
等离子体加速极化粒子束

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36871.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！

近日，物理学综述期刊 *Reports on Progress in Physics* 刊载了题为《Plasma acceleration of polarized particle beams》的综合性综述论文。该论文首次对蓬勃兴起的激光等离子体加速极化粒子束这一前沿领域进行了全面系统的梳理与总结，提炼了奠定该领域发展的核心物理理论、关键实验技术与多种创新加速方案，还勾勒出未来十年的发展路线图。

综述指出，将自旋极化的概念与超高梯度的等离子体加速技术相结合，旨在为高能物理、核物理与聚变能源等领域提供一个潜在的有效新工具。然而，激光等离子体环境中的极端、瞬变电磁场，对粒子自旋的保持构成了严峻挑战。论文系统地阐述了在该环境中支配自旋演化的三大核心物理效应：自旋进动、自旋对粒子轨迹的影响，以及辐射极化。文章指出，在现有大多数激光等离子体加速器参数下，由托马斯-巴格曼-米歇尔-特莱迪（Thomas – Bargmann – Michel – Telegdi）方程描述的自旋进动效应是导致退极化的主导机制；同时文章也给出关键退极化时间尺度，为后续所有旨在维持极化的实验设计提供了至关重要的理论基础。

综述还总结了为实现极化加速所发展的各类关键技术。在靶材技术方面，论文区分了预极化靶与原位极化两大技术路径。前者如已成功实现激光加速的极化 ^3He 气体靶，证明了极化在加速后得以保持的原理可行性；后者如利用多步激光操控自旋极化氢气或特定原子（如氙、镱）的方案，则展现了无需维持磁场、可达更高密度的潜力，代表了未来的发展方向。

对于不同种类的粒子，文章阐述了以下要点：

- 1.极化电子：通过激光尾波场加速，结合拉盖尔-高斯激光模式、双脉冲碰撞注入等创新注入技术，已能在数值模拟中实现80%以上极化度的高品质电子束。其中一个关键共识是：退极化主要发生在注入阶段，而非后续的高能加速阶段。
- 2.极化正电子：由于其难以直接制备，研究聚焦于通过非线性Breit-Wheeler过程等转化机制，利用极化电子束或极化伽马光子来间接产生，多项理论方案预测其极化度可达60%左右。
- 3.极化离子：磁涡旋加速与无碰撞激波加速被认为是两种最具前景的机制。前者适合产生高电荷量束流，后者则在保持超极高极化度方面表现优异。
- 4.极化伽马光子：作为非线性Compton散射的产物，其产生技术已趋于成熟。同时，文章也特别强调了其潜在应用价值，即利用伽马光子的偏振极化特性作为被动诊断工具，来反演等离子体内部复杂的瞬态电磁场与动力学过程。

此外，文章指出理论研究和数值模拟已取得系列进展，但实验验证仍是当前最紧迫的任务，尤其是在极化电子和正电子产生和加速方面。同时，开发能够适应激光等离子体束流超短脉冲、超高流强特性的专用极化测量技术，是推动该领域发展的关键支撑。

作为对未来的展望，综述提到：激光等离子体加速器所能提供的飞秒级脉冲、千安培级峰值流强的极化束，其性能在多方面具有潜力优势，如作为下一代高亮度粒子对撞机、自由电子激光器的优质注入器，或将直接应用于极化燃料聚变、时间分辨的核物理探测等全新实验场景。随着ELI（欧洲极端光学装置）、SULF（上海超强激光装置）等下一代激光设备陆续建成，极化粒子束的等离子体加速研究将从原理探索阶段，逐步过渡到实验性能优化与实际应用阶段，为科学家探索微观物质结构和宇宙极端环境开启新的窗口。

本综述工作由 Lars Reichwein（德国于利希研究中心）、弓正（中国科学院理论物理研究所）、郑川（德国杜塞尔多夫大学）、吉亮亮（中国科学院上海光学精密机械研究所）、Alexander Pukhov（德国杜塞尔多夫大学）和Markus Buescher（德国于利希研究中心）六位研究人员合作完成，文章于11月14日在IOP期刊网站在线发表。相关工作得到国家自然科学基金、国家重点研发计划、中国科学院先导项目等的支持。（来源：中国科学院理论物理研究所）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1088/1361-6633/ae1988>

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等事宜，请与我们接洽。

作者：弓正等 来源：《物理学进展报告》

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](https://www.iikx.com)转发