

Intrappolamento e raffreddamento laser di atomi di ^{87}Sr e ^{88}Sr

Candidato: **Tommaso Mazzoni** t.mazzoni@gmail.com
Relatore: **Dr. Nicola Poli** poli@lens.unifi.it

Riassunto:

In questo lavoro di tesi, svolto presso un laboratorio del LENS, è stato studiato e realizzato un sistema per il raffreddamento e intrappolamento laser di due isotopi dello stronzio: l'isotopo bosonico più abbondante, lo ^{88}Sr , e l'unico isotopo fermionico stabile presente in natura, lo ^{87}Sr . L'apparato sperimentale, già utilizzato in precedenza per l'intrappolamento dell'isotopo 88, è stato qui ottimizzato ed ampliato per poter intrappolare per la prima volta in questo laboratorio un campione freddo di atomi di ^{87}Sr .

La differenza sostanziale tra i due isotopi risiede nello spin nucleare. Lo ^{88}Sr , con $I = 0$, è un bosone che presenta uno stato fondamentale privo di momento magnetico; lo ^{87}Sr , invece, è l'unico isotopo stabile dello stronzio ad avere uno spin nucleare diverso da zero. Avendo uno spin nucleare $I = 9/2$ presenta una struttura iperfine molto complessa, che ne complica l'intrappolamento sulla riga stretta d'intercombinazione $^1\text{S}_0\text{---}^3\text{P}_1$ tipica dei metalli alcalino terrosi. Oltretutto, la piccola abbondanza isotopica limita il numero di atomi intrappolabili ad un livello per il quale ne risulta difficile la rivelazione. Uno studio teorico delle caratteristiche di questo isotopo è stato necessario al fine di individuare le metodologie sperimentali più efficaci per intrappolare il più grande numero di atomi possibile e portarli fino alla fine del ciclo di raffreddamento. Una volta implementati nell'apparato i cambiamenti necessari, abbiamo operato una serie di ottimizzazioni di tutti i parametri e una caratterizzazione del campione atomico nelle varie fasi del raffreddamento.

La sorgente atomica è costituita da un fascio atomico prodotto e collimato all'interno di un forno; gli atomi vengono quindi rallentati in un rallentatore Zeeman e catturati in una trappola magneto-ottica realizzata su due stadi successivi. Il primo stadio, la MOT blu, è realizzato su una transizione permessa larga 32 MHz, che con la sua grande forza per pressione di radiazione consente di catturare un grande numero di atomi. Due laser di ripompa permettono di limitare le perdite verso uno stato metastabile e chiudere lo schema dei livelli. Il secondo stadio, la MOT rossa, è realizzato su una transizione di intercombinazione molto più stretta (7 kHz) e permette di raggiungere temperature al disotto del μK . Per catturare un buon numero di atomi di ^{87}Sr nel primo stadio è stato necessario aggiungere una modulazione in frequenza ad uno dei laser di ripompa, in modo da coprire tutti i livelli di struttura iperfine coinvolti nel processo di ripompaggio. Per realizzare il secondo stadio di raffreddamento sulla transizione di intercombinazione è stato necessario aggiungere un secondo laser per ottenere un rimescolamento tra tutti i livelli Zeeman coinvolti nell'intrappolamento.

Attraverso due metodi di rivelazione basati uno sulla fluorescenza e uno sull'assorbimento risonante della nuvola atomica è stato possibile monitorare il numero di atomi nelle varie fasi, potendo così ottimizzare i numerosi gradi di libertà presenti nell'apparato sperimentale. Nonostante il basso rapporto di abbondanza isotopica dello ^{87}Sr e la sua bassa sezione d'urto di assorbimento, siamo stati in grado di ottenere un'immagine in assorbimento della nuvola atomica alla fine del ciclo di raffreddamento. Nel tentativo di capire le caratteristiche dell'apparato da migliorare per aumentare il piccolo numero di atomi intrappolabili, sono stati studiati il flusso atomico in uscita dal forno e tutti i passaggi del processo di cattura e raffreddamento.

In conclusione del lavoro svolto, abbiamo ottenuto per la prima volta in questo laboratorio un campione di atomi ultra-freddi di ^{87}Sr . L'apparato realizzato è in grado di raffreddare fino a $45\ \mu\text{K}$ 5×10^5 atomi di ^{87}Sr alla fine della fase con modulazione in frequenza del secondo stadio di MOT. Un ulteriore lavoro di ottimizzazione andrà eseguito per poter ottenere un numero significativo di atomi alla fine del ciclo di raffreddamento. Con le modifiche apportate siamo stati anche in grado di migliorare l'intrappolamento dell'isotopo 88, giungendo ad avere 1.2×10^6 atomi di ^{88}Sr alla temperatura di $1\ \mu\text{K}$ alla fine del ciclo di raffreddamento.