

微小な重力の測定を可能とする、小型低雑音重力センサーを開発

東北大学、国立天文台重力波プロジェクト推進室、東北大学電気通信研究所の研究グループは、石英の細線で懸架された 7 mg の鏡の振動を 1 秒の測定時間で 10^{-14} m 程度の分解能で読み取れる測定器を開発した。これは、100 mg の物体が懸架鏡から数 mm 離れたところで振動したときの重力変化を捉えることができる性能のだ。

本研究成果は、2019 年 2 月 20 日にこの分野でのトップジャーナルのひとつである専門誌「Physical Review Letters」に掲載された。

重力と量子の実験スケールを統合するためには、微小重力やゼロ点振動の観測が可能な精密な変位測定系の構築が課題となっている。現在、世界で最高の空間分解能を誇る変位測定装置は重力波検出器です。東北大学、東京大学、国立天文台から成る研究グループはその技術を応用することで、懸架鏡（図 1 参照。7 mg の鏡を直径 $1\ \mu\text{m}$ 、長さ 1 cm の石英の細線で吊るしている）の変位を 1 秒の測定時間で 10^{-14} m 程度の高い分解能で測定することに成功した。懸架鏡は重力波検出器と同様に光共振器（図 2）の一端を担っている。共振器によって懸架鏡は光学トラップされており、さらにフィードバック冷却により基底状態付近まで冷却可能である。

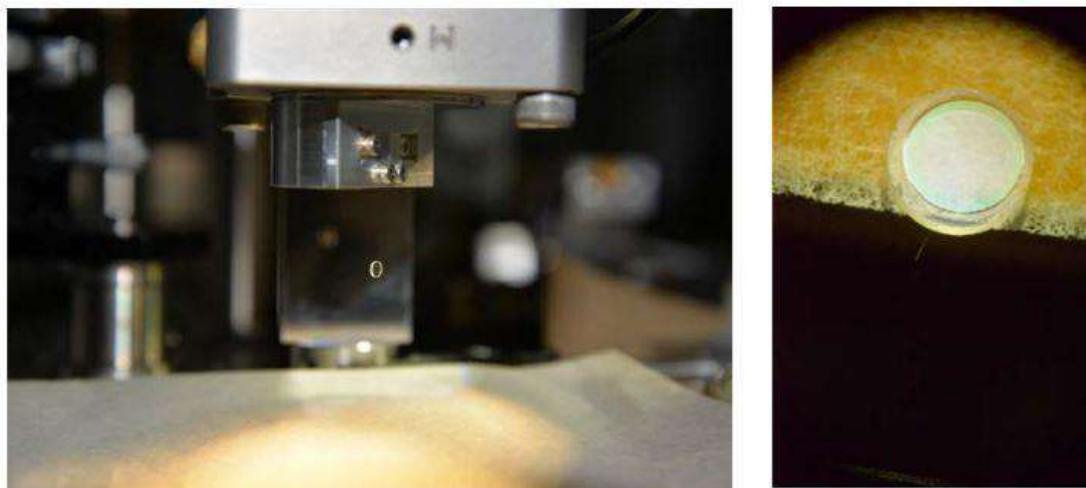


図 1 直径 $1\ \mu\text{m}$ の石英の細線で懸架された質量 7 mg の鏡（直径 3 mm、厚さ 0.5 mm、シグマ光機製）。右は懸架鏡を実体顕微鏡で撮影した写真。

重力測定の原理は極めて単純です。懸架された鏡の振動は光共振器の反射光量を変化させるため、その変動は光検出器で測定できる。鏡のとなりに重力源を設置し、両者の重力相互

作用で生じる懸架鏡の揺れを光で検出することで重力が観測される。例えば、懸架鏡の 4 mm 程度となりで質量 100 mg の物体が、(光学トラップされた) 懸架鏡の周期で 1 mm の振幅で振動すれば、重力相互作用によって懸架鏡は 10^{-14} m 程度揺らされる。この僅かな揺れを光共振器の応答から測定することで微小重力が観測可能となる。

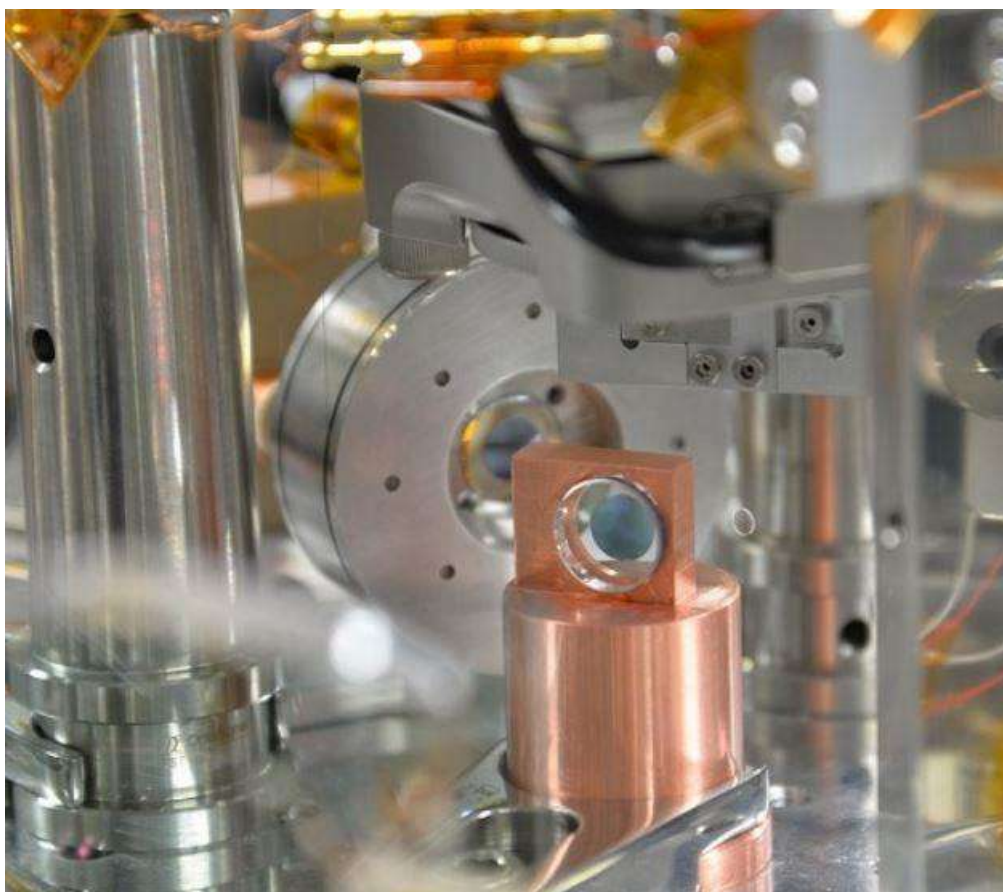


図2 開発した重力センサー。懸架鏡を一端とした光共振器であり、懸架鏡の揺れをレーザー光により観測する。100 mg の物体が生成する重力を 1 秒で測定可能な性能を実現した。

測定の雑音を低減するために、光共振器は真空容器内に設置した多段防振装置上(図3)に構築している。同じ防振板上に設置したレーザー光の強度・周波数安定化システムによりレーザー光は安定化されている。雑音低減の結果、mg スケールにおける重力測定が可能であることを実証することに成功し、さらに mg スケールにおける量子状態制御が将来的に可能であることを示した。

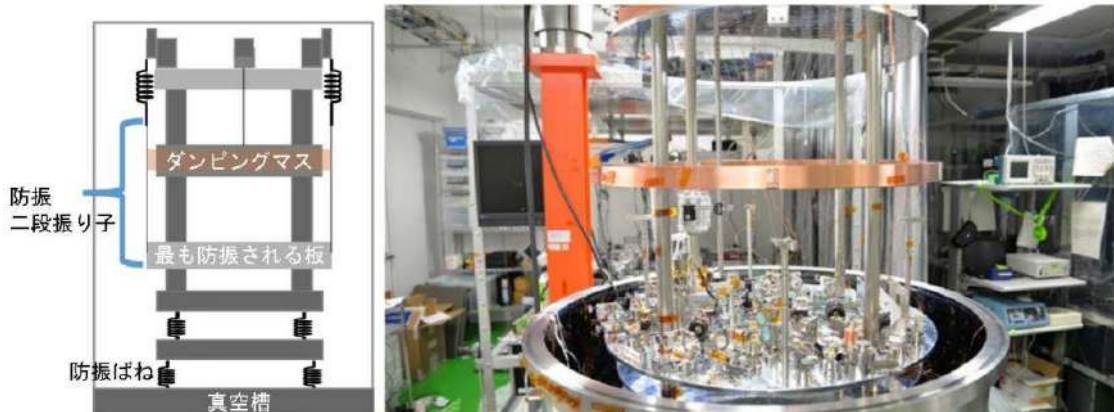


図3 開発した多段防振装置の略図（左）と真空容器（直径 1 m、高さ 1 m、ミラプロ製）内部に設置される多段防振装置（右）。

将来、量子状態を実現したセンサーと、センサーと同様な（量子状態を実現した）重力源の間の重力相互作用を観測できる可能性がある。このように重力実験と量子実験の両スケールが統合すれば、重力相互作用によって量子状態間に種々の量子的な相関を生み出すことができるかどうか検証できるようになる。

文 JST 客观日本编辑部

日文发布原文

https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv_press_20190219_02_Matsumoto_web.pdf