

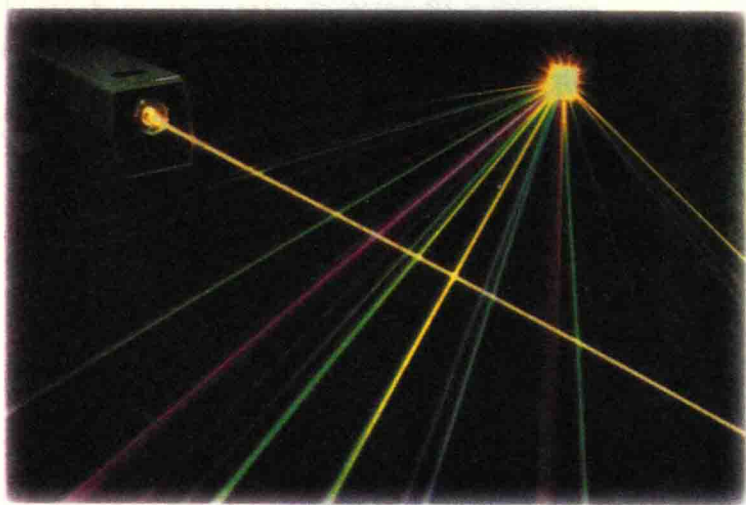
一、什么是激光





（一）为人类造福的神奇之光——激光

激光对于 21 世纪的人们来说并不陌生，在生活中几乎随处可见。如：激光唱盘（CD）使你享受到音质纯美的音乐，激光影碟（VCD）使你在家里就可以看到你想看的电影，给人们带来高质量的视听享受。（见图 1）



■ 图 1 五光十色的激光

激光美容、激光治疗近视眼不到一分钟，就能收到奇妙的效果。激光刀可以切除肿瘤、钻透病牙。

节日的晚上可以看到激光焰火。激光歌舞晚会上，耀眼的激光使你如梦如幻。在某些公园里或庙会上，还有激光打靶可供你练练瞄准能力。



激光不仅能供人享乐，还是工作中的好帮手，如：激光打印机可使你自己将文章变成精美的印刷文字。激光照排代替了传统的麻烦的活字排版。激光条形码识别已普遍用于超市。激光还可以切割钢板，焊接钢板，裁剪衣服，在金刚石和宝石上打孔。

激光武器可烧毁敌方坦克，打瞎敌人眼睛，可使导弹和炮弹更加准确地命中目标。激光通信在军事上可更加隐蔽。

以激光作载体的光纤通信更是现代化信息高速公路不可缺少的工具，它使广播、电视、可视电话、计算机等联网，使大量多路的信息快速传播到全球各地。

激光还可以监测大气污染，监测人造卫星轨迹，与卫星取得联系，在海底寻找石油。

利用激光还可以引发核聚变，分离同位素，探索分子和原子内部的奥秘……

激光怎么会有这么神奇的能力？激光到底是一种什么样的光呢？

下面我们就来介绍。



(二) 颜色极纯的光——激光的高单色性

当你走进大自然，欣赏那湖光山色时，你会被那蓝天碧水白云，被那满山遍野的绿树和五颜六色的花草所陶醉，是什么使大自然如此绚丽多姿？你会说是太阳光！是的，是太阳的七色光：红、橙、黄、绿、靛、蓝、紫，把大地装点得这样美丽！

如果我们用分光镜看一看，就会发现，太阳光原来是一条绚丽的彩带 [见图 2(a)]，它的颜色远不止 7 种。因为在它的各色光带中，还包含着多种色彩。如红色光带，就呈现深红、赤红、大红等多种色泽。因此，用肉眼看单一颜色的光，我们说它颜色纯，而实际上它的颜色并不纯。又如霓虹灯发出的光，看起来够纯的了，可用分光镜一看，它还是包含了许多颜色，如图 2(b) 所示。图中那一条条不同颜色的线，我们管它们叫谱线。而激光就不同了，像氦氖激光，它只有一条谱线 [见图 2(c)]，可见，激

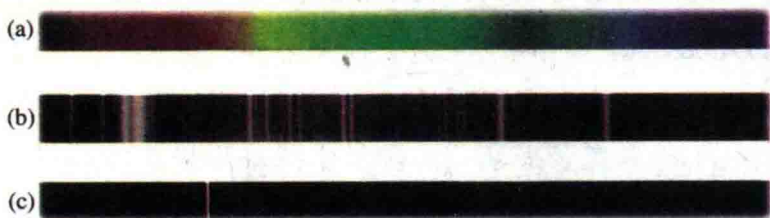


图 2 连续光谱与线状光谱



光是单一颜色的光。

用科学的名词表述颜色的单纯就叫单色性。从科学的意义上讲，颜色的纯与不纯，即单色性好与不好，不仅表现在谱线的多少，更表现在谱线的宽窄。单色性越好的光谱线越窄。

单色性的定量表示，是用谱线的宽度 $\Delta\lambda$ 与波长 λ 的比来表示的，就是 $\Delta\lambda/\lambda$ ，也可以用频率来表示： $\Delta\nu/\nu$ （ ν 表示频率），频率与波长的乘积 $\lambda\nu=c$ ， c 就是光的速度（ $c=3\times 10^8$ 米/秒）。显然，谱线越窄单色性越好，如：波长为400nm的紫光，谱宽 $\Delta\lambda=0.01\text{nm}$ ，其单色性就是 2.5×10^{-5} 。

在激光出现以前，单色性最好的普通光源是氪同位素 Kr^{86} 制造的氪灯，其单色性是 10^{-6} ，而最常用的氦氖激光的单色性可达到 10^{-12} ，比最好的普通光源高出一百万倍！

好的单色性使激光还具有另一个大大超过普通光源的特性，这就是下面要讲的光的相干性。

（三）步调一致的光——激光的高相干性

解放军操练时，要求队列整齐，步调一致，这样就能看到行是行，列是列，非常整齐。而一群熙熙攘攘的老百姓，走起来杂乱无章，就分不出行和列来。光也一样，

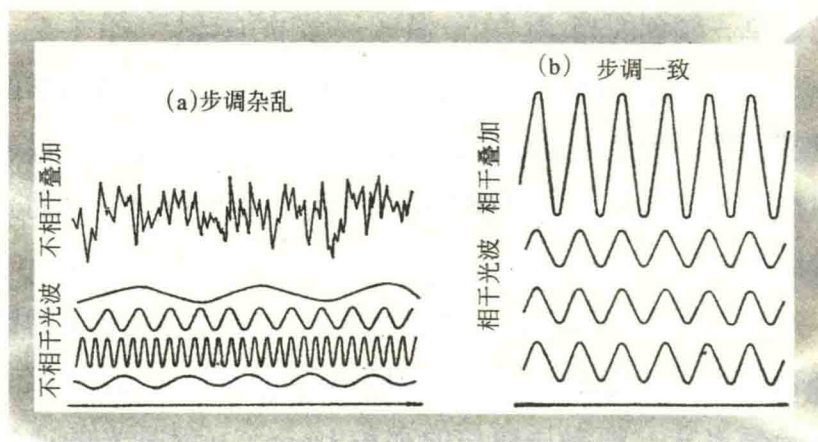
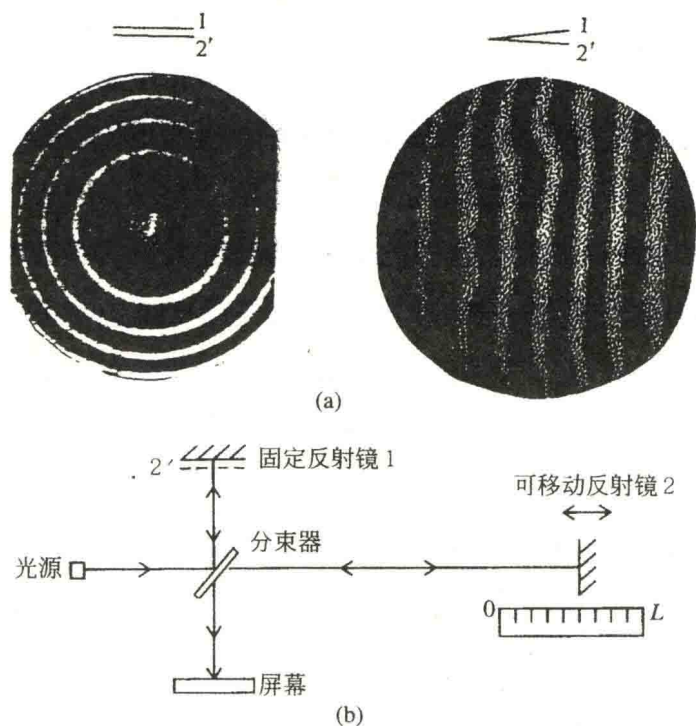


图 3 相干光波与不相干光波的叠加

若两列光步调不一致（即频率和相位均不同），它们叠加起来就是一条很杂乱的曲线，如图 3(a) 所示。而步调一致（即频率和相位都相同）的光叠加起来就是一条很整齐的曲线，振幅也得到加强，如图 3(b) 所示。

用一种叫作迈克尔逊干涉仪的仪器〔见图 4(b)〕，可以看到像图 3(b) 中那种光的相干叠加，它们呈现圆形或直条纹〔见图 4(a)〕。这里光是怎样叠加的呢？我们来看迈克尔逊干涉仪，由光源发出的光，经分束器将光分成两路，一路到达固定反射镜 1，经镜 1 反射后，回到分束器，再透过分束器到达屏幕。另一路光直接透过分束器，到达可移动反射镜 2，经镜 2 反射后，回到分束器，再由分束器反射，也到达屏幕。两束光在屏幕上叠加，就得到如图



■ 图 4 迈克尔逊干涉仪测量光的相干性及干涉条纹

4(a) 所示的干涉条纹。但必须仔细地调整反射镜 2，使它被分束器反射的虚像 $2'$ 与反射镜 1 严格平行（并垂直于光束），才能产生圆条纹，如果反射镜 2 的虚像 $2'$ 与反射镜 1 有一很小的倾角就会产生直条纹。

单色性越好的光，干涉条纹越清晰，单色性越差的光，干涉条纹越模糊，非单色光则很难看到干涉条纹。

如果我们平行地前后移动反射镜 2，干涉条纹就会变



化，每移动单色光的半个波长，圆条纹的中心就会由亮变暗一次，直条纹也会移动一个条纹。因而可以用干涉条纹的变化来测量反射镜 2 移动的距离。这就是干涉测长的原理。

用这种干涉测长的方法，可以测量的最大距离 ΔL 称为光源的相干长度，它与光源的单色性 $\Delta\nu$ （或 $\Delta\lambda$ ）有直接的关系： $\Delta L = c/\Delta\nu$ ，（或 $\Delta L = \lambda^2 / \Delta\lambda$ ），由此可见，光源的单色性越好，其相干长度也越长，也就是说光源的相干性越好。

普通光源的相干长度仅有几厘米，而激光的相干长度很容易达到 100 米甚至更长。

实际上，目前国际上最窄的激光谱线频宽已可做到几个赫兹，相干长度可达 10^5 千米。可见激光的相干性有多么好！

（四）能射到月球上的光——激光的高方向性

普通电灯发出的光，都是射向四面八方的，人们为使其集中射向一个方向，常常在灯泡后面加一个球面或抛物面反射镜，将射向其他方向的光都反射到前面去，以加强前方的照度。如常见的手电筒及探照灯，还有台灯，台灯灯罩就起到聚光作用。但是最好的探照灯其照射距离也不



过 800 ~ 1000 米，更不用说手电筒了。而激光不仅能照射到几千米之外，甚至可以照射到月球上去。

普通光为何照不远呢？一方面是光源本身的强度不够，另一方面是光的发散角太大，或者说随着照射距离的增加发散得太快。这样的光束，方向性当然是不好的。

定量地表达方向性好坏的量，常用光束发散角 2θ （见图 5）。一个发散角 $2\theta=1^\circ$ （约 35 毫弧度）的光，从光源射到 1 千米远处，就会发散成直径为 17.5 米大小的光斑。如果一个直径为 1 米的探照灯，假设其功率是 2000 瓦，探照灯表面上的光强，就是 2546 瓦 / 米²，射到 1 千米的地方（如果不计路程损耗），光强就只剩下 2 瓦 / 米²了。就像用手电筒垂直照射平地，电筒离地面越近，光环越小，光线越强；当我们拉大手电筒和地面的距离，光环越来越大，而光线越来越暗。实际上，一般探照灯的发散角是很难达到 1° 那么小的。

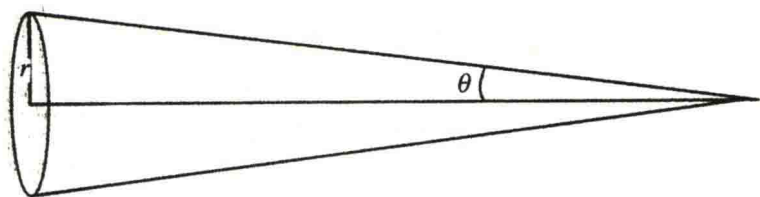


图 5 光束发散角



而激光的光束发散角则很容易达到几个毫弧度，如果再用光学系统进一步压缩，激光的发散角可以达到零点几毫弧度甚至零点零几毫弧度。再加上激光的高强度，难怪能射到月球上！激光光束不仅能射到月球上，而且还能利用从月球反射回来的光测量月球至地球的距离。早在1965年，苏联的科学家就用激光测量了月球到地球的距离



■ 图6 放在月球表面上的后向反射器



离，由于月球表面凹凸不平，测量精度只能达到 200 米。后来，在 1969 年，美国阿波罗 (Apollo) 号登月宇宙飞船上的宇航员，将一个后向反射器放到了月球上（见图 6），美国的科学家利用这个后向反射器，再次测量月亮至地球的距离，就能精确到 1 米了。

（五）星球大战中的死光——激光的高强度和高亮度

在古老的故事中，就有人设想过用光束来烧毁一切。中世纪的阿基米德曾想用镜子反射太阳光火烧敌人的舰船；我国的科幻小说《珊瑚岛上的死光》也叙述了一位在珊瑚岛上搞科学研究的华侨科学家，利用高能电池驱动的强激光击毁一艘企图逃跑的军舰的故事，因为操纵这艘军舰的是一伙攫取了他的发明成果，又要将他与他的朋友连同珊瑚岛一起炸毁的战争狂人。但那都是科学幻想，只有激光器问世并飞速发展之后，这些科学幻想才有可能变为现实。

在自然界中最强的光要数太阳光了，即使是在日食的时候，也不能用肉眼直接去看太阳，因为它太亮了，会损害眼睛。而一台普通的红宝石激光器发出的激光亮度，可



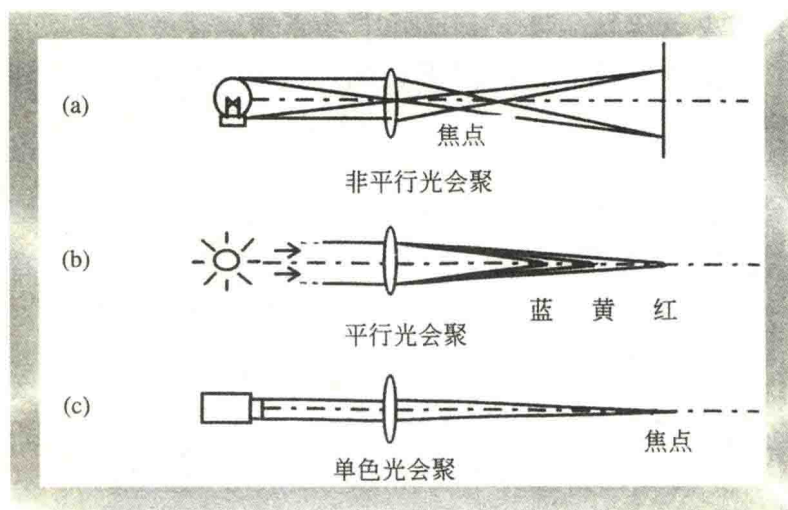
以比太阳亮度高 8 个数量级（即太阳亮度的 10^8 倍，即几千万倍）。因此，无论什么激光器，都不能正对激光发射方向去看它。在使用强激光器时，还需戴上安全防护眼镜。

对于像普通电灯那样连续发光的激光器，其输出光的强弱通常可以是几毫瓦、几百毫瓦、几瓦或几十瓦。目前很高强度的激光器可以产生几千瓦甚至几万千瓦的功率。

而像闪光灯那样一闪一闪地发出一个个脉冲的激光器，其强弱通常用一个脉冲所包含的能量来表示，可以是毫焦耳、焦耳、几十焦耳。目前高能量的脉冲激光器可达到几千焦耳、几万焦耳甚至几十万焦耳的能量。

还不仅如此，激光的高强度与高亮度还可以用光学和电子学的技术，在空间上和时间上进一步压缩，使其更具威力。

激光在空间上的压缩，可以用凸透镜聚焦，将激光束照射面积缩小。由于激光有好的单色性、方向性及空间场分布（又称模式），因而能比普通光聚得更小（见图 7）。也就是说激光经过空间上的压缩，可以获得更高的功率密度。比如，太阳光会聚以后，很难达到小于 1 毫米的直径，最大可能达到的功率密度大约是 $140 \text{ 瓦} / \text{厘米}^2$ 。而激光不仅可以会聚到小于 1 毫米，甚至可以会聚到小至 1 微米，其功率密度可以达到 $10^9 \sim 10^{13} \text{ 瓦} / \text{厘米}^2$ 。



■ 图7 各种光的聚焦

激光在时间上的压缩，不仅要用光学技术，还要利用电子技术，且大多用于脉冲激光器。一个简单的脉冲激光器，其输出脉冲的持续时间或脉冲宽度，大约是毫秒到微秒的数量级，即 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ 秒。用一种叫作调 Q（或 Q 开关）的技术，可以将脉宽压缩到纳秒（ns），即 10^{-9} 秒。而用一种叫作锁模的技术，又可以将脉宽压缩到皮秒（ps），即 10^{-12} 秒。利用更先进的超短脉冲技术，可获得飞秒（fs），即 10^{-15} 秒的光脉冲。

脉冲每压缩一个数量级，就意味着脉冲功率将提高一个数量级。但在使用各种压缩技术时，总会损失一些能量，因此，到了飞秒脉冲，能量就很小了。但我们可以通过光



放大技术来提高能量，以达到更高的功率密度。

设想一个在时间和空间上都得到压缩的激光，同时又具有很高的能量，它的威力会有多大！其功率密度可以比会聚的太阳光还要高出几十亿倍。难怪它能轻而易举地切割钢板、钻石等坚硬物质，能摧毁飞机、坦克，而且有可能引发核聚变！

这么厉害的激光是怎么产生的呢？又怎么会有这么多独特的性质呢？请往下看。

二、激光为什么会有这么多独特的性质



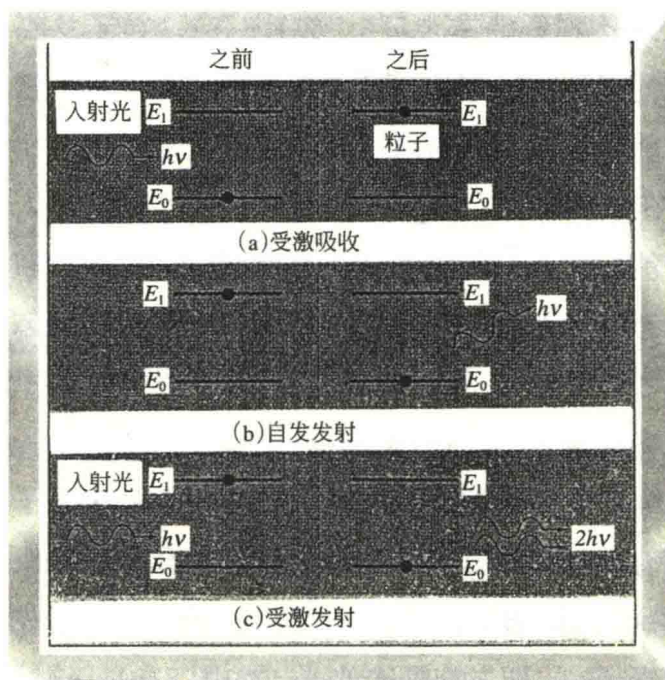


（一）什么样的物质能产生激光

什么样的物质能产生激光呢？能产生激光的物质很多。固态物质有红宝石、石榴石以及各种掺入不同激活离子的材料，又称为基质，如掺钕离子的多种晶体材料或玻璃等。气态物质有氦、氖、氩、氮等。还有卤族元素和惰性气体，如氟化氙、氟化氪、氯化氙等；此外一些液体物质也可以产生激光，将粉末状的染料溶于有机溶剂（如乙醇）中，就可用来制造液态激光器。那么这些物质是怎样产生激光的呢？我们还得先从激光的发光原理来看。

在激光出现以前，所有的发光体如太阳、火、电灯、蜡烛等，发光机理都是物质中原子、分子系统的自发辐射发光，而激光是物质中原子、分子系统的受激辐射发光。那什么是自发辐射发光和受激辐射发光呢？这还要从原子分子的能级讲起。

大家知道，原子、分子（今后我们统称为粒子）内部的电子都是在一定的轨道上运动的，对应分立的能级。一般情况下粒子中的电子都在最靠近核的轨道上运动，我们称这种粒子处于基态能级（或简称基态）。若电子从外界获得能量，跳到远离原子核的轨道上运动时，我们就称这种粒子处于高能级（或称高能态）。电子从一个能级跳到



■ 图 8 受激吸收、自发发射和受激发射

另一个能级叫跃迁。

图 8 画出了一个粒子系统的一对能级 E_1 和 E_0 ，以及它们与一个外来光子相互作用的三种情形。图 8(a) 是当有一个外来入射光的光子其能量为 $h\nu = E_1 - E_0$ 时（其中 $h = 6.626 \times 10^{-34}$ 焦·秒，称为普朗克常数， ν 为光的频率），粒子就会吸收这一光子而从基态 E_0 跃迁到高能态 E_1 上，即受激吸收。

粒子处在高能态 E_1 时，一般不能停留很久，其很快就