

中红外强场原子光电离与“水窗”波段高次谐波产生

柳晓军¹ 陈京² 程亚³ 徐至展³

超快光学

¹中国科学院武汉物理与数学研究所波谱与原子分子物理国家重点实验室, 湖北 武汉 430071

²北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100088

³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, 上海 201800

强场物理是当今物理学研究的重要前沿领域, 强光场中原子、分子的电离动力学研究则是强场物理领域的基础与研究热点。因现有超快激光增益介质(如钛宝石)等的限制, 绝大多数强场原子物理的实验研究都局限于可见-近红外波段(或经倍频后波长进一步缩短至谐波波段)。近年来, 可调谐中红外(1~5 μm)新波段强场超快激光(能量: mJ 量级或更高; 脉宽: 数十飞秒甚至周期量级)的出现与迅速发展, 开辟了强场物理领域中迄今仍很少探索的参量空间, 为开拓强场相互作用新物理、新效应及新应用提供了新机遇。首先, 长波长(中红外)新波段强激光场显著降低了决定强场原子光电离机制的 Keldysh 参数, 促使强场光电离研究深入到隧穿电离的参数空间, 从而导致一系列新物理效应的出现, 将已有数十年研究历史的强光场原子电离学科领域推进到一个崭新的阶段^[1]。其次, 高次谐波的截止频率与驱动波长的平方成正比, 而阿秒啁啾与驱动波长成反比。因此, 更长波段的中红外强场超快激光为实现超快、可调谐、水窗波段乃至 keV 量级的台式化相干 X 射线源并更短、更强阿秒光脉冲提供了新途径^[1,2]。

最近, 我们利用强场激光物理国家重点实验室新近建成的可调谐中红外波段的超强超短激光平台, 对强场原子阈上电离(ATI)的实验与理论进行了深入研究, 从实验中发现中红外新波段(如 2000 nm)强光场中, 原子的阈上电离

光电子能谱在低能端出现了令人惊异的峰状(甚至双峰)新结构, 并进而揭示了光电离电子与其母离子间的库仑相互作用是形成上述特殊新结构的主要起因^[3](图 1 所示)。值得一提的是, L. DiMauro 等^[4]与上述中国科学家研究组几乎同时并各自独立地发现了该重要现象。

此外, 最近首次利用高重复频率(1 kHz)中红外波段强场超快驱动激光, 我们成功地在氩气中将高次谐波截止频率推进至“水窗”波段(图 2 所示), 并且利用相位匹配效应实现了“水窗”波段高次谐波信号的增强, 为实现高重复频率、高强度、台式化水窗波段超快 X 射线相干光源开辟了新途径^[5]。“水窗”波段是介于碳和氧原子的 K 吸收边之间的光波段(2.3~4.4 nm)。在该波段, 生物蛋白(碳)强烈吸收, 而水(氧)则高度透明, 因此该波段光是生物学家长期以来梦寐以求的能实现活体细胞(分子)动态成像的新光源。

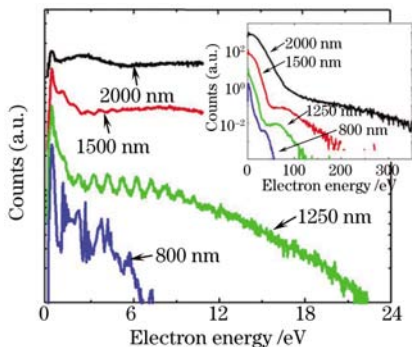


图 1 实验测量的氩原子光电子能谱。激光光强 $I=8.0 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$; 插图: 覆盖整个光电子能量范围的完整光电子能谱曲线

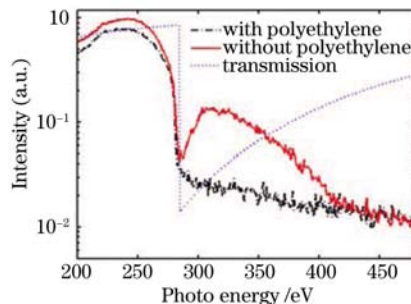


图 2 实验测量的“水窗”波段高次谐波谱

基金项目: 国家重点基础研究计划项目(2006CB806000), 国家自然科学基金项目资助课题。

通信作者: 徐至展, E-mail: zzzxu@mail.shcnc.ac.cn

参考文献

- 1 P. Colosimo *et al.* *Nature Phys.*, 2008, **5**(4): 386~389
- 2 P. B. Corkum *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 1993, **71**(13): 1994~1997
- 3 W. Quan *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 2009, **103**(9): 093001
- 4 C. I. Blaga *et al.* *Nature Phys.*, 2009, **5**(5): 335~338
- 5 H. Xiong *et al.* *Opt. Lett.*, 2009, **34**(11): 1747~1749