

Campi gravitazionali efficaci in urti oltre la scala di Planck

Relatore: Dott. Dimitri Colferai <dimitri.colferai@unifi.it>

Candidato: Luca Simone Giovani Betti

Anno Accademico 2013—1014

La gravitazione non si adatta bene al Modello Standard (SM) delle interazioni fondamentali. Le difficoltà nella formulazione di una teoria di campo quantistica per la gravità (QG) possono essere attribuite a diversi fattori, tra i quali la non rinormalizzabilità e i problemi relativi alla perdita di informazione.

In questo lavoro analizziamo un modello semiclassico per le interazioni gravitazionali ad alta energia e calcoliamo il valore d'aspettazione di un campo gravitazionale efficace usando le prescrizioni del modello, con il metodo dei diagrammi di Feynman. Il calcolo di questo particolare campo rappresenta un risultato originale.

Il modello di Amati, Ciafaloni e Veneziano (ACV) su cui ci basiamo è una descrizione in termini di matrice S dell'interazione gravitazionale ad energie molto maggiori della massa di Planck, $m_P = \sqrt{\hbar c/G} \approx 10^{19} \text{ GeV}$. La descrizione di ACV è basata sulla Teoria delle Stringhe (ST); il modello può essere tuttavia dedotto da altri punti di partenza.

Nel Capitolo 1 passiamo in rassegna alcuni risultati classici di GR che dovrebbero essere riprodotti nel limite classico di qualsiasi teoria di QG non falsa. Mostriamo la derivazione della metrica di Aichelburg e Sexl (AS) per una singola sorgente che si muove a velocità c . Questa metrica ha la forma di un'onda d'urto piana che si muove insieme alla particella che la genera. Notiamo che la metrica di AS deriva dallo schiacciamento su un piano della metrica di Schwarzschild per effetto della contrazione ultra-relativistica delle lunghezze. Il profilo funzionale in direzione trasversa si ritrova in uno dei campi dell'approccio di ACV. Illustriamo poi il comportamento delle geodetiche che attraversano il fronte d'onda, le quali subiscono uno *shift* spazio-temporale rispetto al sistema di riferimento (RS) di un osservatore posto su una delle geodetiche.

Nel Capitolo 2 ricordiamo le basi della teoria dello scattering quantistico per presentare poi alcuni risultati semiclassici e la descrizione di ACV. Descriviamo il risultato di 't Hooft per la collisione di un'onda piana su un fronte d'onda di AS e generalizziamo il risultato ai pacchetti d'onda. Presentiamo poi l'approccio di ACV, in particolare per quanto riguarda lo scambio iconale di gravitoni, e riassumiamo un risultato analitico relativo ad urti a simmetria cilindrica di una particella contro un anello. Tale descrizione porta all'introduzione di un parametro di impatto critico sotto il quale sono congetturati degli effetti quantistici che possono avere un ruolo nel collasso gravitazionale. Si tratta di un aspetto interessante, dato che il collasso gravitazionale rappresenta un'altra incongruenza fondamentale tra Meccanica Quantistica (QM) e Relatività Generale (GR). Quest'ultima predice la soluzione di buco nero, che contiene una singolarità classica della curvatura. Sul fronte della QM, il collasso sembra essere riferito ad un difetto di unitarietà della matrice S elastica.

Nel particolare regime investigato da ACV, gli effetti di stringa possono essere trascurati mentre gli effetti di gravità sono sensibili. Ciò porta alla possibilità di descrivere interazioni gravitazionali in termini di diagrammi di Feynman. Nel Capitolo 3 mostriamo come calcolare diagrammi di Feynman per scattering gravitazionale iconale e presentiamo il risultato principale del nostro lavoro.

Calcoliamo il valore d'aspettazione del campo gravitazionale efficace relativo allo scambio iconale di un infinito numero di gravitoni, con momento trasferito totale finito. Il risultato che troviamo riproduce gli *shift* classici di AS. La nostra derivazione conferma, e prova in un modo più rigoroso, un analogo risultato presente in letteratura. Sottolineiamo due cose interessanti che abbiamo mostrato: che una metrica può essere calcolata in termini di diagrammi di Feynman, e che essi sono capaci di produrre un termine proporzionale alla delta di Dirac di uno *shift*, il quale riproduce quello descritto da AS in un contesto puramente classico. Questo quadro suggerisce che ordini successivi nell'espansione di ACV possano produrre effetti quantistici non previsti dall'approccio classico di AS. Alla fine del Capitolo 3, suggeriamo anche alcuni possibili effetti derivanti dal rinunciare ad alcune approssimazioni fatte nel nostro calcolo, per indagare contributi di ordine successivo.

Nel Capitolo 4 discutiamo il nostro risultato e commentiamo molti aspetti importanti degli studi che abbiamo analizzato. Infine, suggeriamo alcune possibili ricerche future e test di validità per gli approcci che descriviamo, nella speranza possano condurre a prossimi avanzamenti sull'intera questione della gravitazione.