

**Candidato** Giacomo Colzi

**Titolo della Tesi** Interferometria atomica con un Condensato di Bose-Einstein in un potenziale a doppia buca

**Relatore** Prof. Massimo Inguscio ([massimo.inguscio@unifi.it](mailto:massimo.inguscio@unifi.it))

In questo lavoro di tesi riporto l'attività sperimentale volta allo sviluppo di una trappola a doppia buca per atomi ultrafreddi. Impiegando tale set-up per confinare condensati di Bose-Einstein sarà possibile effettuare esperimenti di interferometria ad alta sensibilità con atomi intrappolati, studi sull'entanglement quantistico e simulazioni di sistemi di fisica della materia condensata quali le giunzioni di Josephson bosoniche. Il condensato da noi utilizzato consiste in un Condensato di Bose-Einstein di  $^{39}\text{K}$  con interazioni controllabili. Il controllo sulle interazioni viene ottenuto mediante una larga risonanza di Feshbach situata a circa 400 G.

Come primo importante risultato di questo lavoro di tesi riportiamo, per la prima volta, il controllo della fase relativa di due condensati intrappolati e separati spazialmente contenenti un numero macroscopico di atomi (circa  $10^3$ ) e per tempi di  $\sim 200\text{ ms}$ , superando di un ordine di grandezza esperimenti simili ad oggi realizzati. Tale risultato è stato possibile tunando a zero l'energia di interazione nel condensato e sopprimendo la decoerenza indotta dall'interazione che ad oggi ha fortemente limitato questa tipologia di esperimenti. Siamo stati anche in grado di osservare oscillazioni periodiche nella popolazione delle due buche indotte dal tunneling quantistico tra i modi spaziali separati di  $5\ \mu\text{m}$  per un tempo equivalente a quello ottenuto per l'evoluzione di fase. Mediante queste misure siamo stati in grado di quantificare i parametri dell'Hamiltoniana del sistema, cioè lo sbilanciamento energetico fra le buche e l'energia di tunneling. Fra i miglioramenti che ci hanno permesso di osservare un tempo di coerenza così lungo riporto in questa tesi l'ottimizzazione degli ultimi pasaggi del processo evaporativo, che ci ha permesso di ridurre sensibilmente le eccitazioni del nostro condensato.

Dalla misura sperimentale della coerenza di fase del sistema e dalla modellizzazione teorica di come questa è influenzata dalle fluttuazioni termiche abbiamo stimato un limite superiore per la temperatura del condensato; tale misura è avvenuta in un regime di temperatura in cui le tecniche standard non possono essere applicate a causa della piccolissima frazione termica rispetto a quella condensata.

Durante questo lavoro di tesi ci siamo infine occupati di montare ed ottimizzare un nuovo apparato di generazione di seconda armonica per incrementare la potenza a disposizione per il potenziale di doppia buca. Avendo più potenza a disposizione sarà possibile in futuro ottenere un potenziale di confinamento più omogeneo e, conseguentemente una riduzione della sensibilità del nostro sistema al disallineamento dei fasci laser di intrappolamento.

**Candidate** Giacomo Colzi

**Thesis Title** Atom interferometry with a Bose-Einstein Condensate in a double-well potential

**Supervisor** Prof. Massimo Inguscio (*massimo.inguscio@unifi.it*)

In this thesis work I report the experimental activity aimed to the development of a double-well trap for ultracold atoms. Employing this set-up to confine Bose-Einstein Condensates it will be possible to realize high-sensitivity interferometry experiments with trapped atoms, studies on quantum entanglement and to simulate condensed matter physics systems such as bosonic Josephson junctions. The condensate we used is a  $^{39}\text{K}$  Bose-Einstein condensate with tunable interactions. The control over interactions is obtained via a broad Feshbach resonance at about 400 G.

As a first important result of this work we report, for the first time, the control over the relative phase of two trapped condensates and spatially separated, containing a macroscopic number of atoms (about  $10^3$ ) and for times of  $\sim 200\text{ ms}$ , overperforming similar experiments realized so far. It has been possible to obtain this result tuning the condensate interaction energy to zero and suppressing interaction induced decoherence, that has strongly limited this kind of experiments up to the present. We have also been able to observe periodic oscillations in the population of the two wells induced by quantum tunneling between the spatial modes separated by a distance of  $5\ \mu\text{m}$ . Among the improvements that allowed us to observe such a long coherence time I report in this thesis the optimization of the last steps of the evaporative process, that allowed us to significantly reduce our condensate excitations.

From the experimental measurement of the phase coherence of the system and the theoretical modeling of how it is affected by thermal fluctuations we estimated an upper bound for the temperature of the condensate; this measurement was carried over in a temperature regime where the standard techniques cannot be used due to the very small thermal fraction of atoms compared to the condensed fraction.

During this thesis work we finally mounted and optimized a new second harmonic generation stage to increase the power we have at disposition for the double well potential. Having more power at disposition it will be possible to obtain in the future a more homogeneous confinement potential and, consequently, a reduction of the sensitivity of our system against the misalignment of trapping laser beams.