

## 2025 年度中国光学学会科技创新奖简介

项目名称：激光尾场加速驱动的台式化自由电子激光

获奖类别：自然科学奖

获奖等级：特等奖

主要完成单位：中国科学院上海光学精密机械研究所

主要完成人：王文涛、李儒新、刘建胜、冯珂、许毅、冷雨欣、徐至展

学科分类：激光物理 140.3055；粒子加速器物理学 140.7030；等离子体物理学

其他学科 140.5599

推荐单位：中国科学院上海光学精密机械研究所

项目简介：

X 射线自由电子激光光源是目前最先进的 X 射线相干辐射源，具有超高时空分辨，在生物、化学、物理等交叉前沿领域作用关键，但其进一步发展和应用受制于庞大而昂贵的射频加速器。实现基于激光尾场电子加速器的小型化自由电子激光，已成为国际超强激光与先进光源实验室共同追求的目标。本项目针对该目标面临的系列科学难题，从原理创新到实验验证，提出了“级联加速”、“密度尖峰注入”、“协同注入”、“啁啾补偿”及“紧凑型辐射束线”等原创方案，最终取得重要突破。

### 1. 获得并保持激光尾场加速器的最高品质，为其走向应用铺平了道路。

团队在国际上首次提出并验证了级联激光尾场加速，实现电子注入与加速过程的分离与控制，实验获得能量近 GeV 的准单能电子束【*Phys. Rev. Lett.* **107**, 035001 (2011)】；进而证实级联加速在优化能散、提升能量上的优势【*Appl. Phys. Lett.* **103**, 243501 (2013)】；提出的密度尖峰注入机制，使实验获得该领域国际最高亮度电子束，成果被编辑推荐为“亮点文章”【*Phys. Rev. Lett.* **117**, 124801 (2016)】；进一步提出协同注入机制，结合激光自聚焦演化实现能散补偿，实验获得迄今国际最低能散（千分之二）、高能（~820 MeV）电子束【*Phys. Rev. Lett.* **126**, 214801 (2021)】，该项记录保持至今。这些突破为激光尾场加速器的发展指明了方向，两次入选“中国光学十大进展”。

美国国家工程院院士 C. Joshi 教授、美国物理学会会士 M. C. Downer 教授等人，在 *Rev. Mod. Phys.* 等综述中提到“...在激光尾场电子束能散压缩中取得极其令人印象深刻的进步...”；

“...在激光尾场加速领域获得的最小能散...”; “...少数的里程碑成果...”【*Rev. Mod. Phys.* **90**, 035002 (2018)】。

2. 国际率先基于激光尾场加速完成紧凑型自由电子激光原理验证，在国际竞争中取得领先。

2021 年，团队在 *Nature* 发表封面文章，利用已获得的高品质电子束，设计紧凑型束流传输与辐射系统，在国际上首次实现基于激光尾场加速的自由电子激光放大输出，辐射中心波长 27 纳米，能量达百纳焦量级【*Nature* **595**, 516-520 (2021)】。

该项成果第一次完成了基于激光尾场加速器的紧凑型自由电子激光原理验证，被 *Nature* 专文评价为“...迈出了关键的一步...”，“...激光尾场领域自‘梦之束’报道以来的又一里程碑式的成果...”；*Science* 同期以“首次实现小型化粒子加速器产生激光”为题报道，并引用美国两大国家实验室专家的评价：“...太令人印象深刻！...”，“...这是一个巨大的进步...”成果入选国家“十三五”科技创新成就展。

本系列工作被评价为“加速器和自由电子激光发展的重要方向，为新兴领域应用创造新的可能”【*Nature* **595**, 496 (2021)】，为超强超短激光装置、台式化加速器及先进光源的创新发展指明了路径。

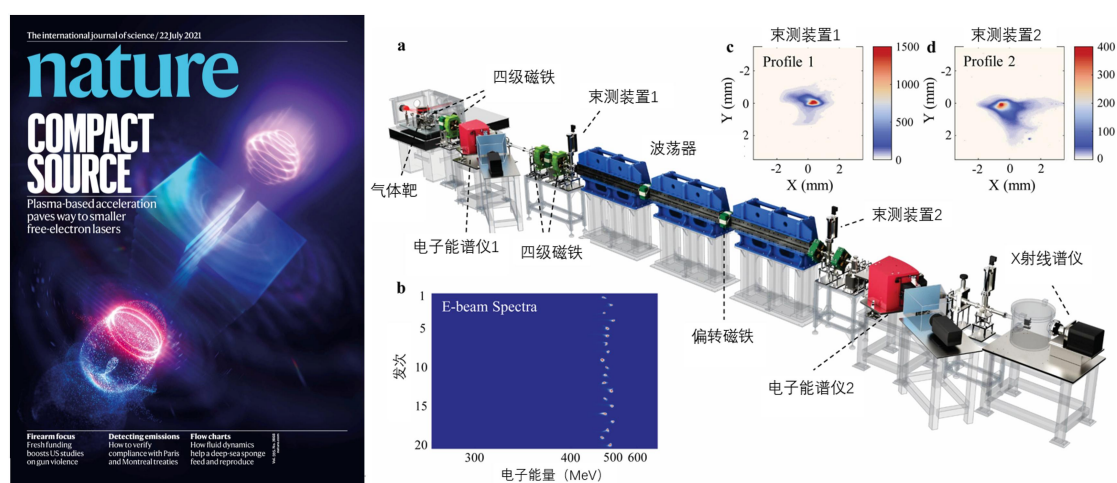


图 1 2021 年以“Compact Source”为题发表于 *Nature* 封面