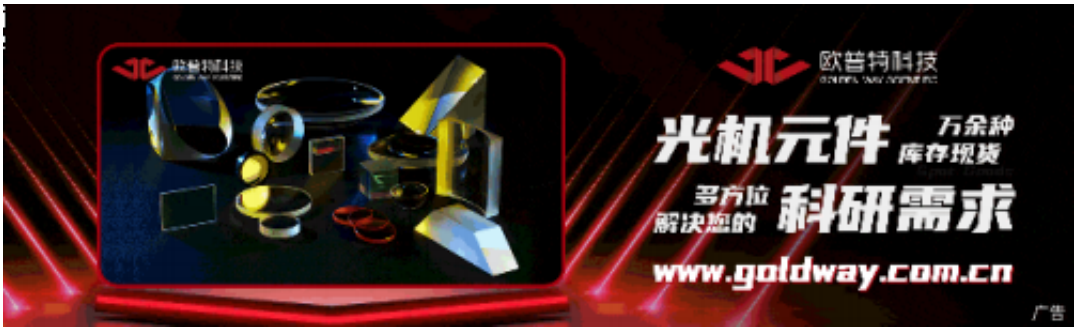
OEA丨多芯光纤技术新突破：非线性光束搅拌实现稳定的高功率分配

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43122.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！

OEA丨多芯光纤技术新突破：非线性光束搅拌实现稳定的高功率分配。?





Opto-Electronic Advances论文推荐俄罗斯科学院Sergey A. Babin教授团队揭示了多芯光纤中一种不同寻常的现象：当低功率激光脉冲通过七芯光纤时，光能量会在不同纤芯之间呈现随机且不稳定的分布；然而，随着输入功率的提高，光能量反而逐渐趋于均匀，并最终稳定地分布于所有纤芯之中。这一发现为开发更高效的高功率激光系统以及改进光纤中的光放大和成像技术开辟了新的途径。

爱科学
iikx.com

OEA | Opto-Electronic Advances

Article

September 2026, Vol. 9, No. 9

Open Access

Spatiotemporal beam stirring in a multicore fiber

Alena Y. Kolesnikova[1,2*†], Mikhail D. Gervaziev[1,2†], Nikita V. Bochkarev[1,2], Denis S. Kharenko[1,2], Evgeniy V. Podivilov[1,2] and Sergey A. Babin[1,2*]

Abstract: Multicore fibers (MCFs) are perspective for telecommunications, sensing, imaging, and laser technologies. Here, the effect of spatiotemporal beam stirring between weakly coupled cores is observed for sub-nanosecond narrowband pulses of several kW peak power propagating in ~10 m long 7-core fiber, for the first time to our knowledge. In contrast to the low-power domain where the output power distribution in the cores is random with large fluctuations sensitive to fiber disturbances, at high power of the input pulse injected in the central core the output power becomes equalized between the cores with fluctuations reduced to <5% being insensitive to disturbances. Similar behavior is observed in cut-back experiments showing that equi-partition is approached at a distance of ~5 m. The performed modeling describes well the experimental results and clarifies mechanisms of the new effect caused by a large nonlinear phase shift changing along the pulse and thereby resulting in statistical averaging over the pulse length of multidirectional power transfer processes between cores, thus leading to the robust equilibrium (equi-partition for hexagonal MCF topology). At the same time, the combined output beam measured in a far field takes a stable bell-shaped profile instead of speckled beam at low powers, similar to the beam self-cleaning effect in multi-mode fibers.

Keywords: multicore fiber; Kerr nonlinearity; beam stirring

DOI: 10.29026/oea.2026.260036 | CSTR: 32247.14.oea.2026.260036

Citation: Kolesnikova AY, Gervaziev MD, Bochkarev NV et al. Spatiotemporal beam stirring in a multicore fiber. *Opto-Electron Adv* **9**, 260036 (2026).

[1]Institute of Automation and Electrometry SB RAS, Novosibirsk 630090, Russia; [2]Novosibirsk State University, Novosibirsk 630090, Russia.

[†]These authors contributed equally to this work.

*Correspondence: AY Kolesnikova, Email: a.kolesnikova@g.nsu.ru; SA Babin, Email: babin@iae.nsk.su

文章 Kolesnikova AY, Gervaziev MD, Bochkarev NV et al. Spatiotemporal beam sti rri ng i n a mult i core fiber. Opto-Electron A dv 9, 260036 (2026).

作者：Alena Y. Kolesnikova ? *, Mikhail D. Gervaziev ? , Nikita V. Bochkarev, Denis S. Kh arenko, Evgeniy V. Podivilov, Sergey A. Babin*

?同等贡献作者；*通信作者

研究背景

多芯光纤（Multicore fiber， MCF）在同一包层内并行排布多根纤芯，最初作为空分复用（space division multiplexing， SDM）的技术方案被提出，用于突破单模光纤的容量上限；其成本与功耗优于并行敷设多根单模光纤，横向信道间的串扰也小于模式严重交叠的多模光纤。已有实验证实，基于多芯光纤的空分复用系统可实现超过10 Pb/s的传输容量。除通信外，多芯光纤还被视为产生、放大与传输高功率连续光与脉冲激光的理想介质，也是构建三维形状传感、新型光纤激光腔体等器件的重要平台。

然而在弱耦合多芯光纤中，纤芯之间的随机耦合会让注入某一根纤芯的光在传输途中随机分散到其余纤芯，输出端的功率分布随时间大幅涨落，且对光纤的弯曲、扭转等外界扰动极为敏感；低功率下输出光束在远场呈现不稳定的散斑结构。这种功率分配不可控、不稳定的特性，直接限制了多芯光纤在高功率激光传输与放大中的应用。如何让多根纤芯的输出功率自行趋于均等并对外部扰动免疫，成为多芯光纤从实验室走向实用化亟待突破的核心问题。

本文亮点

针对上述挑战，俄罗斯科学院西伯利亚分院自动化与计量研究所、新西伯利亚国立大学Sergey A. Babin教授团队搭建了实验装置：将中心波长1064 nm、脉宽435 ps、重复频率1 kHz的窄带调Q微片激光注入一根长11 m的无源七芯光纤，其纤芯模场直径6.4 μm、芯间距17.3 μm；光纤被绕成直径6 cm的环，以平均折射率起伏的影响，输出端用光束质量分析仪记录各芯的功率分布（图1）。

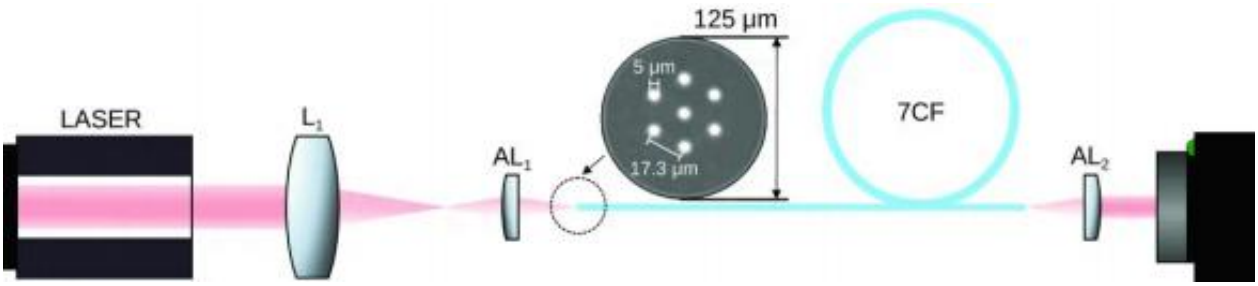


图1七芯光纤时空光束搅拌实验装置示意

实验结果出人意料。在0.13 kW的低峰值功率下，注入中心芯的光被随机分配到七根纤芯，各芯占比差异极大；随着输入峰值功率升高，差异持续收敛，到6.32 kW时七根纤芯的输出功率几乎完全均等，各芯占比均约为14%，对应脉冲串平均功率约2.75 mW。芯间功率的最大值与最小值之差由超过30%降至5%以下（图2）。团队还确认，两种功率下光纤的输入输出透过率没有明显变化，说明均分并非源于线性损耗的改变；光谱测量显示窄带光谱因自相位调制而略有展宽，印证了其非线性来源。

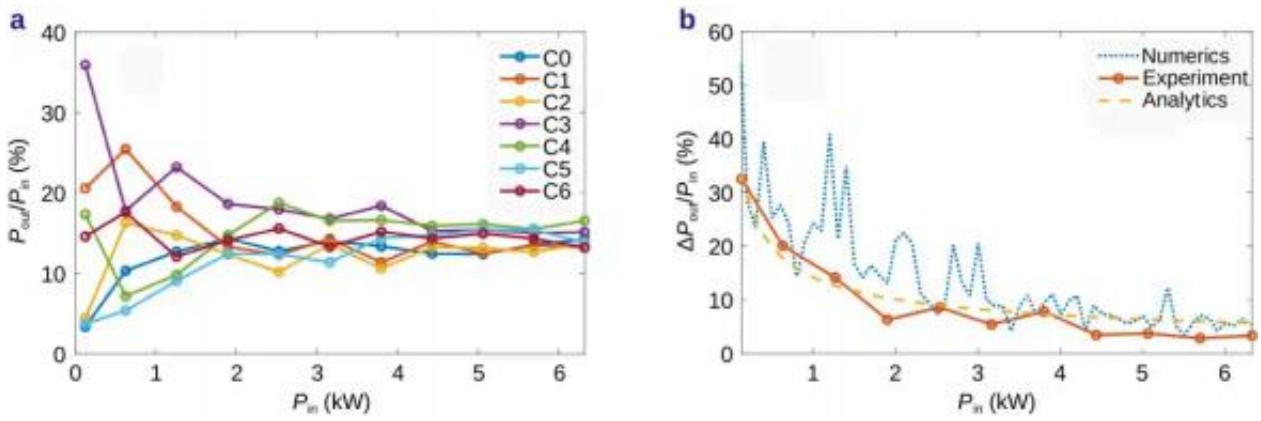


图2（a）各芯输出功率占比随输入峰值功率的变化；（b）芯间功率最大最小差值随峰值功率的变化

为弄清均分是如何在传输中建立起来的，团队在注入条件不变的前提下逐段截断光纤，测量不同长度处的芯间功率差。结果显示，即使在高功率下，短距离处光仍随机分布于各芯，均分随传输距离逐步逼近，约在5m处趋于等分（图3），这一行为与数值模拟和解析近似均相符。

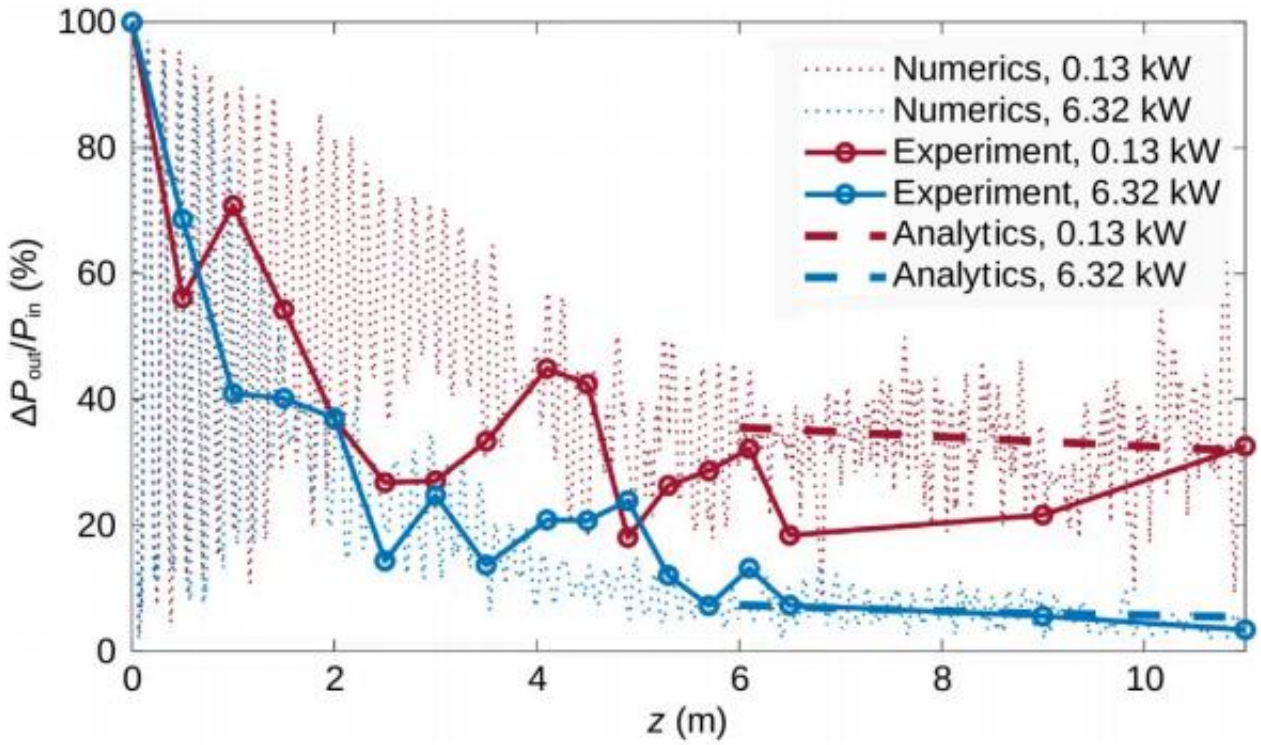


图3芯间功率最大最小差值随光纤长度的变化

功率的重新分配也改变了输出光束的形态：近场图像中七束光的强度逐渐趋于一致，远场图像中低功率下强烈散斑化的光斑则转变为稳定明亮的钟形分布（图4）。团队进一步对光纤施加局部机械扰动：低功率下散斑结构与芯间分布立刻改变，而高功率下的均分状态对弯曲与扭转基本不敏感——补充材料中的录像（视频1）记录了扰动沿光纤移动时七束近场光斑始终亮度相当；这与多模光纤中的克尔光束自清洁效应高度相似。

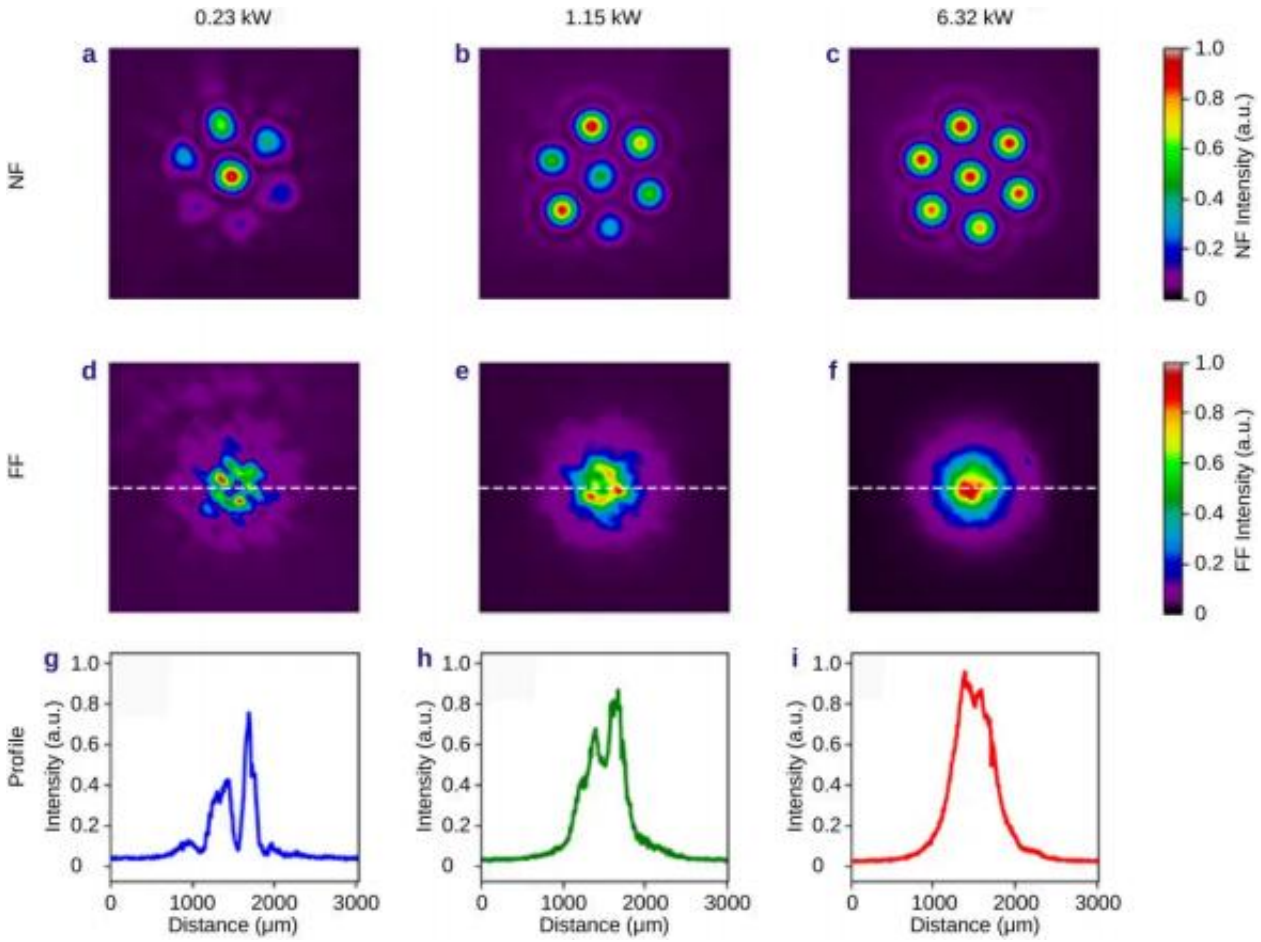


图4（a－c）输出近场与（d－i）远场图像随输入峰值功率的变化

数值模拟与解析分析给出了效应的物理图像：低功率下，纤芯弱耦合叠加随机折射率起伏，使脉冲作为整体在芯间随机转移，涨落与平均值同量级；高功率下，累积的非线性相移沿脉冲变化，不断改变芯间功率转移的方向，使功率在脉冲内部来回振荡，本实验

中被切成约100个子脉冲。每个子脉冲内部的分配仍然随机，但沿脉冲做时间平均后涨落被压低约一个数量级，功率分布因此被拉平并稳定下来（图5）。

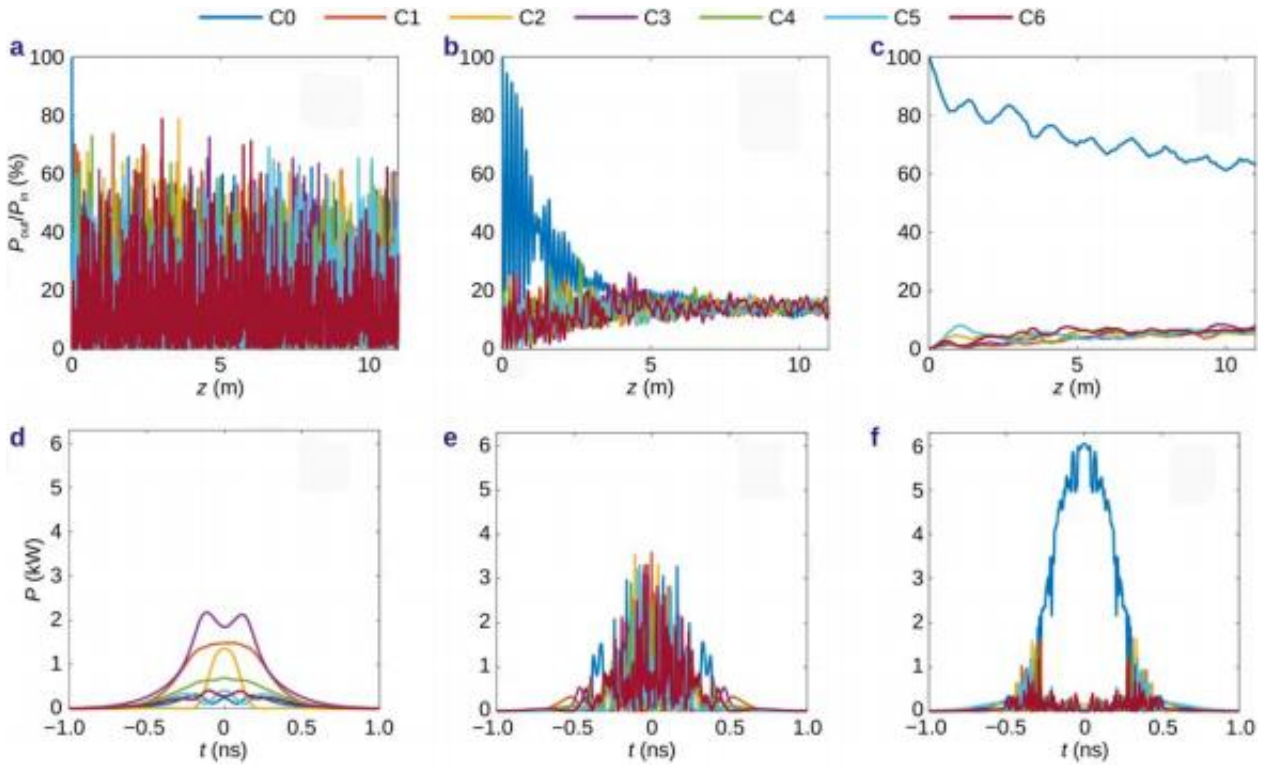


图5归一化到输入功率的（a – c）各芯功率沿光纤分布与（d – f）对应的输出脉冲

该工作以“Spatiotemporal beam stirring in a multicore fiber ”为题发表在Opto - Electronic Advances 2026年第9期。

本研究得到了俄罗斯科学基金会（21-72-30024-П）的资助；
Kolesnikova的模拟工作得到了俄罗斯联邦科学与高等教育部（FSUS-2025-0010） 的支持。

研究团队简介

参与本文研究成果的研究团队成员包括： Alena Y. Kolesnikova负责建立数值模型并进行模拟；Mikhail D. Gervaziev和Nikita Bochkarev搭建了实验装置并完成相关测量； Evgeniy V. Podivilov负责理论模型推导及解析计算； Denis S. Kh arenko负责指导项目的实验部分； Sergey A. Babin提出研究的初始构想， 并对整个项目进行总体指导。 论文由全体作者共同撰写完成。

此次研究成果建立在团队此前一系列相关工作的基础之上，包括：
开发并应用新型模式分解技术，以研究多模光纤中的光束自清洁效应［Phys. Rev. Lett. 128, 243901 (2022)］；开发用于先进传感器和激光器的多芯光纤布拉格光栅（FBG）阵列制备技术［Opto-Electron Adv. 5, 210055 (2022)］；研究带有FBG阵列的多芯光纤激光器中的新型光学现象，例如激光发射谱线的光谱坍缩［High Power Laser Sci. Eng. (2026)，提前在线发表https://doi.org/10.1017/hpl.2026.10157］，及其他相关工作。



本文第一作者Alena Yu. Kolesnikova



其他团队成员， 从左到右分别为： Denis Kh arenko, Evgeniy Podivilov, Mikhail?Gervaziev, Sergey Babin, Nikita Bochkarev.

长按识别此二维码，直达全文
来源：光电期刊

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转发