

Sintesi della relazione per la prova finale

Studente: Nicholas Pini

Matricola: 813484

Corso di laurea: Fisica (magistrale)

Data seduta di laurea: 21/11/2022

Telefono: 345 6954331

Relatore: prof. Leonardo Giusti

Correlatore: prof. Michele Pepe

La transizione di deconfinamento nella teoria di Yang-Mills con gruppo di gauge $Sp(2)$ in 3 dimensioni e studio degli effetti di stringa

Le teorie di gauge non abeliane sono caratterizzate dal fenomeno del confinamento di colore: al di sotto di una certa temperatura critica, quindi nella fase detta "confinante", due cariche di colore (quark) interagiscono con un potenziale che cresce linearmente con la distanza, nel limite di grandi distanze. Questo fa sì che una carica di colore non è direttamente osservabile singolarmente. Nonostante non ci sia ancora una rigorosa dimostrazione del fenomeno del confinamento, ne esistono varie prove sperimentali.

Il potenziale di interazione fra due quark genera un tubo di flusso che connette le due cariche: ciò suggerisce di modellare questo potenziale come una sottile stringa vibrante che collega i due quark. Questo modello è detto Effective String Theory (EST) e, come suggerisce il nome, è solo un modello effettivo valido a grandi distanze e non una completa descrizione non perturbativa della teoria. Ciò nonostante, è un modello estremamente efficace e predittivo: già solo il primo termine dell'espansione a lunghe distanze di questo modello ha come conseguenza la presenza di un termine correttivo nel potenziale d'interazione fra quark, detto termine di Lüscher, il quale ha avuto molti riscontri in simulazioni della teoria su reticolo.

Il fenomeno del confinamento dipende dalla temperatura della teoria, e comporta una transizione di fase: a una certa temperatura critica, il sistema passa dalla fase confinata (bassa temperatura) ad una fase deconfinata (alta temperatura), nella quale il tubo di flusso viene distrutto dalle fluttuazioni di stringa e non c'è più presenza di potenziale confinante fra le due cariche di colore. Di particolare interesse nell'ambito delle transizioni di fase è lo studio degli esponenti critici: descrivono l'andamento di quantità fondamentali del sistema nell'intorno della temperatura critica. A questo proposito, una di

queste quantità è la lunghezza di correlazione del sistema, e la descrizione effettiva di stringa prevede che l'esponente critico associato a tale quantità è $\nu = 1/2$. In generale, le transizioni di fase possono essere di 1° o 2° ordine: nel secondo caso, è particolarmente importante il concetto di classi di universalità, per il quale sistemi fisici molto diversi fra loro, aventi però la stessa dimensionalità e rottura di simmetria, sono descritti dagli stessi esponenti critici. Per quanto riguarda il confinamento di cariche di colore, esiste una congettura dovuta a Svetitsky e Yaffe: in un sistema $(d + 1)$ dimensionale, se la transizione di fase di deconfinamento è di secondo ordine, allora il sistema è nella stessa classe di universalità del modello di Ising d dimensionale: in entrambi i sistemi, la simmetria rotta è una simmetria globale associata al centro del gruppo di gauge della teoria originale. Questo significa che l'esponente critico ν associato alla lunghezza di correlazione della teoria di gauge in $(2 + 1)$ dimensioni è lo stesso del modello di Ising in 2 dimensioni, cioè $\nu = 1$. Questo risultato però è in contrasto con l'analisi fatta usando la EST, che prevede $\nu = 1/2$.

L'obiettivo quindi è quello di studiare teorie di gauge non abeliane e verificare se la discrepanza fra EST e la congettura di Svetitsky e Yaffe può essere risolta. Trattandosi di fenomeni non perturbativi, si ricorre alla Lattice Gauge Theory (LGT) per studiarli: si tratta di una regolarizzazione della teoria per la quale si discretizza lo spaziotempo su un reticolo a passo reticolare costante. Ciò rende la teoria e il path integral ben definiti, e, simulando la teoria su un calcolatore, permette di ottenere informazioni non perturbative sul sistema e le sue osservabili. La teoria è definita con temperatura finita rendendo la direzione temporale periodica.

Questo lavoro si occupa di studiare il fenomeno del confinamento nella teoria di Yang-Mills in $(2 + 1)$ dimensioni con gruppo di gauge $\text{Sp}(2)$: la scelta di questo gruppo è dovuta al fatto che la transizione di deconfinamento è ben risaputo essere del secondo ordine, ed inoltre i gruppi $\text{Sp}(N)$ hanno \mathbb{Z}_2 come centro del gruppo per ogni valore di N , perciò la simmetria rotta non dipende dalla dimensionalità del gruppo di gauge stesso (come invece avviene coi gruppi $\text{SU}(N)$ più comunemente scelti). Si è sviluppato un codice su calcolatore da zero che permette di simulare la LGT tramite metodi Monte Carlo: in particolare, si è utilizzato l'algoritmo Heat-Bath come sviluppato da Cabibbo e Marinari per la generazione di nuove configurazioni Monte Carlo del sistema con gruppo di gauge $\text{Sp}(2)$. Sono state effettuate simulazioni per valori della lunghezza del reticolo in direzione temporale $N_t = 5, 6, 7, 8$ e in direzione spaziale $L = 40, 60, 80, 100$, con l'obiettivo di studiare la transizione di fase e ridurre effetti di finite size scaling dovuti a volumi finiti. È stato

inoltre misurato il loop di Polyakov (il parametro d'ordine della transizione di fase a cui siamo interessati) a temperature appena sotto la temperatura critica di transizione di fase di deconfinamento, con l'obiettivo di studiarne il correlatore, a cui è associato il potenziale di interazione fra le due cariche di colore, e gli effetti di stringa.

Deconfinement transition in 3D Yang-Mills theory with $\text{Sp}(2)$ gauge group and study of string effects

TODO