

Correlazione di Densità di una Miscela di Atomi Ultrafreddi in Reticolo Ottico - Density Correlation of a Mixture of Ultracold Atoms in an Optical Lattice

Candidato: Vladislav Gavryusev, vladgavr@gmail.com

Relatore: dott. Francesco Minardi, minardi@lens.unifi.it

Correlatore: prof. Massimo Inguscio, inguscio@lens.unifi.it

Nel presente lavoro di tesi è stata integrata una nuova tecnica diagnostica all'apparato sperimentale già esistente per studiare il comportamento di una miscela di due specie di atomi alcalini intrappolati in un reticolo creato dalla luce. L'apparato usato permette di ottenere un doppio condensato di Bose-Einstein di atomi di ^{87}Rb e ^{41}K e di intrappolarlo in un reticolo ottico tridimensionale. In queste condizioni il campione atomico risulta essere ben descritto dal modello di Bose-Hubbard a due specie atomiche, i cui parametri possono essere controllati sperimentalmente con grande precisione. Ciò può permettere di esplorare tutto il diagramma di fase del sistema, in cui è prevista la presenza di molte fasi interessanti ed ancora mai esplorate, fra cui un possibile ordinamento "anti-ferromagnetico" delle due specie nel reticolo.

Per poter studiare queste nuove fasi della materia bisogna disporre di metodi diagnostici capaci di accedere alle osservabili che le discriminano. Per osservare la fase "anti-ferromagnetica" è necessario conoscere la disposizione degli atomi nel reticolo. Poiché non è possibile integrare nell'apparato esistente una tecnica di rivelazione diretta che permetta di risolvere sito per sito lo stato del sistema, è stato scelto di sfruttare una tecnica indiretta basata sull'effetto Hanbury Brown e Twiss. Questo effetto causa la presenza di una correlazione nelle fluttuazioni della densità atomica, legata alla statistica quantistica delle particelle bosoniche. La funzione di correlazione spaziale viene calcolata fra punti diversi delle immagini contenenti il profilo di densità di un campione atomico, lasciato espandere per un certo tempo dopo essere stato rilasciato dal reticolo. Il profilo e la posizione dei picchi di correlazione sono legati alla disposizione degli atomi nel potenziale ottico prima del loro rilascio.

L'apparato sperimentale è stato adeguato, ove necessario, ai requisiti di questa nuova tecnica ed è stata sviluppata una nuova procedura di rivelazione per ridurre al minimo il contributo delle fonti di rumore alle immagini acquisite. L'efficacia di questi interventi è stata verificata studiando una situazione fisica già nota in letteratura, in presenza del solo Rb, e sono stati osservati con successo i primi picchi di correlazione alle distanze attese. Poi è stato svolto un lavoro completo ed esauriente di calibrazione di tutti i parametri sperimentali ritenuti importanti, sulla base di considerazioni teoriche generali, per massimizzare la qualità del segnale di correlazione osservato. Uno studio di questo tipo non era presente in letteratura e può essere d'aiuto per chi in futuro vorrà applicare questa tecnica diagnostica ad altri esperimenti in questo o in altri campi.

Lo sviluppo ed il perfezionamento del programma di analisi dei dati, utilizzato per calcolare la funzione di correlazione ed estrarre il segnale di correlazione cercato, hanno costituito una parte molto importante del presente lavoro. Grande attenzione è stata dedicata all'affidabilità del suo funzionamento ed ai metodi disponibili per migliorare il rapporto segnale/rumore dei risultati con esso ottenuti.

Sono state fatte due serie di misure in presenza del solo Rb. Lo studio dell'andamento del segnale di correlazione al variare dell'ampiezza del reticolo ha mostrato un buon accordo con le previsioni teoriche. Nel secondo studio è stato osservato il comportamento del segnale di correlazione al variare del tempo di intrappolamento nel reticolo. Il campione era inizialmente in uno stato in cui era presente una grande frazione di atomi nella fase Superfluida ed era atteso che questa frazione diminuisse all'aumentare del tempo, per via di un processo di decoerenza indotto dall'ambiente circostante. Questa predizione teorica è stata confermata, mostrando come parte degli atomi che hanno perso la coerenza si venga a trovare in uno stato con proprietà simili a quello di uno stato Isolante di Mott, in quanto dà luogo ad un segnale di correlazione crescente all'aumentare del tempo.

Infine, si è cercato di misurare un segnale di correlazione in presenza di una miscela di ^{87}Rb e ^{41}K intrappolata nel reticolo ottico tridimensionale. Il segnale del Rb è stato osservato ed è in accordo con le previsioni, mentre non è stato ottenuto quello del K. Sono state identificate le possibili cause di questa situazione e sono state formulate delle strategie volte al superamento dei problemi sperimentali riscontrati. Quando essi saranno risolti si potrà procedere al promettente studio del ricco diagramma di fase di una miscela di atomi ultrafreddi predetto dal modello di Bose-Hubbard a due specie atomiche.