

Equilibrio Termodinamico in Relatività Generale

Studente: Davide Rindori (davide.rindori@unifi.it)

Relatore: Prof. Francesco Becattini (becattini@fi.infn.it)

La teoria della Relatività Generale (GR) è l'attuale teoria della gravitazione. Nonostante le sue numerose e continue conferme sperimentali, alcuni indizi, come i teoremi di singolarità, suggeriscono che la teoria sia in qualche modo incompleta. Volendo essere più precisi potremmo dire che la GR è una teoria classica, mentre invece la materia è, ad un livello fondamentale, quantistica. Possiamo pensare la GR come costituita da due parti: da un lato abbiamo il modo in cui la geometria dello spaziotempo influenza la materia, e dall'altro abbiamo le equazioni di campo di Einstein, che governano la dinamica della geometria in risposta al tensore energia-impulso della materia. Molti progressi sono stati fatti nella ricerca di una teoria quantistica della gravità, tuttavia una teoria completamente soddisfacente è ancora oltre la nostra portata. Possiamo comunque utilizzare la prima parte della GR e considerare il caso in cui la materia quantistica si propaga in una geometria curva fissata.

Il primo risultato fondamentale di teoria quantistica dei campi (QFT) in spaziotempo curvo si deve a Hawking, che nel 1976 scoprì che i buchi neri non sono propriamente neri ma emettono radiazione termica ad una temperatura detta *temperatura di Hawking*, che dipende dalle caratteristiche geometriche del buco nero. Nel tentativo di comprendere la fisica dietro tale fenomeno, sempre nel 1976 Unruh trovò un altro dei principali risultati di QFT in spaziotempo curvo: l'*effetto Unruh*. Esso si manifesta anche in spaziotempo piatto, e mostra che un osservatore accelerato nello stato di vuoto di Minkowski osserva uno spettro termico di particelle. In seguito a queste scoperte, lo studio della QFT in spaziotempo curvo è stato messo su basi teoriche rigorose.

Parte dell'attuale interesse nei confronti di questo settore di fisica proviene dalla cosmologia, ossia lo studio dell'evoluzione dell'universo su grande scala. Le osservazioni suggeriscono che l'universo si trovi in un'espansione accelerata, il che è interpretato dal punto di vista teorico come evidenza di un'energia di vuoto non-nulla. Non sappiamo ad oggi quale sia il valore di tale energia di vuoto, ma quale che sia la risposta, sembra chiaro che la comprensione del comportamento della materia quantistica in uno spaziotempo curvo giochi un ruolo importante. Inoltre, un ingrediente fondamentale della cosmologia e dell'astrofisica relativistica è il tensore energia-impulso, di cui si cerca di calcolare il valore d'aspettazione all'equilibrio termodinamico includendo effetti quantistici.

Altro interesse in questa direzione è stimolato dal successo della descrizione del plasma di quark e gluoni che si forma nelle collisioni nucleari come un fluido relativistico con accelerazione e vorticità in equilibrio termodinamico locale. Quando la temperatura diventa molto bassa e ci avviciniamo allo stato di vuoto, è noto che l'accelerazione innesca particolari effetti quantistici-relativistici, come messo in evidenza per primo da Unruh. Lo stesso effetto Unruh e le sue conseguenze sono tuttora oggetto di investigazione. Infine, la QFT in spaziotempo curvo diventa lo strumento naturale in cui inquadrare il famoso *paradosso dell'informazione*, dovuto all'evaporazione dei buchi neri a seguito della radiazione di Hawking.

L'obiettivo della ricerca è dunque incentrato nel trovare espressioni del valore d'aspettazione del tensore energia-impulso all'equilibrio termodinamico, sia globale che locale, in metriche curve assegnate. Si ricercano anche espressioni approssimate in geometrie generali ed eventuali correzioni quantistiche rilevanti. A basse temperature ci aspettiamo di recuperare i risultati di Unruh e Hawking nei rispettivi spazi.