
光学克尔腔中的无色散孤子光梳

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22249.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！

光学克尔腔中的无色散孤子光梳。

光学频率梳是一种光谱包含一系列等间隔频率分量的特殊光源，在光通信、激光雷达、光计算、光谱测量、光钟等领域有着广阔应用前景。基于克尔腔的光频梳技术(克尔梳)具有高重频、低功耗、可芯片级集成等优势，近年来得到人们广泛关注。

在克尔梳达到低噪声锁模状态时，谐振腔内形成稳定的光学孤子。光孤子是一种行为类似于粒子的局域化电磁波包，其产生的物理机制依赖于线性效应与非线性效应之间的平衡。

近年来，清华大学的薛晓晓与郑小平研究团队与普度大学等单位合作，围绕克尔腔中的孤子动力学与光频梳技术开展了一系列探索与研究，先后提出了正常色散区的暗孤子光梳新机制(Nature Photonics 9, 594-600, 2015)、双腔模式调控与光梳产生新方法(Laser Photonics Reviews 9, L23-L28, 2015)、二次谐波辅助的相位匹配新机理(Light: Science Applications 6, e16253, 2017)、高效率孤子光梳新方案(Nature Photonics 13, 616-622, 2019; Laser Photonics Reviews 11, 1600276, 2017)，解决了克尔梳的高可靠性激发与高效率能量转换等问题，并推动了克尔梳在微波光子学领域的应用(Journal of Lightwave Technology 36, 2312-2321, 2018; Frontiers of Optoelectronics 2, 238-248, 2016)。

在现有的理论框架下，光场的群速度色散常常被认为是孤子形成的必要条件。然而，色散主导的孤子光梳具有特定的脉冲和光谱形状，且调控能力有限，不利于实际应用。例如，面向光通信的理想光梳应当具有各梳齿功率均等的矩形光谱，然而反常色散区的亮孤子光梳形状一般为双曲正割，而正常色散区的暗孤子光梳具有较大的功率起伏，两者均与理想形状相差甚远。

在这篇文章中，研究人员发现了一种本质上不依赖于色散的新型孤子态，称为无色散孤子。与常规孤子不同，无色散孤子在理论上完全不存在色散的情况下也能够稳定存在。他们进一步揭示出无色散孤子的物理本质是自相位调制与光谱滤波效应的本征函数。本征值实部所对应的损耗随着滤波阶数的增加而下降，并逐渐逼近于零。当滤波阶数足够大时，光谱滤波效应与自相位调制之间达到完全平衡，同时参量增益与均匀损耗之间也达到平衡。此时产生的孤子光梳具有极为平坦的光谱，脉冲形状非常接近于理论上带宽受限的奈奎斯特脉冲，因此又称为奈奎斯特孤子。

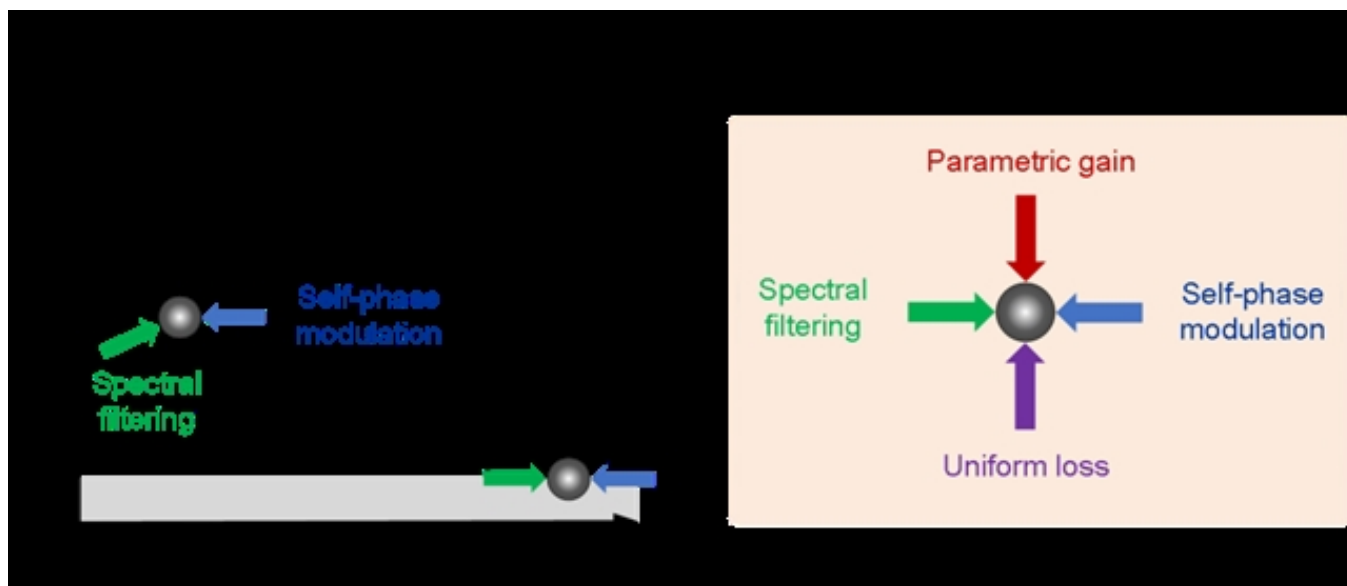


图1 无色散孤子的物理机理。(a)光谱滤波效应与自相位调制的本征函数。本征值实部对应的损耗随着滤波阶数增加而下降。(b)奈奎斯特孤子平衡示意图。光谱滤波效应与自相位调制之间达到平衡，参量增益与均匀损耗之间达到平衡。

该成果以Dispersion-less Kerr solitons in spectrally confined optical cavities为题发表在Light: Science Applications。薛晓晓为本文的第一作者和通讯作者，郑小平为本文的共同通讯作者，法国Bourgogne Franche-Comté大学的Philippe Grelu为本文的合作作者。

研究人员搭建了光纤环腔实验系统，利用可编程光谱整形器精确控制腔内的色散和损耗，并对环境扰动进行稳定反馈控制，最终成功捕获到了无色散孤子。孤子的脉冲形状和光谱形状与理论预测精确吻合。

实验获得的奈奎斯特孤子具有接近于理想的矩形光谱，99.6%的功率分布在6 dB 带宽范围内，其中包含66,000根梳齿。研究人员同时观察到了多个孤子紧密聚合在一起而形成的孤子分子结构，以及孤子分子向单孤子脉冲的可控演变过程。

系统的数值模拟结果表明，奈奎斯特孤子能够在很大的参数区间内稳定存在，并且其脉冲能量能够在保持脉冲宽度和光谱形状基本不变的前提下持续提高。

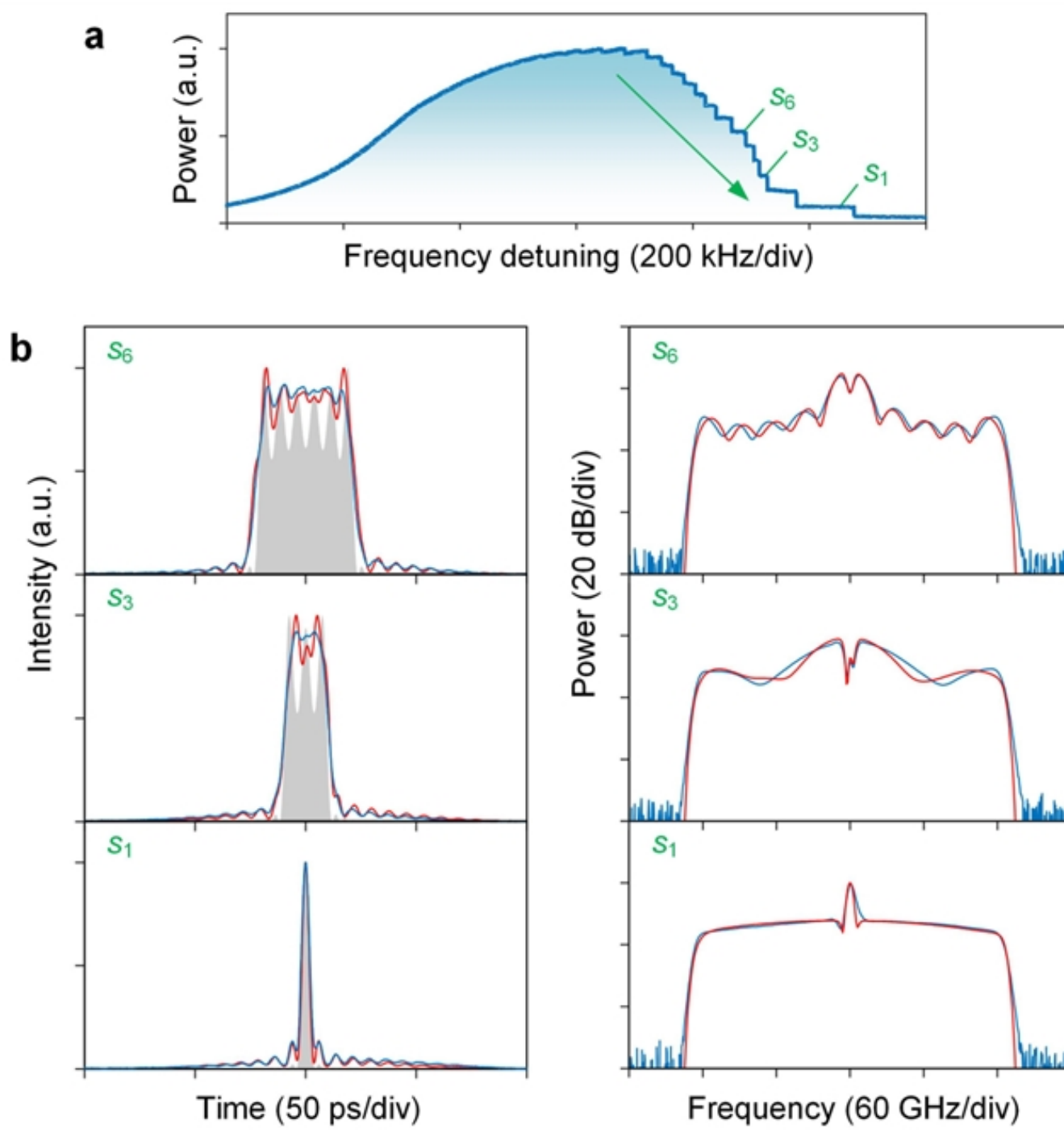


图2：奈奎斯特孤子分子及其向单孤子的演变。(a)谐振腔内光功率随着泵浦光频率的变化曲线。不同的功率台阶对应于腔内不同的孤子状态。(b)在标记的3个功率台阶处的孤子脉冲形状(左)与光谱(右)。蓝色：实验结果;红色：仿真结果。S6与S3状态为孤子分子，其中分别包含6个和3个孤子。S1状态为单孤子。孤子分子与单孤子均对应于光谱滤波效应与自相位调制的本征函数(灰色轮廓)。

总结与展望

在这项工作中，研究人员发现了一种光谱滤波效应主导的孤子产生新机制，通过调控谐振腔的色散和损耗实现了对光谱形状的灵活调控，获得了具有平坦光谱的奈奎斯特孤子。该研究加深了人

们对光孤子形成物理机理的理解，拓展了克尔孤子光梳的研究范式。未来该概念可移植到集成微腔平台，通过设计周期性光子晶体结构对微腔的色散和滤波特性进行调控，实现具有理想光谱形状的微型克尔梳。(来源：LightScienceApplications微信公众号)

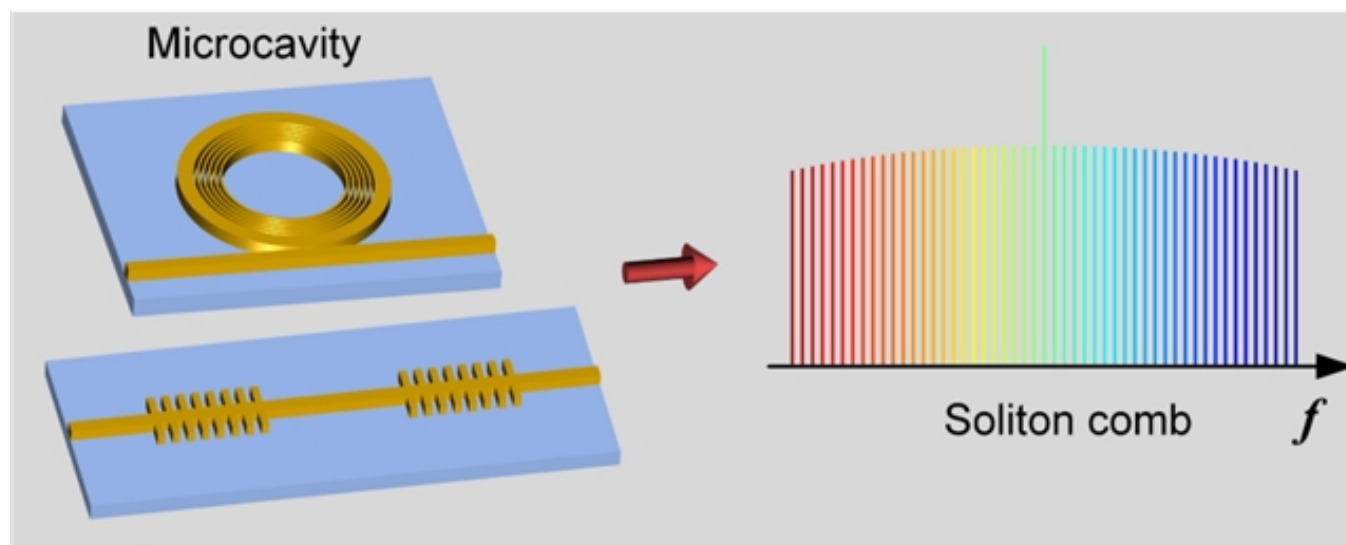


图3：具有平坦光谱的集成克尔光梳概念图。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-022-01052-8>

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：薛晓晓等 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