

TESINA PER L'ESAME DI STATO A.S. 2010/2011

LEGATI DA UNA STRINGA

Di *Luca Di Mascolo*

Il presente contributo, elaborato dallo **studente Luca DI MASCOLO** del Liceo Scientifico "Volterra" di Ciampino (RM), è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo **"Stage Estivo a Tor Vergata"** - promosso dal MIUR (Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici e per l'autonomia scolastica) - e tenuto dal 14 al 18 Giugno 2010 presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata.

Il responsabile del modulo disciplinare

Prof. Amedeo Balbi

.....


Il Direttore dello "Stage Estivo a Tor Vergata"

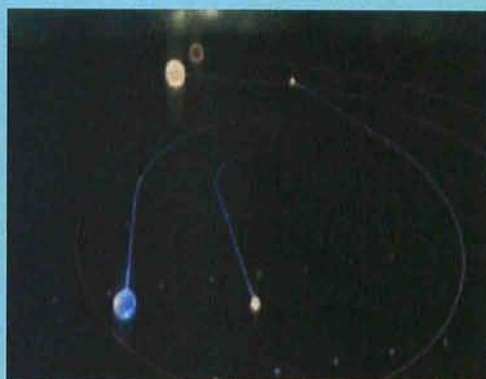
Prof. Nicola Vittorio

.....


Albert Einstein passò gli ultimi venti anni della propria vita nella sua casa di Princeton, nel New Jersey, immerso nella strenua ricerca di una teoria capace di unire in un'unica formula tutte le leggi che governavano il mondo: la "teoria del Tutto" (TOE, "theory of everything"). Quando morì, nel 1955, il suo sogno non si era ancora avverato. Tutte le tesi che avvalorano la TOE quale una mera ed eccessivamente visionaria divagazione teorica o i risultati di una sfrenata fede nella razionalità umana crollano dinanzi ad un dato di fatto: tutte le teorie fisiche fino ad ora elaborate convergono, in un certo qual modo, verso uno stesso punto.

La ricerca dell'Unificazione ha inizio nel XVII secolo, grazie ad un'intuizione dell'inglese Isaac Newton: la caduta al suolo di una mela e il moto orbitale dei corpi celesti hanno stessa origine. In sostanza, Newton riuscì a fondere assieme gli studi galileiani sulla caduta dei gravi e le leggi di Keplero in un unico principio: la legge di gravitazione universale. L'imbarazzante problema che però colse in fallo lo scienziato inglese risiedeva nell'apparente inspiegabilità della natura della forza d'attrazione gravitazionale e delle sue modalità di azione sui corpi tanto che Newton si astenne da qualsiasi formulazione di ipotesi ufficiali a riguardo (*"Hypotheses non fingo"*). Nonostante ciò, di una cosa lo studioso del Lincolnshire era fermamente convinto: la gravità agiva sui corpi immediatamente o, per meglio dire, la velocità d'azione era infinita.

Prendiamo il caso di un'improvvisa catastrofe nel nostro sistema solare: il Sole scompare inspiegabilmente, non lasciando alcuna traccia. Secondo la teoria di Newton, nello stesso istante in cui la nostra stella si smaterializza, i pianeti abbandonerebbero prontamente la loro orbita per proseguire il loro moto, diretti verso gli angoli più estremi del nostro Universo a velocità uniforme lungo una traiettoria rettilinea.



Nel 1905 un impiegato dell'Ufficio brevetti di Berna di soli 27 anni pensò di poter avvalorare la velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto c come la velocità massima con cui si potessero propagare impulsi di ogni genere: il suo nome era Albert Einstein.

Partendo da tale presupposto, l'idea che afferma l'istantaneità dell'interazione gravitazionale tra due (o più) corpi andava incontro ad un inesorabile declino.

Riconsiderando la serie di eventi legati alla "catastrofe solare" ed inserendo una velocità finita per la propagazione delle onde gravitazionali, si capisce facilmente che la percezione del termine dell'azione gravitazionale sul nostro pianeta non precederà più la scomparsa della luce ma o sarà ad essa contemporanea (nel caso in cui la gravità si propaghi alla velocità c) o consecutiva (con velocità minore di c). Per ottenere un tale risultato era però necessario rivoluzionare il nostro modo di considerare i concetti di spazio e tempo.

Albert Einstein giunse alla formulazione della relatività ristretta prima e della relatività generale poi a seguito di alcuni studi sulla luce e ai tentativi di conciliare i dissidi tra elettromagnetismo e relatività galileiana: le leggi di Maxwell ponevano, come una delle conseguenze dell'unificazione dell'elettrostatica e del magnetismo, la velocità della luce nel vuoto costante e finita ($c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$) in contrasto con la relatività classica per cui la velocità di un moto in un mezzo era differente se l'osservatore era in moto o fermo rispetto il mezzo stesso. Smantellate le idee dell'esistenza dell'etere e della relatività classica, introdotte le trasformazioni di Lorentz non solo come artifici matematici per garantire una pacifica convivenza tra relatività classica ed elettromagnetismo (rendendo quest'ultimo invariante) ma come formule applicabili ai concetti di spazio e tempo per qualsiasi fenomeno fisico, partendo da due postulati (tutte le leggi fisiche sono le stesse in tutti i sistemi inerziali e la velocità della luce nel vuoto ha lo stesso valore in tutti i sistemi inerziali), Einstein portò alle estreme conseguenze la rivalutazione dei concetti fondanti della fisica classica:

- A velocità relativistiche gli spazi si contraggono e i tempi si dilatano (verificato sperimentalmente con lo studio dei muoni, particelle generate da raggi cosmici nell'alta atmosfera).
- Non esiste più simultaneità assoluta tra due sistemi inerziali dato che il suo "ente-spia", la luce, ha velocità finita.
- Nessuna massa può raggiungere velocità pari a c .
- La massa di un corpo si può trasformare in energia e viceversa (la cui verifica sperimentale risiede nel difetto di massa atomico)

Risolti i problemi legati alle neonate leggi dell'elettromagnetismo di Maxwell e la relatività classica, Einstein si trova a dover affrontare le contraddizioni nate tra la sua relatività ristretta e la gravitazione universale newtoniana: la soluzione sarà trovata nel 1915 nelle equazioni di campo di Einstein in cui la gravità è descritta come una curvatura del tessuto spaziotemporale; ecco la relatività generale.

Considerando le equazioni di campo della gravità, Einstein capì che, nel caso della "catastrofe solare", si sarebbe prodotta una riduzione della curvatura spaziotemporale non immediata ma secondo uno schema a "onda radiale" diretta dalla posizione precedentemente occupata dal Sole verso l'esterno (simile all'effetto di un sasso caduto in acqua). L'azione della gravità termina nell'istante in cui l'"onda" raggiunge un pianeta che inizierà il suo moto rettilineo uniforme verso i confini dell'Universo (a meno che non venga intercettato da qualche campo gravitazionale).

Torniamo alla casa di Princeton. Einstein passò gli anni seguenti alla pubblicazione della relatività generale e alla spiegazione dell'effetto fotoelettrico nel tentativo di unificare gravità ed elettromagnetismo in una TOE. Forse spinto dalle coincidenti velocità di gravità e luce, Einstein trovò non pochi ostacoli all'unificazione: da una parte, infatti, ci sono le eccessivamente differenti intensità della gravità e dell'elettromagnetismo, dall'altra, il fatto che iniziò tali studi ignorando completamente le forze nucleari deboli e forti. È in questo momento che entra in gioco, nella storia dell'Unificazione, un giovane fisico danese di nome Niels Bohr.

Nel 1920, mentre stava studiando l'interazione fra le varie componenti di un atomo, Bohr si rese conto che le sole forze di gravità ed elettromagnetiche non bastavano a spiegare i fenomeni microscopici: è così che dalle ferme certezze einsteiniane legate alla relatività si passò al mondo probabilistico della meccanica quantistica. Con la fisica quantistica, infatti, non si prevede mai un evento bensì la probabilità che questo avvenga: non a caso Albert Einstein, alla ricerca della verità unica, non riuscì mai ad accettare per vera la quantistica, tanto da affermare che "Dio non tira i dadi".

Brian Greene, uno dei principali divulgatori della teoria delle superstringhe, suggerisce di pensare al mondo della quantistica come un bar in cui, se si chiedesse una spremuta, il barista risponderebbe casualmente o, altrimenti, in cui si dovrebbe fare un'ordinazione indeterminata.

Evidentemente, il tedesco, nonostante la maestosità intellettuale, aveva torto tanto che, nel 1930, furono scoperte la forza nucleare forte (che lega gli elementi del nucleo) e la forza nucleare debole (causa dei decadimenti β).

La necessità della ricerca della vera Unificazione e quindi di una TOE valida nasce dall'urgenza di unificare la relatività e la quantistica. In un primo momento, si pensò che il cammino verso la formulazione definitiva della teoria del tutto stesse giungendo al suo termine: tale sentimento è nato dalle emergenti teorie di campo che riuscivano ad fondere brillantemente la relatività ristretta e la quantistica. Il primo ostacolo si trovò però nel voler considerare in modo quantistico l'interazione gravitazionale (descritta dalla relatività generale): a scale microscopiche, inferiori anche alla lunghezza di Planck, la nozione di geometria spaziale regolare (precisamente, della geometria ellittica di Riemann), cardine della relatività generale, perde di senso a causa delle fluttuazioni quantistiche, che influenzano lo spazio attraverso distorsioni casuali ed eliminando ogni concetto spaziale (su, giù, destra, sinistra).

Ancora, se si percorresse a ritroso l'evoluzione dell'Universo fino all'istante del Big Bang, si trova che tutta la sua massa e la sua energia si condensano in unico punto, adimensionale e pesantissimo: è ovvio che non si sa a quale teoria appellarsi.

Tutto ciò sta a significare che la relatività generale, valida per tutti i corpi massicci e molto estesi (pianeti, stelle, galassie), e la quantistica, utilizzata per i corpi microscopici, dovrebbero essere inconciliabili. Ma, citando S. James Gates Jr., del California Institute of Technology:

"Dato che le leggi naturali si applicano ovunque, non è possibile che ci sia un ovunque quantistico e un ovunque relativistico".

Quest'idea riprende, in fin dei conti, la teoria di Schwarzschild che prevedeva l'esistenza di corpi molto massicci concentrati in spazi infinitamente piccoli, capaci, per la forte curvatura impressa allo spaziotempo, di intrappolare i raggi luminosi ad essi prossimi: i buchi neri. Per questi corpi le leggi da applicare erano ovviamente la relatività, per la grande massa, e la quantistica, per le dimensioni ridotte. L'idea per cui "atomi e galassie fanno parte dello stesso universo" (Edward Witten, "Institute of Advanced Study") è nata, perciò, nello stesso istante in cui relatività e quantistica iniziavano a muovere i primi passi nel mondo della fisica.

La seconda metà degli anni '90 è stata caratterizzata dal perpetrarsi del conflitto quantistica-relatività e dal fortissimo sviluppo della fisica sperimentale: furono gli anni della scoperta delle particelle subatomiche, numerosissime (tanto da utilizzare tutte le lettere a disposizione). Sempre più con maggior convinzione, progredendo nella ricerca, si pensò di poter iniziare a spiegare la natura delle forze previste dal modello quantistico (Forze nucleari ed elettromagnetica) considerandole quali scambi di particelle mediatrici: le particelle iniziarono perciò ad essere suddivise in fermioni e bosoni, i primi costituenti della materia, i secondi fautori delle interazioni elettromagnetiche e nucleari. A grandi falcate ci si avvicinava sempre di più all'Unificazione di tutte le forze fondamentali e delle particelle: le tre forze non-gravitazionali furono condensate in una superforza tipica dei primi attimi dopo il Big Bang e da questa si pensò che si fossero originate la forza nucleare forte e la forza elettrodebole prima, le tre forze sopracitate poi; da un tale modello (il Modello Standard, al momento accettato per certo dalla comunità scientifica) rimase escluso il brutto anatroccolo chiamato Gravità.

Sono gli anni in cui Sheldon Glashow, Abdus Salam e Steven Weinberg ricevettero il Nobel per la fisica a seguito dell'elaborazione del Modello Standard (1979) e in cui, però, procedeva uno strenuo tentativo di salvare la gravità dalla sua emarginazione. Sono gli anni in cui nacque la teoria delle stringhe.

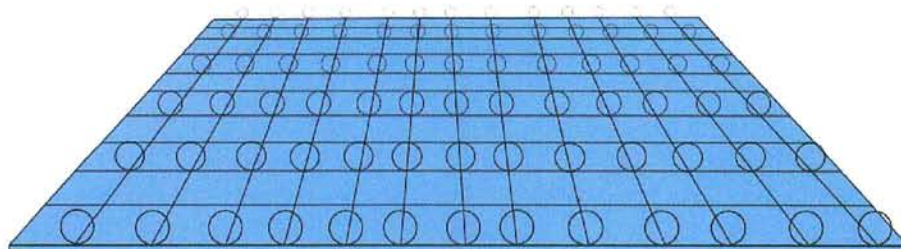
Nel 1968, il fisico italiano Gabriele Veneziano, cercando una formula per spiegare anche algebricamente i comportamenti della forza nucleare forte, si imbatté nella funzione di Leonhard Euler, studioso svizzero del '600 conosciuto ai più sotto il nome di Eulero: tale funzione, che inizialmente era vista come una pura curiosità matematica, non solo spiegava brillantemente la forza nucleare forte ma prevedeva (come poté studiare in seguito Leonard Susskind) che la struttura interna delle particelle ad essa correlate avessero una struttura vibrante, in antitesi con l'idea quantistica della natura "statica" e più simile ad un elastico spezzato che ad una sferetta. Susskind presentò questa nuova teoria per la pubblicazione e la certificazione, ma fu cestinata e cadde nel dimenticatoio.

Fu nel 1983 che John Schwarz decise di rivedere la teoria e con essa i problemi che si era portata dietro: da una parte vi erano, infatti, la presenza di troppe incoerenze matematiche, dall'altra la previsione dell'esistenza di una particella priva di massa e con velocità maggiore di c (denominata tachione). L'intuizione che portò Schwarz a compiere la "prima rivoluzione delle superstringhe" sta nell'aver iniziato a considerare la particella senza massa sopra descritta come la responsabile dell'interazione gravitazionale fra due corpi: il gravitone. Per compiere questo passo era però necessario valutare attentamente le dimensioni della filamento vibrante in relazione alla bassa intensità del campo gravitazionale: le stringhe dovevano essere centinaia di

miliardi di miliardi di volte più piccole di atomo. Ma queste considerazioni non bastavano: era necessario risolvere le anomalie matematiche. Il lavoro, intrapreso da Schwarz unitamente a Green, consisteva nel far combaciare l'ultima matematica quantistica con la matematica delle stringhe: la soluzione si trovò nel verificare che, in realtà, le anomalie erano solamente apparenti (per tutti i teorici delle stringhe è caro il numero 496, risultato dal calcolo congiunto con entrambe i sistemi matematici); le quattro forze fondamentali potevano finalmente essere unificate in un'unica teoria particellare.

Per iniziare a parlare della teoria delle superstringhe (o delle stringhe, per semplicità) è opportuno, però, introdurre alcuni nuovi concetti: primo di tutti, il fatto che le particelle sono composte da filamenti di energia vibranti; secondo, che i modi di vibrazioni sono definiti da uno delle undici dimensioni previste dalla teoria della stessa; terzo, che lo spazio e il tempo non sono più continui ma divisibili in unità minime: la lunghezza di Planck (la lunghezza di una stringa) e il tempo di Planck (il tempo che la luce impiega a percorrere una stringa). Sebbene il primo concetto sia accettabile dalla nostra mente, il secondo ed il terzo creano un forte ostacolo alla comprensione della teoria: è utile, perciò, parlarne più dettagliatamente.

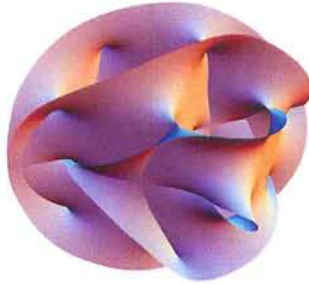
L'idea dell'esistenza di più delle solite tre dimensioni spaziali, come ben si sa, è nata con Albert Einstein che ha introdotto la quarta dimensione, il tempo. Nel tentativo di fondere gravità ed elettromagnetismo, Einstein fu colpito da una teoria elaborata dal tedesco Theodor Kaluza: egli propose uno modello spaziotemporale in cui le dimensioni spaziali non erano tre, bensì quattro (precisamente, tre dimensioni estese e una "arrotolata" per ogni punto dello spazio) e in cui le onde elettromagnetiche erano curvature di questa "quinta dimensione".



configurazione penta dimensionale di Kaluza-Klein

Per spiegare tale teoria, basta considerare un filo (non ci importa il materiale): ad una certa distanza, questo ci sembra senza spessore, un filamento unidimensionale. Se assumessimo dimensioni assai ridotte, al contrario, vedremmo il filo prendere spessore e quindi aggiungere alla dimesione "lunghezza", la dimensione "circonferenza" tanto che, oltre a muoverci avanti o indietro lungo il filo, potremmo muoverci attorno ad esso. In sostanza, la lunghezza corrisponde alle dimensioni a noi "visibili", la circonferenza alla dimensione arrotolata rilevabile solo a grandezze dell'ordine di grandezza di 10^{-33} metri.

Giunti a questo punto è semplice generalizzare la teoria di Kaluza-Klein a due o tre dimensioni extra ponendo al posto delle circonferenze delle sfere bidimensionali o tridimensionali. In realtà, la teoria delle stringhe, nelle sue prime formulazioni, prevedeva ben sei dimensioni arrotolate secondo la varietà (o spazio) di Calabi-Yau.



Ponendo uno spazio di Calabi-Yau per ogni punto dello spazio esteso, si aumenta il grado di libertà delle stringhe, potendo queste vibrare secondo ben sei dimensioni supplementari.

Per ciò che riguarda la lunghezza ed la durata minima, possiamo risolvere la questione assai facilmente: essendo una stringa l'unità minima che segua le leggi fisiche a noi note, non c'è nulla più piccolo di queste che possa essere chiamato "spazio". Ovviamente, lo stesso vale per il tempo.

Dalla prima rivoluzione delle superstringhe nacquero ben cinque differenti teorie che prevedevano tutte validi (ma vari) modi di intendere le stringhe, lo spazio e il tempo. Fu solo nel 1995 che il mondo dei teorici delle stringhe riuscì a trovare una soluzione alla confusione nata fra le braccia della teoria stessa grazie all'avvento della "teoria M".

Edward Witten, docente dell'Institute of Advanced Study, ebbe un'intuizione: le cinque differenti teorie delle stringhe non erano che modi differenti di osservare lo stesso oggetto; bastava, in sostanza, indicare un unico punto di osservazione sul mondo microscopico delle stringhe.

La soluzione che risolveva le teorie delle stringhe nella M-teoria risiedeva nell'inserimento nel modello teorico di un'undicesima dimensione: attraverso questa, le stringhe possono mutare forma e divenire simili a membrane pluridimensionali (chiamate "brane"). Non solo, fornendo energia ad una brana questa tende ad espandersi e a raggiungere dimensioni sempre maggiori. Le ipotesi di fondo della M-teoria sono principalmente due: il fatto che tutto il nostro Universo sia racchiuso in un'unica gigantesca brana, a sua volta compresa in uno spazio ancora più esteso e l'idea che le stringhe non siano anelli di energia ma filamenti ancorati, per i loro estremi, alla brana sopracitata (c'è, però, un'eccezione riguardante il gravitone). Tali considerazioni riescono a spiegare efficacemente un gran numero di fenomeni tipici della nostra realtà e ad aprire nuovi orizzonti.

Prima di tutto, infatti, essendo il nostro Universo compreso in una brana "finita", è facile pensare che possano esistere altri universi compresi in altre brane contigue alla nostra. L'idea è quella che la nostra brana faccia parte di un "bulk", un gruppo di brane l'una indipendente dall'altra.

Immaginiamo il bulk come un filone di pane: ogni fetta che riusciamo a tagliare coincide ad una brana contenente, al suo interno, uno specifico universo, non necessariamente simile al nostro.

Secondo poi, ancora non si spiegava come fosse possibile che l'interazione gravitazionale sia praticamente irrisoria nei confronti delle sue tre sorelle: la risposta di Witten sta nel pensare che, in realtà, la gravità abbia ma non mostri la stessa intensità delle altre forze; il gravitone, in sostanza, deve avere differente struttura dal fotone, il gluone e il bosone. La M-teoria indica queste ultime particelle di interazione come composte da filamenti energetici non più anulari ma aperti, i cui capi sono ancorati alla brana del nostro Universo. L'unica particella a mantenere la struttura anulare è proprio il gravitone: per questa sua natura, il gravitone è libero di muoversi nello spazio, utilizzando la sua energia in parte per il moto, in parte per l'interazione.

Continuando su quest'idea, si può capire come il gravitone possa attraversare la brana indisturbato: le onde gravitazionali prodotte dal nostro Universo potrebbero, perciò, raggiungere altre brane ed altri universi, instaurando una comunicazione basata sulla gravità; per i teorici della M-teoria, potremmo accorgerci dell'esistenza di altri mondi a noi paralleli semplicemente studiando le onde gravitazionali da essi provenienti.

Riprendiamo l'idea della fetta di pane: per spiegare questa nuova idea dei filamenti liberi, potremmo pensare ai fotoni, ai bosoni e ai gluoni come marmellata spalmata sulla fetta di pane, al gravitone come...granelli di zucchero.

Un'ennesima conseguenza della M-teoria è la spiegazione del Big Bang: sebbene si fosse spiegata l'evoluzione del nostro Universo sin da questa grande detonazione, gli scienziati non hanno mai realmente compreso come fosse stato possibile che un'esplosione del genere possa essere accaduta. La teoria delle superstringhe vede l'innescò della bomba ad orologeria del Big Bang nella collisione tra due brane pluridimensionale in oscillazione: bisogna infatti ricordare che le stringhe (e perciò anche le brane) sono fortemente energetiche. Sotto quest'ottica, l'evento del Big Bang non è né peculiare né tanto meno unico nel suo genere: se di scontro tra brane si parla, infatti, è possibile che un tale evento si possa ripetere inesorabilmente un'infinità di volte: l'esistenza di mondi paralleli risulta perciò sempre più probabile.

Come ogni cosa, però, la teoria delle superstringhe ha un tallone d'Achille: nonostante la sua eleganza e funzionalità teorica, è impossibile, al momento, verificarla sperimentalmente. I mezzi a nostra disposizione sono, infatti, ancora insufficienti per un'analisi delle misure infinitesime su cui si muove la teoria delle stringhe. Tutto ciò che ci resta, al momento, è sperare nella tecnologia futura e puntare lo sguardo alle meraviglie che l'Universo avrà in serbo per noi.