

**Relatore:**  
Prof. Aldo Lorenzo Cotrone  
cotrone@fi.infn.it

**Candidato:**  
Saverio Bocini

## Stato termico di un osservatore accelerato nel vuoto

In questo lavoro si mostra che un osservatore uniformemente accelerato in moto nello spazio vuoto sperimenta fisica termica, cioè misura una temperatura diversa da zero. Per farlo, prima si introduce il formalismo dell'operatore densità e quello del path integral.

Il formalismo dell'operatore densità è utilizzato per descrivere l'entanglement tra sottosistemi di un sistema chiuso più grande. Inizialmente, l'introduzione dell'operatore densità è portata avanti all'interno del formalismo tradizionale della meccanica quantistica, cioè quello dello stato vettore, dopodiché si vede come l'operatore densità può essere introdotto indipendentemente dal formalismo tradizionale. Si introducono anche alcuni elementi di teoria dell'informazione. In particolare, si mostra che un sottosistema è descritto dalla matrice densità ridotta. Si definiscono stati puri e misti e si vede che il sottosistema di uno stato puro può essere anche misto. Infine, si introduce l'entropia di von Neumann, capace di misurare il livello di entanglement di uno stato, e il concetto di stato termico.

Il concetto di path integral è introdotto senza pretese di rigore nel formalismo. Si enuncia il principio del path integral e se ne mostrano alcune applicazioni in teoria quantistica dei campi. In particolare, si utilizza questo formalismo per rappresentare alcuni oggetti fisici: lo stato termico, la funzione di partizione e lo stato di vuoto di una teoria di campo scalare.

Introdotti questi due concetti, si passa allo studio della fisica dal punto di vista di un osservatore uniformemente accelerato nello spaziotempo di Minkowski vuoto. Si argomenta che tale osservatore si muove in una regione dello spazio di Minkowski nota come *Rindler Wedge* e che lo stato con il quale descrive il sistema è lo stato termico. Per eseguire questa dimostrazione, si divide lo spazio di Hilbert relativo al vuoto di Minkowski in due parti, corrispondenti a due *Rindler Wedge*, e si riscrive il vuoto di Minkowski in una forma nota come *thermofield double state*, che consiste in uno stato puro che non può essere espresso come il prodotto diretto di due vettori dei sottospazi considerati. Questo significa che lo stato di vuoto di Minkowski non può essere rappresentato come il prodotto diretto dei vuoti dei due *Rindler Wedge*. Ciò implica che, per un osservatore in un *Rindler Wedge*, il vuoto di Minkowski corrisponde ad uno stato eccitato. In particolare, tenendo conto che la matrice densità per il *Rindler Wedge* si ottiene dalla traccia parziale su metà spazio della matrice densità corrispondente al vuoto di Minkowski, si usa il formalismo del path integral introdotto nel secondo capitolo per mostrare che il vuoto di Minkowski corrisponde proprio ad uno stato termico.