

Candidato: **Michele Pini**

Titolo: **Atomi Ultrafreddi in Reticoli Ottici: Soluzioni Numeriche e Applicazioni in Computazione Quantistica**

Relatore: Dott. Leonardo Fallani (fallani@lens.unifi.it)

In questo lavoro di tesi, si è andati a studiare un modello per descrivere il comportamento di atomi ultrafreddi intrappolati in reticoli ottici, in particolare per poterne poi trovare una possibile applicabilità in computazione quantistica.

I sistemi fisici che siamo andati ad indagare si realizzano con atomi bosonici portati a bassissime temperature ($<1 \mu\text{K}$) e poi intrappolati grazie ad un potenziale ottico periodico nello spazio generato con dei fasci laser contropropaganti. Se questo potenziale è reso sufficientemente profondo, gli atomi possono andare a localizzarsi singolarmente nelle buche del potenziale periodico, entrando nella cosiddetta fase di *isolante di Mott*. Un sistema di questo tipo fornisce un'ottima base sperimentale per la realizzazione di un computer quantistico: ognuno dei singoli atomi localizzati nei siti reticolari può infatti essere utilizzato per memorizzare un qubit di informazione.

Nella prima sezione sono stati dati dei richiami teorici riguardo alla fisica del nostro sistema, che presenta molte analogie con la fisica dello stato solido. Per prima cosa, abbiamo spiegato il fenomeno che permette l'intappolamento ottico degli atomi; abbiamo poi richiamato il formalismo degli stati di Bloch e di Wannier per esprimere l'Hamiltoniana di singola particella del sistema nel limite di *tight-binding* (ovvero di reticolo molto profondo), e abbiamo quindi introdotto nella descrizione le interazioni a due particelle, arrivando a scrivere l'Hamiltoniana di Bose-Hubbard nel formalismo di seconda quantizzazione.

Nella seconda sezione abbiamo introdotto un metodo per il calcolo numerico delle funzioni di Bloch e delle funzioni di Wannier massimamente localizzate; abbiamo quindi scritto un programma in Wolfram Mathematica per effettuare il calcolo di queste funzioni ed abbiamo poi calcolato a partire da queste gli andamenti dei parametri del modello di Bose-Hubbard, verificando che fossero coerenti con altri risultati noti.

Nella terza sezione, ci siamo concentrati invece sull'applicabilità di tali sistemi fisici in computazione quantistica. In particolare, abbiamo presentato un modello innovativo per la realizzazione di una porta logica quantistica C-PHASE che sfrutta le interazioni tra atomi primi vicini in bande eccitate del reticolo ottico per generare entanglement tra due qubit. Grazie al metodo di calcolo sviluppato nella sezione precedente, abbiamo poi studiato la fattibilità sperimentale del modello da noi ideato, calcolandone i parametri fondamentali. Infine, sono state proposte alcune possibili estensioni che potranno consentire di superare le limitazioni del protocollo e del modello teorico da noi considerati.