

我爱科学

物理大世界

绝非科幻的

激光技术



JUEFEI
KEHUANDE
JIGUANGJISHU

主编◎韩微微



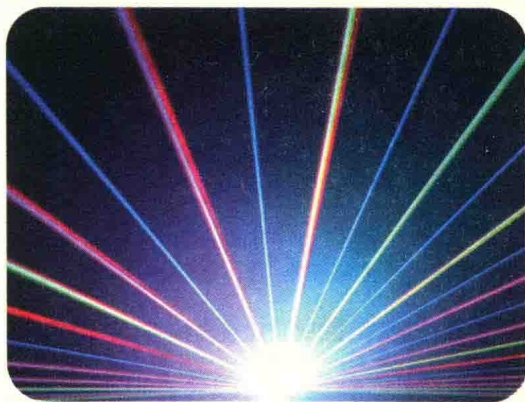
吉林出版集团



吉林美术出版社 | 全国百佳图书出版单位

我爱科学

物理大世界



绝非科幻的

激光技术

收藏

JUEFEI
KEHUANDE
JIGUANGJISHU

主编◎韩微微



吉林出版集团



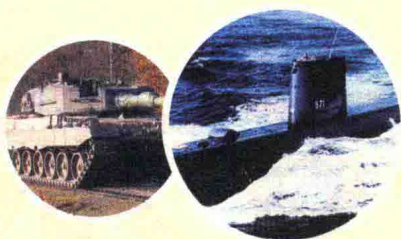
吉林美术出版社 | 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

绝非科幻的激光技术 / 韩微微编. — 长春 : 吉林美术出版社, 2014. 1 (物理大世界)
ISBN 978-7-5386-7550-4

I. ①绝… II. ①韩… III. ①激光技术—青年读物②
激光技术—少年读物 IV. ①TN24-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第301240号



绝非科幻的激光技术

编 著	韩微微
策 划	宋鑫磊
出 版 人	赵国强
责任编辑	赵 凯
封面设计	赵丽丽
开 本	889mm×1 194mm 1 / 16
字 数	100千字
印 张	12
版 次	2014年1月第1版
印 次	2014年1月第1次印刷
出 版	吉林美术出版社 吉林银声音像出版社
发 行	吉林银声音像出版社发行部
电 话	0431-88028510
印 刷	北京卡乐富印刷有限公司

ISBN 978-7-5386-7550-4

定 价 29.80元

版权所有 侵权必究



前言

FOREWORD

在人类生态系统中，一切被生物和人类的生存、繁衍和发展所利用的物质、能量、信息、时间和空间，都可以视为生物和人类的生态资源。

地球上的生态资源包括水资源、土地资源、森林资源、生物资源、气候资源、海洋资源等。

水是人类及一切生物赖以生存的必不可少的重要物质，是工农业生产、经济发展和环境改善不可替代的极为宝贵的自然资源。

土地资源指目前或可预见到的将来，可供农、林、牧业或其他各业利用的土地，是人类生存的基本资料和劳动对象。

森林资源是地球上最重要的资源之一，它享有太多的美称：人类文化的摇篮、大自然的装饰美化师、野生动植物的天堂、绿色宝库、天然氧气制造厂、绿色的银行、天然的调节器、煤炭的鼻祖、天然的储水池、防风的长城、天然的吸尘器、城市的肺脏、自然界的防疫员、天然的隔音墙，等等。

生物资源是指生物圈中对人类具有一定经济价值的动物、植物、微生物有机体以及由它们所组成的生物群落。它包括基因、物种以及生态系统三个层次，对人类具有一定的现实和潜在价值，它们是地球上生物多样性的物质体现。

气候资源是指能为人类经济活动所利用的光能、热量、水分与风能等，是一种可利用的再生资源。它取之不尽又是不可替代的，可以为人类的物质财富生产过程提供原材料和能源。

海洋是生命的摇篮，海洋资源是与海水水体及海底、海面本身有着直接

FOREWORD

关系的物质和能量。包括海水中生存的生物，溶解于海水中的化学元素，海水波浪、潮汐及海流所产生的能量、贮存的热量，滨海、大陆架及深海海底所蕴藏的矿产资源，以及海水所形成的压力差、浓度差等。

人类可利用资源又可分为可再生资源和不可再生资源。可再生资源是指被人类开发利用一次后，在一定时间（一年内或数十年内）通过天然或人工活动可以循环地自然生成、生长、繁衍，有的还可不断增加储量的物质资源，它包括地表水、土壤、植物、动物、水生生物、微生物、森林、草原、空气、阳光（太阳能）、气候资源和海洋资源等。但其中的动物、植物、水生生物、微生物的生长和繁衍受人类造成的环境影响的制约。不可再生资源是指被人类开发利用一次后，在相当长的时间（千百万年以内）不可自然形成或产生的物质资源，它包括自然界的各种金属矿物、非金属矿物、岩石、固体燃料（煤炭、石煤、泥炭）、液体燃料（石油）、气体燃料（天然气）等，甚至包括地下的矿泉水，因为它是雨水渗入地下深处，经过几十年，甚至几百年与矿物接触反应后的产物。

地球孕育了人类，人类不断利用和消耗各种资源，随着人口不断增加和工业发展，地球对人类的负载变得越来越沉重。因此增强人们善待地球、保护资源的意识，并要求全人类积极投身于保护资源的行动中刻不容缓。

保护资源就是保护我们自己，破坏浪费资源就是自掘坟墓。保护资源随时随地可行，从节约一滴水、少用一个塑料袋开始……

目录

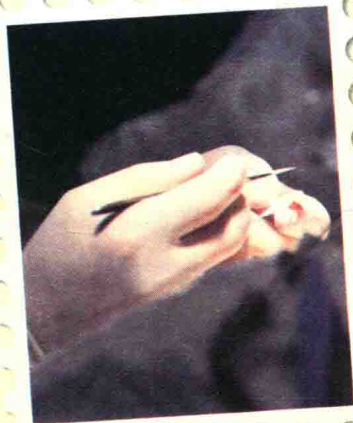
激光与激光器概述

- 激光器的种类 1
- 激光产生的理论基础 7
- 激光器的组成 12
- 激光的特点 17



激光在生活中的应用

- 激光在立体世界中的应用 24
- 激光在视听领域中的应用 36
- 激光在通信中的应用 46
- 激光在办公室自动化中的应用 56



激光在科研中的应用

- 激光创造的纪录 67
- 激光在生物中的应用 73
- 激光在医学中的应用 78
- 激光在检验测量中的应用 95
- 激光在防灾环保中的应用 103

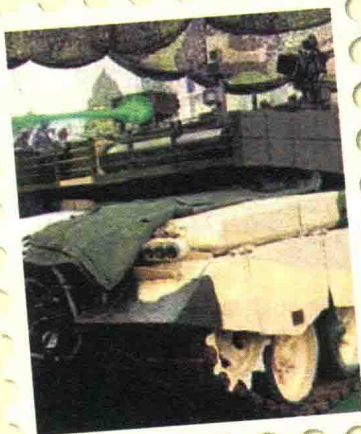
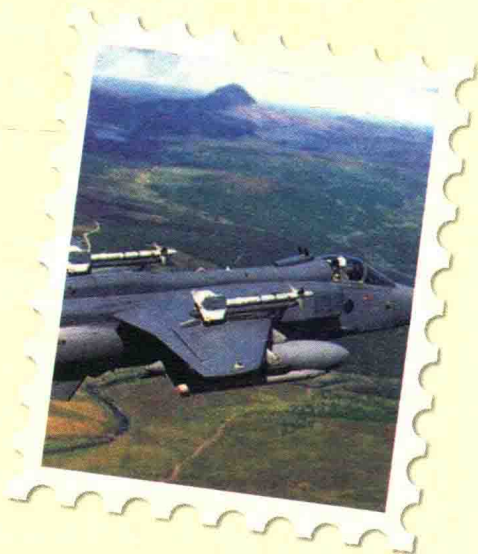
CONTENTS

激光在航空中的应用

- 激光陀螺与光纤陀螺 108
- 激光与航空安全 112
- 激光与飞机设计 119

激光与能源概述

- 激光在核聚变中的应用 124
- 激光与分离同位素 129
- 激光与光能飞船 132



激光武器概述

- 漫谈激光测距 136
- 漫谈激光制导武器 143
- 漫谈激光与雷达 152
- 漫谈激光束能武器 158
- 激光模拟 167
- 漫谈激光对潜通信 173
- 漫谈激光武器防护 178



激光与激光器概述

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。

1960年5月15日,美国加利福尼亚州休斯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。

● 激光器的种类

一、坚固耐用的固体激光器

固体激光器的工作物质是在基质材料的晶体或玻璃中均匀地掺入少量的激活离子(指能级结构具备光放大条件的离子)。真正发光的是激活离子,如红宝石三能级系统中的铬离子。因此,又称为固体离子激光器。激活离子按元素周期表中所分有两类:过渡性金属元素——铬、锰、钴、镍、钒等;大多数稀土元素——镨、钬、镱、钕等;个别放射性元素如铀等。每种激活离子都具有与之相适应的一种或几种基质材料。晶体已有上百种,玻璃几十

种，但真正实用的基质材料不过是红宝石和硅酸盐、硼酸盐、磷酸盐、硼硅和氟化物玻璃等几种。

固体材料的活性离子密度介于气体和半导体之间。固体材料的亚稳态寿命比较长，自发辐射的光能损失小，贮能能力强，故适于采用所谓的调 α 技术产生高功率脉冲激光。另外，固体材料的荧光线较宽，经“锁模”后可以获得超短脉冲的超强激光辐射。固体激光器中，红宝石是二能级系统，其余大都是四能级系统。固体激光器通常用泵灯进行光激励，所以寿命和效率受到泵灯的限制。尽管如此，固体器件小而坚固，脉冲辐射功率很高，所以应用范围较广泛。

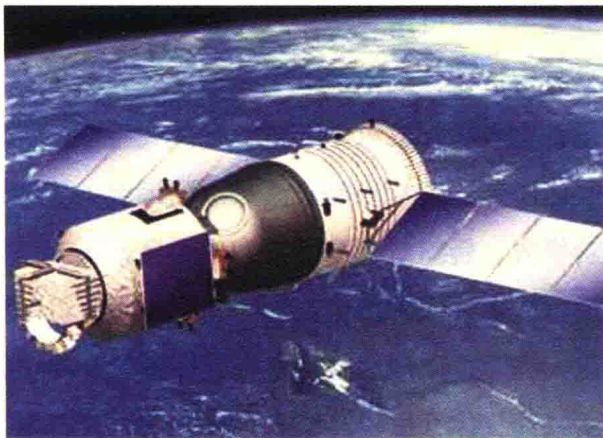
二、小巧玲珑的半导体激光器

固态物质中，允许大量电子自由自在地在它里面流动的叫导体；只允许极少数电子通过的叫绝缘体；导电性低于导体又高于绝缘体的叫半导体。激光工作物质采用半导体的激光器叫半导体激光器。尽管半导体本身也是固体，而且发光机理就本质上讲与固体激光器没有多大差别，但由于半导体物质结构不同，产生激光的受激辐射跃迁的高能级和低能级分别是“导带”和“价带”，辐射是电子与“空穴”复合的结果，具有其特殊性，所以没有将它列入固体激光器。半导体激光工作物质有几十种，较为成熟的激励方式有光泵浦、电子轰击、电注入等。

半导体激光器体积小、重量轻、寿命长、结构简单，因此，特别适于在飞机、军舰、车辆和宇宙飞船上使用。有些半导体激光器可以通过外加的电场、磁场、温度、压力等改变激光的波长，即所谓的调谐，可以很方便地对输出光束进行调制；半导体激光器的波长范围为0.32~34微米，较宽广。它可将电能直接转换为激光能，效率已达10%以上。所有这些优点都使它受到重视，所以发展迅速，目前，已广泛应用于激光通信、测距、雷达、模拟、警戒、引燃引爆和自动控制等方面。



半导体激光器最大的缺点是：激光性能受温度影响大，另外，效率虽高，但因体积小，总功率并不高，室温下连续输出不过几十毫瓦，脉冲输出只有几瓦到几十瓦。光束的发散角，一般在几度到十几度之间，所以在方向性、单色性和相干性等方面较差。



宇宙飞船

三、结构简单的气体激光器

以气体为工作物质的激光器称为气体激光器。它是目前，品种最多、应用很广泛的一类激光器。单色性和相干性都比较好，能长时间较稳定地工作，大都能连续工作。激光波长已达数千种，广泛地分布在紫外到远红外波段范围内。一般说来，气体激光器结构简单、造价低廉、操作方便。由于上述优点，在民用和科学研究中，比如工农业、医学、精密测量、全息技术等方面应用很广。但多数气体激光器工作气体的气压较低，单位体积中的粒子数大约只有固体中激活离子数的千分之几，所以瞬时功率不高，不过少数气体激光器，不论脉冲辐射功率还是连续辐射功率都达到了相当高的水平。

气体激光工作物质有原子、离子和分子气体三大类。原子气体都是中性的，激活成分分惰性气体和金属蒸气等。惰性气体原子的激光波长大都分布在红外、远红外区，少数在可见光范围，氦氖气体是其典型代表。原子丢掉最外层的电子后就成了离子，丢掉几个电子就叫几价离子。气态离子的激光工作物质大致也分两类，氩、氪等惰性气体离子激光器；硒、锌、铜等金属蒸气离子激光器。离子气体激光功率虽比原子气体高一些，但激光波长大多

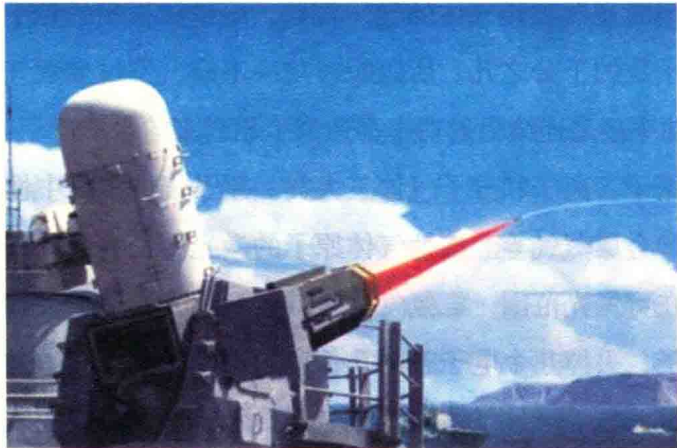
数在紫外和可见光部分，所以使用有一定的范围。

中性气体的激活成分有三类：一氧化碳、氮气、氢气、氧气等双原子分子；二氧化碳、氧化二氮、水蒸气等三原子分子以及少数多原子分子。分子气体激光器的特点是：波长范围最广，从紫外到远红外都有激光产生，输出功率大，转换效率高。其中二氧化碳激光波长为10.6微米，正好落在大气窗口，能在大气中传得很远，又处于不可见的中红外区，功率大、效率高，所以，在军事上应用很广。在气体激光介质中，除激活成分外，一般还掺入适量辅助气体，以提高激光输出功率，改善激光性能和延长激光器寿命等。气体激光器有电能、热能、化学能、光能、核能等多种激励方式。电能激励中又有直流电、交流电、射频放电等方式之分。

四、功率巨大的化学激光器

通过化学反应实现粒子数反转的激光器叫化学激光器。尽管它的工作物质多用气体（也有用液体的），结构大多和气体激光器相似，但在化学反应的引发、粒子反转过程等方面有其特殊性，尤其是必须通过化学反应实现激光器的运转，所以，并不把它并入气体激光器而单独介绍。

化学物质本身蕴藏有巨大的化学能，比如每千克氟、氢燃料反应生成



化学激光器

氟化氢时，能放出约 1.3×10^7 焦耳的能量。

由于它能在单位体积内集中强大的能量，当化学能直接转换为受激辐射时，就可以获得高能激光。另外，它的装置体积不大，重量又轻，很受军方青睐。1978年



美国海军的舰载激光武器打靶试验，就是采用40千瓦连续波氟化氙化学激光器。我国自行设计研制的1太瓦（等于1兆瓦）大型高功率激光器——神光装置也是一台化学激光器，美国曾研制过一种台式化学高功率激光系统，瞬间功率达10太瓦，相当于美国全部发电站总输出功率的20倍。

由于化学激发能源来自化学反应，因而一般无需外部提供能量，对外依赖性很小，这对野外行动和军事应用实在是求之不得的。前面所讨论过的激光器都必须外激发能源，尤其是电能，其电源往往就占去了激光器的绝大部分体积和重量。一台功率10千瓦的激光器，若总体效率为千分之一，就必须有一台10万千瓦以上的发电机专门为它供电。当然，化学激光器还多少用一点外能源引发化学反应，但需要量很小，比起其他激光器的激发能源来，简直是微不足道的。

化学激光工作物质多数有毒，甚至玻璃一类的物质也容易被腐蚀。又由于在化学反应中，粒子数能级分布较分散，所以激光单色性较差。化学激光工作物质气压目前，仍比较低，反应能的利用率还不太高，这些都有待改进。

五、波长极短的准分子激光器

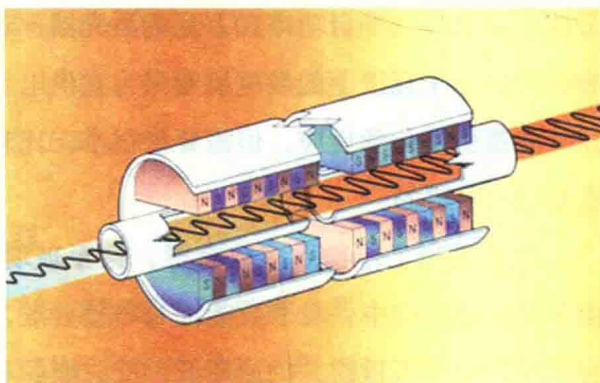
“准分子”不同于一般的稳定分子，它并不是真正的分子，在自然界的正常状态中也不存在，准分子是人工制造的一种仅能在激发态以分子形式存在，而在基态则离解成原子的不稳定复合物，也就是说，它在激发态复合成分子，在基态又离解为原子。如惰性气体原子，最外层轨道（壳层）被电子填满，因此它的原子价为零，一般不与任何原子结合成分子。但当它们一旦受到某种外界激励处于激发态时，就可以与其他原子结合成一个不稳定分子，习惯上称作“受激准分子”。当受激准分子从激发态受激跃迁回基态时（准分子离解为原来的原子状态），通过受激辐射和谐振放大作用就会有激光输出。这种激光器就叫做“准分子激光器”。



准分子激光器是20世纪70年代以来新崛起的一种高能脉冲器件，脉冲宽度为微微秒级，脉冲峰值功率超过千兆瓦，脉冲能量大于100焦耳，脉冲重复频率每秒几百次，效率超过10%。虽然脉冲峰值功率比起化学脉冲激光器尚差三个数量级，但从发展来看前途很大。尤其是准分子激光器输出激光的波长大多分布在紫外区，波长又可调，可望在受控核聚变、同位素分离、等离子体诊断、有机物的冷光滑机械加工、星际通信、光武器等方面一展身手。

六、与众不同的自由电子激光器

虽然1951年曾有人提出自由电子的受激辐射原理，但直到1977年美国斯坦福大学用2.4千高斯的超导磁体、43兆电子伏特能量的电子束，才在波长3.4微米处，获得了0.36瓦的激光平均功率和7千瓦的



自由电子激光器图形演示

峰值功率。所谓“自由电子激光器”，是指一种高功率连续可调谐的新颖激光器件，需要用加速器等复杂设备。这种激光器从理论到实验目前，尚不成熟。自由电子激光器的工作机制与众不同，它是从加速器中获得几千万电子伏特的高能调整电子束，这些调整电子经过周期性磁场，形成不同能态的能级，然后在它们之间实现粒子数反转并产生受激辐射。

自由电子不受原子核的束缚，激光辐射波长或频率随电子能级的变化就可以调谐。目前，调谐是通过改变电子束能量大小和磁场强弱的方式。调谐范围可以从微波到红外，甚至X射线波段。正是由于自由电子不受原子核束缚和不受固定电子轨道的限制等，激光功率和效率可以不断提高，这种器件既能振荡又能放大，脉冲或连续运转均可。另外，自由电子的能量不易“衰老”，若采



用储存环结构的加速器，电子束还可以重复使用，使效率进一步提高。

知识点

磁 场

磁场是一种看不见，摸不着的特殊物质，它具有波粒的辐射特性。磁体周围存在磁场，磁体间的相互作用就是以磁场作为媒介的。由于磁体的磁性来源于电流，电流是电荷的运动，因而概括地说，磁场是由运动电荷或电场的变化而产生的。

延伸阅读

全息摄影的优势

全息摄影，即“全息照相”，是一种利用波的干涉记录被摄物体反射（或透射）光波中信息（振幅、相位）的照相技术。全息摄影不仅记录被摄物体反射光波的振幅（强度），而且还记录反射光波的相对相位。因此，和普通摄影相比，它具有以下优势：

- （1）再造出来的立体影像有利于保存珍贵的艺术品资料进行收藏。
- （2）拍摄时每一点都记录在全息片的任何一点上，一旦照片损坏也不会丢失信息。
- （3）全息照片的景物立体感强，形象逼真，借助激光器可以在各种展览会上进行展示，会得到非常好的效果。

● 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。

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



云气中充满了氢原子的红色发光



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