



Roma, 3 luglio 2024 - GINGERINO, un giroscopio laser ad anello (RLG, Ring Laser Gyroscope), installato sotto 1400 metri di roccia all'interno dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, ha segnato un nuovo record, dimostrando che la sua sensibilità è almeno un ordine di grandezza migliore di quanto previsto dai modelli di funzionamento di questi precisissimi strumenti.

Il risultato, pubblicato il 2 luglio su [Physical Reviews Letters](#), è determinante perché non solo segna una sensibilità limite per i giroscopi laser ad anello, ma fornisce anche la prova della validità del loro funzionamento per diverse applicazioni, da misure di precisione di fisica fondamentale e relatività generale, alla geofisica e geodesia.

“L'analisi dei dati di GINGERino da alcuni anni dava indicazione che la sensibilità era maggiore di quella prevista dai modelli teorici elaborati per questi oggetti, sostanzialmente basati sulle proprietà delle cavità ottiche, passive non attive. Abbiamo quindi fatto uno sforzo ulteriore, riuscendo a misurare direttamente, con un approccio originale, il limite superiore di GINGERino” spiega Angela Di Virgilio

dell'INFN, responsabile internazionale della Collaborazione GINGER.

“Abbiamo installato un secondo fotodiodo di rivelazione, appena ci siamo resi conto che ci avrebbe permesso di fare la misura, e dimostrare così come la realtà ancora una volta ponga interrogativi importanti alla teoria”, aggiunge Enrico Maccioni, dell'Università di Pisa e associato all'INFN, coordinatore tecnico di GINGER.

“La presenza di meccanismi di correlazione di fase, anche molto piccoli - spiega Alberto Porzio dell'università di Cassino e associato all'INFN, e membro della collaborazione GINGER - suggerisce che debbano essere considerate dinamiche più complesse, in un modello ottico-quantistico esteso”.

“Questi segnali sono non solo stimolanti per la fisica fondamentale, ma anche utili per capire meglio il mondo che ci circonda e per la scienza della Terra: per esempio, fornendo ai sismologi i segnali delle rotazioni causate dai terremoti, attualmente si utilizzano solo traslazioni”, sottolinea Giorgio Carelli, dell'Università di Pisa e associato all'INFN, responsabile nazionale INFN di GINGER.

Come funziona

Un giroscopio laser ad anello è una cavità ottica risonante che, nel caso di GINGERino, è a forma di quadrato ed è definita da quattro specchi posizionati ai suoi vertici. La cavità è riempita da una miscela di gas elio-neon che viene eccitata da una scarica a radiofrequenza, generando così due fasci laser controrotanti. In assenza di rotazione, i due cammini ottici sono identici e i fotoni impiegano lo stesso tempo a chiudere l'anello.

Ma ciò non è più vero se la cavità sta ruotando. In questo caso, i due fasci laser che si muovono in direzioni opposte avranno frequenze diverse tra loro, la cui differenza, rilevabile registrando il segnale interferometrico di sovrapposizione, è proporzionale alla velocità di rotazione. Questo fenomeno è noto come effetto Sagnac.

GINGERino è quindi un interferometro molto particolare perché altamente simmetrico nella sua geometria, e grazie a questo fatto molti dei rumori tipici degli interferometri standard vengono fortemente attenuati, permettendo di misurare con precisione anche fenomeni descritti dalla relatività generale. Le

differenze temporali, come detto, sono proporzionali alla rotazione della cavità stessa, ma differenze temporali potrebbero anche essere causate da variazioni delle leggi fondamentali della fisica. Questo è alla base dell'importanza per la fisica fondamentale dei sensori di rotazione basati sull'effetto Sagnac.

Inoltre, il segnale da misurare, a differenza dei più comuni interferometri, come quelli di Michelson o di Mach-Zender, non è una fase ma una frequenza. Questo rappresenta un ulteriore vantaggio, in quanto le misure di frequenza si basano sulle misure di tempo, che sappiamo eseguire con grande precisione. In pratica, questo significa che lo stesso strumento attaccato alla crosta terrestre può fornirci il segnale rotazionale dovuto a un terremoto, e quello piccolissimo delle precessioni dovute alla relatività generale, permettendo di 'vedere' la relatività in una stanza. E la sensibilità limite è il parametro che dice fino a che punto possiamo 'ingrandire' la realtà che ci circonda, e possibilmente investigare le deviazioni della natura rispetto alla teoria.

L'analisi dati

Nonostante i giroscopi laser ad anello siano potenzialmente in grado di individuare le perturbazioni relativistiche sulla propagazione dei segnali luminosi e di fornire uno strumento alternativo per il monitoraggio delle proprietà geodetiche e dei fenomeni geologici, come i terremoti, su scala globale e locale, il loro utilizzo è stato fino ad oggi limitato a causa della difficoltà che presenta l'analisi dei dati prodotti.

Questa analisi deve, infatti, tener conto delle complesse dinamiche del laser che genera i due fasci controrotanti all'interno della cavità, e del rumore prodotto dall'azione di forze esterne. Da qui, la scelta da parte dei ricercatori e delle ricercatrici della collaborazione GINGER, che gestisce il prototipo GINGERino, di utilizzare un dimostratore tecnologico, GINGERino appunto, ancorato alla roccia nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, al riparo dagli agenti atmosferici, al fine di studiare soluzioni per realizzare un futuro interferometro, GINGER, con una maggiore sensibilità, e di migliorare la capacità di discriminazione dei dati da esso acquisiti.

Riassumendo

Il risultato ottenuto dalla collaborazione GINGER grazie a GINGERino è importante per diverse ragioni:

Sensibilità limite: la sensibilità raggiunta, dell'ordine dei femto-radiani al secondo, rappresenta un nuovo record per la misura delle rotazioni con qualsiasi tecnologia. Questo livello di sensibilità consente di rilevare cambiamenti rotazionali estremamente piccoli, cruciali per una varietà di applicazioni scientifiche e tecnologiche.

Funzionamento dei giroscopi laser ad anello: il fatto che la sensibilità misurata superi le previsioni del modello attualmente usato per la stima delle performance di questi strumenti, modello che assume che i due fasci siano completamente indipendenti, indica che l'attuale comprensione delle limitazioni in sensibilità nei giroscopi Sagnac è incompleta.

Applicazioni: questa maggiore sensibilità apre numerose possibilità per l'uso dei giroscopi ad anello di grande dimensione in diversi campi:

Fisica Fondamentale: la misura delle rotazioni con questa sensibilità rende possibile la verifica sperimentale di alcuni principi fondamentali, come ad esempio l'invarianza di Lorentz.

Relatività Generale: GINGER pensato inizialmente per la misura dell'effetto Lense-Thirring si propone come apparato che, misurando con elevata precisione la rotazione terrestre, potrà fare test di validità di teorie estese della gravità, oltre che misurare, per la prima volta da terra, gli effetti dovuti al gravitomagnetismo legato alla rotazione terrestre.

Geofisica e geodesia: poter misurare, con elevato range dinamico e precisione, la rotazione locale della crosta terrestre, renderà i dati di GINGER utili anche per studi di sismologia rotazionale e per studi di geodesia.

L'esperimento GINGER, di cui GINGERino è il prototipo, è in costruzione ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN grazie ad una collaborazione INFN e INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), e sarà parte del laboratorio sotterraneo geofisico UGGS (Underground Geophysics at Gran Sasso).