



量子十问之九

量子传感刷新测量技术极限

郭光灿[†]

(中国科学技术大学 中国科学院量子信息重点实验室 合肥 230026)

人类社会的发展进程从某种意义上就是测量技术不断进步的过程。测量技术的核心就是追求更高的精度。当前，最精密的测量仪器是激光干涉仪引力波天文台(LIGO)。利用它人类首次观测到了引力波事件，代表了人类当前最高的测量本领。如何进一步提高测量精度，科学家们不约而同地把目光聚向基于量子力学的量子精密测量技术。

一般情况下可以通过两种方式来提高测量精度。第一种是制备和利用分辨率更高的“尺子”。例如从

早期的用手或者脚等的长度作为尺子，到目前通常使用的游标卡尺甚至是激光尺子等，人类对空间尺度的测量精度得到了大大的提高；第二种方式是通过多次重复测量减少测量误差，提高测量精度。根据数学上的中心极限定理我们知道，重复 N 次(N 远大于1)独立的测量，其测量的结果满足正态分布，而其测量的误差就可以达到单次测量的 $1/\sqrt{N}$ 。因此，测量精度也就提高到单次测量的 \sqrt{N} 倍。这也就是我们经常说的经典力学框架下的测量极限——散粒噪声极限。

近年来，人们发现利用量子力学的基本属性，例如量子相干、量子纠缠、量子统计等特性，可以实

现突破经典散粒噪声极限限制的高精度测量。因此，基于量子力学特性实现对物理量进行的高精度测量称为量子精密测量或者量子传感。在量子传感中，电磁场、温度、压力等外界环境直接与电子、光子、声子等体系发生相互作用并改变它们的量子状态，最终通过对这些变化后的量子态进行检测，实现外界环境的高灵敏度测量。而利用当前成熟的量子态操控技术，可以进一步提高测量的灵敏度和精度。因此，这些电子、光子、声子等量子体系就是一把高灵敏度的量子“尺子”——量子传感器。

更重要的是，量子纠缠还可以进一步提高测量灵敏度。如果让 N

2018-09-12收到

[†] email: gguo@ustc.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20190607



激光干涉仪引力波天文台(图片来源于网络)

个量子“尺子”的量子态处于一种纠缠态上，外界环境对这 N 个量子“尺子”的作用将相干叠加，使得最终的测量精度达到单个量子“尺”的 $1/N$ 。该精度突破了经典力学的散粒噪声极限，并提高了 \sqrt{N} 倍，

是量子力学理论范畴内所能达到的最高精度——海森伯极限。现阶段已经在光子、离子阱和超导等物理系统中构造该最大纠缠态，实现了对相位测量等物理量测量的实验演示，突破了经典测量极限，逼近或达到海森伯极限。而在数年前，激光干涉仪引力波天文台就利用光子的压缩态实现了噪声的压制，完成了突破经典极限的相位测量，该方案也是下一代激光干涉仪引力波天文台的重要测量方式。

作为新兴的研究领域，量子传感是量子信息技术中除了量子计算、量子通信以外的重要组成部分。量子传感除了可以突破经典力学极限的超高测量精度之外，还可以利用量子关联来抵抗一些特定噪声的干扰。当前，利用电子、光子、声子等量子体系已经可以实现对时间(频率)、电磁场、温度、压力、惯性等物理量的高精度量子测量，实验演示了量子超分辨显微镜、量子磁力计、量子陀螺等，并应用在化学材料、生物医学等相关学科研究中。随着相关技术的逐渐成熟，未来几年即将实用化的量子传感技术将在国计民生方面得到广泛应用。

读者和编者

订阅《物理》得好礼

——超值回馈《岁月留痕——<物理>四十年集萃》

部特推出优惠订阅活动：向编辑部连续订阅2年《物理》杂志，将获赠《岁月留痕——<物理>四十年集萃》一本。该书收录了1972年到2012年《物理》发表的40篇文章，476页精美印刷，定价68元，值得收藏。

希望读者们爱上《物理》!

订阅方式(编辑部直接订阅优惠价180元/年)

(1) 邮局汇款

收款人地址：北京市中关村南三街8号中科院物理所，100190

收款人姓名：《物理》编辑部

(2) 银行汇款

开户行：农行北京科院南路支行

为答谢广大读者长期以来的关爱和支持，《物理》编辑

户名：中国科学院物理研究所

帐号：112 501 010 400 056 99

(请注明《物理》编辑部)

咨询电话：010-82649470；82649277

Email: physics@iphy.ac.cn

