

激光中的烟圈

(北京大学 王树峰 编译自 Michael Schirber. *Physics*, September 9, 2016)

在许多高强度激光脉冲周围发现一种呈圆环状的新的光学涡旋，但人们之前从未注意到。

被称为时空光学涡旋(STOVs)的现象是一类新的光学现象。在一个典型的光学涡旋中，光波包围着一条穿过光束中心的暗线(或者空洞)环绕前行。光场对于光学涡旋的环绕与光场的振荡方向(偏振)无关，而是由位相决定。例如，光场最强的地方也许最初位于光束中心轴上方，片刻之后却偏到轴的右侧，然后又跑到下面。这种旋转的位相使光具有轨道角动量，这会导致光路上遇到的带电粒子也随之发生旋转。

迄今为止，所有观察到的光学涡旋都位于平面中，这一平面垂直于光的传播方向。现在 Howard Milchberg 与他的同事们发现了一种独特的位相旋转(一种STOV)，它在光周围形成了环形并且与光一起传播。涡旋环在流体力学和声学中是常见现象，但是还从未有人在光学领域发现。Milchberg 的小组当时正在研究高光强下的成丝现象：这是一种当强光在诸如空气等介质中传

播时，介质折射率发生改变，使得光束自己聚焦成为细波束的现象。他们开发了计算机模拟，发现当自聚焦效果达到最强时，在脉冲周围形成了光学涡旋。几种STOV可以同时形成，但是似乎只有一种能得以持续。Milchberg说：“那就像是一个烟圈按照光速前进。”

为验证这个模拟的结果，Milchberg 小组利用飞秒激光脉冲进行了一系列实验。每个脉冲的功率达到了几个吉瓦(千兆瓦)，这个强度足以在空气中产生自聚焦现象。为了拍摄自聚焦过程中的光脉冲，该小组在光束的路径中放置了一个充满氦气的气室。由于在氦气中自聚焦的效应较弱，脉冲在到达气室后就停止了进一步的演化。研究人员于是可以有效地将这些“被冻住”的脉冲送入一部干涉仪，在那里，脉冲与另一束参考光组合在一起。数据显示了脉冲截面中的光强与位相的演化过程。这些图像展示了一个直径为400 μm的暗环，它围

绕着脉冲的中心区域，周围则是明亮的。这与模拟的结果一致。

研究人员用一个简单的模型描述了这个涡旋的形成：自聚焦脉冲的中心与其周边明显不同。随着自聚焦的增强，中心的位相相对于周边发生

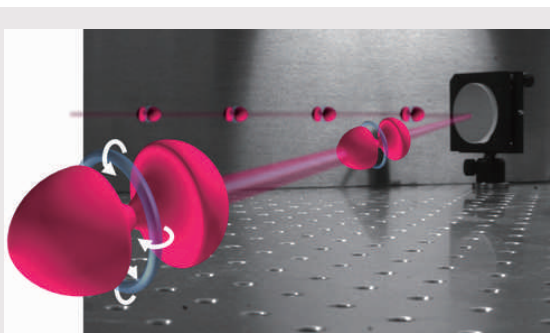
移动。当这种移动达到180°时(例如，中心的电场在某一方向上达到最大值时，周边的电场正好在相反的方向上达到最大)，这种位相的不连续就会导致涡旋在中心与周边之间的边界上形成。与之相似的情形是河流中的旋涡，它们在水流快慢的交界处形成。

这种时空光学涡旋的发现提供了自聚焦脉冲内部动力学的统一图像。在这种可持续的涡旋中，周边会将能量传递到位于脉冲中心的前半部分，而中心后半部分的能量则失去了。这种能量传递导致光在自聚焦中心具有高的光强，也解释了脉冲后部由于分子电离导致的散焦。在近数十年的自聚焦和其他相关实验中，这些涡旋结构应该一直存在。

Milchberg 说，即便是低强度，无自聚焦的脉冲也应该可以产生这种时空光学涡旋，所以它们可以在光学通信中有实际应用。他的小组目前正在尝试产生“人工”时空光学涡旋，这些涡旋可以用作数据流中的比特。

尽管我们对于发现时空光学涡旋惊讶不已，但来自位于德国耶拿大学的 Thomas Pertsch 说“在读过这篇论文后，我的感觉是这种现象非常普遍，应当在很多情况下都可以发现”。例如，Pertsch 相信时空光学涡旋在较弱的激光通过可以旋转偏振的波片时也会发生。他猜测这种效应在高分辨显微中也会有用处。

更多内容详见：N. Jhajj et al. *Phys. Rev. X*, 2016, 6: 031037.



黑暗之环。当光沿着某一路径向前传播时，一种涡旋环(或称为时空光学涡旋，STOV)会出现在光脉冲的腰部。环绕STOV的光呈现出旋转位相，旋转方向沿着图上箭头的方向