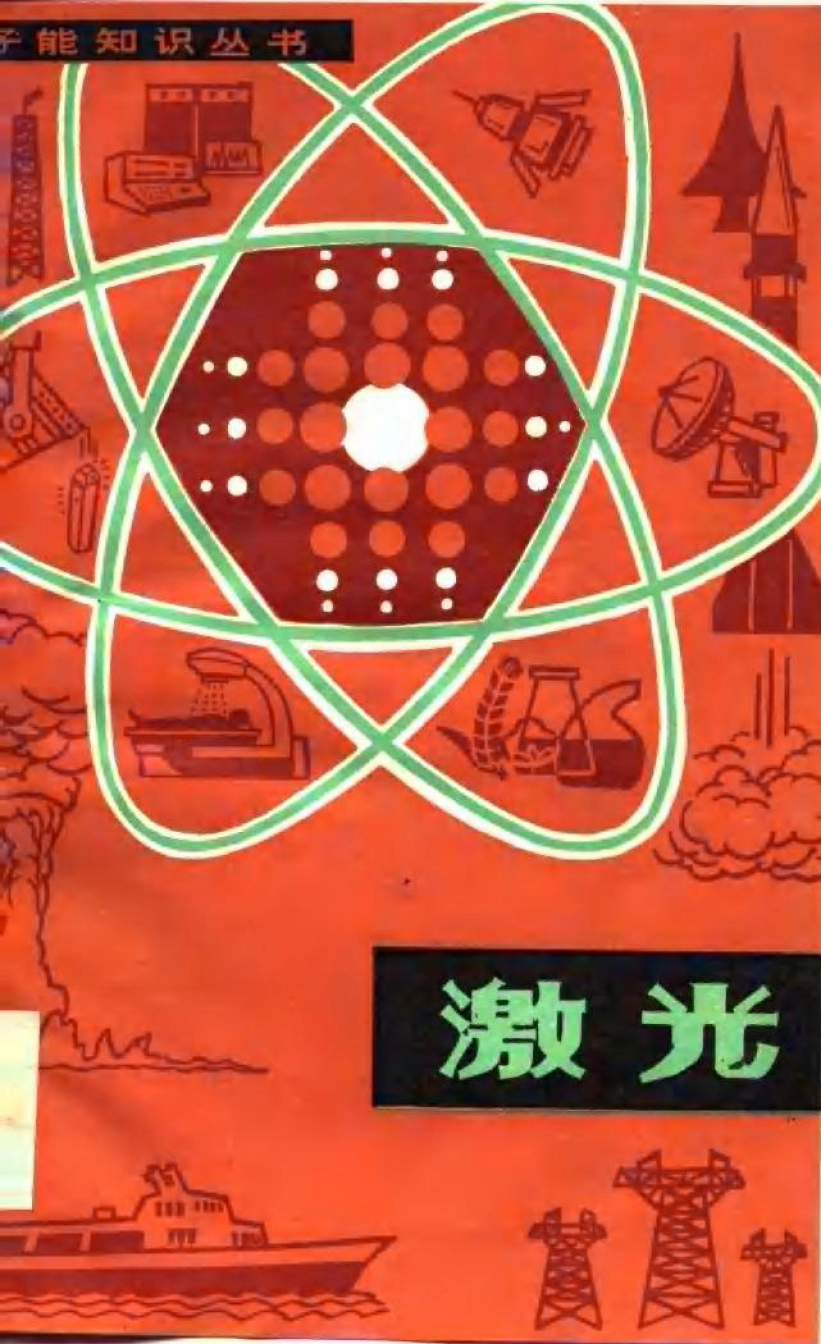


子能知识丛书



激光

激 光

〔美〕哈尔·赫尔曼 著

黄 厚 坤 译

张遵遼 徐福元 校

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

张家口地区印刷厂印刷

(张家口市建国街 8 号)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $1\frac{1}{2}$ ·字数 30 千字

1980年 9 月第一版·1980年 9 月第一次印刷

印数001—7900 ·统一书号: 15175·231

定价: 0.20 元

出版说明

一提到原子能，就要和不可捉摸的放射性联系在一起，一些人往往望而生畏，敬而远之，这说明原子科学领域对于许多人还是陌生的。其实原子能既不可怕，也不神秘，它在我们的生活中正在起着愈来愈大的作用。

为了介绍原子能的基本知识和应用情况，我们有选择地翻译出版美国当代原子能学者和专家编写的原子能知识丛书（Understanding the atom series）。这套丛书取材广泛、内容丰富、语言生动、深入浅出，具有中等文化水平的读者，花一些气力，读懂它是不成问题的。

随着科学技术的急速发展，书中引用的有些材料已经过时，但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

目 录

引言.....	(1)
电磁波谱.....	(3)
无线电波.....	(7)
光和原子.....	(12)
相干光的特性是什么?	(18)
可控制的发射.....	(22)
激光器的诞生.....	(26)
激光作用——一个新名词.....	(28)
一些有趣的应用.....	(30)
形形色色的激光器.....	(35)
通信.....	(39)
展望激光的前景.....	(43)

引 言

二十世纪五十年代，晶体管突然登上了电子学的舞台。新式收音机、电视机和许多其它电子设备的体积几乎在一夜之间就象气球放了气似地缩小了。转眼之间，听力很差的人可以把助听器戴在他的耳朵上。年轻人走到那里都可以听他们所喜爱的音乐。几乎人们所到之处晶体管收音机总是引人注目。甚至美国国会曾有过建议，要求每个家庭都准备一架晶体管收音机，以应付紧急情况。

在晶体管发明之后，下一项使科学家和工程师得以大显身手的研究课题便是激光器——一种产生非常强而象铅笔那么细的光束的仪器。有关这种发明的事，我们之中有不少人已经知道很多了，然而难以相信的是第一台激光器研制成功只不过是1960年的事。我们可以说，在生活中激光将比晶体管发挥更大的作用。从牙钻到输电导线，这一切旧设备都将被激光器所代替。整个世界看来似乎成了数不尽的激光器的集合体，人们想做的事，它都能办到。当我们想建造一条穿越密林的公路时，只要用激光器一扫就成了；我们将可击退洲际弹道导弹的袭击而保证国家的安全；癌症将被战胜；计算机将小到可以放在钱包里带着……。

在发明激光器的头两年里，除了在电视广告上看到激光能在剃胡子刀片上打孔外，似乎看不出激光还有什么别的用处。不知怎么回事，这种仪器好象不曾从实验室过渡到实际应用。怪不得引起某些人挖苦地把激光器称为“一种尚待寻

求应用的发明”。

来自部分出版物的错误理解和一些喜欢随意宣传的制造商的夸大其词，使人们对激光器提出了不切实际的要求。但即使是比激光器更简单的仪器，要从实验室研制到作为商品投入市场也需要走过一段漫长而艰巨的路程。价格、效率、可靠性、方便性——这些都是必须考虑的因素。显而易见，象激光器这样新奇的事物，在用于科学和医学方面之前，尤其在取得工业应用之前必须作许多改进。

现在看来已经到转折时期了。我们已看到激光设备投入市场。这些设备用作精细的眼外科手术，点焊细小的电子线路以及机床的精密控制。

激光的应用正在飞速发展，已从实验室实验阶段到工厂生产阶段。现在生产的激光器已实际应用于测量和试验，以及工业、军事、医学和空间科学方面。

激光器的应用中，最激动人心的一项是全息照相。全息照相同一般照相的过程完全不一样，它很可能适于拍摄三维的（立体的）采色电影和电视。这种奇妙的过程只有到现场去看看才能使人相信。乍一看，全息照片好象一张过度爆光的模糊的负片。但是用激光进行复现原物时，一个活生生的原物体的影像就跃现在全息照片的后方——显然是悬立在空中。这种影像不仅有丰满感，而且还有景深的效果。如果你移动你的头部，还可以看到这个影像的背面，宛如真实的物体就在银幕里一样。

激光的另一重要应用领域是在通信方面。也许由于这方面的宣传不如刀片打孔那么多，所以我们听到的还少。然而有许多科学家和工程师在激光通信方面进行工作，在激光应

用计划中，从事这项研究工作的人员可能是最多的。

激光通信如此受重视的原因是，目前的通信设备处于超载运行。横越大洋的电话线已经满足不了要求。用户经常要等好几个小时才能轮到使用。业余无线电爱好者也受到威胁，他们失去了一些最好的工作频率，因为这些频率正是为适应非洲新独立国家的需要而设立的通信频道。电视节目也必须同国际电话、电报以及数据传输互争频道。计算机虽然已在科学、企业管理和工商业方面得到广泛应用，但要用它来解决通信设备繁忙的问题还为时过早。通信卫星会帮我们忙，但不会替我们解决全部问题，况且通信卫星本身还有待我们不断改进。

为什么激光通信这样引人入胜呢？据近来实验可知，纽约的全部七个电视频道只需一道激光束就可进行播送。如应用在电话通话方面，一个激光系统在理论上可以载带八亿条通话线路，这相当于在美国每个人有四条通话线路。

在这本小册子里，我们将介绍激光有些什么特点，为什么有这么大的本领。我们将讨论激光器是什么，它是如何工作的，并且了解几种不同种类的激光器。在这之前，我们先讨论比较熟知的几种辐射，比如无线电和微波，光和 X 射线。这对我们了解激光是有帮助的。

电 磁 波 谱

人们对周围事物的认识，约有85%是以光线作为媒介，通过视觉而引起反应的。然而奇怪的是直到十七世纪末，人

们才开始揭示光的本质。伟大的科学家牛顿指出，所谓白光实际上是由“虹”的各种彩色光组成的。过了几年，荷兰天文学家惠更斯提出了光是一种波动现象的看法。这种新的概念到1803年才最后得到证实。当时英国物理学家托马斯·杨巧妙地证实了光波的干涉效应。嗣后，人们又最终地证实了各种光的颜色之所以不同，只不过是因为其波长不同罢了。

人们认为光确实是一种波动现象，这在原理上，与我们见过千百次的水波并没有什么差别。假如你站在海边，你很容易数出一分钟内海浪冲到岸边的次数。那末把这个数用60除，就可以得到这种波动的频率。频率的单位是我们所熟悉的周每秒（周/秒）*。

然而对于光的波动，它的振动频率达每秒钟 4×10^{14} 次。这是红光的振动频率。而紫光的振动频率正好是它的两倍。

光的频率数值这么大，这在讨论问题、运算和处理数据时是很累赘的。幸而还有另一种表示方法。让我们回头再看看海浪，我们发现这些海浪在冲到岸边之前是有规律性的。某一个波峰到下一个波峰之间的距离是有重要意义的，我们称它为波长。水的波长用英尺来度量。光波也可用相应的单位来记录，即 10^{-6} 英寸。这仍然是很麻烦的数字。因此科学家用米制单位**，给光的波长定了一个标准单位，称为埃***（符号 Å），1 埃 = 10^{-8} 厘米。我们从图 1 可以看出可见光

* 频率的单位有时也称赫兹（简称赫），这是为纪念十九世纪德国物理学家赫兹而命名的。1000 赫 = 1000 周/秒。

** 米制是法国制定的，在 1799 年为官方所采用，后来演变为今天的国际单位制。

*** 为纪念瑞典物理学家埃斯壮姆而命名。

的范围是从波长约4000埃的紫光到波长约7000埃的红光。

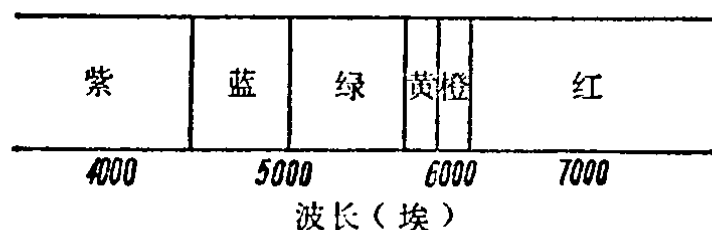


图 1 可见光谱范围大约在4000埃与7000埃之间

差不多在研究光的波长的同时，德国-英国天文学家 威廉·赫谢尔做了一个有趣的实验。他用光学棱镜把光分成各种颜色之后，拿一支温度计放在这些不同颜色的光中。当他把温度计从紫光一端移向红光一端时，温度计的温度读数升高。当他把温度计移到超出红光区时，温度还继续上升，而那里却看不到棱镜的光。

赫谢尔就这样发现了挨着红光的红外线（我们从太阳取得的一种热），同时还发现这种红外线只不过是可见光谱的延续。不久以后，在可见光谱带的另一端又发现了紫外线。

从那时起，辐射波相继发现，辐射波谱两端不断地扩展。这是科学界最引人瞩目的一项活动。根据这项研究的结果，就把这一系列的辐射波谱称为电磁波谱。由图 2 可见，电磁波谱是由显著不同的许多种辐射组成的。在可见光谱带的上方（即频率更高的一方）有紫外线、X 射线、 γ （伽玛）射线和一些宇宙线；在可见光谱带的下方就是红外辐射、微波和无线电波。可见光谱带只占整个电磁波谱的一小部分。另一件值得注意的是，波长和频率之间成反比关系，

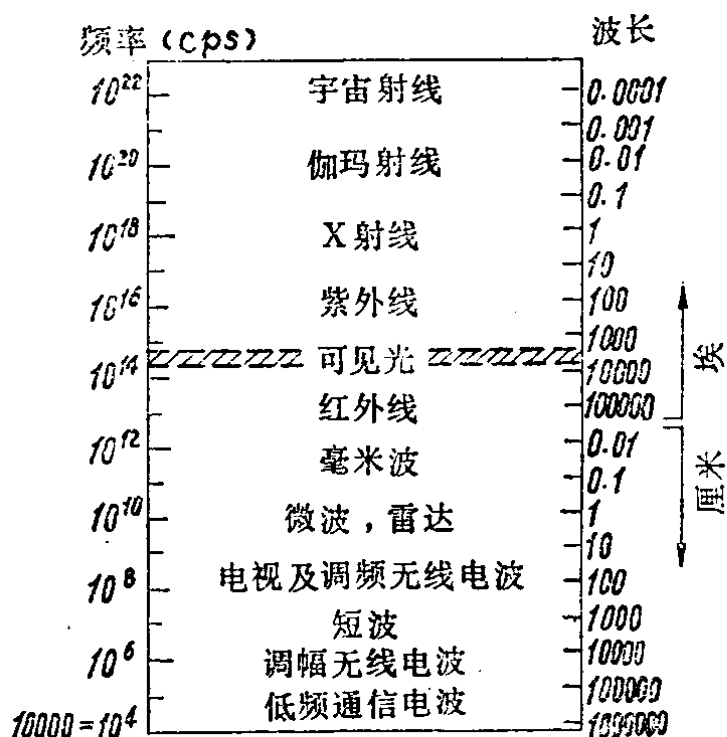


图2 可见光的范围只占全部电磁波谱的一小部分

当一方增大时, 另一方就减小*。

这许多种射线和波同物质相互作用的方式是非常不同的, 但它们是同属于一族的。它们之间仅有的差别, 如同虹的各种颜色一样, 只不过是波长之不同。在某些情况下, 产生这些辐射的方法也是不尽相同的, 这个问题以后我们还要在本书中讲到。

到目前为止, 从红外线延伸到宇宙线这个范围的辐射是物理学家所主要关心的。由于这个范围的辐射频率很高, 所以当我们要计算或度量这些辐射时, 通常用波长来表示。在

* 波长以希腊字母 λ 表示, 与频率 f 的比例关系是:

$$\lambda (\text{米}) = 3000000000/f。$$

另一方面，无线电波和微波*，大部分是属于通信工程师们研究的领域，他们更加乐意用频率这个词来描述，因为频率不那么高。所以你听收音机的时候是按每秒多少千周调谐的。而描述光波的时候，则用4000埃到7000埃的辐射带来表示。

科学家们对于各种辐射的比较新的知识，一直忙于进行探讨和研究。当我们积累了足够的知识和经验之后，就要利用这些辐射来为我们服务。

无 线 电 波

无线电波在新近发现的电磁波中，是最早用来为人们服务的。这种波的特点是波长长，频率低**。在产生这种低频率电磁波时，可以比较容易地将其全部功率集中在某一频率上。

关于低频波这种特性的优点，只要 we 想一下就会明白。打个比方：有一群人在森林中迷路了，当他们听见远处传来寻找他们的人的声音时，这群人很可能都各用各的方式开始呼喊求救。这种呼喊方法并非很有效，但假定能把这些声音的全部能量集中起来，发出同样的呼喊声或哨声，那末很自然地，他们被找到的机会将会更大。

无线电波的单一频率的特性称为频率相干性（或时间相

* 微波是一种无线电波，其频率超过1000兆周/秒。

** 无线电波的频率由10到300000000千周/秒，这在电磁波谱中是低的，但对无线电波来说，频率的高低另有它一套分类法。

干性)。这可以用图解来说明。图 3 (a) 表示一个单一的正弦波, 通常用它来表示电磁辐射, 尤其是频率相干辐射。图 3 (b) 表示频率非相干辐射 (这种波形好象一群处于困境的人发出的嘈杂声)。

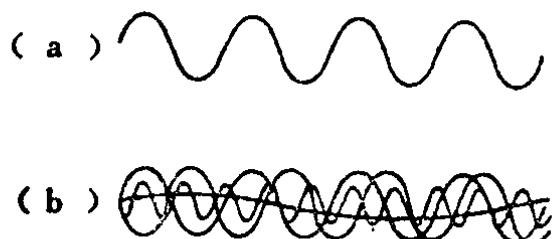


图 3 (a) 频率相干辐射
(b) 频率非相干辐射

在1906年圣诞节前夕, 人们才第一次用无线电接收机收听音乐和演说。然而现在, 当我们看到散步的、乘车的或是在学习的人把耳塞机插头插进晶体管收音机的情景已经不足为奇了。但在早期的无线电爱好者是要戴耳机的, 因为那时候收音机接受到的信号太弱, 达不到推动扬声器所需的相应

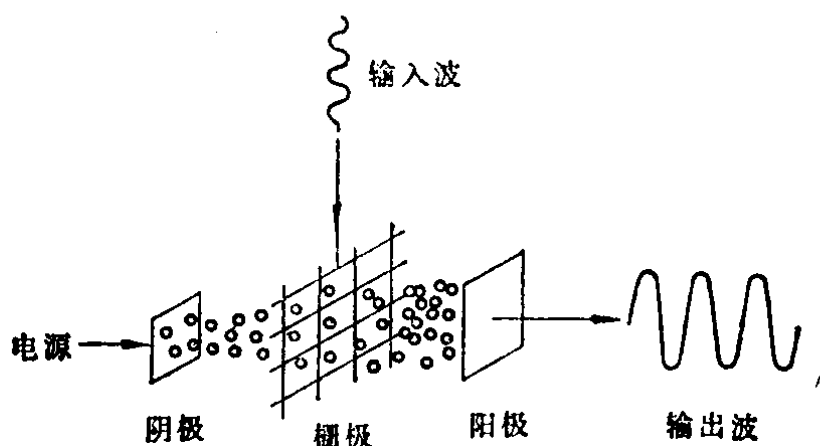


图 4 三极真空管的放大作用

功率。如果要越过这个原始阶段*，就必须设法将信号增强或放大。

真空管（即电子管）放大器的应用已很普遍，所以这里不需要详细介绍它的工作情况。然而了解真空管放大的原理却是重要的。如图4所示，信号波输入栅极，栅极就起到类似水龙头的作用。它控制着从阴极到阳极的电子流量（即电路中的电流）。因此一个弱的信号到达栅极，就能在电路中产生一个相似的更强的信号，于是较大的信号就用来推动收音机的扬声器。

这种放大的原理还可应用到另一个同样重要的方面，那就是振荡器。一旦放大了的信号在电路中产生，就可把它的一部分反馈到电路的输入端。这样，信号就周而复始地不断自身再生。这个装置就成为振荡器。它是一个频率发生器，能产生一种稳定不变的频率相干波。这种波的频率可用适当的电路设计加以严格控制。

振荡器在无线电传送方面起重要作用，在声音信号尚未载入电波时，电台的发射机就连续地发射电波。振荡器产生的电磁波称为“载波”。象讲话或音乐这种信息以音频（人耳可以感觉到的频率）被载入电波。好象音频骑坐在载波上。换句话说，用这样一种方法对载波进行调制，使它能载送富有意义的信息。例如我们熟知的符号AM和FM就是表示调幅和调频——这是把信息加在载波上的两种不同方法。图5表示一个基波和一个振幅（即高度）调制的波。

* 用现在的标准把早期的无线电设备称作原始的。然而那时的无线电设备把通信技术推进到一个新的历史时期。例如传送未调制的连续电波和晶体接受机在1917年蒂坦尼克号海难事件中，用来召集援救者。

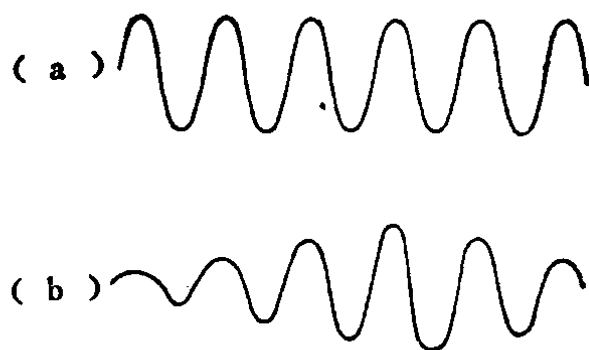


图 5 (a) 未调制的无线电波
(b) 载送信息的调幅波

由于用电子管可以产生、检测和放大无线电波，所以电子管对收音机、电视机和其它电子学设备作出很大贡献。

由于无线电波容易调整，所以可以用它做更多有用的事。假如我们装好五个无线电发射机，全都发射同一频率的电波。这些波可以看成图 6 所示那样。虽然这些波是频率（或时间）相干的，但步调不一致，即不是空间相干的。但由于我们可以将无线电电路很好地调整，使各天线同相地（即步调一致地）发射，从而产生完全相干辐射（图 6 b）。

这种办法几乎可以无限度地提高发射功率。但对无线电波谱的总的载送容量有限这个问题却解决不了。

显然，解决这个问题的最好办法是将工作频率提高到更高的频带。这样做有两个理由。首先，显而易见，工作频带（可利用的频率数）愈宽，可供建立的通信频道数目就愈大。其次，更重要的一条理由是，辐射波的频率愈高，信息载送能力愈大。这种情况很象大卡车的载重量比小卡车的载重量大。高频电波每秒钟振动的周数较多，能比低频电波载送更多的信息。

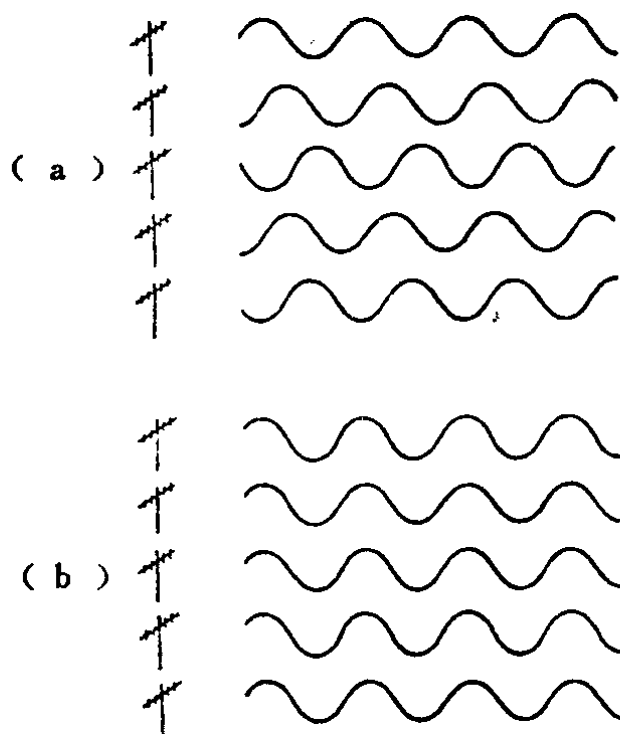


图 6 (a) 空间非相干辐射
(b) 空间相干辐射

不过，产生高频电波的方法与产生低频电波的方法是不一样的。要产生高频率就需要特殊的设备来处理。无线电波的发射是靠发射天线上大量自由电子来回振荡而产生的（只要能使这些电子改变其速率或方向，电子就辐射电磁能）。

每一种振荡器的振荡频率都是有一定限度的。用三极真空管已成功地将振荡频率不断提高，但仍达不到微波范围。预想不到的原因是，微波发射需要高速振荡，而自由电子对高速振荡的反应太慢，所以普通电子管不能胜任微波工作。

为了克服这个障碍，发展了两种新型的电子管：1933年研制的速调管以及在此大约十年以后研制成的行波管。这两种电子管使辐射波的工作频率顺利地提高到微波的范围。在第二次世界大战时，正是速调管使雷达得以实现。而今天很多通信线路也依赖于采用微波频率。

至此，我们已讨论了低频相干的无线电波和微波是可以实现的，但尚未谈及更高频率的相干波如何实现。通信工程师对此非常关切地瞩目着，但似乎没有希望。我们知道，光波频率比无线电波高几百万倍，因此载送信息的能力也大得多。比如在可见光谱带的红色与橙色之间的频率范围内，就可以容纳差不多一千五百万个电视分离频道进行工作。

那末问题在哪儿？

为什么光波如此难于驾驭？

我们将在以后讨论这些问题。

光 和 原 子

由于光波的频率如此之高，就不能用产生无线电波及微波的方法来产生光波。我们不必再去指望如何控制原子和分子外部的自由电子的运动。而应考虑到光和更高频率的辐射都是来自原子和分子内部电子的运动。

让我们来回顾一下近代物理的原子概念（尽管是高度简化了的）。须知，谁也没见过原子。我们描述原子时，是根据科学家们实验得到的有关原子的行为及原子与物质的反应。

目前，最好的原子模型是象一个微型的太阳系，它的中心是个重的原子核，而围绕核的是在固定轨道上迅速运动的电子。

采用“固定轨道”这个词是经过慎重考虑的。地球及太阳系的行星各自在某一轨道上绕着太阳运动。如果我们乘坐一个足够大的火箭从地球上发射到太空中，理论上我们能使它飞行到离太阳近些或远些的地方。但对于原子，我们知道这是办不到的，一个电子只能在某些固定轨道中的一个轨道上存在。不同种类的原子有不同数目的轨道。

为了便于理解，我们可以设想，一台电梯只能停留在一幢楼房的各层上。每一层就好象原子内电子的一个固定轨道。但是我们知道，在物理世界不能无中生有，正如要花费能量才能把电梯升到较高的一层上去一样，只有花费能量方可使电子运动到外层轨道上。

当电子从内层轨道跃迁到外层轨道上时，这个原子就称为上升到较高的能级。使电子从内层轨道跃迁到外层轨道所需的能量可以由许多不同来源取得，例如热、压力、电流、化学能以及各种形式的电磁辐射。假如供给电梯的能量太多，电梯就会飞离楼顶。同样地，如果输进原子的能量太多，就会有一个或多个电子飞离这个原子，这就叫作电离。这时该原子由于失去一个带负电的电子而带上正电荷，便称为正离子。

但若输进原子的能量正好只让电子上升到较高能级上，如图7所示，设有基态（第1圈）和两个可能的较高能级（第2圈和第3圈），那末从此图可以看到有三种可能的跃迁。