), forniva un'utile sistemazione matematica dell'argomento che stava studiando.
- **Abbandono negli anni '70** dell'intuizione di Veneziano a favore della spiegazione della forza forte in termini di quark e gluoni e in termini di unificazione supersimmetrica.

NUCLEO ESPLICATIVO DELLA TEORIA

- Nella teoria emerge ancora una più **stretta relazione fra aspetto ondulatorio e particellare** degli elementi fisici fondamentali.
- Particelle non più rappresentate da **punti materiali** la cui evoluzione rappresentabile mediante traiettorie/funzioni d'onde, ma a **filamenti unidimensionali aperte** (segmenti) o **chiuse** (anelli) → ogni particella corrisponde a una **vibrazione (onda) che si propaga sulla stringa** → evoluzione nel tempo corrispondente alla formazione di **piani** o **tubi** che propagano la vibrazione → stringhe si **possono combinare** unendo semplicemente gli estremi (fili) o i tubi → emissione/scambio di particelle come **congiungimento/taglio** di stringhe (cfr. figura seguente).

RAPPRESENTAZIONE IN FORMA DI STRINGA DI UN DIAGRAMMA DI FEYNMANN



TEORIA DELLE STRINGHE E GRAVITÀ

- Nel 1974 J. Scherk e J. Schwarz dimostrarono che con la teoria delle stringhe era possibile descrivere la **natura della forza gravitazionale** in accordo con la relatività generale, ma con comportamento diverso per lunghezze minime dell'ordine della **lunghezza di Planck (10^{-33} cm)** la più piccola concepibile in fisica, ma che vengono tese con una forza incredibilmente grande: fino a 10^{39} tonnellate.
- Sarebbe proprio questa enorme tensione a determinare la frequenza di vibrazione: più essa è grande, maggiore è la massa della particella associata e di conseguenza maggiore è la forza di gravità che questa particella esercita sulle altre. Questo sarebbe **l'indizio** per il quale la teoria delle **superstringhe** collegherebbe **la gravità** descritta dalla relatività generale con la struttura delle particelle elementari descritta dalla **meccanica quantistica**.
- Infatti già il lavoro iniziale di Veneziano aveva dimostrato che con la teoria delle stringhe era possibile dare una descrizione completa della teoria della **forza forte quantistica**. Tuttavia la scarsa attenzione alla teoria delle stringhe lasciò nell'ombra questo fondamentale lavoro.

POTENZIALITÀ DELLA TEORIA

- Vi è una sostanziale differenza fra le teorie della gravità di Newton e di Einstein e quella che scaturisce dalla teoria delle superstringhe. Con le loro teorie Newton ed Einstein spiegano semplicemente **i dati sperimentali**.
- Nel caso della teoria delle stringhe, invece, per la prima volta nella storia del pensiero scientifico moderno, la gravità **viene dedotta dalla teoria**.
- → Anche se non ci fosse stata alcuna esperienza precedente di questa forza, essa sarebbe emersa come **conseguenza della teoria stessa**.
- In altri termini, la teoria delle superstringhe prevede **l'esistenza della gravità e delle altre forze fondamentali** perché da essa emergono spontaneamente tutte e quattro le particelle mediatrici (o messaggere) delle interazioni fondamentali e la **loro unificazione** avviene in modo naturale.

M-TEORIA DELLE STRINGHE

- La teoria delle superstringhe comprende ben **cinque varianti** denominate **tipo I, tipo IIA, tipo IIB, eterotica O ed eterotica E**, tutte teorie molto simili fra loro ma non identiche.
- Di simile hanno ad esempio il fatto che tutte quante necessitano di **nove dimensioni dello spazio (oltre a quella temporale)** entro cui poter agire e non solo delle tre di cui abbiamo percezione diretta. Di queste complessive dieci dimensioni **sei sono invisibili**, risultando strettamente accartocciate su sé stesse (*compattificate*) perché “strangolate” dalle stringhe che si avvolgono intorno ad esse (come fossero elastici che stringono la camera d’aria di una bicicletta) impedendo loro di espandersi.

CONTINUA...

- L'aggiunta di dimensioni ad una teoria non va intesa come descrizione fenomenica del mondo fisico, ma come arricchimento dell'assiomatica della teoria → messa in grado di includere coerentemente in essa un'altra teoria.
- P.es., Theodor Kaluza suppose una quarta dimensione dello spazio della relatività che dava luogo ad una serie di equazioni aggiuntive a quelle indicate da Einstein che non erano altro che le equazioni formulate da Maxwell per descrivere la teoria elettromagnetica.
- In altre parole in uno spazio a cinque dimensioni si unificavano gravitazione ed elettricità.

CONTINUA...

- I cinque sottotipi della teoria delle superstringhe mostrano però anche alcune **differenze sostanziali**. Differiscono fra l'altro per il modo in cui incorporano la supersimmetria o per la forma delle stringhe: la teoria di tipo I ad esempio, a differenza delle altre, prevede la presenza anche di stringhe aperte, cioè con gli estremi liberi, oltre che di stringhe chiuse ad anello.
- Nel 1995 il fisico teorico **Edward Witten** scoprì che **le cinque teorie di superstringa erano intimamente connesse** → raggruppate in un unico schema concettuale a cui fu assegnato il nome di **M-teoria**, dove M starebbe per “madre”.

CARATTERISTICHE DELLA M-TEORIA

1. Postula che **le dimensioni passino da dieci ad undici**: alle nove dimensioni spaziali e a quella temporale presenti nelle teorie delle superstringhe se ne aggiunge quindi un'altra la cui presenza consente di portare a termine calcoli esatti e non solo approssimati come erano quelli che si ottenevano in precedenza.
2. Contiene oltre a strutture unidimensionali (stringhe) anche **strutture n-dimensionali** definite **brane** (termine ricavato da mem-brane).
 - → Stringhe definite **1-brane**, le **2-brane** sono **superfici bidimensionali**, ma esistono anche **masserelle tridimensionali (3-brane)** e così via **n-dimensionali** “oggetti” tutti **in frenetica e incessante vibrazione**. A causa della presenza di oggetti più estesi delle stringhe, l'M-teoria viene anche detta “**teoria delle membrane**” o, maliziosamente, “**teoria del mistero**”.

7. MODELLO DI UNIVERSO CICLICO DI STEINHARDT-TUROK

Basato sulla M-teoria delle superstringhe è in grado anche di spiegare energia e materia oscura

14

APPLICAZIONE DELLE TEORIE DI SUPERSTRINGA ALLA COSMOLOGIA

- La modifica più sostanziale che la M-teoria apporta al Modello cosmologico del big-bang è quella riguardante le dimensioni che avrebbe assunto l'Universo all'inizio dei tempi: esse non avrebbero potuto ridursi al di sotto di un valore minimo per carattere **repulsivo** e non più attrattivo previsto per la gravità al disotto della lunghezza di Planck → **eliminazione della singolarità iniziale**.
- → Seguendo l'evoluzione delle molteplici (11) dimensioni dell'Universo quando queste scendono al di sotto della lunghezza di Planck, anziché diminuire ulteriormente, **riprendono a crescere** → **temperatura**, raggiunto velocemente un valore massimo, essa inizia a diminuire.
- → Nuovi modelli cosmologici **ciclici** diversi da quello originario di Guth legato alle due singolarità iniziale e finale (*big-bang/big-crunch*), ora eliminate.

MODELLO DI UNIVERSO CICLICO DI STEINHARDT-TUROK

- Per capire il passaggio al modello ciclico di Steinhardt-Turok ulteriore ingrediente è l'ipotesi che la materia dell'universo distribuita entro **due membrane tridimensionali**, dove l'una si comporta come **materia oscura** per l'altra → influire gravitazionalmente sulla materia dell'altra.
- → Ipotesi centrale del modello: le 2 3-brane evolvono nel **tempo** (cioè nella quarta dimensione) e **fluttuano in una quinta dimensione** entro la quale si fa sentire la forza di **gravità** mentre le altre sei, al solito, sarebbero piccole e arrotolate entro la trama spaziale.

INCLUSIONE DELL'ENERGIA OSCURA NEL MODELLO

- Le particelle che stanno all'interno delle due membrane evolverebbero in modo indipendente ma potrebbero anche **interagire attraverso la particella mediatrice della forza di gravità**, il gravitone. il quale oltre che agire all'interno della brana potrebbe passare da un Universo all'altro muovendosi a spirale intorno ad una delle tante dimensioni extra.
- **L'energia oscura** che nel modello originario non trovava giustificazione teorica, nel nuovo modello presenta un ruolo fondamentale come **potenziale gravitazionale fra le due brane** che guida l'espansione/contrazione dell'universo (allontanamento/avvicinamento delle 2 3-brane).
- Le due membrane possono anche **collidere l'una con l'altra** alla conclusione della lunga fase di avvicinamento ma subito dopo rimbalzerebbero e si allontanerebbero per ritornare successivamente ad e eteavvicinarsi **in un processo indefinito** (anche se non necessariamente eterno).

CONFRONTO DEI DUE MODELLI

In the Beginning . . .

Is the universe infinite or finite? Is it eternal or will there be an end of time? Did it arise from something else, or did it simply pop out of nothingness—creation ex nihilo? Cosmologists have wrestled with these questions since Edwin Hubble first uncovered evidence of cosmic expansion in 1929. For more than half a century, the standard answer has been that our universe began as a single burst of energy—the Big Bang. Recent elaborations have answered some questions but not the biggest ones. A radical new cosmology proposes that our universe is just a tiny fraction of a vast, higher-dimensional realm and that the Big Bang is one step in an endless cycle of creation. —Max S. Lane

Standard Model

According to the reigning Big Bang theory, the universe began as an infinitely hot, dense dot. Within a tiny fraction of a second, the cosmos underwent a period of runaway expansion, called inflation. Over billions of years, the universe cooled, giving rise to galaxies, stars, and planets. Today, 13.7 billion years after the Big Bang, the universe continues to expand and in fact is speeding up under the influence of a mysterious energy force. If things keep going this way, the future of the universe looks bleak: Stars will burn out, galaxies will disintegrate, and the universe will end eternally dark and lifeless. This theory leaves many unknowns hanging. It does not explain why the Big Bang happened and what, if anything, existed before. It also does not explain the nature of the unidentified energy field that is causing our universe to accelerate.

Cyclic Model

To address some of the limitations and paradoxes of the Big Bang model, cosmologists Paul Steinhard and Neil Turok have developed a new cosmology that views the visible universe as one small part of a much larger reality, most of which exists in other dimensions that we cannot perceive. Our universe exists on a three-dimensional membrane (represented by the flat panels at right) that fits right next to another membrane. Every trillion years or so, the two membranes collide, unleashing a firestorm of energy analogous to the Big Bang. As in the earlier model, the universe cools, gives rise to galaxies, and eventually expands to near emptiness. In this version, however, another collision between membranes then restarts the whole cycle of creation. Thus, time and space are both infinite.



8. CONCLUSIONE

Dal “come” al “perche’ ” del cosmo

19

LA CONCLUSIONE DI HAWKING

- Alla luce di questi **sviluppi della cosmologia teorica**, sempre più in grado di includere nelle teorie i dati sperimentali anche più sconvolgenti delle osservazioni cosmologiche → la questione della creazione **riportata al suo proprio ambito metafisico**.
- Non più il “dio-tappabuchi” che da Cartesio in poi fino al principio antropico “forte”, viene evocato a colmare i vuoti di questa o quella teoria cosmologica riportato al suo *locus metaphysicus* proprio: “*perché* un universo siffatto (eterno o meno) **si dà la pena di esistere?**”

UNO STRANO POSTLUDIO

- Nel 2010 Hawking & Mlodinow hanno pubblicato un testo *The Grand Design* in cui si contesta la precedente distinzione → fisica spiega tutti i perché:
 1. *Causali*: Universo e/o Multiversi a somma energetica 0 → non c'è bisogno di una causa extrafisica.
 2. *Finali*: ipotesi degli infiniti universi → esclude quella del disegnatore (se occorrono infinite frecce perché una o poche colgano il bersaglio non esiste arciere...)

MA...

1. *Ad 1:* Un «dio creatore» ridotto a quello che fornisce l'energia *iniziale* al(gli) universo(i) è la caricatura del Dio Creatore della Bibbia e della Teologia che *partecipa l'essere* dall'inizio per tutta l'eternità (e metafisicamente lo potrebbe anche *da tutta l'eternità*) al(gli) universo(i) – attualmente a uno *virtualmente a infiniti*.
2. *Ad 2:* Ellis e Stoeger (cfr. bibliografia) giustamente ricordano come l'ipotesi degli infiniti universi *simultanei* è *solo matematica* e non può essere fisica ← suppone che l'«iperinflazione» abbia inizio da una *singularità* *adimensionale* e questa non è ipotesi fisica, visto che è *dopo il big-bang* e l'universo era già *dimensionale* → ipotesi infiniti universi *solo in successione* e con tempi indefiniti.
- *Dubbio:* questo strano «postludio» a tutta l'opera divulgativa di Hawking, e che contraddice la conclusione metafisica degli altri suoi lavori, è davvero di Hawking?