

## 强涡旋电子束

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Don Monroe. *Physics*, January 23, 2015)

如果一束光的波阵面是螺旋锥形的，而不是一系列平面，这种光便具有轨道角动量。在过去的几年中，一些实验者曾指出电子束具有类似的效应，这是由于电子具有波一样的性质。近来，一个研究团队演示了一种强电子束，其所具有的轨道角动量比电子自旋大很多倍。这一现象可用于基础研究和探索磁性材料的特性。

典型的光波具有振荡的电场。对于最简单的波，波阵面是平行的平面：如果你及时将波“冻结”，观察垂直于传播方向的一个平面，在该平面上任何一处的场都具有相同的强度和方向。但是在所谓的涡旋束的情况，波阵面形成一个螺旋锥形的表面，这种束具有轨道角动量。螺旋的螺纹越紧密，轨道角动量越大。多年以来研究人员使用具有轨道角动量的光产生运动，例如，在纳米粒子上施加转动。

电子具有与光类似的波动性。5年前几个研究团队制成了具有轨道

角动量的电子束。由于电子束是带电的，轨道角动量导致旋转的电流，从而产生与其传播方向平行的磁场。研究人员希望利用这种电子束来研究材料(例如硬盘驱动器)中原子尺度上的磁性。但是很难产生具有大的轨道角动量的强电子束。因此，加拿大Ottawa大学的Ebrahim Karimi，意大利国家研究委员会(CNR)的Vincenzo Grillo，和他们的同事们开始研制具有高角动量的强电子束。

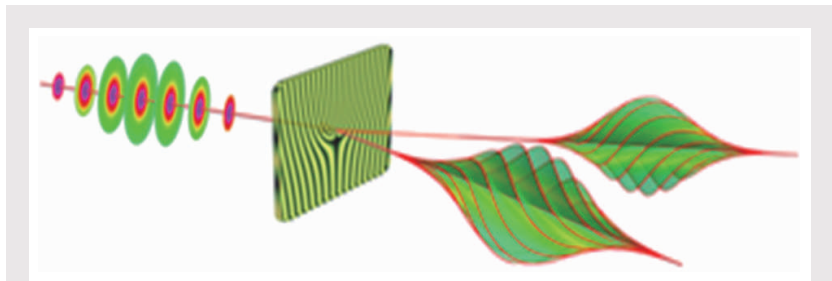
产生涡旋电子束的标准技术与教科书上讲的光学衍射光栅有密切关系，这种光栅是带有一系列紧密排列的狭缝的栏栅。通过光栅的光束只在特定方向上出射，来自所有狭缝的光波的电场都指向同一方向，彼此加强。

通常的光栅产生具有平面波阵面的光束。为了产生螺旋波阵面，研究人员使用了更复杂的光栅，在这种光栅平面的某个区域中的狭缝相对于其他区域的狭缝有微小的位移。这种微小的位移

影响着从各区域出现的光束的相对同步性。每一区域独立地产生平面波阵面的光束，但是不同区域的光束的组合产生具有轨道角动量的光束。

在首次将这种技术用于电子的演示中，所用光栅是用线状结构阻挡“狭缝”之间的粒子形成的，致使电子强度降低。大约在一年前，Ottawa—CNR合作团队使用了一种透明的“相位光栅”，它能够容许多得多的电子通过。这种光栅使用变化的厚度来形成“有效的”狭缝。

在以前的工作中，研究人员使用的光栅的断面在各“狭缝”处为锯齿形。这种形状优先将电子导向特定的衍射点。在最近的工作中，他们使用了更简单的正弦波形断面，因此可以得到高轨道角动量所需要的更精确的图形。对衍射束的测量证实所生成的电子具有约200单位的角动量，这意味着一个螺旋波阵面在一个波长的空间上旋转了200圈。Karimi说，这相当于以前的轨道角动量最高纪录的两倍，而且新的束流的强度是前者的30倍。使用这种束的电子显微镜可以在纳米尺度上绘制材料的磁性分布图。研究人员还有可能探测类似声潮的辐射，预计当具有高磁矩的束流通过某一材料时将会出现这种辐射。更多内容详见：Vincenzo Grillo et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2015, 114: 034801。



电子缠绕器。电子通过精确制作的波纹状的薄膜衍射成具有非常高的顺时针和反时针角动量的电子束