
首次实验观察：“多原子”新型孤子分子

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22408.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！

首次实验观察：“多原子”新型孤子分子。

近日，来自深圳技术大学聚龙学院的唐定远教授团队在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》发表了题为Novel optical soliton molecules formed in a fiber laser with near-zero net cavity dispersion的高水平论文，胡晓博士为本文的第一作者，唐定远教授为本文的通讯作者。此外，南洋理工大学电气与电子工程学院、江苏师范大学物理与电子工程学院和华中科技大学光电信息学院也为本工作提供了协助。唐定远教授结合近零群速度色散的单模光纤激光器(ZGVD-SMF)的特点，提出了由不同基本类型(亮孤子、暗孤子)的孤子间的相互作用形成的多原子新型孤子分子(P SM)，并通过数值模拟和实验的方式验证了这一孤子分子机制的存在，为孤子分子动力学、全光存储等领域的发展提供了新的思路。本工作目前已经得到了新加坡教育部和中国国家自然科学基金的支持与帮助。

光孤子是由于色散、射和非线性之间的自然平衡而形成经过长距离传输而保持形状不变的光脉冲，在玻色-爱因斯坦凝聚、场论和非线性光学等领域中有着广泛的研究和应用。通过光孤子间的吸引和排斥等相互作用，多个孤子可以形成稳定的有界状态，称为光孤子分子。在传统的保守系统，如标准无扰动非线性方程(NLSE)所描述的系统，由于孤子之间的相互作用势没有局部最小值，从而导致无法形成孤子分子。而在耦合保守系统中，研究表明可以通过正交偏振光分量之间的交叉相位调制(XPM)来显著改变孤子相互作用的场景，并产生相互作用电势的局部最小值，最终可以形成孤子分子。具体而言，传播常数略有不同的正交极化分量可以相互结合，形成稳定的矢量孤子状态，这被称为XPM修正耦合非线性薛定谔方程(CNLSE)的典型解。

光纤激光器通常被用作研究复杂孤子动力学的平台，最常见的多孤子分子结构由两个束缚孤子脉冲组成的孤子对分子，此外，三重态孤子分子、由两个孤子对分子组成的孤子四分体等也在光纤激光器中得到了深入的研究。研究表明，几乎所有的光孤子分子都与简单的化学分子有着相似之处，但是对于复合型孤子分子，即不同类型孤子(如暗孤子和亮孤子)的孤子结合状态的研究还存有很大的空白，是当前光孤子研究的一大热点。

光孤子可以相互作用，形成稳定的束缚态，称为孤子分子。迄今为止，针对光纤激光器中通过亮孤子形成孤子对、孤子三重态、孤子四重态分子的实验研究非常深入。然而，对暗孤子和亮孤子之间的孤子束缚态的研究有限。唐定远教授聚焦暗孤子和亮孤子间的相互作用开展了一系列研究，考虑到近零群速度色散(ZGVD)是光纤激光器中的一种特殊色散状态，在ZGVD点的两侧，允许存在暗孤子和亮孤子，甚至是矢量暗孤子和矢量亮孤子，从而为不同基本类型的孤子间相互作用提供了可能。

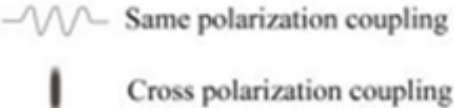





			
Soliton Molecule State		Formation Mechanism	
1+1 Polyatomic soliton molecule 		Incoherent coupling between a dark and a bright soliton	
2+1 Polyatomic soliton molecules  dark leading a (1+1) PSM  (1+1) PSM leading a dark		Incoherent coupling between a scalar dark and a (1+1) PSM	
2+2 Polyatomic soliton molecule 		Incoherent coupling between a vector dark and a vector bright soliton	

表1. 各种观察到的孤子分子及其形成机制综述。给出了每个孤子分子结构的示意图。红色阴影圆表示在正常GVD状态下形成的暗孤子的原子表示;蓝色阴影圆表示异常GVD状态下形成的亮孤子的原子表示。

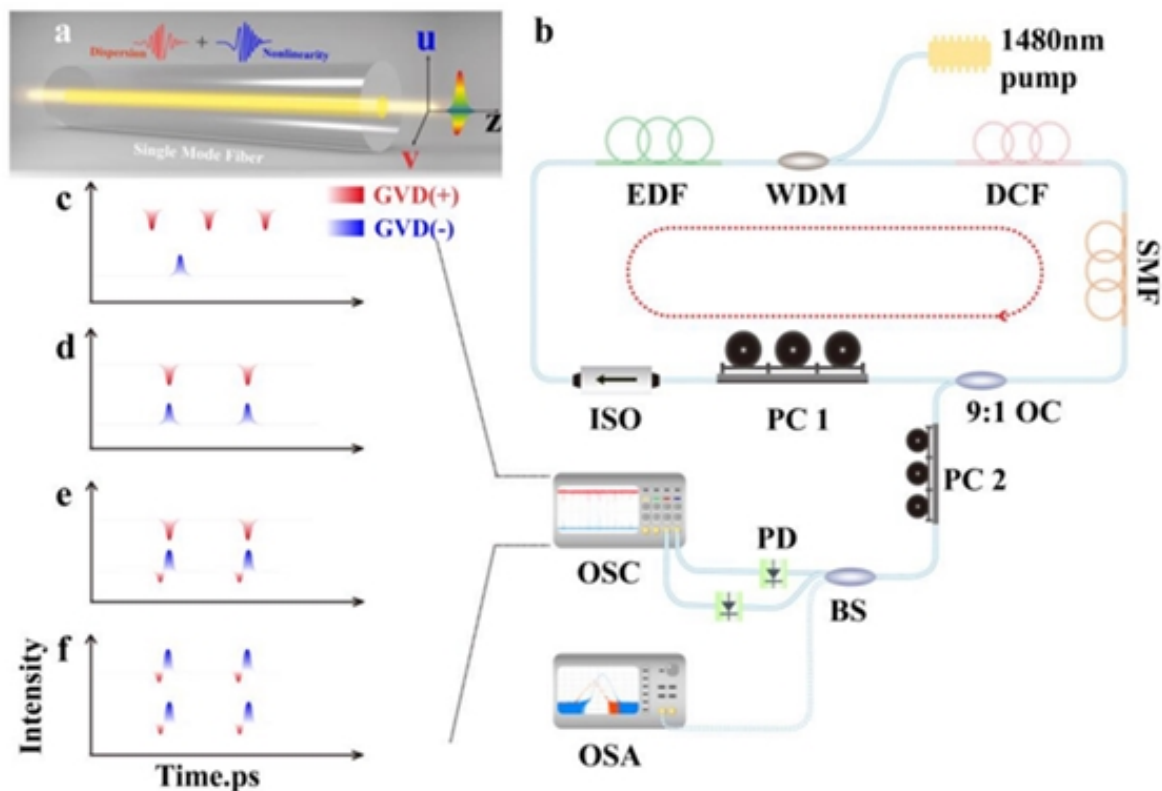


图1. 实验设置和不同孤子操作状态示意图。(a)双折射单模光纤的图示。(b)光纤激光器系统光路图。EDF：掺铒光纤放大器;DCF：色散补偿光纤;SMF：单模光纤;ISO：偏振无关隔离器;WDM：波分复用器;OC：输出耦合器;BS：分束器;PD：光电探测器;PC：偏振控制器;OSC：示波器;OSA：光谱分析仪。(c-f)实验中观察到的四种典型孤子操作状态的示意图。红色部分：在正常色散状态下形成的暗孤子;蓝色部分：在反常色散状态下形成的亮孤子。

唐定远教授团队报道了在具有近零群速度色散(ZGVD)的单模光纤(SMF)激光器中形成的各种形式新孤子分子，并进行了首次实验观察。具体而言，包括由一个标量暗孤子和一个标量亮孤子，或两个标量暗孤子和一个标量亮孤子，或者一个矢量暗孤子和矢量亮孤子(称为普通暗-亮孤子，ODBS)组成的新型孤子分子。这些新型孤子分子是由于光的非相干交叉相位调制而形成的，是暗孤子和亮孤子之间直接相互作用的结果，在概念上类似于化学中的多原子分子。

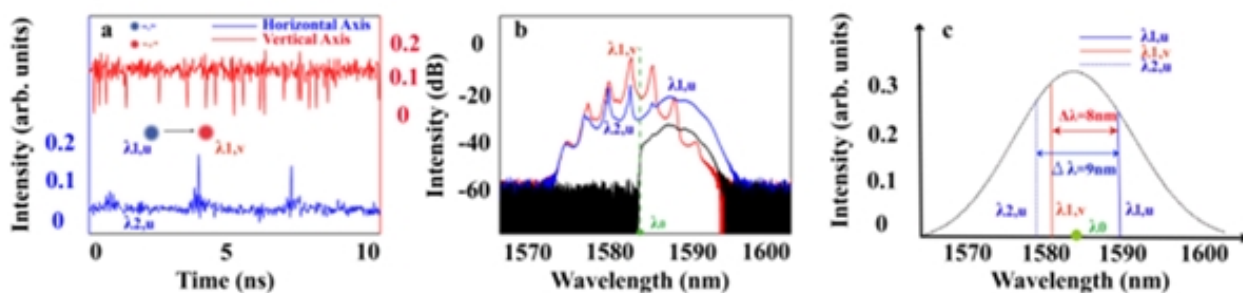


图2. 正交极化暗孤子和亮孤子的同时形成示意图。(a)偏振光发射。蓝色实线：沿水平轴发射激光，红色实线：沿垂直轴发射激光。(b)对应(a)的相应光谱。(c)关于ZGVD点的孤子波长示意图

研究人员将其命名为多原子孤子分子(PSM)，用来强调该类型的孤子分子是由不同基本类型的孤子间的相互作用形成的。表1展示了光纤激光器中观察到的孤子分子及其形成机制。研究这通过Ginzburg-Landau耦合方程(CGLEs)对光纤激光器中的非线性过程等进行数值模拟，验证了孤子分子的形成机制。该研究结果有助于理解大孤子分子复合物的动力学，并在多编码、超连续谱生成和全光比特存储等方面具有实际应用前景，也是激发大容量传输和全光信息存储的潜在应用。

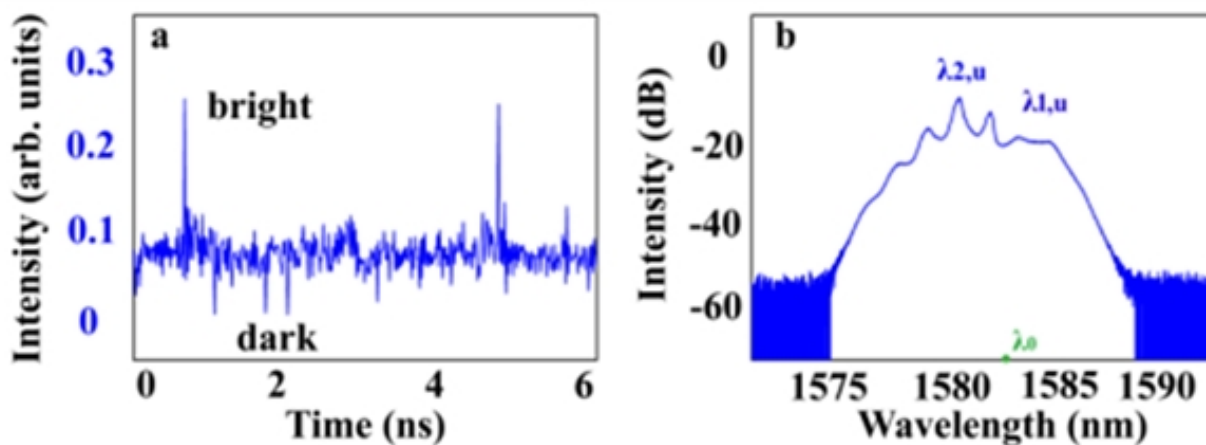


图3. 标量暗孤子和亮孤子沿着相同的极化同时形成的示意图。(a)标量亮孤子和暗孤子的共存。(b)对于(a)中所示状态的光谱。

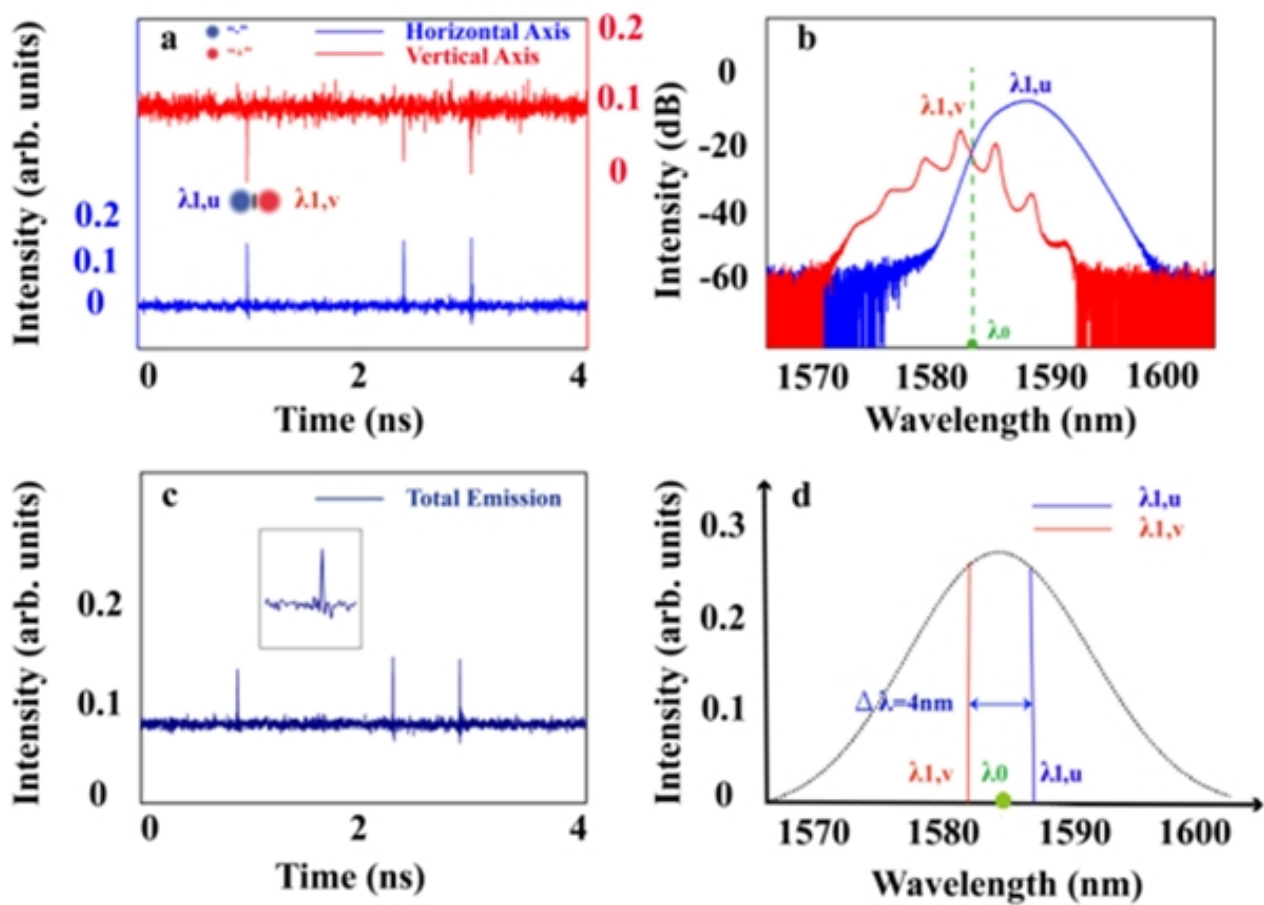


图4. 通过非相干交叉极化耦合形成的ODBS((1+1)PSM)。(a)偏振分辨激光发射。蓝色实线：沿水平轴发射激光，红色实线：沿垂直轴发射激光。(b)对于(a)的相应光谱。(c)对于(a)的总激光发射。(d)关于ZGVD点的孤子波长示意图。

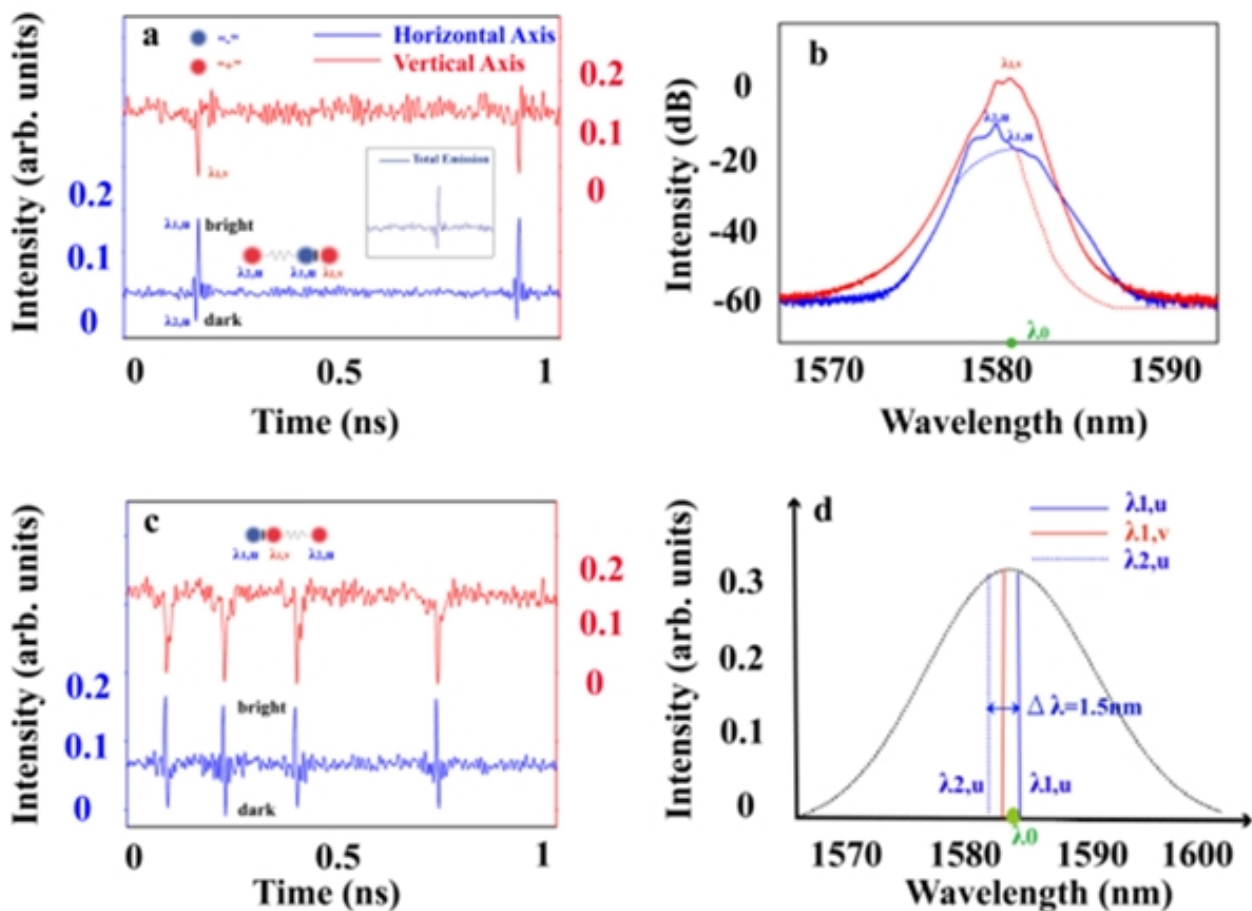


图5. 实验观察到两种(2+1)PMS。(a)(2+1)PSM的状态，其中暗孤子引导ODBS。蓝色实线：沿水平轴发射激光，红色实线：沿垂直轴发射激光。插图：每个(2+1)PSM的总激光发射。(b)对于(a)的偏振分辨光谱。(c)(2+1)PSM的另一种状态，其中ODBS引导暗孤子。(d)暗孤子和亮孤子相对于Z GVD点的波长关系示意图。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Novel optical soliton molecules formed in a fiber laser with near-zero net cavity dispersion，胡晓博士为论文的第一作者，唐定远教授教授为论文的通讯作者。(来源：LightScienceApplications微信公众号)

相关论文信息：<https://www.nature.com/articles/s41377-023-01074-w>

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：唐定远等 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](http://iikx.com)转发