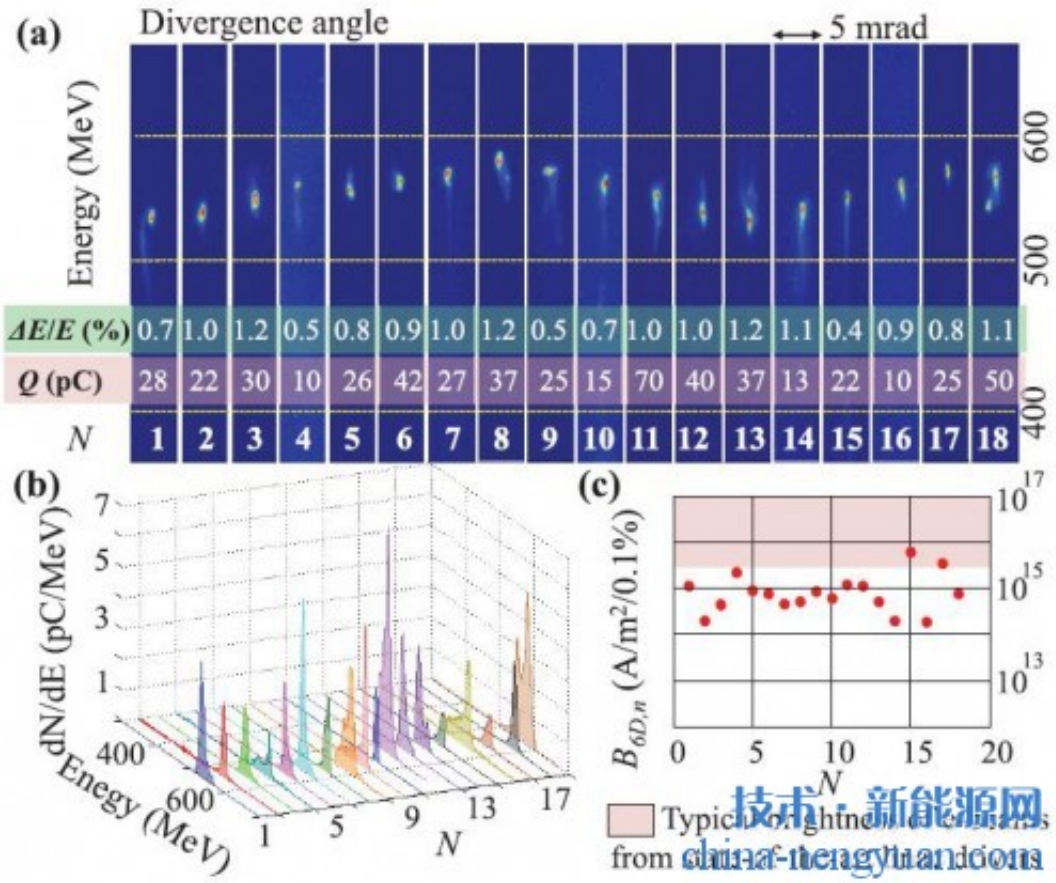
上海光机所激光电子加速获得创纪录高亮度高品质电子束



图(a) 实验测量的（530-580 MeV）高品质电子束能量和发散角分布；(b) 对应于(a)的高品质电子束能谱图；(c) 电子束的六维相空间亮度B6D,n，可比拟于世界上最先进的直线加速器。

近期，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的中科院院士徐至展、研究员李儒新带领研究团队，在超强超短激光驱动尾波场加速产生高亮度高品质电子束研究中取得突破性进展。研究团队提出了级联尾波场加速新方案，突破了激光尾波场加速中能散度难以压缩等重大技术瓶颈，实验获得了高亮度、高品质的高能电子束，电子束六维相空间亮度达到10^15-16A/m^2/0.1%，远高于目前国际上报道的同类研究结果，在国际上首次接近了最先进的直线加速器上所能获得的电子束亮度。相关研究结果发表于9月16日的《物理评论快报》（Physics Review Letters 117, 124801(2016)）上，并被选为“亮点论文”。

发展小型化、低成本激光粒子加速器一直是科学家们梦寐以求的目标。超强超短激光驱动的尾波场电子加速器具有比传统的射频加速器高出三个量级以上的超高加速梯度，为实现小型化的高能粒子加速器等提供了全新技术途径，也将对未来的同步辐射装置、自由电子激光以及高能物理研究等带来深远的影响。近十年来，激光尾波场电子加速研究已经取得许多重要进展，但是在产生高品质电子束方面还面临诸多难题和挑战，例如能散度压缩与稳定性提高等，使其在应用方面的研究受到限制。

近年来，中科院上海光机所该研究团队在激光尾波场电子加速方向开展了独具特色的研究，国际上首次成功实现级联双尾波场准单能高能电子加速方案，实验获得了GeV级准单能电子束等重要研究成果（Phys. Rev. Lett. 107, 035001 (2011)；Appl. Phys. Lett. 103, 243501(2013)）。在本项研究中，研究人员又创新地设计了级联尾波场加速新方案，通过在两段级联的等离子体之间引入一段高密度等离子体，控制电子束的稳相加速及能量啁啾反转和能散度压缩，克服了单级尾波场加速方案中能散度无法独立控制的技术瓶颈，实验获得了高品质（200-600 MeV、能散0.4-1.2%、流强1-8 kA、发散角　0.2 rms mrad）的高能电子束。电子束各项重要性能指标的全面提升，使得电子束最高的六维相空间亮度达到6.5×10^15A/m^2/0.1%，远高于目前国际上报道的同类研究结果，也是激光电子加速在国际上首次接近最先进的直线加速器所能获得的电子束亮度。三维粒子模拟也揭示，该级联加速新方案能够有效抑制电子的二次注入，实现电子束的稳相加速，并通过控制电子束的能量啁啾和压缩能散度获得低能散度、低发散角及高流强的高亮度高品质电

子束。

评审专家对该研究结果给予了高度评价：“ 该亮度是迄今激光尾波场加速器实现的最高纪录 ”；“ 相比于以前的方案，该方案通过高密度区，恰当地操控了自注入电子束的注入位相...并且电子束的能量啁啾在加速过程中能够得到补偿...是一个新的方案，在产生数百MeV具有千分之一级相对能散并高电荷量的高品质、高亮度电子束方面取得了重大进展... ”；“ 利用优化结构的密度分布产生了200-600
MeV的具有低能散度、低发散角的电子束...提出的新方法实现了创纪录的电子束流品质 ”。

利用该方案获得的高亮度高能电子束应用于逆康普顿散射伽马射线源产生方面也获得了突破。利用该电子束与超强超短激光对撞产生了超高亮度准单色MeV量级伽马射线源，其最高峰值亮度达3×10^22 photons s^-1 mm^-2 mrad^-2 0.1%BW，与国际上报道的同类伽马射线源亮度相比高出一个量级以上，比传统伽马射线源同能区的峰值亮度提高了10万倍。相关研究结果近期已发表于Scientific Reports （6, 29518 (2016)）。

该项研究得到国家自然科学基金委、科技部、中科院等有关项目的支持。目前，该研究团队正在开展小型化全光自由电子激光装置的研制工作。利用该级联尾波场加速新方案成功产生的高亮度高能电子束，将会显著促进小型化自由电子激光等重要领域的研究进程。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/99021.html