



量子精密测量专题·编者按

量子精密测量是利用磁、光与原子的相互作用,打破传统方法中的散粒噪声限制,利用量子资源和效应实现超越经典方法的测量精度,达到海森堡精度极限.2019年代表精密测量最高水平的7个基本物理量的计量基准已经全部实现量子化.

《中国科学:物理学 力学 天文学》特别组织“量子精密测量专题”,邀请了国内外活跃在量子精密测量领域的科研工作者撰写了8篇相关论文,其中7篇为综述论文,1篇为研究论文,反映了国内外关于量子精密测量相关研究的现状以及最新研究进展.

由于原子体系具有可复现、精确、稳定等特点,基于原子体系已经衍生了很多的量子计量新技术.里德堡原子具有极强的微波跃迁电偶极矩和极化率,对外界电磁场非常敏感,利用原子量子相干效应可实现超宽频段电磁场的高精度高灵敏度测量.论文“基于里德堡原子的微波传感与通信”回顾了基于里德堡原子的微波传感和通信研究,详细介绍了其在微波电场强度量子基准、相干探测、光载无线通信和数字通信等方面的相关进展,讨论了其应用前景及今后可能的发展方向.

得益于现代激光精密测量技术,某些少电子原子体系(如氢、氦、锂、铍等)的光谱测量具有非常高的精度.高精度实验值与高精度理论值的对比,为高精度地检验基本物理理论、测定出基本物理常数以及原子核电荷半径等物理参数提供了重要渠道.论文“少电子原子体系精密谱理论和计算方法”介绍了高精度计算少电子原子体系能级的理论方法和计算技术,包括等效哈密顿量的推导、薛定谔方程的求解、相对论和QED效应的计算,以及原子核的有限质量效应和电荷分布半径效应,并对未来的发展进行了展望.

量子重力仪作为量子传感器中较为成熟的技术,尤其在动态测量方面表现出明显的优势.论文“小型化量子重力仪高精度重力测量”介绍了量子重力仪的精度限制因素(拉曼相位噪声、振动噪声和探测噪声)以及在其他基础物理研究领域(万有引力常数测量和弱等效原理检验)的应用.随着量子重力仪的不断发展,未来还可能在地球物理、资源探勘、惯性导航和太空重力观测等领域发挥重要作用.

近年来紧凑型冷原子重力仪发展迅速,原子干涉重力测量技术已经走出实验室,进入地球物理、惯性导航、空间应用等动态测量应用领域,用于进一步补充和增强现有以经典设备为主的动态重力加速度测量技术.论文“紧凑型冷原子重力仪和精密重力加速度测量”重点介绍了冷原子重力测量技术的发展路线、冷原子重力仪在动态测量应用中的最新进展及其所面临的技术挑战,并对未来冷原子重力测量的工程应用研究和基础理论研究进行了展望.

作为当前量子物理的一个重要国际前沿,冷原子物理已经发展到探索、研究、测量原子内部的自旋自由度.论文“地面与微重力环境下冷原子量子磁性的精密测量”综述了地面与微重力环境下冷原子实验原理、装置、方案,不同磁量子数塞曼态间转移、磁性相变,以及飞行时间成像与相衬成像.就其精密测量方面,论文着重阐述了在微重力下使冷原子继续深度冷却和使用非破坏相衬成像的测量手段.

随着实验技术的快速发展和操控能力的大幅提升,囚禁在势阱中的离子系统在精密测量方向展示了极大的

引用格式: 刘伍明. 量子精密测量专题·编者按. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2021, 51: 074201

Liu W M. Special topic: Quantum precise measurements (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2021, 51: 074201, doi: [10.1360/SSPMA-2021-0162](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2021-0162)

潜力. 论文“离子阱精密测量”介绍了基于离子阱系统的光频原子钟、磁力计和陀螺仪的理论方案、实验进展和未来发展, 重点关注了离子阱系统与其他物理体系相比所具有的特点和优势, 以及在突破测量精度、提高稳定性和促进设备小型化等方面的应用前景.

时间与人类生活生产密切相关. 论文“时间: 天文时-原子秒-基于常数重新定义秒”简述了铯冷原子喷泉频率基准复现现行秒定义的进展和现状, 介绍了原子喷泉频率基准常规驾馭TAI的现状和国内外光学频率标准研究的进展. 依据国际正在讨论的未来修改秒定义路线图, 分析了常规驾馭TAI对光频标的要求和对策, 提出了基础研究型 and 计量型两种光学频率标准研究定位.

近年来, 锂原子的高精度光谱学在理论和实验上都引起了人们广泛的关注. 论文“三电子原子 ${}^6\text{Li}$ D线跃迁绝对频率的精密测量”报道了 ${}^6\text{Li}$ 原子的D线跃迁的绝对频率, 测量精度比目前最好的实验结果提高了1个数量级. 这些测量结果与最近由高阶相对论和QED修正的2P精细结构劈裂计算结果符合得很好, 有助于解决理论与实验之间的分歧.

本专题较为全面地反映了近年来我国量子精密测量领域的研究状况和进展, 涵盖了原子分子、光学、凝聚态、天文等领域. 希望这些工作能促进和推动国内外量子精密测量的研究与学术交流.

刘伍明
中国科学院物理研究所