
光学计量：利用涡旋光的探测与感知

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/33466.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

光学计量：利用涡旋光的探测与感知。 导读

计量学是现代工业的基石，它为我们提供了准确测量世界的标准。尤其是光学计量学，自托马斯·杨200多年前提出干涉理论以来，这一领域的核心理念几乎没有改变。然而，我们能否将条纹的概念扩展至更多自由度，从而获取更丰富的信息？扭曲光束，携带着轨道角动量（OAM），正推动光学计量学的创新发展，重新定义测量的范式，使超高精度与高准确性的探测和传感成为可能。近日，西安电子科技大学郭立新教授团队与南非金山大学Andrew Frobes教授合作，共同探讨了轨道角动量在光学计量学中的应用前景。这篇综述论文发表在Light: Science Applications上，题为Metrology with a twist: probing and sensing with vortex light，郭立新教授和Andrew Frobes教授为该论文的共同通讯作者。

研究背景

在光学计量的世界里，传统方法依靠平面波干涉生成的线性相位梯度，虽然奠定了基础，但随着科技需求的提升，它们的局限性逐渐显现。近年来，科学家们探索光的更多物理特性，带来了一系列突破，尤其是涡旋光束的引入，让人耳目一新。凭借独特的相位结构和轨道角动量（OAM），涡旋光束不仅提升了测量精度与分辨率，更开辟了全新的计量方向。

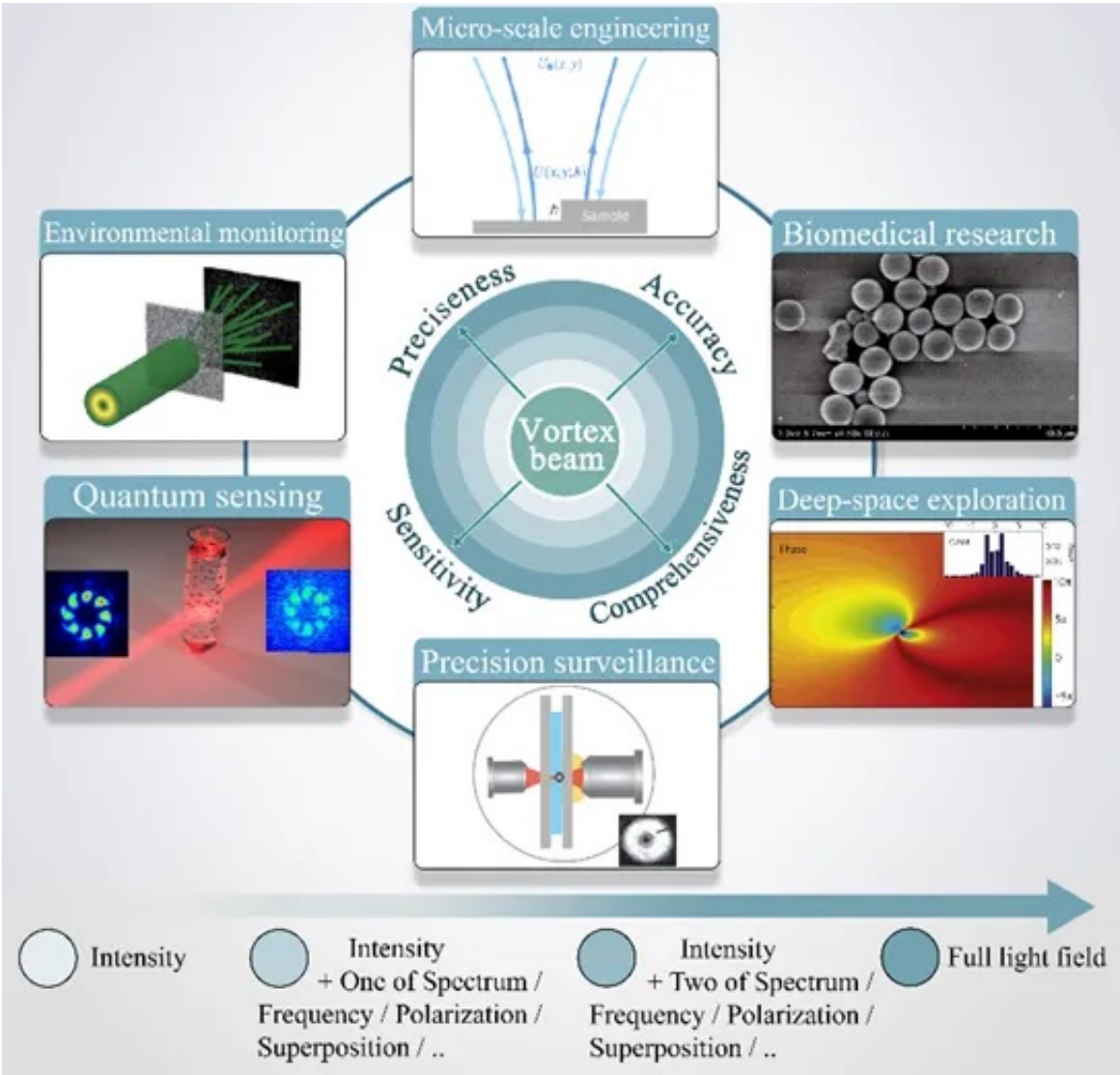


图1. 光学计量的未来发展

相比于传统光束，涡旋光束具备更高维度的信息传递能力，能够通过线性与旋转多普勒效应，精确测量物体的三维运动，包括转动和平移速度。更令人兴奋的是，涡旋光束的OAM谱可以作为独特的特征数据进行整合，使得计量分析能力跨越式提升。这一技术已在微尺度工程、生物医学、深空探索、量子传感等领域展现出广阔的应用前景。

光学计量的未来，不再局限于对光的一维属性如强度的利用，而是逐步迈向对频率、相位、极化和OAM等多重物理属性的全面整合。这将带来一个全新的数据处理时代，大幅度提升计量的精度、广度与灵敏度，为未来科技的发展提供更强大的支持。

进展与应用

论文展示了如何利用携带轨道角动量（OAM）的扭曲光束在光学计量中建立新的范式。通过观察依赖于OAM和偏振的频率变化，利用现代多普勒效应的解释，实现了对三维运动粒子位置的跟踪。传统的多普勒效应只能追踪朝向或远离观察者的运动，但将轨道角动量引入标量光和矢量光中，能够实现各个方向的运动跟踪，包括三维螺旋运动。

郭立新教授指出。这一进展彻底改变了动态系统的计量学。

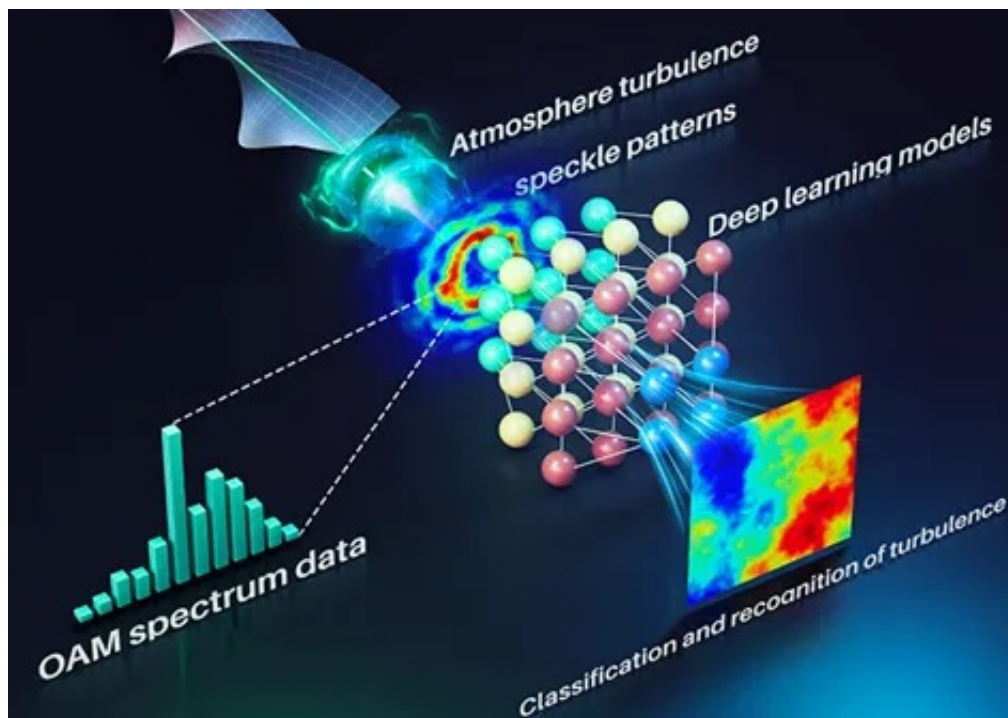


图2. 涡旋光束用于探测复杂介质。

推动这一领域发展的不仅仅是现有工具的范式转变，还有全新仪器的发明。其中一个例子是将OAM谱视为系统的特征：当OAM光通过复杂介质时，其OAM会发生变化，从而导致OAM谱形状的改变。如图2所示，扭曲的OAM光通过复杂介质，其OAM谱作为传感器来监测其影响。这种特征可以通过机器学习和人工智能算法进行读取和分析，以识别或感知介质的关键特征，例如在湍流大气中的应用。这种介质的OAM指纹蕴含了大量可以被利用的信息，论文的第一作者程明建老师表示。正如该论文所强调的，通过机器学习和人工智能解读OAM光谱，将为复杂介质的实时分析和识别开辟新的可能性，而OAM光作为探测工具，正迅速成为研究的热点。

该论文不仅涵盖了经典的光学计量，还探讨了在量子纠缠叠加态和单光子态中应用OAM的潜力，如图3所示。向量子领域的过渡有望通过减少测量次数来降低噪声，从而提升准确性和精度。然而，该领域的发展仍处于早期阶段。利用OAM进行量子计量学仍然是一个新兴领域，蕴藏着许多尚未开发的机会，安德鲁·福布斯教授指出。

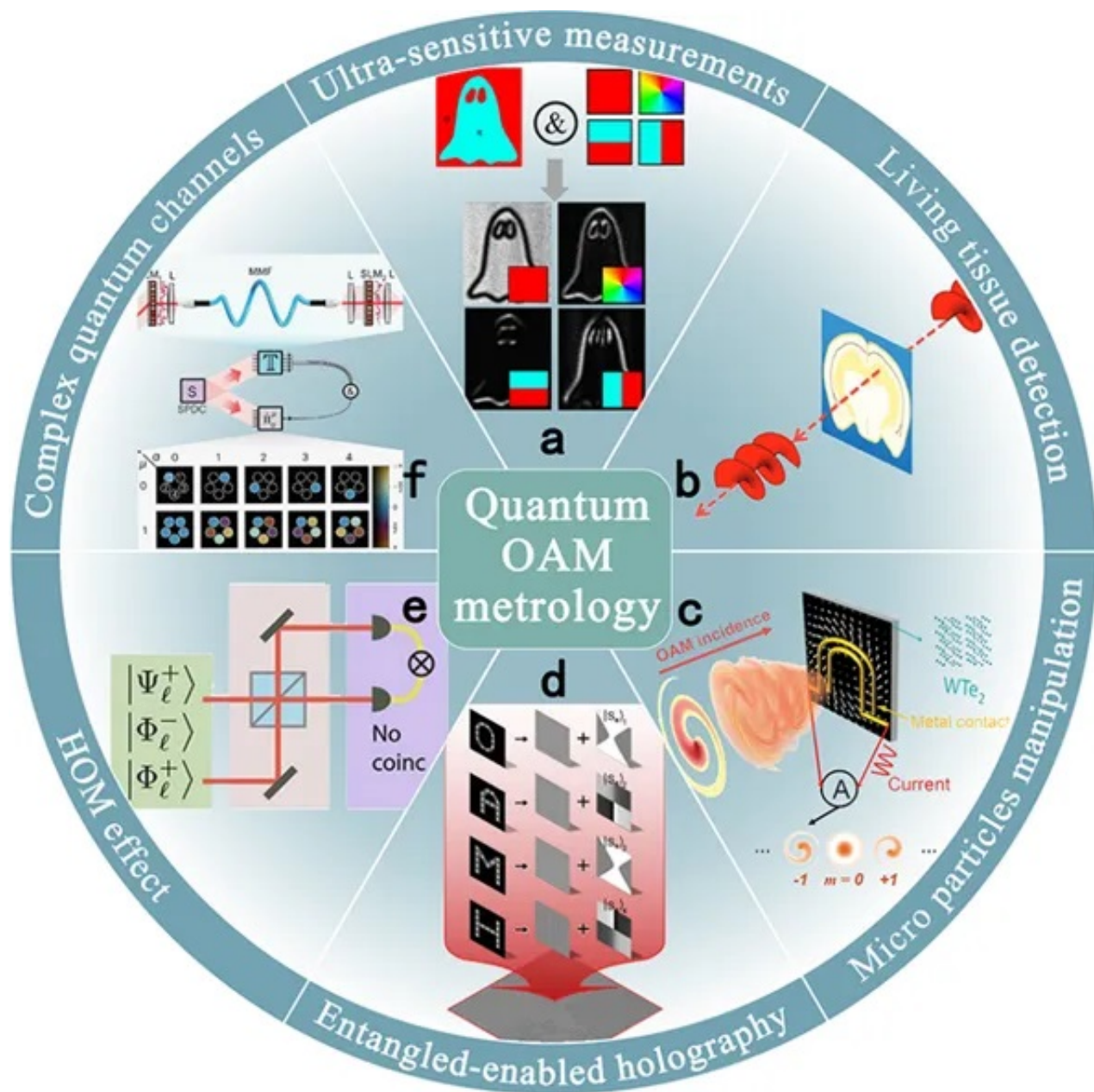


图3. 量子轨道角动量计量的先进应用。

总结与展望

本综述深入探讨了涡旋光束在光学计量学中的基本原理及其重要进展。涡旋光束以其独特的螺旋相位结构和携带OAM的特性，展现出在光学计量学中的显著优势。这些光束不仅能够实现光与物质之间的的手性相互作用的高度灵敏检测，还可通过线性和旋转多普勒效应实现精确的三维运动监测。涡旋光束在探测复杂介质方面表现出色，其应用领域涵盖环境监测、深部组织成像及嘈杂信道通信等。通过与复杂性理论及人工智能相结合，这些技术有望进一步完善和发展。涡旋光束计量方法的革命性应用潜力，使其在推动光学计量学的发展中展现出重要前景。本文提供了权威性概述，既对初学者有所启发，也为经验丰富的研究人员提供了宝贵的参考。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01665-1>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：郭立新等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发