

上海科技报

(/index.html)

www.shkjb.com

首页 (/index.html) / 综合新闻 (list.html?id=812)

小型化自由电子激光获突破性进展

上海科学家将“梦之束”变成“现实之光”

2021年07月22日

作者：耿挺

The international journal of science / 22 July 2021

nature

COMPACT SOURCE

Plasma-based acceleration
paves way to smaller
free-electron lasers

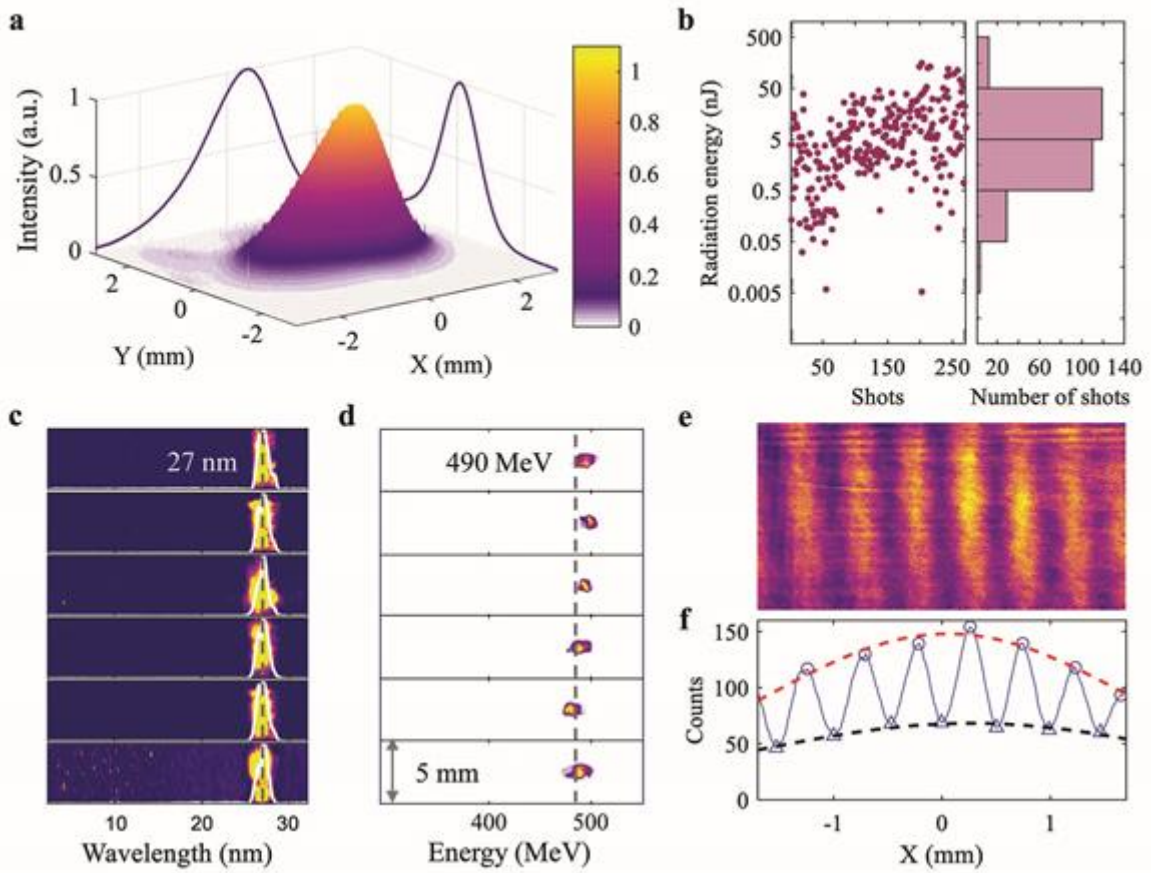
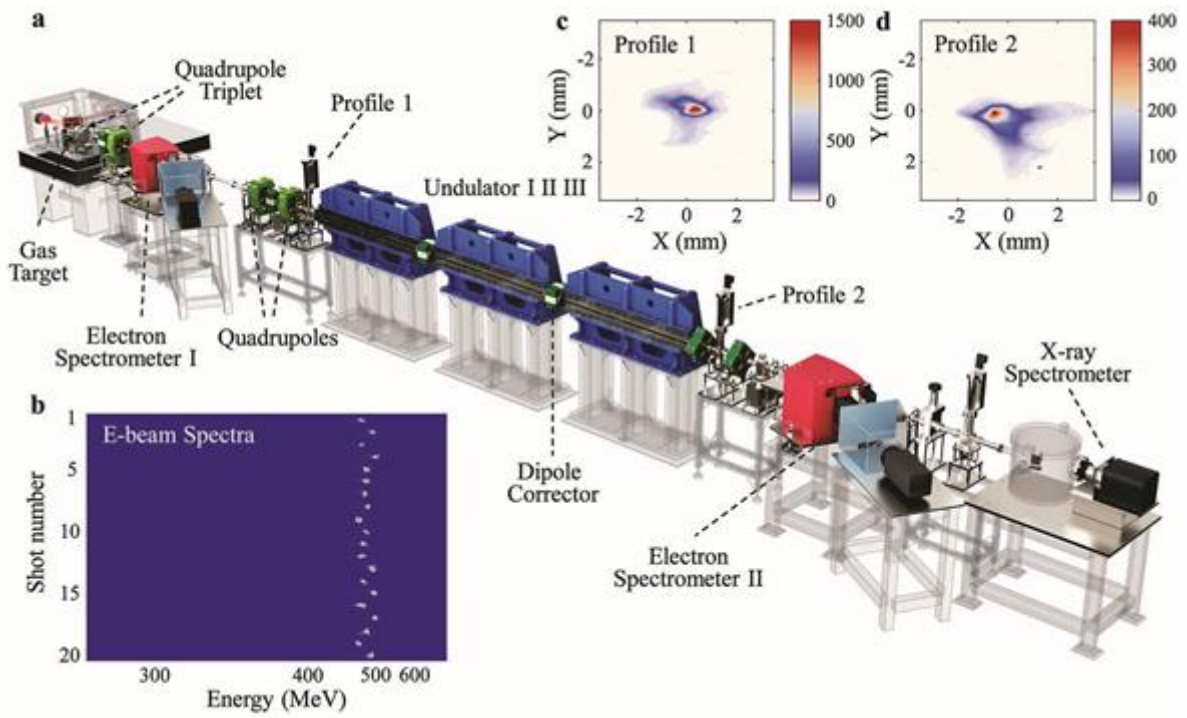


Vol. 595, No. 7858
£10.00 nature.com

2004年,美国、英国、法国等国的科学家的论文同时在《自然》杂志发表,并登上了该期的封面。他们首次在实验上证实激光尾波场可以实现一定品质的电子加速。这一发现为研制小型化高能电子加速器提供了新的技术路线,因而被科学界称为“梦之束”。

2021年,中国科学家将“梦之束”变成了“现实之光”。中国科学院上海光学精密机械研究所强场激光物理国家重点实验室,在实验上首次实现了基于激光加速器的自由电子激光放大输出,在国际上率先完成了台式化自由电子激光原理的实验验证。7月22日,这篇对发展小型化、低成本自由电子激光器具有重大意义的论文,同样作为封面文章登上了《自然》杂志。

在自由电子激光小型化的国际竞赛中，中国走到了前列。



从公里级到十米级，需过重重难关

自由电子激光是当今科学家探索自然奥秘的终极工具之一。这种高亮度的X射线光源，具有高时间分辨、高空间分辨、高峰值亮度的特点。它就像一台拥有飞秒量级快门、埃级（一个氢原子大小）分辨率、高曝光量的超级相机，能够在物理、化学、结构生物学、医学、材料、能源、环境等多学科大展拳脚。

在全球，目前运行和在建的自由电子激光一共有8台，这些装置动辄几百米、甚至是几公里长的“庞大”规模，之所以要这么长的距离，是因为电子需要逐渐提升速度，直至被加速到一个足够快的速度。而电子的速度越快，产生的自由电子激光才能足以照亮微观世界。

用激光尾波场来加速电子，是另辟蹊径。如果说，电子在直线电子加速器里提速，是飞机从机场的长长跑道上起飞；那么，电子在激光尾波场的加速，则是飞机从短小的航空母舰上弹射起飞。而激光尾波场就是航空母舰的弹射装置，可以让电子的速度瞬间提升到接近光速。如此一来，激光尾波场可以将电子加速器的大小从公里级别缩短到厘米级别，也就把现在占地几公里的传统自由电子激光装进了一间实验室里。

然而，国际上激光尾场加速自2004年取得突破以来，而利用该机制的小型化自由电子激光却迟迟没有诞生。最致命的问题在于，激光尾波场加速电子之后，电子束的能散太大，而且不够稳定，不足以实现自由电子激光。“在直线加速器里，能够很好对电子进行控制。但激光尾波场由于距离太短，反而大大增加了电子控制的难度。”中科院上海光机所副所长、强场激光物理国家重点实验室主任冷雨欣用了一个形象的比喻：其难度堪比在几厘米的距离上踢球，每一脚都要让球以相同的速度、相同的方向飞行，并停在同一个位置上。

在难关面前，台式化自由电子激光踌躇不前17年，直到中国科学家“踢”出关键的“一脚”。





十年磨一剑，“梦之束”终成“现实之光”

“我们是从2012年开始启动台式化自由电子激光研制的。”中科院上海光机所研究员王文涛说，当时“新一代超短超强激光综合实验装置”项目团队成立，承担了国家自然科学基金委首批重大仪器专项的科研攻坚任务。团队由徐至展院士、李儒新院士带领，总人数30人，其中35岁以下青年比例为75%。

一张拍摄于2013年的照片中，“加班奋战三百天，不见出光誓不还”的标语，显示了团队的雄心壮志。然而，攻关之路从来遍布荆棘，而上海光机所要走的是一条更为艰难的全球领先之路。奋战从标语里的三百天变成了现实中的三千天，团队的年轻人硬是把“冷板凳”坐热了。

研究团队通过设计特殊的等离子体密度分布结构，优化控制电子束的注入过程与加速过程，使得电子束综合品质得到有效的提升。其中，电子束的能散从5%提升到0.2%；在稳定性上，从原来不能连续产生，提升到能够连续产生且抖动小。同时，通过控制与优化电子束相空间演化实现了电子束从等离子体到真空的平稳过渡，并设计相应的束流传输与波荡器辐射系统，实现电子束长距离传输并有效耦合至波荡器中。

在上海光机所的实验室里，一条只有12米长的台式化自由电子激光装置最终成型。装置的源头是200TW超短超强激光器，这道激光在穿过特殊设计的等离子体装置之后，激光尾波场将电子顺利加速。被严格束缚的电子束在经过一系列设备之后，最后成了耀眼的自由电子激光。值得一提的是，从材料到组件，再到设备，上海光机所这条台式化自由电子激光装置的所有核心技术都掌握在自己手里。

“我们终于出光了！”一张拍摄于2019年1月11日凌晨3点的照片，见证了荣耀时刻。研究团队首次在实验上观测到极紫外波段的辐射信号，典型的辐射波长27纳米，单脉冲辐射能量最高可达150纳焦，并通过轨道偏移以及自发辐射定标等方法证实了最后一段波荡器中能量增益高达100


倍。这是国际上首次实现基于激光电子加速器的极紫外波段的自发辐射放大输出，也意味着台式化自由电子激光不仅仅是科学原理上的“梦之束”，而成了具有实际科研应用前景的“现实之光”。

当研究论文登上《自然》封面时，国际同行给予了高度评价，“该成果是激光尾波场领域自2004年‘梦之束’报道以来的又一里程碑式的成果”。这也是对中科院上海光机所团队十年磨一剑的至高褒奖。

未来，研究团队将进一步提升自由电子激光的输出功率和光子能量，并作为上海超强超短激光实验装置（“羲和”激光装置）中超快化学与大分子动力学研究平台的重要组成部分，提供开放共享。

编辑：liuchun 审核：liuchun

证件信息：沪ICP备10219502号 (<https://beian.miit.gov.cn>)

 沪公网安备 31010102006630号 (<http://www.beian.gov.cn/portal/registerSystemInfo?recordcode=31010102006630>)

中国互联网举报中心 (<https://www.12377.cn/>)

Copyright © 2009-2022

上海科技报社版权所有

上海科荧多媒体发展有限公司技术支持



([//bszs.conac.cn/sitename?method=show&id=5480BDAB3ADF3E3BE053012819ACCD59](http://bszs.conac.cn/sitename?method=show&id=5480BDAB3ADF3E3BE053012819ACCD59))