

TITOLO: Creazione di stati atomici coerenti tramite transizioni proibite in gas di fermioni ultrafreddi

AUTORE: Lorenzo Francesco Livi

RELATORE: Dott. Leonardo Fallani

Questo lavoro di tesi è stato realizzato nell'ambito dell'esperimento attivo presso il dipartimento di Fisica ed Astronomia dell'Università degli Studi di Firenze dedicato allo studio sperimentale di gas quantistici di Itterbio (Yb). Obiettivo del lavoro è stato il controllo coerente dell'eccitazione della transizione ultrastretta $^1S_0 \rightarrow ^3P_0$ in atomi fermionici di ^{173}Yb che ha permesso di osservare per la prima volta l'evoluzione coerente delle oscillazioni di spin interorbitali del sistema a due particelle in cui un atomo nello stato fondamentale 1S_0 scambia il suo spin con un atomo nello stato metastabile 3P_0 come conseguenza di proprietà fondamentali della meccanica quantistica legate alla simmetria.

Il sistema atomico utilizzato per l'esperimento è un gas degenere di ^{173}Yb preparato attraverso una fase di raffreddamento laser seguita da una di raffreddamento evaporativo realizzata all'interno di una trappola ottica. Al termine della fase di raffreddamento un processo di pompaggio ottico consente di produrre un gas degenere polarizzato negli stati di spin $m_F = \pm 5/2$ che viene caricato all'interno di un reticolo ottico operante alla lunghezza d'onda magica di 759 nm in regime di Lamb-Dicke.

La prima parte del lavoro di tesi ha avuto come obiettivo la caratterizzazione della transizione $^1S_0\text{--}^3P_0$ mediante misure di spettroscopia. Oltre a picchi associati a stati a singola particella, sono stati messi in evidenza picchi riconducibili all'interazione fra due particelle in siti reticolari doppiamente occupati. Fra questi, in particolare, sono stati presi in considerazione gli stati di singoletto e di tripletto di spin in cui una particella si trova nel livello elettronico fondamentale 1S_0 e l'altra nel livello metastabile 3P_0 .

L'eccitazione della transizione in presenza di un campo magnetico ha permesso di realizzare una sovrapposizione coerente di questi due stati, la cui evoluzione temporale dà luogo alla dinamica delle oscillazioni di spin interorbitali. La misura della frequenza delle oscillazioni al variare della profondità di reticolo ha consentito di determinare la lunghezza di scattering a_{eg-} associata allo stato di tripletto di spin. La stima di a_{eg-} ha reso necessaria la realizzazione di un modello a più bande che fosse in grado di descrivere l'andamento dell'energia d'interazione in funzione della lunghezza di scattering per due atomi fortemente interagenti all'interno di un sito reticolare, regime questo in cui il modello a singola banda di Fermi-Hubbard, che prevede una dipendenza lineare fra le due grandezze, perde di validità.

Dall'adattamento del modello ai dati sperimentali è risultato $a_{eg-} = (3300 \pm 400) a_0$, dove a_0 è il raggio di Bohr. Questa rappresenta la prima misura accurata della lunghezza di scattering a_{eg-} della quale prima di questo lavoro era noto solo un limite inferiore.

In conclusione, in questo lavoro di tesi l'evoluzione coerente delle oscillazioni di spin in cui due atomi di ^{173}Yb appartenenti ad orbitali diversi scambiano fra loro periodicamente lo stato di spin è stata osservata per la prima volta. Dal momento che l'interazione di scambio costituisce il meccanismo alla base di numerosi fenomeni caratteristici del magnetismo, questa misura rappresenta un passo avanti nella realizzazione di simulatori quantistici basati su atomi ultrafreddi interagenti all'interno di un reticolo ottico.