

拓扑缺陷形成规律的激光束模拟

(北京大学 朱星 编译自 David Ehrenstein. *Physics*, July 7, 2017)

利用环形排列的相互作用激光束作为一种探索拓扑缺陷及无序结构的新模型体系，演示了一些看来不相关体系的各种现象。

人们已经研究了在很多不同体系中出现的拓扑缺陷，如宇宙学、自旋体系、冷原子以及光学体系中。当这些体系通过一种相变迅速冷却到一种有序态时，可以观察到拓扑缺陷。这种缺陷限制体系的相干性，以及体系进入完全有序态的能力，因此深入揭示其来源并进行调控非常重要。

如果将熔融的铁缓慢冷却，会使其中的电子自旋沿同一方向取向，因而产生很强的磁场。但是快冷会导致磁畴沿不同的方向，中间分隔的边界被称为拓扑缺陷。当宇宙从大爆炸后快速冷却时，也产生了类似的现象。为了在实验室中研究拓扑缺陷的形成而无需面对温度控制的挑战，以色列魏兹曼研究所的 Nir Davidson 团队发展了一种用

相干激光束的实验方法。对激光强度成像观察可以测量拓扑缺陷在不同参数条件下的形成过程，比如类比与“冷却速率”。

他们制备了锁相激光组成的一维环，观察到耗散型拓扑缺陷，并且证实了它们的形成与 Kibble—Zurek 机制相关。拓扑缺陷的形成是由两个互相竞争的时间尺度所支配的。这两个时间尺度的比值取决于系统参数，调节这个参数可以使整个系统以耗散形式进入无缺陷的完全有序状态，类似于将熔融铁缓慢冷却而得到自旋取向一致的分布。这个结果可以用于解决计算机的硬件计算等领域的问题。

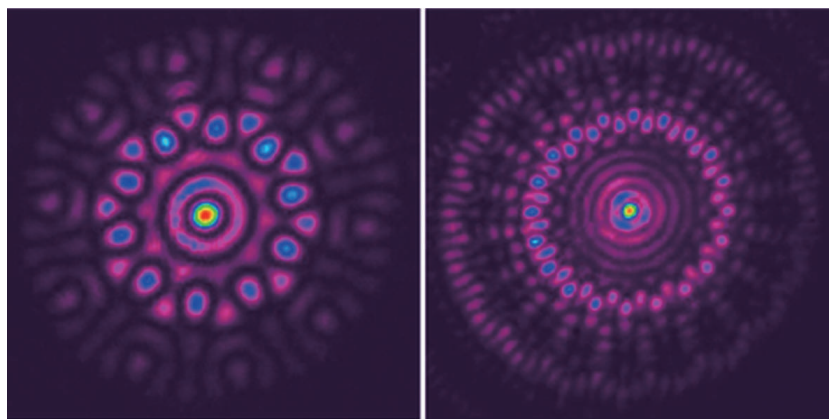
Davidson 团队的实验模型是将由 20—30 个孔洞排列成的环形盘放入一个激光腔中。这样的“掩模

板”产生一套激光束，每束激光穿过小孔，一部分漏入相邻的两个光束，因此产生相互作用。这些相互作用使不同光束的相位差随时间而变化。由于这种演变极其快，因此只能观察到其终态，即记录下激光强度分布。

这个状态代表了在谐振腔中 1000 个不同纵模的综合效应——实际上相当于 1000 个实验同时运行，每个实验具有相对于其他激光束不同的初始相位关系。在大多数情况下，激光束迅速将其相位同步，但是对于某些初始相位关系时，激光束“卡”在某些态，每个激光束的相位锁在与邻近光束不同的相位上。团队展示了当采用 10 个激光束时，可以严格地形成 8 个拓扑缺陷态。

研究人员分析了这些激光花样，研究拓扑缺陷随参数变化形成的共性，如改变环中激光束的数量、谐振腔中泵浦光的强度等。他们发现，当泵浦光强度增加，拓扑缺陷很快增加。模拟结果显示，当泵浦强度高时，激光束中强度变化急剧减小，而激光强度低时需要较长时间达到平衡强度。因此他们认为，较慢的强度平衡可以相应于低的冷却速率(如前述铁的缓慢冷却)，这样形成拓扑缺陷的几率就会降低。

原文详见：Vishwa Pal et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2017, 119: 013902.



激光束形成的牛眼结构。由环状分布的 10 束激光的相位能准确同步，激光束的远场强度分布(左)可清楚地区分中心附近的亮环及暗环。然而，当采用 20 束激光时，由于每一束激光与其相邻激光的相位不同步，使得中心的亮环—暗环的区别不明显(右)，产生拓扑缺陷的可能性约 20%