

激 光

《激光》编写组

激 光

《激光》编写组

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 文化革命印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.25 字数 158,000

1971年6月第1版 1971年6月第1次印刷

书号: 15·4·153 定价: 0.41 元

目 录

引 言

第一章 一种新颖的光源	1
第一节 激光的高亮度及其意义	1
第二节 激光的单色性及其意义	6
第三节 激光的相干性	10
第二章 激光的产生	17
第一节 原子的能级	17
第二节 自发辐射和受激辐射	20
第三节 粒子数反转和激光的形成	23
第三章 固体激光器	27
第一节 脉冲激光器的基本结构	28
第二节 工作物质的选择	30
第三节 脉冲氙灯的使用	34
第四节 平行平面腔	38
第五节 脉冲激光器	42
第六节 Q 突变技术和巨脉冲激光器	46
第七节 掺钕钇铝石榴石激光器	51
第四章 气体激光器	53
第一节 气体激光器概述	53
第二节 原子气体激光器	59
第三节 分子气体激光器	69
第四节 离子气体激光器	80
第五章 半导体激光器	87
第一节 半导体激光器的特点	87

第二节	半导体中产生激光的原理	89
第三节	半导体中产生激光的方法	92
第四节	砷化镓注入式激光器的特性	102
第五节	目前已产生激光的半导体材料	104
第六章	其他激光器	106
第一节	化学激光器	106
第二节	液体激光器	112
第七章	激光在工业加工中的应用	122
第一节	激光打孔	123
第二节	激光焊接	128
第三节	激光切割	129
第四节	激光在工业加工中的其他应用	131
第八章	激光在精密测量中的应用	133
第一节	激光测长和微定位	133
第二节	激光陀螺	137
第三节	激光流速计	140
第四节	激光电流计和电压计	142
第五节	激光在精密测量中的其他应用	145
第九章	激光通信和激光电视	148
第一节	激光通信概述	148
第二节	激光通信原理与结构	150
第三节	激光通信机	158
第四节	激光电视	162
第十章	激光雷达	168
第一节	激光雷达的原理和特点	168
第二节	激光雷达的结构和形式	176
第十一章	激光在军事上的应用	184
第一节	激光照明器	184
第二节	行扫描照相机	185

第三节	高分辨力卫星照相系统	187
第四节	距离选通技术	188
第五节	激光报警器	192
第六节	激光在军事上的其他应用	192
第十二章	全息照相	195
第一节	全息照片的获得和物体形象的再现	195
第二节	全息照相的种类和装置	197
第三节	全息照相的特点	200
第四节	全息照相的可能应用	202
第十三章	激光的其他应用	209
第一节	激光在工农业上的应用	209
第二节	激光在医学上的应用	213
第三节	激光在科学研究上的应用	215

一种新颖的光源

激光器是六十年代初出现的一种新颖光源。

说到光源,我们就很自然地联想到电灯、日光灯等各种光源,这些光源,给了我们在夜晚进行“抓革命,促生产”,从事学习和工作的良好条件。那么,激光器与电灯、日光灯等光源有什么不同呢?

伟大领袖毛主席教导我们:“成为我们认识事物的基础的东西,则是必须注意它的特殊点,就是说,注意它和其他运动形式的质的区别。”比起普通光源来,激光器表现了很多与一般光源不同的特性。简单地说,激光是一种颜色很纯、能量高度集中的光。通常又把光的颜色很纯称为单色性好,能量高度集中称为亮度高。

第一节 激光的高亮度及其意义

一、亮度

当我们直接对着发亮的电灯灯丝看时,常常说:“亮得真

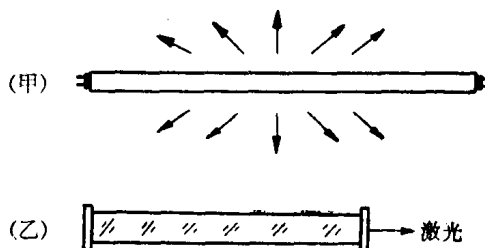


图 1 日光灯(甲)和激光器(乙)的发光情况

刺眼。”就是说电灯的亮度很高。光源的亮度是什么意思呢？

我们知道，一盏日光灯，它的灯管侧面是发光的〔图 1 (甲)〕，而两头是不发光的。如果把它所发出的光能集中到灯管的一头发射出来〔图 1 (乙)〕，这时，单位面积上发出的光功率^[1]就增加几十倍，也就是它的亮度将增加几十倍。

同时还可以看到，日光灯上每个发光点都向灯管外半个平面(即 180°)内发射光〔图 2 (甲)〕，如果把分散在 180° 范围内发射的光集中到 0.18° 范围内发射，则单位立体角^[2]内的光功率就提高将近一百万倍，也可以说光源的亮度提高了一百万倍。

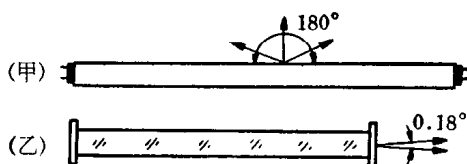


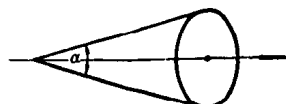
图 2 (甲)日光灯管上的每一点在 180° 内发光；
(乙)激光器能定向发光

人们根据生产实践的需要，规定光源在单位面积上，向某一方向的单位立体角内发射的光功率，就称为光源在这个方向上的亮度。

当然，普通的日光灯是不可能实现上述的光能集中的，而激光器却完全能够做到这一点，因此，激光器比普通的光源在亮度上有成万成亿倍地提高。激光在亮度上的提高，主要是

[1] 单位时间内发射(或吸收)的光能量。

[2] 以立体角的顶为球心，单位长度为半径，画一个球，则立体角内所包含的那一部分球面面积就是立体角大小的量度，单位为立体弧度。假定一个立体角是很小的圆锥顶角，则立体角的大小等于 $\frac{\pi}{4}$ 乘以平面角的平方。



依靠光在发射方向上的集中,实现定向发射,这个特性称为激光的方向性。

此外,具有特殊措施的激光器可以积累能量,引而不发,然后突然在极短时间内发光,大大提高了激光功率,从而也大大提高了激光的亮度。

二、几种普通光源的亮度

伟大领袖毛主席教导我们:“有比较才能鉴别。”为了了解激光在亮度上所取得的飞跃,有必要了解一下激光以外几种典型光源的亮度。

从表1中可以看到,电灯、炭弧、超高压水银灯和高压脉冲氙灯,它们的亮度依次各提高了十几倍。在照明工程中亮度的单位是“熙提”,而激光技术中,则以“瓦特/厘米²·立体角”作为亮度的单位。例如红宝石激光器,输出波长是0.69微米的红光,此时,1瓦特/厘米²·立体角约等于3.7熙提。

表1 几种光源的亮度

光 源		亮 度 (以熙提为单位)
蜡	烛	约 0.5
电	灯	约 470
炭	弧	约 9,000
超高压水银灯		约 120,000
太	阳	约 165,000
高压脉冲氙灯		约 1,000,000

为什么不同种类的光源,有着不同的亮度呢?“列宁说,对于具体情况作具体的分析,是‘马克思主义的最本质的东西、马克思主义的活的灵魂’。”电灯是依靠加热钨丝来发光的,温度越高,其亮度也越高。虽然钨的熔点很高,但当加热到绝对温度2700度^[1]以后,钨丝很快就会被烧断。可见,利用加热固体来发光,亮度受到固体熔化温度的限制。炭弧是靠炭气化

【1】绝对温度是把摄氏零下273度作为零度,一般用°K作标记,因此绝对温度2700度应该是摄氏2427度。

后放电而发光的,因而它的亮度就受到炭的气化温度的限制。炭的气化温度在 3500°K 左右,所以它比电灯亮得多。

气体放电光源与上述两种光源(热光源)不同,它不是依靠加热电极来发光,而是依靠气体放电来发光,因而,高压气体放电灯的亮度大大超过了热光源。但是,由于电极和管壁材料承受不了过大的负载,使气体放电光源的亮度受到了限制。然而,如果让这种光源间断地工作,电极和管壁材料所能承受的负载要比连续工作时大得多,因此脉冲气体放电光源的亮度又要比连续气体放电光源高许多倍。

尽管在提高亮度方面,原有的光源都存在着一些潜力,但是已经明显地遇到了各自的困难。

三、激光在亮度上的飞跃

毛主席深刻地指出:“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。”随着科学技术的迅速发展,迫切需要新的高亮度的光源。原有光源的重重矛盾,孕育着光源制造上的一场革命。激光器的诞生,是人们长期以来对原子物理、光学、光谱学、微波电子学等多学科综合研究的结果,是生产技术发展的产物。

人们在长期的生产斗争和科学实验中发现,发光体内部大量发光中心既有相互独立的一面,又有相互关联的一面。普通光源发光时,内部大量的发光中心基本上是相互独立的,或者说相互独立的一面占主导地位。如果能够创造一定的条件,有意识地加强发光中心相互关联的一面,使相互关联的一面占主导地位,从而实现光能量在时间上和空间上的高度集中,这样将使其亮度成万成亿倍地提高。在目前的光源中,只有激光具有后者的发光方式,从而表现出其蓬勃的生命力。

例如，一台较高水平的红宝石巨脉冲激光器，每个平方厘米的输出功率达1千兆瓦(10^9 瓦)，发散角接近1毫弧度(千分之一弧度，约3分26秒的角度)，这个激光器的亮度就是10亿兆瓦/厘米²·立体角(10^{15} 瓦/厘米²·立体角)，这相当于37亿兆熙提，比高压脉冲氙灯的亮度提高了37亿倍！

这是何等惊人的飞跃啊！除了氢弹以外，至今还找不到第二种东西能够象激光器这样高度地集中能量。当然，激光的总能量是不大的，但激光能把能量在空间和时间上高度地集中起来，因此就有很大的威力。

四、高亮度的意义

我们知道，用普通的放大镜会聚中午的太阳光，很容易把纸片烧一个洞。一束光经过会聚以后，可能达到的温度，主要取决于光源的亮度。会聚中等亮度的激光，在焦点附近能产生几千度以及几万度的高温，容易熔化以至气化各种对激光有一定吸收的金属和非金属材料，因此目前在工业上已成功地用激光进行精密焊接、打孔和切割。

会聚高亮度巨脉冲激光，能在直径为百分之几毫米或千分之几毫米的范围内产生几百万度的高温、几百万个大气压的高压和每厘米几千万伏的强电场，因此，激光已成为科学研究的一种有力工具。

利用光波可以测量距离。普通的光速测距仪，能测量的最大距离不超过30公里。目前利用激光测距仪已测量了地球和月球之间的距离（平均距离约为40万公里），误差不超过1.5米，这是原有的光学测距仪所望尘莫及的。激光在测距、雷达、通信等许多方面有着广泛的应用。

激光在高亮度方面的应用还刚刚开始，从上面的几个例子可以说明，它具有朝气蓬勃的生命力。

第二节 激光的单色性及其意义

一、白光和单色光

雨后复斜阳,彩虹架长空,这是我们常见的自然现象。用一块分光镜,就能将太阳光分解成一条彩虹般的色带,其中包括逐渐变化着的红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等各种颜色。相反地,多种颜色的光按照一定的强度比例混合起来,就成了白光。因此,可以说白光是各种颜色光的组合。

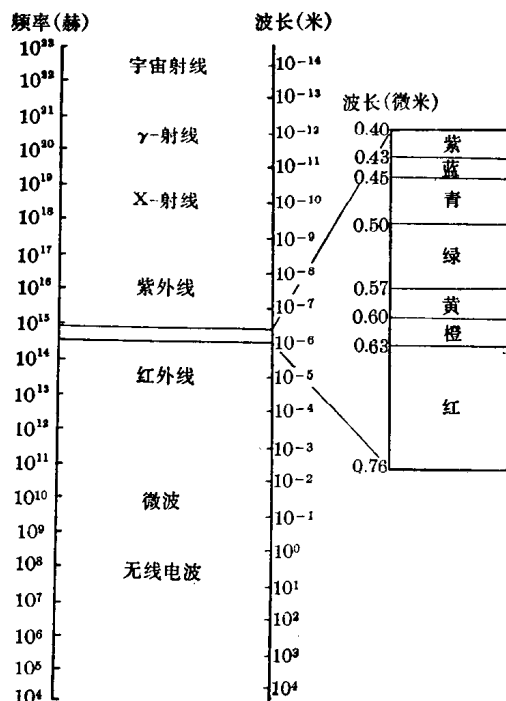


图 3 电磁波谱图

不同颜色的光有什么区别呢?为了回答这个问题,要先弄清楚光是什么。

在长期的生产斗争和科学实验过程中，人们认识到光和无线电波一样是一种电磁波，只是它们的波长不同而已(图3)。

我们感觉到的不同颜色，正是不同波长的光作用在眼睛的视网膜上所引起的不同反映(表2)。波长比0.76微米^[1]长的光就叫做红外光(红外线)，波长比0.40微米短的光就叫做紫外光(紫外线)。红外光和紫外光是肉眼看不见的，但是，从红外光到紫外光这个光波(又叫做热辐射)范围内，往往借用可见光的一些名称。

单色光是指波长范围很小的一段辐射，一般小于几个埃。

凡是发射一种或分立的几种单色光的光源，称为单色光源。单色光经分光镜分解后，不是一段色带，而是一条条分立的亮线，通常称为谱线。可见，单色光并不是单一波长的光，而是有一个波长范围，这个范围就叫做单色光的谱线宽度。波长范围越小，即谱线宽度越窄，单色性就越好，因此，谱线宽度是衡量光源单色性好坏的标志。

光源的单色性有什么用处呢？下面举一个精密测长的例子来说明。

在光学加工和精密机械制造工业中，要求测量的精度在1微米以内，通常用米尺或其他机械的工具是不能达到的。然而，人们发现化学元素在一定的条件下发射的谱线具有确定的波长。如果利用光波作为长度的单位，也就是用光波的波

表2 各色光的波长范围

光的颜色		大致的波长范围
红	色	0.76~0.63 微米
橙	色	0.63~0.60 微米
黄	色	0.60~0.57 微米
绿	色	0.57~0.50 微米
青	色	0.50~0.45 微米
蓝	色	0.45~0.43 微米
紫	色	0.43~0.40 微米

[1] 1微米=10⁻⁴厘米(万分之一厘米)；1埃=10⁻⁸厘米(一亿分之一厘米)，平时用Å作为埃的标记。

长作为“尺子”来测量一个物体的长度,那么,测量的精度可达十分之一波长,即其精度在 0.1 微米以内。

假定单色光的平均波长为 λ , 谱线宽度为 Δ 。用这一单色光来测量物体长度时,由于单色光并不是单一波长的光,就好像是用一套混杂在一起的长短不一的“光学尺子”同时进行测量,即“长尺子”在进行测量的同时,“短尺子”也在独立地进行测量。这样,第一次测量,最长的“尺子”(波长为 $\lambda + \frac{\Delta}{2}$) 和最短的“尺子”(波长为 $\lambda - \frac{\Delta}{2}$) 的测量结果相差 Δ , 第二次测量即为 2Δ , 一直量到距离 L 时,出现了这样的情况: 最长的“尺子”量出的次数为 N , 而最短的“尺子”测出的次数为 $N+1$, 此时再量下去就没有意义了。 L 就称为这个单色光的最大可测长度。它与 λ 及 Δ 有如下关系:

$$L = \frac{\lambda^2}{\Delta}$$

由此可见,光源的单色性越好(即 Δ 越小), 则最大可测距离就越长。表 3 列举了几种单色光源的波长、谱线宽度和

表 3 几种元素单色光的最大可测长度

元 素	原子量	波 长 λ (Å)	室 温 条 件 下		低 温 条 件 下	
			谱线宽度 Δ (Å)	最大可测 长度 L (厘米)	谱线宽度 Δ (Å)	最大可测 长度 L (厘米)
氢	4	5876	0.045	4	0.025	7
氦	20	5852	0.018	9.5	0.012	15
氩	89	5570	0.0095	16.5	0.0059	26.5
氖	86	6057			0.0047	38.5

〔说明〕 表中最大可测距离比公式计算结果小一倍, 这是由于公式给出的是最大光程差, 见第三节。

最大可测距离。在激光出现之前，这些光源的单色性是较好的，其中同位素 86 氪灯(记为 Kr^{86})单色性最好，成为长度计量的标准(又称长度基准)。

Kr^{86} 单色光源的最大可测长度只有 38.5 厘米，若要测量 1 米长的物体，就十分困难，须进行分段测量，这不仅降低了测量精度，而且由于 Kr^{86} 单色光源的光强很弱，使用上也极不方便。原有的单色光源无论在单色性上、还是在单色亮度^[1]上，远远不能适应光学工业、机械制造工业和其他精密计量工作的需要。

二、激光的单色性

普通光源发出的光，一般颜色都是极为复杂的，而激光器发射出的是高亮度的单色光，这又是激光器区别于普通光源的一个重要特点。

激光器和其他单色光源不一样，它是依靠其内部的规律性，使光能在光谱上强烈地集中起来。因此，激光的单色性比现有的单色光源有了极大的提高。例如，氦-氖气体激光器所产生的激光谱线宽度小于一千万分之一埃，因此它的最大可测距离达几十公里，即其单色性要比氪灯提高十万倍。

目前，仅仅气体激光器，已发现几千条单色性很好、单色亮度很高的谱线，这些谱线分布在从紫外到远红外的十分广阔的波段内，为进行各种极其精密的测量和科学实验，提供了极为有利的条件。

从上面精密测长的例子中，可以看出激光单色性的意义。然而，激光单色性还有更广泛的应用。例如，人们在激光的单色性的基础上，发展了光波的拍频技术。利用光波拍频技术，

[1] 单色亮度是指单位波长范围内的亮度，单位常用尔格/秒·厘米²·立体弧度·埃。

可以测量极其缓慢的速度——每秒钟移动几个微米，以及测量极其缓慢的角速度——每秒钟转过十分之一度。

可以想象，当激光的单色性进一步提高以后，更多的无线电技术可以推广到光学技术中来，推动光学技术进一步发展。

第三节 激光的相干性

毛主席教导我们：“矛盾的普遍性和矛盾的特殊性的关系，就是矛盾的共性和个性的关系。”共性是绝对的，个性是相对的。相干性是波动现象的普遍属性。光是一种电磁波，因此也具有相干性。

什么是光的相干性呢？让我们先从光的干涉现象说起。

一、光的干涉现象

光的干涉，初听起来很陌生，其实在日常生活中，经常可以看到这种现象。例如，在一碗水中滴入一些油，油就在水面上形成一层薄膜，俗称油花。在阳光下，从不同的角度去观察这层油花，就可以看到不同的颜色。又如，洗衣服时出现五颜六色的肥皂泡等。这些都是光的干涉现象。

为了说明光的干涉现象，我们讨论两个实验。第一个实验

如图 4 所示。有两个相同的光源，分别通过两个孔照亮观察屏。一般情况下，可以看到光源共同照亮的地方（即两束光相互迭加的地方）要亮一些，即光强较大，是每个光源单独照明时的光强之和。这是因为这两束光是互不干扰，相互独立地传播着。

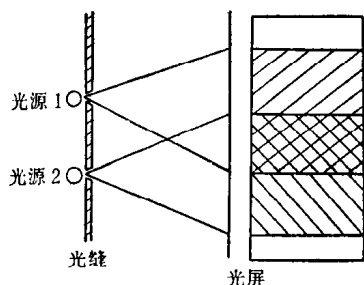


图 4 光的独立传播

第二个实验，见图 5。这里的两束光是由同一个光源产生的，只是由于双面镜的反射而形成两束光。在一定的条件下，这两束光重迭的地方(图中用阴影标出的部分)并不象前一个实验那样一片均匀的明亮，而是出现了一些明暗相间的条纹。在明亮的地方，光强差不多是单独一束光照射时的 4 倍，而在暗的地方光强为 0。这两束光就不是相互独立地传播，而是相互影响，相互干扰了，这就是光的干涉现象，这些明暗相间的条纹，叫做干涉条纹。

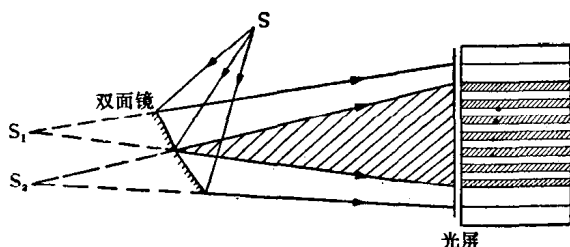


图 5 光的干涉现象

二、波的迭加原理

为什么光在一定条件下会发生干涉呢？这是因为光波遵守波的迭加原理。

我们知道，轮船航行时，会掀起阵阵波浪，这是水的波动现象。有时，两艘船平行前进，它们各自形成一组水波。若我们仔细观察这两组水波相互重迭的地方，就会发现，有些地方波浪起伏得倍加剧烈，而有些地方则几乎没有上下波动。这就是波的迭加现象。

波的迭加原理是：如果两列波同时作用于某一点上，则该点的振动等于每列波单独作用时所引起的振动的代数和。由此可见，两列波相互迭加后的情况，与它们之间的位相差有着密切的关系。

图 6 中, 1 和 2 表示两列同位相的正弦波, 3 表示它们迭加后的情形。由图可以看出, 迭加波的频率和位相与原来的波一样, 振幅是原来两列波的振幅之和, 即两列波相互加强。

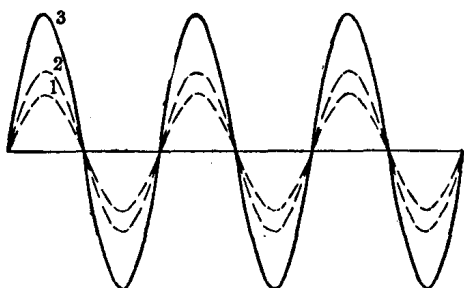


图 6 同位相正弦波的迭加

若两列波的频率一致而位相相反, 则其迭加后的波如图 7 所示。即迭加波的频率不变, 位相与振幅较大的第二列波一致, 振幅则为两列波振幅之差, 即相互抵消。

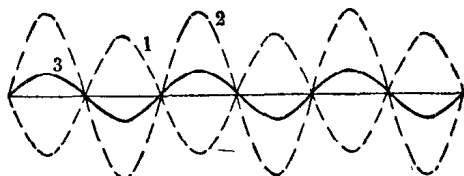


图 7 反位相正弦波的迭加

上面讲的是两种比较特殊的情况, 平时所遇到的迭加还要复杂得多。

三、光波迭加的特殊性

毛主席教导我们: “由于事物范围的极其广大, 发展的无限性, 所以, 在一定场合为普遍性的东西, 而在另一一定场合则变为特殊性。反之, 在一定场合为特殊性的东西, 而在另一一定场合则变为普遍性。”

迭加原理是波动的普遍规律。光是一种电磁波, 它也具