

Correzioni quantistiche in equilibrio termodinamico generale per il campo di Dirac libero

Candidato: Matteo Buzzegoli

m.buzzegoli@gmail.com

Relatore: Prof. Francesco Becattini

becattini@fi.infn.it

In questo lavoro di tesi abbiamo calcolato, tramite uno sviluppo perturbativo, correzioni alla media statistica del tensore energia-impulso per stati di equilibrio termodinamico con accelerazione e vorticità. Un tale risultato può essere inquadrato nel contesto della fluidodinamica relativistica.

Essa è uno strumento importante per la fisica degli ioni pesanti ultra relativistici, per l'astrofisica e per la cosmologia. Ed è una teoria effettiva che descrive la dinamica macroscopica di sistemi che realizzano una condizione di *equilibrio termodinamico locale*; le equazioni fondamentali della teoria sono le equazioni di conservazione associate ai *valori medi* del tensore energia-impulso e delle correnti di carica. Ad un livello fondamentale essa è descritta da una teoria quantistica, quindi ogni osservabile macroscopico è la media del corrispondente operatore quantistico fatta con un opportuno operatore statistico quantistico.

All'equilibrio *globale omogeneo* la forma del tensore-energia impulso è chiamata *ideale*, ed è determinata dalla simmetria dell'operatore densità che è fissato fornendo i potenziali chimici μ e un quadri-vettore costante $\beta = u/T$, in cui T è la temperatura e u la quadri-velocità.

La fluidodinamica non ideale si ottiene aggiungendo nuovi termini al tensore energia-impulso ideale, solitamente legati a fenomeni dissipativi, che dipendono da gradienti dei campi termodinamici β e μ e che sono accoppiati a dei coefficienti, detti di trasporto, come la viscosità e la conducibilità termica. Tuttavia, possiamo anche aggiungere termini correttivi dipendenti dai gradienti di β e μ che non implicano dissipazione e che, quindi, non incrementano l'entropia.

In questo lavoro, abbiamo mostrato come questi termini non dissipativi emergono naturalmente in sistemi all'equilibrio con accelerazione e vorticità, chiamato *equilibrio globale generale*. Abbiamo messo in evidenza come questi termini addizionali siano puramente quantistici e che non sono presenti nei corrispondenti sistemi classici. Abbiamo studiato la forma di un qualsiasi operatore locale in questo equilibrio generale applicando uno sviluppo perturbativo intorno all'equilibrio omogeneo per piccoli rapporti tra accelerazione (velocità angolare) e temperatura e abbiamo ricavato le correzioni del tensore energia-impulso al secondo ordine in questo sviluppo. Abbiamo trovato che tutte le funzioni termodinamiche, incluse la densità di energia e di pressione, acquisiscono correzioni dipendenti dall'accelerazione e dalla velocità angolare. I coefficienti termodinamici relativi a queste correzioni possono essere espressi in termini di correlatori fra il tensore energia-impulso e i generatori del gruppo di Lorentz. Inoltre, abbiamo trovato le relazioni che devono sussistere fra questi coefficienti affinché il valore medio del tensore energia-impulso sia conservato.

Abbiamo calcolato queste correzioni per un campo di Dirac libero, sia massivo che massless, e abbiamo verificato che i coefficienti soddisfanno le relazioni trovate. Questi termini non ideali dipendono dalla forma esplicita del tensore energia-impulso, ciò implica che diversi tensori energia-impulso del campo di Dirac, sia simmetrico che canonico, sono termodinamicamente inequivalenti.

Abbiamo stimato l'ordine di grandezza di queste correzioni per un gas di Fermi non interagente in varie condizioni di densità e temperatura. Abbiamo mostrato che i valori tipici di accelerazione e rotazione sono troppo bassi per dare correzioni rilevanti fenomenologicamente ad eccezione di due casi. Per sistemi non-relativistici a basse temperature e densità le correzioni al calore specifico a densità costante diventano significative. L'altro caso è il plasma di quark e gluoni, che, tramite collisione di ioni pesanti, viene creato negli acceleratori con valori di accelerazione molto elevate. Se consideriamo i risultati trovati come un'indicazione delle correzioni dovute all'accelerazione per il plasma di quark e gluoni, non possiamo escludere che possono avere qualche rilevanza fenomenologica.