

Che strada seguire? (31/01/2007)

Via via che il Modello standard si affermava come unica realtà di progresso scientifico nella fisica, che fosse possibile confrontare con le osservazioni, non è che i teorici se ne stessero con le mani in mano. Alcuni cercavano, almeno sulla carta, di risolvere il contrasto di base tra Relatività Generale e Meccanica Quantistica, che ricordiamo per l'ennesima volta. La prima assume che tutte le quantità fisiche (spazio, tempo, energia ecc.) siano rigorosamente continue, mentre sappiamo che, per evidenza sperimentale, non lo sono. La seconda, assume a priori uno spazio e un tempo classici e, sebbene sia possibile rendere compatibile la MQ con la Relatività Speciale ponendo il limite della velocità della luce, in ogni caso non sono previste curvature dello spazio e del tempo.

Si potrebbe quindi pensare a rendere quantistica la RG, o a rendere general relativistica la MQ, o ad alternative ancora diverse. Stasera vedremo come si dovrebbe procedere se si volesse rendere quantistica la RG.

Dopo che Feynman e altri ebbero costruito l'elettrodinamica quantistica, molti si dissero: "Perché non possiamo costruire anche una teoria della gravità quantistica basandoci sullo stesso modello?" e provarono. Si ipotizzò il "mediatore" della forza gravitazionale, in analogia a come il fotone è il mediatore della forza elettromagnetica. Questo mediatore doveva essere il "gravitone". Esso sta alle onde gravitazionali come il fotone sta alle onde elettromagnetiche, e quindi non è esattamente un'onda gravitazionale in senso stretto, ma il costituente minimo, quantizzato, dell'onda gravitazionale stessa.

Bisognava decidere alcune caratteristiche di questa particella. In primo luogo, la sua massa doveva essere nulla, poiché sappiamo sperimentalmente che il campo gravitazionale diminuisce come il quadrato della distanza, e abbiamo già visto che questa è una caratteristica dei "mediatori" a massa nulla. Ricordiamo il perché. Nel caso dell'interazione debole, per esempio, i bosoni mediatori W e H hanno massa non nulla. Questo significa che le particelle virtuali corrispondenti, quelle che debbono trasportare la "forza" vera e propria da una particella reale all'altra, non possono sgusciar fuori dallo spazio con un'energia prossima allo zero ($E_{\min}=hc/\lambda_{\max}\approx 0$) e, di conseguenza, durare per un tempo enorme ($\Delta t_{\max}=h/E_{\min}$), trasmettendo la "spinta" fino a grande distanza. Siccome già hanno un'energia minima che dipende dalla massa ($E_{\min}=Mc^2$), possono durare solo tempi brevissimi, e dunque trasmettere l'interazione solo a oggetti molto vicini. Dunque, la massa del gravitone doveva essere nulla.

Altre caratteristiche della RG, inoltre, imponevano che lo spin del gravitone dovesse essere 2. Possiamo pensare il gravitone come una deformazione locale della curvatura dello spaziotempo che si propaga alla velocità della luce. Per deformare una curvatura senza che una "stiratura" faccia sparire la deformazione, quest'ultima deve avere la forma di una carta di caramella arrotolata, ovvero le due estremità debbono essere ruotate in due direzioni opposte. Spin 2

Definite queste caratteristiche del gravitone, si poteva procedere alla scrittura dei diagrammi di Feynman relativi allo scambio di gravitoni tra due particelle dotate di massa, e quindi della "forza equivalente" esercitata tra due masse coi metodi soliti della MQ. Peccato che questa forza venisse sempre infinita.

Il problema della "rinormalizzazione" degli infiniti era già stato affrontato e risolto da Feynman, sostituendoli con i valori sperimentali delle cariche e delle masse. Purtroppo, tentando la stessa procedura con i gravitoni, gl'infiniti si presentavano molto prima che fosse possibile concludere qualsiasi calcolo e rinormalizzare. Vediamo perché.

Il fotone, malgrado sia il mediatore della forza elettromagnetica perché interagisce con qualsiasi oggetto dotato di carica elettrica, in sé non porta nessuna carica elettrica. Dunque, due fotoni non possono interagire tra loro, ma solo con altre particelle cariche. Per questo motivo, nell'elettrodinamica quantistica si calcolano e si sommano tutti i tipi diversi di scambi di fotoni che possono esserci in una certa situazione, e il risultato del calcolo ci dice quant'è la forza.

Nel caso del gravitone, c'è una complicazione immediata. Il gravitone, sia pure virtuale, porta quantità di moto. Ma, dalle equazioni della RG, si verifica che anche la quantità di moto è, a sua volta, una delle sorgenti della forza di gravità. Tradotto in termini quantistici, in gravitone, al contrario del fotone, è lui stesso "portatore di carica" e, per la precisione, della stessa carica (gravitazionale) tra cui viene scambiato. Dunque, i gravitoni interagiscono tra loro. All'atto pratico, questo si traduce nel fatto che anche al livello più basso di diagrammi di Feynman, nel diagramma che, nel caso elettromagnetico conterrebbe un solo fotone, il gravitone iniziale si moltiplica immediatamente in una serie di altri gravitoni, ciascuno dei quali interagisce con gli altri, e siccome non c'è un limite teorico all'energia che un gravitone può portare (se la sua lunghezza d'onda tende a zero, la sua energia tende a infinito), nello scambio di un gravitone virtuale tra due particelle dotate di massa, si crea tra le due un campo d'energia infinito prima che il gravitone iniziale possa passare dalla prima alla seconda particella. Dunque, il tentativo "ingenuo" di quantizzare il campo gravitazionale in analogia ai campi quantistici tradizionali, fallisce immediatamente.

Ci sarebbe una scappatoia, ed è questa che, inizialmente, è stata seguita dall'insieme di teorie che hanno finito per confluire nel filone di ricerca detto in modo generico "Quantum Gravity".

Nel tentativo di costruire una teoria quantistica della gravità secondo i dettami tradizionali, il primo infinito si presenta a causa della combinazione di due motivi:

- 1) i gravitoni, a differenza dei fotoni, interagiscono tra loro
- 2) non esiste un limite inferiore alla λ di un gravitone, e quindi la sua energia può tendere a infinito.

A conti fatti, si dimostra che se la λ del gravitone non potesse scendere fino a zero, l'energia nello scambio di gravitoni virtuali non salirebbe all'infinito. Ma come si fa a impedire l'esistenza di gravitoni di λ inferiore a un certo valore? Semplice. Si suppone che lo spaziotempo sia, a sua volta, quantizzato, e che perciò non abbia senso parlare di "distanza" al disotto di un certo valore minimo, che rappresenterebbe il "quanto" di lunghezza geometrica. Ovviamente, perdendo di significato la distanza, non potrebbero esistere gravitoni più corti del quanto di lunghezza, e questi manterrebbero un'energia finita, permettendo di completare il calcolo.

Dunque, nel momento in cui si affronta la riconciliazione tra RG e MQ supponendo che la MQ sia "esatta", e che sia solo necessario riscrivere le equazioni della RG secondo i dettami della MQ, si giunge alla conclusione che proprio lo spaziotempo deve essere quantizzato. La scelta "ragionevole" per la dimensione del quanto di spazio e di tempo sono la lunghezza di Planck (10^{-33} cm) e il tempo di Planck (10^{-44} s). Intendiamoci: non è che, dopo aver fatto questo, sia andato tutto a posto, ma per lo meno è un inizio.