院士科普书系

奇异的光——激光

姚建铨　编著

清 华 大 学 出 版 社
暨 南 大 学 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

(京)新登字 158 号

图书在版编目(CIP)数据

奇异的光——激光/姚建铨编著. —北京：清华大学出版社；广州：暨南大学出版社，2000.12
(**院士科普书系/路甬祥主编**)
ISBN 7-302-04203-9

Ⅰ. **激…** Ⅱ. **姚…** Ⅲ. **激光技术-普及读物** Ⅳ. TN24-49

中国版本图书馆 CIP **数据核字**（2000）**第** 83431 **号**

出 版 者：**清华大学出版社**(**北京清华大学学研大厦，邮编** 100084)
http：// www. tup. tsinghua. edu. cn
暨南大学出版社(**广州天河，邮编** 510630)
http：// www. jnu. edu. cn
责任编辑：**韩燕丽**
印 刷 者：**北京市清华园胶印厂**
发 行 者：**新华书店总店北京发行所**
开　　本：850×1168 1/32　**印张**：7　**字数**：140 **千字**
版　　次：2000 **年** 12 **月第** 1 **版**　2000 **年** 12 **月第** 1 **次印刷**
书　　号：ISBN 7-302-04203-9/G・170
印　　数：0001～5000
定　　价：15.00 **元**

姚建铨

姚建铨，中国科学院院士。1939 年出生于上海，原籍无锡。长期从事激光及非线性光学频率变换技术研究，在高效率倍频激光器、高功率固体激光器、可调谐激光器、非线性光学及激光应用技术等方面的研究成果卓著。曾获国家发明二等奖、国家教委科技进步奖、中科院特等奖、国际尤里卡发明金奖（个人获一级骑士勋章）等。在理论上提出了多项具有突破及建树性理论。在国际上率先建立了“双轴晶体最佳相位匹配——高功率倍频激光器——准连续泵浦激光调谐系统的技术体系”。撰写的专著有《非线性光学频率变换及激光调谐技术》等。现为天津大学激光与光电子研究所所长、中国光学学会理事、激光专业委员会副主任。已培养出 4 名博士后，28 名博士生及 40 名硕士生。

《院士科普书系》编委会(第二届)

编委会名誉主任　周光召　宋　健　朱光亚
编　委　会　主　任　路甬祥
编　委　会　委　员　(两院各学部主任、副主任)
陈佳洱　杨　乐　闵乃本　陈建生　周　恒
王佛松　白春礼　刘元方　朱道本　何鸣元
梁栋材　卢永根　陈可冀　匡廷云　朱作言
孙　枢　安芷生　李廷栋　汪品先　陈　颙
王大中　戴汝为　周炳琨　刘广均　杨叔子
钟万勰　关　桥　吴有生　刘大响　顾国彪
陆建勋　龚惠兴　吴　澄　李大东　汪旭光
陆钟武　王思敬　朱建士　郑健超　胡见义
陈厚群　陈肇元　崔俊芝　张锦秋　刘鸿亮
方智远　旭日干　周国泰　王正国　赵　铠
钟南山　桑国卫
编委会执行委员　郭传杰　常　平　钱文藻　罗荣兴
编委会办公室主任　罗荣兴(科学时报社)
副主任　周先路(中国科学院学部联合办公室)
白玉良(中国工程院学部工作部)
蔡鸿程(清华大学出版社)
周继武(暨南大学出版社)
总　策　划　罗荣兴　周继武　蔡鸿程
总　责　任　编　辑　周继武　蔡鸿程　宋成斌

提高全民族的科学素质

——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有 6000 余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起，是人类文明的发源地。

15 世纪之前，以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期，中国的科学技术在世界上一直领先长达 14 个世纪以上。在那个时期，影响世界文明进程的重要发明中，相当部分是中华民族的贡献。

后来，中国逐渐落后了。中国为什么落后？近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答：中国落后，是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌，更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命，通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

需要全本请访问 www.ertongbook.com

治上层建筑,为解放和发展生产力开辟道路。于是,就有了80多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了50年前我们党领导的新民主主义革命的胜利,以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革,都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的‘科学技术是第一生产力’的著名论断,使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识,有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现,而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的发展中大国里,再用50年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

的目标，我们应该充分发挥社会主义制度的优越性，坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国，全社会都要参与，科学家和教育家更应奋勇当先，在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书，就是一项基本建设，对于提高全民族的科学素质，是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际，写了上面这些话，是为序。

一九九九年十二月二十三日

人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是20世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来,生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力;而“科学技术是第一生产力”,因此,科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看,人类走过了农业经济时代、工业经济时代,正在进入知识经济时代。

知识经济时代,知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本,不仅仅是一种物质的形态,知识同时还是一种精神的形态。知识,首先是科学技术知识,将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域,同时还将渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说,在新的历史时期,一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的

大事。

对于我们科技工作者来说，我们的工作应当包含两个方面：发展科技与普及科技；或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作，不仅是普及科学知识，更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下，1998 年春由科学时报社（当时叫“中国科学报社”）提出创意，暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划，会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部，共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998 年 6 月，中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子，《院士科普书系》编委会正式成立，各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出 150 个“提议书目”，在“两院”院士大会上向 1000 多名院士发出题为《请科学家为 21 世纪写科普书》的“约稿信”，得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里，有 176 名院士同编委会办公室和出版社签订了 175 本书的写作出版协议，开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题，普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物，于科技知识中融入人文教育，不是一件容易的事。不少院士反映：写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中，科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题，科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言，指出科普是科教兴国的基础工程，勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识”，充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视，对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程，成熟一批出版一批；另一方面随着科学技术的进步和创新，不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此，《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

这一庞大的工程，不但需要院士们积极投入，还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议，帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量，使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面，我们也要以此为起点为开端，参与国际竞争与合作，勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长
《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000 年 1 月 8 日

需要全本请访问 www.ertongbook.com

本书前言

人类对于“光”的认识是从太阳、月亮和星星的亮光开始的，直到大自然一次闪电引起的熊熊大火使人类摆脱茹毛饮血的时代，从此人类才开始有意识地利用“光”来改造世界。从中国神话中的“火神祝融”，到西方神话中的“普罗米修斯盗火”，充满了人类对“光”的膜拜与崇敬。我国山顶洞人钻木取火，至今已有 1.8 万年的历史。从油灯、蜡烛、电灯、碳弧灯、高压汞灯、霓虹灯到人造小太阳等等，人类已经创造了成千上万种不同的光源。

在古罗马“火烧迦太基”时期的一次战役中，伟大的科学家阿基米德巧妙地利用不同尺寸的平、凹面镜，借助强烈的太阳光反射，形成了无坚不摧的超级武器，使从海上入侵的敌人兵船燃起冲天大火，一片狼藉。传说也好，史实也罢，这毕竟留下了人类长期以来希望充分利用光源于军事乃至其他方面的最早记载。

虽然科幻故事往往要超越于现实科学技术的发展，但是许多中肯的预测都逐渐变成了现实。儒勒·凡尔纳在其享誉于世的许多著作中不止一次地引进了神奇的光束。《海底两万里》与《神秘岛》中那位神出鬼没的“鹦鹉螺号”船长尼摩经常使用一种高强度的光束惩恶扬善，谁能保证这种貌似信手拈来的描写中没有未来高科技发展的朴素萌芽呢？

在激光发明的早期，其潜在的威力更使人们对他的前景

寄予了厚望。“珊瑚岛上的死光”、“看不见的死光”——在军事上，人们创造了“死光”这一颇具震慑力的词汇，作家们充分利用这些诱人的题目在尽情描绘激光军事应用的前景；人们也大胆地勾画了激光在其他方面的应用。

从阿基米德时代就被披上神秘色彩的光，发展到今天的“激光”，其作用和威力不仅仅是烧毁几艘战舰。现在，“激光”这个词已经广为人知，人们对它的种种预测已经变为现实，甚至有过之而无不及。可以肯定地说，激光以及其后的光电子学是当代科学技术的带头领域之一，“激光”作为高新技术的代表之一，已经在当代很多科学技术领域得到广泛的应用。例如，在科学研究（激光光谱、激光冷却原子、激光化学分子剪裁等）、军事（激光武器、激光测距、激光跟踪、激光制导、激光模拟核爆炸等）、能源（激光受控核聚变、激光分离同位素等）、生物和医学（生物基因工程中的激光微加工、激光诱导荧光对基因排序、激光手术刀、内窥技术等）、信息（空间通信、光纤通信、激光存储、激光显示等）、工业（激光材料加工、激光计量检测、全息防伪、激光打印、激光娱乐）等方面，必将给科学发展、技术革命、家庭生活、社会进步以巨大影响。这些应用有的使人类在认识世界和改造世界方面大大前进了一步，有的则开辟了一个新的技术门类，形成了一个新的产业。激光跟其他相关技术的结合，正在改变着现代科学技术及整个社会的面貌。

1916 年爱因斯坦提出的受激吸收和发射的观点以及随后物理学上的多项理论研究成果，均为激光出现奠定了物理基础。1958 年，美国的肖洛（Schawlow）和汤斯（Townes）发表了著名的论文“红外与光学微波激射器”。与此同时，苏联

科学家巴索夫(Basov)和普洛霍罗夫(Prokhorov)同样为激光产生作出了直接的理论准备。到 1960 年美国的梅曼(Maiman)制出了第一台红宝石激光器。1964 年的诺贝尔物理奖由汤斯、巴索夫和普洛霍罗夫获得,肯定了他们在激光发明理论方面的贡献。遗憾的是肖洛不在其中,不过,到 981 年,他与布隆伯根(Bloembergen)因在激光光谱上的贡献而获得了诺贝尔物理奖。之后的 10 多年,激光及其技术在全世界范围内蓬勃发展。美国加州大学伯克利分校李远哲教授获得的诺贝尔化学奖也与激光有关。1997 年,美国斯坦福大学的朱棣文、科恩(T. Cohen)和飞利浦(A Phillips)首创了采用激光束将原子冷却到极低温度的方法而获得当年的诺贝尔物理奖。激光的出现及其发展的历史充分证明了"激光"是本世纪物理学的重大进展之一,是光学领域具有革命意义的重大突破。"激光"的出现固然有它的必然性,但毕竟是同科学家、工程技术专家的功绩分不开的。

我们在本书中列举的一些激光应用只能是管窥蠡测,其目的是使读者朋友们对"激光"有一些粗浅的认识。读者可通过"激光"这个例子,加深对现代科学技术的发展历史及其跟人类关系的了解,从而激发对现代科学技术的浓厚兴趣。

在本书的编写过程中,我的博士生王晓勇、陈进及郁宏刚做了部分工作,在此表示感谢。

姚建铨

2000 年 6 月

目　　录

激光的起源与发展

1.1　**抛砖引玉——从微波放大器谈起** …… 1
1.2　**激光器的诞生** …… 2
1.3　**激光的发展** …… 5
1.4　**同激光有关的诺贝尔物理奖** …… 9

2　激光的基本概念

2.1　**激光的载体——原子** …… 11
2.2　**激光的形成** …… 13
2.3　**激光器的构成** …… 18
2.4　**激光器的工作方式** …… 23
2.5　**激光的特点** …… 26

3　激光大家族

3.1　**固体激光器** …… 32
3.2　**气体激光器** …… 34
3.3　**半导体激光器** …… 36
3.4　**液体激光器** …… 40
3.5　**其他激光器** …… 41

4　激光在自然科学研究上的应用

4.1 激光光谱分析 …… 51
4.2 非线性光学效应 …… 53
4.3 用激光固定原子 …… 56
4.4 探索微观世界和超快现象的工具 …… 60
4.5 激光与宇宙探索 …… 62

激光在军事领域的应用
5.1 激光武器 …… 68
5.2 激光雷达在军事领域的应用 …… 72
5.3 激光在其他军事领域的应用 …… 74

激光在工业中的应用
6.1 激光常规工业加工 …… 78
6.2 激光快速制模工艺 …… 81
6.3 光刻集成电路及制造微型零件 …… 83
6.4 激光在工业方面的其他应用 …… 85

7 激光与全息技术
7.1 全息照相的基本原理 …… 93
7.2 全息图的种类 …… 96
7.3 全息术的应用 …… 99

8 激光在测量中的应用
8.1 激光测量长度 …… 107
8.2 激光雷达与测量 …… 109
8.3 激光测量角度 …… 111

8.4 转速的测量——激光陀螺仪 …… 112
8.5 其他激光精密测量 …… 114

激光在生物学中的应用
9.1 激光生物学 …… 117
9.2 生物学研究的一把“镊子” …… 119
9.3 生物遗传工程中的激光微加工 …… 121
9.4 激光在分子生物学中的应用 …… 124
9.5 激光显微技术 …… 127
9.6 激光生物刺激效应 …… 128

10 激光在化学中的应用
10.1 化学家的一种新视力 …… 130
10.2 用激光控制化学反应 …… 132
10.3 用激光进行化学分析 …… 133
10.4 用激光进行分子“剪裁” …… 134
10.5 用激光研究原子碰撞过程 …… 135

11 激光在娱乐、艺术方面的应用
11.1 激光在娱乐方面的应用 …… 138
11.2 激光在艺术品保护方面的应用 …… 141

12 激光在分子流场诊断中的应用
12.1 流场检测技术的意义 …… 143
12.2 瑞利散射法 …… 146
12.3 拉曼散射法 …… 148
12.4 激光诱导荧光法 …… 150

需要全本请访问 www.ertongbook.com