

超强激光激发的强场量子电动力学专辑

Special Issue on Strong Field Quantum Electrodynamics Excited by Super Intense Laser Pulse

出版前言

2018 年诺贝尔物理学奖的一半被授予了 Gérard Mourou 与 Donna Strickland 两位教授，以表彰他们发明啁啾脉冲放大技术 (CPA)，以及由此带来的飞秒强激光在医学、工业和基础科学研究方面的重大应用。CPA 技术使得激光峰值功率迅速提升至数百太瓦 (TW) 至拍瓦 (PW) 水平，人们可获得的聚焦激光强度达到 $10^{18} \sim 10^{22} \text{ W/cm}^2$ ，电子在单个光周期内即被加速到接近于光速，激光与物质相互作用进入到相对论区域。

近年来，随着 CPA、QPCPA 等超高功率激光技术进一步发展，数十至百拍瓦激光已经或即将投入使用，聚焦激光强度将进一步提升至 $10^{23} \sim 10^{24} \text{ W/cm}^2$ ，质子在单个光周期内也将被加速到接近于光速，激光与物质的相互作用进入超相对论区域。在该区域，以正负电子对产生、超亮 X 和伽玛射线辐射，以及粒子自旋极化为代表的量子电动力学 (Quantum Electrodynamics, QED) 效应将越来越显著。经典电动力学将不再能够正确描述这些物理现象，而需要用强场 QED (Strong Field Quantum Electrodynamics) 理论来理解这些物理过程。另一方面，强场 QED 作为描述极端强度电磁场与物质相互作用的量子理论，预言在很高的电磁场强度下会出现大量新的物理现象，包括辐射中的高阶非线性效应和辐射阻尼效应、Schwinger 对产生、真空极化、真空双折射效应、光子劈裂与散射、Unruh 辐射等，这些过程绝大多数尚未得到直接的实验验证。超强激光的发展使得在实验室里直接研究这些过程成为可能，强场 QED 理论的诸多预言将有望被实验检验。

为深入探讨及分享国内外在超强激光激发的强场量子电动力学领域的最新进展，推动我国相关领域向纵深发展，应《强激光与粒子束》编辑部邀请，我们特别策划组织了“超强激光激发的强场量子电动力学”专辑。为此，我们邀请了国内活跃在该领域前沿的专家撰稿，全面、深入地探讨该领域最新研究成果，以及未来潜在的发展方向。经过一年多的约稿、组稿、审稿、编辑加工、校对设计，该专辑终于在 2023 年第 1 期和大家见面了。

本专辑收录 12 篇论文，既有高水平的综述性介绍，也有高质量的研究性论文，主要涉及以下三方面内容：一是极端电磁场与电子或真空作用触发正负电子对产生，以及 QED 级联效应的研究，这一部分当前主要以理论和数值模拟研究为主，既包含对可聚焦极限光强影响的判定，也包含对正负电子对产额和粒子束性质的预估；二是基于超强激光与静态靶或与电子束对撞产生强 X 和伽马射线源的研究，这一部分既对已有理论模型和模拟方案做了总结，也对国内外的一些实验和国内即将开展的研究进行了介绍；此外，我们还邀请专家对 QED 效应引起的自旋极化等离子

体产生、温稠密物质中双流不稳定性影响，以及基于强激光加速的霍金-安鲁辐射研究做了评述，这些研究是超强激光激发的 QED 效应向其他领域，如惯性约束聚变、量子引力理论的应用拓展。除此之外，还有大量的新效应和应用等待着被探索 and 开发。我们期待着理论和实验能力进一步发展，拓展我们认知的边界，让人们在这一全新领地挖掘出更多的宝藏。

本期专辑在策划组织、撰写及出版期间，正值新冠疫情在国内多地散点突发，主编、执行主编、编辑部全体成员，以及各位专家和审稿专家们克服自身遇到的各种困难，严格认真地履职尽责，保证了专辑的学术质量，借此机会向大家表示衷心的感谢。在激光与物质相互作用即将进入超相对论强度区域之际，我们期待该期专辑能够向广大读者概述性地介绍本领域的发展，对未来发展做出展望，并对国内同行的学术交流做一点贡献。

由于受水平及时间所限，本专辑所反映的研究现状难免挂一漏万，错失和不当之处恳请各位同仁不吝指正。

专辑主编：

上海交通大学物理与天文学院，陈民

2023 年 1 月