

# 激光的产生和特性

上海师范大学物理系光学教研组

激光技术是人们在生产斗争和科学实验中创造和发展起来的一门新技术。由于激光具有一般光源所没有的许多特点,所以它已在工农业生产、国防建设和科学研究等方面获得了广泛的应用。

## 一、激光的特性

激光也是一种光,但由于它产生的机理不同于一般光,因而具有许多特性。

(1) 方向性好 普通的光源是向四面八方均匀发光的,但激光器是沿着一定的方向向外发出很细的一束光,它的发散角只有一个毫弧度左右(1毫弧度=3'36'')。

(2) 单色性好 普通光源发射出来的光包含有较宽的波长范围,即使是最好的单色光源——氩<sup>86</sup>灯——所发出的光,其谱线宽度也达0.0047埃(1埃=10<sup>-8</sup>厘米),但激光器所发射出来的光单色性很好,如氩-氦激光谱线宽度小于一千万分之一埃,单色性比氩<sup>86</sup>灯大大提高。

(3) 相干性好 普通光中各组分之间没有固定的相位关系,而且单色性也差,因此相干性能很差。但激光束各部分之间的相位关系是确定的,而且单色性好,因此激光是一种相干度较高的光。

(4) 亮度\*高 激光器能将发光能量在空间上和时间上高度地集中起来,因而亮度极高。激光亮度可达10<sup>9</sup>~10<sup>10</sup>瓦/厘米<sup>2</sup>·立体弧度,巨脉冲激光亮度可达10<sup>20</sup>瓦/厘米<sup>2</sup>·立体弧度。这

### 2. 实验室内必须尽量减少反射面

激光实验室内的玻璃窗、门把手、工作服钮扣都能反射激光而引起眼睛损伤(表3)。在设置实验室时必须考虑这些问题。一般说来,人眼直接接触激光的机会是很少的,而且容易避免,而激光通过各种反射面透入眼睛则机会较多,是一种容易被忽略的危险,必须引起重视。

### 3. 气体激光也必须注意防护

功率很小的氩-氦激光(功率5毫瓦)不引起眼睛损伤,但功率较大时,就会产生眼睛损伤,如40毫瓦的氩离子激光,照射5秒钟,就能引起灰兔眼底呈带状的I度损伤;功率0.5瓦的二氧化碳激光,虽然波长很长,不能透入眼底,但也能损伤角膜,可以推想,波长短的气体激光,功率达到一定数值就会引起眼底损伤,因此也必须注意防护。

\* 亮度为单位时间内由单位面积向单位立体角所发出的光能量,单位是  $\frac{\text{瓦}}{\text{厘米}^2 \cdot \text{立体弧度}}$  或  $\frac{\text{焦耳}}{\text{秒} \cdot \text{厘米}^2 \cdot \text{立体弧度}}$ 。

是普通光源所无法比拟的。激光能聚成极小的光点,在焦点附近产生几万度到几百万度的高温。

## 二、激光的产生

上述激光的特性仅仅是它表现出来的现象,我们还需透过这些现象分析它的实质。下面我们将简要介绍激光的产生和使激光具有这些特性的原因。

电灯、日光灯、激光器……它们怎么会发光呢?“事物发展的根本原因,不是在事物的外部而是在事物的内部,在于事物内部的矛盾性。”上述种种发光现象,都与光源内部原子的运动状态有关。

我们知道,原子是由带正电的原子核和围绕它带负电的电子组成的。电子在围绕着原子核的某些轨道上移动,电子在某一轨道运行时,具有一定的能量,我们通常把电子的能量说成是原子的能量,它们是一些分立的确定的量。在原子中,电子越靠近原子核,则能量间隔就越大;电子离原子核越远,则其能量间隔就靠得越近。当电子离原子核到一定距离时,能量间隔就几乎消失而连成一片了,此时,电子实际上已脱离原子核的束缚而成为“自由电子”了。原子能量的上述特性,可用能级图形象地表示出来。图1示出氢原子的能级分布情况,图中水平线表示原子可能存在的一系列能量状态,水平线的垂直距离表示在这些状态中原子具有的相应的能量。最低的能级  $E_1$  称为基态,其余的能级  $E_2$ 、 $E_3$ 、 $E_4$ ……等称激发态。原子总是力图使自己的能量状态处于最低值,这与物体的重心越低越稳定的道理相似。所以,在由大量原子组成的系统中,通常处于基态的原子数占绝大多数,处于激发态上的原子数较少。

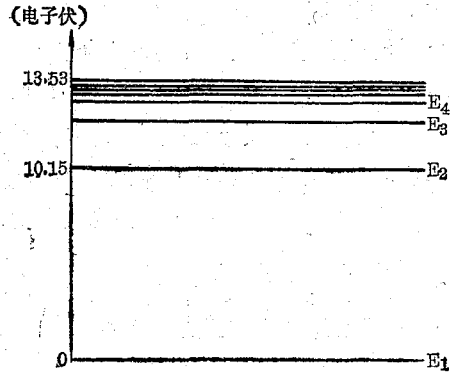


图 1

如果以适当的方式给原子体系传输一定的能量,则处于基态的原子吸收了外来的能量便从基态跃迁到激发态。譬如用光照射原子体系,则基态原子吸收相应能量的光子而跃迁到激发态。图2中的(1)示出原子的吸收过程。处于激发态的原子是不稳定的,它会自发地直接回到基态或经过某

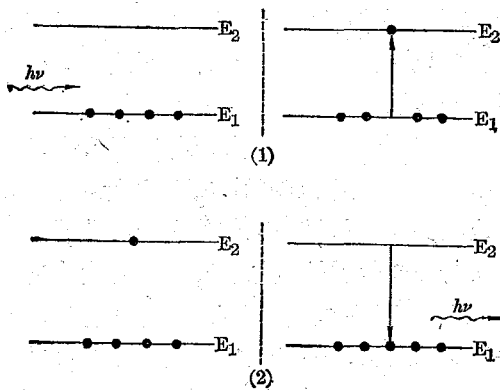


图 2

较低能级间接回到基态。在这跃迁过程中,如果是发热形式释放出那一部分吸收的能量,则称为无辐射跃迁;如果是发光形式辐射出那一部分吸收的能量,则称为自发辐射跃迁,所辐射出光子的能量为  $h\nu = E_2 - E_1$ , 其频率为  $\nu = (E_2 - E_1)/h$ , 其中  $h = 6.624 \times 10^{-27}$  尔格·秒。图2中的(2)示出原子的自发辐射过程。我们日常接触到的普通光源,如日光灯、高压汞灯、氙灯等,主要都是由于自发辐射而发光的。由于各个原子都各自独立地彼此无关地进行自发辐射,因而发出的光在方向上也不一致,在初始位相上也不一致。所以,普通光源发出的光的方向性很差,相干度较低,单色性也是很差的。

物质的发光除自发辐射外,还存在一种受激辐射。当频率  $\nu$  与  $(E_2 - E_1)/h$  很接近的一束光照射到具有激发态原子的系统中时,则在这束光的刺激下,处于激发态上的原子会跃迁到低能态,同时发出一束光。这束光在频率、相位、传播方向等方面都与入射光束全完一致。也就是说,通过这一过程,把入射光放大了。这样的发光过程称为受激辐射,图3是受激辐射的示意图。

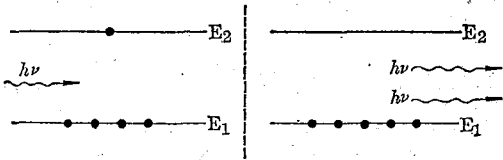


图 3

从上面讨论可看出,吸收过程由于吸收了光子而使入射光减弱;受激辐射过程则由于在入射光刺激下原子发射出与入射光性质相同的光子而使入射光加强。在正常情况下,绝大多数的原子处于基态,所以当外来光子照射时,吸收过程占优势,总是观察到吸收现象和自发辐射现象,很难观察到受激辐射现象。如果要使受激辐射占优势,就必须利用某种方法把这种正常的分布情况倒过来,也即原子在高能级上的数目多于低能级上的数目。这就称为粒子数反转。粒子数反转是使受激辐射从次要地位转化为主导地位的必要条件,因而,也是产生激光的必要条件。

例如红宝石激光器中的工作物质受氙灯光照射后,处于基态  $E_1$  的铬离子大量地被激发到激发态  $E_3$  (如图4所示)。激发态铬离子是不稳定的,在  $10^{-8}$  秒的时间内会迅速地以无辐射跃迁的形式跃迁到能级  $E_2$  上。处在  $E_2$  上的铬离子较稳定,能停留约  $3 \times 10^{-3}$  秒(比普通激发态的寿命约长十万倍,故称  $E_2$  为亚稳态),因而  $E_2$  上可积累大量铬离子。当氙灯光照足够强时,就可能在短于千分之三秒的时间内把一半以上的原子激发到  $E_3$  并转移到亚稳态  $E_2$  上,从而在  $E_2$  和  $E_1$  间实现粒子数反转。当  $E_2$  态的铬离子受到能量为  $h\nu = E_2 - E_1$  的光子刺激时,就会受激跃迁到基态  $E_1$ ,并放出一个与  $h\nu$  完全一样的光子,这两个光子去刺激其他处于  $E_2$  态的铬离子,从而产生四个同样的光子,这样就会使受激辐射愈来愈强。

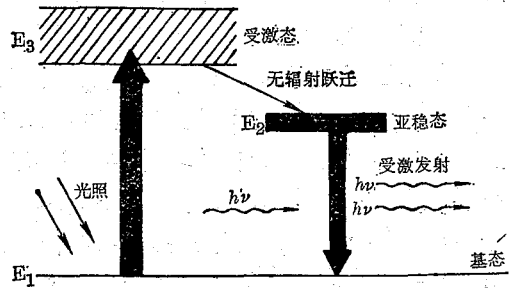


图 4

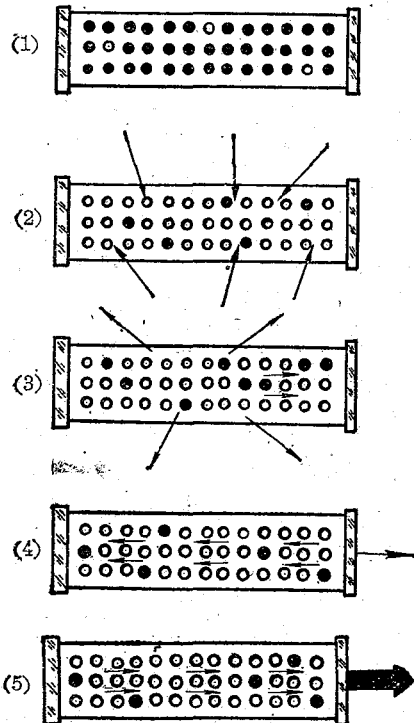


图 5

由此可知,一旦工作物质实现了粒子数反转,当频率适当的光子入射后,可产生受激辐射,得到由大量特征相同的光子所组成的光束。如果在工作物质的两端放置两块相互平行而又与工作物质轴线相垂直的反射镜(这称光学共振腔),这束光在反射镜间来回反射,每通过工作物质一次都得到一定的放大,一旦这样的增加量超过系统中的总损耗时,便从部分透射的反射镜上射出一束激光。

图5表示激光器的工作原理。其中,(1)表示在正常状况下,绝大多数原子都处于基态(用黑点表示处于基态

用黑点表示处于基态

的原子,用圆圈表示处于激发态的原子);(2)表示在外来能量激发下,造成了粒子数反转;(3)表示一部分处于激发态的原子向各个方向自发辐射,其中除了沿轴向(图中水平方向)的光之外,都马上离开共振腔,只有沿轴向的光,不断刺激着沿途处于激发态的原子,使之实现受激辐射,再发射同性质的光子而导致光放大;(4)表示光遇到共振腔的反射镜后,一部分输出,一部分又反射回去继续进行光放大;(5)表示光子经共振腔内来回反射,若放大作用大于各种衰减作用(如腔的透射、衍射、工作物质的吸收、散射等),激光就将从共振腔的一块反射镜输出。

从上面的分析,我们就可以看出为什么激光具有那些独特的性质:

(1) 方向性好 这是因为受激辐射的光子的射出方向与原来入射光子完全一致,且仅有那些沿着共振腔轴线方向的光子才能得到反复的反射放大而出射。所以,激光束具有很好的方向性。

(2) 单色性好 这是因为受激辐射所产生的光与原来入射光的频率完全一致,再加上共振腔对振荡频率的选择作用,故激光的单色性好。

(3) 相干性好 这是因为受激辐射所产生的光与入射光的位相是相同的,“步调”一致,因而相干性好。

(4) 亮度高 利用受激辐射跃迁过程产生光放大,以及采取开式共振腔建立定向辐射场的显著作用,实现了对光能量在时间和空间分布上的控制,因而所获得的瞬时高能定向发射的激光亮度是相当高的。

## 激 光 手 术 刀

外科手术总离不开刀、剪等金属器械,这是人们长期以来形成的概念。

最近由北京电子学研究所、上海医疗器械研究所和上海第一医学院耳鼻喉科医院等单位协作制成的二氧化碳激光手术刀,却完全是一种新型的外科手术器械。

由于激光的热效应、光效应、压力效应和电磁场效应的综合作用,因此,激光光点所到之处,皮肤、肌肉、骨骼便会迅速裂开,从而达到用激光开刀的目的。由于用激光开刀出血量少,切口愈合快,愈合面又较平滑,用这种刀进行切骨手术要比机械法切除的好,因此引起了医学界的广泛重视。

目前,这种激光手术刀已由上海注射器三厂进行改型设计,并投入生产。