



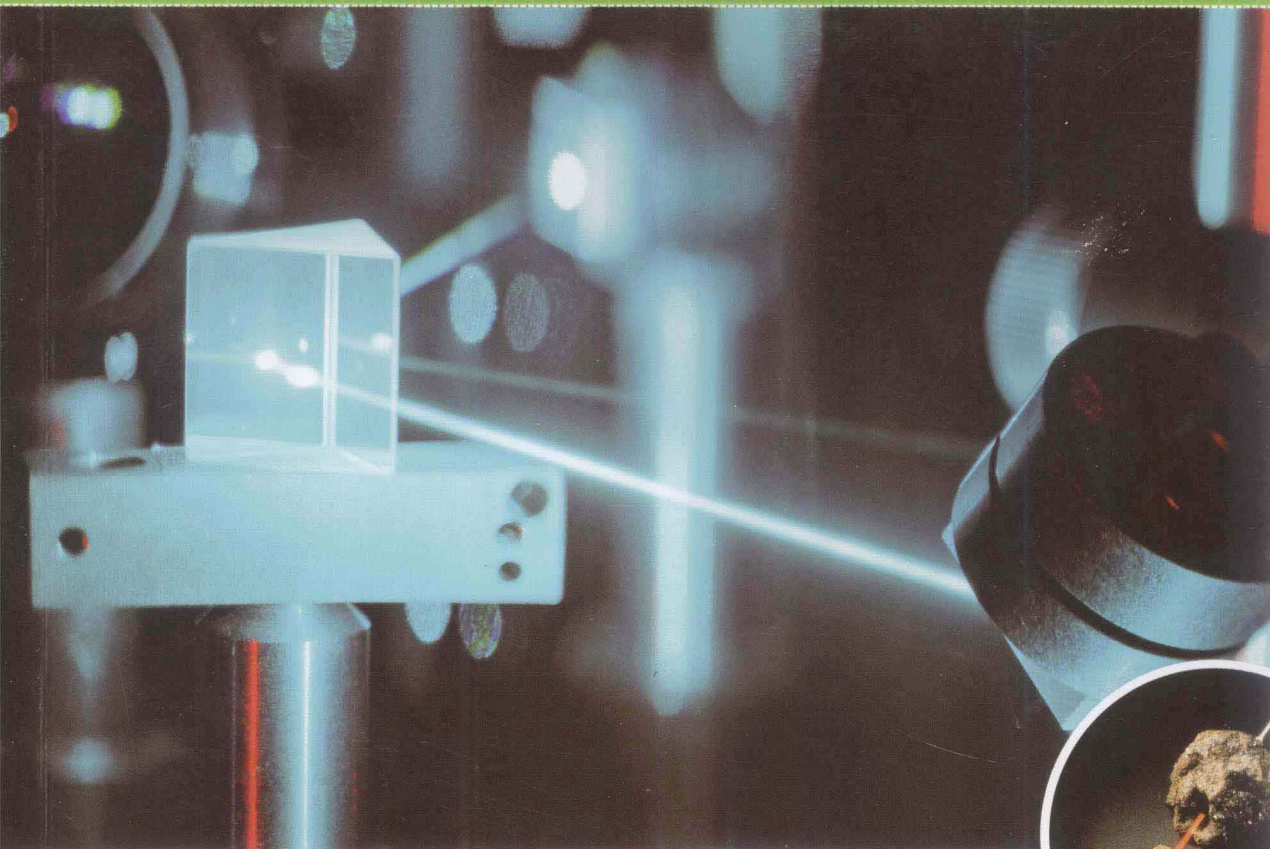
中吉联合



物理能量转换世界

吴波◎编著

图文并茂，具有趣味性、知识性



探索激光世界

探索激光世界

本书从激光与激光器、激光的应用、激光与航空、激光与能源、激光武器等多种角度阐述了激光这一举世瞩目的重大科技成就，并探索了人类利用激光技术的新途径和新的应用渠道，有助于读者全面地了解激光的知识，正确地看待激光和人类的关系，为维护世界和平而努力。



中国出版集团



现代出版社



物理能量转换

图文并茂，具有趣味性、知识性

TANSUOJIGUANGSHIJE

探索激光世界

编著◎吴波



中国出版集团



现代出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

探索激光世界 / 吴波编著. —北京: 现代出版社,
2013. 1

(物理能量转换世界)

ISBN 978 - 7 - 5143 - 1036 - 8

I. ①探… II. ①吴… III. ①激光 - 青年读物②激光
- 少年读物 IV. ①TN24 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 292903 号

探索激光世界

编 著 吴 波
责任编辑 张 晶
出版发行 现代出版社
地 址 北京市安定门外安华里 504 号
邮政编码 100011
电 话 010 - 64267325 010 - 64245264 (兼传真)
网 址 www.xdcb.com
电子信箱 xiandai@cnpitc.com.cn
印 刷 大厂回族自治县祥凯隆印刷有限公司
开 本 710mm × 1000mm 1/16
印 张 12
版 次 2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 5143 - 1036 - 8
定 价 23.80 元

版权所有, 翻印必究; 未经许可, 不得转载



前 言

光是人类眼睛可以看见的一种电磁波，也称可见光谱。光在科学上的定义，是指所有的电磁波谱。光是由光子为基本粒子组成的，具有粒子性与波动性，称为波粒二象性。光可以在真空、空气、水等透明的物质中传播。人们看到的光来自于太阳或借助于产生光的设备，比如说激光。

激光是 20 世纪以来，继原子能、计算机、半导体之后，人类的又一重大发明，被称为“最快的刀”、“最准的尺”、“最亮的光”（激光的亮度约为太阳光的 100 亿倍）。伟大的科学家爱因斯坦在 1916 年提出了一套全新的理论。这一理论是说在组成物质的原子中，有不同数量的粒子（电子）分布在不同的能级上，在高能级上的粒子受到某种光子的激发，会从高能级跳到（跃迁）到低能级上，这时将会辐射出与激发它的光相同性质的光，而且在某种状态下，能出现一个弱光激发出一个强光的现象。这就叫做“受激辐射的光放大”。1964 年，我国著名科学家钱学森建议将“光受激发射”改称“激光”。激光在有理论准备和生产实践迫切需要的背景下应运而生。

激光具有高亮度、高方向性、高单色性和高相干性（单色性与相干性意义相同）。在激光发明前，人工光源中高压脉冲氙灯的亮度最高，与太阳的亮度不相上下，而红宝石激光器的激光亮度，能超过氙灯的几百亿倍。因为激光的亮度极高，所以能够照亮远距离的物体。红宝石激光器发射的光束在月球上产生的照度约为 0.02 勒克斯（光照度的单位），颜色鲜红，激光光斑明显可见。激光亮度极高的主要原因是定向发光。大量光子集中在一个极小的空间范



围内射出，能量密度自然极高。激光的亮度与阳光之间的比值是百万级的，而且它是人类创造的。

1962年，人类第一次使用激光照射月球，地球离月球的距离约38万千米，但激光在月球表面的光斑不到2000米。若以聚光效果很好，看似平行的探照灯光柱射向月球，按照其光斑直径将覆盖整个月球。这是因为普通光源是向四面八方发光。要让发射的光朝一个方向传播，需要给光源装上一定的聚光装置，如汽车的车前灯和探照灯都是安装有聚光作用的反光镜，使辐射光汇集起来向一个方向射出。激光器发射的激光，天生就是朝一个方向射出，光束的发散度极小，大约只有0.001弧度，接近平行。

经过数十年的发展，激光现在几乎是无处不在，它已经被应用在生活、科研的方方面面：激光针灸、激光裁剪、激光切割、激光焊接、激光淬火、激光唱片、激光测距仪、激光陀螺仪、激光铅直仪、激光手术刀、激光炸弹、激光雷达、激光枪、激光炮……它的发展使古老的光学科学和光学技术获得了新生。在不久的将来，激光肯定会有更广泛的应用。

激光的出现还引发了一场信息革命，从VCD、DVD光盘到激光照排，激光的使用大大提高了效率，方便了人们保存和提取信息。“激光革命”的意义非凡。激光的空间控制性和时间控制性很好，对加工对象的材质、形状、尺寸和加工环境的自由度都很大，特别适用于自动化加工。激光加工系统与计算机数控技术相结合可构成高效自动化加工设备，已成为企业实行适时生产的关键技术，为优质、高效和低成本的生产开辟了广阔的前景。目前，激光技术已经融入我们的日常生活之中了，在未来的岁月中，激光会带给我们更多的奇迹。

本书从激光与激光器、激光的应用、激光与航空、激光与能源、激光武器等多种角度阐述了激光这一举世瞩目的重大科技成就，并探索了人类利用激光技术的新途径和新的应用渠道，有助于读者全面地了解激光的知识，正确地看待激光和人类的关系，为维护世界和平而努力。



目 录

激光与激光器概述

激光产生的理论基础	2
激光器的组成	6
激光的特点	11
激光器的种类	17

激光在生活中的应用

激光在视听领域中的应用	25
激光在立体世界中的应用	36
激光在办公室自动化中的应用	47
激光在通信中的应用	58

激光在科研中的应用

激光创造的纪录	69
激光在检验测量中的应用	73
激光在生物中的应用	82



激光在医学中的应用	87
激光在防灾环保中的应用	103

激光在航空中的应用

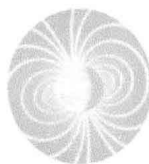
激光与航空安全	110
激光陀螺与光纤陀螺	117
激光与飞机设计	121

激光与能源概述

激光与分离同位素	127
激光在核聚变中的应用	130
激光与光能飞船	134

激光武器概述

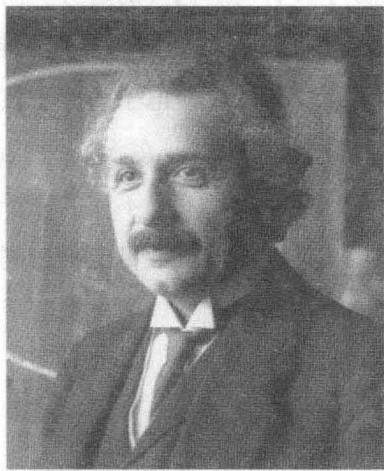
漫谈激光制导武器	139
漫谈激光测距	147
漫谈激光与雷达	153
漫谈激光对潜通信	159
漫谈激光束能武器	164
激光模拟	172
漫谈激光武器防护	178



激光与激光器概述

JIGUANG YU JIGUANGQI GAISHU

激光的原理早在1916年已被著名的物理学家爱因斯坦发现，但直到1960年才获得第一束激光。激光问世后，获得了异乎寻常的飞快发展，激光的发展不仅使古老的光学科学和光学技术获得了新生，而且导致了一门新兴产业的出现。激光可使人们有效地利用先进的方法和手段，去获得空前的效益和成果，从而促进了生产力的发展。



爱因斯坦

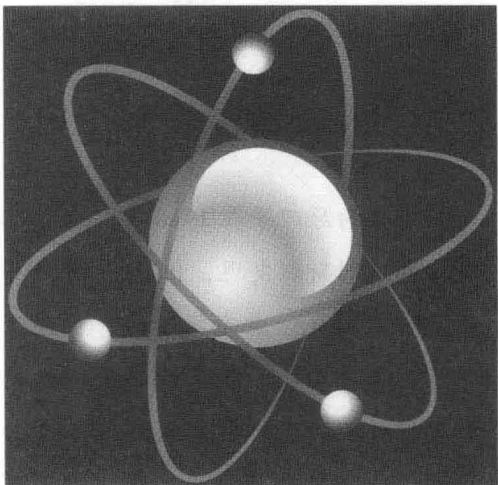
1960年5月15日，美国加利福尼亚州休斯敦实验室的科学家梅曼宣布获得了波长为0.6943微米的激光，这是人类有史以来获得的第一束激光，梅曼因而也成为世界上第一个将激光引入实用领域的科学家。7月7日，梅曼研制成功世界上第一台激光器，梅曼的研制方案是，利用一个高强闪光灯管，来刺激在红宝石色水晶里的铬原子，从而产生一条相当集中的纤细红色光柱，当它射向某一点时，可使其达到比太阳表面还高的温度。



激光产生的理论基础

一、原子的结构和能级

我们知道，一切物质都是由原子组成的，而原子又是由原子核和绕原子核不停地转动的电子所组成的，原子核带正电，核外电子带负电，电子绕原子核转动有离开的趋势。而正负电荷相吸引又有使它们靠近的趋向。两者对立统一，使电子与原子核之间保持一定的距离。在没有外界作用时，这个距离不变。不同的原子，绕原子核转动的电子数目也不相同，这些电子按照一定规律分布在若干层特定的轨道上。



原子模型图

最简单的原子就是氢原子，它只有一个电子绕原子核运动。电子运动就有一定的动能，电子被原子核吸引又有一定的势能，两者之和称为原子的内能。当核与电子间的距离保持不变时，原子的内能也不会改变。如果在外界作用下，电子与原子核的距离增大，原子的内能就增加，反之，使电子与原子核的距离减小，内能就减少。不过原子内能的变化并不是连续的，而是一级一级地分开的，即电子运动的轨道半径只可能取一系列的分立值，这是一切微观粒子（原子、分子、离子）的共同属性。

氢原子中虽然只有一个电子，但这个电子的运动轨道并非只有一条，而是有若干条。电子究竟处在哪一条轨道上运动，就要看原子内能的大小了。

通常情况下，电子在距原子核最近的轨道上运动，即原子处于最低的能量状态（稳定状态）。当外界向原子提供能量时，原子由于吸收了外界能量而引起自身的能量状态发生变化，即能量提高了，此时原子中的电子就会从低轨道跳（跃迁）到某一高轨道上去。外界提供的能量越大，电子的轨道就越高。或者说，电子轨道的高低，反映了原子的能量状态。电子的轨道高，就意味着原子处于高能态；电子的轨道低，就意味着原子处于低能态。原子处于每一个能量状态时，都有一个确定的能量值，这些数值各不相等，把它们用高低不同的水平线形象地表示出来，就叫做原子的能级图。不同的原子能级结构也不相同。

原子丢失其外层电子就成为离子。离子的能级结构与原子的能级结构类似。分子由原子构成，其能级结构，包括电子能级、原子振动能级和分子转动能级，比较复杂。电子、原子和分子都极其微小，习惯上统称它们为微观粒子。为了形象起见，常按微观粒子系统稳定态能量的大小，取某种比例的一定高度的水平线来代表系统的能态高低。高者叫高能级，低者叫低能级，各水平线统称为能级。它们构成的图叫做系统的能级图。通常为简明扼要，并不一定在能级图上画出所有能级，而只画上与所研究的物理现象有关的能级。

在自然界，任何物质的发光都需要经过两个过程，即受激吸收过程和自发辐射过程。受激吸收过程是指当物质受到外来能量如光能、热能、电能等的作用时，原子中的电子就会吸收外来能量（如一个光子），从低轨道跃迁到高轨道上去，或者说处于低能态的粒子会吸收外来能量，跃迁至高能态。由于吸收过程是在外来光的激发下产生的，所以称之为“受激吸收”。

自发辐射过程，被激发到高能级上的粒子是不稳定的，它们在高能级上只能停留一个极为短暂的时间，约为一亿分之一秒，然后立即向低能级跃迁。这个过程是在没有外界作用的情况下完全自发地进行的，所以称为“自发跃迁”。粒子在自发跃迁过程中，要把原先吸收的能量释放出来，释放能量转变为热能，传给其他粒子，这种跃迁叫做“无辐射跃迁”，当然就不会



有光子产生。

另一种是以光的形式释放能量（叫做自发辐射跃迁），即向外辐射一个光子，于是就产生了光。自发辐射过程放出的光子频率，由跃迁前后两个能级之间的能量差来决定，可见，两个能级之间的能量差越大，自发辐射过程所放出的光子频率就越高，如同弹琴，如果用力拉紧琴弦，琴发出的音调频率就高，反之则低。

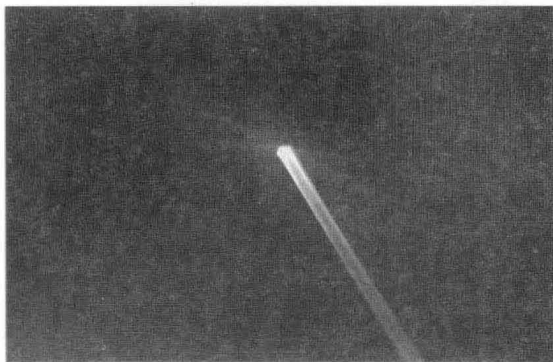
自发辐射光极为常见，普通光源的发光就包含受激吸收与自发辐射过程。前一过程是粒子由于吸收外界能量而被激发至高能态；后一过程是高能态粒子自发地跃迁回低能态并同时辐射光子。当外界不断地提供能量时，粒子就会不断地由受激吸收到自发辐射，再受激吸收，再自发辐射，如此循环不止地进行下去。每循环一次，放出一个光子，光就这样产生了。以电灯为例：接通电源后，电流流经灯泡中的发光物质——钨丝，钨丝被灼热，使钨原子跃迁至高能态，然后又自发跃迁回低能态并同时辐射出光子，于是灯泡就亮了。

自发辐射的特点是，由于物质（发光体）中每个粒子都独立地被激发到高能态和跃迁回低能态，彼此间没有任何联系，所以各个粒子在自发辐射过程中产生的光子没有统一的步调，不仅辐射光子的时间有先有后，波长有长有短，而且传播的方向也不一致。因为自发辐射光是由这样许许多多杂乱无章的光子组成的，所以我们通常见到的光，是包含许多种波长成分（即多种颜色）、射向四面八方的杂散光。阳光、灯光、火光等普通光都属于自发辐射光。

二、受激辐射“激”出激光

粒子从高能态向低能态跃迁，并非只能以自发方式进行，处于高能态的粒子可以在没有外界因素的影响下自发地向低能态跃迁，也可以在外界因素的诱发和刺激下向低能态跃迁，而且在跃迁中同样也向外辐射光子。由于后一种过程是被“激”出来的，所以就叫做“受激辐射”过程。

在受激辐射过程中产生并被放大的光，便是激光。激光与普通光既有相同之处，又有不同之处。相同之处是：两种光在本质上没有区别，既是电磁波，又是粒子流，具有波粒二象性。不同之处在于：普通光是一种杂乱无章的混合光，而激光则是频率、方向、位相都极其一致的



激 光

“纯”光。根据光学理论，两束光相干的条件是同频率、同振动方向、位相相同或位相差恒定。显然，受激辐射所产生的激光是相干光，而普通光是非相干光。

知识点

离 子

离子是指原子由于自身或外界的作用，而失去或得到一个或几个电子，使其达到最外层电子数为8个或2个的稳定结构。这一过程称为电离。电离过程所需或放出的能量称为电离能。与分子、原子一样，离子也是构成物质的基本粒子。



延伸阅读

为何需要淘汰白炽灯泡

白炽灯泡由美国发明家爱迪生所发明，为最早成熟的人工电光源，它是利用灯丝通电发热发光的原理发光的。一般而言，白炽灯泡的发光效率较低，寿命也较短，但使用上较方便。爱迪生发明白炽灯为人类文明的发展作出了很大的贡献，给人类带来了光明。但白炽灯与当今的荧光节能灯、LED节能灯相比，其发光原理、发光与电能效率低下，寿命也比较短，发热量以及安全性方面，均不可与荧光节能灯、LED灯相比，为了节能、环保，所以需要逐步淘汰白炽灯。

激光器的组成



激光器

能产生激光的系统，我们称之为激光器。激光器的分类目前尚无统一的标准。如按工作介质区分，有固体、气体、液体、半导体激光器；按功率大小区分，有微功率、小功率、中功率、大功率激光器；按不同的用途区分，有工业加工用激光器、通信用激光器、医用激光器、测量用激光器等；按工作状态区分，有

脉冲激光器和连续波激光器；按频谱区分，有红外激光器、可见光激光器、紫外线激光器、X射线激光器等，其中紫外线激光器由于大部分是以准分子为工作介质的，故又称之为准分子激光器。

一、激励源

自发辐射显然是形不成激光的，而受激辐射也只是激光产生的理论基础。要激励出激光来，还必须采取手段创造必要的物质条件。

粒子数的正常分布：激光是在受激辐射中产生的，受激辐射要求粒子处在高能态。可是，在通常情况下，物质中绝大多数粒子处于稳定状态（稳态），因为在正常热平衡的条件下，粒子有自发从高能级向低能级跃迁的趋势，这样，低能级上的电子数要比高能级上的电子数多得多。能态越高，粒子数目就越少，此时粒子分布规律好像金字塔，下面大，上面尖，越往高处越少。这就是说；处于低能级的粒子数在热平衡的情况下总是多于高能级上的粒子数，因而受激吸收总占优势，这就称之为“粒子数正常分布”。

在这种情况下，由于在实验中很难观察到个别粒子究竟是受激吸收还是受激辐射，实际只能观察到两种过程的宏观结果。因此，只能看到占优势的粒子体系的吸收现象，而受激辐射则观察不到。普通光源，如电灯、高压汞灯等都是如此。也就是说，在“粒子数正常分布”的情况下，无论怎样“激”，也出不了激光。

粒子数的反转分布：为了产生受激辐射，就必须变革粒子的常规分布状态，来个“粒子大搬家”，将处在低能态的粒子“搬”到高能态上去，使高能态的粒子数大于低能态的粒子数。由于它同正常粒子数分布相反，所以叫粒子数反分布。此状态激光理论中有个统一叫法——“粒子数反转”或“集居数反转”，处于粒子数反转的粒子体系是不稳定的，如果这时有合适的诱发光子刺激它，则受激辐射就会发生而产生激光。可见，实现粒子数反转便是实现激光产生的先决条件。

“搬运”粒子的工具：要想把处于低能态的粒子送到高能态去，就得有外



力借助工具来实现。这个过程类似于把水位很低的河水或井水抽运到水塔上的蓄水池里，必须要有足够功率的水泵做功才行。同理，要实现粒子数反转，首先必须消耗一定的能量把大量粒子从低能级“搬运”到高能级，这种过程在激光理论上叫做泵浦或激励。由于其作用原理和水泵抽水相类似，所以把能使大量的粒子从低能态抽运到高能态的激励装置通称之为“光泵”。

“光泵”只是在解释粒子数反转时借用的一种形象的说法，实际上粒子都是甘居低能态的，而且很顽固，并不是像水一样很容易地就被泵抽运走了。即使费了很大劲把一部分抽运到了高能态，但它们很快就又自发地跃回低能态了，怎么办呢，那就需要加大能量不停顿地来轰击。就是说，激励不仅要快，而且要强有力。激励作用总是通过消耗一定的能量来实现的。

激励能量的大小和采用的形式视各式各样激光工作物质的不同而异。固体工作物质（如红宝石），相邻粒子之间间距很小，粒子外层能级相互接壤，甚至重合，形成许多具有一定宽度的能带，这些能带易于吸收光泵的光能而使粒子被激发，因而固体工作物质常用强光照射激励，称为光激励。这时的阈值常用泵灯的光功率或能量来表示；气体中，由于粒子之间间距大，相互作用弱，能带极窄，它们吸收光潜在紫外波段，因此在技术上用光激励难度较大，所以多采用气体放电的电子碰撞激励方法。气体放电的实现多通过辉光技术放电或高频放电。不同的气体工作物质，其阈值大小也不同。气体激光工作物质，除电激励外，像二氧化碳分子气体，亦可采用光激励、热能激励或核能激励，但也有用化学反应能（简称化学激励）的。正在发展的还有利用激光、冲击波、电子束等激励的；液体激光工作物质类似固体，多用光激励；半导体激光工作物质多用直流或脉冲电注入式、光泵、高速电子轰击等激励方式。化学激光工作物质多利用化学反应能激励。各种激励方式又有脉冲和连续之分。前者指激励和激光的输出均以脉冲方式工作；后者指激励和激光的输出是连续的。我们把能提供合适的激励能量的装置称之为激光器的激励源。

二、工作介质

在大千世界里，各种各样的物质都是由分子、原子、离子等微观粒子组成的，如果有了强大的激励是不是都能在物质中实现粒子数反转而产生激光呢？不是的，激励只是一个外部条件，激光的产生还取决于合适的工作物质，也称之为激光器的工作介质，这才是激光产生的内因。

亚稳态级：前面我们所讲到的都是以二能级系统为例来讨论的，也就是说工作物质只有高、低两个能级。实际上，目前所有已实现的激光辐射都是三能级或四能级系统，尚未看到二能级系统的实例。为什么呢？这是因为对于一个只含有高能级和低能级的二能级系统来说，在正常情况（即热平衡状态）下吸收能量从低能级跃上高能级的概率同处于高能级的粒子放出多余的能量跃回低能级的概率相等，二者又是同时进行的。这样，在没有外界激发作用时，体系处于热平衡状态，低能级上的粒子数多于高能级上的粒子数。尽管随着激发作用的持续和加强，低能级上粒子数减少，高能级上粒子数增加，但当粒子在高、低能级间吸收的光子数等于放出的光子数，或者说，无论怎样激发，从低能级跃上高能级有多少粒子，同时就有相同数目的粒子又从高能级跃回低能级，无法实现粒子数反转。但如果能在二能级系统中增加一个可以有较长寿命并能贮存大量粒子的能级时，经过不断地激发，粒子数反转就可以实现。我们把这样的能级称之为“亚稳态级”。很显然，只有具备了有亚稳态级的物质才有产生激光的可能。

三、谐振腔

合适的工作物质有了，实现粒子数反转的激励源有了，这下子该可以“激”出激光了吧！还不行，因为人们在实验中发现这样虽然可以产生受激辐射，但非常微弱，根本形不成可供人们使用的激光。这很自然地使人们想到了采用放大的办法来解决这个问题，于是出现了光学谐振腔。

激发光子与诱发光子：在工作物质中实现了粒子数反转，即在亚稳态下积



累大量粒子后，由于亚稳态相对于稳态来说仍然是不稳定的，所以聚集在亚稳态上的电子，总要有一些首先自发地向稳态跃迁，产生自发辐射光，这些自发辐射光子射中亚稳态上的其他粒子时，就会诱发受激辐射，产生受激辐射光子。能诱发受激辐射的光子我们称它为“诱发光子”。在前面我们曾提到过诱发光子，并没有交代受激辐射最初的诱发光子究竟是从哪里来的。实际上它是来自这里的自发辐射，是产生激光的“火种”，注意这个“诱发光子”不同于激发光子。激发光子来自于工作介质之外的激励源，也就是光泵；而诱发光子却是来自工作介质内部的自发辐射。

激光的振荡放大：为了把最初激光工作介质中微弱的受激辐射变为可供人们使用的激光，就必须产生所谓的光振荡，以达到介质中产生持续的光放大的目的。

要产生激光振荡，人们自然会联想到无线电技术中早已实现的由晶体管振荡器中电感和电容组成的振荡回路和微波振荡器中的谐振腔。微波谐振腔的尺寸和工作波长相当，但光波波长极短，不能采用像微波技术中所用的那种封闭式谐振腔。不过在晶体管振荡器电路中，常用某种方式从输出端取出一部分电功率，又把它反馈到输入回路，进行再放大输出。这启发人们利用光学干涉仪的技术，即利用两个面对面的反射镜，使放大的光在镜间来回被反射，反复通过镜间的介质不断再放大，即反馈放大。两个反射镜可以是平面，也可以是球面。其中一个要求是反射率为100%的全反射镜，另一个是部分反射镜。比如，反射率为95%时，5%的光透射出去供人应用，从而构成光学谐振腔。因为其侧面是敞开的，所以，又称做“开放腔”。当把激光介质置于两反射镜之间后，即可构成激光振荡器。当外界强光激励置于两镜间的激光介质时，就在亚稳态级与稳态级之间实现了粒子数反转。处于亚稳态级的粒子当自发地跃迁到低能级时将自发辐射光子，但这种发射是无规律地射向四面八方，其中一部分可以诱发激发态上的粒子产生受激辐射。