

如何将纳米粒子定位到亚埃精度

(北京大学 王树峰 编译自 Phil Dooley. *Physics*, November 9, 2018)

巧妙地利用激光可以将纳米粒子位置的测量精度推进到0.6埃，这对未来的纳米器件会很有帮助。

纳米尺度的微小元件将会成为下一代通讯装置的主要组成部分。研究人员利用可见光开发了一种定位这类物体的方法，精度可达创纪录的小于一埃。这种方法采用经过细致调节偏振结构的激光，用其照射纳米物体，并通过散射实现测量。它不仅仅可用于纳米技术，也可以在显微镜等系统中实现稳定定位。

根据常识，如果用光来定位物体，那么就无法突破光波长尺度的限制。不过也可以采用一些巧妙的方法获得更高的精度。两年前，德国马普所光学研究所的Peter Banzer基于上世纪80年代纽约克拉克森理工学院的Milton Kerker提出的理论，报道了他们原理上可以通过带有独特偏振特性的可见光来测量百纳米直径微球的位移，精度可达埃量

级，而所用光的波长则是几百纳米。

Kerker的理论表明，在通常情况下，那些与波长相比非常小的粒子散射出的平面偏振光具有显著的可观测效果。他研究了光束的电场、磁场分量与微小的、非导电的小球的相互作用。发现光会以高度非对称的图样散射，例如，全部是前向散射而没有背向散射。Banzer和同事们对Kerker的想法做了拓展：他们使激光束紧聚焦并且形成径向偏振(径向偏振是指在光束截面上的电场方向沿着径向，就像车轮上的辐条一样沿着半径展开)。展示的初步实验表明，垂直于光束的非对称散射图样随着纳米粒子的微小位移会发生变化。

在最新的工作中，他们发展了理论模型，可以选择最佳波长和偏

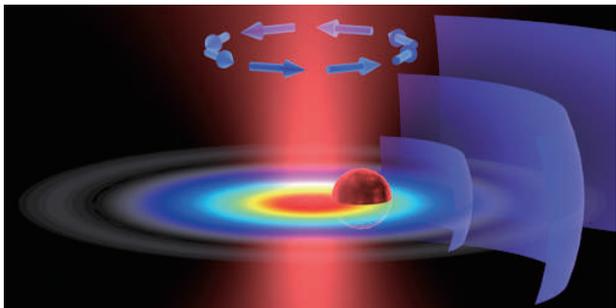
振模式来实现亚埃精度的探测。实验中，将激光紧聚焦至表面覆盖有二氧化硅薄层、直径为156 nm的硅球。通过CCD来记录小球向外散射的环形的区域图样。当他们将小球从中心区移动几个纳米，环形的对称图样就成了非对称的。

要让这种非对称达到最大，可以用640 nm的径向偏振光，或545 nm的方位角偏振光(这是指在光束截面上，电场矢量环形排列，见图)，其结果与他们的理论预言一致。他们发现方位角偏振光可以比径向偏振光对位移更敏感。

为了探索这一技术能达到的极限，他们按照2 nm的间距在40 nm*40 nm的空间内围绕光束中心移动粒子，并观察散射图样。但是，期待的定位测量精度(小于1埃)比移动粒子的设备精度高太多。而且，这个实验在室温下完成，热致抖动达到了4 nm。解决这个问题的方法是多次测量，并且通过对图像相减来比较不同位置时的散射图样。通过比较大量图像，他们得到足够的测量粒子位置的改变，这种改变可以小到3埃，精度达到0.6埃。

组员Martin Neugebauer认为这种方法可以达到更高的精度，“我们只用了一台普通的CCD相机；如果你有很好的探测器，更强的光信号，可以达到更高的精度，探测到更小的位移。”

那不勒斯费德里克二世大学的Lorenzo Marrucci说，这种新方法是用小于光波长的精度定位的“极佳的例子”。他也评价这个系统能追踪粒子的快速移动，“在快速发展的纳米力学领域会有大量的应用。”



纳米粒子尺。这种测量技术中，上方来的红色激光聚焦到一个球形纳米粒子上。这个光束带有方位角偏振，指电场矢量(箭头所指)围绕光束中心形成一个环形。而粒子则是位于光束的中心偏右，导致非对称的横向散射(紫色波面)，右侧较强。分析散射强度的分布可知粒子与光束中心的距离