

Guglielmo M. Tino

Misura della costante gravitazionale di Newton con atomi ultrafreddi

Measurement of the Newtonian gravitational constant using ultracold atoms

Dipartimento di Fisica e Astronomia e Laboratorio LENS - Università degli Studi di Firenze
INFN, Sezione di Firenze

Sommario. Nuovi sensori quantistici basati sull'interferometria atomica permettono di misurare la gravità con estrema precisione. A Firenze per la prima volta si è misurato il valore della costante gravitazionale G utilizzando un interferometro atomico.

Parole chiave. Interferometria atomica, atomi ultrafreddi, misure di precisione, fisica gravitazionale.

Gli esperimenti sulla gravità sono molto difficili perché l'interazione gravitazionale è estremamente debole e non può essere schermata. Nuovi sensori quantistici, basati su interferometria con atomi raffreddati a temperature vicine allo zero assoluto utilizzando la luce laser, permettono di misurare la gravità con una precisione inimmaginabile fino a qualche anno fa.

Abstract. New quantum sensors based on atom interferometry make it possible to measure gravity with extreme precision. In Florence we measured the value of the gravitational constant G for the first time using an atom interferometer.

Keywords. Atom interferometry, ultracold atoms, precision measurements, gravitational physics

Experiments on gravity are very difficult because gravitational interaction is very weak and cannot be shielded. New quantum sensors based on interferometry, with atoms cooled to temperatures near absolute zero using laser light, make it possible to measure gravity with a precision unimaginable just a few years ago.

We recently reported the results of the experiment MAGIA (which stands for *Accurate Measurement of G by Atom Interferometry*), funded by the INFN, in which for the first time we accurately measured the value of Newton's gravitational constant G using an atomic interfer-



Recentemente abbiamo riportato il risultato dell'esperimento MAGIA (acronimo per *Misura Accurata di G mediante Interferometria Atomica*), finanziato dall'INFN, in cui per la prima volta si è misurato con precisione il valore della costante gravitazionale di Newton G utilizzando un interferometro atomico come sonda del campo gravitazionale (Rosi et al. 2014).

L'interferometria atomica (Tino and Kasevich Eds. 2014) è legata alla natura duale, corpuscolare e ondulatoria, delle particelle descritte dalla meccanica quantistica, gli atomi in questo caso. Così come in un interferometro ottico un'onda luminosa viene separata e ricombinata per osservare le frange di interferenza, anche gli atomi in certe condizioni possono essere trattati come onde. Utilizzando impulsi laser, possiamo allora dividerli in più parti che si propagano separatamente e vengono riflesse e ricombinate, generando così delle *figure* di interferenza atomica. Questo segnale di interferenza viene influenzato dalla gravità.

La misura di G è ancora oggi, dopo più di duecento anni dal primo esperimento di Cavendish nel 1798, una sfida per la fisica sperimentale. Circa 300 esperimenti hanno cercato di determinarne con precisione il valore ma i risultati di diversi esperimenti sono inconsistenti tra di loro. La maggior parte degli esperimenti effettuati finora erano basati sulla bilancia di torsione, come nell'esperimento di Cavendish, e in tutti i casi erano state utilizzate masse macroscopiche.

L'esperimento MAGIA ha utilizzato una sonda microscopica costituita da atomi di rubidio raffreddati mediante luce laser e lanciati verticalmente in una *fontana atomica*. Una massa di tungsteno, posta a una distanza di alcuni centimetri dagli atomi, genera una variazione dell'accelerazione degli atomi circa dieci milio-

ometer to probe the gravitational field (Rosi et al. 2014).

Atom interferometry (Tino and Kasevich Eds. 2014) is connected with the dual nature, particle and wave, of the particles described by quantum mechanics, atoms in this case. Just as in an optical interferometer light waves are separated and recombined to observe the interference fringes, in certain circumstances atoms too can be treated as waves. Using laser pulses, we can then divide the atomic matter waves into several parts that propagate and are reflected and recombined, thus generating interference patterns. This interference signal is affected by gravity.

Even today, more than two hundred years since Cavendish's first experiment in 1798, the size of G continues to be a challenge for experimental physics. About 300 experiments have attempted to accurately determine the value but several experiments yielded results that are not consistent with each other. Most of the experiments performed to date were based on the torsion balance, like Cavendish's experiment, and in all cases macroscopic masses were used.

The MAGIA experiment used a microscopic probe consisting of rubidium atoms cooled by laser light and launched vertically in an atomic fountain. A mass of tungsten, placed at a distance of a few centimeters from the atoms, results in a change of the acceleration of the atoms around ten million times smaller than the acceleration of gravity g . Although this effect is minimal, it was measured with elevated accuracy as a result of the extreme sensitivity of the atom interferometer developed for this experiment and the control of numerous systematic effects. This measurement made it possible to determine the value of $G = 6.67191(99) \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ with a relative uncertainty of 150 parts per million. The obtained value differs by about 1.5 standard deviations

ni di volte più piccola dell'accelerazione di gravità terrestre g . Nonostante questo effetto sia minimo, è stato misurato con elevata precisione grazie alla sensibilità dell'interferometro atomico sviluppato per questo esperimento e al controllo di numerosi effetti sistematici. Da questa misura si è potuto determinare il valore di $G = 6.67191(99) \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ con un'incertezza relativa di 150 parti per milione. Il valore ottenuto differisce di circa 1.5 deviazioni standard dal valore attualmente accettato. Altri laboratori negli USA, in Cina e in Australia, proveranno ora a ripetere l'esperimento e si può sperare che il nuovo metodo da noi dimostrato possa portare a risolvere questo enigma della fisica.



Figura 1. L'apparato per l'esperimento MAGIA. Al centro è visibile il tubo verticale in cui si è realizzata la fontana atomica e l'interferometro atomico e, intorno a questo, i cilindri di tungsteno utilizzati come massa sorgente.
Figure 1. The apparatus for the MAGIA experiment. Visible in the center is the vertical tube in which the atomic fountain and the atom interferometer were created and, around this, the cylinders of tungsten used as a source mass.

Bibliografia

- G. Rosi, F. Sorrentino, L. Cacciapuoti, M. Prevedelli, G. M. Tino, *Precision Measurement of the Newtonian Gravitational Constant Using Cold Atoms*, Nature vol. 510, p. 518 (2014).
Atom Interferometry, G. M. Tino, M. A. Kasevich (Eds.), Società Italiana di Fisica and IOS Press, 2014.

Guglielmo M. Tino si è laureato in Fisica a Napoli e ha conseguito il dottorato alla Scuola Normale di Pisa. Dal 2001 è professore ordinario di Fisica della Materia all'Università di Firenze. È associato al LENS dove ha svolto attività di ricerca fin dalla fondazione del laboratorio e all'INFN con incarico di ricerca. Tra i temi principali della sua ricerca, test di fisica gravitazionale con atomi ultrafreddi, studio di effetti legati allo spin, la misura del tempo.

from the currently accepted value. Other laboratories in the USA, China and Australia will now try to repeat the experiment and it is to be hoped that the new method we demonstrated may lead to the solution of this physical enigma.

References

- G. Rosi, F. Sorrentino, L. Cacciapuoti, M. Prevedelli, G. M. Tino, *Precision Measurement of the Newtonian Gravitational Constant Using Cold Atoms*, Nature vol. 510, p. 518 (2014).
Atom Interferometry, G. M. Tino, M. A. Kasevich (Eds.), Società Italiana di Fisica and IOS Press, 2014.

Guglielmo M. Tino graduated in Physics in Naples and took his PhD at the Scuola Normale in Pisa. Since 2001 he has been Professor of Physics at the University of Florence. He is associated with LENS, where he has conducted research since the founding of the laboratory, and with the INFN on a research assignment. The main topics of his research include: testing gravitational physics with ultracold atoms, study of effects related to the spin and the measurement of time.