

Abstract

The main part of this thesis project deals with the general analysis of an atom interferometer working with Bragg diffraction, specifically addressed to measure gravitational accelerations. It is also a gradiometer, i.e. a device that measures gravity gradients, since two atomic samples are interrogated at the same time. The double-interferometer is part of the larger MAGIA (Accurate Measure of G by Atom Interferometry) apparatus at University in Firenze.

The characterization of the existing apparatus focuses on the analysis of the Bragg diffraction process used to drive the interferometric sequence and on the study of the interferometric signal dependence on some relevant experimental parameters. First, the interferometric laser beam is characterized by testing the optical power as a function of the laser amplifier's current and deriving the spectrum of the intensity noise around this nominal value. The geometrical characteristics of the beam are studied measuring the waist of the laser beam and its position along the propagation axis, using the knife method. A new procedure for the calibration of the acousto-optical modulator that is in charge of the temporal pulse shaping, is presented and discussed. Second, gradiometric signals are presented, which were acquired varying the magnetic field intensity along the quantization axis and the spot size of the interferometric laser beam. Finally, the long term stability of our apparatus is tested in an eight-hour long measurement, which allows to demonstrate *an increase in the device sensitivity* for gravity gradient measurements, which under the present conditions, is $1.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-2}$ at 1 s (less than half the value reported one year ago), down to $3 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-2}$ (30 E) after 2000 s.

The original contribution of this thesis project to MAGIA apparatus, is the realization of a laser system working on the D₂ line of ⁸⁷Rb, characterized by a frequency lock loop and an output power of 2 W, specifically designed to address Raman sideband cooling of a sub-Doppler-cooled atomic cloud. The estimation of the optical power needed in this process and of the design and the realization of the amplification system to achieve it, are part of this thesis work. The frequency lock loop that allows to stabilize our laser emission to the proper detuning value with respect to the atomic transition, was also designed and implemented in the apparatus during this thesis project. The result is a laser system suited to create an optical lattice in which to perform Raman sideband cooling on a sub-Doppler cooled atomic cloud in an atom interferometer, thus enhancing the general interferometric performances.

Abstract (versione italiana)

L'argomento principale di questo lavoro di tesi riguarda l'analisi di un interferometro atomico a diffrazione Bragg per misure di accelerazioni gravitazionali. Si tratta anche di un gradiometro, cioè di uno strumento che misura gradienti gravitazionali, in quanto due campioni atomici vengono interrogati simultaneamente. Il doppio interferometro fa parte dell'apparato sperimentale di MAGIA (Misura Accurata di G tramite Interferometria Atomica) situato presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze.

La caratterizzazione dell'apparato sperimentale preesistente, si concentra sulla analisi del processo di diffrazione di Bragg utilizzato durante la sequenza interferometrica e sullo studio del segnale interferometrico al variare di alcuni importanti parametri sperimentali. In primo luogo, il fascio laser interferometrico viene caratterizzato misurando la potenza ottica in funzione della corrente di alimentazione dell'amplificatore laser e acquisendo lo spettro del rumore d'intensità intorno a tale valore medio. Le caratteristiche del fascio laser sono studiate misurando il diametro minimo del fascio e la sua posizione lungo l'asse di propagazione col metodo della lama. Viene presentata e discussa una nuova procedura per la calibrazione del modulatore acusto-ottico che definisce il profilo temporale degli impulsi interferometrici. In secondo luogo, vengono presentati segnali gradiometrici che sono stati acquisiti variando l'intensità del campo magnetico lungo l'asse di quantizzazione e la dimensione trasversa del fascio laser interferometrico. Infine, è stata caratterizzata la stabilità a lungo termine del nostro apparato con una misura di otto ore, la quale ha permesso di dimostrare un *aumento della sensibilità* dello strumento per misure di gradienti gravitazionali che, alle condizioni attuali, risulta $1.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-2}$ dopo 1 s (meno della metà del valore riportato un anno fa) e $3 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-2}$ (30 E) dopo 2000 s.

Il contributo di questo progetto di tesi all'apparato sperimentale di MAGIA, riguarda la realizzazione di un sistema laser risonante con la transizione D_2 del ^{87}Rb , caratterizzato da un aggancio in frequenza e una potenza ottica di 2 W, al fine di ridurre la dimensione trasversa del campione atomico tramite la tecnica del "Raman sideband cooling". La stima della potenza ottica necessaria in questo processo e la realizzazione dello schema di amplificazione in grado di generarla, fanno parte di questo lavoro di tesi. Anche lo schema del circuito che permette l'aggancio in frequenza del laser al giusto valore di frequenza rispetto alla transizione atomica di riferimento è stato studiato e realizzato durante questo lavoro di tesi. Il risultato è un sistema laser in grado di generare la giusta potenza ottica per

procedere, sotto certe condizioni, al raffreddamento al di sotto del limite di rinculo di un campione atomico in un interferometro atomico, migliorando, in tal modo, le prestazioni generali dell'interferometro.