

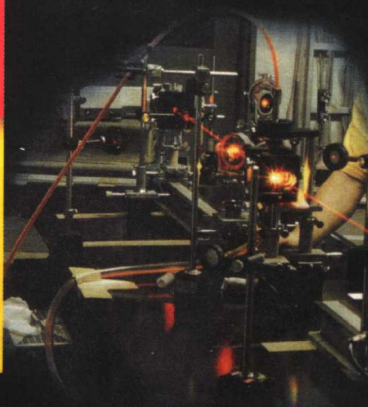
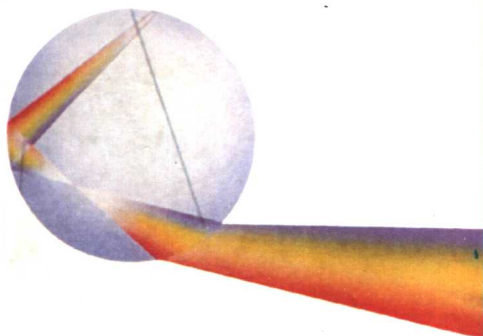
安 徽 科 学 技 术 出 版 社

雷仕湛 明 海 陆同兴
江海河 李银妹 编 著

DANGDAIQINGNIAN KEPUWENKU

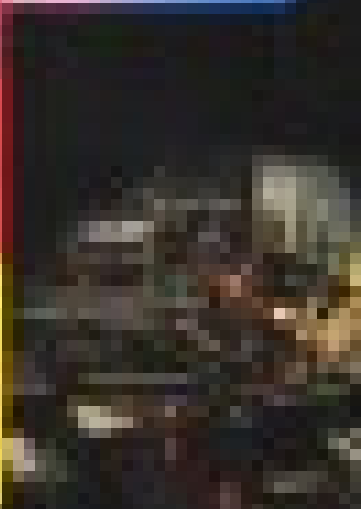
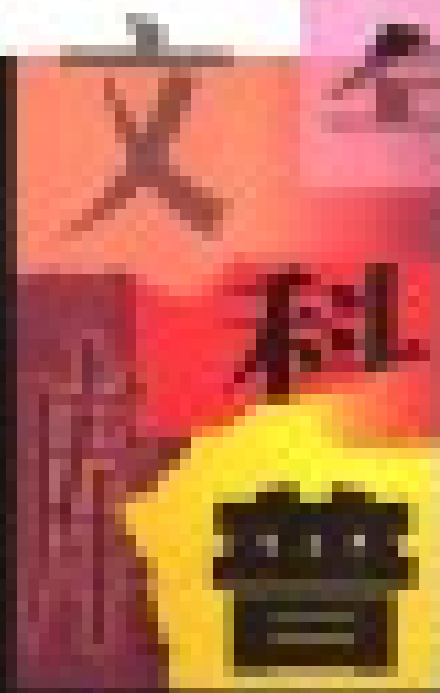
创造神话的光源

—— 激光技术



创造神话的光源

——纪念《当代》创刊三十周年



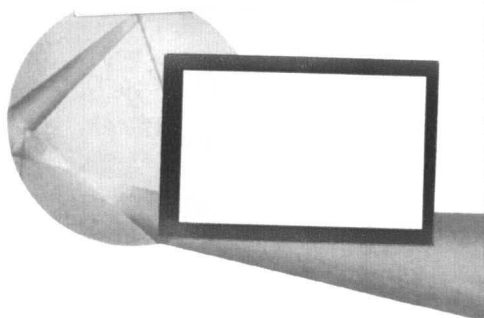
安 徽 科 学 技 术 出 版 社

雷仕湛 明 海 陆同兴
江海河 李银妹 编 著

DANGDAIQINGNIAN KEPUWENKU

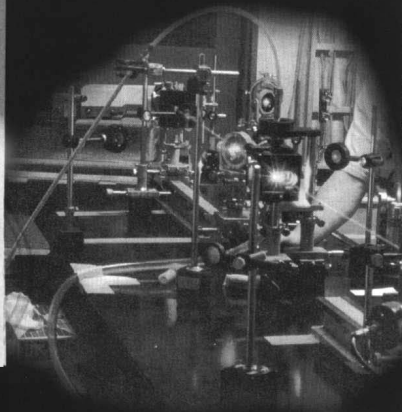
创造神话的光源

—— 激 光 技 术



当代
青年

文
库
科
普



图书在版编目(CIP)数据

创造神话的光源:激光技术/雷仕湛等编著. —合肥:
安徽科学技术出版社, 2000. 1
(当代青年科普文库)
ISBN 7-5337-1939-5

I. 创… II. 雷… III. 激光技术 - 普及读物
IV. TM26 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 56152 号

*

安徽科学技术出版社出版
(合肥市跃进路 1 号新闻出版大厦)

邮政编码:230063

电话号码:(0551)2825419

新华书店经销 山东新华印刷厂印刷

*

开本:850 × 1168 1/32 印张:6 字数:150 千字

2000 年 3 月第 1 版 2000 年 3 月第 1 次印刷

印数:5 000

ISBN 7-5337-1939-5/TN · 25 定价:9.00 元

(本书如有倒装、缺页等问题请向本社发行科调换)

出版一套面向广大青年的科普图书,是许多地方科技出版社萦怀已久的愿望,但是由于种种原因,一直没有哪一家出版社独自将之付诸实施,这常常让我们引为憾事。1995年,新闻出版署确定了《当代青年科普文库》为国家“九五”出版重点选题,才使我们有机会通过联合出版的方式了却大家的夙愿。

今天,世界处在科学技术飞速发展、社会生活瞬息万变的时代。处于高科技时代的青年人,通过耳濡目染或者孜孜以求,已经打开了曾经狭窄的眼界,而从各种不同的途径汲取知识,丰富自己,以求得多元的而不是单一的知识结构。将会影响21世纪人类命运和前途的高新科学技术知识,便成为他们涉猎的热点。青年人清醒地认识到,21世纪是青年人的世纪,他们背负着时代赋予的重大责任,而科学技术知识恰恰能开发他们担负起这种责任的巨大潜能。

地方科技出版社承担着向青年系统地进行科学普及教育的重要任务,这是具有使命性的任务。科学普及事业直接影响着社会进步和民族兴衰。翻开历史的卷页,许多事实都证明,科学技术对社会的影响既取决于科学技术的发展水平,又取决于科学技术被公众理解的程度,所以说,科学普及与一切科学活动、科学成就具有等量齐观的价值。我们注意到,由于现代科学技术发展迅速,知识更新日益加快,自然科学的各分支学科之间、自然科学与社会科学之间的融合愈加紧密,再像过去那

样仅向青年人介绍一般的科学常识已经不足以提高他们的科学文化素质。因此,《文库》除介绍了当代科学技术的重要知识内容,并竭力避免浮光掠影地粗浅描述外,还十分注重一定层次的整体描述,企望以此引导青年朋友改变传统的、陈旧的思想观念,确立新的科学理念、科学精神、科学方法和科学的思维方式。

在人类社会发 展进程中,科学技术从来不是孤立存在的,它是社会文化的重要组成部分。今天,人们越来越重视科学技术的文化意义,这对当今社会的进步具有重大意义。我们力求把科学技术放到大的文化背景中,采用合理的文化观念描述人类、自然、社会相互间的关系,使当代青年从单纯了解科学技术事实的局限中解脱出来,看到科学技术更为广阔和动人的图景。

《当代青年科普文库》的前期准备工作进行了将近两年,总体策划工作组在广泛调查研究的基础上,拿出了选题设想和文库整体编辑方案,之后多次进行了充分的讨论并召开专家论证会,确定了最后的选题编辑方案,这一方案经过地方科技出版社社长、总编年会通过后才正式加以实施。参加这一工程的共有 27 家地方科技出版社。

在《文库》即将全部付梓之际,我们倍觉欣慰。与此同时,我们对在《文库》策划、编辑、出版过程中,给予关心和支持的中宣部出版局、新闻出版署图书司和中国版协科技委员会的领导表示敬意和感谢;对应邀担任《文库》顾问的各位领导和科学家表示诚挚的谢意;对在很短的时间内编写出高质量稿件的各位作者表示衷心的感谢;对承担《文库》编辑、出版工作的各地方科技出版社的领导、责任编辑致以深切的慰问。作为跨世纪的大型科普书,这是我们奉献给当代青年的一份礼物,希望他们能够喜欢这份礼物。

中国出版工作者协会
科技委员会地方工作部
1999 年 6 月

神奇的激光·····	(1)
激光器的诞生·····	(1)
奇异的性能·····	(9)
特殊性能的由来·····	(12)
激光器大家族·····	(19)
脉冲时间压缩·····	(24)
光信息技术·····	(28)
奇妙的全息术·····	(28)
从电子学到光子学·····	(36)
光信息的功能·····	(49)
光子成像·····	(63)
激光与原子的相互作用·····	(67)
激光冷却原子·····	(67)
光谱学的革命·····	(78)
一个新分支——非线性光学·····	(89)
奇妙的光学自透明现象·····	(96)
强场下的原子·····	(99)
激光超级精密加工·····	(104)
激光打孔·····	(106)
激光雕刻·····	(108)

激光标记·····	(109)
激光毛化·····	(110)
激光切割·····	(111)
激光焊接·····	(116)
金属表面强化·····	(119)
激光清洗·····	(124)
快速成型·····	(126)
激光武器 ·····	(129)
死光武器·····	(129)
廉价核燃料·····	(137)
激光生物技术 ·····	(139)
生命利用光·····	(140)
用光对细胞动手术·····	(144)
激光镊子·····	(153)
光镊初战告捷·····	(161)
激光医疗 ·····	(173)
激光无血手术·····	(175)
激光组织焊接·····	(178)
光动力学疗法·····	(180)
激光心肌血运重建术·····	(183)
激光磨削角膜·····	(184)
激光美容·····	(185)

神奇的激光

■激光器的诞生

向相干光电磁波段进军

自从人们在无线电波段有效地利用了电磁波以来，就努力探索着向高频、短波方面发展。人们很早就知道，光波和无线电波在本质上都是电磁波。它们具有统一的电磁本性，在真空中具有相同的传播速度，即光速。只不过光波的波长更短、频率更高而已。

图 1 给出了电磁波的波谱。其中对应于波长为几千米至几毫米的电磁波段，为通常的无线电波段，按波长之不同可细分为长波、中波、短波与微波波段。与波长为几千微米至几个埃对应的电磁波段为光波波段，同样根据波长之不同可细分为远红外、红外、可见区、紫外、真空紫外及 X 光波段。与更短波长对应的电磁波段则为射线(γ 射线、宇宙射线)区。

在整个电磁波段中，只有波长为 0.76 微米至 0.41 微米的

一个很小波长范围内的电磁波才能被人的眼睛感觉到,称为“可见区”。对“可见区”不同的波长范围,人的眼睛感觉为不同的颜色。波长从长到短,人眼依次感觉到红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色。

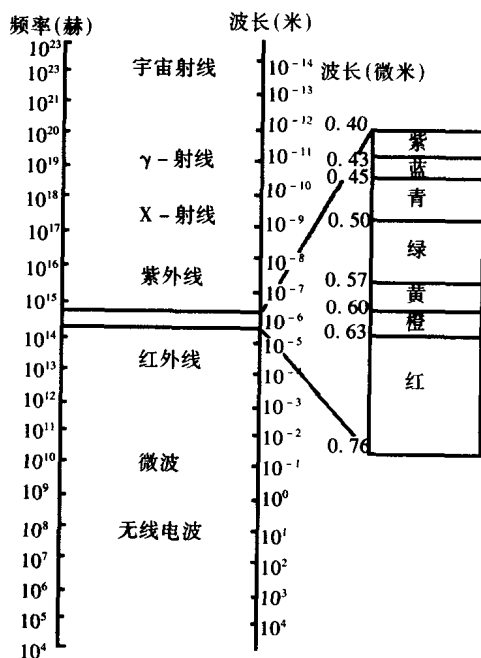


图1 电磁波谱图

在无线电波段,人们利用有效的电子学技术,已成功地实现了相干电磁波辐射,并在通讯、雷达等技术方面获得了广泛的应用。人们之所以一直期望在光频段也能像无线电波段一样有效地产生相干电磁辐射,将相干电磁辐射从无线电波段努力推向光波波段,其诱人之处是非常明显的。

首先,电磁波的波长越短、频率越高,若作为载波用于通讯,则能携带的信息量就越大。从理论上讲,在同一光束上可以同时

传递 1000 万套电视节目或 1000 亿路电话。这是一个惊人的数字。就是说,若以相干光束作为载波用于通讯的话,理论上讲,全世界所有的人能同时在一细小的光束上通话而不会发生“占线”现象。

其次,在于大幅度地扩展可利用的电磁波波段。在无线电波段,可利用的波段极为有限,频道已十分拥挤。我们知道,波长越短,在同样的波长间隔里,可利用的频率范围就越大。如波长从 1 米至 10^4 米,波长间隔 $\Delta \lambda \cong 10^4$ 米,可利用的频率范围 $\Delta \nu \cong 10^8$ 赫。而波长从 0.1 微米到 1 微米,波长间隔 $\Delta \lambda \cong 1$ 微米,则可利用的频率宽度 $\Delta \nu \cong 10^{15}$ 赫。

另外,波长越短、频率越高的电磁波,其发射的方向性越好。这样不仅可以大大提高电磁波的发射效率,只需较小的发射功率和发射天线,就能将电磁波发射到足够远的地方,如反射到月球上;而且,在利用电磁波进行定位时,具有很高的空间分辨率。光学波段的雷达可准确识别出各种飞行器。

但由于以往在无线电波段能行之有效地发射相干电磁波的传统电子学技术,在光频段几乎有无效的,所以光频波段的相干电磁波辐射长期未能实现。为此,人们一直在努力探索实现光频段相干电磁辐射的新机制、新途径。

汤斯的设想

汤斯(H. Towns)出生于 1915 年,16 岁进大学攻读物理学,24 岁那年获得物理学博士学位。1964 年,因为发明激光器获得诺贝尔物理奖。

20 世纪 40 年代末,在美国哥伦比亚大学工作的汤斯接受了研制发射波长为厘米和毫米电磁波振荡器的任务。由于波长短的电磁波在生产上和军事上有许多重要应用价值,所以,汤斯的这个研究项目也受到了军方的重视,美国海军研究署专门成

立了一个由科学家和工程师组成的委员会，协助开展研究工作。汤斯在开始研究时，遇到了制造工艺上难以达到的难题，因为在当时，制造发射高频电磁波的振荡器，是使用金属盒做谐振腔，发射的波长与这只谐振腔的尺寸大小相差不多。产生厘米波长电磁波的振荡器，它的腔的尺寸是厘米大小，产生毫米波长电磁波的振荡器，它的腔的尺寸也就是毫米左右。困难就在于腔的内壁面必须磨得很光滑，在尺寸这么小的腔内，如何进行打磨光滑？这是技术工艺难题。同时汤斯也想过，就算这次他能够奇迹般地把毫米大小的谐振腔加工出来了，以后要求发射 0.1 毫米波长的电磁波其振荡器则再也无法子了。所以，必须找条新路子。一天，汤斯突然想出一个巧妙的主意，何不用分子或者原子来做振荡器！原子和分子的尺寸很小，一般只有几纳米，所以，不用说产生厘米、毫米波长的电磁波辐射，波长再短的电磁波也能产生出来。一个原子或者分子产生的电磁波辐射功率虽然很小，但是，成千上万个这样的原子、分子产生的辐射加起来，得到的功率就不小了。至于如何把它们的辐射相迭加（各个原子、分子产生的电磁波辐射的传播向、频率以及相位一致，它们相加才有意义），汤斯又回想起了几十年前著名科学家爱因斯坦提出过的受激辐射过程，利用这个过程，就可以把各个原子、分子有效地组织起来，仿佛是一个“大原子”在产生电磁波辐射，就能获得很强的电磁波了。

汤斯的想法受到了他的同事们的积极支持。汤斯在哥伦比亚大学研究微波波谱学时对氨分子有过研究，于是，就首先选氨分子来做第一台分子振荡器。经过大约两年时间的努力，在 1954 年春天，终于研制出世界第一台分子振荡器，获得的电磁波辐射波长是 1.25 厘米，辐射功率只有 10^{-9} 瓦。这种全新的电磁波振荡器的问世，轰动了全世界。这种电磁辐射具有优良的特性，振荡频率非常稳定，尽管实验条件或者外界环境条件在变化，输出

来的电磁辐射频率变化却非常小。利用这一特性,可以用它来做时钟,只要数出振荡次数,也就可以知道准确的时间了,根据这种分子振荡器的振荡频率稳定程度,大约 30 万年才误差 1 秒!的确是准确性极高的时钟;它的噪声水平也极低,可以做成性能极为优良的放大器;还有,输出出来的电磁波辐射频率宽度只有 2000 赫兹,也就是说,单色性极好。在庆贺分子振荡器成功的庆祝会上科学家们创造了一个新名词“Maser”,这是英文微波受激发射放大振荡器几个单词头一个字母组成的,我国译成中文时,简称“微波激射器”,也有按照音译叫“脉塞”。

微波激射器成功后,一些科学家便提出利用相同的原理产生毫米、亚毫米,甚至是可见光波段激射器的建议。美国空军科学研究局一位官员也向汤斯和哥伦比亚大学的辐射实验室其他物理学家们提出这种建议。汤斯和肖洛(A. L. Schawlow)对这个想法又做了深入讨论研究,他们在 1958 年 8 月,向美国电报电话公司提出专利以后,便把研究成果写成题为《红外与光学激射器》的论文投寄美国出版的著名学术期刊《物理评论》。在这篇论文中,他们详细论述了红外和可见光激射器(即激光器)的工作原理、工作条件和结构;同时,也列举了这种激射器在科学研究、工业生产、通信、军事等领域的应用前景。激光器美妙的发展前景,吸引了科学家的极大兴趣,也吸引着工业界、军事界的普遍注意,他们热情地支持这项研究。许多科学家纷纷把目光投到了激光器的研究上来。发展激光技术的序幕拉开了。

世界第一台激光器

梅曼(C. N. Maiman)是微波波谱学博士。他当过电子工程师,研究无线电、电视发射机,后来又从事红宝石微波激射器研究工作。在汤斯和肖洛的光激射器论文发表后,许多实验室都投入激光器的研究,美国休斯实验室也投入了这项研究,并且终于

一举夺魁,制造出世界第一台激光器。

图2是世界第一台激光器的照片。其结构大致是用含铬浓度为0.05%的红宝石晶体做边长1厘米的立方体,两个端面镀

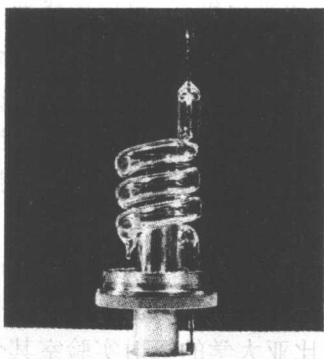


图2 世界第一台激光器

银反射膜,构成谐振腔。其中一个反射面在中央附近挖去一点银膜;让红宝石晶体产生的激光从这儿输出来。红宝石晶体置于螺旋形氙灯的螺旋里面。

1960年5月份,梅曼的这个装置实现了激射作用,但没有看“阈值”。根据汤斯和肖洛的激光器理论,在供给工作物质的泵浦功率(或者能量)达到某个

数值时,激射器开始显示出受激辐射放大现象:输出的光辐射由自发辐射转变为以受激辐射为主,辐射的光谱分布图上由原先展开得比较宽的分布,转变成宽度很窄的分布;其次,由原先向空间比较宽的范围发射光辐射,收缩到只在很小的空间范围发射光辐射。出现这种转变时的泵浦功率,称为“阈值”泵浦功率。

梅曼认为,没有看到“阈值”,估计与所用的红宝石晶体光学质量差有关,他所用的红宝石晶体是实验室原先做微波激射器时留下来的。后来他向美国一家一流的晶体生产厂家订购了一些特殊的红宝石晶体做实验,情况就大为改观,强烈显示出激射的“阈值”。这一年的7月7日,休斯公司召开新闻发布会,宣布发明激光器的消息,但梅曼没有详细介绍他的研究结果。8月份,贝尔电话实验室的一个小组重建了梅曼的装置,并毫无疑问地证明了红宝石晶体的激射作用。

我国第一台激光器

1961年9月我国第一台激光器在中国科学院长春光学精密机械研究所诞生,仅比世界第一台激光器诞生时间晚了一年多一点。激光器是集先进光学技术和电子技术以及精密机械技术于一体的高技术,能够在很短时间内赶上世界先进水平,在我国近代科学技术史上是少见的。

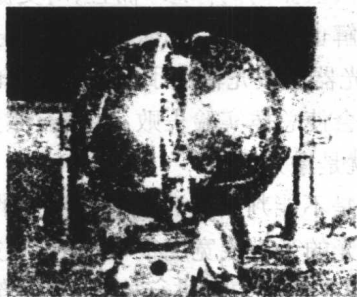


图3 我国的第一台激光器

图3是我国第一台激光器的照片。从外表看它像只小皮球,直径60毫米。里面有一根红宝石棒和一根氙灯,并排放在球心两侧。红宝石晶体做成圆柱形的棒,直径5毫米,长30毫米,掺铬离子的浓度是0.04%。红宝石棒一个端面全镀银膜,另一个端面也镀银膜,但有2%~5%的透过率。泵浦源用直管式氙灯,灯的内径约8毫米,两电极之间距离40毫米。我国第一台激光器的工作物质虽然也是红宝石晶体,泵浦源也是用氙灯,与世界第一台激光器相同,但是,我们这台激光器有它的特色,比如说,梅曼造的那台激光器用的是螺旋形氙灯,红宝石晶体放在螺旋里面;我国这台激光器用的是直管氙灯,氙灯和红宝石棒两者并排放置。用直管氙灯有优点,首先是制造工艺比较简单,可以降

低成本；其次，在激光器工作时候对红宝石晶体冷却方便得多，使得整台激光器的结构更简单、紧凑。事实上，后来各种固体激光器都采用了直管氙灯，不再用螺旋形氙灯了。

尽管我们研制激光器并不是世界上的第一次尝试，但在当时，我们除了有原理性的一两篇论文，和一两条新闻报道之外，什么资料都没有，更没有得到过什么指导。激光器是个什么样子，谁也没有见到过，谁也说不清楚荧光强度曲线产生了什么样的变化才是达到阈值振荡的标志。而且，对受激辐射振荡阈值在实验上怎样来理解也不清楚。同时，头一次作这种试验，工作条件很差，即使激光器有激光输出了，它的强度也不会高，工作上稍有一点疏忽都会使总体实验失败；甚至有激光输出了，也会半信半疑，它真的就是激光吗？

靠眼睛观察是不能判断从激光器输出的是不是激光，我国科学家利用激光的光谱线宽度很窄、相干性好、方向性好等特性，对激光器输出的光辐射进行检验，几经努力，终于在1961年9月份，证实了我们的激光器输出了激光。我国第一台激光器诞生了。

激光的含义及其名字的由来

激光，是指由原子（离子、分子等）系统受激辐射放大过程形成的一种高亮度相干光。或者说，激光是原子系统受激辐射占了优势的一种光辐射。两种说法其含义是一致的。因为当一个原子系统受激辐射放大过程形成了高亮度相干光时，原子系统的受激辐射必然占了优势。反之，当一个原子系统的受激辐射已占了优势时，其光辐射必然已形成了高亮度相干光。

激光是由激光器发射出的。所谓激光器，从无线电技术的角度讲，是一个光频波段振荡器。而从光学技术的角度讲，则

是一个新型光源。

激光的英文名字是 Laser, 其译音为“莱塞”, 台湾学者译为“镭射”。这是一个缩写词, 含义为“受激辐射光放大”, 故曾一度翻译为“受激光发射”, 相应的发射系统称为“受激光发射器”。由于“受激光发射”名字太长, 说起来费事, 后根据我国著名科学家钱学森的建议, 将“Laser”翻译为“激光”, 相应的发射系统就称为“激光器”, 并一直沿用至今。

■奇异的性能

亮度比太阳还亮

光源在发光面上单位面积向某一方向的单位立体角内发射的光功率, 称为光源在这个方向上的亮度。单位用“瓦/厘米²·立体角”表示。激光为什么有如此高的亮度? 其中一个重要的原因是, 激光器输出的激光是集中到一个方向传播, 光束的发散角非常小, 几乎是一束平行光; 而太阳光及我们平时看见的各种电灯、火把等, 它们的光辐射是朝四面八方发射。图 4 是日光灯和

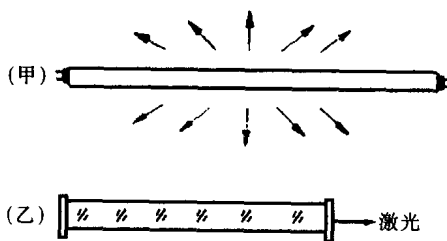


图 4 日光灯(甲)和激光器(乙)的发光情况

激光器发光的对比。激光器发出的激光只往一个方向发射光辐射, 而且它的全部光辐射能量是集中在很小的角度内传播(光束