

物理学史中的八九月



发表爱因斯坦预测了受激辐射 (stimulated emission)

(译自 *APS News*, 2005 年 8/9 月)

萧如珀 杨信男 译

激光的发明带来了数十亿美元的商机，它用来去除不要的刺青，眼睛的激光手术可矫正视力的缺陷，工厂的生产线可用它来切割钢材和其它的材料，超市和百货公司用它来扫描价格；它可用于光学通讯和光学资料的储存，并可用于如 CD 和 DVD 播放机等的电子装置中。所有这些科技创意的根源都植基于物理的基础研究，尤其是 1917 年爱因斯坦所提出的辐射量子理论的论文。



爱因斯坦和他的第二任夫人，Elsa

“Laser”（激光）是英文 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation（受激辐射式光波放大器）的缩写，它是指任何一种由相干光子所组成的狭窄聚光束，并加以放大的装置。在激光装置中，发出激光的媒介物，不管是如红宝石或石榴石的晶体、或气体、亦或是液体，其中的原子或分子都被“打上来”，使得它们在高能阶的数目都比在基态时来的多。

当原子以快速的连锁反应射出时，所造成的结果便是放出一道相干光束，此过程称之为“受激辐射”。爱因斯坦在 1917 年的一篇论文中首次探讨受激辐射的可能性，当时他才于一年前将研究重心由广义相对论转到物质与辐射的相互影响，以及两者间如何达到热平衡的议题上。在加入“能量应该量

子化”的想法后，爱因斯坦提出了一个热学统计基础的改良理论。

首先，爱因斯坦主张，一个孤立的受激原子会释放出光子而回到低能量状态，他称此过程为“自发辐射”（spontaneous emission）。自发辐射决定了所有如吸收与受激等辐射作用的频率大小。原子只能吸收正确波长的光子，当光子消失而原子的能量增加时，便提供了自发辐射的机会；此外，他的理论还预测，当光通过一个物质时，会激发出更多的光放射出来。

爱因斯坦假设说，光子喜欢在相同的状态中集体移动，假如有一大群原子带有过多的能量时，它们会随时随机地释放出光子。然而，当一个带着正确波长的光子经过时（或在激光装置中，发射到已受激的原子上），它会刺激原子提前释放出光子，而被释放出的光子会以和原先的光子相同的频率和相位在同一方向移动；接下来就会产生一连串的效应：当一群相同的光子行经其他的原子时，就会有更多的光子从它们的原子中释放出来，加入光子群。

虽然要发明激光器只需要找出合适的原子，加上反射镜，藉由连锁反应来加强受激辐射的过程，但物理学家还是直到二十世纪四五十年代才找出了此观念的用途。Charles Townes 在第二次世界大战期间曾从事雷达系统的研究，大战结束后，他转而研究分子光谱学，这是研究光被分子吸收的技术。正如雷达一般，分子光谱学以光来撞击分子的表面，然后分析四散的辐射，以决定分子的结构。

但此技术受制于所产生的光之波长，在此指的是电磁波谱的微波。Townes 注意到，当微波的波长缩短时，光和分子的作用力会变强，更容易让人了

解它们的结构。他认为可以开发出一个装置，来产生波长更短的光，最好的方法便是利用分子经由受激辐射来产生所需的频率。

Townes¹⁾跟他的同事 Arthur Schawlow²⁾（后来成了连襟）提及此想法，Schawlow 建议在激光装置的原型中装上两面镜子，分别安装于激光腔的两端。特殊波长的光子就会从镜子反射回来，在发出激光光的媒介物中来回移动，如此，它们会轮流让其它的电子，在相同的波长中释放出更多的光子，而回

到基态，也唯有选定的波长和频率范围的光子可以被增强。

Townes 和 Schawlow 两人合写了论文，详细说明他们的概念，虽然他们尚待建造一可行的原型，论文却先于 1958 年 12 月在《物理评论》(*Physical Review*) 中发表出来。两年后，他们获得了此设计的专利，同年休斯航空公司 (Hughes Aircraft Company) 的 Theodore Maiman 即建造出第一个可运转的激光器。

1) Townes 和 A. Prokhorov 及 N. Basov 根据 Maser-Laser 原理，开发出振荡器和放大器，于 1964 年同获得诺贝尔物理奖。

2) Schawlow 与 N. Bloembergen 因发展激光光谱学的贡献，于 1981 年分享诺贝尔物理奖。

进一步阅读资料：

Pais, Abraham. (New York: Oxford University press, 1982) "*Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*"