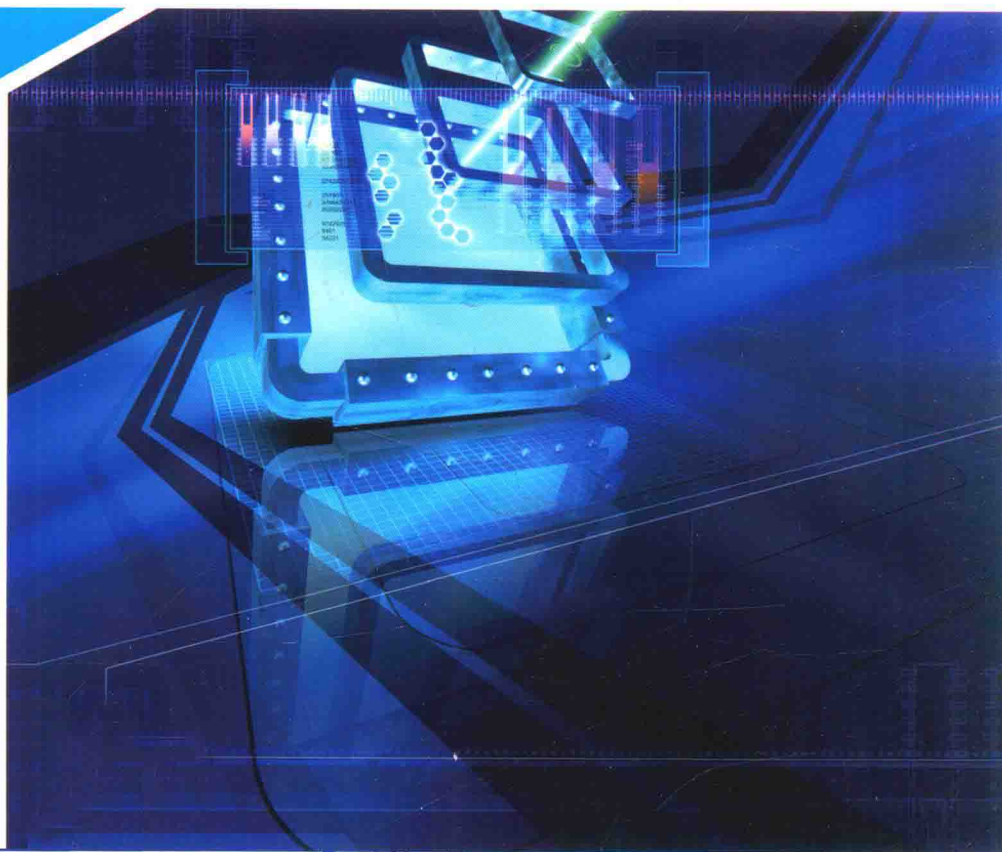


图|说|科|普|百|科
TU SHUO KE PU BAI KE

美丽慑人的

神奇激光

林新杰 主编

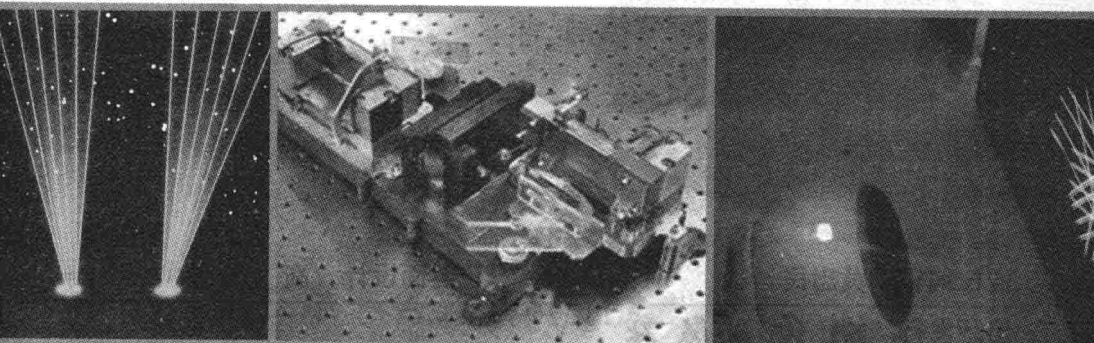


测绘出版社

图说科普百科

美丽慑人的神奇激光

林新杰 主编



测绘出版社

·北京·

© 林新杰 2013

所有权利（含信息网络传播权）保留，未经许可，不得以任何方式使用。

图书在版编目（CIP）数据

美丽诱人的神奇激光 / 林新杰主编. —北京：
测绘出版社，2013. 6
（图说科普百科）
ISBN 978-7-5030-3019-2

I. ①美… II. ①林… 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(2013)第115040号

责任编辑	黄忠民	封面设计	高 寒
出版发行	测绘出版社		
地 址	北京市西城区三里河路50号	电 话	010-68531160（营销） 010-68531609（门市）
邮政编码	100045		
电子邮箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.sinomaps.com
印 刷	天津市蓟县宏图印务有限公司	经 销	新华书店
成品规格	160mm×230mm		
印 张	10.00	字 数	139千字
版 次	2013年7月第1版	印 次	2013年7月第1次印刷
印 数	00001—10000	定 价	29.80元
书 号	ISBN 978-7-5030-3019-2		

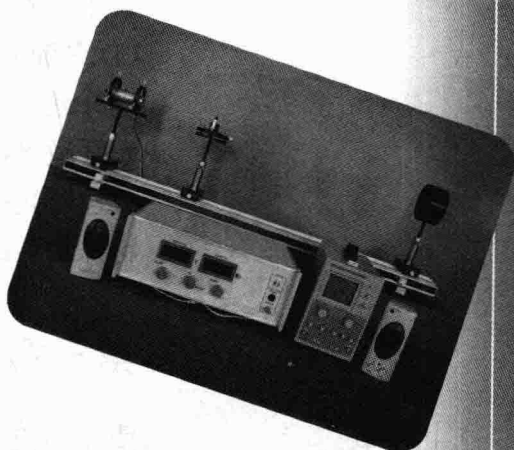
本书如有印装质量问题，请与我社联系调换。

部分图片由于无法与原作者联系，稿酬未能寄达，敬请谅解！如有发现，请及时与我们联系，以赠样书。



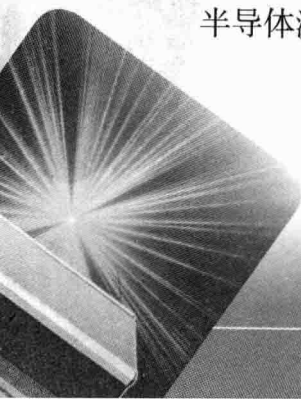
第一章 激光的真面目

- 激光是什么 /2
- 激光的特点 /3
- 激光的物理基础 /8
- 激光的奥秘 /9
- 对激光的渴求 /14
- 光波激光器理论 /15
- 激光史话 /16
- 激光的迷人之处 /21



第二章 各式各样的激光器

- 第一台激光器 /26
- 激光器三大要素 /27
- 激光器的基础知识 /29
- 半导体激光器 /34
- 半导体激光器件类型 /37





- 固体激光器简介 /51
- 泵浦固体激光器 /53
- LD 泵浦固体激光器 /55
- 光纤激光器 /64
- 光纤激光器的特点 /66
- 双包层光纤激光器 /67
- 特殊功能的光纤激光器 /70

第三章 激光与检测

- 激光测距 /75
- 激光与测量技术 /76
- 激光全息测量技术 /80
- 图像激光雷达 /84
- 激光雷达测量大气污染 /87
- 光纤测试与激光 /91
- 激光陀螺 /92



第四章 激光的广泛应用

激光显微镜 /97

X 射线激光显微镜 /98

共焦激光扫描显微镜 /98

原子力激光显微镜 /99

激光镊子 /100

激光分析术 /101

激光控制化学反应 /103

激光与碳元素的关系 /104

激光与文化领域 /105

激光技术与交通事业 /109

激光与文物鉴定 /111

激光牧场 /112

激光与食品加工 /114

不流血的手术 /116

激光治疗皮肤病 /119

激光与心脏、血管的治疗 /121

激光骨胶原法诊断血小板功能 /123

激光治牙 /124





目 录

- 激光与关节治疗 /126
- 激光与眼睛手术 /127
- 激光整容术 /130
- 激光与细胞分类 /133
- 激光防伪 /134
- 激光识别条形码 /136
- 激光打印机 /137
- 激光唱机、唱片 /141
- 神奇的激光电影 /143
- 激光绘图 /145
- 激光表演 /147
- 激光光纤通信 /151
- 最新激光技术及应用 /153

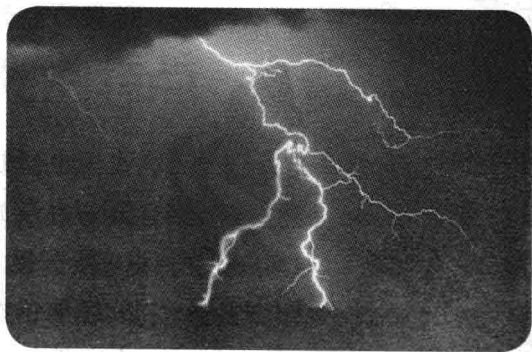
第一章

激光的真面目

.....

激光是什么？激光有何特点？激光产生的前提条件有哪些？激光器具有哪三大要素？激光是如何一步步走进人们的视线的？科学家都做了哪些试验来得到激光？激光有哪些吸引人们的地方？诸如此类的问题，本章将一一为你揭晓。

.....



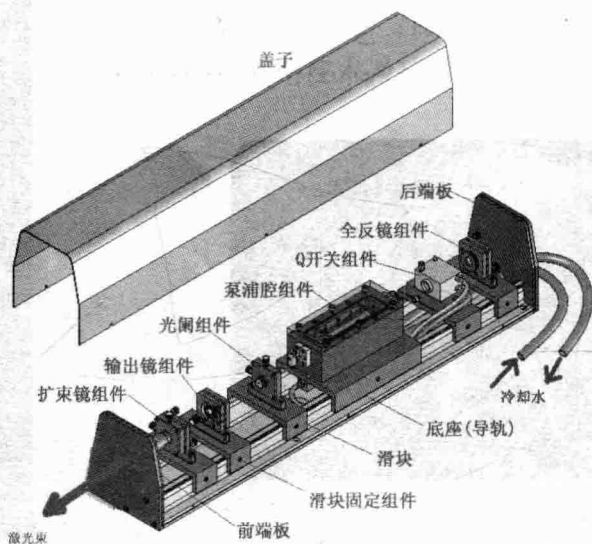
► 激光是什么

JIGUANG SHI SHENME

激光的英文名字是 laser，是“light amplification by stimulated emission of radiation”的首字母缩写。激光与普通的阳光、烛光、灯光所发出的光（或称荧光）不一样。研究表明：光具有波粒二象性，即既可把光看做是一种频率很高的电磁波（ 10^{14} 赫兹），也可把光看成是一个粒子，即光子，简称光子。光子能量为 $E=h\nu$ ， h 为普朗克常量， ν 为光的频率。 $\nu=c/\lambda$ ， λ 为光的波长。一般情况下，光由许多光子组成，在荧光中，光子与光子之间，毫无关联。而在激光光束中，所有光子都是相互关联的，即它们的频率（或波长）、相位、偏振方向、传播方向一致。激光就好像是一支纪律严明的光子部队，行动一致，因而有着极强的战斗力！而普通的太阳光、灯光、烛光，则是一支无组织、无纪律的光子部队，各光子都是散兵游勇，不能做到行动一致，因而缺乏战斗力。这

就是为什么许多事情激光能做，而阳光、灯光、烛光不能做的主要原因。

激光器是 1960 年发明的，1961 年，我国也研制成功了第一台激光器。这一具有极高亮度、极好单色性和极好方向性的新型激光的出现，开创了一



美丽诱人的
神奇激光

个光学新时代，在学术界引起了强烈反响。但是，直到 1964 年底，我国还没有一个统一的、大家认同的名字。当时，有人根据 laser 的发音称它为“莱塞”或“镭射”，我国台湾、香港和若干东南亚国家至今还在应用这名词；有人根据 laser 的英文含义，称它为“光受激发射放大器”；也有人根据这种新光源是从微波激射器演变而来的这一历史事实，把它称做“光激射器”。此外，它还有“光量子放大器”“光量子振荡器”等叫法。同一样东西，叫法如此之多，会造成混乱，不利于学术交流，也不利于发展激光技术应用。1964 年 12 月，我国著名科学家钱学森给《光受激辐射》杂志编辑部写信说：“我有一个小建议，光受激发射这个名称似乎太长，说起来费事。能不能就称‘激光’？”钱教授的建议在全国第三届光受激辐射学术会议上得到全体代表的赞同，从此，在我国的学术论文、新闻报道中，就统一使用激光、激光器这样的名称了。

简单地说，激光就是由受激辐射所产生的光，激光光束中的所有光子都是相互关联的，它们的频率、相位、偏振方向、传播方向一致，用科学术语表达就是：激光是单色性极好、方向性极好、亮度极高的光源，有着许多普通光源所没有的迷人特点，从而，在人类生活各领域，在国民经济各部门开辟了许多新应用，为社会进步已经、正在和将要作出不可估量的贡献。

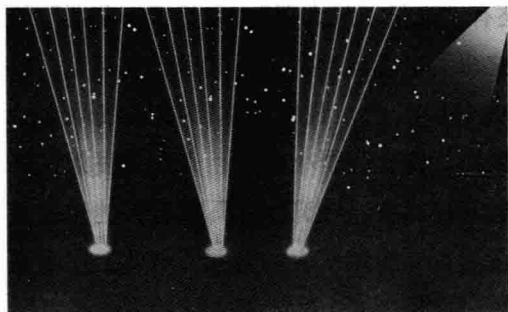
► 激光的特点

JIGUANG DE TEDIAN

经过近 50 年的发展，激光已发展成由电介质固体、半导体、气体、液体等多种激光器所组成的大家族。不同激光器件具有不同的特点，将这些特点汇集在一起，便使激光——这一 20 世纪的重大发明，具有无穷的魅力，成为推动当代高新技术发展的强大动力。从激光大家庭的角度出发，下面的这些特点是特别值得一提的。

单色性好，波长范围很宽

众所周知，光波是一种电磁波，在可见光范围内，其颜色与“频率”有关，一个光源发射的光所包含的波长范围越窄，那么它的颜色就越单纯，即光源的单色性好。



光波的单色性表示为 $\Delta\lambda/\lambda$ ，在激光没有产生以前，最好的单色光源是氪灯，在 $\lambda=6\,047$ 埃处， $\Delta\lambda=0.004\,7$ 埃， $\Delta\lambda/\lambda \approx 10^{-7}$ ，氦—氖气体激光产生 $\lambda=6\,328$ 埃的激光， $\Delta\lambda=10^{-7}$ 埃， $\Delta\lambda/\lambda \approx 10^{-11}$ 。

对于一些特殊的激光器，其单色性还要好得多，可见，激光是世界上发光颜色最单纯的光源。此外，由不同的激光工作物质所产生的激光谱线数目已多至上万个，这些谱线覆盖从紫外到远红外的光谱范围，可以满足不同的应用需要。有些激光器的波长还能通过各种方法调谐，能在一定的波长范围产生窄线宽激光。

高亮度

高亮度是激光器最突出的优点。通常将单位面积、单位光谱宽度、单位立体角内发出的光辐射强度称为光源单色亮度 B_λ ，

$$B_\lambda = P / (\Delta S \Delta \nu \theta^2),$$

式中， P 为光功率， $\Delta \nu$ 为光辐射的频谱宽度， θ 为光束发散角， ΔS 为受光面积。普通光源如太阳、烛光等的发散角都很大，光谱宽度很宽，所以，尽管某些光源如太阳发出的总功率很高，但单色亮度仍很小。激光的发散角很小，光谱宽度很窄，因而单色亮度很高，一些高功率激光器的单色亮度比太阳还要高 100 万亿倍。



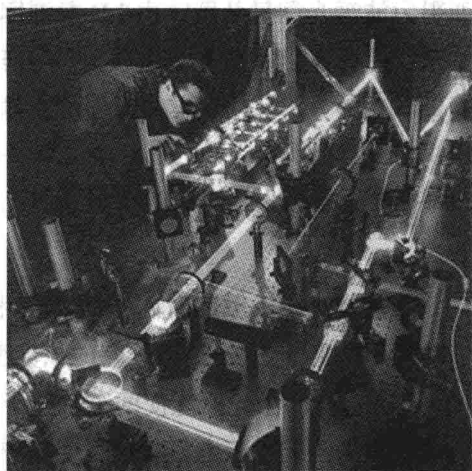
美丽
诱人的
神奇
激光

方向性好

光束的方向性用发散角 θ 表示, 普通光源的发散角差不多达 360° 度, 一般只能照射很短的距离。为了扩大照射距离, 通常均需借助于光学系统, 如探照灯、汽车前灯等。激光是由受激辐射过程产生的, 本身具有极好的方向性。激光的方向性与激光模式、激光器运转状况有关。在单横模运转、激光介质均匀等条件得到保证的情况下, 激光的发散角仅受衍射所限, 可用 $\theta=1.22 \lambda / D$ 表示, 式中 D 是光源的线度, λ 是波长。通常, 气体激光器的发散角较小, 很接近衍射极限; 固体激光介质的不均匀性比气体差, 因此, θ 比衍射极限大些, 半导体激光器尺寸较小, θ 偏大。借助于光学系统, 可使激光器的方向性进一步提高, 良好的方向性, 使激光器在军事、航空、环保、遥感、大气通信等领域受益匪浅。例如, 从地球上发射一束激光到相距 38 万千米远的月球上, 光束直径只有几十米, 这是普通光源达不到的。

由于激光有很好的方向性, 借助于光学手段, 可将激光能量聚焦到一个很小的光斑中, 可使光斑迅速和准确地在目标上移动。这特别适合于光盘、激光印刷、激光打印、激光扫描、激光显示、激光打标等领域的应用。如用激光可在塑料、金属、玻璃、纸张、橡胶等各种材料上打印各种标记, 速度很快, 用双镜扫描 Nd:YAG 激光光束, 每秒可打印 600 个大小为 1 毫米的字母。

由光学系统聚焦所产生的激光光斑大小, 与激光光束本身的质量、波长、光学系统参数有关。一般情况下, 可用下式表示: $D_0=4 \lambda M_2 / \theta \pi=4 \lambda M_2 L / D_1 \pi$, 式中 D_0 为透镜焦点处的光斑直径, λ 是激光波长。 M_2 是反映激光光束质量的参数, 以 He-Cd 激光器



为例，多横模时， $M_2=3.5 \sim 4.0$ ，单横模时， $M_2=1$ 。 θ 为光束发散角，在使用聚焦透镜的情况下，近有 $\theta=L_1/D_1$ ，其中， L_1 为透镜焦距， D_1 为透镜处的光束孔径。由此可见，要获得小的光斑，应选用波长短、光束质量好的单横模激光器。这样，就可使光盘的存储密度更高，打印机的分辨率更高等。

相干性好

激光的相干性可用相干时间或相干长度来表示。由同一单位面积光源在不同时刻发出的光波在光场中某点叠加出现干涉条纹的性质叫时间相干性，产生这种相干现象的最长时间间隔，叫相干时间 Δt ，在相干时间内，光波传播的最远距离叫相干长度 $\Delta L=c \Delta t$ ，

c 是光速。相干时间和相干长度都与光束的频

谱宽度有关， $\Delta t \approx \lambda_2/c \Delta \lambda$ ， $\Delta L \approx \lambda_2/$

$\Delta \lambda$ 。由于激光的谱宽比普通光源小

的多，因此激光的相干性要比普通光

源高得多。如特制的 He-Ne 激光器，

其相干长度可达 2×10^7 千米。激光

的高相干性可以用于各种干涉测量，

如引力波激光测量装置，由 LD 泵浦固体激光器构成的干涉臂就长达 4

千米。此外，由于激光具有极好的相干性，还使它在通信、全息显示、

测量、光谱分析、信息存储等领域获得广泛应用。



高功率

激光器能在极短的时间（如 10^{-12} 秒， 10^{-15} 秒）内，产生极高的峰值功率，国际上现在竞相研究的核聚变用激光器，输出峰值功率可达 10^{18} 瓦，这样的激光器能使两个氘原子核或一个氘核和一个氚核克服核与核之间的巨大排斥力，实现聚变反应，释放巨大能量。由超短 Ti：蓝



宝石激光器产生的最高脉冲功率密度也达 10^{15} 瓦/平方厘米, 这样的脉冲, 差不多可以电离焦点附近的任何材料, 而不会对周围材料产生重要影响, 因而在微加工时, 精度极高, 能高质量地打出直径仅 300 纳米的小孔。

高功率激光还会产生许多其他效应, 如强激光物理效应、非线性光学效应等, 利用倍频、光学参量振荡、激光拉曼效应等技术, 可大大扩大激光的应用范围。

高能量

许多连续、准连续或脉冲运转的高功率激光器, 能产生很高的激光能量。如上述核聚变用激光器的激光能量可达 1.8 兆焦耳; 连续或准连续的化学激光器、 CO_2 激光器、灯泵或 LD 泵浦固体激光器、半导体激光器、光纤激光器的激光能量也能在许多方面满足军事、航空、工业、医学等部门对激光能量的要求。利用激光作为能量载体的应用与日俱增。

高速调制

激光器, 特别是半导体激光器, 不仅具有合适的波长、合适的输出功率, 能聚焦成很小的光斑, 而且, 还可对激光直接进行高速调制, 调制速度可高达几万兆赫, 或几万兆比特。这一特点, 再加上半导体激光器的体积小、效率高、寿命长、价格低廉等其他迷人特点, 便使它特别适合光通信、光存储、光计算、光印刷等信息领域的需要。这就是为什么到了 20 世纪末, 半导体激光器会成为激光家族的重要成员, 成为发展速度最快、用途最广、销售额最高的激光器, 成为当代信息技术心脏的重要原因。

明显的光压效应

光是有动量的, 因此, 光照射到物体上能产生使物体运动的力。开

普勒、牛顿等人早就知道这一点，不过在那时，人们以为光的辐射力很小，即光压很小，不会有什么实际应用。但是，在激光问世之后，可以获得的辐射强度大大提高了，20世纪70年代，人们就进行了利用光辐射所产生的力移动或抓住小粒子的实验。近来，这一技术已在生物领域获得了重要应用，如俘获活细胞、病毒、细菌等。如今，利用激光辐射压力的领域日益增多，如在微电子领域，可用激光辐射压力来清洗半导体片子；在汽车行业，可用激光辐射压力去除轮胎钢模上的污染物；在研究领域，可用激光辐射压力来冷却原子或离子，使之处于近似停止状态，以便制成高稳定性、高精确度的时间标准；用激光辐射压力所形成的“光学镊”，可将精子和卵细胞毫无损伤地放到妇女的输卵管中，以提高怀孕的成功率等。

激光的迷人之处，还有很多。但应注意：对某一个具体的激光器件而言，不可能同时具备所有这些特点，如频谱较窄的器件，因为受到测不准关系 $\Delta t \Delta \nu \approx 1$ 的限制，不可能同时输出很窄的脉冲。在选用激光器时，应该做到具体器件具体分析。

► 激光的物理基础

JIGUANG DE WULIJICHU

大家知道，原子是由原子核和电子组成的，原子核较重，带正电，位于原子中心；电子较轻，带负电，绕核不停运动。研究表明，电子只能在一定的原子轨道上运动，对于不同的轨道，电子具有不同的能量。

当外来光子的能量大于或等于原子的两个能级差时，就会把原子从低能态激发到高能态，这个过程称为受激吸收跃迁，处在激发态的原子，随后又在很短（约 10^{-7} 秒）的时间内，返回基态，或者较低能态，并伴随着发出光子。处于激发态的原子在没有受到外来光子作用而跃迁回低能态，并同时发出光辐射的过程称为自发辐射跃迁，它产生的光辐



射称为自发辐射，或称荧光。

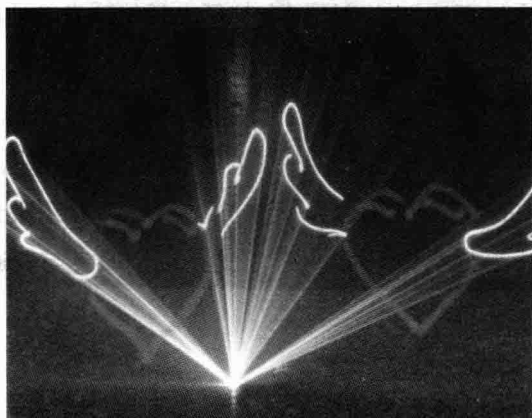
1916年，著名物理学家爱因斯坦在研究光辐射与原子相互作用时发现：除了受激吸收跃迁、自发辐射跃迁这两种过程之外，还存在第三种过程——受激辐射跃迁，即在能量相当于两个能级差的外来光子的作用下，会诱导处在高能态的原子向低能态跃迁，并同时发射出能量相同的光子。由受激辐射跃迁所产生的光子具有如下特性：它的频率、相位、传播方向、偏振方向，都与诱导产生这种跃迁的光子相同。也就是说，受激辐射具有很好的相干性和方向性。

受激辐射是产生激光的基础，没有受激辐射，就没有激光。但是，由于在普通光源中，自发辐射跃迁速率总是比受激辐射跃迁速率大得多，因而所产生的光辐射大部分是自发辐射。正是由于这个原因，爱因斯坦当初提出的受激辐射概念并没有受到人们的高度重视。

► 激光的奥秘

JIGUANG DE AOMI

20世纪50年代，无线电电子学飞速发展，为了探求产生更短的相干电磁波，1954年美国哥伦比亚大学的汤斯首次制成了氨分子微波激射器，由此打开了通向激光的道路。1960年世界第一台以红宝石为受激物体的激光器由美国物理学家梅曼研制成功。激光器的问世轰动了全美国，出现了光学物理的“文艺复兴”时代。激光的出现与发展，是从事电磁波谱学研究的学者们努力的结果，也是相干电磁频谱向高频段发展的必然。它不仅是光学领域的伟大成就，更是电子学领域的伟大成就，激光为



电子学的发展开创了一个崭新的局面。传统电子学的原理，借助光电、电光转换，用途遍及整个电子工程领域。

尽管目前激光技术还处于幼年时期，却已经为人类带来了几千种之多的各种激光发生器，有固体、气体、半导体、有机染料、化学、准分子、自由电子、巨脉冲等各种类型。目前激光器的波长从 100 埃至 0.5 毫米，最大连续功率达 10 千瓦，最大脉冲功率达 10 亿千瓦。

什么样的光是激光？简单地说，激光也是一种光。它与普通光，如太阳光、灯光一样也是一种电磁波。但是激光产生的方法与普通光不同，它是物质“受激”而产生的光。

1917 年，爱因斯坦在统计平衡观点研究“黑体”辐射时，得到一条结论：“自然界有两种不同的发光方式。一种叫自发辐射，另一种叫受激辐射。”各种各样的人造光源，例如，电灯、日光灯等都属于自发辐射光。各种自然现象所发射出来的光，也都属于自发辐射。这些光都有一些共同之处，比如，光线向四面八方射出，其中包含着各种各样的颜色。

激光是原子受激发射而辐射的一种光。激光是一种新型的光源，它和普通光源的区别在于发光的微观机制不同。普通光源的发光是以自发辐射为主，各个发光中心发出的光波无论方向、位相或者偏振态都各不相同。激光的发光则是以受激辐射为主，各个发光中心发出的光波都具有相同的频率、方向、偏振态和严格的位相关系。由于这些差别，激光具有强度高、单色性、相干性和方向性好等几个特点。

激光的亮度是高压氙灯光度的 37 亿倍。激光领域是光频电子的范畴。激光器的出现，提供了光频波段的电磁振荡源。今天无线电子学概念、理论和技术原则上都可以延伸到光频波段。电子学进入了一个新的天地。电子学和光学之间的鸿沟已经不复存在。光学本来是一门古老的物理学，而今由于激光的发现和应用，崛起了前途无量的光电子学。

激光在过去书中按英文译音为“莱塞”，意思是“光受激发射器”，1964 年以后统称为“激光”。在一些介绍激光的书刊中还常提及一个技术名词叫做“简并度”，这是区别激光与普通光的一个技术指标。激光

