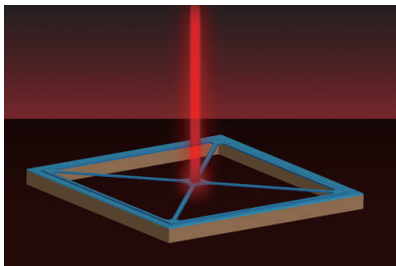


## 蹦床谐振器感知极弱的机械力

(中国科学院理化技术研究所 戴 闻 编译自 John D. Teufel. *Physics*, April 18, 2016)

历史已经证明,拥有制作更好传感器的能力,将有助于开拓新的物理实验。反之,新的实验又会促进开发更好的传感器。在机械工程 and 量子物理学的交叉领域,研究人员正在使用纳米刻蚀工具,制作新一类基于机械谐振器的传感器。通过制备具有精细机械性能和光学性能的薄膜,两个研究组现在已经展示了“蹦床谐振器”,它能分辨极其微弱的力( $\sim 16 \times 10^{-18}$  N, 这个力的大小就相当于人与人之间相距 100 km 时的引力),并且在室温环境中展现出量子运动。

一般而言,机械系统在与其它系统耦合方面,几乎具有独一无二的优势。机械系统可以被裁剪,以便有效测量大量不同的现象,从微观尺度到宏观尺度。例如,将一粒纳米磁体放置在微米级悬臂的一端,便能够检测到来自一个单电子自旋的力;在频谱的另一端,厚重的悬镜被置于 km 尺度的干涉仪中,最近已经探测到了来自黑洞的引力波。尽管上述两个事例在规模



蹦床谐振器由薄的氮化硅层(蓝色)构成,它的四边贴在四方框架硅衬底(棕色)的上表面,通过十字支撑(蓝色)与测量系统相连。谐振器的机械性能被监测,通过中心平台反射一个聚焦的激光束(红色)

上和物理上存在差异,这些技术的测量灵敏度,总是依赖于使机械耗散最小化的能力。耗散可以被看作是来自任何机制,通过这些机制导致机械能损失。例如,损失可以来自内摩擦或并非有意设计的指向环境的振动辐射。最重要而又不可避免的是,任何耗散的源也是噪声的来源。正是这种噪声会降低一个机械系统作为传感器的性能,进而模糊量子行为的任何证据。

在理想情况下,机械系统将充分地隔离所有噪声源(主要是来自环境的热噪声),而仅仅耦合到感兴趣的信号和读出机制。这种隔离和读出所达到的水平,现在很容易在原子系统中实现。正如被捕获的离子,此刻机械谐振器是处于电磁捕获状态中并做简谐运动的单个原子,激光是离子运动与外部世界的微妙中介。这种联系允许运动被光学力控制,允许运动以某种灵敏度被读出,读出过程中只受到量子力学法则的限制。科学界已经仿效这些技术用来控制和检测更大系统的运动,这里机械谐振器不再是一个单一原子,而是一个由数万亿原子组成的大块固体。毫不奇怪,在这些宏观机械系统中,机械损耗要糟糕得多,因为它们不是像它们的原子对应物漂浮在半空中,而是物理地连接到外面的世界。

利用光—机械相互作用,各种量子效应已在宏观机械系统被观察到。就像在原子物理和激光冷却技术中,光—机械相互作用已被用来消除光—机械器件中所有的热噪

声,使机械系统处于一个纯粹的量子状态。然而,到目前为止,这些实验都需要在低温环境下运行。在高拉伸应力下,氮化硅膜已成为一个机械谐振器的候选者,其低的光学和机械损耗可能会允许人们在室温下观察到量子行为。

荷兰代尔夫特理工大学的 Simon Gröblacher 和同事们,加拿大麦克吉尔大学的 Jack Sankey 与合作者,这一次完成了新的实验。他们展示了这些膜真正优化所能达到的水平,在光—机械相互作用达到最大化的同时,使光学损失和机械损失达到最小。传统的方法是方形膜锚定在衬底的全范围内,而这一回,研究人员制作的氮化硅膜是通过 4 条窄带固定在硅衬底框架上(见图),就像用 4 根弦悬挂起来的蹦床。这种几何配置是有利的,原因如下:首先,窄带弦的长度和厚度之间的比率可调,这有助于确保大部分谐振器的机械能量储存于弦的张应变之中,而不是储存于容易产生损失的弯曲刚度之中。其次,整个谐振器的质量减小,直接提高了力的敏感度,从而确保谐振器在最小力的情况下,给出相对较大的机械位移。最后,蹦床的几何配置可提供以下保证,即有一个基本的振动模式,它的共振频率与许多其他高频机械共振是分开的,后者可能会降低系统的性能。

更多内容详见: R. A. Norte et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, 116: 147202; Christoph Reinhardt et al. *Phys. Rev. X*, 2016, 6: 021001。