

## 反激光器与光的捕获

时间反演对称性是经典电动力学与非相对论性量子力学的一种基本对称性,它描述的是时间反演后某些基本物理过程依然成立.例如,刚性光滑小球之间的碰撞过程在时间反演后仍然满足牛顿运动定律,然而微观尺度上摩擦力却导致了时间反演对称性破缺,即小球运动减慢与时间反演后加快不相符.推广到电磁场,一方面,真空中的电磁波传播就类似于无摩擦情况下的小球碰撞,满足时间反演不变性;另一方面,与电磁波相互作用的介质可以吸收电磁波,类似于摩擦力的作用,从而破坏了时间反演对称性.简单地讲,吸收与增强正好是时间反演前后介质与电磁场相互作用对应的两大形式.

长期以来,人们一直在努力增强电磁场以克服损耗的影响,如早期的无线广播.到上世纪中叶,激光的实现更是这种增强的集中体现.现在,我们不妨尝试时间反演:光场被增强到一定程度后,再经时间反演,即被相同程度地吸收损耗,这种时间反演的激光过程可应用到“相干完美吸光器”,即反激光器,它可完全吸收特定频率和空间匹配の入射场.这种反激光器的工作原理可从激光器工作原理反演而来.常用激光器通过增益介质与谐振腔来增强光场.前者是在电场等作用下原子受激发,并使处于激发态的原子数目多于基态,而激发态原子辐射出的光子,则可诱导出更多原子辐射出相同方向的光子;后者则使特定方向传播的光子,能更长时间地被约束在增益介质内,并得到进一步增强.在这种正反馈下,最终便可出射极窄谱段与特定空间分布的激光.由此可知,经时间反演后,若将增益介质换为损耗介质(要求增益和损耗速率相同),并将出射光场改为入射光场,同样特性的激光便可被完全吸收,即得反激光器.实际上,损耗介质并不要求有很强的吸收性能,因为谐振腔提供了光与损耗介质之间的长距离、长时间相互作用的场所,使光最终能被吸收.

然而,这种反激光器长期以来并未受到广泛重视.因为介质对光的吸收不仅依赖于光波的频率,而且还与入射场的空间特征有关,导致相同频率但空间分布不匹配の入射场不能被完全吸收.于是,大部分光都未能捕获而被损耗.为了使反激光器有实用性,可以考虑调制外场,使得调制后的外场能被增强或被抑制吸收.大约20年前,一些研究组在简单系统中已经证实了相干完美吸光器的存在,这些吸光器能完全

吸收单束入射波.大部分激光器都是按出射单束平行光来设计的,从这个意义上讲,他们的系统可视为反激光器,但人们并没有意识到这是一个时间反演的激光器.

这种单频的反激光器在实际应用中受到限制.主要是在只有单一模式的电磁场入射到谐振腔的情形下,对光场的吸收无法通过调制入射场来实现,反而需要复杂地调节损耗介质的吸收性能.最近,耶鲁大学的研究团队发现,若用两束或更多束入射光,则可容易地达到调制吸收的目的.具体地讲,如图1所示,以两束反向等幅但有相位差的激光,对称地入射到吸收硅片上,当相位差从0增大至 $\pi$ 时,硅片对光的吸收持续增加.理论上当相位差为 $\pi$ 时,可达到完美吸收,实验上已经达到99%的吸收率.

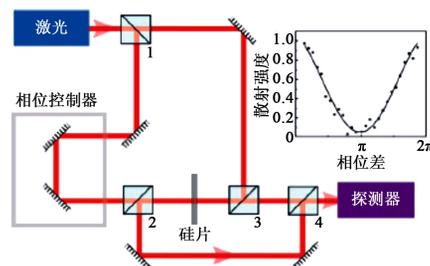


图1 双入射光束相干完美吸光器原理图.分束器1产生相干双入射光,经相位控制器入射硅片两侧.插图为散射强度与双入射光相位差的关系

进一步,人们从理论上已经证明,在更复杂的硅/二氧化硅交替层结构中,原则上可以通过相位差来控制或中止完全吸收.从这个意义上讲,反激光器可应用于光开关、光学调制器、光学探测器和硅基光子器件.在更为复杂的随机结构中,反激光器依赖于损耗介质表面下的结构性质,可视为光场穿透了原本不透明的区域,从而使其在生物物理学与放射学中具有应用潜力.然而,反激光器只是将激光转换为热能、电能等其他形式的能量,无法阻止激光武器造成的损害,反而有助于使攻击者熔毁目标.

(北京大学 金伟良、肖云峰 编译自 A. Douglas Stone. *Physics Today*, 2012, (11): 68, 原文详见 <http://ptonline.aip.org>)